



Análisis para puesta a punto de línea de extrusión de espuma en México: un enfoque multi disciplinario para la repotenciación industrial

Santiago Londoño López

Informe de práctica presentado para optar al título de Ingeniero Mecánico

Asesor

Carlos Alberto Mejía Blandón, Magíster (MSc) en Ingeniería mecánica

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería
Ingeniería Mecánica
Medellín, Antioquia, Colombia

2024

Cita	Londoño López [1]
Referencia	[1] Londoño López, “Análisis para puesta a punto de línea de extrusión de espuma en México: un enfoque multi disciplinario para la repotenciación industrial”, Trabajo de grado profesional, Ingeniería Mecánica, Universidad de Antioquia, Medellín, Antioquia, Colombia, 2024.
Estilo IEEE (2020)	



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	8
ABSTRACT	9
I. INTRODUCCIÓN	10
II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
III. JUSTIFICACIÓN	12
IV. OBJETIVOS	13
A. Objetivo general	13
B. Objetivos específicos	13
V. MARCO TEÓRICO	14
VI. METODOLOGÍA	26
A. Exploración y búsqueda de información	26
B. Desarrollo de fichas técnicas	26
C. Diseño de componentes y sistemas mecánicos	26
D. Alcance	27
VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	28
A. Módulos y componentes faltantes	28
B. Fichas técnicas	29
C. Modelo y dibujo	30
D. Guía de usuario (lista de chequeos)	32
E. Idea de concepto de diseño (cabina de pintura)	32
F. Costos estimados	38
VIII. CONCLUSIONES	43
REFERENCIAS	46
ANEXOS	49

LISTA DE TABLAS

TABLA I. CONDICIONES GENERALES DE OPERACIÓN.....	15
TABLA II. CONDICIONES DE OPERACIÓN DE LA EXTRUSORA PRIMARIA.	16
TABLA III. CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL CAMBIADOR DE FILTROS (SCREEN CHANGER).	17
TABLA IV. CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL ADAPTADOR.....	17
TABLA V. CONDICIONES DE OPERACIÓN DE LA EXTRUSORA SECUNDARIA.	18
TABLA VI. CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL CABEZAL DE EXTRUSIÓN.....	20
TABLA VII. CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL MANDRIL.	21
TABLA VIII. CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL S-WRAP.....	21
TABLA IX. CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL BOBINADOR (<i>WINDER</i>).....	22
TABLA X. PARÁMETROS PARA SIMULACIÓN DE SOPORTES LATERALES.....	37
TABLA XI. RESULTADOS DE SIMULACIÓN DE SOPORTES LATERALES.....	37
TABLA XII. PARÁMETROS PARA SIMULACIÓN DE SOPORTES TRANSVERSALES (TECHO).	38
TABLA XIII. RESULTADOS DE SIMULACIÓN DE SOPORTES TRANSVERSALES (TECHO).	38
TABLA XIV. COSTO DE COMPONENTES FALTANTES PARA MÓDULOS EXISTENTES.	39
TABLA XV. COSTO DE COMPONENTES FALTANTES PARA LA LÍNEA DE EXTRUSIÓN.	40
TABLA XVI. PROVEEDORES.....	41
TABLA XVII. COSTO DE LÍNEA DE EXTRUSIÓN DE ESPUMA NUEVA.	42

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1. Componentes existentes de la línea de extrusión.....	11
Fig. 2. Componentes generales de una línea de extrusión de espuma.	28
Fig. 3. Modelos: a). Mandril de enfriamiento y moldeo. b). Bobinadora <i>Winder</i>	31
Fig. 4. Modelos simples de algunos componentes.	31
Fig. 5. Línea de extrusión de espuma.....	32
Fig. 6. Espacio disponible en la bodega para cabina de pintura.....	33
Fig. 7. Representación del espacio disponible.	34
Fig. 8. Soportes principales.	34
Fig. 9. Techo corredizo.	35
Fig. 10. Cabina con cubierta (lona).	35
Fig. 11. Cabina de pintura.	36

SIGLAS, ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

IEEE	Instituto de Ingenieros Eléctricos y electrónicos
TCU	Unidad de control de temperatura
SCF	Fluido super crítico
in	Pulgada
mm	Milímetro
m	Metro
HP	Caballo de fuerza
GPM	Galón por minuto
°C	Grado centígrados
°F	Grado Fahrenheit
V	Voltio
W	Vatio
kW	Kilo Vatio
Psi	Libra-fuerza por pulgada cuadrada
Gal	Galón
L	Litro
Bar	Bar
MPa	MegaPascal
N	Newton
RPM	Revolución por minuto
CFM	Pie cúbico por minuto
FRL	Filtro, Regulador y Lubricador
BOM	Lista de materiales
PET	Tereftalato de Polietileno
Q_A	Caudal de aire
V_C	Volumen del espacio
kg	Kilogramo
h	Hora
Hz	Hertz

Ph	Fase
A	Amperio
ACFM	Pie cúbico por minuto real
ASME	Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos
ISO	Organización Internacional de Normalización
ASTM	Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales
CAD	Diseño asistido por computador
GA	Calibre
TR	Tonelada de refrigeración
SCFM	Pie cúbico por minuto estándar

RESUMEN

En el presente informe se abordan las necesidades que se presentan para activar una línea de extrusión de espuma inoperativa en México mediante el análisis, diseño y modelado de algunos de los elementos necesarios para su funcionamiento adecuado. Se plantea la identificación de restricciones que impiden su funcionamiento, el análisis de componentes disponibles, la generación de fichas técnicas para adquirir partes faltantes, el diseño de algunos elementos necesarios, y la elaboración de una guía de usuario para la puesta en marcha. Se destaca la relevancia estratégica del proyecto en la industria manufacturera, dado que la extrusión de espuma es crucial en la producción de diversos productos. Por tanto, se presentan un enfoque en miras a abordar los desafíos técnicos, contribuyendo al desarrollo y repotenciación de procesos industriales. Los objetivos, así como los resultados obtenidos reflejan la identificación detallada de módulos y componentes faltantes, al igual que la entrega al usuario de elementos necesarios para la toma de decisiones sobre la activación de la línea de extrusión existente, promoviendo la cooperación entre conocimientos teóricos y necesidades industriales reales.

***Palabras clave* — Extrusión de espuma, diseño, desarrollo industrial, puesta en marcha, PET.**

ABSTRACT

This report addresses the needs to activate an inoperative foam extrusion line in Mexico through the analysis, design and modeling of some of the elements necessary for its proper operation. The identification of restrictions that prevent its operation, the analysis of available components, the generation of technical data sheets to acquire missing parts, the design of some necessary elements, and the elaboration of a user's guide for the start-up are proposed. The strategic relevance of the project in the manufacturing industry is highlighted, since foam extrusion is crucial in the production of various products. Therefore, an approach is presented with a view to address technical challenges, contributing to the development and repowering of industrial processes. The objectives, as well as the results obtained reflect the detailed identification of missing modules and components, as well as the delivery to the user of elements necessary for decision making on the activation of the existing extrusion line, promoting cooperation between theoretical knowledge and real industrial needs.

***Keywords* — Foam extrusion, design, industrial development, machine set-up, PET.**

I. INTRODUCCIÓN

El desarrollo industrial y la fabricación eficiente de productos demandan procesos de producción optimizados y equipos especializados que garanticen la calidad y la rentabilidad. En este contexto, la línea de extrusión de espuma representa un componente crucial para la industria, ofreciendo versatilidad en la fabricación de productos diversos, como bandejas, platos, artículos de aislamiento, entre otros.

El proyecto tiene como objetivo analizar y abordar los desafíos asociados con la puesta en marcha de una línea de extrusión de espuma en México. Esta línea, que cuenta con algunos componentes, partes y máquinas, requiere una evaluación detallada y un proceso de preparación para garantizar nuevamente su funcionamiento.

El problema por abordar radica en identificar las restricciones de la línea de extrusión, así como determinar qué componentes y recomendaciones son necesarios para su funcionamiento adecuado. Esto implica realizar un análisis detallado de los recursos disponibles, incluyendo fotos, planos, documentos, cotizaciones y material similar, para definir la disponibilidad de los componentes y puntualizar qué hace falta, que se debe rediseñar o adquirir.

Los objetivos del proyecto incluyen la realización de un análisis e investigación detallada, el diseño y modelado de componentes, la creación de dibujos técnicos, la elaboración de un listado de partes (fichas técnicas), la preparación de una guía de usuario (lista de chequeos y recomendaciones mínimas), además de la formulación y presentación de breves propuestas de inversión. Estos objetivos se abordarán a través de un enfoque multidisciplinario que combine conocimientos de ingeniería mecánica, diseño industrial y gestión de proyectos.

La importancia de este proyecto radica en su capacidad para contribuir al desarrollo y la repotenciación de procesos industriales, además, su aplicación práctica promueve una cooperación beneficiosa entre los conocimientos teóricos y las necesidades reales del entorno industrial, resultando en un intercambio enriquecedor y constructivo de experiencias y estrategias prácticas.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El proyecto plantea el desafío de analizar, diseñar, modelar y cotizar algunos de los elementos necesarios para activar una línea de extrusión de espuma ubicada en México (Fig. 1). Esta línea se encuentra inoperativa debido a la ausencia de módulos, partes y componentes esenciales. Por lo que este proceso requiere una evaluación detallada para generar documentos técnicos (fichas técnicas) de los módulos, en los que se especifiquen los componentes generales que faltan y el costo estimado para su puesta en marcha, así como la creación de una guía de usuario (lista de chequeos) para asegurar el cumplimiento de los requerimientos mínimos operativos.



Fig. 1. Componentes existentes de la línea de extrusión.

Interrogantes por resolver

1. *Identificación de restricciones:* ¿Cuáles son las restricciones principales que impiden el funcionamiento de la línea de extrusión de espuma?
2. *Análisis de Componentes y Máquinas:* ¿Se encuentran disponibles todas las máquinas y los componentes necesarios?
3. *Generación de fichas técnicas:* ¿Cuáles son las partes faltantes que se deben adquirir para completar los módulos existentes de la línea de extrusión? ¿Cuánto es el costo estimado?
4. *Modelo, dibujo y diseño:* ¿Qué elementos se deben diseñar o modelar o dibujar?
5. *Elaboración de lista de chequeos:* ¿Cuáles son los requerimientos mínimos que se deben cumplir y verificar, para la puesta en marcha?

III. JUSTIFICACIÓN

El proyecto de análisis, diseño y modelado para la puesta en marcha de una línea de extrusión de espuma (*Foam*) ha sido seleccionado por su relevancia estratégica y su posible impacto en la industria manufacturera. Esta iniciativa responde a los desafíos técnicos que enfrenta Industrial Design Solutions S.A.S, especialmente en lo que respecta a la inoperatividad de la línea de extrusión.

La relevancia técnica del proyecto se debe a que el proceso de extrusión de espuma es esencial en la producción de una diversidad de productos, incluyendo materiales de embalaje, componentes automotrices y artículos aislantes. Además, en un mercado que demanda materiales ligeros y duraderos, reactivar esta línea representa una oportunidad para reutilizar un recurso previamente olvidado.

IV. OBJETIVOS

A. *Objetivo general*

Desarrollar de manera integral el análisis y diseño de componentes para la puesta en marcha de una línea de extrusión de espuma (*Foam*) ubicada en México, con el fin de determinar los componentes necesarios y sentar las acciones y las condiciones mínimas para su funcionamiento.

B. *Objetivos específicos*

- Identificar, investigar, analizar y comprender el funcionamiento de los componentes, partes y máquinas que conforman la línea de extrusión de espuma (*Foam*).
- Identificar las restricciones y oportunidades de mejora de la línea de extrusión, logrando la determinación y evaluación de las partes y/o componentes faltantes que requieren adquisición para permitir el funcionamiento.
- Definir con el área de ingeniería el diseño, modelado y creación de dibujos técnicos de algunos de los componentes necesarios requeridos para la puesta en marcha de la línea de extrusión de espuma.
- Contribuir en la elaboración de listados de partes (fichas técnicas) requeridas para la puesta en marcha de la línea de extrusión, así como con la especificación de proveedores, cantidades y características específicas.
- Desarrollar una guía de usuario (lista de chequeos), proporcionando acciones y condiciones mínimas sobre parámetros de operación y mantenimiento de los módulos existentes de la línea de extrusión de espuma.
- Formular propuestas de inversión basadas en los análisis realizados, aportando datos y recomendaciones para la optimización de recursos y procesos.
- Aplicar un enfoque multidisciplinario que integre conocimientos de ingeniería mecánica, diseño industrial y gestión de proyectos para el logro eficiente de los objetivos planteados por el equipo.

V. MARCO TEÓRICO

El proceso de extrusión de espuma es fundamental en la fabricación de una amplia gama de productos, desde bandejas para comida hasta aislamientos térmicos. Consiste en la producción de espuma a partir de un material (polímero) fundido que se expande y posteriormente se solidifica. La estructura celular de esta espuma se puede formar mediante dos tipos de procesos: mediante un agente espumante físico o un gas inyectado directamente en el plástico fundido o con un agente espumante químico que libera un gas en expansión para crear espuma [1].

Materiales:

Entre los principales materiales que se pueden extruir, se encuentra el polietileno (PE) el cuál se caracteriza por que sus propiedades de aislamiento térmico y acústicas son extraordinarias [2], el poliestireno (PS) el cuál es usado en construcción, automoción y embalaje [2], el polipropileno (PP), el ácido poliláctico (PLA) y el polietileno tereftalato (PET), este PET tiene un gran potencial para reemplazar la espuma de poliestireno (PS), debido a que tiene menor huella de carbono que el poliestireno extruido (XPS) y que el polietileno extruido (XPE), además es posible usar PET reciclado y sus propiedades mecánicas y de aislamiento térmico son mejores, asimismo tiene un amplio rango de aplicaciones, desde bandejas para frutas y microondas, hasta aislamientos para fluidos con temperaturas superiores a los 100 °C en la industria solar o en camiones para refrigerar comida [3].

Especificaciones y requisitos generales de la línea de extrusión de espuma:

La línea de extrusión de espuma de este caso de estudio fue diseñada para procesar PET de baja densidad y mezclarlo con gas butano, además de permitir una tasa de producción entre 136,1 y 226,8 kg/h. Por otro lado, la línea de extrusión requiere las condiciones generales mostradas en la TABLA I, la cual está basada en [4] y [5] para una adecuada operación.

TABLA I.
CONDICIONES GENERALES DE OPERACIÓN.

Parámetro/Componente	Especificaciones
Temperatura ambiente	[5-40] °C
Humedad relativa	[30-95] %
Agua	Filtrada y destilada
Aire	Tratado y comprimido
Conexión eléctrica	460 V / 60 Hz / 3 Ph

Componentes y proceso de la línea de extrusión de espuma:

Secado y dosificado:

Dependiendo del material se requiere o no, un sistema de secado, debido a que algunos materiales son altamente higroscópicos [6] y se requiere retirar la humedad para obtener un producto de calidad [7]; también se requiere un sistema de dosificación, el cual permite el flujo necesario de material a la etapa de fundición y mezcla. Además de esto, en esta sección también es necesario un separador magnético, este dispositivo protege la extrusora, evitando que partículas metálicas lleguen a esta.

Etapa de fundición y mezcla:

La etapa de fundición y mezcla se puede configurar de diferentes maneras, una de estas es una configuración con una extrusora de un solo tornillo, esta configuración cuenta con solo una extrusora en la cual primero se funde el material y luego se inyecta gas (butano, CO₂ o N₂ generalmente) obteniendo una mezcla; otra configuración es el sistema “*tandem*”, el cual se conforma con 2 extrusoras y un sistema adaptador entre ambas, en este sistema “*tandem*” se realiza el mismo proceso que con la extrusora de un solo tornillo, pero luego de obtener la mezcla, esta pasa por una etapa de filtración y transporte hasta llegar a una extrusora secundaria, donde se continua mezclando y se homogeniza el material.

Extrusora primaria y sistema de inyección de gas:

La extrusora primaria se encarga de fundir el material (*pellets* de PET) a medida que lo transporta a lo largo del tornillo extrusor, esto se logra por medio del aporte térmico de bandas calentadoras y mediante la refrigeración por medio de sopladores (*blowers*) para controlar la temperatura. Posteriormente, cuando el PET está totalmente fundido y tiene alta solubilidad, se inyecta gas a alta presión (generalmente butano, N₂ o CO₂). Este gas al estar sometido a presiones tan altas cambia de estado a un estado supercrítico, donde posee propiedades termodinámicas críticas y alta difusividad, obteniendo así las mejores condiciones para mezclar las dos sustancias. Posteriormente a la inyección del fluido supercrítico, se mezclan las sustancias en la zona final del tornillo extrusor, donde el gas actúa como agente espumante y permite reducir la densidad del producto final al requerir menos masa en el mismo volumen, lo cual se refleja en reducción de costos en material [8].

A continuación, se presentan las condiciones de operación en la TABLA II, la cual está basada en [9]-[17][18].

TABLA II.
CONDICIONES DE OPERACIÓN DE LA EXTRUSORA PRIMARIA.

Parámetro/Componente	Especificaciones
Temperatura de operación	[269-283] °C
Presión de operación	[1300-1600] psi
Velocidad del tornillo	102,8 rpm
Temperatura máxima de diseño	315 °C
Presión máxima de diseño	10000 psi
Disco de ruptura	9000 psi
Temp. de operación del aceite	[66-71] °C
Tipo de aceite lubricante	ISO VG 150 (AGMA NO. 4)
Cantidad de lubricante	23 L (6 U.S Gal)
Control	415 V / 50 Hz / 3 Ph
Motor	100 HP / [1490-2235] RPM / 380 V / [147-135] A / [50-75] Hz / 3 Ph
Sopladores (<i>Blowers</i>)	415 V / 50 Hz / 3 Ph
Sistema de refrigeración de la caja reductora	
Caudal de agua	15 GPM
Temperatura del agua	[21-30] °C
Temp. del aceite (salida del intercambiador)	[43-49] °C

Cambiador de filtros (*Screen changer*):

El cambiador de platos (discos o filtros) es un dispositivo de accionamiento hidráulico utilizado para filtrar el material fundido y remover impurezas antes de permitir el flujo del proceso al cabezal de extrusión o a la extrusora secundaria. Las condiciones de operación del cambiador de filtros se muestran en la TABLA III, basada en [12][19][20].

TABLA III.
CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL CAMBIADOR DE FILTROS (SCREEN CHANGER).

Parámetro/Componente	Especificaciones
Temperatura máxima de diseño	343 °C
Presión máxima de diseño	10000 psi
Conexión cartuchos eléctricos	240 V
Conexión circuito de control	110 V
Unidad de potencia hidráulica	
Conexión eléctrica	460 V / 60 Hz / 3 Ph
Potencia	2 HP
Caudal	0,9 GPM
Tipo de fluido	ISO VG 46 / ISO VG 68
Reservorio	10 U.S. Gal

Adaptador (*Crossover Melt pipe adapter*):

Este dispositivo es un adaptador que permite el flujo de material (fundido) entre la extrusora primaria y la extrusora secundaria. Tiene una disposición a 90 grados y contiene varias bandas calentadoras eléctricas para mantener uniforme la temperatura del material, además de conexiones esféricas para evitar problemas debido a la expansión térmica. Sus condiciones de operación se muestran en la TABLA IV, basada en [11] y [21].

TABLA IV.
CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL ADAPTADOR.

Parámetro/Componente	Especificaciones
Presión máxima de diseño	10000 psi
Conexión (Bandas)	240 V

Extrusora secundaria:

La extrusora secundaria es la encargada de homogenizar el material, por medio de un tornillo extrusor especial para mezclar, además, esta extrusora proporciona el enfriamiento de la mezcla y la formación de la espuma a la temperatura óptima [22].

Esta extrusora también cuenta con bandas calentadoras para el aporte térmico, y con un circuito de refrigeración por medio de agua para mantener la temperatura lo más uniforme posible a lo largo del barril, por lo que cuenta con un intercambiador de calor externo con el cual se extrae el calor y se suministra agua nuevamente para el proceso.

Una vez el material está perfectamente mezclado, este pasa a la siguiente etapa del proceso (cabezal de extrusión) para continuar el proceso de formación del producto y definir las dimensiones y propiedades. Las condiciones de operación de la extrusora secundaria se muestran en la TABLA V, basado en [4][11][12][16][17][23]-[27].

TABLA V.
CONDICIONES DE OPERACIÓN DE LA EXTRUSORA SECUNDARIA.

Parámetro/Componente	Especificaciones
Temperatura de operación	[255-269] °C
Presión máxima de operación	1600 psi
Velocidad del tornillo	102,2 RPM
Temperatura máxima de diseño	315 °C
Presión máxima de diseño	10000 psi
Disco de ruptura	5000 psi
Temp. de operación del aceite	[66-71] °C
Tipo de aceite lubricante	ISO VG 150 (AGMA NO. 4)
Cantidad de lubricante	45 L (12 U.S Gal)
Temp. máx. de operación de rodamientos	121 °C
Control	415 V / 50 Hz / 3 Ph
Motor	100 HP / [1490-2235] RPM / 380 V / [147-135] A / [50-75] Hz / 3 Ph
Presión en colector de suplemento de agua	30 psi
Sistema de refrigeración de la extrusora	
Caudal de agua	25 GPM
Temperatura del agua	29,4 °C
Bomba	5 HP / 2900 RPM / 190-380-415 V / 16-8-8 A / 50 Hz / 3 Ph
Presión en tanque de agua destilada	4 psi

Cabezal de extrusión:

El cabezal de extrusión es uno de los dispositivos más importantes de la línea de extrusión, debido a que este extruye y define las dimensiones del producto expandido y está directamente relacionado con la consistencia, espesor y densidad del producto [28].

Este cabezal de extrusión cuenta varias bandas y cartuchos calentadores y con tres zonas para calefacción o refrigeración (controladas por 3 unidades de control de temperatura TCU), mediante flujo de aceite; una de estas zonas controla la temperatura del cuerpo del cabezal de extrusión (igual temperatura que el flujo de polímero del proceso) y las otras dos zonas controlan la temperatura del labio interior y el labio exterior respectivamente, por lo general esta temperatura en los labios del cabezal es menor que la temperatura del flujo de polímero del proceso (10-25 °F), para extraer una parte del calor antes de la salida y prevenir pre espumado [29].

Además, justo a la salida del cabezal de extrusión (entre los labios del cabezal) se cuenta con un anillo externo para inyección de aire, para reducir aún más la temperatura del polímero y permitir el ambiente ideal para la constitución de la espuma.

En la TABLA VI, es posible observar las condiciones de operación del cabezal de extrusión, basado en [4][16][17][29][30][31].

TABLA VI.
CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL CABEZAL DE EXTRUSIÓN.

Parámetro/Componente	Especificaciones
Flujo másico	[136,1 - 226,8] kg/h
Temperatura de operación de los labios	255 °C
Temperatura de operación del cuerpo	[261-269] °C
Presión máxima de operación	1800 psi
Presión máxima de diseño	5000 psi
Holgura entre labios	0,025 in
Separación entre bridas (extrusora y cabezal)	1/8 in
Espesor de lámina	[1/8 - 3/16] in
Voltaje para bandas eléctricas	240 V
Voltaje para cartuchos eléctricos	110 V
Unidad de control de temperatura de aceite (TCU)	
Conexión eléctrica	460 V / 60 Hz / 3 Ph
Potencia de bomba	2 HP
Aceite	20 GPM / 6 kW
Tipo de aceite	"UNCON" HTF 500
Temperatura máxima	260 °C
Anillo de inyección de aire	
Presión de aire	90 psi
Caudal	50 SCFM @ 55°F

Mandril de moldeo, refrigeración y corte:

Esta etapa del proceso está conformada por un elemento para moldear, refrigerar y cortar la lámina de espuma una vez que esta sale del cabezal de extrusión. Esto es posible mediante la inyección de aire desde el interior y por medio de un mandril de moldeo, el cual es refrigerado mediante un circuito de agua, controlado por una unidad de control de temperatura (TCU). Además, este sistema posee una cuchilla neumática que permite cortar la lámina para continuar procesándola en el siguiente módulo (*S-Wrap*). A continuación, se presenta la TABLA VII, en la cual se muestran las condiciones de operación del mandril, con base en [5][16][17][32][33].

TABLA VII.
CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL MANDRIL.

Parámetro/Componente	Especificaciones
Presión de aire	90 psi
Caudal de aire	3,5 CFM
Caudal de agua	15 GPM
Temperatura del agua	29,4 °C
Caja de conexiones	24 VDC
Unidad de control de temperatura de agua (TCU)	
Conexión eléctrica	460 V / 60 Hz / 3 Ph
Potencia de bomba	2 HP
Agua	15GPM / 9 kW
Temperatura de operación	[0 - 121,11] °C

S-wrap:

Este dispositivo se encarga de halar y tensar mediante una serie de rodillos de neopreno, la lámina de material espumado, una vez que esta ha sido cortada en el mandril de moldeo, para permitir posteriormente un correcto bobinado del producto.

Además, este dispositivo cuenta con un sistema de seguridad conformado por dos cables tensores y un tapete de seguridad, que detienen la máquina al ser accionados por cualquier persona que se encuentre cerca. Se presenta por tanto la TABLA VIII, con base en [16][17][34][35].

TABLA VIII.
CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL S-WRAP.

Parámetro/Componente	Especificaciones
Presión de aire	[90 - 100] psi
Control	415 V / 10 A (full load) / 50 Hz / 3 Ph
Motor	100 HP / [1475-2215] RPM / [200-400] V / [10,3/5,15 - 8,46/4,23] A / [50-75] Hz / 3 Ph

Bobinador (*Winder*):

Esta máquina se encarga de retirar la electricidad estática y bobinar el producto, para entregarlo en su presentación final y comercial. Esta máquina cuenta con un soplador (*blower*) que permite retirar la estática de la lámina de espuma mediante un flujo de aire ionizado, también cuenta

con dos rodillos para tensar y dos rodillos para bobinar, que permiten procesar dos productos al tiempo y/o permiten una producción continua sin necesidad de parar la máquina para extraer el material. A su vez, este módulo acciona 4 cilindros neumáticos para retirar los dos rollos del producto final, una vez que se ha bobinado la cantidad máxima de material. También este módulo cuenta con un tapete de seguridad para parar el proceso cuando las personas estén alrededor. A continuación, se presentan las condiciones de operación del módulo *Winder*, con base en [16][17][36][37], evidenciado en la TABLA IX.

TABLA IX.
CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL BOBINADOR (*WINDER*).

Parámetro/Componente	Especificaciones
Presión de aire	90 psi
Control	415 V / 24 A (full load) / 50 Hz / 3 Ph
Motores	5 HP / 1480 RPM / [200-400] V / [16,4-8,2] A / 50 Hz / 3 Ph

Análisis:

Se llevará a cabo, mediante investigación técnica a partir de imágenes, documentos, cotizaciones, planos y complemento técnico a partir de búsqueda de información. Esta parte es de gran relevancia porque permite definir los elementos necesarios y faltantes para el funcionamiento.

Normativas y estándares aplicables a la industria de la extrusión de espuma:

Es importante tener presente normativas y estándares aplicables a este sector para garantizar la seguridad, calidad, eficiencia y sostenibilidad en las operaciones. En el ámbito de la extrusión de espuma hay diversas normas que rigen el funcionamiento y la operación de este proceso, entre estas normas se encuentran normas de seguridad como la norma mexicana NOM-004-STPS-1999, la directiva europea 2006/42/CE y la norma internacional ISO12100, también se encuentra la norma ISO 13857 para distancias entre obstáculos físicos y zonas de peligro, la norma ISO 13732-1 para peligros por contacto con superficies calientes, la norma ISO 4414 para la aplicación de neumática, la norma NOM-006-STPS-2000 para el manejo y almacenamiento de materiales, la

norma NOM-011-STPS-2001 para los niveles de ruido, entre muchas otras normas aplicables a esta industria [38] [39] [40].

Criterios de selección de los componentes y máquinas:

Para la selección de componentes, partes, máquinas, entre otros dispositivos, es de vital importancia asegurar la capacidad de producción para la que fue diseñada la línea de extrusión, con base a los requerimientos y a las especificaciones de la línea que se tiene. A su vez, es igual de relevante que cada componente cumpla con los criterios de calidad y seguridad para obtener un excelente producto final, con las dimensiones y especificaciones requeridas. También, aunque parezca trivial, se debe verificar que los componentes y máquinas seleccionados sean compatibles con el material del proceso. Igualmente, se consideran aspectos como durabilidad de los componentes, eficiencia energética, facilidad de mantenimiento y costo.

Diseño y Modelado:

En la etapa de diseño y modelado es sustancial pensar en materiales resistentes y comerciales para el proceso y el uso. Así como en procesos de fabricación factibles y adecuados, para garantizar calidad, durabilidad y compatibilidad con los demás componentes.

Así mismo es igual de sustancial una etapa de diseño conceptual, esta permitirá visualizar y comprender mejor el diseño propuesto, así como identificar posibles problemas y oportunidades de mejora.

Por otra parte, el uso de software CAD (diseño asistido por computadora) es muy común en el modelado para los componentes que se requieren diseñar, fabricar o simplemente representar. Algunas de las herramientas CAD más utilizadas son SolidWorks y Autodesk Inventor, estas herramientas permiten crear modelos virtuales precisos y detallados de los componentes, facilitando la visualización y la detección de posibles problemas de diseño.

Dibujo técnico:

El dibujo técnico es una herramienta fundamental para representar un *layout* general de la línea de extrusión. Los dibujos técnicos permiten una comunicación clara y precisa entre los ingenieros, técnicos, operarios y demás actores involucrados en el proceso.

Asimismo, el dibujo técnico sigue normas y estándares establecidos por organizaciones como la Sociedad Estadounidense de Ingenieros Mecánicos (ASME) y la Organización Internacional de Estandarización (ISO) [41]. Estas normas definen convenciones para la representación de líneas, dimensiones, símbolos y otros elementos en los dibujos técnicos.

Fichas técnicas:

Las fichas técnicas son elementos claves. Estas fichas incluyen las partes necesarias para completar los módulos de la línea, como componentes y dispositivos de instrumentación, además incluyen especificaciones técnicas, capacidades, materiales y requerimientos de energía. Esto permitirá una selección adecuada de las partes y una integración óptima de la línea de extrusión de espuma.

Lista de chequeos:

La lista de chequeos es un instrumento crucial en la puesta en marcha de una línea de extrusión de espuma, ya que proporciona un método sistemático para verificar el cumplimiento de las condiciones mínimas de operación de cada módulo y las acciones mínimas de mantenimiento para llevar a cabo la activación.

Caudal de aire de extracción:

Para el diseño de concepto de una cabina de pintura es importante calcular el volumen de aire que se debe extraer del espacio cada cierto tiempo, para evitar acumulación de pintura y seleccionar el extractor adecuado. Para este cálculo se utiliza la ecuación (1) [42], donde Q_a es el

caudal de aire que se debe extraer del espacio, V_c es el volumen del espacio (2) y $Renov$ es la cantidad de renovaciones de aire por cada cierto tiempo.

$$Q_a = V_c * Renov \quad (1)$$

$$V_c = Largo * Ancho * Alto \quad (2)$$

VI. METODOLOGÍA

A. Exploración y búsqueda de información

- Aporte por parte del equipo de mantenimiento: Fotografías, mediciones generales, especificación de algunas conexiones y de algunos elementos, y tiempos aproximados de mantenimiento general de los equipos.
- Revisión y análisis de documentos técnicos (*data sheets*) e información técnica de componentes: Planos, fotografías, hojas de datos, manuales, documentos, cotizaciones e investigaciones independientes para identificar los componentes, las partes, las máquinas, el funcionamiento general del sistema y sus condiciones de operación.

B. Desarrollo de fichas técnicas

- Componentes que integran los subsistemas: Determinación y listado de componentes principales (necesarios para el funcionamiento), que integran cada subsistema existente en la bodega, con base a la información recopilada en la revisión y el análisis previamente realizado.
- Elementos disponibles y no disponibles: Análisis de los elementos necesarios para el funcionamiento (anteriormente determinados), e identificación de los elementos disponibles y no disponibles en la bodega.
- Costos generales de los componentes faltantes e intervención: Costos aproximados de los componentes que no están disponibles en la bodega y del mantenimiento (intervención) general de los equipos existentes. Mediante cotizaciones, búsqueda en internet y contacto con proveedores y personal de mantenimiento.

C. Diseño de componentes y sistemas mecánicos

- Definición de especificaciones técnicas de componentes y sistemas mecánicos: Definición de especificaciones técnicas, condiciones mínimas de operación y sistemas mecánicos requeridos para la operación, con base a la exploración y búsqueda de información y al desarrollo de las fichas técnicas.

-
- Diseño de concepto y costo aproximado de cabina de pintura para restauración de componentes: Exploración y análisis de ideas de cabinas existentes; definición de requerimientos de diseño, cotizaciones de elementos, uso de software para representación visual y rápido análisis de elementos finitos para dar una idea del funcionamiento o comportamiento de la cabina.
 - Elaboración de listado de chequeos: Elaboración de listado de chequeos con recomendaciones mínimas de mantenimiento y revisión para definir si es posible cumplir estas condiciones y decidir si se recomienda o no, la puesta en marcha.
 - Desarrollo de modelos CAD y *Layout* del proceso: Uso de *software* de modelado CAD (SolidWorks) para modelar y adaptar algunos de los componentes, algunas partes faltantes y los conceptos de diseño, además para representar la distribución del sistema mediante un *Layout* general.

D. Alcance

Este proyecto se enfocó en el análisis de los componentes faltantes y las recomendaciones básicas para la puesta en marcha de la línea de extrusión existente, durante un periodo de tiempo de 5 meses, por medio de investigación secundaria e investigación primaria por medio del contacto con proveedores directos de algunos componentes relacionados.

VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Módulos y componentes faltantes

Posterior a la exploración y búsqueda de información, se encontró que una línea de extrusión de espuma está compuesta por diversas máquinas y elementos, que conforman o permiten diferentes etapas del proceso. En la siguiente imagen (Fig. 2) se muestra de manera general los principales módulos necesarios para el proceso de extrusión de espuma, desde la extrusora primaria hasta los bobinadores (*Winder*), pero esta representación (Fig. 2) no es exactamente la misma línea de extrusión del caso estudiado, ya que la línea de extrusión de la imagen cuenta con dos bobinadores en lugar de uno, con un anillo de refrigeración por agua y con un sistema de guías para la lámina de espuma; estos módulos no hacían parte de la línea de extrusión de espuma del caso de estudio cuando esta operaba hace algunos años. Por el contrario, los demás módulos si deben hacer parte de la línea de extrusión del caso de estudio.

DAVIS-STANDARD FOAM SHEET SYSTEMS

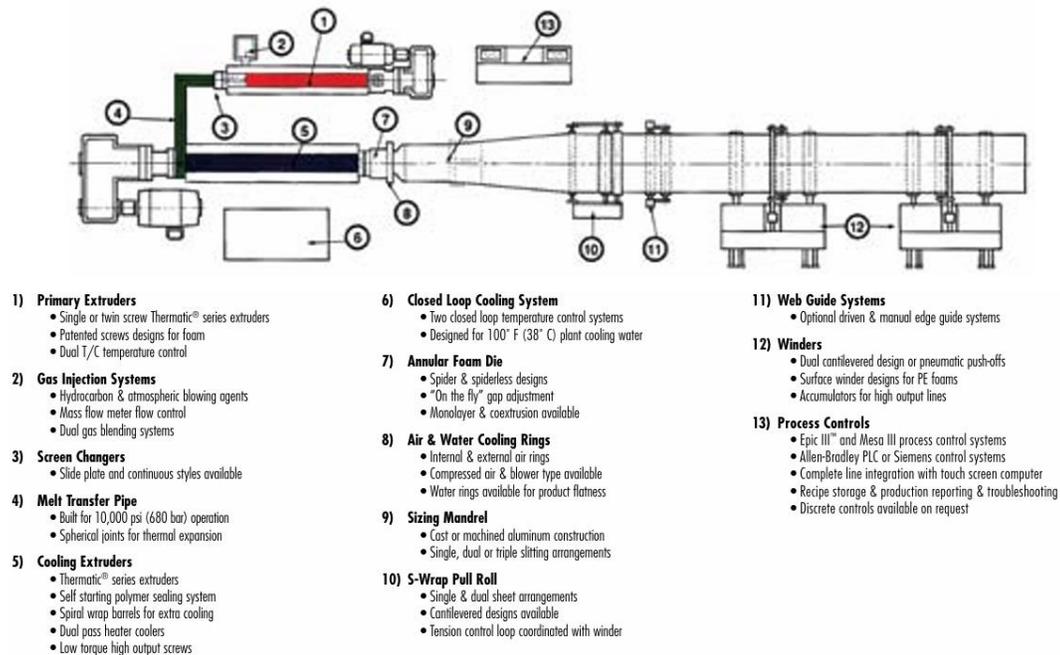


Fig. 2. Componentes generales de una línea de extrusión de espuma.

Nota: fuente <https://pdf.directindustry.com/pdf/davis-standard-extrusion-systems/davis-standard-foam-extrusion-systems/50067-59898.html>.

Con relación a la imagen anterior (Fig. 2), en la bodega de la empresa en México, se encontraron los siguientes módulos:

- Extrusora secundaria
- Sistema de refrigeración de la extrusora secundaria
- Codo del adaptador (*melt pipe adapter elbow*)
- Cabezal de extrusión
- Anillo de refrigeración por aire
- Mandril de formación, refrigeración y corte
- *S-Wrap*
- Bobinadora *Winder*

Por lo cual fue posible definir que la línea de extrusión de espuma debe disponer también de los siguientes módulos para operar:

- Extrusora primaria
- Sistema de inyección de gas
- Cambiador de filtros (*screen changer*)
- Controlador del proceso
- Secador de pellets y dosificador

Además de esto, se evidenció que los módulos requieren suplemento de aire comprimido y de agua a cierta temperatura, por lo que también se necesita un compresor y un *chiller*, debido a que actualmente la bodega no cuenta con estos suplementos.

B. Fichas técnicas

Con la información investigada y recopilada se generaron fichas técnicas para cada uno de los módulos existentes en la bodega. Cada una de estas fichas técnicas contiene un listado de partes, en el cual se listan los componentes principales que requiere el módulo para operar, tales como bandas eléctricas, motores, componentes de instrumentación, componentes de circuitos neumáticos, entre otros. Además de esto, contiene todas las especificaciones que se pudieron encontrar acerca de cada componente, el peso aproximado del módulo y la referencia, la cantidad

de componentes necesarios para la operación, la cantidad de componentes disponibles (existentes) en la bodega, el costo estimado o aproximado y algunas observaciones de lo que se debe ensamblar, así como otras observaciones generales.

Estas fichas técnicas se pueden consultar en los anexos, específicamente de la siguiente manera:

- Anexo A: Extrusora secundaria
- Anexo B: Sistema de refrigeración de la extrusora secundaria
- Anexo C: Cabezal de extrusión
- Anexo D: Mandril de refrigeración, moldeo y corte
- Anexo E: *S-Wrap*
- Anexo F: Bobinadora *Winder*
- Anexo G: Adaptador (*crossover melt pipe adapter*)

C. Modelo y dibujo

Es importante modelar los módulos de la línea de extrusión, esto ayuda a entender mejor el sistema y permite una representación sencilla y visual de las máquinas. Para esto, se utilizaron modelos similares encontrados en la base de datos de la empresa y se adaptaron y modelaron para obtener ensambles muy parecidos a los módulos reales que se encuentran en la bodega en México.

Entre los módulos abordados, se encuentra el mandril de enfriamiento y moldeo y la bobinadora *Winder* (Fig. 3). Al mandril se le adecuó los colectores de agua, la unidad de mantenimiento (FRL), el cuerpo del mandril, el tipo y la posición del soporte del mandril, la cuchilla neumática y el soporte de la cuchilla neumática. Por otra parte, al módulo *Winder* se le adecuó los motores, el gabinete, el soplador (*blower*), el rodillo tensor y su soporte.

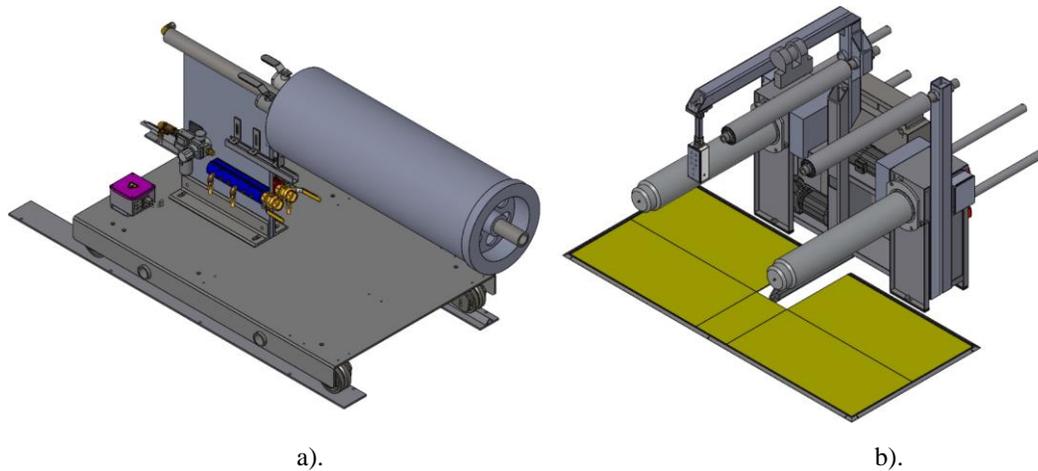


Fig. 3. Modelos: a). Mandril de enfriamiento y moldeo. b). Bobinadora *Winder*.

A su vez, se modeló la forma básica de otros componentes como lo son el sistema de inyección de gas, las unidades de control de temperatura de aceite y de agua y el control del proceso (Fig. 4).

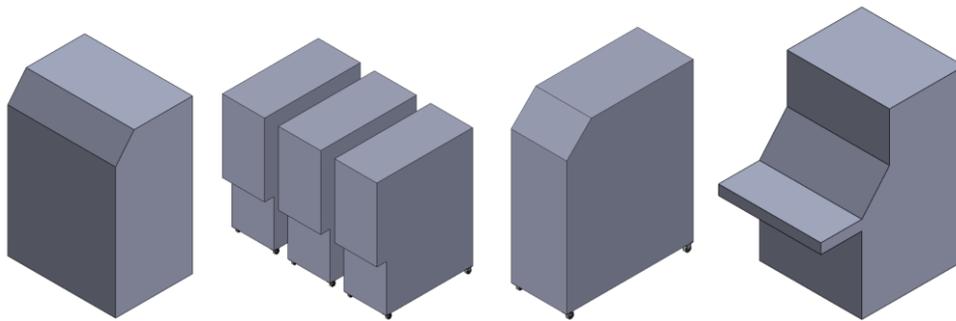


Fig. 4. Modelos simples de algunos componentes.

Con los modelos anteriores (Fig. 4), modelos de la base de datos y modelos desarrollados en Industrial Design Solutions S.A.S, se representó la línea de extrusión de espuma (Fig. 5) y se realizó un plano (*Layout*) de la distribución del sistema (Anexo J), en el cual se muestra la disposición general de la línea, los componentes principales y generales con los que debe disponer, algunas dimensiones generales, especificaciones de modelo y referencia de los equipos y algunas especificaciones del material y del producto, como flujo másico del proceso y el espesor del producto.

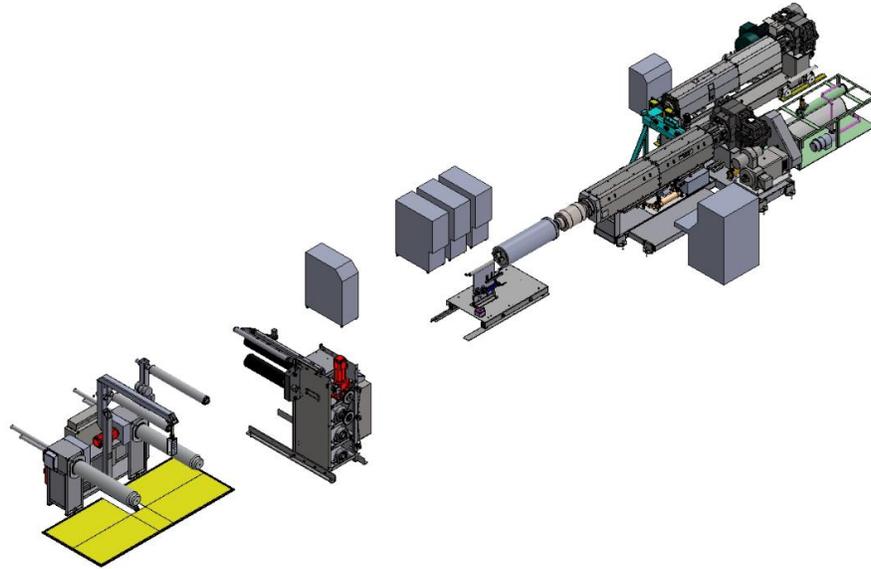


Fig. 5. Línea de extrusión de espuma.

D. Guía de usuario (lista de chequeos)

De la investigación realizada se obtuvo gran información acerca de las especificaciones técnicas de los equipos y sobre las condiciones de operación que se deben proporcionar para que los módulos operen correctamente (especificadas en el marco teórico).

Con esta información recopilada, se creó una guía de usuario (lista de chequeos, Anexo H) en la cual se especifican dichas condiciones y las acciones de mantenimiento básicas, que se deben realizar y verificar antes de intentar poner en marcha los equipos.

Este documento se divide por módulos (extrusora, cabezal de extrusión, etc) y cada módulo se divide por componente (motor, componentes eléctricos, etc). Así se pretende guiar a la persona encargada de realizar los chequeos, para que con calma realice las acciones necesarias para cada uno de los módulos y pueda definir si se cumplen las condiciones necesarias, y con base en esto, si se recomienda o no la puesta en marcha.

E. Idea de concepto de diseño (cabina de pintura)

Para poner a punto cualquier máquina o modulo, además de reponer o adquirir las piezas y elementos faltantes, es necesario también restaurar y pintar algunas piezas para mejorar su apariencia. Es por esto por lo que se analizaron diversas posibilidades para pintar las maquinas

existentes en la bodega y se desarrolló una propuesta (idea de diseño de concepto) simple y rápida, y algunas cotizaciones para estimar una posible solución (Anexo I).

Para esto se partió de los siguientes requerimientos de diseño:

- Espacio disponible de 6,6 m de ancho (o largo) y 3,95 m de altura (Fig. 6).
- Altura mínima libre debe ser de 2,7 m, debido a que el módulo *S-Wrap* mide aproximadamente 2,6 m de alto.
- Debe ser de 6 m de largo mínimo, ya que la extrusora mide aproximadamente 5,7 m de largo.
- Debe tener fácil accesibilidad para posicionar las máquinas con el puente grúa.
- Debe permitir fácilmente el ensamble y desensamble y ser lo más económica posible.



Fig. 6. Espacio disponible en la bodega para cabina de pintura.

Una vez definidos los requerimientos de diseño, se exploraron ideas de cabinas existentes, encontrando diversidad de estilos, desde cabinas muy simples y artesanales, hasta cabinas retráctiles y otras muy elaboradas e industriales. Luego de la investigación, se tomó la decisión de realizar una estructura sencilla (soportes laterales) con un techo corredizo para permitir el acceso de los componentes mediante el puente grúa.

Después, se representó brevemente la idea en el *software* SolidWorks (para visualizar un poco mejor el concepto). En la Fig. 7 se aprecia el espacio disponible entre las columnas de la bodega.

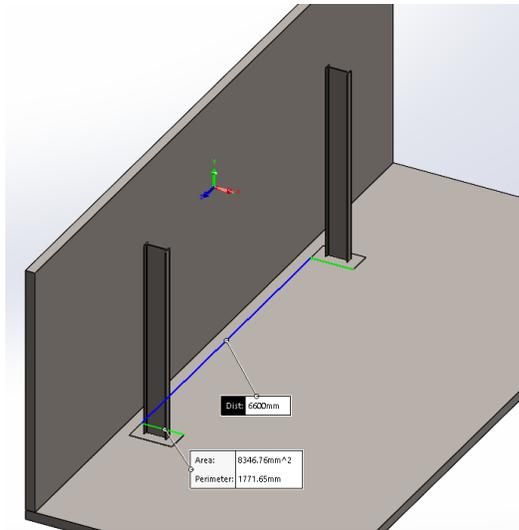


Fig. 7. Representación del espacio disponible.

Luego de representar el espacio disponible en el *Software*, se modelaron los soportes principales (Fig. 8), los cuales son estructuras laterales unidas mediante sujeción mecánica para evitar la soldadura, debido a que no se cuenta con equipo de soldadura y a que debe permitir fácil ensamble y desensamble. Estas estructuras tienen unas dimensiones generales de 3,24 m de alto por 4 m de largo. Además, con estas estructuras laterales se facilita el acceso de los componentes mediante el puente grúa.

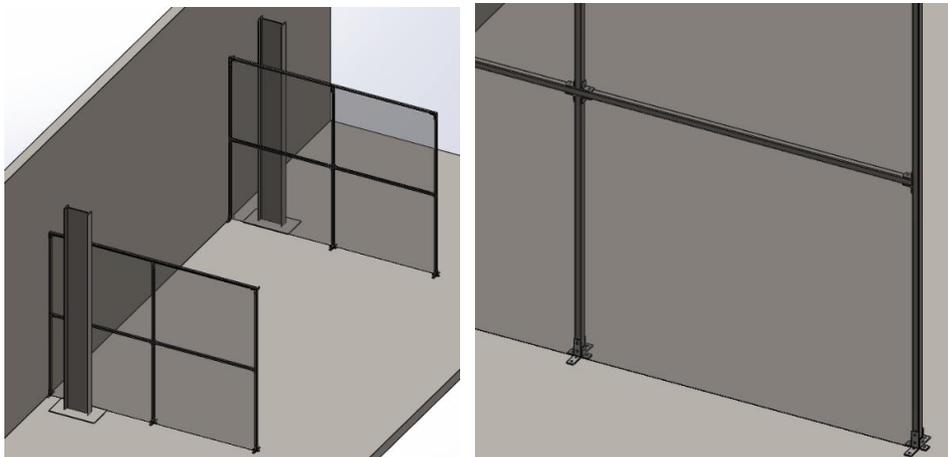


Fig. 8. Soportes principales.

Por otra parte, como se mencionó anteriormente, se decidió emplear un techo corredizo (Fig. 9), para esto se utilizaron rieles de rodillos y soportes transversales.

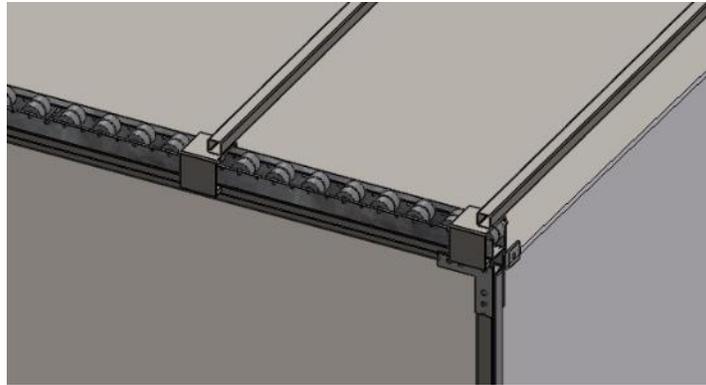


Fig. 9. Techo corredizo.

Respecto a la cobertura de la cabina, se pensó en un tipo de lona, esta lona se sujeta por secciones de acuerdo con la estructura. Se usó una sección de lona para el techo removible (sujeta a los soportes transversales) y otras dos secciones de lona (una para cada estructura lateral), estas dos secciones de lona permiten la unión entre ambas por medio de un cierre (Fig. 10).

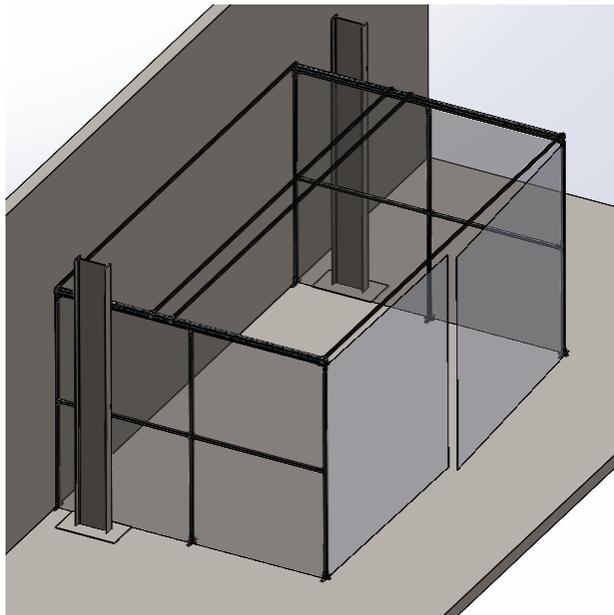


Fig. 10. Cabina con cubierta (lona).

Posteriormente, se calculó el caudal de aire que se debe extraer de la cabina cada cierto tiempo. Para esto, con base en lo especificado en el marco teórico y mediante la asesoría del asesor externo (de Industrial Design Solutions S.A.S), se determinó una renovación de aire de 60 renovaciones cada hora. Además, se definió que las dimensiones de la cabina, la cual se muestra en la Fig. 11, eran 3,2 m de alto, 4 m de largo y 6,6 m de ancho y se usó las ecuaciones (1) y (2), para determinar que se requiere extraer 2984 CFM (aproximadamente 3000 CFM).

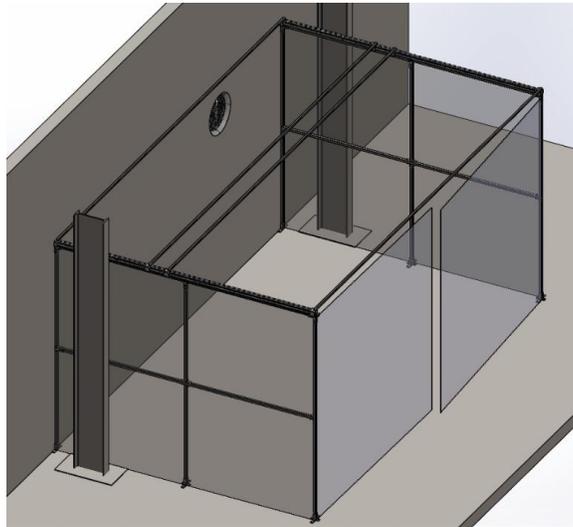


Fig. 11. Cabina de pintura.

Una vez se definió la idea de concepto, se realizaron algunos análisis rápidos de elementos finitos, para definir aproximadamente el tamaño de los perfiles y así tener una idea más clara de cuánto puede costar y cómo se comporta la estructura sometida a carga. Para esto se realizan dos análisis, uno para las estructuras (soportes) laterales y otro para los soportes transversales (techo).

Para el primer análisis se decidió utilizar un perfil tubular, cuadrado y comercial, de dimensiones 1-3/4" x 1-3/4" x 11 GA (44,45 mm x 44,45 mm x 3,048 mm) de acero A36, pero este no se encontró en el *software*, por lo que se usaron los parámetros mostrados en la TABLA X.

TABLA X.
PARÁMETROS PARA SIMULACIÓN DE SOPORTES LATERALES.

Parámetro	Valor/especificación
Dimensiones del perfil	40 mm x 40 mm x 2,5 mm
Material del perfil	ASTM A36
Restricciones	6 restricciones fijas en contacto con el suelo
Carga	Remota de 1000 N
Malla	Básica lineal, recomendada por el software

Con estos parámetros se obtuvieron los siguientes resultados (TABLA XI).

TABLA XI.
RESULTADOS DE SIMULACIÓN DE SOPORTES LATERALES.

Parámetro	Valor
Esfuerzo máximo	90 Mpa
Deformación máxima	7,24 mm

Estos resultados mostraron un muy buen comportamiento de la estructura ante las cargas, debido a que el límite de fluencia del acero A36 es 250 MPa, por lo que no se encontró ningún problema con esto, por otra parte, se encontró una deformación de 7,24 mm, esta deformación se podría reducir un poco con algunos soportes, además se recuerda que el perfil utilizado para la simulación tiene dimensiones menores al perfil seleccionado, por lo que se esperaba un mejor resultado. Sin embargo, se decidió utilizar un perfil cuadrado de dimensiones mayores (2" x 2" x 12 GA), para mejorar el desempeño de la estructura y para calcular un costo aproximado de la cabina.

Por otra parte, en cuanto al segundo análisis también se decidió usar un perfil tubular, cuadrado y comercial, de dimensiones 1-3/4" x 1-3/4" x 14 GA (44,45 mm x 44,45 mm x 1,905 mm) de acero A36, pero este perfil no se encontró en el *software*, por lo que se usaron los parámetros mostrados en la TABLA XII:

TABLA XII.
PARÁMETROS PARA SIMULACIÓN DE SOPORTES TRANSVERSALES (TECHO).

Parámetro	Valor/especificación
Dimensiones del perfil	40 mm x 40 mm x 1,6 mm
Material del perfil	ASTM A36
Restricciones	8 restricciones fijas en contacto con los rieles
Carga	Remota de 200 N
Malla	Básica lineal, recomendada por el software

Con estos parámetros se obtuvieron los siguientes resultados (TABLA XIII).

TABLA XIII.
RESULTADOS DE SIMULACIÓN DE SOPORTES TRANSVERSALES (TECHO).

Parámetro	Valor
Esfuerzo máximo	64 Mpa
Deformación máxima	31,81 mm

Estos resultados mostraron un adecuado comportamiento para soportar la carga, debido a que el límite de fluencia del acero A36 es de 250 MPa, por lo que no se encontró ningún problema con esto, pero, por otra parte, se encontró una deformación muy elevada (31,81 mm). Aunque esta deformación puede mejorar usando el perfil real, debido a que tiene mayores dimensiones y mayor espesor que el perfil usado en el software, se decidió utilizar un perfil cuadrado de dimensiones mayores (2" x 2" x 14 GA), para mejorar un poco la deformación y calcular un costo aproximado de la cabina. Sin embargo, se sugiere (y se debe) realizar estudios posteriores para trabajar en esta deformación (31,81 mm) y analizar respecto a la longitud del perfil estructural (6,6 m), para definir si la solución estimada funciona correctamente o si se debe proponer otra idea, tal vez con una disposición diferente, en la cual los soportes transversales del techo tengan menor longitud y la entrada a la cabina sea de forma lateral.

F. Costos estimados

Con la información obtenida para realizar las fichas técnicas anteriormente presentadas y según lo especificado en la metodología, se presenta en la TABLA XIV el costo estimado de los componentes faltantes para cada módulo existente en la bodega y el costo estimado del mantenimiento general para un periodo de 3 semanas, tiempo necesario para ponerlos a punto,

excepto a la extrusora secundaria, debido a que hace falta la parte eléctrica de este sistema y esto es necesario para ponerla a punto.

TABLA XIV.
COSTO DE COMPONENTES FALTANTES PARA MÓDULOS EXISTENTES.

Componente	Costo [USD]
Adaptador (<i>crossover melt pipe adapter</i>)	\$ 10,501.3
Extrusora secundaria	\$ 1,924.4
Cabezal de extrusión	\$ 14,078.1
Mandril de formación y moldeo	\$ 638.8
<i>S-Wrap</i>	\$ 8,928.0
Bobinadora (<i>Winder</i>)	\$ 12,333.0
Cabina de pintura	\$ 2,482.9
Mantenimiento general	\$ 19,600.0
Costo total	\$ 70,486.5

Se evidenció así, que se requiere una inversión de alrededor de \$70,485.5 USD.

Por otra parte, vale la pena aclarar que, si bien estos componentes (exceptuando la extrusora secundaria) se podrían poner a punto con una inversión aproximada a la presentada en la TABLA XIV, la línea de extrusión de espuma no podría operar correctamente, debido a que para operar correctamente hacen falta muchos otros sistemas y componentes que no se encuentran en la bodega o simplemente la bodega no cuenta con lo que se requiere para operar. Por esto se presenta en la TABLA XV el costo estimado de los componentes faltantes para cada módulo, el costo estimado del mantenimiento general para un periodo de 3 semanas, el costo estimado de los módulos faltantes (extrusora, sistema de inyección de gas, cambiador de filtros, etc) y el costo estimado del compresor para la línea de aire de la bodega y del *chiller* para el circuito de refrigeración de agua de la bodega. Por su parte, el costo de la extrusora primaria se actualizó al valor presente considerando la inflación de Estados Unidos para los años 2021 (4,7%), 2022 (8%) y 2023 (4,1%) [43], con base a cotizaciones anteriores realizadas por la empresa Industrial Design Solutions S.A.S.

TABLA XV.
COSTO DE COMPONENTES FALTANTES PARA LA LÍNEA DE EXTRUSIÓN.

Componente	Costo [USD]
Secador de <i>pellets</i> (para flujo másico [136,1 - 226,8] kg/h)	\$ 9,500.00
Separador magnético (FF <i>Drawer</i>)	\$ 1,641.00
Control y componentes eléctricos (para extrusoras y algunos módulos)	\$ 135,247.56
Extrusora primaria (35IN35)	\$ 157,159.80
Sistema de inyección de gas (SCF)	\$ 84,951.00
Cambiador de discos (<i>Screen changer</i> H90 / EH35H)	\$ 17,360.00
Unidad de potencia hidráulica (HPU 1.5)	\$ 9,130.00
Adaptador (<i>crossover melt pipe</i>)	\$ 10,501.30
Extrusora secundaria	\$ 1,924.40
Cabezal de extrusión	\$ 14,078.10
Mandril de formación y moldeo	\$ 638.80
<i>S-Wrap</i>	\$ 8,928.00
Bobinadora (<i>Winder</i>)	\$ 12,333.00
Cabina de pintura (Anexo I)	\$ 2,482.90
Mantenimiento general (3 semanas)	\$ 19,600.00
Chiller (30 TR)	\$ 41,899.00
Compresor ([180-251] ACFM @[90-100]PSI)	\$ 31,150.00
Costo total	\$ 558,524.86

De la TABLA XV se observa que se requiere una inversión de aproximadamente \$558,524.86 USD para poner a punto los módulos, adquirir los módulos faltantes y los componentes generales para línea de aire y circuito de refrigeración de agua, entre otros componentes, cabe aclarar que el valor mencionado no considera costos extras asociados a la instalación, mano de obra, etc. Así pues, con una inversión aproximada y cumpliendo las condiciones mínimas de operación exigidas en la lista de chequeos, y en los manuales de cada componente, se podría operar la línea de extrusión de espuma.

Los costos presentados anteriormente se obtuvieron a través de investigación primaria, con el contacto directo o con comunicaciones anteriores con los proveedores presentados en la TABLA XVI y con otros proveedores para el control y componentes eléctricos, que no se encuentran en la lista debido a que fueron costos investigados por parte del equipo de trabajo.

TABLA XVI.
PROVEEDORES.

Proveedores
Drive Motion & Control
Mokon
Husillos
Mecanizados de Alta Calidad
Tempco
Rodamientos y Refacciones Automotrices e Industriales JOGAR, S.A. de C.V.
American Meter Company
RS
Grainger
McMaster-Carr
JM Electric
Radwell
Instrumart
Blades Machinery Co., Inc
Trexel Inc.
Bunting Magnetics
Berlyn ECM Inc
Kolcor Technologies
Fluid Chillers, Inc
Sullair
Rackart
Maxiacero
Extractores de Aire MX

Por otra parte, con la finalidad de realizar una comparación entre el costo aproximado de los componentes faltantes para la línea de extrusión de espuma existente (TABLA XV) y el costo de una línea de extrusión de espuma nueva, se realizó un análisis con base a cotizaciones anteriores encontradas en la base de datos de la empresa Industrial Design Solutions S.A.S [11]. Para esto se actualizó al valor presente el costo de una nueva línea de extrusión de espuma, considerando la inflación de Estados Unidos para los años 2008 (3,8%), 2009 (-0,4%), 2010 (1,6%), 2011 (3,2%), 2012 (2,1%), 2013 (1,5%), 2014 (1,6%), 2015 (0,1%), 2016 (1,3%), 2017 (2,1%), 2018 (2,4%), 2019 (1,8%), 2020 (1,2%), 2021 (4,7%), 2022 (8%) y 2023 (4,1%) [43]. Sabiendo esto, se presenta en la TABLA XVII el costo estimado de una línea de extrusión de espuma nueva, el costo estimado del sistema de inyección de gas (debido a que la línea nueva no incluye este sistema) y el costo

estimado del compresor para la línea de aire y del *chiller* para el circuito de refrigeración de agua, ya que la bodega no cuenta con estos sistemas.

TABLA XVII.
COSTO DE LÍNEA DE EXTRUSIÓN DE ESPUMA NUEVA.

Componente	Costo [USD]
Línea de extrusión de espuma	\$ 1'418,907.24
Sistema de inyección de gas (SCF)	\$ 84,951.00
Chiller (30 TR)	\$ 41,899.00
Compresor ([180-251] ACFM @[90-100]PSI)	\$ 31,150.00
Costo total	\$ 1'576,907.24

De la TABLA XVII es posible analizar que el costo de una línea de extrusión nueva (\$1'576,907.24), representa prácticamente el doble del costo de los componentes faltantes para la puesta en marcha de la línea de extrusión existente (\$558,524.86 USD), esto teniendo en cuenta que el costo mencionado puede ser un poco mayor debido a costos no considerados como se mencionó anteriormente, por lo que si el objetivo principal del inversionista es la producción de láminas de espuma, invertir en la puesta en marcha de la línea de extrusión existente representa una adecuada opción, teniendo en cuenta que los equipos existentes no tienen muchas horas de uso y que debido al estado actual de los componentes (desembalados) y su antigüedad, estos no representan mayor valor en el mercado actual para su venta. A su vez, vale la pena aclarar, que es sumamente importante, realizar un mantenimiento general inicial y seguir las acciones y recomendaciones de la lista de chequeo, para determinar si los componentes existentes realmente están en condiciones de operar o si presentan averías y deben ser reemplazados por componentes nuevos, lo que representaría una mayor inversión y por ende se requeriría un análisis diferente.

VIII. CONCLUSIONES

- El análisis detallado de los componentes y módulos de la línea de extrusión de espuma ha permitido una apropiada comprensión de su funcionamiento, permitiendo definir los componentes faltantes necesarios y las acciones y condiciones mínimas requeridas.
- A partir del análisis se determina que las principales restricciones de la línea de extrusión son los módulos y componentes faltantes: extrusora primaria, unidad de inyección de gas, control, cambiador de filtros, secador de *pellets* y los componentes especificados en las fichas técnicas; así como el suplemento de aire comprimido y agua.
- De la investigación se concluye que usar sistemas de inyección de gas con la tecnología Mucell es una oportunidad de mejora de la línea de extrusión debido a que esta permite inyectar la cantidad óptima de gas, a la presión óptima, permitiendo reducir la densidad del producto final, sin tener cambios significativos en la resistencia mecánica o en la calidad, reduciendo así los costos de materia prima.
- Se definieron los componentes a diseñar, modelar y dibujar en conjunto con el área de ingeniería de la empresa, obteniendo como resultado el diseño de concepto de la cabina de pintura y las condiciones mínimas de operación de los módulos, el modelo del mandril, de la *Winder* y el ensamble de toda la línea, así como un plano general de la distribución del sistema. Con este, se encuentra por tanto que la representación técnica en planos permite una visualización clara de la distribución y de las máquinas o módulos específicos que deben hacer parte del proceso.
- A través de investigación, análisis, revisión de información y fotos, entre otros, se contribuyó en la elaboración de 7 fichas técnicas correspondientes a los módulos y/o componentes existentes de la línea de extrusión, concluyendo así, que las fichas técnicas brindan información técnica adecuada y además son útiles para saber que componentes hacen falta en el módulo, que cantidades y cuanto pueden costar.
- Se desarrolló una lista de chequeo, a través de investigación de los parámetros mínimos de operación, por medio de diversas fuentes, obteniendo como resultado requerimientos mínimos necesarios para la operación y recomendaciones o acciones de mantenimiento para 6 módulos y condiciones generales, lo que permite definir si se recomienda o no la puesta en marcha.

-
- Para poner a punto la línea de extrusión, se requiere una inversión de aproximadamente \$558,524.86 USD más otros costos dependientes de la instalación y el montaje, y, además, cumplir las condiciones mínimas de operación exigidas en la lista de chequeos y en los manuales de cada componente.
 - Se recomienda invertir en la puesta en marcha de la línea de extrusión de espuma existente, si y solo si, una vez realizados los chequeos (lista de chequeos), se determina que los componentes están en condiciones para operar, de lo contrario se sugiere realizar nuevas cotizaciones de los componentes que no están en condiciones de operar y realizar un análisis de los nuevos costos.
 - Se aplicó un enfoque multidisciplinario a través del diseño industrial y la ingeniería mecánica a través del análisis y diseño de componentes con especificaciones técnicas, involucrando así mismo el análisis de costos en pro de la gestión de proyectos, analizando el mercado y la viabilidad de la puesta en marcha de la línea de extrusión existente según lo solicitado por la empresa.
 - Se determina que el espacio mínimo necesario para la instalación es de al menos 30 metros de largo, 4 metros de alto y 6,5 metros de ancho. Además, es necesario contar con una conexión eléctrica de 460 V, 3 fases y 50 Hz, así como con un suministro de aire tratado y comprimido en el rango de [180-251] ACFM a [90-100] PSI y con un suministro de agua filtrada y destilada de [65-75] GPM a 29°C.
 - El concepto de diseño de la cabina de pintura permite estimar un costo aproximado de este sistema, sin embargo, se deben realizar estudios posteriores más específicos, para verificar un correcto desempeño.

X. RECOMENDACIONES

Para futuras investigaciones se recomienda realizar una comparación con valores del mercado actualizado de una línea de extrusión completamente nueva, versus la reparación y recuperación de líneas de extrusión existentes como la evidenciada durante la investigación.

Además de eso, se recomienda realizar estudios posteriores más específicos y detallados, para el diseño de la cabina de pintura y corroborar si es seguro su funcionamiento o si se debe proponer otra configuración de este sistema.

REFERENCIAS

- [1] ENTEC, “Procesamiento de Espumación”. Proveedor Líder de Resina de Plástico y Polímero | Entec Polymers. [En línea]. Disponible: <https://www.entecpolymers.com.mx/products/processing-methods/foam-processing>.
- [2] TROCELLEN, “Materiales de espuma: Polietileno, Poliuretano, Poliestireno - Trocellen”. Trocellen. [En línea]. Disponible: <https://bit.ly/45KDjGG>
- [3] Sulzer, “*Sulzer XPET Foam Extrusion Technology*”. [En línea]. Disponible: <https://bit.ly/3xIr9BI>
- [4] Davis-Standard, *Operational and Technical Instructions for the Foam Extrusion System*, 2007.
- [5] Indesol S.A.S., *Placa Water Thermal Control Unit*.
- [6] M. Sepe, “*Why (and What) You Need to Dry*”. [En línea]. Disponible: <https://www.ptonline.com/articles/why-and-what-you-need-to-dry>.
- [7] M. R. Snyder, “*Drying PET inline boosts sheet-production efficiency*”. Home | Plastics Machinery & Manufacturing. [En línea]. Disponible: <https://bit.ly/3L2F1cO>
- [8] MuCell, *The “MuCell” Microcellular Foam Extrusion Process*.
- [9] Indesol S.A.S., *Placa caja reductora extrusora primaria*.
- [10] Indesol S.A.S., *Placa extrusora primaria*.
- [11] Davis-Standard, “Cotización para línea de espuma tándem”, Correo electrónico, 2008.
- [12] Davis-Standard, *Operational and Technical Instructions for Thermatic, Mark V, Mark VI, and Fibermaster Extruders*.
- [13] Indesol S.A.S., *Placa control extrusora primaria*.
- [14] Indesol S.A.S., *Placa motor extrusora primaria*.
- [15] Indesol S.A.S., *Placa Blower*.
- [16] MGA, Plano de Sistema de Extrusión de Espuma, Davis-Standard, Plano No. 544062, 13-Feb-2009.
- [17] MJW, Plano de Sistema de Extrusión de Espuma, Davis-Standard, Plano No. 533617, 12-Abr-2007.
- [18] Trexel, “*MuCell Processing Guide*”, 2015. [En línea]. Disponible: <https://de.trexel.com/wp-content/uploads/2019/08/MuCell-Processing-Guide-English-082015.pdf>
- [19] Kolcor Technologies LLC, “*Kolcor Hydraulic Screen Changers*”, Kolcor, pp. 1-2, 2015.
- [20] Kolcor Technologies LLC, “Cotización de *Screen Changer*”, Correo electrónico, 2024.
- [21] Davis-Standard, “*Foam Extrusion System*”, Davis-Standard, pp. 1-8, 2007.

-
- [22] O. García, “Tema6-Procesado Espumas - Tema 6. Procesado de espumas BLOQUE TEMATICO: PROCESADO DE MATERIALES”. Studocu. [En línea]. Disponible: <https://bit.ly/3W37dm4>
- [23] Indesol S.A.S., *Placa caja reductora extrusora secundaria*.
- [24] Indesol S.A.S., *Placa extrusora secundaria*.
- [25] Indesol S.A.S., *Placa control extrusora secundaria*.
- [26] Indesol S.A.S., *Placa motor extrusora secundaria*.
- [27] Indesol S.A.S., *Placa bomba extrusora secundaria*.
- [28] ALEMO, “Línea de extrusión de láminas de espuma EPE y EPP ALEMO EXT165 - ALEMO | Producción, extrusión y conversión de máquinas de espuma.” [En línea]. Disponible: <https://bit.ly/3VOmlCy>
- [29] BEC, Inc. *Model D16SS Foam Die Instruction Manual*, 2009.
- [30] Mokon, “*Circulating Oil Temperature Control System*”, Correo electrónico, 2024.
- [31] S. Yao, D. Hu, Z. Xi, T. Liu, Z. Xu y L. Zhao, “*Effect of crystallization on tensile mechanical properties of PET foam: Experiment and model prediction*”, Polym. Testing, vol. 90, p. 106649, octubre de 2020. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2020.106649>
- [32] Indesol S.A.S., *Placa cuchilla neumática*.
- [33] Indesol S.A.S., *Placa válvula solenoide de los colectores de agua del mandril*.
- [34] Indesol S.A.S., *Placa control S-Wrap*.
- [35] Indesol S.A.S., *Placa motor S-Wrap*.
- [36] Indesol S.A.S., *Placa control Winder*.
- [37] Indesol S.A.S., *Placa de motores del Winder*.
- [38] Universidad de Colima, “Normateca - Normas Oficiales Mexicanas de Seguridad y Salud en el Trabajo”. [En línea]. Disponible: <https://bit.ly/3xCKWHi>
- [39] Mexpolimeros, “Normas”. [En línea]. Disponible: <https://www.mexpolimeros.com/lab/normas.html>
- [40] O. Görnemann, Seguridad de maquinaria con Normas Internacionales [conferencia], ORP 2013 - XI International Congress on Occupational Risk, Santiago de Chile, Chile, 2013.
- [41] T. Wilhite, “Prácticas estándares de dibujo de ingeniería”. [En línea]. Disponible: https://www.ehowenespanol.com/practicas-estandares-dibujo-ingenieria-info_494181/
- [42] Casals, “Cómo calcular las renovaciones por hora según la actividad de un local”. [En línea]. Disponible: <https://bit.ly/3VK3YyO>
- [43] Grupo Banco Mundial. “Inflación, precios al consumidor (% anual) - United States”. [En

línea]. Disponible: <https://bit.ly/4ciiHYG>

ANEXOS

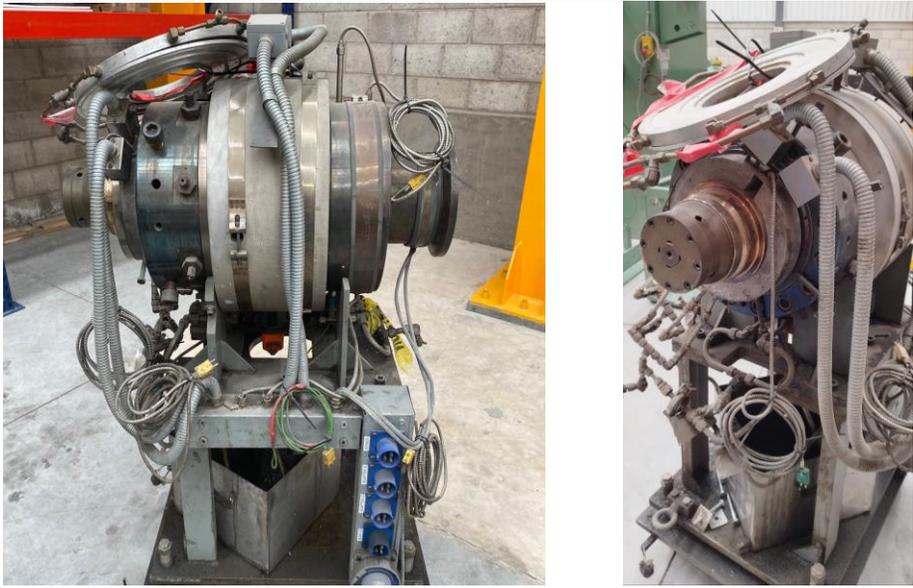
Anexo A. Ficha técnica de la extrusora secundaria

FICHA TÉCNICA INSTRUCTIVA EQUIPO				
FICHA TÉCNICA No		001		
Identificación del equipo o estructura				
EQUIPO	Extrusora secundaria		REFERENCIA	45IN45-30 (BZ738)
			PESO APROX	11882 lb
				
COMPONENTES	NECESARIOS	DISPONIBLES	ESPECIFICACIONES	COSTO aprox/unidad [USD]
Motor	1	1	100 HP, 1490 RPM, 3 fases, 380 V, 147 A @50 Hz.	
Banda conductora	1	1	Estriada	
Poleas	2	2	-	
Caja reductora	1	1	45IN45T, 1.25 sf @ 100 RPM, gear ratio 17.49, cap 45 L	
Tornillo (PET)	1	1	4 1/2 in	
Termopares	16	16	Tipo K	
Bandas calentadoras (barril)	12	12	(5850 W @ 200 V) / (7800 W @ 230 V)	
Bandas calentadoras (espaciador)	4	4	(2775 W @ 200 V) / (3700 W @ 230 V)	
Bandas calentadoras (puerto alimentación)	2	2	2000 W @ 230 V	
Ensamble de sujeción ("clamp")	1	1	Para extrusora 45IN45T	
Disco de ruptura	1	1	5000 psi	
Placa/plato de ruptura	1	1	5.7435 in x 1.3745 in (3000 ps presión diferencial)	
Colector/distribuidor de agua	2	2	30 psi (suministro/retorno)	
Electro válvula	7	7	Válvula solenoide (agua @ 5/100 psi) 24 V DC, 11.5 W	
Válvula de bola manual	16	16	-	
Ensamble de cubierta	1	1	Guardas de protección y componentes	
Transductor de presión	1	0	4-20 mA, 0-10000psi	\$ 667.66
Aceite ISO VG 150	4	0	5 U.S. Gal	\$ 314.17
Costo de faltanates				\$ 1,924.35
OBSERVACIONES MONTAJE: Se requiere 1 transductor de presión, aceite para lubricación de la caja reductora y conectar y posicionar correctamente algunas solenoides y componentes. Por otra parte hace falta la parte eléctrica (esta parte se estima junto con el control general de la línea), además es importante realizar un mantenimiento general para verificar el estado de cada componente, pintar algunos elementos y revisar la lista de cheques.				

Anexo B. Ficha técnica del sistema de refrigeración de la extrusora secundaria

FICHA TÉCNICA INSTRUCTIVA EQUIPO				
FICHA TÉCNICA No		002		
Identificación del equipo o estructura				
EQUIPO	Sistema De Refrigeración		REFERENCIA	Extrusora Secundaria
			PESO APROX	600 lb
				
COMPONENTES	NECESARIO	DISPONIBLES	ESPECIFICACIONES	COSTO aprox/unidad [USD]
Tanque	1	1	4 psi, 80 USGAL	-
Bomba	1	1	Goulds Pumps, ITT G&L Series SSH. (Size 1x2 8). 648641.1 (Inlet 2" outlet 1")	-
Motor	1	1	Baldor. (CATNo. LSM-4567), 5 HP, 2900 RPM, 3 fases, 190/380-415 V, 16/8-8 A @ 50 Hz.	-
Indicador de presión (tanque)	1	1	Lenz (0,30)psi	-
Válvula de presión de seguridad	1	1	6 psi / 3/4"	-
Indicador de nivel	1	1	1/2"	-
Indicador de temperatura (tanque)	1	1	(-20,120)°C	-
Válvula de drenaje	1	1	1/2"	-
Tubería flexible	1	1	2"	-
Indicador de presión (sistema de bombeo)	1	1	-	-
Válvula	1	1	1"	-
Switch actuador de presión	1	1	E1H-H90 (Barksdale) (3-90)psi	-
Termopar	1	1	Para el sistema de control	-
Indicador de temperatura	1	1	Analógico. Salida a la extrusora	-
Termómetro	1	1	TEL-TRU	-
Válvula de control de temperatura	1	1	1" (MP-485-0-2-2)	-
Medidor de flujo	1	1	Hedland (5,50)GPM	-
Costo Total Faltantes				-
OBSERVACIONES MONTAJE: Aparentemente se encuentra todo lo necesario para el correcto funcionamiento, pero es importante realizar un mantenimiento general para verificar el estado de cada componente, pintar algunos elementos y revisar la lista de chequeos.				

Anexo C. Ficha técnica del cabezal de extrusión

FICHA TÉCNICA INSTRUCTIVA EQUIPO				
FICHA TÉCNICA No		003		
Identificación del equipo o estructura				
EQUIPO	Cabezal de extrusión		REFERENCIA	D16SS
			PESO APROX	904 lb
				
COMPONENTES	NECESARIOS	DISPONIBLES	ESPECIFICACIONES	COSTO aprox/unidad [USD]
Unidad de control de temperatura	3	2	HTF 500 Series, H5, 2Hp, 20 GPM, 1 zone, 6 kW	\$ 13,625.00
Transmisor de presión (para TCU)	3	3	FISCHER Modelo DE3801N0YYPK03YTD0446	
Termopares	6	6	1/8-27 NPT taps	
Banda calentadora "A" (par)	1	1	10 Kw / 240 V	
Banda calentadora "B" (par)	1	1	2000 W / 240 V	
Banda calentadora "C" (par)	1	1	1500 W / 240 V	
Banda calentadora "D" (par)	1	1	2000 kW / 240 V	
Calentadores de cartucho	4	0	150 W (c/u) / 110V	\$ 66.72
Transductor de presión (para adaptador)	1	1	1/2-20 UNF-2B (PT4626, Dynisco, output 0-10 VDC)	
Ensamble de eje para ajuste de labios	1	1	DA05/1	
Anillo de inyección de aire	1	1	50 SCFM @ 55°F	
Regulador de aire comprimido	1	0	90 psi, 50 SCFM @ 55°F	\$ 71.92
Racor y tubería para sistema de aire	1	0	Codo 90°, Tubería 1/2" OD, 1/2" NPT hembra. Tubería 1/2" (1 ft)	\$ 114.29
Base estructural	1	1	-	
Costo de faltantes				\$ 14,078.09
OBSERVACIONES MONTAJE: Se requieren 4 calentadores de cartuchos, 1 unidad de control de temperatura y algunos componentes del sistema de inyección de aire. Además de esto, es necesario realizar un mantenimiento general para verificar el estado de cada componente y se deben ensamblar los componentes del sistema de aire, así como realizar el montaje del anillo de inyección de aire. Es necesario también conectar y posicionar correctamente los termopares, cartuchos, etc y se debe revisar la lista de chequeos.				

Anexo D. Ficha técnica del sistema mandril de moldeo y enfriamiento

FICHA TÉCNICA INSTRUCTIVA EQUIPO				
FICHA TÉCNICA No 004				
Identificación del equipo o estructura				
EQUIPO	Sistema mandril de moldeo y enfriamiento	REFERENCIA	MANDREL (BZ743)	
		PESO APROX	1300 lb	
				
COMPONENTES	NECESARIOS	DISPONIBLES	ESPECIFICACIONES	COSTO aprox/unidad [USD]
Colector/distribuidor de agua	2	2	1 1/2 NPT SMARTFLOW	
Válvula colector/distribuidor	2	2	1 1/2 NPT	
Manguera	6	6	1/2"	
Termopar	2	2	En mandril	
Cuchilla rotativa	1	1	Neumática 90psi	
FRL	1	0	inlet 1/2" NPT, (0-150 psi)	\$372.08
Válvula solenoide	2	2	40 psi, 1/2", 11.6 W, 24 VDC	
Unidad de control de temperatura (TCU)	1	1	2HP, 15GPM, 9 kW @ (ConAir Tempro, TC1-DI)	
Mandril	1	1	18 in. Refrigerado por agua	
Sistema de tensión	1	1	Polea, cadena doble, chumaceras	
Caja de conexiones	1	1	2 solenoides y 2 termopares	
Regulador de presión	1	0	3/4" NPT, 125 psig máxima	\$191.94
Línea de escape	1	0	2" ID, 10 ft LG	\$74.76
Costo de faltantes				\$638.78
<p>OBSERVACIONES MONTAJE: Se requiere 1 unidad de mantenimiento de aire (FRL), 1 regulador de presión, un tubo para la línea de escape y conectar y posicionar correctamente algunas solenoides, mangueras, tuberías y termopares. Además es importante realizar un mantenimiento general para verificar el estado de cada componente, pintar algunos elementos y revisar la lista de chequeos.</p>				

Anexo E. Ficha técnica del S-Wrap

FICHA TÉCNICA INSTRUCTIVA EQUIPO				
FICHA TÉCNICA No		005		
Identificación del equipo o estructura				
EQUIPO	S-Wrap		REFERENCIA:	BZ744
			PESO APROX	5500 lb
				
COMPONENTES	NECESARIOS	DISPONIBLES	ESPECIFICACIONES	COSTO aprox/unidad [USD]
Motor	1	1	3 HP, 1475 RPM, 3 fases, 200/400 V, 10.3/5.15 A @ 50 Hz.	
Shaft for Roll	2	2	DUAL CANTILEVERED 'S' WRAP U/W 60" WIDE ROLLS	
RUBBER COVERED ROLL	2	2	DUAL CANTILEVERED FOAM 'S' WRAP 11.50 O.D. 60.00 WIDE BLACK NEOPRENE RUBBER 45-50 DUROMETER	
Cilindro neumático	1	1	PARKER #3.25- D2MAU14A3.00	
Control	1	1	3 fases, 415 V, 10 A (full load) @ 50 Hz	
Cadena doble	1	1	ASA 80-2 DOUBLE 1 IN	
Drive sprocket	1	1	D80E52	
Sprocket	2	2	D80E36	
SPROCKET IDLER	3	3	BREWER D80B13F 1" BORE	
Eje pivote	1	1	DUAL 'S' WRAP LAY-ON ROLL	
FRL	1	1	90 psi, 1/4 NPT	
Electro válvula	1	1	2 posi, 3 vías, 90 psi	
Indicador de presión	1	1	0-100 psi	
Sistema de seguridad	2	2	Cable y botón de paro de emergencia	
SHEAVE IDLER	2	2	NR2008 BOSTON 1/4 BORE	
Contactador trifásico	5	0	4 líneas a 24v 207k1, 219k1, 220k1, 223k1, 225k1	\$ 194.12
Tapete de seguridad	4	0	72" x 36 " 7666K26	\$ 1,989.47
Costo Total Faltantes				\$8,928
<p>OBSERVACIONES MONTAJE: Se requieren 4 tapetes de seguridad y 5 contactores trifásicos. También se debe conectar los cables de seguridad, algunas magueras neumáticas y los componentes eléctricos (se encuentran desmontados). Además se debe posicionar correctamente los rodillos tensadores, los sprockets, la cadena de transmisión y la estructura superior con el eje pivote y el cilindro neumático. Por otra parte, es importante realizar un mantenimiento general para verificar el estado de cada componente y pintar algunos elementos.</p>				

Anexo F. Ficha técnica de la bobinadora Winder

FICHA TÉCNICA INSTRUCTIVA EQUIPO					
FICHA TÉCNICA No		006			
Identificación del equipo o estructura					
EQUIPO	Bobinadora (Winder)			REFERENCIA	Winder (BZ746)
				PESO APROX	6270 lb
					
COMPONENTES	NECESARIOS	DISPONIBLES	ESPECIFICACIONES	COSTO aprox/unidad [USD]	
Motor	2	2	5 HP, 1480 RPM, 3 fases, 200/400 V, 16.4/8.2 A @ 50 Hz		
Cadena triple	2	0	P-60-3 R (paso 3/4") (2 m)	\$ 185.04	
Drive sprocket	2	2	E60C68		
Sprocket	2	2	E60C52		
Tensor gear	1	0	60BS19	\$ 75.21	
Air shaft	2	2	Eje neumático para presionar el material bobinado		
Chumacera	4	4	Para air shaft		
Cilindro neumático	4	4	Doble efecto (2330-5009-600 ARO)		
Disco removedor	2	2	Para retirar el material bobinado		
Rodillo tensor	2	2	Para tensar el material		
Soplador (eliminador estático)	1	1	120 VAC, 50/60 Hz, 2.00 A (Model 4004175 SIMCO)		
Sistema de control operacional	1	1	3 fases, 415 V, 24 A (full load) @ 50 Hz		
FLR	1	1	90 psi, 1/2 NPT		
Electro válvula	4	4	2 posi, 3 vías, 90 psi		
Indicador de presión	1	1	0-100 psi		
Line speed isolator (convertidor de señal analógica)	1	0	418P1	\$ 360.00	
Relé de alarma (límite acción Pak)	2	0	1090-2000 (401P1, 407P1)	\$ 1,440.00	
Termomagnético trifásico	1	0	115Q1 15Amp	\$ 301.34	
Contactador trifásico	2	0	310k1, 313k1	\$ 194.12	
Tapete de seguridad	4	0	72" x 36" 7666K26	\$ 1,989.47	
Costo Total Faltantes				\$12,333	
OBSERVACIONES MONTAJE: Se requieren 4 tapetes de seguridad, 2 cadenas triples, 1 sprocket tensor, 1 convertidor de señal analógica, 2 relé de alarma, 1 termomagnético trifásico, 2 contactores trifásicos, también se debe conectar algunas magueras neumáticas y ensamblar los sprockets, los "air shafts" con las chumaceras, los cilindros neumáticos, los discos removedores, la estructura superior, los rodillos tensadores y el soplador. Además es importante realizar un mantenimiento general para verificar el estado de cada componente, pintar algunos elementos y revisar la lista de chequeos.					

Anexo G. Ficha técnica del adaptador del tubo de fusión (crossover melt pipe adapter)

FICHA TÉCNICA INSTRUCTIVA EQUIPO				
FICHA TÉCNICA No		007		
Identificación del equipo o estructura				
EQUIPO	Adaptador de tubo de fusión		REFERENCIA	1,75" ID (BZ737)
			PESO APROX	499 lb
				
COMPONENTES	NECESARIOS	DISPONIBLES	ESPECIFICACIONES	COSTO aprox/unidad [USD]
Adaptador codo	1	1	1,75" ID	
Banda calentadora "A"	1	1	-	
Banda calentadora "B"	1	1	-	
Banda calentadora "C"	1	1	-	
Termopar	2	2	-	
Cáncamo	2	2	-	
Anillo espaciador esférico int.	2	1	-	\$ 300.00
Anillo espaciador esférico ext.	2	1	-	\$ 300.00
Anillo alineador esférico int.	2	0	-	\$ 300.00
Anillo alineador esférico ext.	2	0	-	\$ 300.00
Brida	2	0	-	\$ 300.00
Banda calentadora "D"	2	0	6.75"D, 240 V	\$ 191.10
Adaptador tubo	1	0	1,75" ID	\$ 5,040.00
Banda calentadora "E"	4	0	4"D, 5" LG, 240V	\$ 231.30
Banda calentadora "F"	2	0	4"D, 3" LG, 240 V	\$ 231.30
Transductor de presión	1	0	4-20 mA, 0-10000psi	\$ 667.66
Guardas de protección	2	0	ASTMA366 CR	\$ 311.81
Base estructural	1	1	-	
Costo de faltantes				\$ 10,501.28
OBSERVACIONES MONTAJE: Se requieren 8 bandas calentadoras, 2 guardas de protección, 1 transductor de presión, el cuerpo del adaptador de tubo, algunos anillos (espaciadores y alineadores) y dos bridas. También se deben conectar los termopares, bandas, transductor y realizar el ensamble de los adaptadores con la base estructural. Además de esto, es necesario realizar un mantenimiento general para verificar el estado de cada componente, pintar algunos elementos y revisar la lista de chequeos.				

Anexo H. Lista de chequeo

LISTA DE CHEQUEO DE CONDICIONES MÍNIMAS PARA LA OPERACIÓN					
Realizado por		Fecha			
Módulo	Componente	Requerimiento mínimo necesario para operación	¿Se puede cumplir?		
			Sí	No	
General	Condiciones ambientales	Temperatura ambiente [5-40] °C Humedad relativa [30-95] %			
	Suplemento	Suplemento de agua filtrada y destilada Suplemento de aire tratado y comprimido			
		Suplemento eléctrico 460 V / 60 Hz / 3 Ph Conexión eléctrica 415 V / 50 Hz / 3 Ph.			
Extrusora secundaria	Control panel	Testear y chequear componentes eléctricos (bien conectados y sin daños) Chequear y configurar las condiciones de operación			
		Limpeza general Conexión eléctrica 380 V / [50 - 75] Hz / 3 Ph.			
	Motor eléctrico	Testear y chequear componentes eléctricos (bien conectados y sin daños) Polea bien ensamblada, alineada y con poco desgaste Chequeo y lubricación de rodamientos (Grease - NLG grado 2) Chequear que no haya corrosión en los elementos			
		Chequear guardas de seguridad Limpeza general			
		Testear y chequear funcionamiento de motor y de ventilador Banda de transmisión con poco desgaste y tensión adecuada Polea bien ensamblada, alineada y con poco desgaste			
		Chequear desgaste en engranajes Nivel de aceite 45 L [12 U.S. Gal]. Tipo ISO VG 150 (AGMA NO. 4) Chequear fugas en sellos y empaques			
	Caja reductora	Chequear alineación y lubricación del acople (Grease - NLG grado 2) Chequear que no haya corrosión en los elementos Temperatura de operación del aceite [66-71] °C Chequear guardas de seguridad			
		Limpeza general y revisión de manual Conexión eléctrica a 230 V Termopares y componentes eléctricos bien conectados y sin daños			
		Bandas eléctricas	Bandas bien ensambladas Limpeza general Chequear y testear las bandas		
		Tornillo y barril	Limpiar y chequear el transductor de presión Chequear el disco de ruptura Chequear alineación entre barril y tornillo Chequear que no haya corrosión en los elementos		
			Chequear guardas de seguridad Limpeza general y revisión de manual		
		Sistema de refrigeración de agua	Conexión eléctrica de la bomba 190 V / 50 Hz / 3 Ph Chequear conexiones eléctricas y de tuberías Chequear y testear elementos de instrumentación y sus conexiones Lubricación de la bomba (Grease - NLG grado 2) Chequear y limpiar el intercambiador de calor Chequear que no haya corrosión en los elementos		
Caudal de agua 25 GPM 4 psi de presión y 80 U.S. Gal en el tanque de agua destilada Temperatura del agua 29 °C Chequear fugas en sellos, empaques y tuberías Limpeza general					
Cabezal de extrusión			0,025 in de holgura entre labios 1/8 in de separación entre bridas (extrusora y cabezal) Chequear y testear elementos de instrumentación y sus conexiones Chequear fugas y conexiones de tubería		
			Bandas bien ensambladas Chequear que no haya corrosión en los elementos Limpeza general y revisión de manual Temperatura de operación de los labios 250 °C Temperatura de operación del cuerpo 261 °C		
			Componentes eléctricos	Chequear y testear los componentes eléctricos y sus conexiones Conexión eléctrica de bandas a 240 V Conexión eléctrica de cartuchos a 110 V	
	Unidad de control de temperatura		Conexión eléctrica 460 V / 60 Hz / 3 Ph. Condiciones del aceite: 20 GPM / 6 kW Tipo de aceite: "UNCON" HTF 500 o similar		
Adaptador	Anillo de inyección de aire	90 psi de presión 50 SCFM @ 55°F de caudal Chequear conexiones de circuito neumático Conexión eléctrica de bandas a 240 V			
	Adaptador	Chequear y testear los componentes eléctricos y de instrumentación y sus conexiones Bandas bien ensambladas Chequear que no haya corrosión en los elementos Limpeza general Chequear acoples y guardas de seguridad			
Mandrill de refrigeración y moldeo	Componentes eléctricos	Conexión eléctrica de caja de conexiones a 24 VDC Chequear y testear termopares, solenoides y componentes eléctricos y sus conexiones Chequear que no haya corrosión en los elementos			
	Mandrill	Chequear cuchilla neumática y conexiones de circuito neumático Chequear fugas y conexiones de tubería de agua Chequear y lubricar el sistema de tensión (Grease - NLG grado 2) Limpeza general Aire a 90 psi y lubricado (SAE No. 10 - viscosidad 150-200 SSU @ 100°F) Caudal del aire 3.5 CFM			
		Unidad de control de temperatura	Temperatura del agua 29 °C Conexión eléctrica 460 V / 60 Hz / 3 Ph. Condiciones del agua: 15GPM / 9 kW Temperatura de operación [0 - 121,11] °C		
	S-Wrap y Bobinador (Winder)	Controles	Conexión eléctrica 415 V / 50 Hz / 3 Ph Testear y chequear componentes eléctricos (bien conectados y sin daños) Limpeza general		
Conexión eléctrica 200 V / [50-75] Hz / 3 Ph Testear y chequear componentes eléctricos (bien conectados y sin daños) Sprockets bien ensamblados, alineados y con poco desgaste					
Motores eléctricos		Chequeo y lubricación de rodamientos (Grease - NLG grado 2) Chequear que no haya corrosión en los elementos Chequear guardas de seguridad Limpeza general			
		Testear y chequear funcionamiento de motores y de sus ventiladores Aire a 90 psi y lubricado (SAE No. 10 - viscosidad 150-200 SSU @ 100°F) Chequear conexiones de circuito neumático			
		Cadenas de transmisión con poco desgaste, además adecuada tensión y lubricación Sprockets y ejes bien ensamblados, alineados y con poco desgaste Chequeo y lubricación de rodamientos (Grease - NLG grado 2) Chequear que no haya corrosión en los elementos			
		Chequear guardas de seguridad Limpeza general y revisión de manual			
S-Wrap y Bobinador (Winder)					
Observaciones:					

Anexo I. Cotización cabina de pintura

Cotización cabina de pintura					
Nombre	Descripción	Cantidad	Proveedor	Precio unitario [USD]	Precio total [USD]
Riel con rodillo	RIEL 40 ESD / 4M	2	Rackart	\$ 45.54	\$ 91.08
Perfil cuadrado	2"x2" calibre 12 (0.105) A36 (6 m)	6	Maxiacero	\$ 41.24	\$ 247.44
Perfil cuadrado	2"x2" calibre 14 (0.0744) A36 (6 m)	6	Maxiacero	\$ 30.26	\$ 181.56
Lona	Waterproof Tarp with Aluminum Grommets, 11'4" Wide x 24'6" Long	2	McMaster-Carr	\$ 37.20	\$ 74.40
Lona	Waterproof Tarp with Aluminum Grommets, 11'4" Wide x 19'6" Long	1	McMaster-Carr	\$ 29.76	\$ 29.76
Lona	Waterproof Tarp with Aluminum Grommets, 14'2" Wide x 29'4" Long	1	McMaster-Carr	\$ 55.80	\$ 55.80
Platina en T	Tee Surface Bracket, 5-1/4" Long for Bolt-Together Framing	8	McMaster-Carr	\$ 8.50	\$ 67.97
Platina a 90° (doble)	Strut Channel Bracket, 90 Degree, Zinc-Plated Steel, 4-1/8" Length	12	McMaster-Carr	\$ 6.46	\$ 77.47
Platina a 90° (sencilla)	Strut Channel Bracket, 90 Degree, Zinc-Plated Steel, 2-1/4" Length, 1-5/8" Width	24	McMaster-Carr	\$ 4.02	\$ 96.48
Platina esquina	Corner Surface Bracket, 4-3/4" Long for Bolt-Together Framing	8	McMaster-Carr	\$ 11.95	\$ 95.62
Platina a 90° (sencilla)	2" Long Corner Bracket for Bolt-Together Framing	2	McMaster-Carr	\$ 5.64	\$ 11.28
Duct fan	TAB Aero Extractor-Injector Axial (TAB-20) (5097 CFM descarga libre)	1	Extractores de Aire MX	\$ 1,312.84	\$ 1,312.84
Paño para piso	Paño para Cubrir, Color Rayas Blancas, Ancho 12 ft, Material Loneta, Longitud 15 ft	1	Grainger	\$ 91.78	\$ 91.78
Paño para piso	Paño para Cubrir, Color Rayas Blancas, Ancho 9 ft, Material Loneta, Longitud 12 ft	1	Grainger	\$ 49.37	\$ 49.37
Total					\$ 2,482.87

Anexo J. Plano (Layout) de distribución general y componentes necesarios

