



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

**MONTAJE Y PUESTA EN MARCHA DE IMPRESORA ROTATIVA FLEXOGRÁFICA DE
TAMBOR CENTRAL MODELO F2 ML PARA FÁBRICA DE EMPAQUES PLÁSTICOS
FLEXIBLES EN POLÍMEROS Y TECNOLOGÍA S.A.**

Stefanía Diana María García Pérez

Asesorado por el Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda

Guatemala, agosto de 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**MONTAJE Y PUESTA EN MARCHA DE IMPRESORA ROTATIVA FLEXOGRÁFICA DE
TAMBOR CENTRAL MODELO F2 ML PARA FÁBRICA DE EMPAQUES PLÁSTICOS
FLEXIBLES EN POLÍMEROS Y TECNOLOGÍA S.A.**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

STEFANÍA DIANA MARÍA GARCÍA PÉREZ
ASESORADO POR EL ING. EDWIN ESTUARDO SARCEÑO ZEPEDA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA MECÁNICA

GUATEMALA, AGOSTO DE 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Christian Moisés de la Cruz Leal
VOCAL V	Br. Kevin Armando Cruz Lorente
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma
EXAMINADOR	Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda
EXAMINADOR	Ing. Herbert Samuel Figueroa Avendaño
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:

**MONTAJE Y PUESTA EN MARCHA DE IMPRESORA ROTATIVA FLEXOGRÁFICA DE
TAMBOR CENTRAL MODELO F2 ML PARA FÁBRICA DE EMPAQUES PLÁSTICOS
FLEXIBLES EN POLÍMEROS Y TECNOLOGÍA S.A.**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 28 de octubre de 2019.

Stefanía Diana María García Pérez

Guatemala, 03 de febrero de 2021
REF.EPS.DOC.19.02.2021.

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.), de la estudiante universitaria **Stefanía Diana María García Pérez** de la Carrera de Ingeniería Mecánica, con carné No. 201602624, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **MONTAJE Y PUESTA EN MARCHA DE IMPRESORA ROTATIVA FLEXOGRÁFICA DE TAMBOR CENTRAL MODELO F2 ML PARA FÁBRICA DE EMPAQUES PLÁSTICOS FLEXIBLES EN POLÍMEROS Y TECNOLOGÍA 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 febrero de 2021
REF.EPS.D.21.02.2021

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: **MONTAJE Y PUESTA EN MARCHA DE IMPRESORA ROTATIVA FLEXOGRÁFICA DE TAMBOR CENTRAL MODELO F2 ML PARA FÁBRICA DE EMPAQUES PLÁSTICOS FLEXIBLES EN POLÍMEROS Y TECNOLOGÍA S.A.**, que fue desarrollado por la estudiante universitaria **Stefanía Diana María García Pérez** 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 Hernández
Director Unidad de EPS



OAH/ra



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
Edificio T-7, Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica
Teléfono directo: (502) 2418-9133
<http://emecanica.ingenieria.usac.edu.gt/sitio/>
Correo electrónico: emecanica@ing.usac.edu.gt

Guatemala, 23 de febrero de 2021

REF

Ingeniero
Gilberto Enrique Morales Baiza
Director de Escuela
Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ing. Morales Baiza:

Por este medio atentamente le informo que procedí a revisar el informe final titulado: **MONTAJE Y PUESTA EN MARCHA DE IMPRESORA ROTATIVA FLEXOGRÁFICA DE TAMBOR CENTRAL MODELO F2 ML, PARA FÁBRICA DE EMPAQUES PLÁSTICOS FLEXIBLES EN POLÍMEROS Y TECNOLOGÍA S.A.**, de la estudiante universitaria de la escuela de Ingeniería Mecánica, **Stefanía Diana María García Pérez**, Registro Académico 201602624.

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. Herbert S. Figueroa A.
Ingeniero Mecánico
Col. 10108

Ing. Herbert Samuel Figueroa Avendaño
Área Complementaria
Escuela de Ingeniería Mecánica.



USAC

TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.EIM.020.2021

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-Supervisor y del Director de la Unidad de EPS, al trabajo de graduación titulado: **MONTAJE Y PUESTA EN MARCHA DE IMPRESORA ROTATIVA FLEXOGRÁFICA DE TAMBOR CENTRAL MODELO F2 ML PARA FÁBRICA DE EMPAQUES PLÁSTICOS FLEXIBLES EN POLÍMEROS Y TECNOLOGÍA S.A.**, de la estudiante **Stefanía Diana María García Pérez, CUI 3001333750101**, Reg. Académico **201602624** y luego de haberlo revisado en su totalidad, procede a la autorización del mismo.

"Id y Enseñad a Todos"



Ing. Gilberto Enrique Morales Baiza
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica

Guatemala, febrero de 2021

/aej

DTG. 356.2021

La Decana 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: **MONTAJE Y PUESTA EN MARCHA DE IMPRESORA ROTATIVA FLEXOGRÁFICA DE TAMBOR CENTRAL MODELO F2 ML PARA FÁBRICA DE EMPAQUES PLÁSTICOS FLEXIBLES EN POLÍMEROS Y TECNOLOGÍA S.A.**, presentado por la estudiante universitaria: **Stefanía Diana María García Pérez**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Anabela Cordova Estrada
Decana



Guatemala, agosto de 2021.

AACE/cc

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por darme fuerzas cuando más lo necesitaba y por haberme permitido llegar a este momento; agradezco su infinita bondad y amor.
- Mis padres** Rafael García y Telma Pérez, por apoyarme en cada una de mis elecciones, por aconsejarme, por ser mi inspiración y hacer que creyera en mí cuando yo no lo hacía.
- Mis hermanos** Luis, Javier y Margareth García, por ser mis maestros en la vida y por su amor incondicional.
- Mis tías** Por los ánimos que me daban, sin importar las circunstancias, por ser mis confidentes y por haber estado ahí cuando mis padres no podían.
- Mis amigas** Carmen Castillo y Graciela Estrada, por ser mis acompañantes en este viaje; por su cariño, amor y apoyo; sin ellas mi vida universitaria no hubiera sido lo que fue.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser mi casa de estudios y brindarme todos los conocimientos adquiridos a lo largo de mi carrera.
Facultad de Ingeniería	Por brindarme todos los conocimientos, habilidades, amigos y catedráticos a lo largo de mi formación profesional.
Mis amigos de la Facultad	Por ser mi aliento en los momentos más difíciles y por su apoyo a lo largo de la carrera.
Polímeros y Tecnología	Por brindarme la oportunidad de realizar mi Ejercicio Profesional Supervisado y expandir mis conocimientos en mi rama de estudios.
Ingenieros del Departamento de Mantenimiento	Ingeniero Manolo Tock y Edinson Hernández, por su apoyo en todos los sentidos y ayudarme en la formación como profesional.

	1.2.1.2.4.	Cilindro o rodillo anilox.....	8
	1.2.1.3.	Máquina de tambor central.....	9
	1.2.1.4.	Sistema Gearless, tecnología de transmisión directa	10
	1.2.1.5.	Sistema automático de limpieza.....	11
	1.2.1.6.	<i>Reprint</i> y tratador.....	11
1.2.2.		Cimentación	12
	1.2.2.1.	Grava.....	13
	1.2.2.2.	Losa	14
	1.2.2.3.	Tipos de cargas.....	15
	1.2.2.4.	Análisis de suelos.....	15
	1.2.2.4.1.	Índice de sismicidad.....	17
1.2.3.		Montaje.....	18
	1.2.3.1.	Montaje mecánico	19
	1.2.3.2.	Montaje eléctrico	20
	1.2.3.3.	Puesta en marcha	21
	1.2.3.4.	Nivelación.....	23
1.2.4.		Fugas de aire	23
	1.2.4.1.	Ahorro energético.....	25
	1.2.4.2.	Aire comprimido	25
	1.2.4.3.	Ultrasonido	26
2.		FASE DE INVESTIGACIÓN.....	27
2.1.		Estudio y detección de fugas de aire por medio de ultrasonido.....	27
2.2.		Análisis de ahorro energético y monetario	33
2.3.		Ejecución de reparaciones	38

3.	FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL	39
3.1.	Estudio de suelos	39
3.1.1.	Características geotécnicas.....	40
3.1.2.	Índice de sismicidad	43
3.1.3.	Resultados de correlación	47
3.2.	Cimentación.....	53
3.2.1.	Especificaciones para la cimentación	53
3.2.1.1.	Determinación de la losa	58
3.2.1.2.	Ensayo de concreto.....	60
3.3.	Montaje Mecánico	61
3.3.1.	Descarga del embalaje	62
3.3.2.	Marcaje de áreas específicas y colocación de partes principales.....	66
3.3.3.	Eje físico	67
3.3.4.	Base del montaje	69
3.3.5.	Nivelación	71
3.3.6.	Túnel de secado	77
3.3.7.	Desarrollo de rodillos	78
3.3.8.	Anclaje de máquina	80
3.4.	Montaje eléctrico de instalación de servicios.....	82
3.4.1.	Instalación eléctrica	82
3.4.2.	Instalación de agua.....	83
3.4.3.	Instalación de aire.....	84
3.5.	Puesta en marcha	85
3.5.1.	Conexión de bombas de tintas a cuerpo impresor..	86
3.5.2.	Alineación y nivelación	87
3.5.3.	Ajuste de sensores de diámetro del desbobinador y rebobinador.....	89
3.5.4.	Enhebrado del material.....	91

3.5.5.	Pruebas de impresión	93
3.5.6.	Control de concentración de solvente (LEL).....	94
3.5.7.	Suministro de agua desmineralizada y refrigerante a tambor central	95
3.5.8.	Verificación de funcionamiento de camisas porta cliché y anilox.....	96
3.5.9.	Ajuste de registro	97
3.5.10.	Entrega de máquina	98
4.	FASE DE DOCENCIA.....	99
4.1.	Condiciones y manejo de trabajo de la máquina.....	99
4.1.1.	Controles de la máquina.....	99
4.1.1.1.	Pupitre de mando	100
4.1.1.2.	Rodillo prensor introductor independiente.....	101
4.1.1.3.	Rodillo prensor introductor del cuerpo impresor (C.I.)	101
4.1.1.4.	Rasquetas grupos impresores.....	102
4.1.1.5.	Control de rodillo prensor de tiro	103
4.1.1.6.	Aire camisas (anilox y porta clichés) ..	103
4.1.1.7.	Botonera portátil movimiento grupos impresores.....	104
4.1.1.8.	Control remoto cuerpo impresor (impulsos/rotación lenta)	104
4.1.1.9.	Control remoto pupitre (avance por impulsos y enhebrador).....	105
4.1.1.10.	Control desbobinador	105
4.1.1.11.	Control rebobinador.....	108

4.1.1.12.	Controles auxiliares de la pantalla principal	110
4.2.	Capacitación de la operación de la máquina	117
4.3.	Seguridad industrial.....	117
4.3.1.	Riesgos en consideración en el montaje de la máquina.....	118
4.3.1.1.	Riesgo de incendio o explosión	119
4.3.1.2.	Riesgo de descarga eléctrica.....	119
4.3.1.3.	Riesgo de arrastre	119
4.3.1.4.	Riesgo de aplastamiento	120
4.3.1.5.	Riesgo de quemaduras.....	120
4.3.1.6.	Riesgo de inhalación, intoxicación e irritación	120
CONCLUSIONES		121
RECOMENDACIONES		123
BIBLIOGRAFÍA.....		125

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Ubicación de la institución	2
2.	Recomendación de puesta en marcha de los servicios	23
3.	Racor con fuga	29
4.	Identificación o etiquetado de la fuga	30
5.	Reducidor con fuga	30
6.	Identificación y etiquetado de la fuga	31
7.	Rosca con fuga	32
8.	Identificación o etiquetado de la fuga	32
9.	Fugas por área	37
10.	Vista topográfica del área.....	39
11.	Ubicación geológica del proyecto.....	40
12.	Mapa de zonificación sísmica de Guatemala	43
13.	Resistencia de suelo con ensayo de penetración sondeo 1	48
14.	Prueba de martillo de Becker sondeo 1	49
15.	Prueba de ensayo de penetración sondeo 2.....	50
16.	Prueba de martillo de Becker sondeo 2	50
17.	Plano de pasamanos de las piezas principales de la máquina	54
18.	Área de rebobinador y desbobinador	55
19.	Especificación de peso de rebobinador y desbobinador	56
20.	Armadura para desbobinador y rebobinador.....	59
21.	Tipos de fallas típicas en ensayo de compresión.....	60
22.	Descarga del túnel de secado.....	65
23.	Ingreso de túnel de secado a planta	65

24.	Ubicación de desbobinador y calandra	66
25.	Delimitación de piezas de máquina	67
26.	Eje físico de toda la máquina	68
27.	Medición de eje físico en planta.....	69
28.	Pasamanos de piezas de la impresora y eje físico	70
29.	Pasamanos del rebobinador y desbobinador.....	70
30.	Pasamanos y tornillo de nivelación del cuerpo impresor	71
31.	Nivelador de precisión	72
32.	Nivelación de cuerpo impresor	73
33.	Platinas, pasamanos y tornillos de nivelación.....	73
34.	Nivelación de calandra y cuerpo impresor	74
35.	Calandra	75
36.	Nivelación de cuerpo impresor	76
37.	Pesos de nivelación	76
38.	Elevación y colocación del puente del túnel de secado	77
39.	Sistemas de secado.....	78
40.	Desarrollo entre desbobinador y rebobinador	79
41.	Centroide de los rodillos	79
42.	Cápsula de RM II 16	81
43.	Agujero con martillo perforador para fijación	81
44.	Sujeción de tornillo con pared de hormigón.....	82
45.	Esquema unifilar de instalación eléctrica	83
46.	Diagrama de instalación de agua para máquina.....	84
47.	Diagrama de instalación de aire comprimido para máquina	85
48.	Conexión del sistema de entintado	86
49.	Galga para ajuste de rodillo anilox y rodillo porta cliché	87
50.	Galga para ajuste de flejes con rodillos	88
51.	Ajuste de diámetros de bobinas.....	89
52.	Relación de diámetros entre bobinas.....	90

53.	Paros manuales para enhebrado del material.....	91
54.	Proceso de enhebrado del material	92
55.	Paso del material en rodillos de la máquina.....	92
56.	Medición de velocidad de rodillos	93
57.	Kit de calibración para sistema LEL	94
58.	Llenado de agua desmineralizada	95
59.	Camisa y porta cliché	96
60.	Diseño de rasqueta y camisa anilox.....	97
61.	Ajuste de <i>reprint</i>	98
62.	Ubicación de los controles de máquina.....	99
63.	Control de presión de rodillos.....	101
64.	Control de presión de rodillos del cuerpo impresor	102
65.	Control de presión de rasquetas	102
66.	Control de rodillo prensor de tiro.	103
67.	Aire porta cliché, anilox y extracción de camisas	104
68.	Control remoto cuerpo impresor impulsos y rotación lenta	105
69.	Control remoto pupitre avance impulsos y enhebrador	105
70.	Pantalla principal control del desbobinador	106
71.	Pantalla principal de control del rebobinador	108
72.	Barra de advertencia o alarmas	114
73.	Módulo del cuerpo impresor.....	114
74.	Posicionamiento de rodillos guía.....	116
75.	Control de <i>reprint</i>	116

TABLAS

I.	Densidades de tintas cuatricromías	7
II.	Tipos de estudios geotécnicos.....	16
III.	Categorías de obras esenciales	18
IV.	Identificación de piezas con fugas de aire comprimido.....	28
V.	Datos encontrados con ultrasonido en racor de pistola en máquina de <i>Slitter</i> 03.....	29
VI.	Datos encontrados con ultrasonido en rosca de pistola en máquina <i>Slitter</i> 07.....	31
VII.	Detección de fugas por máquina en el área de <i>Slitter</i>	33
VIII.	Datos técnicos de los compresores	34
IX.	Datos globales de la operación.....	34
X.	Resumen de ahorro y pérdida de CFM por área.....	36
XI.	Resumen de fugas globales por piezas	37
XII.	Datos de sondeo 1	41
XIII.	Datos de sondeo 2.....	42
XIV.	Tabla de protección de sismicidad y probabilidad del sismo de diseño	44
XV.	Coeficiente de sitio F_a	45
XVI.	Coeficiente de sitio F_v	45
XVII.	Factor de escala para el periodo de transición	46
XVIII.	Datos de la presión ejercida en los pasamanos de máquina	57
XIX.	Calendario de actividades para el montaje de la impresora	61
XX.	Lista de todos los equipos de la máquina	63
XXI.	Control de mando de máquina.....	100
XXII.	Barra de control principal	106
XXIII.	Barra principal de control del rebobinador	108
XXIV.	Pantalla de controles auxiliares de la pantalla principal.....	110

XXV.	Barra de control principal	111
XXVI.	Barra de información general	112
XXVII.	Barra para activación de motores y prensos	113
XXVIII.	Barra de grupos impresores	115
XXIX.	Cronograma de actividades de capacitación.....	117

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
cm²	Centímetros al cuadrado
<i>F_a</i>	Coefficiente de sitio para periodos de vibración cortos
<i>F_v</i>	Coefficiente de sitio para periodos largos
<i>N_v</i>	Factor para periodos largo de vibración
<i>N_a</i>	Factores para períodos cortos de vibración
kg	Kilogramos
Kpa	Kilopascales
Psi	Libra por pulgada cuadrada
m²	Metros cuadrados
S1r	Ordena espectral con periodo de 1 segundo
Scr	Ordena espectral de periodo corto
F'c	Resistencia a la compresión
Fy	Tensión a partir el material de acero sufre deformaciones permanentes

GLOSARIO

AGIES.	La Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica (AGIES) entidad privada no lucrativa que promueve la investigación y divulgación de conocimientos científicos y tecnológicos en el campo de las estructuras, la sismología y áreas afines.
Aire comprimido.	Someter aire a presión por diferentes medios para fuente de energía para uso posterior.
Alvéolos.	Agujeros de tamaño microscópicos encargados de transferir una capa ligera de tinta al sustrato.
CFM.	Mide la cantidad de volumen de un fluido que pasa sobre una sección determinada por unidad de tiempo.
Core.	Tubos para bobinar material plástico o de papel el cual soporta grandes pesos y alta revoluciones.
Dinas.	Tensión superficial del sustrato que permite la adhesión de la tinta.
Estudio geotécnico.	Exploración de un terreno realizando perforaciones por medio de sondeos, con el fin de analizar el tipo de suelo para iniciar una construcción.

Fraguado.	Tiempo necesario para que se lleve un proceso exotérmico de endurecimiento del hormigón.
Heterogéneo.	Material compuesto por distintos elementos, distinguiendo algunas propiedades.
Hormigón.	Material de construcción compuesto de cemento, grava o piedra molida.
NSE.	Normas de seguridad estructuras dirigidas a personas en el ámbito estructural calificadas para comprender el significado y limitaciones de su contenido y sus recomendaciones.
Socavación.	Hundimiento del suelo profundo a causa de la presencia de agua o cambios de las condiciones hidráulicas.
Talud natural.	Ángulo perteneciente al terreno en que se soporta a sí mismo.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación trata sobre el montaje y puesta en marcha de una impresora flexográfica en una empresa dedicada a la elaboración de empaques flexibles para el sector industrial y ganadero. El proyecto abarca desde la reestructuración de la distribución de la planta hasta la entrega de la máquina. Un buen montaje requiere tener en cuenta varios factores como: personal, maquinaria, herramientas, piezas que no se encontraron durante el embalaje, entre otros; se deben contemplar a medida que se va avanzando. Los inconvenientes son inevitables, sin embargo, con un buen ingenio se pueden solucionar, para que no lleguen a ser un problema en su montaje.

Asimismo, se presentó un plan de ahorro energético y económico para la empresa, a través de la detección de fugas en todas las etapas del proceso del empaque flexible, al contemplar la extrusión de las resinas, impresión del sustrato, laminado (de ser requerido en el producto), corte y refilado o rebobinado.

OBJETIVOS

General

Realizar el montaje y puesta en marcha de una impresora rotativa flexográfica de tambor central, para fábrica de empaques plásticos flexibles.

Específicos

1. Aumentar los metros por minuto en la producción de flexografía, con procesos más continuos y repetitivos.
2. Lograr una reducción de costos eléctricos y de equipo, asociados a la detección de fugas en sistemas de distribución de aire por ultrasonido.
3. Conseguir que el personal operativo pueda llegar a intervenir la impresora sin ningún tipo de ayuda externa.

INTRODUCCIÓN

Polímeros y Tecnología es una empresa internacionalmente reconocida. Actualmente, está certificado por las normas FSSC 22000-4 e ISO 9001:2015. Al tener este tipo de certificaciones, se puede avalar que los productos son Inocuos y de calidad; por lo mismo, la mejora continua se realiza en cada uno de los procesos de producción.

Polímeros y Tecnología cuenta con una gama extensa de marcas y modelos de impresoras flexográficas con diferentes capacidades de producción y diferentes tipos de máquinas, ya sea de *stack* o de tambor central. Las impresoras flexográficas son las encargadas de otorgar el diseño previamente acordado por el cliente y elaborado por preprensa, y la pigmentación a las bobinas de polipropileno, polietileno y poliéster; por lo mismo, es el proceso más importante dentro de planta. Si la impresión no cumple con todos los estándares preestablecidos, se corre el riesgo de sufrir rechazos.

La innovación de la tecnología es fundamental para que cualquier empresa crezca. Por lo anterior, Polímeros y Tecnología implementan maquinaria adecuada para las etapas de producción. Este trabajo tiene como objetivo montar una impresora que cumpla con todos los requisitos, previamente analizados, para la situación actual de Polímeros y Tecnología, para reducir gastos en recuperación de engranes de impresoras tipo *stack*, paros inesperados, tiempo en cambio de pedidos, entre otros.

1. GENERALIDADES

1.1. Descripción de la empresa

Polímeros y Tecnología es una empresa dedicada a la fabricación de empaques plásticos flexibles. Su mercado abarca el sector industrial, comercial y agrícola. Comenzó sus actividades de fabricación en julio de 1989. Esta empresa fue fundada con la idea de ofrecer al mercado de Guatemala una disyuntiva en la fabricación de empaques plásticos flexibles, en conjunto con la disposición de la tecnología más reciente e innovadora, tanto en maquinaria como en materia prima y recurso humano; es constante para satisfacer cualquier requerimiento solicitado. Esta ideología hasta hoy se sigue implementando.

1.1.1. Ubicación topográfica de la institución

Polímeros y Tecnología se encuentra ubicada en 1a. Calle 2-68, Zona 2 Colonia San José Villa Nueva.

Figura 1. **Ubicación de la institución**



Fuente: Google Maps. *Ubicación del proyecto.* <https://goo.gl/maps/H69W4t85vYLidWkZ6>.

Consulta: 28 de octubre de 2019.

1.1.2. Historia

La empresa Polímeros y Tecnología, S. A. se dedica a la fabricación y comercialización de empaques plásticos flexibles a base de polietileno y polipropileno. Entre los productos agroindustriales, se encuentran plásticos para invernaderos, *mulch*, fundas bananeras, empaques para banano, películas hidropónicas, trampas amarillas, entre otros. Los productos industriales son laminaciones de dos y tres capas, empleadas en llenadoras automáticas y la utilización de impresiones de hasta ocho colores, bolsas *doypack*, *flow pack* y *pouches*. Los productos comerciales están constituidos por toda una gama de películas, bolsas y materiales de empaque para el comercio, dentro de las cuales están las bolsas para *boutique*, empaques de regalos, entre otros.

Polímeros y Tecnología es una empresa que sobresale por la calidad de sus productos desde 1989; está comprometido en la satisfacción de los clientes; cumple estándares, normas y requerimientos. Para poder mantener estos aspectos, debe contar con nueva tecnología e innovar todos los procesos

implícitos en el proceso de la fabricación de empaques de plástico flexible. Actualmente, está certificado por FSSC 22000; cuenta con este gran esquema para avalar su inocuidad al momento de realizar los productos. Para poder llegar al producto final, es necesario pasar por tres procesos importantes que son: extrusión, impresión y corte.

El alto reconocimiento de Polímeros y Tecnología se debe a la dedicación, los valores y principios que implementan, gracias a sus buenas prácticas en su producción y la administración eficiente, ya que prevalece en el servicio, calidad y costo. Tiene la oportunidad no solo ofrecer sus servicios a Guatemala, sino también a toda Centro América, Panamá, México, el Caribe y Estado Unidos de América.

1.1.3. Misión

Generar valor para los clientes, trabajadores y accionistas a través de la creación de soluciones competitivas en empaque, logrando que estos alcancen sus objetivos de calidad y satisfacción del consumidor.

1.1.4. Visión

Ser la empresa de referencia en empaques y materiales flexibles en Centro América, México y El Caribe.

1.1.5. Descripción del problema

Polímeros y Tecnología es una empresa que tiene presencia mundial y una amplia experiencia, lo que le permite cumplir objetivos, por medio de los cuales

alcanza la excelencia. Como marca, la institución está obligada a mejorar procesos, tiempos, reducir desperdicio, entre otros procesos internos.

El proceso de impresión es uno de los más importantes en las exigencias de los clientes, por lo tanto, se necesita una máquina con una alta precisión y alineación. Las máquinas de tambor central cuentan con grupos impresores, los cuales tienen en común un mismo cilindro de contrapresión o tambor central, lo que posibilita un mejor control del registro en la impresión de materiales flexibles.

Es importante conocer que las máquinas flexo disponen de cuatro componentes principales: la sección de desbobinador (alimentador del material a imprimir), la sección de impresión, el sistema de secado y la sección de rebobinado de la lámina impresa.

Al contar con una maquinaria con nueva y reciente tecnología, el trabajo de producción resulta más rápido y eficiente. La impresora cuenta con un pequeño tratador para recuperar las propiedades de humectabilidad que se da en el proceso de extrusión; asimismo, cuenta con un *reprint* para trabajos que requieran una doble impresión.

1.2. Definiciones fundamentales

A continuación, se encuentran las definiciones esenciales para conocer el proceso de flexografía.

1.2.1. Flexografía

Método de impresión directa, ideal para publicación de gráficos de empaques. En este método, se utiliza una plancha en relieve impresa de

fotopolímero flexible (resinas de polímero sensible a la luz UV) con las tramas que se desean imprimir sobre un sustrato; estos pueden ser de OPP, poliéster, metalizados, PE, PP, cartón, textiles, entre otros; estos se colocan en equipos rotativos y tintas líquidas de secado rápido.

La plancha de fotopolímero se adhiere a un cilindro porta cliché por una cinta de doble cara, y esta plancha es entintada por un rodillo anilox, el cual dosifica la tinta en el sustrato. Estas tintas deben ser de secado rápido, de forma que los colores siguientes puedan aplicarse al sustrato sin mezclarse con los anteriormente.

La flexografía es uno de los métodos de impresión más económicos con respecto al producto final; permite un mayor número de reproducciones a un menor costo. Existen máquinas de tambor central que tienen una velocidad de 600 metros/minuto, y con acabado de alta calidad. La combinación de colores en un solo pedido puede ser de hasta diez tintas.

Este método es reconocido en la industria de alimentos y del empaquetado porque el acabado del sustrato es de calidad; la rapidez de impresión de bobinas es corto en comparación con otros métodos y la flexibilidad de adoptar materiales es amplia, lo que permite imprimir imágenes continuas.

La Flexográfica es un sistema de impresión rotatorio; por lo tanto, en una revolución del cilindro de porta-cliché, se produce una imagen completa. Hay 3 tipos de impresoras flexográficas empleados en la industria: sistema stack, la impresión en línea, y la impresión de tambor central.

1.2.1.1. Factores claves para impresión flexo de calidad

Para llegar a tener una impresión de alta calidad, se debe tener en cuenta varios factores; el más importantes es la consistencia y continuidad de la calidad en toda la película. Para alcanzar estas características, es indispensable realizar parámetros para controlar valores variables y hacer que se conviertan en constantes PRMC (predecibles, repetitivas, medibles y controlables).

Como se ha mencionado con anterioridad, una impresora puede grabar hasta diez colores. Para evitar que un color se interponga entre otro, debe hacerse una prueba de calibración de máquina y validar la separación de los colores. Para realizar esta prueba, se debe tener información de los siguientes parámetros: lineatura de anilox, volumen y ángulos de la trama, densidad de tintas de cuatricromía, ganancia de punto, contraste de impresión, entre otros factores. Otro factor fundamental es el tipo de plancha; comercialmente se tienen de: 2,84, 2,54, 1,70 y 1,14 mm; la más recomendada es una plancha delgada y de alta dureza; esto es porque entre más pequeños los puntos de impresión es inversamente proporcional con la calidad.

Por otra parte, entre más alvéolos por centímetro lineal tenga el rodillo anilox, se obtendrá una mejor dosificación de la tinta. Para asegurar un buen entintado, se recomienda que el número de celdas del rodillo anilox debe ser como mínimo cinco veces superior a la lineatura de la plancha.

La densidad de la tinta debe mantenerse durante el proceso, de lo contrario se tendrá: aumento del crecimiento del punto, reducción del contraste de impresión, *trappign* u colores secundarios desviados, afectando el balance de grises.

Tabla I. **Densidades de tintas cuatricromías**

Color	Rango
Amarillo	1,10-1,20
Magenta	1,20-1,30
Cyan	1,30-1,40
Negro	1,40-1,50

Fuente: ANGUITA, Jesús. *Flexografía de alta calidad*. p. 27.

El tipo de cinta adhesiva de doble cara, que se emplea en el montaje de las planchas con la manga o porta-cliche y la densidad del adhesivo, se debe elegir dependiendo de los colores que se van a emplear en el diseño; se recomienda: baja densidad para combinados de trama, sólidos en una misma plancha y alta densidad para fondos. Se debe ser cuidadoso para elegir el tipo de cinta adhesiva. Esta tiene la función de que todos los puntos de la lineatura de la plancha se llenen de tinta e imprimen toda la trama o fondo.

1.2.1.2. Funcionamiento del sistema flexográfico

Un sistema flexográfico está compuesto por varios equipos fundamentales para una impresión correcta, los cuales se presentan a continuación.

1.2.1.2.1. Olla o cuba de tinta

La olla o cuba de tinta es un depósito donde se almacena la tinta que se utilizará para la impresión de un pedido. Esta olla necesita un agitador para mantener la mezcla de tinta y solvente homogénea. Para evitar que partículas de suciedad puedan ir a través del sistema de bombeo, se recomienda colocar un filtro en la cuba de tinta.

1.2.1.2.2. Sistema de bombeo de tinta

El sistema de bombeado es el encargado de suministrar la tinta desde la olla hasta la cámara de la rasqueta. La presión que impulsa la tinta debe ser constante, para mantener los tinteros llenos y que pueda suministrar tinta a los rodillos anilox, como también seguir con el proceso de impresión.

1.2.1.2.3. Cámara cerrada o tinteros

Consiste en una cámara en la cual, en los extremos, tiene unos orificios pequeños que sirven para el retorno de la tinta hacia la olla, y conforma un circuito cerrado. En la parte de en medio, cuenta con el suministro de tinta que otorga el sistema de bombeo y, posterior a este, el anilox rota y adhiere la tinta al sustrato. La raqueta tiene unos flejes o cuchillas de acero; cada uno está orientado en sentido contrario.

Un fleje es negativo cuando está instalado en sentido contrario a la marcha del anilox; se encarga de dosificar la tinta. Mientras que un fleje positivo es aquel que está instalado en el mismo sentido de la marcha del anilox; se encarga de mantener la tinta dentro de la cámara. Para que las rasquetas trabajen óptimamente y se obtenga una dosificación perfecta sobre el anilox, en el montaje de las cuchillas debe tomarse en cuenta el filo; este debe colocarse internamente a la cámara. También debe tomarse en cuenta el paralelismo vertical y horizontal, y así, evitar escapes de tinta y manchas en el anilox.

1.2.1.2.4. Cilindro o rodillo anilox

Un rodillo anilox puede estar elaborado de acero o cerámica. Si se cuenta con una cámara cerrada, es recomendable utilizar de cerámica. Los de acero se

desgastan más rápido por el uso de raquetas de metal. El rodillo anilox está grabado por millones de células, estas células o alvéolos son las encargadas de absorber la tinta de la rasqueta, los cuales están alineados con un ángulo de referencia y su objetivo es dosificar la cantidad de tinta que pasará a la plancha de impresión.

La cantidad de tinta a dosificar dependerá del número de celdas por centímetro lineal y la orientación del grabado, de la profundidad y del volumen de las celdas medidas en $\frac{cm^3}{m^2}$. El ángulo respecto al eje que tienen los rodillos anilox son para mejorar la uniformidad de la aportación de tinta y evitar el desgaste de las paredes de la celda.

1.2.1.3. Máquina de tambor central

Este tipo de máquina puede imprimir en la mayoría de los materiales flexibles y con poco gramaje (polietileno, OPP, PET, cartón, polipropileno, entre otros). Esta máquina cuenta con tinteros alrededor de un solo cuerpo impresor (cilindro de contrapresión o tambor centra), que es la estructura principal. La ventaja de trabajar con este tipo de máquina es la eliminación del problema de registro en la impresora multicolor. Estas máquinas tienen la posibilidad de integrar sistemas de cambio rápido, cambio de anilox, porta-clichés y anilox por medio de aire comprimido, limpieza automática, *reprint*, entre otros sistemas.

Este tipo de impresoras disponen de una capacidad de hasta 10 colores y pueden trabajar a una velocidad de 600 metros/min; pueden trabajar con planchas delgadas y duras, lo que ayuda a que la impresión tenga una definición alta.

Las partes más importantes en una impresora de tambor central son cuatro:

- Desbobinador
- Tambor central
- Túnel de secado
- Rebobinador

El objetivo del tambor central es crear una contrapresión entre la película de material flexible y el cliché. La estructura está diseñada para que el paso del material transite por los diferentes grupos impresores en una misma sintonía, y así obtener un excelente registro entre colores. Es la pieza más importante de la máquina y con mayor influencia en la calidad de impresión. Los materiales para fabricar el tambor pueden ser desde acero curvado hasta fundición con rectificado final; normalmente, se le aplica un recubrimiento con plasma compuesto de partículas de plomo y níquel (Hastaloy), esto para protección de corrosión y endurecer la superficie; se administra aproximadamente a 2 000 metros/segundos y a 1 500 °C. El espesor del recubrimiento es de 0,35 a 0,45 mm.

1.2.1.4. Sistema Gearless, tecnología de transmisión directa

El sistema sin engranajes es de transmisión directa. El movimiento de rotación que tiene el tambor central es originado por un motor principal, mientras que los grupos impresores dispone de un motor que acciona al anilox y al porta-clichés; al mismo tiempo, acciona los ejes de anilox, motor principal y eje porta-cliché, lo cual permite una sincronización en la rotación e igualan las velocidades del material.

1.2.1.5. Sistema automático de limpieza

Los tiempos muertos son indispensables en producción. Un sistema automático de limpieza ayuda a disminuir gradualmente estos tiempos; la autolimpieza está destinada para una limpieza rápida y simultánea de los cilindros anilox hasta las tuberías de las tintas. Este sistema puede trabajar para los diferentes tipos de tintas, esto ayuda al cambio de pedido y cuadros. Los beneficios de este sistema son: la recuperación de tinta en el sistema impresor, el retorno al cubo de tinta para ser empleado en trabajos futuros y minimizar el consumo de solvente/agua, que limpia en cada proceso, gracias a la reutilización de solvente/agua.

1.2.1.6. *Reprint* y tratador

Al sustrato de polietileno o polipropileno, se le realiza un tratamiento corona cuando las dynas son mayores a 40, debido a que la adhesión de la tinta es imposible en ese punto, ya sean a sustratos extruidos con anterioridad o BOPP que han perdido humectabilidad con el tiempo. El equipo capaz de realizar este trabajo es el tratador; este consiste en aumentar la tensión superficial de película plástica, para otorgar la permeabilidad y adhesión de tintas y adhesivos. Como resultado, el material tratado mostrará mejores cualidades de impresión, mayores velocidades en la prensa y menos desperdicio de material. La unidad de tratamiento corona, generalmente se instala después del desbobinador.

La unidad de *reprint* es utilizada para facilitar una reimpresión. Se puede añadir: código de barras, registro, diseños, fecha, entre otros. En casos de sobreimpresión o de impresión a dos caras con o sin cruz inversora, se efectúa mediante la regulación automática de la velocidad del motor introductor y del

offset portaclichés en función de la diferencia de formato entre la primera y la segunda impresión.

1.2.2. Cimentación

Una cimentación consiste en todos los elementos estructurales cuyo objetivo es transmitir, a través de todo el terreno base, las cargas que soportara la estructura de la construcción o equipo. Estas cargas, generalmente, pueden ser de compresión pura, tensiones de tracción, horizontales o verticales, cargas vivas o muertas de las edificaciones, cargas sísmicas sostenidas por el edificio, cargas sísmicas impartidas del propio suelo, entre otras. Estas cargas no pueden sobrepasar límites máximos del terreno establecidos con estudios geotécnicos.

Realizar una buena cimentación es de suma importancia, ya que en ella estará todo el peso de la superestructura o equipo. La estabilidad que se espera tener dependerá totalmente del terreno. La elección de la cimentación depende de las características mecánicas del suelo donde se realizará la cimentación.

Los cimientos de anclajes transmiten, principalmente, esfuerzos de compresión y momentos flectores. Estos se pueden subdividir, por la profundidad de la línea de la cota de la obra, en: profundas y superficiales; las mismas pueden diferenciarse entre sí por la relación de:

$$\frac{D_f}{B} \leq 4 = \text{cimentación superficial}$$

$$\frac{D_f}{B} > 4 = \text{cimentación profunda}$$

Donde:

D_f : profundidad desplante

B: ancho de la cimentación

El tipo de cimentación será elegido con base en:

- Las condiciones del suelo a través de un estudio o análisis de suelo, por el cual se determinará la profundidad de la cimentación.
- Cargas que se transmitirán al terreno.
- Capacidad portante del suelo, es decir, a qué profundidad se encuentra el terreno elegido como firme.
- Nivel freático.
- Si existe peligro de que el terreno se hiele, se deslave y sea posible el anegamiento.

Para el cálculo y diseño estructural, es necesario conocer el peso total de la obra, incluyendo sobrecarga y la aptitud portante del terreno elegido como firme.

1.2.2.1. Grava

La grava es un conjunto de rocas de aspecto áspero, color oscuro y característica dureza, 6 en la escala de Mohs. Su origen puede ser natural. Se obtiene de rocas desgastadas por el consecutivo movimiento en corrientes de agua y por erosión; artificialmente, se produce por explosiones en minas; pero este método causa daño a la tierra. El tamaño de los fragmentos de la grava mide alrededor de 2 y 64 milímetros de diámetro. Está formada principalmente por rocas ricas en cuarzo y cuarcita. Los componentes en menor proporción son clastos de caliza, basalto, granito y dolomita. Con excepción de las gravas pizarrosas, la grava es material apropiado para cimentaciones, siempre y cuando

no existan estratos frágiles o blandos, ni esté expuesta a socavación la cimentación.

La grava tiene casi nula capilaridad; por tanto, no es probable que la presencia de agua subterránea o su humedecimiento causen asentamientos, o exista una disminución de la resistencia, lo que la hace consistente y resistente a factores mecánicos de desgaste. Por su naturaleza, favorece la cohesión y maleabilidad del concreto fresco. Reduce los cambios de volumen propios del fraguado, humedecimiento o calentamiento de la mezcla. Incide en el tiempo y calidad del secado, tiene ciertas propiedades mecánicas; es resistente a grandes cargas, lo que otorga estabilidad al terreno. La grava entra en una categoría de suelos de grano grueso, pues tienen naturaleza tipo grava y arena con menos del 50 %, pasando por el tamiz n.º 200.

1.2.2.2. Losa

Las cimentaciones directas básicas se consideran de cuatro tipos: zapatas aisladas, combinadas o corridas, emparrillados y losas.

Una losa es una placa apoyada directamente sobre el terreno; cubre toda el área que estará debajo de la edificación o estructura y soportará todo el peso de esta. La losa puede ser maciza, aligerada o disponer de refuerzos especiales para mejorar la resistencia a punzonamiento. Bajo los soportes individualmente, se usarán pedestales, si están sobre la losa, y refuerzos, si están bajo ella o por líneas nervaduras. Una gran ventaja de utilizar losas es que se puede emplear una cimentación compensada, la cual consiste en que el peso de las tierras excavadas equivale aproximadamente al peso total del edificio. La losa distribuye uniformemente las tensiones en toda la superficie y, en este caso, los asientos que se esperan son reducidos. Otra ventaja, si el terreno tiene una capacidad

portante, pero es heterogéneo, una losa es capaz de vencer dichas variabilidades y disminuir los asientos diferenciales.

El objetivo de este tipo de cimentación es distribuir en las superficies las tensiones transmitidas en el terreno, para que sean mínimas.

1.2.2.3. Tipos de cargas

Una carga concentrada es aquella aplicada sobre un área pequeña o en un punto específico de una estructura. La carga uniformemente distribuida es aquella en la que actúa la magnitud de la carga uniforme sobre todo el elemento estructural. La carga viva representa la carga probable, debida a la ocupación de un edificio. Incluye el peso de las personas, el mobiliario, el equipo, los materiales almacenados y la nieve. Es importante no considerar la carga de viento y sismo.

Se aplica el término de carga muerta al peso de los elementos de construcción; incluyen el peso de la estructura, pisos, vigas, vidrios, tabique, pilares, rellenos, entre otros.

1.2.2.4. Análisis de suelos

Es una herramienta para diagnosticar el estado del suelo, a través de recaudación de información de las características del terreno y del subsuelo. Previamente, debe tenerse en cuenta la ubicación de un proyecto de edificación o modificaciones de terreno; esto es primordial, ya que es un justificante técnico del comportamiento del terreno.

Un análisis de suelos es necesario siempre que se realicen desmontajes, terraplenados, zanjas, cimentaciones y otros trabajos del mismo carácter, esto

debido a que se debe tener el conocimiento de la geometría y distribución de las capas por las cuales está conformado el terreno y las condiciones hidrogeológicas del mismo, previo al periodo de decisiones. Esto permite efectuar un análisis y diseño estructural adecuado.

Es obligatorio realizar una visita previa al lugar donde se realizará la obra civil, para la verificación de las condiciones superficiales generales del entorno, y determinar el tipo de estudio a realizar.

Tabla II. **Tipos de estudios geotécnicos**

El estudio geotécnico general tipo I	Está orientado a obras utilitarias, a construir en un terreno no sujeto a amenazas geológicas, tales como deslizamientos, inundaciones, licuefacción, fallas geológicas, discontinuidades, entre otros.
El estudio geotécnico especial tipo II	Está dirigido a obras ordinarias, a construir en terrenos no sujetos a amenazas geológicas, tales como deslizamientos, inundaciones, licuefacción, fallas geológicas, discontinuidades, entre otros.
Estudio geotécnico especial tipo III	Para obras de gran envergadura o bajo condiciones de riesgo importantes.
El estudio geotécnico especial tipo III	Está conducido a obras importantes o esenciales, a construir en terrenos no sujetos a amenazas geológicas, tales como deslizamientos, inundaciones, licuefacción, fallas geológicas, discontinuidades, entre otros.
Estudio geotécnico especial tipo IV	Para atender problemas específicos.

Continuación de la tabla II.

El estudio geotécnico especial tipo IV	Está orientado a obras de cualquier categoría ocupacional, situadas en terrenos en los que se ha identificado una amenaza geológica evidente tal como: cercanía a un talud, a la ladera de un barranco, a fallas geológicas
	activas, a zonas con evidencia de inestabilidad o con historial de deslizamientos, zonas potencialmente afectas a crecidas de ríos, licuefacción o condiciones geotécnicas adversas.
Estudio geotécnico especial tipo IV	La planificación debe realizarla, como mínimo, un equipo conformado por un geólogo y un ingeniero geotécnico, quienes definirán las técnicas de exploración a utilizar y el alcance de estas.

Fuente: AGIES. NSE 2.1. *Estudios geotécnicos*. p. 20-21.

1.2.2.4.1. Índice de sismicidad

Para el índice de sismicidad, se debe tener en cuenta qué tipo de obra se realizará. Cuando se habla de obras esenciales, se dice que: (a) son aquellas que deben permanecer en operación continua durante y después de un siniestro. (b) Se incluyen en esta categoría las obras estatales o privadas especificadas a continuación, aunque no están limitadas a ellas.¹

¹ AGIES. NSE 2.1. *Estudios geotécnicos*. p. 23-25.

Tabla III. **Categorías de obras esenciales**

Instalaciones de salud con servicios de emergencia, de cuidado intensivo, salas de neonatología o quirófanos. Los hospitales de día pueden exceptuarse.
Instalaciones de defensa civil, bomberos, policía y de comunicaciones asociadas con la atención de desastres.
Centrales telefónicas, de telecomunicación y de radiodifusión.
Aeropuertos, hangares de aeronaves, estaciones ferroviarias y sistemas masivos de transporte.
Plantas de energía e instalaciones para la operación continua, de las obras que clasifiquen como esenciales.
Líneas troncales de transmisión eléctrica y sus centrales de operación y control.
Instalaciones de captación y tratamiento de agua y sus centrales de operación y control.
Estructuras que formen parte de sistemas contra incendio en obras esenciales.
Estructuras que contengan agentes explosivos, tóxicos o dañinos para el público.
Puentes sobre rutas centroamericanas y aquellas que la autoridad competente considere.
Instalaciones específicamente diseñadas como refugios para emergencias
Instalaciones de importancia estratégica para la seguridad nacional. Aquellas obras que las autoridades estatales o municipales específicamente declaren como esenciales.

Fuente: AGIES. NSE 1. *Generalidades, administración de las normas y supervisión técnica.*
p. 23-25.

1.2.3. Montaje

Montaje es el proceso en el cual se ensamblan partes de un equipo o componente, que implementa la interpretación de planos, esquemas y documentación técnica con parámetros mecánicos, eléctricos, hidráulicos y neumáticos.

Realizar este tipo de trabajo conlleva efectuar la comprobación del funcionamiento, corrección de sus posibles defectos, realizar todos los ajustes

necesarios, la puesta en marcha, entre otros factores. El ingenio combinado con la precisión son fundamentos claves al momento de realizar un montaje, debido a que suelen desarrollarse en condiciones complejas, con plazos restringidos y limitaciones de todo tipo.

1.2.3.1. Montaje mecánico

En este tipo de montaje, se realizan operaciones mecánicas, es decir, cualquier práctica para construir o ensamblar piezas de una máquina industrial. Actualmente, los procesos productivos son tan amplios que la variedad, aplicaciones y tipos de máquinas industriales son bastantes. El montaje incluye movimiento de equipos o estructuras de gran peso, instalaciones a grandes alturas, en lugares de difícil acceso o sincronización entre dos o más grúas. Cabe destacar que muchas veces las condiciones geográficas y climáticas suelen aumentar la complejidad.

Las operaciones básicas en el montaje mecánico son:

- Descarga de todas las piezas del embalaje, se debe cerciorar que todas las piezas vengan en cada uno de los contenedores, según de la maquinaria a instalar.
- Trazado e izado de piezas, se debe considerar la fuerza para levantar una pieza de gran masa y la distancia desde el centro de giro de la grúa hasta el centro de gravedad del objeto a izar.
- Realizar todas las modificaciones necesarias dentro de planta, para introducir la máquina. Se debe dimensionar el equipo a montar, altura sobre el suelo y las condiciones del entorno, por ejemplo, maquinaria en operación, suelo, estructuras, entre otras.

- Contar con planos técnicos del montaje para proceder con el ensamblaje de cada pieza, en el lugar correspondiente.

La planificación es un factor crucial en el montaje. Aquí se consideran las necesidades para un buen montaje; se evalúan las condiciones del entorno, circunstancias como el clima, espacio, equipo, suministros, personal involucrado y seguridad. Existen circunstancias que deben tenerse en cuenta al momento de montar elementos mecánicos. Es importante no forzar una pieza que no entre en el alojamiento con el ajuste predispuesto; en caso de que una pieza no entre, se deberá insertar mediante el uso de medios adecuados, pero nunca por golpes, ya que esto puede lastimar la pieza; deben utilizarse las herramientas adecuadas y, en caso de no tener, se buscará una con función similar. De igual manera, no se debe utilizar herramientas en mal estado que rallen o marquen los elementos a montar; se deben utilizar los lubricantes y grasas adecuadas recomendadas por el fabricante o una con características similares.

1.2.3.2. Montaje eléctrico

En el montaje eléctrico, se hacen todas las instalaciones necesarias para que los equipos operen eficientemente. El objetivo de una instalación eléctrica es garantizar que los circuitos conduzcan y distribuyan la corriente eléctrica desde su punto de origen hasta su salida. Todo panel eléctrico de cualquier maquinaria tiene elementos generadores, conductores, receptores, de maniobra y de protección, esto quiere decir que para completar el circuito debe haber un medio conductivo y un receptivo. Estos elementos deben instalarse de forma adecuada, de lo contrario, podría dañarse un equipo y la máquina no podría operar eficazmente.

En la industria, es necesario tener instalaciones eléctricas con las capacidades adecuadas, y de esa manera permitan que el proceso productivo se desarrolle con total normalidad. La maquinaria utilizada en el ámbito industrial consume gran cantidad de energía eléctrica; por tanto, es necesario realizar acometidas eléctricas adecuadas, para que todos los elementos funcionen a la perfección; deben incluirse todas las condiciones técnicas y medidas de seguridad necesarias.

Requerimientos de montaje eléctrico:

- Deben tenerse los planos donde especifique las conexiones de todos los equipos, para proceder con el montaje eléctrico.
- Las instalaciones eléctricas deben estar adecuadamente protegidas ante agentes como cambios climáticos, temperatura, sobrecarga o cortocircuitos; si llegara a ocurrir un fallo, podría dañar maquinaria y equipos a los que les estuviera entregando la corriente eléctrica.
- La entrega de energía a la maquinaria y cualquier equipo eléctrico deben estar protegidos en todas sus fases, ante cualquier posible cortocircuito o sobrecarga del sistema.
- Las instalaciones de motores deben mantener una distancia prudencial para evitar cualquier peligro, pues los motores eléctricos transforman la energía eléctrica en energía mecánica.

1.2.3.3. Puesta en marcha

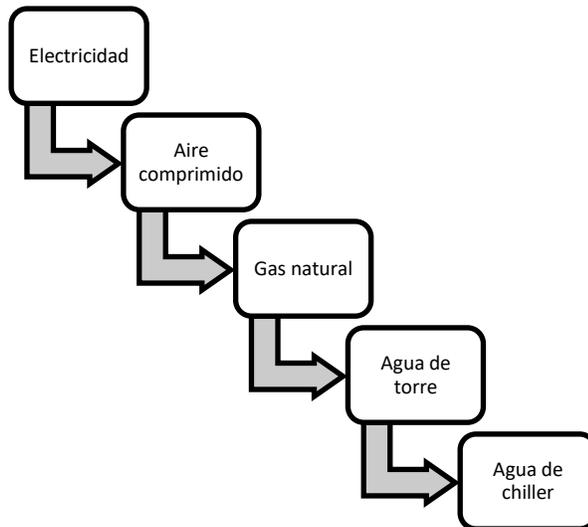
La puesta en marcha de la máquina básicamente se realiza cuando se haya concluido el montaje; y es cuando se verifica que las conexiones eléctricas y el ensamblado mecánico se hayan realizado correctamente, pues, prácticamente, es poner en funcionamiento progresivo la máquina, debido a que se empiezan a

realizar todos los ajustes, calibraciones de medidas, nivelación, alineación, lubricación, conexión de tuberías y programación de hardware y software de los equipos del sistema necesarios de todas las partes de la máquina, para la puesta en producción, conjuntamente con operarios que formen al personal, para asegurar el buen funcionamiento de la misma.

Una instalación o un montaje mal realizado, puede reducir gradualmente la vida útil de la maquinaria y afectar la calidad de producción. La puesta en marcha debe realizarse juntamente con el equipo de montaje eléctrico y mecánico, por si al momento de someter los equipos a pruebas de encendido o de trabajo de producción presente problemas, se arregle *in situ*. Por lo general, una puesta en marcha solo se lleva a cabo cuando se inicia por primera vez el proceso de fabricación con maquinaria nueva, paradas de producción mayores o igual a un año y cualquier parada de emergencia que comprometa ajustes o calibraciones en el equipo.

Si la puesta en marcha es por equipo nuevo, esta es más complicada, pues debido a que todos los equipos son nuevos, es posible que no haya ajustado bien algunas piezas, materiales que sufrieron algún daño durante el embalaje, pérdidas de presión, no exista comunicación entre equipos y malos procedimientos por parte de los operadores, por no estar familiarizados. Esta puesta en marcha debe hacerse lo más estructurada posible y con disponibilidad de tiempo; cada equipo debe ser probado independientemente para el correcto funcionamiento. La forma más indicada es seguir una secuencia lógica de arrancada; primeros los servicios necesarios de alimentación y, posteriormente, cada uno de los procesos.

Figura 2. **Recomendación de puesta en marcha de los servicios**



Fuente: elaborado propia.

1.2.3.4. Nivelación

Es un método que indica el desnivel existente entre dos puntos mediante elementos graduados, que se colocan en posición horizontal o vertical sobre los puntos que se quiere nivelar. Una nivelación por alturas puede ser simple o compuesta. Es simple cuando los puntos que se quieren medir están a una distancia cercana. Si uno de los puntos que se quiere medir está a una distancia lejana y por mediciones intermedias, se lleva a esa distancia, a una nivelación compuesta.

1.2.4. Fugas de aire

Un sistema de aire comprimido está conformado por equipo de generación, tratamiento, trampas de condensado y una red de tuberías. Su objetivo principal

es el transporte y suministro de aire. En la mayoría de las industrias, se tienen fugas de aire, las que representan hasta un 30 % de la capacidad de la generación de los compresores. Este 30 % representa un bajo mantenimiento y un desperdicio energético. Una fuga está presente mayormente en la distribución o conexiones directas a máquina; estos puntos pueden ser válvulas mangueras, reguladores, conexiones rápidas, racores, herramientas neumáticas, juntas de tuberías y, raramente, está en equipo de generación (compresores).

Una fuga es el escape del aire al ambiente sin realizar un trabajo. Si el número de fugas aumenta, la presión de consumo de la máquina desciende. Lo que comúnmente se hace en este caso, es aumentar la presión de generación, pero sucederá una pérdida de aire aún mayor. Hasta las fugas de aire más pequeñas pueden agravar el desperdicio de productos y de energía, así como la pérdida de tiempo de producción, especialmente para una línea de producción que no puede funcionar sin el aire comprimido necesario para utilizar sus herramientas y procesos. Cuantas más fugas haya en el sistema, más tendrá que esforzarse el compresor para ofrecerle al equipo el aire necesario.

Otros problemas que genera una fuga, además de ser una fuente de desperdicio energético, son que pueden causar caídas de presión del sistema, esto provoca que los equipos neumáticos trabajen con una capacidad menor a la recomendada; acorta la vida útil del sistema de suministro, debido a la exigencia espontánea que se tiene por las caídas de presión y un mayor funcionamiento, lo cual lleva a prolongar mantenimiento y requerir operaciones adicionales.

Métodos de detección de fuga:

- A través de equipo ultrasónico, ya que le permitiría reconocer los sonidos de alta frecuencia asociados con las fugas de aire, y técnicos capacitados,

especialmente en ambientes con ruido constante y lugares de difícil acceso.

- Realizar auditorías regulares de fugas, para reducir los gastos de energía desperdiciados, debido a que, a simple vista son difíciles de detectar.
- Utilizar una prueba de purga, para cuantificar rápida y fácilmente la tasa de fuga de todo un sistema.
- Un manómetro o equipos neumáticos pueden ser indicadores si hay fugas; si su rendimiento es bajo al que normalmente trabaja, puede llegar a adoptarse un programa regular de detección y reparación de fugas.

1.2.4.1. Ahorro energético

En todas las industrias, el ahorro energético es de suma importancia, debido a que a mayor ahorro energético, las utilidades de la empresa aumentan. El uso de la electricidad y aire son dos factores fundamentales para realizar la mayor parte de actividades y procesos. En el ámbito industrial, la energía es lo que hace posible que todas las máquinas y equipos funcionen; sin la energía no se tendría las facilidades de hoy.

El ahorro de energía es fundamental, y muchas veces se tiene un desperdicio de energía por malas prácticas de mantenimiento. El ahorro no es significado de reducir los medios de trabajo, se trata de cambio, hábitos y actitudes que favorecen la eficiencia en el uso de energía.

1.2.4.2. Aire comprimido

Aire comprimido es el que se ha sometido a cierta presión, lo que obliga a las moléculas de aire a acercarse, por lo tanto, el volumen disminuye. Cuando se libera este aire, la presión de las moléculas se expande, provocando que la

energía que se genera en este proceso sea igual a la energía necesaria para comprimirlo. Estas moléculas tienen cierta cantidad de energía cinética. Entre esta energía y la temperatura hay una relación directamente proporcional.

En plantas, los sistemas de aire comprimido son la fuente de energía para elementos neumáticos, lo que permite el funcionamiento de máquinas, herramientas, robots, sistemas láser, sistemas de manipulación de productos, entre otros. Comprimir el aire es una excelente manera de almacenar y transmitir energía. El aire comprimido es flexible, versátil y relativamente seguro en comparación con otros medios de generar energía.

1.2.4.3. Ultrasonido

El ultrasonido detecta flujos turbulentos que se generan si hay una fuga de aire comprimido por algún orificio en un sistema cerrado, un mal acople de mangueras o equipos neumáticos dañados. El flujo puede ser escuchado con unos audífonos que son parte del equipo, y esto es a través de ondas sonoras. La detección de fugas mediante ultrasonido tiene una confiabilidad alta, ya que estos equipos cuentan con un ajuste de frecuencia para diferentes niveles de ruido, perfecto para implementarlos en planta, ya que es común el ruido por parte de las máquinas. Otra ventaja es que la medición es sencilla y rápida.

El equipo que se puede implementar como parte del mantenimiento es un detector acústico ultrasónico, para minimizar fugas y garantizar que los equipos funcionen adecuadamente, el cual permite reconocer los sonidos de alta frecuencia asociados con las fugas de aire. Después de detectar las fugas, deben ser reparadas. Es recomendable hacerlo con las fugas de mayor gasto energético.

2. FASE DE INVESTIGACIÓN

2.1. Estudio y detección de fugas de aire por medio de ultrasonido

Un estudio de fugas se basa en la detección, localización exacta y cuantificación de pérdidas en el sistema completo de aire comprimido y gases, a través de utilizar detectores ultrasónicos. El equipo de ultrasonido se encarga de encontrar ondas que causan vibraciones de alta frecuencia, que no son audibles para el oído humano. Cuando el aire comprimido viaja por las tuberías, el flujo es laminar, esto quiere decir que las moléculas transitan paralelamente; entonces, cuando ocurre una fuga de aire, el flujo cambia a turbulento el aire, ya no se mueve uniformemente a la misma dirección provoca dichas vibraciones.

Algunas de las consecuencias que se puede tener por fugas de aire son pérdida de energía o gases, pérdida económica, fluctuaciones de presión en los sistemas generadores, baja productividad y mal funcionamiento de equipos neumáticos.

Polímeros y Tecnología, actualmente, realiza en seis etapas el proceso productivo, las cuales son: extrusión, impresión, laminación, corte, montaje y *slitter*.

El estudio de análisis de fugas se realizó en todas las áreas. Se tomó de muestra el área de *Slitter*, y este proceso fue el mismo para todas las áreas. El estudio de detección de fugas es de un sistema en el cual circula aire comprimido.

Una fuga se considera crítica cuando el flujo de pérdida es $\geq 1,00$ CFM. En estos casos, se deben tomar acciones correctivas inmediatas para regular la pérdida de caudal. Una fuga es leve cuando el flujo de pérdida es $\leq 1,00$ CFM; se recomiendan tomar acciones preventivas para evitar que se vuelvan pérdidas mayores y de estado crítico; por lo mismo, se debe monitorear la condición, si se aumenta el caudal.

Tabla IV. **Identificación de piezas con fugas de aire comprimido**

ÁREA	PIEZA
<i>Slitter</i>	Rosca
<i>Slitter</i>	Racores
<i>Slitter</i>	Reducidor
<i>Slitter</i>	Manguera
<i>Slitter</i>	Llave
<i>Slitter</i>	Base
<i>Slitter</i>	Manómetro
<i>Slitter</i>	Filtro
<i>Slitter</i>	Regulador
<i>Slitter</i>	Acople
<i>Slitter</i>	Agarrador
<i>Slitter</i>	Válvula
<i>Slitter</i>	Unión

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de Polímeros y Tecnología.

La primera fuga detectada fue en el área de *Slitter*, se detectó en un racor, el cual alimenta una pistola de aire en la máquina *Slitter* n.º 03.

Tabla V. **Datos encontrados con ultrasonido en racor de pistola en máquina de *Slitter* 03**

No.	Pieza	Tamaño de fuga (dBμV)	Pérdida de SCFM
1	Racor	40	0,741
2	Reducidor	50	0,454

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos en Polímeros y Tecnología.

Figura 3. **Racor con fuga**



Fuente: elaboración propia, Área de *Slitter*, Polímeros y Tecnología.

Figura 4. **Identificación o etiquetado de la fuga**



Fuente: elaboración propia, Área de *Slitter*, Polímeros y Tecnología.

Debido a que los CFM perdidos en este racor es $\leq 1,00$ CFM, se consideró una pérdida leve, pero no se descarta el impacto de la fuga.

La segunda fuga detectada fue en un reductor en la pistola de la *Slitter* 03.

Figura 5. **Reductor con fuga**



Fuente: elaboración propia, Área de *Slitter*, Polímeros y Tecnología.

Figura 6. **Identificación y etiquetado de la fuga**



Fuente: elaboración propia, Área de *Slitter*, Polímeros y Tecnología.

Debido a que los CFM perdidos en este racor es $\leq 1,00$ CFM, se tomó como una pérdida leve, pero debe considerarse que en esta máquina ya se tienen 2 fugas, por tanto, la pérdida total será mayor. La tercera fuga detectada fue en una rosca en la alimentación hacia la pistola de la *Slitter 07*.

Tabla VI. **Datos encontrados con ultrasonido en rosca de pistola en máquina *Slitter 07***

No.	Pieza	Tamaño de fuga (dB μ V)	Pérdida de SCFM
1	Rosca	80,50 A = 20	1,882

Fuente: elaboración propia, con datos del área del Servicio Técnico.

Los CFM de pérdida es de 1,882 en la rosca; entonces, como los CFM perdidos son $\geq 1,00$, se consideró una fuga crítica; por tal razón, se debe reparar con la mayor prontitud posible.

Figura 7. **Rosca con fuga**



Fuente: elaboración propia, Área de *Slitter*, Polímeros y Tecnología.

Figura 8. **Identificación o etiquetado de la fuga**



Fuente: elaboración propia, Área de *Slitter*, Polímeros y Tecnología.

El área de *Slitter* cuenta con seis máquinas; al momento de terminar todo el estudio de fugas, en todas las máquinas se encontraron un total de once fugas.

Tabla VII. **Detección de fugas por máquina en el área de *Slitter***

Máquina	No.	Pérdida de CFM	Piezas
Slitter 02	1	1,882	Manguera
	2	1,593	Reducidor
Slitter 03	1	0,741	Racor
	2	0,454	Reducidor
Slitter 04	1	0,564	Válvula
Slitter 06	1	1,353	Rosca
	2	0,429	Rosca
Slitter 07	1	1,882	Rosca
	2	1,354	Reducidor
Slitter 08	1	0,784	Rosca
	2	1,593	Reducidor
Total:	11	12,629	

Fuente: elaboración propia, con del área del Servicio Técnico.

2.2. Análisis de ahorro energético y monetario

Para poder realizar el ahorro que se alcanzará al momento de mitigar todas las fugas, se tomaron en cuenta los datos de los compresores del sistema generador de aire comprimido. La distribución de aire es generada por seis compresores.

Tabla VIII. **Datos técnicos de los compresores**

Compresor	Capacidad (CFM)	Potencia del compresor	Eficiencia del motor
Sullair LS200	587	125 hp	95,4 %
Sullair LS200	587	125 hp	95,4 %
Sullair VCC200	587	125 hp	95,4 %
Sullair LS120	224	50 hp	95,4 %
Kaeser SF55-125	357	75 hp	93,6 %
Kaeser ASD 25-155	112	25 hp	91,7 %
Total	2454	525 hp	

Fuente: elaboración propia, con datos del área del Servicio Técnico.

Tabla IX. **Datos globales de la operación**

Horas de operación anual	8 400 horas
Costo de energía	0,08607 $\frac{\$}{kWh}$
CFM producidos	2454 CFM

Fuente: elaboración propia, con datos del área del Servicio Técnico.

Para el cálculo del ahorro o pérdida monetaria que se está teniendo por causa de las fugas, se debe conocer cuánta energía en kW se dispone de los seis compresores (la energía se tomará global); por lo tanto, se debe realizar la siguiente conversión:

Conversión de hp a kW:

$$kW = 525 \text{ hp} * \frac{0,746 \text{ kW}}{1 \text{ hp}} \quad [\text{Ec.1}]$$

$$kW = 391,65 \text{ kW}$$

Es indispensable saber cuánto es la energía necesaria para producir un CFM:

$$\frac{kW}{CFM} = \frac{kW \text{ de los compresores}}{CFM \text{ producidos}} \quad [\text{Ec. 2}]$$

El consumo de kW por CFM se obtiene utilizando la ecuación 2 de la siguiente manera:

$$\frac{kW}{CFM} = \frac{391,65 \text{ kW}}{2,454 \text{ CFM}}$$
$$\frac{kW}{CFM} = 0,159 \frac{kW}{CFM}$$

Al saber la energía que se requiere para la producción de un CFM y conocer la pérdida total de CFM en el área de Slitter, se puede encontrar la energía perdida, entonces:

$$kW \text{ perdidos} = \frac{kW}{CFM} * CFM \text{ perdidos} \quad [\text{Ec. 3}]$$

El reemplazar en la ecuación 3 con los datos obtenidos, se puede encontrar los kilowatts perdidos:

$$kW \text{ perdidos} = 0,159 \frac{kW}{CFM} * 12,629 \text{ CFM}$$
$$kW \text{ perdidos} = 2,00 \text{ kW}$$

Al tener el equivalente de kW en dólares, se obtiene la pérdida en dólares utilizando la ecuación 4 de la siguiente manera:

$$\text{Pérdida en dólares (\$)} = kW * \text{horas producidas} * \frac{\$}{kWh}$$

[Ec. 4]

$$\text{Pérdida en dólares (\$)} = 2,01 \text{ kW} * 8\,400 \text{ horas} * 0,08607 \frac{\$}{kWh}$$

Pérdida en dólares (\$) = 1451,88, anuales en el área de Slitter

Para conocer el porcentaje de CFM se aplica la ecuación 5

$$\% \text{ CFM producción} = \frac{CFM \text{ perdidos} * 100}{CFM \text{ producidos}} \quad [\text{Ec. 5}]$$

$$\% \text{ CFM producción} = \frac{12,63 * 100}{2\,454} = 0,51 \%$$

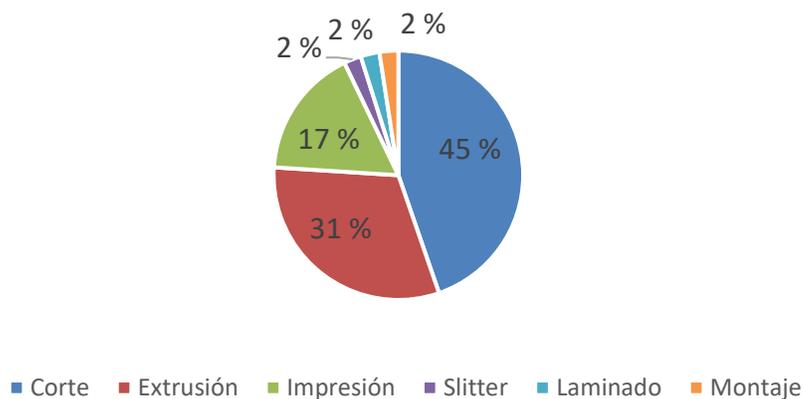
Al realizar el mismo análisis para las demás áreas, se tendrían los siguientes resultados:

Tabla X. **Resumen de ahorro y pérdida de CFM por área**

Área	Cantidad de fugas	CFM pérdida	kW perdidos	% CFM producción	Oportunidad de ahorro en \$
Corte	220	169,37	26,93	6,90	19 469,94
Extrusión	154	90,92	14,46	3,70	10 451,72
Impresión	83	60,50	9,62	2,47	6954,78
Slitter	11	12,63	2,00	0,51	1 451,88
Laminado	12	10,8	1,72	0,44	1 241,52
Montaje	12	4,81	0,76	0,20	552,93
Total	492	386,62	61,47	—	44 443,94

Fuente: elaboración propia, con datos del área del Servicio Técnico.

Figura 9. Fugas por área



Fuente: elaboración propia, con datos del área del Servicio Técnico.

Tabla XI. Resumen de fugas globales por piezas

Pieza	Fugas
Rosca	238
Racor	124
Reducidor	62
Manguera	11
Llave	9
Base	8
Manómetro	6
Filtro	6
Regulador	6
Acople	5
Agarrador	5
Válvula	5
Unión	2
Varios	2
Total	492

Fuente: elaboración propia, con datos del área del Servicio Técnico.

2.3. Ejecución de reparaciones

El primer paso para la ejecución de la reparación de fugas fue por medio de acciones correctivas inmediatas, con el objetivo de mitigar las fugas críticas. De igual forma, se capacitó al personal de mantenimiento, ya que se tiene un total de 238 fugas por roscas; esto es probablemente por un mal cambio o manipulación de la pieza. Al momento de detectar las fugas existentes en todos los equipos, se identificaron para una mejor visualización al momento de las reparaciones. Los cambios de piezas deben estar amarrados a los mantenimientos preventivos, debido a que las máquinas trabajan 24/7 o deben realizarse en paros imprevistos.

Los sistemas de aire comprimido son activos invaluable para las instalaciones en numerosas industrias, pero las fugas de aire podrían disminuir la eficiencia energética y perjudicar la producción.

3. FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL

3.1. Estudio de suelos

El estudio de suelos se realizó en el área a construir, con todos los aspectos que pueden afectar al proyecto desde el punto de vista geotécnico. Estos aspectos pueden ser: condiciones geológicas generales de la zona; características geotécnicas del subsuelo, con obtención de los distintos parámetros geotécnicos de los materiales; características químicas del terreno y las condiciones de cimentación: tipo de cimiento, cargas admisibles, entre otros.

Figura 10. Vista topográfica del área



Fuente: elaboración propia, Área de Corte, Polímeros y Tecnología.

Tabla XII. Datos de sondeo 1

PROF.	15	15	20		Compacidad	Resistencia	Resistencia		Coef.	Unid.	CLASIFICACIÓN Modelo de la estructura del terreno
m	cm	cm	cm	N	Relativa	Kg/cm ²	TON/m ²	Kpa	de Poisson	de masa [KN/m ³]	
0,5	4	4	4	8	Suelto	0,73	7,28	784,53	0,3	18	SM: Arenas limosas y mezclas de arena y limo
1	5	3	3	6	Suelto	0,55	5,46	588,4	0,4	21	CL: Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, acrílicas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres
1,5	1	1	2	3	Muy suelto	0,27	2,73	294,2	0,4	21	MH: Limos inorgánicos, limos micáceos o diatomáceos, más elásticos
2	8	8	11	19	Medio denso	1,73	17,29	1 862,26	0,4	21	MH: Limos inorgánicos, limos micáceos o diatomáceos, más elásticos
2,5	7	9	6	15	Medio denso	1,37	13,65	1 471	0,4	21	MH: Limos inorgánicos, limos micáceos o diatomáceos, más elásticos
3	5	5	7	12	Medio denso	1,09	10,92	1 176,8	0,4	20	ML: Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos
3,5	17	14	17	31	Denso	2,82	28,21	3 030,06	0,4	20	ML: Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos
4	18	13	13	26	Medio denso	2,37	23,06	2549,73	0,4	20	ML: Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos
4,5	15	14	16	30	Medio denso	2,73	27,3	2942	0,4	20	ML: Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos

Fuente: elaboración propia, con del laboratorio del área de Servicio Técnico.

Tabla XIII. Datos de sondeo 2

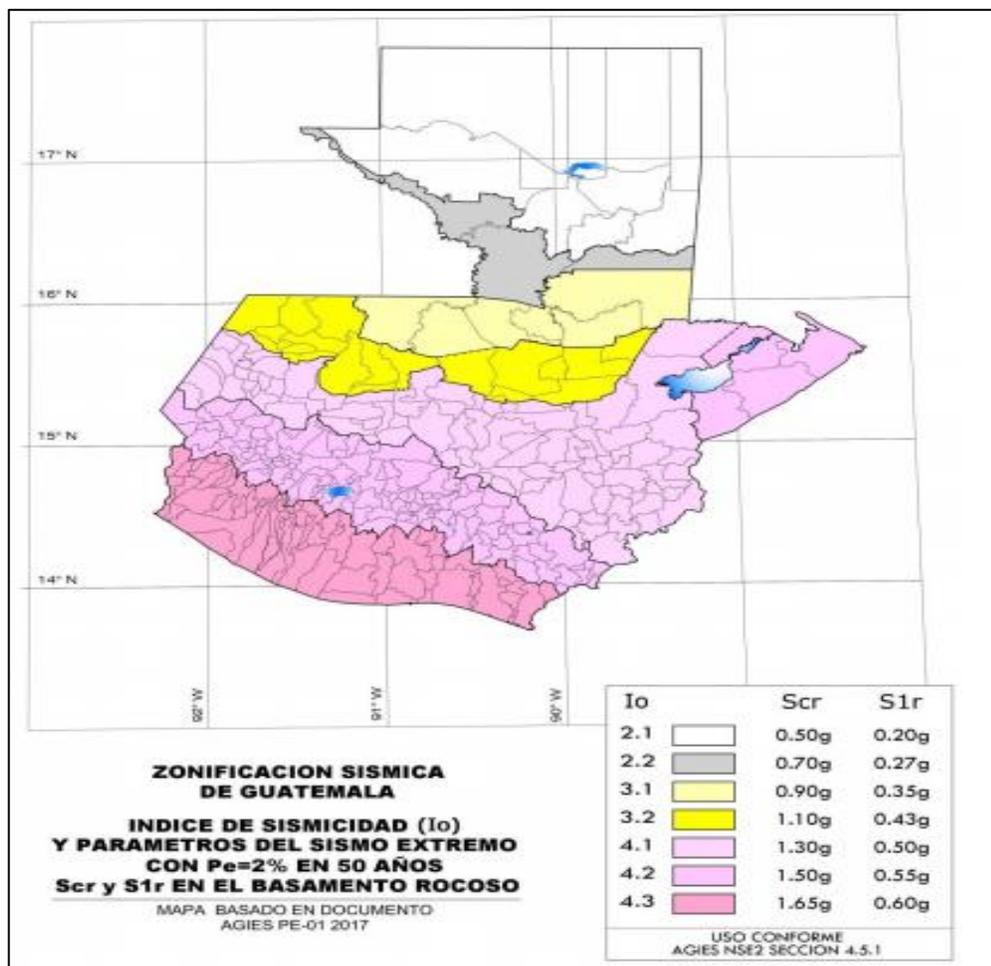
PROF.	15	15	20		Compacidad	Resistencia	Resistencia		Coef.	Unid.	CLASIFICACIÓN Modelo de la estructura del terreno
m	cm	cm	cm	N	Relativa	Kg/cm ²	TON/m ²	Kpa	de Poisson	de masa [KN/m ³]	
0.5	3	2	4	6	Suelto	0,55	5,46	588,40	0,35	18,5	SC: Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla
1	7	7	8	15	Medio Denso	1,37	13,65	1 471,00	0,4	21	MH: Limos inorgánicos, limos micáceos o diatomáceos, más elásticos
1.5	10	8	9	17	Medio Denso	1,55	15,47	1 667,13	0,4	21	MH: Limos inorgánicos, limos micáceos o diatomáceos, más elásticos
2	10	8	10	18	Medio denso	1,64	16,38	1 765,20	0,4	21	CL: Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, acrílicas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres
2.5	12	10	11	21	Medio denso	1,91	19,11	2 059,40	0,4	20	ML: Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos
3	18	13	18	31	Denso	2,82	28,21	3 040,06	0,4	20	ML: Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos
3.5	20	19	17	36	Denso	3,28	32,76	3 530,39	0,4	21	CL: Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, acrílicas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres
4	18	12	16	28	Medio denso	2,55	25,48	2 745,86	0,4	20	ML: Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos

Fuente: elaboración propia con datos del laboratorio del área de Servicio Técnico.

3.1.2. Índice de sismicidad

En la siguiente figura se muestra el índice de sismicidad de acuerdo a la región en la que se vaya a realizar alguna edificación u objeto.

Figura 12. Mapa de zonificación sísmica de Guatemala



Fuente: AGIES. NSE 2. *Demandas estructurales y condiciones de sitio*. p. 4-6.

El territorio de la República de Guatemala se divide en macrozonas de amenaza sísmica, estas son caracterizadas por su índice de sismicidad, que varía desde $I_0=2$ a $I_0=4$. Las macrozonas sísmicas se muestran gráficamente en la figura n.º 12,

Mapa de Zonificación Sísmica de la República; por consiguiente, se ubica el municipio de Villa Nueva, y se encuentra que tiene un S_{cr} de 1,65g y S_{1r} 0,60g y un índice de sismicidad de $I_0= 4$. Al hacer referencia a la Tabla 3, se encuentra que la obra a realizar es esencial.²

Tabla XIV. **Tabla de protección de sismicidad y probabilidad del sismo de diseño**

Índice de Sismicidad	Clase de obra			
	Esencial	Importante	Ordinaria	Utilitaria
$I_0 = 5$	E	E	D	C
$I_0 = 4$	E	D	D	C
$I_0 = 3$	D	C	C	B
$I_0 = 2$	C	B	B	A
Probabilidad de exceder un sismo de diseño	5% en 50 años	5% en 50 años	10% en 50 años	No aplica
a) ver clasificación de obra en Capítulo 3, norma NSE 1 b) ver índice de sismicidad en Sección 4.2.1 c) ver Sección 4.3.4, para selección de espectro sísmico de diseño según probabilidad de excederlo d) para ciertas obras que hayan sido calificadas como "críticas" el ente estatal correspondiente puede considerar probabilidad de excedencia de 2% en 50 años ($K_d = 1.00$ en sección 4.3.4) e) "esencial" e "importante" tienen la misma probabilidad de excedencia – se diferencian en el Nivel de Protección y en las deformaciones laterales permitidas				

Fuente: AGIES. NSE 2. *Demandas estructurales y condiciones de sitio*. p. 4-2.

Para poder encontrar el nivel mínimo de protección sísmica y probabilidad del diseño, se debió conocer la clase de obra y el índice de sismicidad; entonces, se clasifica la obra como E. Esta clasificación define el sismo para el diseño estructural.

- Cálculo para ajuste de sitio

² AGIES. NSE 2. *Demandas estructurales y condiciones de sitio*. p. 35-38.

$$S_{CS} = S_{Cr} * F_a \quad [\text{Ec. 6}]$$

$$S_{1s} = S_{1r} * F_v \quad [\text{Ec. 7}]$$

Los valores de F_a y F_v se encuentran en la imagen 14 y 15, con el índice de sismicidad y la clase de sitio ya establecido.

Tabla XV. **Coefficiente de sitio F_a**

Clase de sitio	Índice de sismicidad				
	2a	2b	3a	3b	4
AB	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.2	1.0	1.0	1.0	1.0
D	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0
E	1.7	1.2	1.0	0.9	0.9
F	se requiere evaluación específica -- ver sección 4.4.1				

Fuente: AGIES. NSE 2. *Demandas estructurales y condiciones de sitio*. p. 4-7.

Tabla XVI. **Coefficiente de sitio F_v**

Clase de sitio	Índice de sismicidad				
	2a	2b	3a	3b	4
AB	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
D	2.0	1.8	1.7	1.6	1.5
E	3.2	2.8	2.6	2.4	2.4
F	se requiere evaluación específica -- ver sección 4.4.1				

Fuente: AGIES. NSE 2. *Demandas estructurales y condiciones de sitio*. p. 4-7.

Entonces, sustituyendo valores con datos de la figura 12, 14 y 15 se obtiene:

$$S_{CS} = 1,65g * 0,90 = 1,49g$$

$$S_{1s} = 0,60 * 2,40 = 1,44g$$

El ajuste por intensidades sísmica especiales como el factor N_v y el factor N_a ascienden a un valor de uno, los valores del S_{CS} y S_{1s} ; quedan con los mismos valores encontrados.

Tabla XVII. **Factor de escala para el periodo de transición**

FACTORES DE ESCALA			TABLA 4.8 FACTORES DE ESCALA
TIPO DE SISMO	PROBABILIDAD	FACTOR K_d	
ORDINARIO	10 % DE SER EXCEDIDO EN 50 AÑOS	0.66	
SEVERO	05% DE SER EXCEDIDO EN 50 AÑOS	0.80	
EXTREMO	02% DE SER EXCEDIDO EN 50 AÑOS	1.00	
MINIMO	CONDICION DE EXCEPCION	0.55	

Fuente: AGIES. NSE 2. *Demandas estructurales y condiciones de sitio*. p. 4-8.

Para calcular el espectro calibrado al nivel del diseño requerido, se utilizó la siguiente ecuación:

$$S_{Cd} = K_d * S_{CS} \quad [\text{Ec. 8}]$$

$$S_{1d} = K_d * S_{1s} \quad [\text{Ec. 9}]$$

Al sustituir valores en las ecuaciones n.º 8 y n.º 9 se obtiene:

$$S_{Cd} = 0,80 * 1,49 = 1,192g$$

$$S_{1d} = 0,80 * 1,44 = 1,152g$$

Para poder encontrar la aceleración máxima, se utilizó la ecuación 9 y para el componente vertical del sismo de diseño se utilizó la ecuación 8.

$$AMS_d = 0,40 * S_{Cd} \quad [\text{Ecuación n.º 10}]$$

$$S_{vd} = 0,15 * S_{Cd} \quad [\text{Ecuación n.º 11}]$$

Al sustituir valores en la ecuación n.º 10 y n.º 11, con el valor encontrado con la ecuación n.º 8, se tiene lo siguiente:

$$AMS_d = 0,40 * 1,192 = 0,4768 \text{ g}$$

$$S_{vd} = 0,15 * 1,192 = 0,1788 \text{ g}$$

Al ser catalogado el suelo como F- E, se tiene una velocidad de onda de corte de 180 m/s; el material presenta licuefacción y es licuable en presencia de un terremoto de las profundidades de 0 a 1,50 metros y de 2,00 a 3,00 metros. Y 3,00 a 4,50 metros el suelo no se licua. El diseño sismo resistente se basa en evitar pérdidas de vidas humanas, la defensa de estructuras y propiedades, así como el mantenimiento de la estabilidad social tras un terremoto.

3.1.3. Resultados de correlación

A continuación, se presentan los resultados de correlación que se obtuvieron en los sondeos 1 y 2 realizados para determinar el tipo de cimentación que se emplearía.

Figura 13. **Resistencia de suelo con ensayo de penetración sondeo 1**

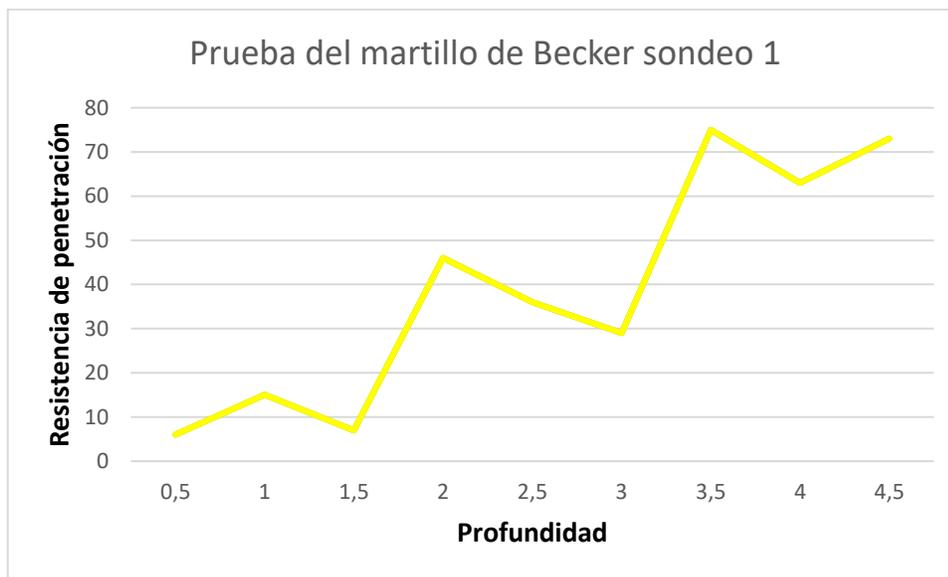


Fuente: elaboración propia, con datos del área del Servicio Técnico.

En la gráfica, se muestra el único punto ideal de mayor resistencia mecánica del suelo en la profundidad de 4,5 metros, en donde se podría situar el inicio de la mejora del terreno. Todos los demás puntos tienen una resistencia muy baja.

En la tabla X, se puede observar que la zona más satisfactoria se encuentra entre los 3,50 a 4,50 metros de profundidad. En los demás estratos, el suelo se deforma, ya que cuando se tiene un menor contenido de humedad surge un aumento de la succión y la rigidez del suelo. Las cimentaciones construidas sobre suelos que licuan están sometidas a grandes asentamientos, desplazamiento lateral y falla de la cimentación y de la estructura. Por lo tanto, no está permitido cimentar directamente sobre suelos licuables.

Figura 14. Prueba de martillo de Becker sondeo 1

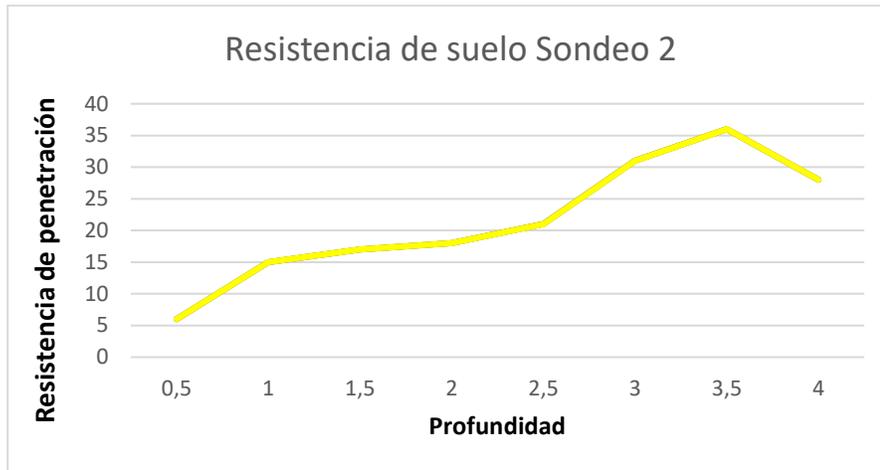


Fuente: elaboración propia, con datos del área del Servicio Técnico.

La gráfica de la prueba de martillo de Becker dice que a la profundidad de 3,5 metros se encuentra el valor más alto.

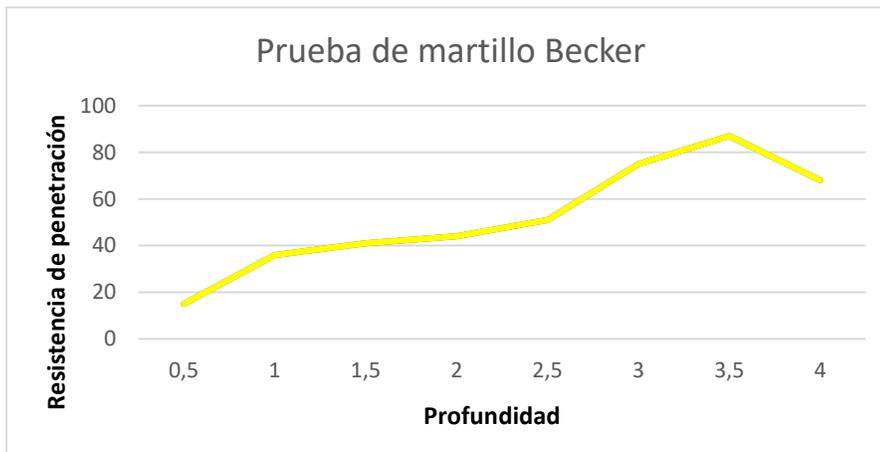
En el sondeo 2, se tienen las mismas pruebas, las cuales se presentarán a continuación:

Figura 15. **Prueba de ensayo de penetración sondeo 2**



Fuente: elaboración propia, con datos del área del Servicio Técnico.

Figura 16. **Prueba de martillo de Becker sondeo 2**



Fuente: elaboración propia, con datos del área del Servicio Técnico.

Del sondeo 1, se concluye lo siguiente:

- De 0,00 a 1,00 metro de profundidad:

El estudio representa un suelo suelto, con porcentajes de humedad de 11,79 y 25,58 % y una resistencia de 0,73 y 0,55 kg/cm². Muestras una capacidad de soporte del suelo baja, lo cual presenta licuefacción en presencia de un terremoto.

- De 1,00 a 1,50 metros de profundidad:

El estudio de suelo representa un suelo muy suelto, con porcentajes de humedad de 47,13 % y una resistencia de 0,27 kg/cm². Refleja una capacidad de soporte del suelo muy baja, lo cual presenta licuefacción en presencia de un terremoto.

- De 1,50 a 3,00 metros de profundidad:

El estudio representa un suelo medio denso, con porcentajes de humedad de 39,66, 26,28 y 31,85 % y una resistencia de 1,73, 1,37 y 1,09 kg/cm². Muestra una capacidad media de soporte del suelo. No presenta licuefacción ante un terremoto de la profundidad de 1,50 metros a 2,50 metros.

- De 3,00 a 3,50 metros de profundidad:

El estudio representa un suelo denso, con porcentajes de humedad de 35,15 %, y una resistencia de 2,82 kg/cm². Presenta una capacidad alta de soporte del suelo. No existe licuefacción en presencia de un terremoto.

- De 3,50 a 4,50 metros de profundidad:

El estudio representa un suelo medio denso, con porcentajes de humedad de 39,74 y 28,72 % y una resistencia de 2,37 y 2,73 kg/cm². Tiene una capacidad media de soporte del suelo. No presenta licuefacción en presencia de un terremoto.

Del sonde 2 se concluye lo siguiente:

- De 0,00 a 0,50 metro de profundidad:

El estudio de suelo representa un suelo suelto, con porcentajes de humedad de 9,16 %, y una resistencia de 0,55 kg/cm². Manifiesta una capacidad baja de soporte del suelo, por lo que manifiesta licuefacción en presencia de un terremoto.

- De 0,50 a 2,50 metros de profundidad:

El estudio representa un suelo medio denso, con porcentajes de humedad de 30,35, 43,93, 32,85 y 36,21 por ciento y una resistencia de 1,37, 1,55, 1,64 y 1,91 kg/cm². Tiene una capacidad media de soporte del suelo. No presenta licuefacción en frente a un terremoto.

- De 2,50 a 3,50 metros de profundidad:

El estudio representa un suelo denso, con porcentajes de humedad de 31,16 y 30,00 % y una resistencia de 2,82 y 3,28 kg/cm². Manifiesta una capacidad alta de soporte del suelo. No presenta licuefacción frente a un terremoto.

- De 3,50 a 4,00 metros de profundidad:

El estudio representa un suelo medio denso, con porcentajes de humedad de 27,85 %, y una resistencia de 2,55 kg/cm². Refleja una capacidad media de soporte del suelo. Por lo tanto, no presenta licuefacción en un terremoto.

En el sondeo 1, los primeros estratos son bajos en los primeros metros siendo de 0 a 1,50 metros. Después de esta profundidad, mejora la resistencia mecánica del suelo. En este caso, se puede transmitir las cargas a la profundidad de 2,00 metro. En el sondeo 2, el suelo presenta una baja resistencia de 0 a 0,50 metros, aunque, a partir de 1,00 metro, mejora la resistencia mecánica.

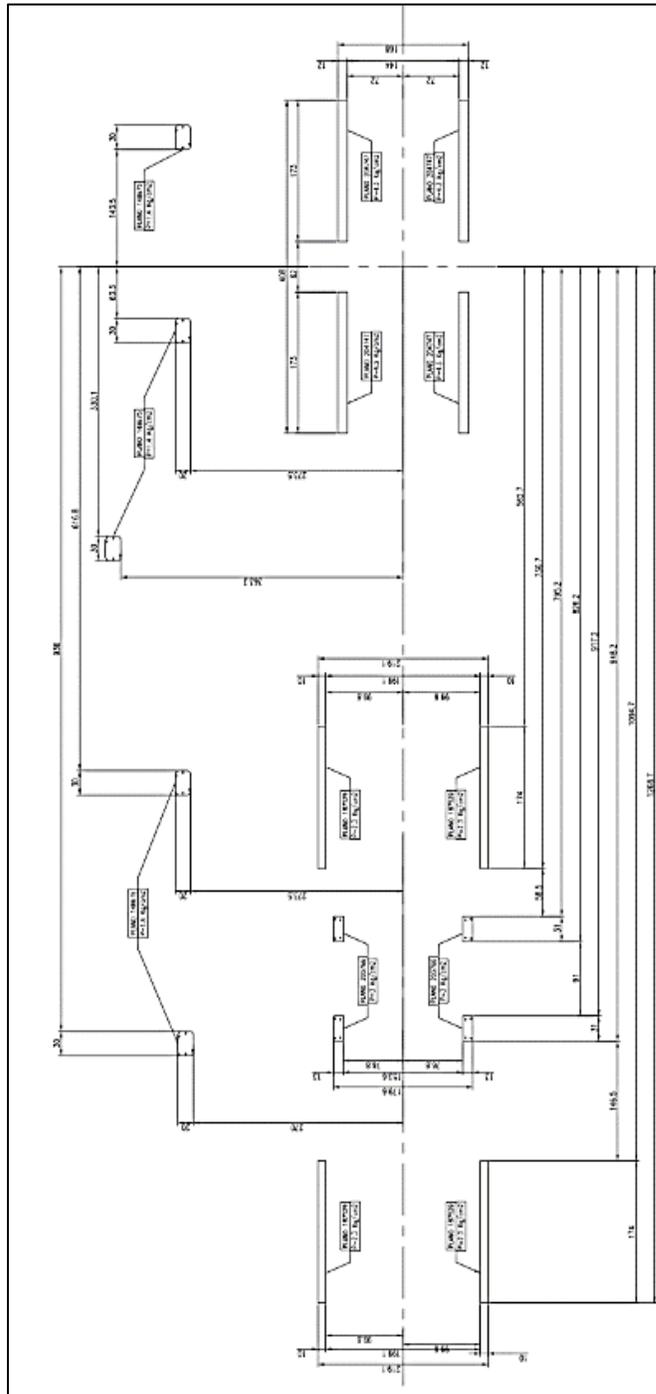
3.2. Cimentación

La cimentación que se realizó fue una losa por la facilidad en construcción, confiabilidad y para obtener los mejores resultados en nivelación de la máquina. Dos factores que se deben tener en cuenta son la capacidad portante del terreno y la presión que ejercen los pasamanos sobre el suelo.

3.2.1. Especificaciones para la cimentación

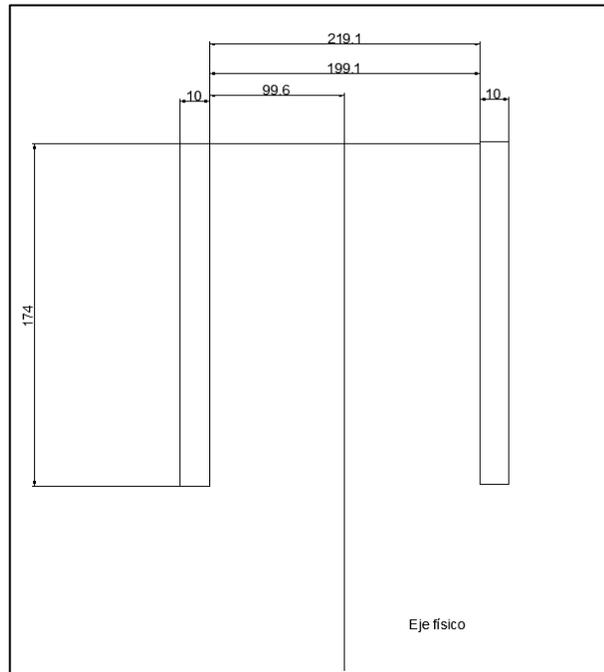
A continuación, se presenta el plano de pasamanos de la impresora, los cuales servirían para las especificaciones para la cimentación.

Figura 17. Plano de pasamanos de las piezas principales de la máquina



Fuente: elaboración propia, Laboratorio del área de Servicio Técnico, Polímeros y Tecnología.

Figura 18. **Área de rebobinador y desbobinador**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2019.

Se calculó el área de los pasamanos, pues se tiene una zona rectangular. Al saber que el área es $a*b$, entonces:

- Cálculo de área de pasamanos:

$$\text{área}_{\text{pasamanos}} = a * b \quad [\text{Ec. 12}]$$

Donde:

$\text{área}_{\text{pasamanos}}$ = área de pasamanos del rebobinador y desbobinador

a = largo del pasamanos

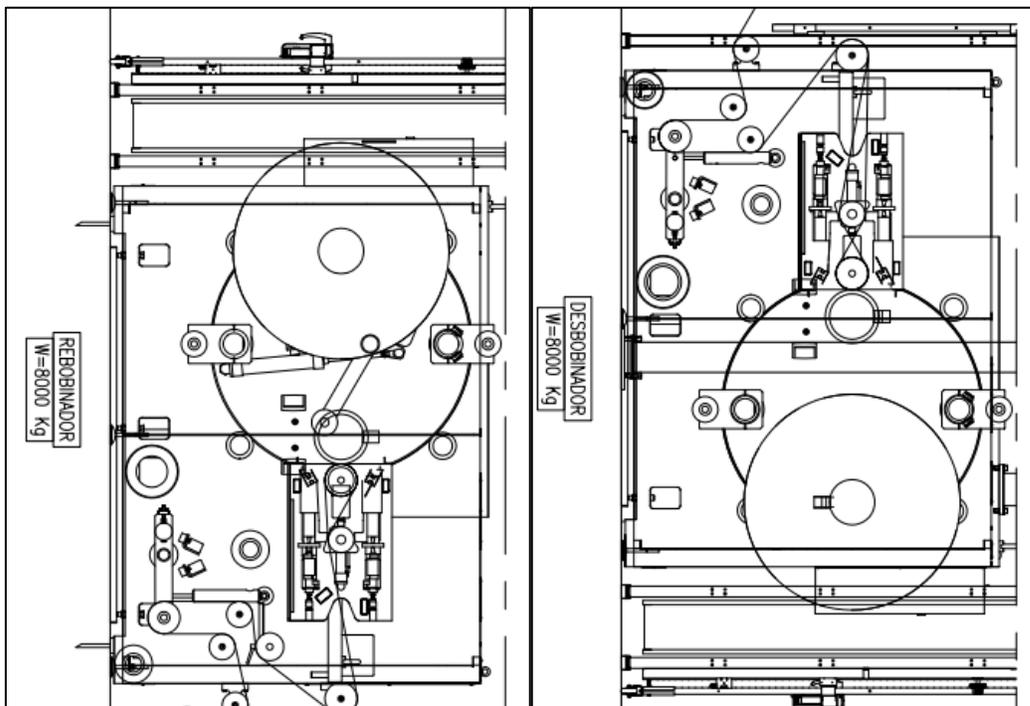
b = base del pasamanos

Sustituyendo en la ecuación 12 con datos de la figura 20, se obtiene:

$$\text{área}_{\text{pasamanos}} = 10 \text{ cm} * 174 \text{ cm}$$

$$\text{área}_{\text{pasamanos}} = 1740 \text{ cm}^2$$

Figura 19. Especificación de peso de rebobinador y desbobinador



Fuente: elaboración propia, Laboratorio del área de Servicio Técnico, Polímeros y Tecnología.

- Cálculo de presión ejercida en los pasamanos:

$$P = \frac{F}{A} \quad [\text{Ec. 13}]$$

Donde:

P= presión

F= fuerza

A= área

Sustituyendo en la ecuación 13, se obtiene la presión en los pasamos, siendo:

$$P = \frac{4\,000\text{ kg}}{1\,740\text{ cm}^2}$$

$$P = 2,3 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Cada pasamanos del desbobinador y rebobinador soportará $2,3 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$.

Se tomó en consideración que el peso será distribuido por el número de pasamanos, en este caso será de dos.

Al tener el mismo criterio, se tienen los siguientes valores de pasamanos para calandra y cuerpo impresor.

Tabla XVIII. **Datos de la presión ejercida en los pasamanos de máquina**

Equipo	Pasamanos	Área cm^2	Peso total [kg]	Peso por pasamanos [kg]	Presión ejercida $\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$
Rebobinador	1	1 740	8 000	4 000	2,3
	2	1 740	8 000	4 000	2,3
Calandra	1	403	4 800	1 200	3
	2	403	4 800	1 200	3
	3	403	4 800	1 200	3
	4	403	4 800	1 200	3

Continuación de la tabla XVIII.

Desbobinador	1	1 740	8 000	4 000	2,3
	2	1 740	8 000	4 000	2,3
Cuerpo impresor	1	2 076	3 6000	9 000	4,3
	2	2 076	3 6000	9 000	4,3
	3	2 076	3 6000	9 000	4,3
	4	2 076	3 6000	9 000	4,3

Fuente: elaboración propia, con datos del área de Servicio Técnico.

3.2.1.1. Determinación de la losa

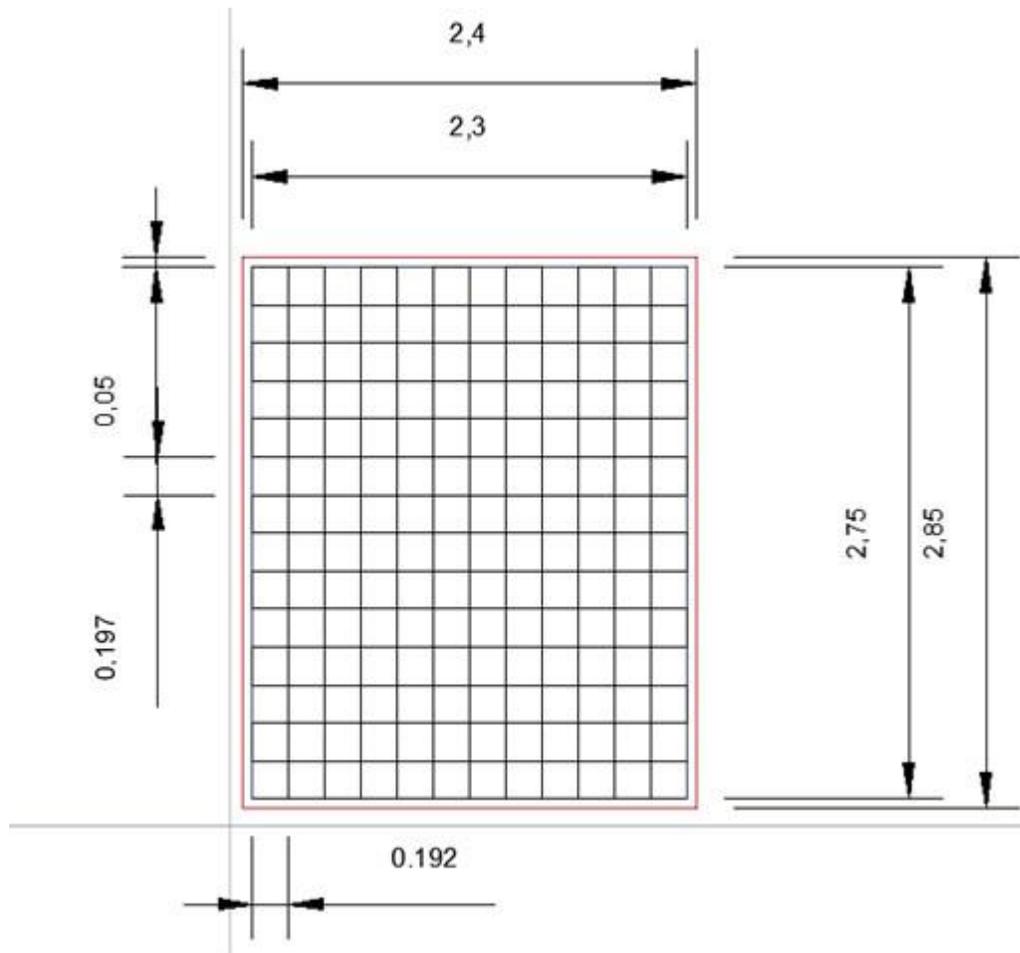
Para la determinación de la losa es importante conocer la capacidad portante del terreno, límites de esfuerzo, límites de tensión, límites de compresión, entre otros. Con ayuda del ensayo de terreno, se conoce qué tipo de suelo se tiene y sus características mecánicas. En este caso, se realizó una losa escalonada, la cual va variando su forma en función del equipo de la máquina. Del análisis del suelo, se observa que el punto ideal para cimentar es a cuatro metros, pero una recomendación en este tipo de trabajo es compactar el terreno.

La composición del terreno a dos metros no posee las condiciones ideales, pero esta categorizado como un suelo medio denso, por lo que se extrajo dos metros de suelo y se reemplazó con selecto bien graduado y con un contenido grueso de grava o pedrín de $\frac{1}{4}$ ", aproximadamente, posteriormente se compactó con bailarinas en capas de 15 cm.

El material de sustitución puede ser mezcla de 50 % de selecto más 50 % de pedrín, y no es necesario agregar cemento. Para las camas, se utilizó acero

de refuerzo grado 60 (F_y de 60 000 psi) y de concreto para la fundición $F'c$ de 4 000 psi.

Figura 20. Armadura para desbobinador y rebobinador



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2019.

Para la armadura, se utilizó dos camas con las siguientes dimensiones: $(2,75 \cdot 13) + (2,3 \cdot 15) + (0,22 \cdot 28)$. De igual forma, se utilizó una armadura para el cuerpo impresor, calandra y columnas, con las siguientes medidas:

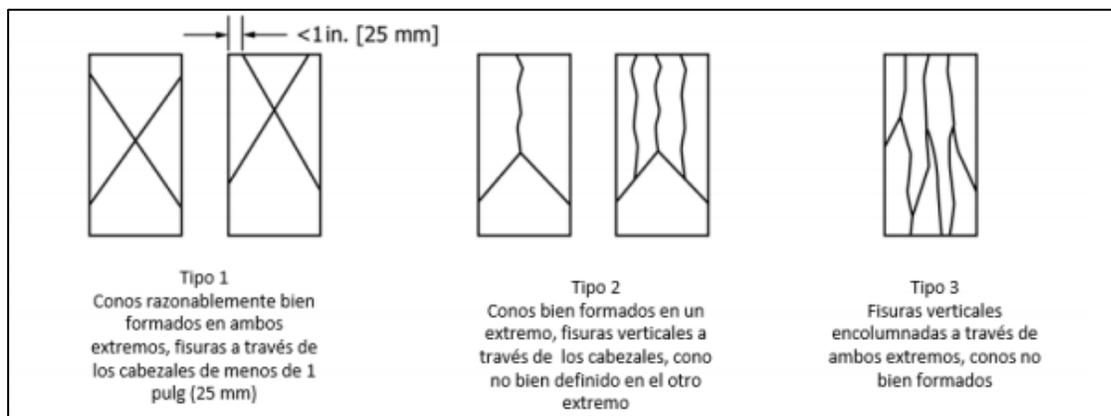
- Cuerpo impresor: 2 camas * (2,58*26) + (4,98*14) + (0,22*40)
- Calandra: 2 camas * (2,206*11) + (1,94*12) + (0,22*23)
- Columnas: 2 camas * (0,8*6) + (0,9*5) + (0,22*11)

3.2.1.2. Ensayo de concreto

Cuando se aplicó el concreto en la armadura para concluir con la cimentación, se extrajo una muestra para realizar una prueba de resistencia a la compresión, para avalar la calidad y resistencia del concreto. La muestra es de un diámetro de 4 pulgadas y un área de 12,57 pulgadas². La muestra debe tener una edad de 28 días.

Se realizaron dos ensayos con las mismas características. En el ensayo n.º 1 de compresión, se administró una carga de 80 550 lbf y tuvo una resistencia de 6 410 psi. Presentó una falla tipo 2. En el ensayo n.º 2, se administró una carga de 80 700 lbf y obtuvo una resistencia de 6 430 psi y, de igual forma, tuvo una falla tipo 2.

Figura 21. Tipos de fallas típicas en ensayo de compresión



Continuación de la figura 12.



Fuente: elaboración propia, con datos extraídos de ASTM C- 39.

3.3. Montaje Mecánico

Cualquier tipo de montaje sin una planificación difícilmente puede llevarse a cabo sin saber todos los trabajos que conlleva, por lo tanto, se realizó un plan tentativo del montaje, el cual se presenta a continuación:

Tabla XIX. Calendario de actividades para el montaje de la impresora

ACTIVIDAD	JULIO				AGOSTO				SEPTIEMBRE				OCTUBRE				NOVIEMBRE				DICIEMBRE			
	S 1	S 2	S 3	S 4	S 1	S 2	S 3	S 4	S 1	S 2	S 3	S 4	S 1	S 2	S 3	S 4	S 1	S 2	S 3	S 4	S 1	S 2	S 3	S 4
Reorganizaci- ón de espacio de calidad y BMP	■																							
Toma de muestra de suelo		■																						
Resultados de análisis			■	■																				
Diseño estructural					■																			
Cotizar cimientos y seleccionar mejor opción						■	■																	

Tabla XX. **Lista de todos los equipos de la máquina**

Cantidad	Equipo	Peso neto en Kg	Peso bruto en Kg
2	Desbobinador y bobinador	2 360	2 400
1	Duplex desbobinador	4 840	4 850
1	Caja puerta de cristal	330	400
4	Pasamanos y tacos químicos	320	370
1	Duplex rebobinador	5 060	5 070
	Total	12 920	13 090
1	Túnel + escalera + 3 piezas largas	3 890	3 940
1	Escalera	79	80
2	Cajas camisas	725	775
1	Escalera	59	60
	Total	4 753	4 855
1	Caja con accesorios	3 490	4 690
1	Caja estructura video	2 700	3500
2	<i>Self cleaning</i>	680	730
	Total	6 870	8 920
1	Plataforma cuerpo impresor	1 940	1 960
1	Armario cuerpo impresor	1 285	1 295
1	<i>Palet donuts+</i> pies plataforma	2 130	2 530
	Total	6 640	7 370
1	Caja de video	645	655
1	Plataforma túnel secaje	2 040	2 060
1	Tratador	370	450
1	Excel protección	459	460
	Total	3 514	3 625
1	Cuerpo impresor	27 200	30 200
	Total	27 200	30 200

Fuente: elaboración propia.

A la llegada del transporte al lugar de destino, se deben de destapar los embalajes e inspeccionar:

- Roturas o golpes en los embalajes.
- Zonas húmedas en la mercancía.
- Piezas o componentes que se hayan movido durante el transporte.
- Piezas o componentes que aparezcan dañados.
- Agua acumulada (dentro del contenedor, camión o cajas).
- Cualquier otra anomalía.

Se deben tener en cuenta los accesos al interior de la planta, así como la capacidad de maniobra de los camiones, grúas y demás vehículos que intervengan en la descarga. Asimismo, deben considerarse las dimensiones de la puerta de entrada, la distancia entre columnas, la situación de otras máquinas, la altura de la nave y cualquier otro elemento que pueda dificultar las operaciones de descarga, ubicación y montaje.

La elevación de la máquina se realizó desde arriba, por medio de grúa o puente grúa. Para los elementos más pequeños o empaquetados sobre *pallets*, se precisa una carretilla elevadora.

Cuando el transporte es por vía marítima, las sales del mar pueden causar la formación de humedad dentro de los embalajes y corrosión en las piezas; por lo tanto, las piezas más delicadas son rociadas con un lubricante de protección antioxidante; los rodillos se cubren con cartón o cintas para embalaje. Por consiguiente, es necesario desembalar todas las partes de la máquina y dejarlas en un lugar seco y ventilado, para evitar fenómenos de corrosión y deterioro. Por otra parte, todas las partes de la máquina se depositan sobre el suelo liso, llano e idóneo para soportar el peso. Se debe comprobar que todas las partes se apoyan de modo estable. No amontonar las partes una sobre otra.

Figura 22. **Descarga del túnel de secado**



Fuente: elaboración propia, Área de Descarga, Polímeros y Tecnología.

Figura 23. **Ingreso de túnel de secado a planta**



Fuente: elaboración propia, Área de Descarga, Polímeros y Tecnología.

3.3.2. Marcaje de áreas específicas y colocación de partes principales

Al momento de terminar la descarga de todas las piezas de la máquina, se procedió con el marcaje de áreas de cada una de las partes; estas son: el desbobinador, el bobinador, la calandra y el cuerpo impresor. Se toma como punto cero el tambor central; esta es la parte principal, sin ella no se puede proceder con el montaje, ya que es el punto de referencia.

Con las medidas estipuladas en los planos, se procedió con la delimitación. La máquina abarca un total de 1 441,7 cm; del cuerpo impresor al desbobinador, 736,7 cm; del cuerpo impresor a la calandra, 948,2 cm y del cuerpo impresor al rebobinador, 1268,7 cm.

Figura 24. **Ubicación de desbobinador y calandra**



Fuente: elaboración propia, Área de Impresión, Polímeros y Tecnología.

Figura 25. **Delimitación de piezas de máquina**



Fuente: elaboración propia, Área de Impresión, Polímeros y Tecnología.

3.3.3. Eje físico

Se trazó un eje físico, el cual se definió a la mitad de toda la máquina tomando de referencia el tambor central; se encuentra a 72 cm de su centroide. Este eje es el que delimita el centroide de todas las demás piezas, y es de suma importancia para la alineación de cada una de las piezas; se trazó desde el tambor central hasta el rebobinador.

Figura 27. **Medición de eje físico en planta**



Fuente: elaboración propia, Área de montaje, Polímeros y Tecnología.

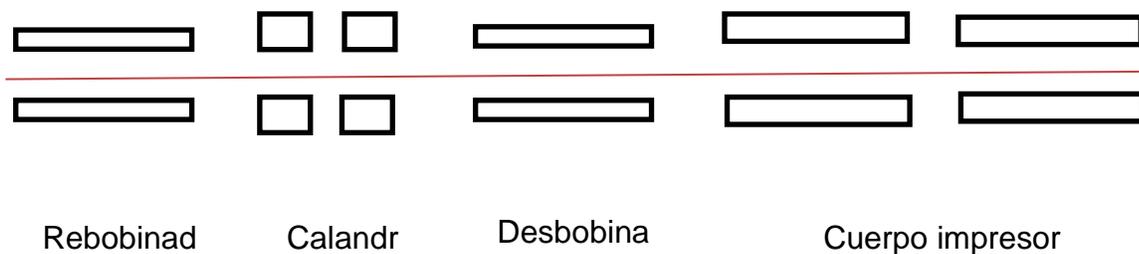
3.3.4. Base del montaje

La base de montaje o pasamanos son aquellos elementos mecánicos que están hechos de acero, donde se llevó a cabo la nivelación junto con unos tornillos de nivelación. Se recomienda atornillar desde 5 a 10 mm solo para asegurar los pasamanos; con la máquina, posteriormente, se hará la lineación, después de armar las bases de montaje.

Al momento en que el tambor central y la calandra estuvieron armados en sus respectivas áreas, con los pasamanos y nivelados, se procedió con la instalación del túnel de secado para evitar un pandeo por esfuerzos. Este montaje

debió realizarse antes, debido a que su nivelación se relaciona con estas dos piezas. El cuerpo impresor cuenta con cuatro pasamanos de 12 cm x 73 cm; en el desbobinador se tienen 2 pasamanos de 10 cm x 74 cm; en la calandra se tiene 4 pasamanos de 13 cm x 31 cm y el rebobinador, de 10 cm x 74 cm.

Figura 28. **Pasamanos de piezas de la impresora y eje físico**



Fuente: elaboración propia.

Figura 29. **Pasamanos del rebobinador y desbobinador**



Fuente: elaboración propia, Área de montaje, Polímeros y Tecnología.

Figura 30. **Pasamanos y tornillo de nivelación del cuerpo impresor**



Fuente: elaboración propia, Área de montaje, Polímeros y Tecnología

3.3.5. Nivelación

La nivelación de la máquina es lo más importante en el montaje; si no se nivela correctamente el cuerpo impresor, desbobinador, calandra, túnel de secado y el rebobinador, el sustrato puede tener problemas de desalineación a lo largo de la impresión, rasgamiento de la película hasta romperlo, tramas movidas, entre otros. Estos problemas podrían causar paros en producción y llegar a ser rechazos internos por falta de calidad; por tanto, la alineación es de suma importancia.

Para todas las piezas, se utilizó un nivelador de precisión, el cual es una herramienta diseñada para indicar si la superficie sobre la cual se colocó la pieza se encuentra con una inclinación. El nivel puede colocarse tanto horizontal como vertical. El uso del nivel de burbuja es bastante intuitivo.

Figura 31. Nivelador de precisión

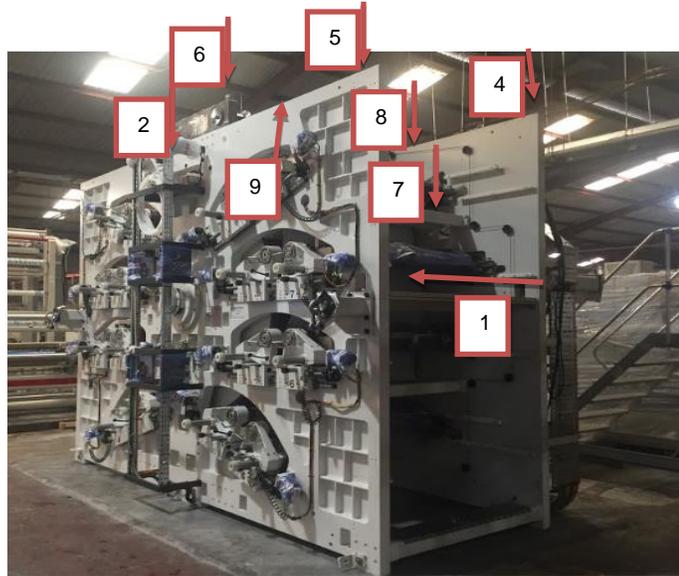


Fuente: elaboración propia, Área de montaje, Polímeros y Tecnología.

La primera pieza para nivelar es el cuerpo impresor. Aquí tienen que nivelar los siguientes nueve puntos:

- Tambor central
- Esquina superior frontal derecha
- Esquina superior frontal izquierda
- Esquina superior trasera derecha
- Esquina superior trasera izquierda
- Soporte superior frontal
- Soporte superior trasero
- Lateral derecho
- Lateral izquierdo

Figura 32. Nivelación de cuerpo impresor



Fuente: elaboración propia, Área de montaje, Polímeros y Tecnología.

Este trabajo se realizó con dos personas, ya que una persona estuvo equilibrando todas las partes con el nivelador de precisión y la otra persona con los pasamanos, platinas y los tornillos de nivel. Ajustó o desajustó la elevación de la máquina. Las platinas se implementan por si el tornillo y los pasamanos no son lo suficiente para elevar la máquina.

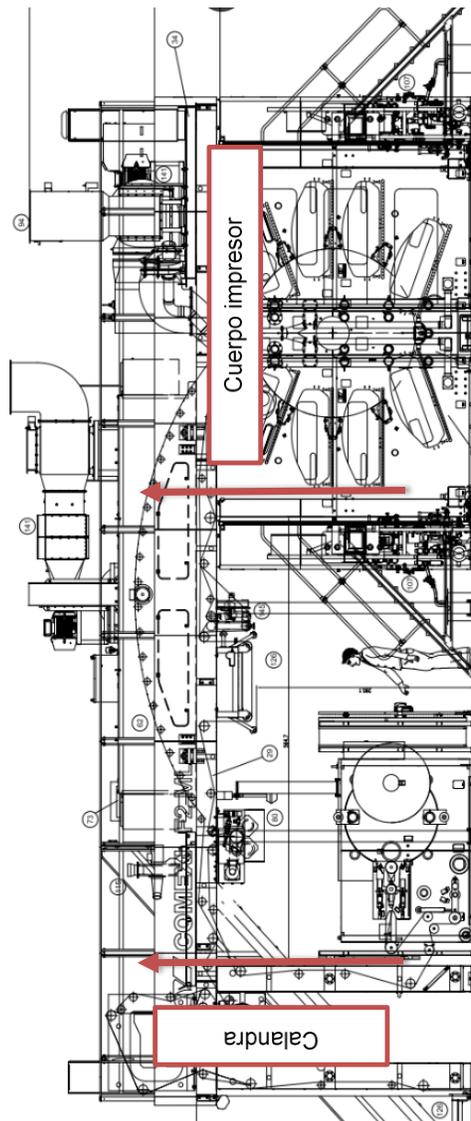
Figura 33. Platinas, pasamanos y tornillos de nivelación



Fuente: elaboración propia, Área de montaje, Polímeros y Tecnología.

Este mismo procedimiento se hace para el desbobinador, bobinador y calandra. Se debe tener cuidado en los puntos de nivelación (donde se coloca el nivelador de precisión).

Figura 34. Nivelación de calandra y cuerpo impresor



Fuente: elaborado por el fabricante para área de Servio Técnico.

Figura 35. **Calandra**



Fuente: elaboración propia, Área de montaje, Polímeros y Tecnología.

Para la nivelación, se necesitan pesos, los que aumentan la altura del cuerpo impresor para simular la altura de la calandra. Esta altura la compensa el túnel de secado. Los pesos se colocaron en la parte superior del cuerpo impresor, como se observa en la figura 35 y el hilo trazador llegó hasta la calandra. Poco a poco se iba nivelando. Si el peso fuera suficiente, se debe colocar un peso menor, como se observa en la figura 36.

Junto con el nivel de precisión, ajustándose, el hilo trazador hasta que esté totalmente nivelado. Luego se procedió a colocar el túnel de secado. Estas alineaciones se realizaron para evitar que el túnel se pandeara, debido a que hay más peso del lado derecho.

Figura 36. Nivelación de cuerpo impresor



Fuente: elaboración propia, Área de montaje, Polímeros y Tecnología.

Figura 37. Pesos de nivelación



Fuente: elaboración propia, Área de montaje, Polímeros y Tecnología.

Figura 38. **Elevación y colocación del puente del túnel de secado**

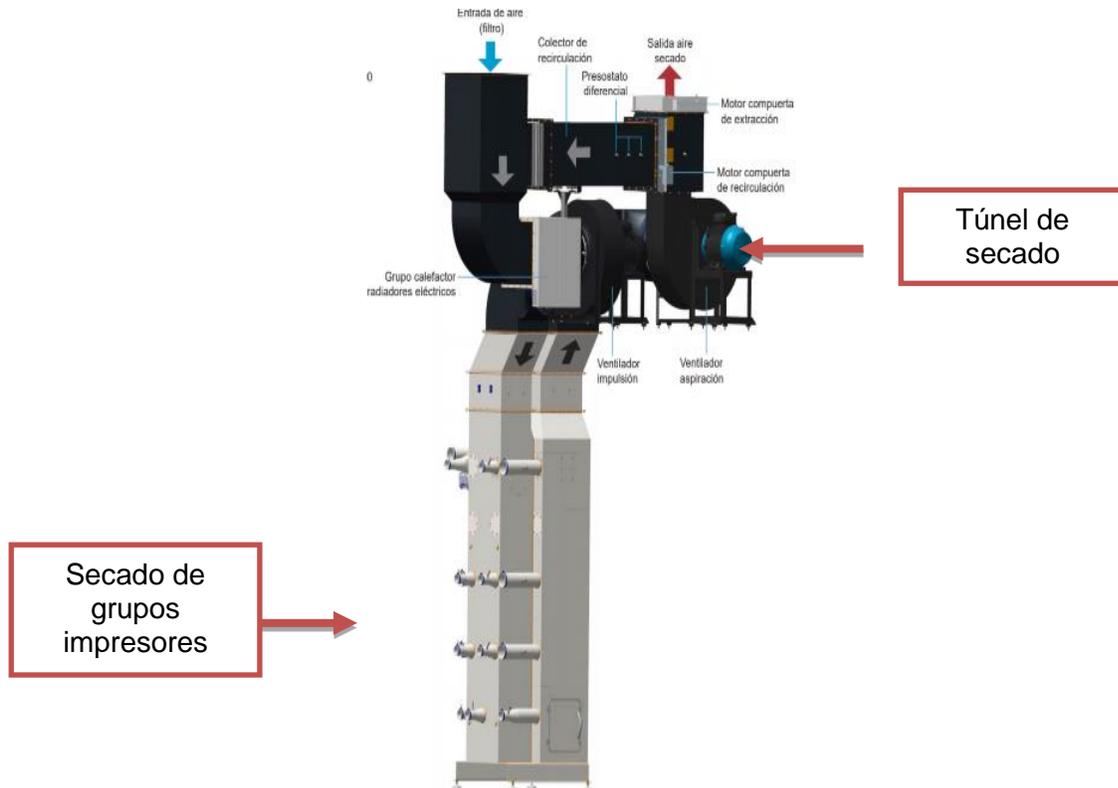


Fuente: elaboración propia, Área de montaje, Polímeros y Tecnología.

3.3.6. Túnel de secado

El sistema de secado está compuesto por dos módulos independientes: un módulo de secado entre grupos impresores y un módulo de secado de túnel. El principio de funcionamiento de cada uno de estos módulos es la impulsión de aire por medio de ventiladores. La altura máxima de estas tuberías debe ser de 3 metros (chimenea incluida). La presión estática a la salida del ventilador de extracción no debe ser superior a 500 Pa. Entre las bocas de entrada y salida de los ventiladores de la máquina y las tuberías de entrada y salida de aire, debió dejarse un tramo de 30 o 40 centímetros de conexión flexible, para evitar las posibles vibraciones que se podrían producir al estar unidos rígidamente los ventiladores y las tuberías.

Figura 39. **Sistemas de secado**



Fuente: elaboración propia, Servicio Técnico, Polímeros y Tecnología.

3.3.7. **Desarrollo de rodillos**

El desarrollo es la nivelación de rodillos del bobinador, desbobinador y calandra. Consistió en colocar a la misma distancia horizontal y paralelamente el desbobinador y la calandra, rebobinador y calandra; desbobinador y rebobinador. Si no se hace el desarrollo, puede haber problemas en la impresión por desplazamiento de la película o puede llegar a romperse. Otro problema que se presenta es que, al momento de rebobinar la bobina, el diámetro no es constante.

Figura 40. **Desarrollo entre desbobinador y rebobinador**



Fuente: elaboración propia, Área de montaje, Polímeros y Tecnología.

Los rodillos poseen un grabado en él que permite mejorar la sujeción de la película. Tienen un centroide. Este centroide debe coincidir en cada uno de los rodillos; por lo que se tomó el rodillo de arriba como referencia, y se hizo la nivelación con hilo trazador y un peso.

Figura 41. **Centroide de los rodillos**



Fuente: elaboración propia, Área de montaje, Polímeros y Tecnología.

3.3.8. Anclaje de máquina

El anclaje de máquina se realizó a través de un químico que tiene un cátodo que reacciona al momento de quebrarse. El químico que se utilizó es Fischer RM II 16. La cápsula de resina RM II 16 es especialmente para hormigón fisurado. Al momento de realizar la perforación, se debe tener mucho cuidado con limpiar el orificio, ya que si se encuentra con residuos de polvo, este puede no reaccionar y no tener la sujeción adecuada con el tornillo. El secado es instantáneo, no es necesario esperar días.

La cápsula de resina RM II contiene resina de viniléster, libre de estireno y endurecedor. El procedimiento para el anclaje con la cápsula de RM II es realizar un agujero (cada pasamanos o base trae de fábrica los agujeros) de 18 mm de diámetro y una profundidad de 125 mm con un martillo perforador. Posteriormente, se limpia el agujero con una aspiradora para eliminar cualquier resto de polvo. Se coloca la cápsula de RM II 16, y con la respectiva herramienta de inserción, se procede a destruir la cápsula. Se mezcla el cátodo con el químico, el cual reacciona y realiza la sujeción del tornillo en toda la superficie de la pared de la perforación.

Figura 42. **Cápsula de RM II 16**



Fuente: elaboración propia, Área de montaje, Polímeros y Tecnología.

Figura 43. **Agujero con martillo perforador para fijación**



Fuente: elaboración propia, Área de montaje, Polímeros y Tecnología.

Figura 44. **Sujeción de tornillo con pared de hormigón**



Fuente: elaboración propia, Área de montaje, Polímeros y Tecnología.

3.4. Montaje eléctrico de instalación de servicios

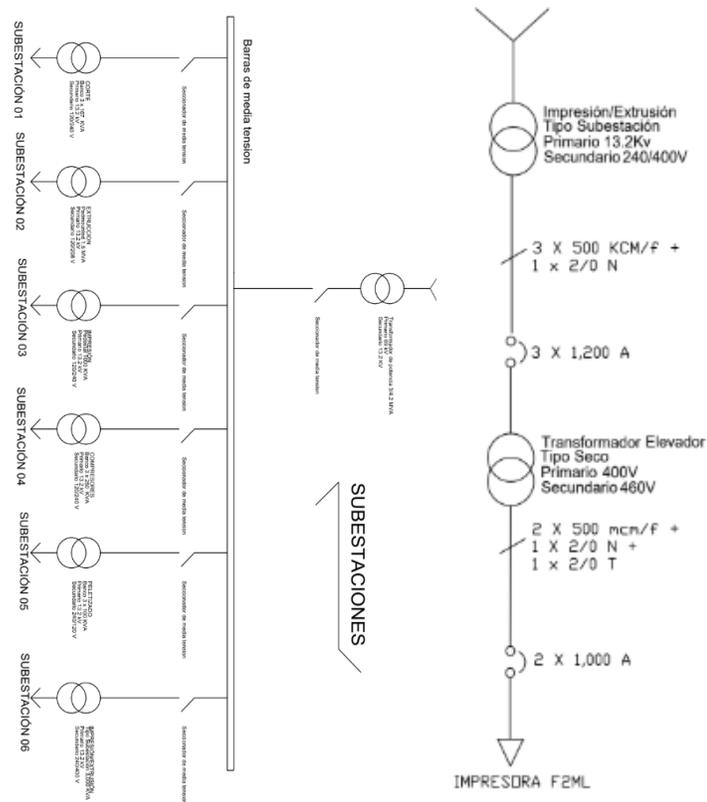
Para el montaje eléctrico de instalaciones de servicios se debe conocer el voltaje que necesita la maquinaria y el voltaje que se maneja de las subestaciones, para tener una correcta alimentación y evitar inconvenientes al poner en marcha la máquina.

3.4.1. Instalación eléctrica

La máquina necesitaba una alimentación de 460 Voltios, pero se contaba con subestaciones que entregaban 400 Voltios. La máquina poseía integrado un transformador, el cual necesitaba un voltaje primario de 400 Voltios y el secundario 460 Voltios. Para el cable se eligió uno de 500 Kcmill utilizando tablas

de AWG, pues se tiene conocimiento que la máquina necesita 630 Amperios. Se utilizaron tres cables por fase.

Figura 45. Esquema unifilar de instalación eléctrica

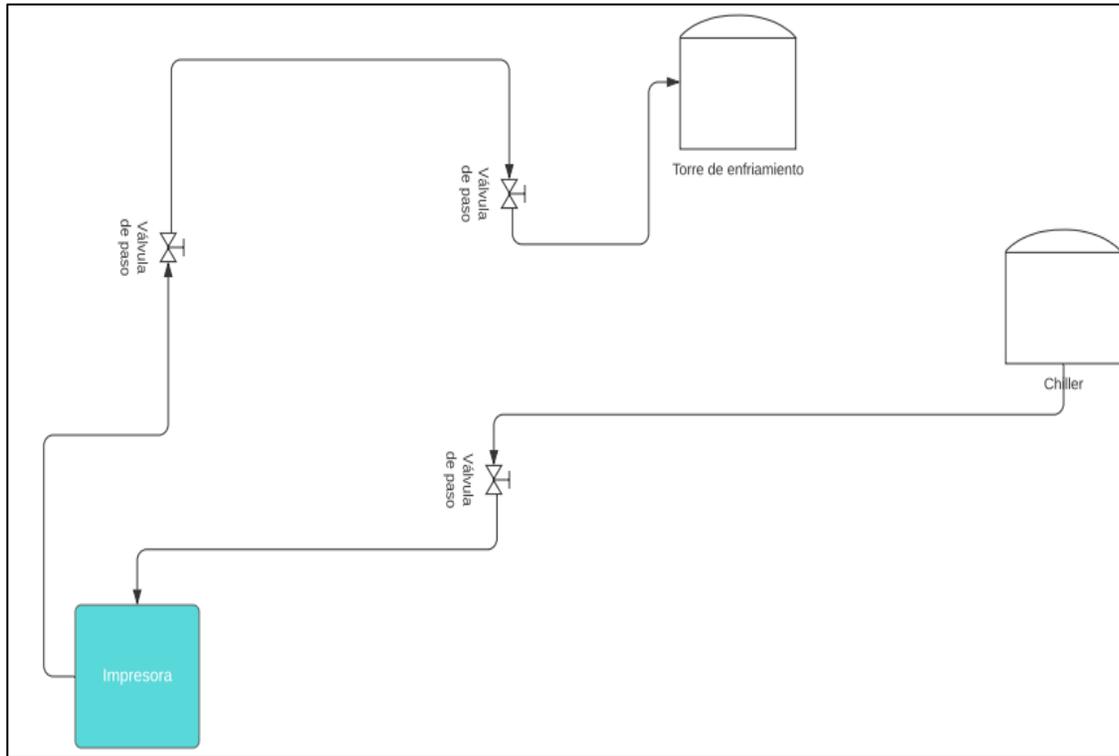


Fuente: elaboración propia, empleando Visio 2019.

3.4.2. Instalación de agua

Se realizó la instalación del suministro de agua de chiller para la calandra y agua de torre para los chiller de la máquina, que corresponden al tambor principal, a las tintas y al motor del tambor principal. Para las conexiones se utilizó tubería de 1 pulgada, para los dos servicios de agua.

Figura 46. Diagrama de instalación de agua para máquina

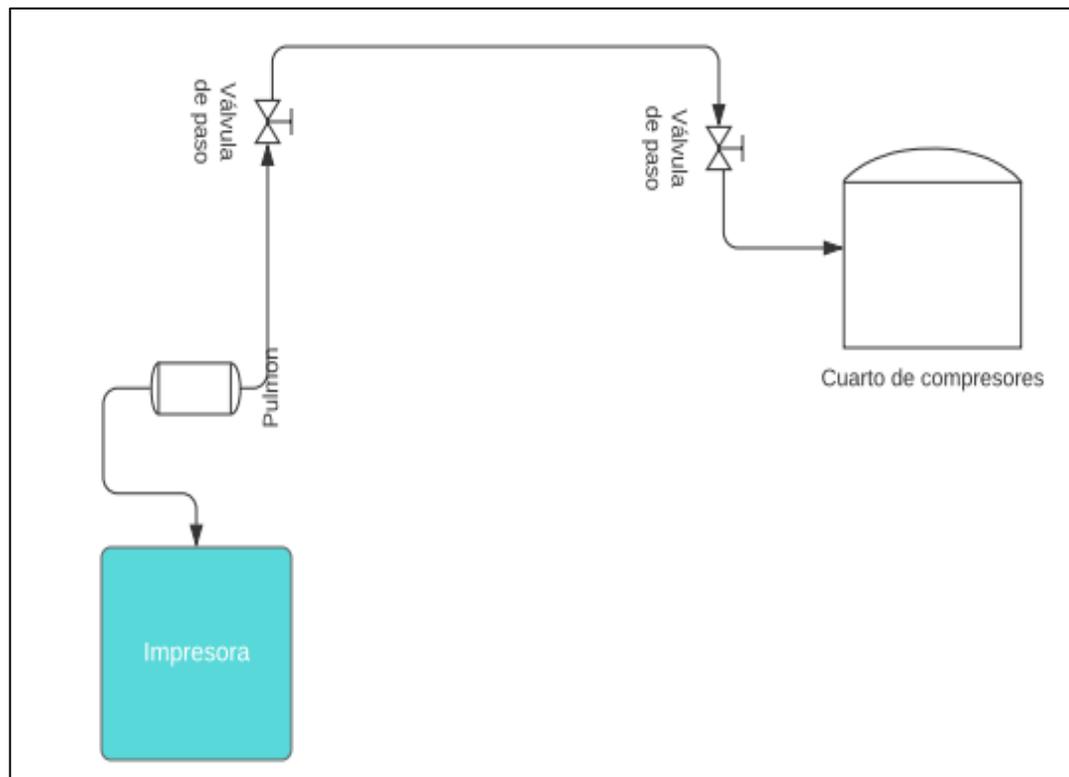


Fuente: elaboración propia, empleando Visio 2019.

3.4.3. Instalación de aire

Para la instalación del suministro de aire principal en la entrada, se tiene una tubería de 1 pulgada y para la entrada del sistema de limpieza una tubería de $\frac{3}{4}$ de pulgada para cada módulo.

Figura 47. Diagrama de instalación de aire comprimido para máquina



Fuente: elaboración propia, empleando Visio 2019.

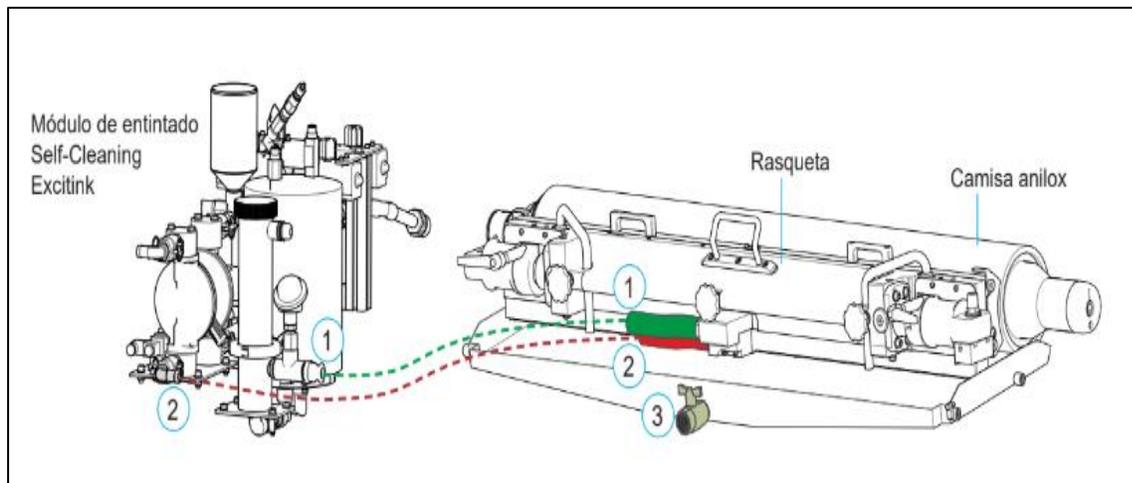
3.5. Puesta en marcha

Puesta en marcha es realizar todos los ajustes y preparaciones finales de la máquina. En este punto, se corroboraron que, tanto el montaje mecánico como el eléctrico, se haya realizado correctamente.

3.5.1. Conexión de bombas de tintas a cuerpo impresor

Las conexiones de bombas de tintas son 8 una por cada estación, se debe tomar en cuenta la longitud que tendrá la racla al momento de llevarla a su punto máximo.

Figura 48. Conexión del sistema de entintado



Fuentes: elaboración propia, Área de Servicio Técnico, Polímeros y Tecnología.

Las conexiones de entrada de tinta-impulsión (1) se realizaron con una manguera de 1/2 pulgada. Las conexiones de salida de tinta-aspiración (2) se elaboraron con una manguera de 3/4 de pulgada; y el vaciado de cubeta recogedora dispone de una válvula manual para el vaciado ocasional y limpieza de la tinta residual, debido a posibles pérdidas en el proceso de entintado.

3.5.2. Alineación y nivelación

Se debió ajustar paralelamente el rodillo anilox y el rodillo porta cliché; si no se realizaba este procedimiento, se corría el riesgo de que la impresión se distorsionara. El rodillo anilox y porta cliché debían estar a la misma distancia; se utilizó una galga para realizar la calibración del avance y el retroceso.

Para el ajuste cero de porta cliché, se usó un calibrador de distancia o galga; en esta, se colocó la galga de 8 mm entre el porta cliché y el tambor central; y la galga de 19 mm, entre el porta cliché y el anilox. Estas distancias se quedaron definidas para cualquier tipo de trabajo. Son las posiciones de reposo; y este proceso se realizó en las 8 estaciones de colores.

Figura 49. **Galga para ajuste de rodillo anilox y rodillo porta cliché**



Fuente: elaboración propia, Área de Impresión, Polímeros y Tecnología.

Los tinteros tienen rasquetas; estas tienen como función quitar y aportar tinta, la cual deben transportarla a las cubas de tinta. Las raclas portan flejes o cuchillas, una negativa y una positiva, se tienen contacto con el anilox y el portacliché. Para el ajuste de estos flejes, se utilizó una galga de metal de 0,7 mm. Se ajustó con la presión de raclas, que era de aproximadamente 2,1 bar. Tienen un movimiento horizontal que aleja o acerca el fleje hasta que la galga pase libremente entre el portacliché o el anilox con el fleje. Si no se realiza correctamente este ajuste, puede haber una ganancia de punto en toda la impresión. También, podían presentar un desgaste los flejes; el portacliché podía ensuciarse más de lo debido, incluso se podían tener entradas de aire, lo que se notaría en la impresión.

Figura 50. **Galga para ajuste de flejes con rodillos**



Fuente: elaboración propia, Área de montaje, Polímeros y Tecnología.

3.5.3. Ajuste de sensores de diámetro del desbobinador y rebobinador

Este ajuste es para garantizar que la tensión del desbobinador y rebobinador sean iguales y la relación de velocidades se compense debido al tamaño de bobinas (el desbobinado es más grande, por tal razón debe ir más lento; y el rebobinado, como es más pequeño, debe ir más rápido) si no se realiza este ajuste, la película puede llegar a romperse, lo que provocaría paros en producción y se tendría que volver a enhebrar la película nuevamente. Este ajuste es por medio de sensores de diámetro, cada sensor de diámetro se ajustó automáticamente para establecer una relación lineal entre dos lecturas del sensor, una con el diámetro mínimo y la otra con el diámetro máximo. El diámetro mínimo fue dado por el core sin material y el diámetro máximo fue dado por la bobina más grande que se trabaja en impresión. Este procedimiento se realizó una sola vez. El core tuvo una medida de 97 mm; siendo este diámetro mínimo; mientras que la bobina de mayor diámetro tuvo valor de 672 mm. Este es el diámetro máximo.

Figura 51. Ajuste de diámetros de bobinas

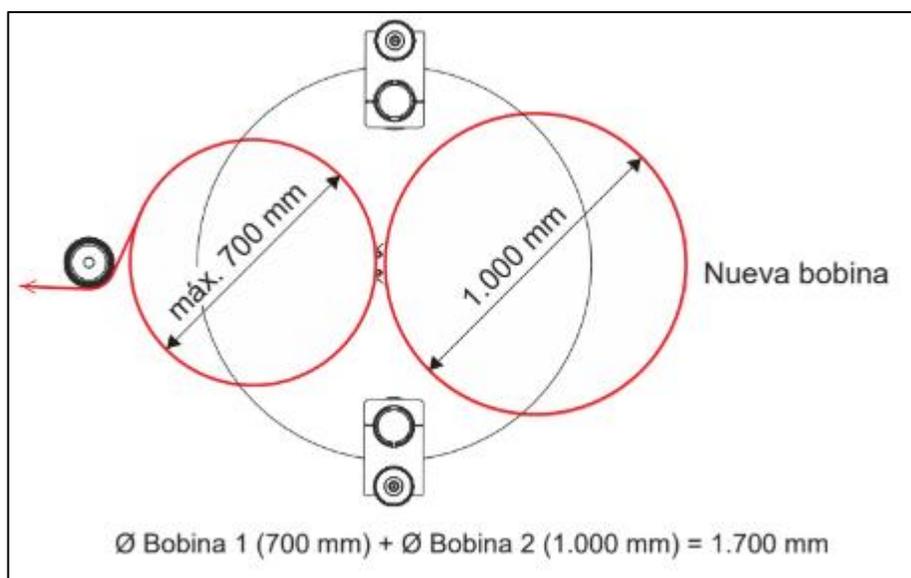


Fuente: elaboración propia, Área de montaje, Polímeros y Tecnología.

El desbobinador y rebobinador cuentan con elevación de bobina. Su función es cargar una bobina, mientras la primera bobina está siendo impresa; esto agiliza la producción. Solamente, al realizar una pega con la primera bobina y la segunda bobina y hacer una unión, se lleva a cabo este procedimiento.

La distancia entre ejes en el desbobinador fue de 860 mm. Para cargar una nueva bobina en el desbobinador fue necesario que la suma de los diámetros de las dos bobinas no excediera la distancia de 1,700 mm. La suma de los diámetros de las dos bobinas no puede exceder de 1,700 mm, por riesgo de colisión entre ellas.

Figura 52. **Relación de diámetros entre bobinas**

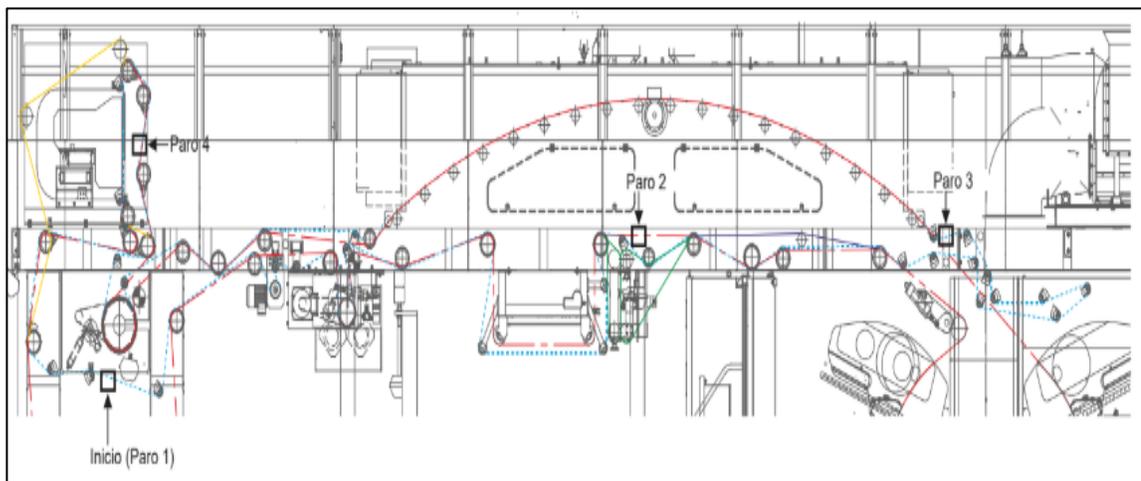


Fuente: elaboración propia, Área de Servicio Técnico, Polímeros y Tecnología.

3.5.4. Enhebrado del material

La máquina disponía de un enhebrador automático (cadena) que facilitó el recorrido de paso del material. El recorrido del enhebrador automático tenía cuatro paradas automáticas, para permitir enhebrar manualmente. El primero se encuentra en la calandra; el segundo, en el *reprint*, el tercero, en la entrada del túnel y el cuarto, en la cámara de video.

Figura 53. Paros manuales para enhebrado del material

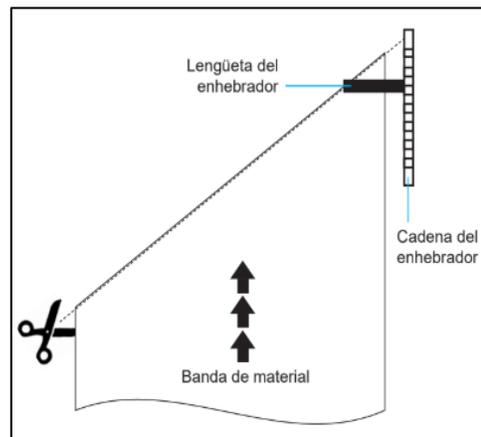


Fuente: elaboración propia, Área de Servicio Técnico, Polímeros y Tecnología.

El primer enhebrado se realizó con un material no ancho y aproximadamente de una medida de 30 cm, para esta operación, con el fin de evitar cargas excesivas que pudieran deformar el mecanismo de enhebrado. Si no se cuenta con materiales estrechos, se aconseja cortar el inicio de la banda en diagonal, para evitar que el material pueda quedar atrapado durante el recorrido, debido que al inicio de esta operación no se tiene tensión en la película.

El primer paso fue fijar el material a la lengüeta del enhebrador, para permitir el paso entre todos los equipos y, posteriormente, se colocó un core en el rebobinador para comenzar con el proceso de impresión.

Figura 54. **Proceso de enhebrado del material**



Fuente: elaboración propia, Área de Servicio Técnico, Polímeros y Tecnología.

Figura 55. **Paso del material en rodillos de la máquina**



Fuente: elaboración propia, Área de montaje, Polímeros y Tecnología.

3.5.5. Pruebas de impresión

Se midieron las velocidades en la calandra, cuerpo impresor, rodillos de túnel de secado debido a que todo debía ir a una misma velocidad para evitar problemas de rasgado de material. Estas pruebas se realizaron con sobrevelocidad y una velocidad promedio de trabajo. Las velocidades fueron medidas con un tacómetro. Para los rodillos del desbobinador y rebobinador, se colocó un core y sobre él se midieron las velocidades.

Figura 56. **Medición de velocidad de rodillos**



Fuente: elaboración propia, Área de montaje, Polímeros y Tecnología.

Después que se comprobaran las velocidades de todos los equipos de la máquina, se procedió con el enhebrado y con el bombeado de tinta. Se recomienda comenzar con un trabajo de 3 colores, para ver el comportamiento de la impresora. Si el trabajo de impresión sale correcto, se procede con un trabajo de ocho colores y se imprime una prueba.

3.5.6. Control de concentración de solvente (LEL)

El dispositivo LEL (Límite Inferior de Explosividad) es un lector de detección de concentración de solventes en el aire. Los sensores de lectura están ubicados en los colectores de los módulos de secado. Los niveles reales de concentración se podían visualizar en las pantallas de control. Los valores de concentración para el control de recirculación, vienen ajustados de fábrica.

A través de un kit de calibración, se administró hidrógeno y nitrógeno presurizado. Se colocó en el sensor LEL y se visualizó la concentración que señalaba la pantalla de control. La concentración de solvente fue menor al indicado por el fabricante. Si el valor es $\leq 40\%$ se activará una alarma visual y acústica, indicando una concentración máxima a la permitida, pero la máquina seguirá trabajando, aunque si asciende a un valor $\geq 45\%$ la máquina parará y se activarán los ventiladores para extraer los solventes del circuito.

Figura 57. **Kit de calibración para sistema LEL**



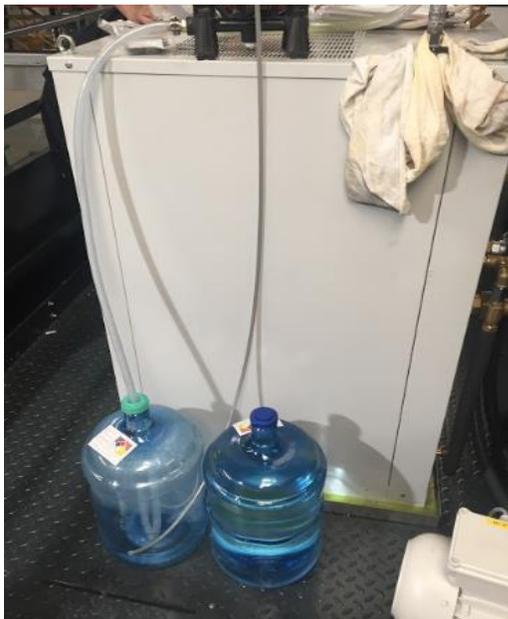
Fuente: elaboración propia, Área de montaje, Polímeros y Tecnología.

3.5.7. Suministro de agua desmineralizada y refrigerante a tambor central

La máquina cuenta con sus propios chillers. Dispone de un chiller para el tambor central y un chiller para el motor central. Estos equipos son demasiados sensibles, por lo que se tuvo que alimentar con agua desmineralizada y se mezcló con refrigerante para mantener temperatura entre 28 °C a 30 °C, este refrigerante fue glicol, suministro a estos dos chillers setenta y cinco galones de agua desmineralizada y cincuenta y seis litros de glicol.

Si el tambor no se mantiene a esta temperatura, es muy probable que la película quede pegada en él, la tinta se corra o puede provocar explosiones.

Figura 58. **Llenado de agua desmineralizada**

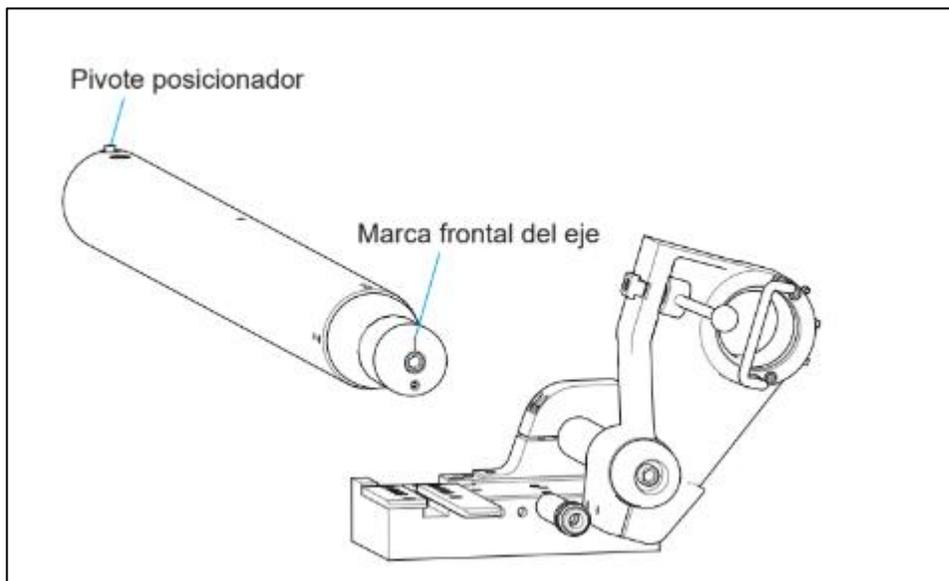


Fuente: elaboración propia, Área de Impresión, Polímeros y Tecnología.

3.5.8. Verificación de funcionamiento de camisas porta cliché y anilox

Las camisas porta clichés permiten el montaje y desmontaje rápidos de los clichés en la máquina. Para ello, disponen de una ranura interior de posición que proporciona el punto de montaje, respecto del eje porta-clichés de la máquina, facilitando así el montaje y localización longitudinal del cliché.

Figura 59. Camisa y porta cliché

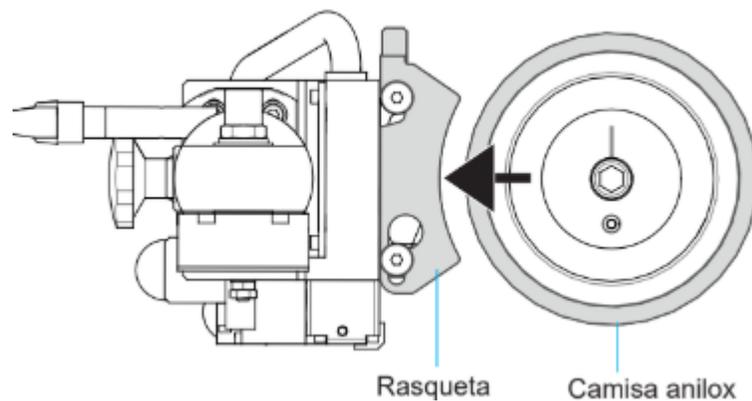


Fuente: elaboración propia, Área de Servicio Técnico, Polímeros y Tecnología.

Se activó la salida de aire para el eje porta-clichés correspondiente durante 20 segundos. Salió aire a presión por los agujeros que hay repartidos en el eje, facilitando así el montaje de la camisa. Con el aire activado, se insertó la camisa unos 2 cm sobre el eje por el aire, para que deslizara fácilmente. Se empujó hasta insertarla en el pivote y, por último, se cerró el soporte articulado. Este procedimiento se realizó por cada uno de los tinteros.

Para el montaje y desmontaje de la camisa anilox, la rasqueta debe encontrarse en modo *off*, y al montar o desmontar una camisa anilox, la cubeta recogedora de tinta siempre debe estar en posición retrasada, de lo contrario, esta impedirá el paso de la camisa. También es necesario el desmontaje previo del obturador lateral. El obturador está diseñado para recoger y conducir hacia la cubeta las posibles pérdidas de tinta de la rasqueta, y también para evitar que, por la misma velocidad del rodillo, alguna gota se desprenda de la camisa tramada y salpique la máquina. Esta verificación debe hacerse por cada tintero.

Figura 60. **Diseño de rasqueta y camisa anilox**



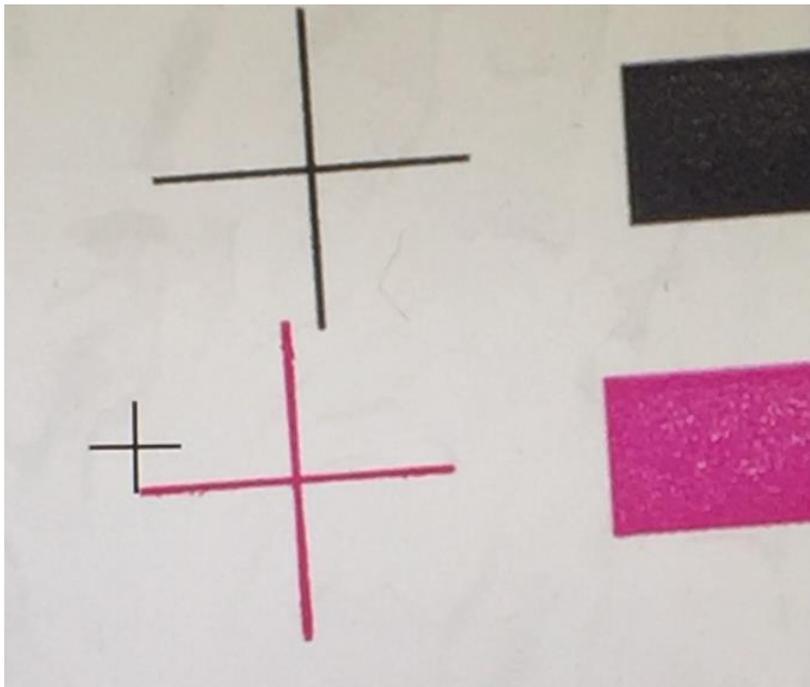
Fuente: elaboración propia, Área de Servicio Técnico, Polímeros y Tecnología.

3.5.9. Ajuste de registro

Para efectuar un ajuste de registro, fue necesario tener una impresión de marcas tipo cruz. Se procedió a imprimir dicha marca con color negro (para mejor visualización de la segunda marca) en toda una bobina. Después de terminar el trabajo de impresión, se colocó la misma bobina con un color diferente (magenta) y se imprimió la misma marca, hasta que las dos marcas coincidieran. Este ajuste

se realizó en todos los tinteros. Los tinteros que se tomaron de referencias son los tinteros paralelos al tambor central (3 y 6) y respecto a estos, se nivelan todos los demás.

Figura 61. **Ajuste de *reprint***



Fuente: elaboración propia, Área de montaje, Polímeros y Tecnología.

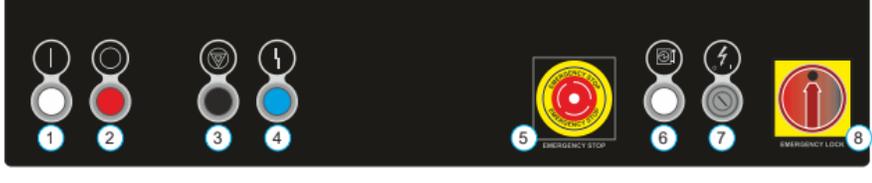
3.5.10. Entrega de máquina

Al momento de culminar todos los ajustes, verificaciones y calibraciones correspondientes, se entregó la máquina con un documento de respaldo firmado por el jefe de mantenimiento, jefe de producción del área y técnico de la empresa que realizó la puesta en marcha avalando que la máquina está trabajando en óptimas condiciones.

4.1.1.1. Pupitre de mando

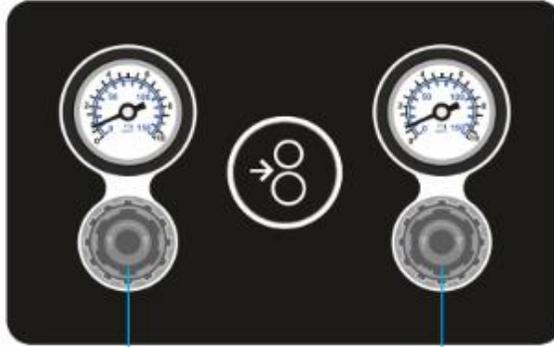
El pupitre de mando es el panel con los controles de mando de la máquina, en el cual el operador puede acceder fácilmente.

Tabla XXI. Control de mando de máquina


<ol style="list-style-type: none">1. Marcha: esta opción sirve para arrancar la máquina a la velocidad seleccionada. Tiene una alarma, la cual se activa a los 5 segundos para colocar un valor de velocidad de la máquina. Si se pasan los 5 segundos y no se asignado ningún valor, el pulsador se apagará.2. Paro: su funcionamiento es para detener la máquina, pero disminuyendo lentamente3. Paro rápido: su funcionamiento es detener la máquina en pocos segundos4. Reinicio: reinicia el sistema cuando las alertas o causas que impiden la puesta en marcha son solucionadas. La luz piloto azul se debe apagar si no se deberá volver a revisar alertas.5. Paro de emergencia: detiene la máquina en menos de 10 segundos y desconecta la tensión eléctrica. Será necesario pulsar el botón de reinicio, antes de poner en marcha de nuevo la máquina.6. Luz tensión general: se enciende cuando se conecta el interruptor principal.7. Llave tensión de maniobra: sirve para activar o desactivar los motores y accionamientos de la máquina.8. Interruptor de consignación: dispositivo de bloqueo o seccionador; su función es garantizar la inactividad de la máquina cuando está en mantenimiento.

Fuente: elaboración propia, Área de Servicio Técnico, Polímeros y Tecnología.

Figura 63. **Control de presión de rodillos**



Fuente: elaboración propia, Área de Servicio Técnico, Polímeros y Tecnología.

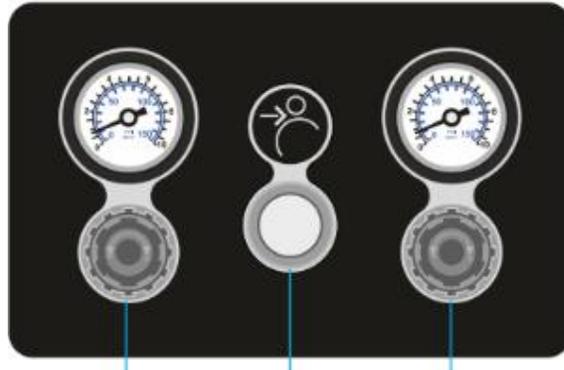
4.1.1.2. Rodillo prensor introductor independiente

Los reguladores sirven para ajustar la presión del lado de mandos y de control del prensor introductor; para activarlo o desactivarlo se realiza desde la pantalla de control principal de máquina.

4.1.1.3. Rodillo prensor introductor del cuerpo impresor (C.I.)

El pulsador sirve para la activación y desactivación del rodillo prensor del tambor central y los reguladores, para ajustar la presión del lado mandos y del lado transmisión del rodillo prensor del cuerpo impresor.

Figura 64. **Control de presión de rodillos del cuerpo impresor**

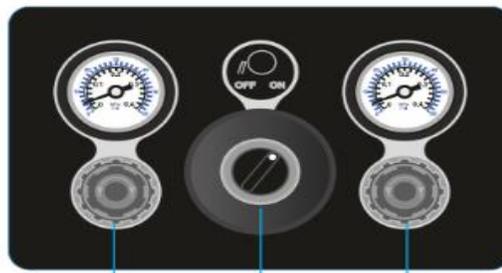


Fuente: elaboración propia, Área de Servicio Técnico, Polímeros y Tecnología.

4.1.1.4. **Rasquetas grupos impresores**

Su función es el control de la presión de todas las rasquetas de los grupos impresores. El selector sirve para aproximar la rasqueta y los reguladores ajustan la presión del lado mandos y lado de control de la rasqueta contra el rodillo anilox.

Figura 65. **Control de presión de rasquetas**

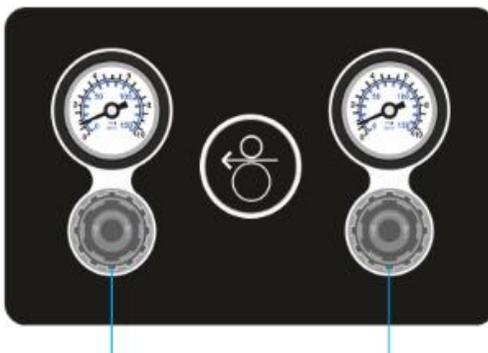


Fuente: elaboración propia, Área de Servicio Técnico, Polímeros y Tecnología.

4.1.1.5. Control de rodillo prensor de tiro

Los reguladores activan la presión de los rodillos prensor de tiro de lado de mando y lado de control. La activación o desactivación del rodillo prensor se realiza desde la pantalla principal.

Figura 66. Control de rodillo prensor de tiro.



Fuente: elaboración propia, Área de Servicio Técnico, Polímeros y Tecnología.

4.1.1.6. Aire camisas (anilox y porta clichés)

Aire para rodillo porta clichés: el aire es utilizado para la activación del mecanismo que extrae las camisas del portaclichés. La duración de salida de aire es de 20 segundos, y si se desea cancelar esta actividad se debe presionar el pulsador otra vez antes de los 20 segundos de activación.

Aire anilox: el aire que permite la activación del montaje o extracción de camisas anilox. La duración de salida de aire es de 20 segundos; y si se desea cancelar esta actividad, se debe presionar el pulsador otra vez antes de los 20 segundos.

Figura 67. **Aire porta cliché, anilox y extracción de camisas**



Fuente: elaboración propia, Área de Servicio Técnico, Polímeros y Tecnología.

4.1.1.7. Botonera portátil movimiento grupos impresores

La función de las botoneras portátiles facilita todos los movimientos y ajustes de los grupos impresores, tales como: presiones, registro, marcha, paro, rotación lenta e impulsos.

4.1.1.8. Control remoto cuerpo impresor (impulsos/rotación lenta)

Impulsos: pulsador de movimiento por impulsos. Los valores de movimiento (lento, rápido, atrás) serán los establecidos en las pantallas de control de máquina. Solamente es activo sobre los motores habilitados.

Rotación lenta: pulsador de marcha de rotación lenta del grupo impresor seleccionado. Este pulsador actúa solamente con pulsación mantenida.

Figura 68. **Control remoto cuerpo impresor impulsos y rotación lenta**



Fuente: elaboración propia, Área de Servicio Técnico, Polímeros y Tecnología.

4.1.1.9. Control remoto pupitre (avance por impulsos y enhebrador)

Impulsos: el pulsador realiza el movimiento por impulsos. Estos pueden ser valores de movimiento (lento, rápido, atrás), y serán establecidos en las pantallas de control de máquina. Para realizar esta actividad se deben activar los motores deseados.

Figura 69. **Control remoto pupitre avance impulsos y enhebrador**

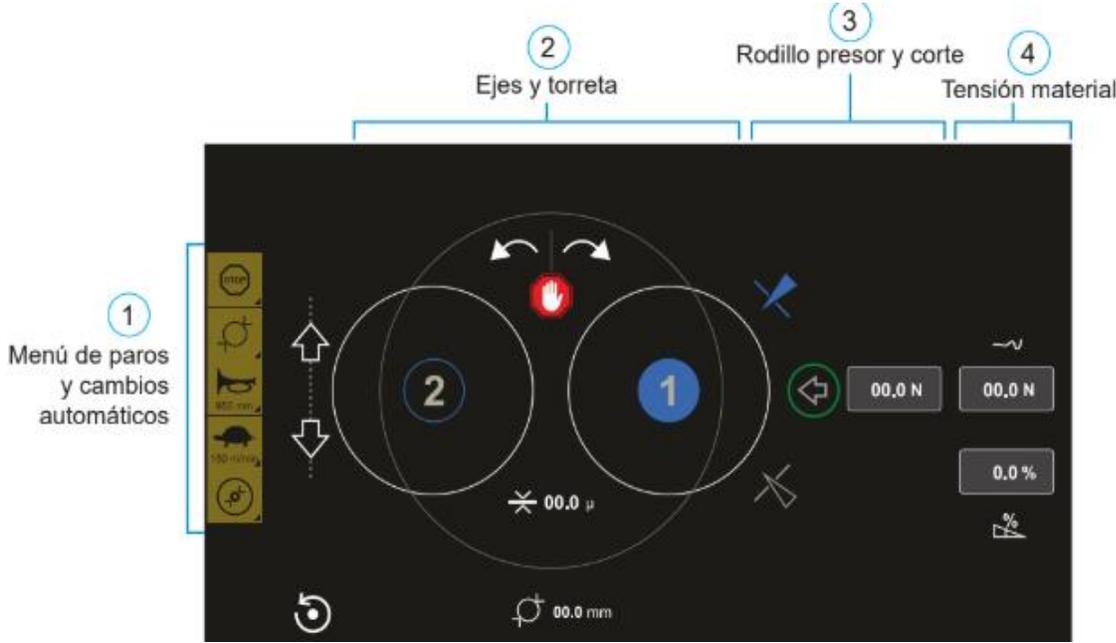


Fuente: elaboración propia, Área de Servicio Técnico, Polímeros y Tecnología.

4.1.1.10. Control desbobinador

El control del desbobinador permite la manipulación y ajuste durante el trabajo. En el control, se disponen de todos los mandos y funciones necesarias durante el proceso.

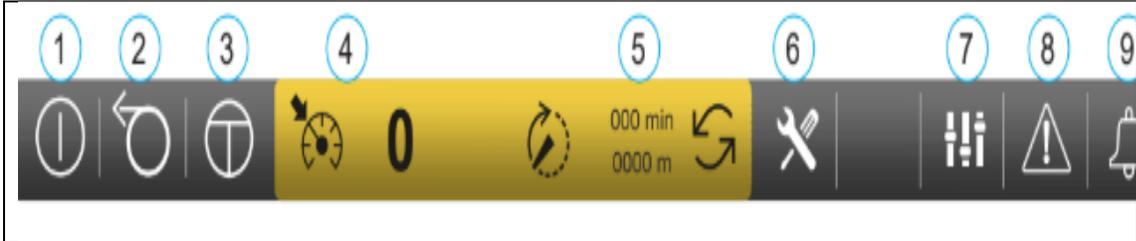
Figura 70. **Pantalla principal control del desbobinador**



Fuente: elaboración propia, Área de Servicio Técnico, Polímeros y Tecnología.

Se encuentra accesos directos a las pantallas de control del desbobinador, funciones, avisos, alarmas, entre otras.

Tabla XXII. **Barra de control principal**



Continuación de la tabla XXII.

1. Marcha/paro del motor máquina: el pulsador de color verde denota la acción de encendido. Una vez pulsado se debe registrar el valor de velocidad de máquina; si pasados unos segundos, no se ha registrado ningún valor de velocidad, el pulsador se desactiva automáticamente. El pulsador color blanco indica que la máquina está apagada; sirve para realizar un paro normal de la máquina. Se visualiza una velocidad de 0.
2. Marcha y paro desbobinador: el funcionamiento del pulsador es para marcha y paro de los motores del desbobinador. El pulsador de color verde (encendido) sirve para que el motor del eje activo recupere el material con el valor de tensión establecido. Para poder activar la máquina, es necesario que el pulsador de marcha del motor desbobinador esté encendido. El pulsador blanco (apagado) se torna color naranja durante el proceso de paro; una vez terminado el proceso de paro se volverá a tornar color blanco. Para poder realizar un paro del motor desbobinador, se debe realizar una pausa de máquina con anterioridad.
3. Impulsos: sirve para elegir los valores de movimiento, adelante o atrás. También la velocidad, ya sea lenta o rápida. Se establecen en la pantalla de control principal de la máquina.
4. Consigna de velocidad: visualiza la velocidad a la que la máquina está trabajando. Al momento de pulsar, aparece un teclado virtual en el cual puede asignarse el valor al cual se quiere que la máquina trabaje. Si se pulsa 'enter' se aceptará el valor y la máquina empezará a girar gradualmente hasta alcanzar la velocidad asignada.
5. Inicio paro o cambio programado: muestra la información del tiempo y metros restantes para poder realizar un paro o un cambio automático de bobina, programado anteriormente en el desbobinador.
6. Pantalla de mantenimiento: muestra la información del tiempo y metros restantes para poder realizar un paro o un cambio automático de bobina, programado anteriormente en el desbobinador.
7. Pantalla de control principal: pantalla con todos los controles del desbobinador.
8. Pantalla de advertencias: esta pantalla muestra todas las advertencias que impiden la puesta en marcha del desbobinador. Si aparece en color naranja, indica que existe una anomalía en el desbobinador impidiendo su función.
9. Pantalla de alarmas: muestra las alarmas existentes en el desbobinador y paradas de emergencia realizadas.

Fuente: elaboración propia, Área de Servicio Técnico, Polímeros y Tecnología.

4.1.1.11. Control rebobinador

Se acceden a las diferentes funciones de control y mantenimiento. Después de la puesta en marcha, se muestra un panel gráfico de control principal. Hay una barra de control general en la parte superior y la zona de trabajo en la parte central.

Figura 71. Pantalla principal de control del rebobinador



Fuente: elaboración propia, Área de Servicio Técnico, Polímeros y Tecnología.

Tabla XXIII. Barra principal de control del rebobinador



Continuación de la tabla XXIII.

1. Marcha/paro del motor máquina: el pulsador de color verde denota la acción de encendido. Una vez pulsado se debe registrar el valor de velocidad de la máquina; si pasados unos segundos, no se ha marcado ningún valor de velocidad, el pulsador se desactiva automáticamente. El pulsador color blanco señala que la máquina está apagada, sirve para realiza un paro normal de la máquina. Se visualiza una velocidad de cero.
2. Marcha y paro desbobinador: el funcionamiento del pulsador es para marcha y paro de los motores del desbobinador. El pulsador de color verde (encendido) sirve para que el motor del eje activo recupere el material con el valor de tensión establecido. Para poder realizar la marcha de la máquina es necesario que el pulsador de marcha del motor desbobinador esté encendido El pulsador blanco (apagado) se torna color naranja durante el proceso de paro. Una vez terminado el proceso de paro se volverá a tornar color blanco. Para poder realizar un paro del motor desbobinador, se debe realizar un paro de máquina con anterioridad.
3. Impulsos: sirve para elegir de máquina por impulsos. Los valores de movimiento, ya sea lento, rápido y atrás, se deben establecer en las varias pantallas de control de la máquina
4. Consigna de velocidad: visualiza la velocidad a la que la máquina está trabajando, al momento de pulsar aparece un teclado virtual, en el cual puede asignarse el valor al cual se quiere que la máquina trabaje; si se pulsa “enter” se aceptará el valor y la máquina empezará a girar gradualmente, hasta alcanzar la velocidad asignada.
5. Inicio paro o cambio programado: muestra la información del tiempo y metros restantes para poder realizar un paro o un cambio automático de bobina programado anteriormente en el rebobinador.
6. Pantalla de mantenimiento: muestra la información del tiempo y metros restantes para poder realizar un paro o un cambio automático de bobina programado anteriormente en el rebobinador.
7. Pantalla de control principal: pantalla con todos los controles del rebobinador.
8. Pantalla de advertencias: esta pantalla muestra todas las advertencias que impiden la puesta en marcha del rebobinador. Si aparece en color naranja, indica que existe una anomalía en el rebobinador impidiendo su función.
9. Pantalla de alarmas: muestra las alarmas existentes en el rebobinador y paradas de emergencia realizadas.

Fuente: elaboración propia, Área de Servicio Técnico, Polímeros y Tecnología.

4.1.1.12. Controles auxiliares de la pantalla principal

Los controles auxiliares son aquellos que facilitan al operario las operaciones como, por ejemplo: la barra de control principal, barra de alertas, barra emergente de activación de presores y motores, barra de información general entre otras.

Es importante conocer los tipos de controles auxiliares que cuenta la máquina para facilitar la operación y hacer más eficiente el proceso.

Tabla XXIV. Pantalla de controles auxiliares de la pantalla principal



Fuente: elaboración propia, Área de Servicio Técnico, Polímeros y Tecnología.

Tabla XXV. **Barra de control principal**

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
<p>Estado de la máquina y paros: indica el estado actual de máquina y acceso a la pantalla para visualizar los paros.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Pantalla principal: acceso de todos los controles de la máquina, su estado y parámetros específicos como velocidad, tensiones, temperaturas, entre otros. 2. Movimientos grupos impresores: posición y movimiento en el proceso de los grupos impresores. 3. Ajustes presiones y registro: aquí se muestran los ajustes y presiones de registros de los grupos impresores. 4. Sistema de entintado: control del <i>Self-Cleaning Excitink</i>. 5. <i>Cingular press</i>: pantalla para el ajuste automático de las presiones de los grupos impresores. 6. <i>Reprint</i>: ajuste de reimpresión para añadir un motivo, código de barras, entre otros. 7. <i>Cingular Match</i>: ajuste de color durante el cambio de trabajo; facilita el ajuste cromático de los colores directos. 8. <i>Downstream</i>: ajuste de los módulos de los grupos impresores en línea, grupos aplicadores en línea, entre otros. 9. Accesorios o periféricos: ajuste de accesorios como alineadores, tratadores, iluminación, barras antiestáticas, entre otros. 10. Aplicaciones: muestra los controles de producción, fichas de trabajo, control de usuarios, base de datos, mantenimiento, ajustes, entre otros. 												

Fuente: elaboración propia, Área de Servicio Técnico, Polímeros y Tecnología.

- Barra de información general:

En esta opción se ve desplegado toda la información relacionada con la orden de trabajo que se está produciendo.

Tabla XXVI. **Barra de información general**

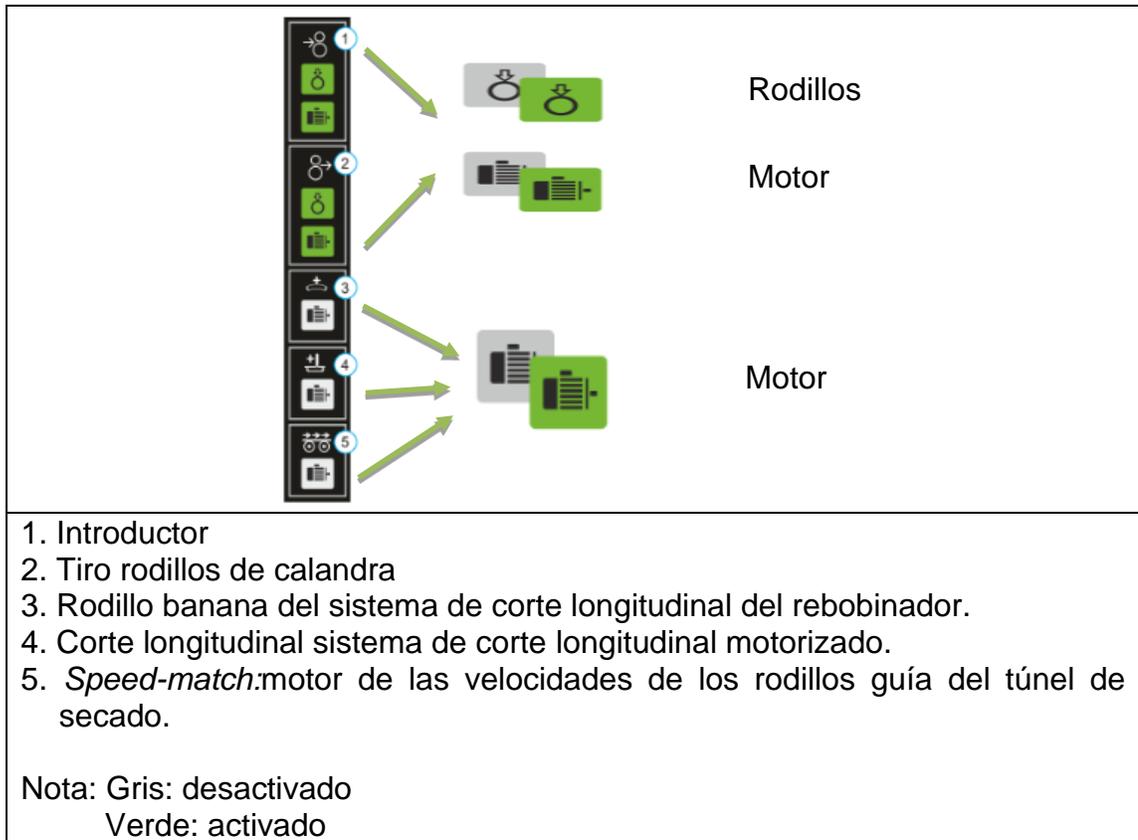
<ol style="list-style-type: none"> 1. Orden de trabajo activa: muestra todos los detalles de la orden de trabajo que se está trabajando en máquina. 2. Fecha y hora: fecha y hora actuales. 3. Usuario: nombre del operador de turno con sesión iniciada 4. Video preparado: muestra el sistema de video con el sustrato impreso; este inicia la marca a la velocidad programa con la cámara de video y con la máquina en marcha. 5. Selector de impulsos: para activar el modo de movimiento por impulsos. Este es solo visible con la máquina parada. 6. Velocidad de máquina: asigna la velocidad de máquina. Este valor se puede modificar según las especificaciones de producción. 7. Velocidad de máquina: muestra la velocidad actual de la máquina, no se puede variar. <p>Próximos eventos: muestra el tiempo y los faltantes para el cambio de bobina, para el bobinador o rebobinador.</p>

Fuente: elaboración propia, Área de Servicio Técnico, Polímeros y Tecnología.

- Barra emergente para activación de presores y motores

La barra emergente de presores y motores muestra que motores se encuentran en uso y cuáles no, en ellos se encuentran los grupos de introductor, tiro de rodillos de calandra, rodillo banana del sistema de corte longitudinal del rebobinador, corte longitudinal sistema motorizado y el *speed match*.

Tabla XXVII. Barra para activación de motores y prensores



Fuente: elaboración propia, Área de Servicio Técnico, Polímeros y Tecnología.

- Barra de advertencia o alarmas: muestra todas las alarmas, las cuales impiden la puesta en marcha de la máquina o reanudación del trabajo. Se iluminará de color rojo el icono correspondiente.

Figura 72. Barra de advertencia o alarmas



Fuente: elaboración propia, Área de Servicio Técnico, Polímeros y Tecnología.

- Módulo cuerpo impresor

En este módulo contiene todas las opciones del cuerpo impresor, desde el movimiento de las rasquetas, el número del grupo impresor, velocidad de la máquina, el movimiento del tambor central, entre otros.

Figura 73. Módulo del cuerpo impresor



Fuente: elaboración propia, Área de Servicio Técnico, Polímeros y Tecnología.

Selección de grupos impresores: la selección de grupos impresores dependerá de cuántos colores se van a imprimir en el pedido de producción; se seleccionarán individual o globalmente. La selección individual se efectúa pulsando sobre cada grupo impresor o grupos impresores elegidos. La selección global se realizará a través del icono . Esta opción seleccionará los grupos impresores activados en la máquina; al seleccionar los grupos impresores, se mostrarán en color verde.

Pantalla de control de grupos impresores: el monitoreo se realiza desde los controles en la barra de menú principal.

Tabla XXVIII. **Barra de grupos impresores**

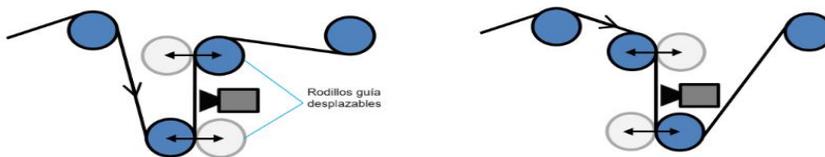
	
	Movimiento de grupos: movimientos y posicionamiento de los grupos impresores.
	Ajuste de presiones y registro: ajuste y registro de los grupos impresores.
	Pantalla de entintado: ajustes del sistema de entintado
	Circular press: ajuste automático (presiones) de los grupos impresores.
	<i>Reprint</i> : reimpresión
	<i>Circular Match</i> : ajustes de color durante el cambio de trabajo.

Fuente: elaboración propia, Área de Servicio Técnico, Polímeros y Tecnología.

- *Reprint*

Consta de rodillos guía desplazables, los cuales configuran dos tipos de pasado de material: anverso y reverso, respecto a las lecturas de impresión, en función de si la segunda impresión se va a realizar en la misma cara o en la cara opuesta a la primera impresión.

Figura 74. **Posicionamiento de rodillos guía**



Fuente: elaboración propia, Área de Servicio Técnico, Polímeros y Tecnología.

El sistema de reimpresión de material *Reprint* dispone de un mando de control para facilitar las tareas de posicionado y ajuste de la fotocélula de lectura de marcas de impresión.

Figura 75. **Control de *reprint***



Fuente: elaboración propia, Área de Servicio Técnico, Polímeros y Tecnología.

4.2. Capacitación de la operación de la máquina

La capacitación al personal de operación se hizo por medio de fases. Se separaron las capacitaciones de los equipos primordiales de la máquina. Para mayor aprendizaje, la capacitación se hizo al mismo tiempo que la puesta en marcha.

A continuación, se presenta la planificación de la capacitación:

Tabla XXIX. **Cronograma de actividades de capacitación**

ACTIVIDADES DE CAPACITACIÓN	Diciembre		
	S1	S2	S3
Controles y paneles de control generales	■		
Pantallas de control	■		
Alarmas y advertencias	■		
Enhebrado de la máquina		■	
Control de tensión del material		■	
Control del desbobinador		■	
Control del bobinador		■	
Manipulación de camisas (montaje y desmontaje)			■
Sistema de secado			■
Sistema de entintado automático <i>Self-cleaning excitink</i>			■

Fuente: elaboración propia, Área de Servicio Técnico, Polímeros y Tecnología.

4.3. Seguridad industrial

Al momento de realizar todas las actividades implícitas para el montaje y puesta en marcha de la impresora flexográfica, todo el personal debe tener el conocimiento de las normas de seguridad generales y específicas, necesarias para el desarrollo de cada operación. Debe, además, cerciorarse de las competencias del personal; se debe impedir la utilización de la máquina a

personas que no cumplan los criterios expuestos. En cualquier situación en que se encuentra una irregularidad en la máquina, deberá ser informada, de forma rápida, al responsable de mantenimiento.

Para asegurar la intervención correcta de la irregularidad de la máquina, debe cerciorarse que los elementos rotativos a alta velocidad, partes sometidas a tensiones elevadas, por elementos que alcanzan altas temperaturas y por piezas de grupos móviles que presentan riesgos de naturaleza mecánica, deben estar totalmente bloqueadas para evitar accidentes graves.

En planta, se trabaja con tintas, lubricantes, refrigerantes, disolventes, productos de limpieza y otros, que desprenden vapores; se deben tomar en cuenta todos estos químicos y evitar realizar trabajos que generen chispa para evitar explosiones dentro de planta.

Durante la fase de proyecto, se tuvo en cuenta todos los factores de riesgos, tomándose las precauciones necesarias para reducirlas al mínimo. La empresa cuenta con una capacitación de seguridad industrial y ocupacional, por ende, cada persona sabe los riesgos implícitos. Además, se organizó un equipo de brigada dentro de la planta, por si se presenta un accidente, el personal está calificado para la atención de este.

4.3.1. Riesgos en consideración en el montaje de la máquina

A continuación, se encuentran todos los riesgos a considerar al momento de montar una maquinaria.

4.3.1.1. Riesgo de incendio o explosión

Las tintas con base solvente son, por naturaleza, de carácter inflamable: desprenden vapores que presentan el posible riesgo de incendio; al momento de acumularse estos vapores, se pueden alcanzar concentraciones peligrosas con riesgo de explosión.

4.3.1.2. Riesgo de descarga eléctrica

El mantenimiento de todas las instalaciones eléctricas podrá ser realizado solamente por personas calificadas en este tipo de operaciones. Los riesgos eléctricos pueden producirse por contacto directo o indirecto con elementos o partes sometidas a voltajes. Este riesgo es más probable cuando la máquina se encuentra encendida; pero no se debe descartar después de apagada, debido a que estos equipos tienen la capacidad de guardar energía. Al contar con elementos de rotación, debe considerarse la energía electrostática. Esta se genera con el desplazamiento del material en la máquina, ya que el sustrato es sometido a rozamiento a alta velocidad; lo que genera dicha energía. Para mitigar este riesgo, se deben instalar barras antiestáticas.

4.3.1.3. Riesgo de arrastre

El riesgo de arreste está presente cuando en la máquina se disponen de elementos rotativos tales como: ejes, engranajes, rodillos, entre otros. Estos elementos presentan riesgos de atrapamiento. Se debe tener sumo cuidado en las fases de producción, mantenimiento, operaciones de limpieza e inspección.

4.3.1.4. Riesgo de aplastamiento

No todos los rodillos tienen protección, por lo tanto, quedan al descubierto áreas con el posible riesgo de aplastamiento. Para mitigar este tipo de riesgos, es recomendable no utilizar trapos ni prendas de vestir demasiado holgadas, sueltas o que cuelguen. Este riesgo es provocado entre dos partes mecánicas en movimiento. Debe prestarse particular atención a la fase de transporte de la máquina y al manejo de elementos individuales.

4.3.1.5. Riesgo de quemaduras

Elementos como recolectores de aire caliente, motores, ventiladores, intercambiadores, entre otros, pueden ser fuentes de calor con riesgo de quemaduras de carácter grave. Se debe colocar señalización y tener protegidas estas zonas.

4.3.1.6. Riesgo de inhalación, intoxicación e irritación

En el empleo de tintas y compuestos químicos como solventes, lubricantes y refrigerantes, se necesita especial equipo de protección personal y prestar atención, debido a los riesgos de intoxicación e irritación por inhalación o contacto con la piel u ojos. Se deben disponer de las MSDS de los químicos en el momento que alguno del personal tenga contacto con estos, para poder responder de la mejor manera.

CONCLUSIONES

1. Para realizar el montaje y puesta en marcha de la impresora rotativa flexográfica de tambor central modelo F2 ML, se deben tomar en cuenta factores desde la cimentación hasta la puesta en marcha. La actividad más importante es la nivelación; sin una buena nivelación de todos los equipos, la impresión puede tener defectos notorios.
2. Una impresora que trabaja a una velocidad de 500 metros/minutos es de la más rápida que se dispone en planta, por lo mismo, es la máquina con mayor carga de producción; ya que se produce un aproximado de 5 000 000 de metros mensuales.
3. Con la detección de fugas se tendría un ahorro de aproximadamente de \$ 44 500,00. Se deben mitigar las fugas más grandes de CFM, ya que ahí es donde están concentradas las mayores pérdidas.
4. La mejor forma de aprendizaje del manejo adecuado de la impresora es cuando se está realizando la puesta en marcha, debido a que se hacen los ajustes in situ y se ponen en práctica; posteriormente, se refuerza con teoría.

RECOMENDACIONES

1. Realizar una cimentación completa, para asegurar toda el área de los equipos. Para la cimentación de la máquina, se hizo específicamente solo para las piezas, pero se tuvo un problema con los armarios de equipos eléctricos, ya que se tuvo una desnivelación en esa área.
2. Cubrir el tambor al momento de realizar cualquier actividad mecánica sobre él. Si se raya o se lastima el tambor central, los rayones se notarán en la impresión; y restaurar el tambor central, es un gasto sumamente elevado.
3. Levantar todas las columnas, debido a que si se hace una a una, es probable que retrocedan del lugar establecido al momento de montar y levantar la otra columna.
4. Tener sumo cuidado con los rodillos que formen 90 grados con los equipos. Se debe nivelar con sumo cuidado y precisión, debido a que la película pasa en ese ángulo y los defectos son más notorios.
5. Comprobar el sentido de giro, si es horario o antihorario, de todos los motores, para evitar una succión de aire cuando se requiere lo contrario.
6. Al montar los tinteros, las conexiones de manguera nunca quedarán ajustadas; la manguera debe dejarse con cierta holgura, debido a que la estación no está en su carrea máxima, de lo contrario, esta no se ajustará correctamente.

BIBLIOGRAFÍA

1. AGIES. NSE 1. *Generalidades, administración de las normas y supervisión técnica*. Guatemala: 2018. 38 p.
2. AGIES. NSE 2. *Demandas estructurales y condiciones de sitio*. Guatemala: 2018. 110 p.
3. AGIES. NSE 2.1. *Estudios geotécnicos*. Guatemala: 2018. 50 p.
4. ANGUIA, Jesús. *La Flexografía de alta calidad: factores clave para una impresión flexo de calidad*. Barcelona, España: Technologic Tapes, 2011. 316 p.
5. COMESAÑA COSTAS. Pablo. *Montaje e instalación en planta de máquinas industriales*. España: Ideaspropias, 2005. 200 p.
6. GARCÍA MONTES, Ana. *Qué es la flexografía*. [en línea]. <<https://graffica.info/-que-es-la-flexografia/>>. [Consulta: 27 de octubre 2019].
7. HEARN, Edwin John. *Resistencia de materiales: diseño de estructuras y máquinas*. México: Interamericana, 1984. 644 p.
8. NORTON, Robert. *Diseño de maquinaria*. 2a ed. México: McGraw-Hill, 2009. 722 p.

9. Red Gráfica Latinoamérica. *La flexografía, principios básicos*. [en línea].
<<https://redgrafica.com/la-flexografia-principios-basicos/>>.
[Consulta: 2 de febrero 2020].