



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

**IMPLEMENTACIÓN DE UN NUEVO SISTEMA DE PRODUCCIÓN PARA
EXTRUSIÓN DE TELAS DE POLIPROPILENO Y POLIESTIRENO EN EDECA, S. A.**

Luis Carlos Orozco Méndez

Asesorado por el Ing. Carlos Augusto Cabrera Olivares

Guatemala, mayo de 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**IMPLEMENTACIÓN DE UN NUEVO SISTEMA DE PRODUCCIÓN PARA
EXTRUSIÓN DE TELAS DE POLIPROPILENO Y POLIESTIRENO EN EDECA, S. A.**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

LUIS CARLOS OROZCO MÉNDEZ

ASESORADO POR EL ING. CARLOS AUGUSTO CABRERA OLIVARES

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL

GUATEMALA, MAYO DE 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADORA	Inga. Karla-María Lucas Guzmán
EXAMINADOR	Ing. Esdras Feliciano Miranda Orozco
EXAMINADOR	Ing. Erwin Danilo González Trejo
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:

IMPLEMENTACIÓN DE UN NUEVO SISTEMA DE PRODUCCIÓN PARA EXTRUSIÓN DE TELAS DE POLIPROPILENO Y POLIESTIRENO EN EDECA, S. A.

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

Luis Carlos Orozco Méndez

La Nueva Guatemala de la Asunción,
15 de enero de 2014

Ingeniero
César Ernesto Urquizú Rodas
Director de Escuela de Mecánica Industrial
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala
Su Despacho

Estimado Ingeniero Urquizú:

En virtud de mi asesoría del trabajo de graduación titulado, "**IMPLEMENTACION DE UN NUEVO SISTEMA DE PRODUCCION PARA EXTRUSION DE TELAS DE POLIPROPILENO Y POLIESTIRENO EN EDECA, S.A.**", del estudiante Luis Carlos Orozco Méndez, quien se identifica con carné número 200614997, he tenido a bien la revisión del trabajo de graduación expuesto. Después de haberse realizado las correcciones que a mi juicio eran necesarias, considero que el referido trabajo de graduación cumple con los requisitos planteados en el protocolo respectivo, por lo que apruebo y recomiendo darle el trámite correspondiente.

Y para los intereses que al propio estudiante convengan, extendiendo, sello y firmo la presente, en la Ciudad de La Nueva Guatemala de la Asunción, a quince días del mes de enero de dos mil catorce.

Con las muestras de mi consideración y respeto, lo saludo muy atentamente,



Carlos Augusto Cabrera Olivares
Ingeniero Mecánico Industrial
Colegiado No. 10132

Ing. Carlos Augusto Cabrera Olivares
Ingeniero Mecánico Industrial
Colegiado activo: 10,132



Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **IMPLEMENTACIÓN DE UN NUEVO SISTEMA DE PRODUCCIÓN PARA EXTRUSIÓN DE TELAS DE POLIPROPILENO Y POLIESTIRENO EN EDECA, S.A.**, presentado por el estudiante universitario **Luis Carlos Orozco Méndez**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Maria Martha Wolford Estrada
Ingeniera Industrial
Colegiada 8659

Inga. María Martha Wolford de Hernández
Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala, marzo de 2014.

/mgp



REF.DIR.EMI.066.014

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de graduación titulado **IMPLEMENTACIÓN DE UN NUEVO SISTEMA DE PRODUCCIÓN PARA EXTRUSIÓN DE TELAS DE POLIPROPILENO Y POLIESTIRENO EN EDECA, S.A.**, presentado por el estudiante universitario **Luis Carlos Orozco Méndez**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”


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



Guatemala, abril de 2014.

/mgp

Universidad de San Carlos
de Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 196.2014

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al Trabajo de Graduación titulado: **IMPLEMENTACIÓN DE UN NUEVO SISTEMA DE PRODUCCIÓN PARA EXTRUSIÓN DE TELAS DE POLIPROPILENO Y POLIESTIRENO EN EDECA, S. A.**, presentado por el estudiante universitario **Luis Carlos Orozco Méndez**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano

Guatemala, 5 de mayo de 2014

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por ser la luz divina que en todo momento ha guiado mis pasos por la vida. Con todo mi corazón, mente, alma y ser, infinitas gracias por todas las bendiciones.
Jesús de Candelaria Cristo Rey	Por ser inspiración y coautor de este triunfo. Con especial dedicatoria y amor.
San José	Por ser el patrono de mi vida personal y académica. Gracias por estar siempre conmigo.
Virgen María	Por interceder ante nuestro padre y cuidar todos mis pasos. Gracias Madre Santísima.
Mis padres	Georgina Méndez y Dulier Orozco, por sus innumerables sacrificios y apoyo incondicional para alcanzar esta meta, éxito que también es de ustedes. Con especial amor y gratitud.
Mis abuelos (q.e.p.d.)	Juan Orozco e Higinio Méndez, por ser ejemplos de vida, nobleza, honradez, integridad y honestidad. Los llevo en mi corazón y en mi mente.

Mi familia

Por sus oraciones, buenos deseos y ánimos; especialmente a mi abuela Laura de León, con mucho cariño.

Mis amigos

Por su total amistad, apoyo y todas las experiencias vividas; especialmente a Carlos Escobar, Pablo Pérez, Amílcar Zapón y Cristóbal Laynez.

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por la formación de profesionales capaces y responsables que contribuyen al desarrollo de nuestro país. Es un verdadero privilegio egresar de tan magna casa de estudios.

AGRADECIMIENTOS A:

Facultad de Ingeniería	Por ser como una segunda casa, que forjó conocimientos, experiencias y valores.
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial	Por la formación de profesionales íntegros de la ingeniería mecánica industrial.
Personal docente	Por todas sus enseñanzas, conocimientos y recomendaciones aportadas a lo largo de mi carrera.
EDECA, S. A.	Por su contribución invaluable e incondicional para la realización de las prácticas finales y el presente trabajo de graduación; especialmente al licenciado Zelik Tenenbaum y al licenciado Erwin Zamora.
Ing. Carlos Augusto Cabrera Olivares	Por su disposición y valioso tiempo dedicado a la asesoría en la realización del presente trabajo de graduación.
Dulier de Jesús Orozco de León	Por el esmero dedicado a la coasesoría y revisión del presente trabajo de graduación, así como, el respaldo durante toda mi vida y carrera universitaria.

**Enma Georgina Méndez
González de Orozco**

Por el desmesurado e incondicional apoyo proporcionado durante mi vida y carrera universitaria.

Pueblo de Guatemala

Por su contribución económica para mi formación académica y profesional.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	XIII
GLOSARIO	XV
RESUMEN.....	XXVII
OBJETIVOS.....	XXIX
INTRODUCCIÓN	XXXI
1. ENVASES DESECHABLES CENTROAMERICANOS, S. A.	1
1.1. Perfil de la organización	1
1.2. Misión	2
1.3. Visión.....	2
1.4. Política de calidad	2
1.5. Ubicación.....	3
1.6. Estructura organizacional	4
1.7. Mercado objetivo	5
1.8. Proveedores	5
1.8.1. Materia prima.....	6
1.8.2. Material de empaque	7
1.8.3. Otros.....	7
1.9. Procesos de producción	8
1.9.1. Extrusión de polímeros	8
1.9.2. Termoformado	11
1.9.3. Inyección.....	13
1.9.4. Impresión	15
1.10. Productos	18

1.10.1.	Línea industrial	18
1.10.2.	Línea comercial	20
1.11.	Materia prima	21
1.11.1.	Polipropileno (PP)	21
1.11.2.	Poliestireno (PS)	24
1.11.3.	Tintas.....	27
1.11.4.	Colorantes y abrillantadores.....	28
2.	DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE EDECA, S. A.	31
2.1.	Volúmenes de producción.....	31
2.1.1.	Extrusión	31
2.1.2.	Termoformado.....	33
2.1.3.	Inyección	35
2.1.4.	Impresión.....	37
2.2.	Eficiencia por área.....	39
2.2.1.	Extrusión	40
2.2.2.	Termoformado.....	42
2.2.3.	Inyección	44
2.2.4.	Impresión.....	46
2.2.5.	General.....	48
2.3.	Paros de producción por área	49
2.3.1.	Extrusión	51
2.3.2.	Termoformado.....	53
2.3.3.	Inyección	55
2.3.4.	Impresión.....	57
2.4.	Nivel de cumplimiento de órdenes	59
2.5.	Producto No Conforme (PNC).....	61
2.6.	Diagrama Causa y Efecto	62
2.7.	Análisis final de la problemática en producción.....	63

3.	DISEÑO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO Y LÍNEA DE PRODUCCIÓN.....	67
3.1.	Sistema de suministro automatizado.....	67
3.1.1.	Requerimientos del nuevo sistema de suministro...	67
3.1.2.	Equipo necesario.....	69
3.1.2.1.	Tubería.....	69
3.1.2.2.	Conexiones / acoples.....	71
3.1.2.3.	Silos.....	77
3.1.2.4.	Dosificadores.....	87
3.1.2.5.	Alimentadores.....	90
3.1.2.6.	Bombas.....	92
3.1.2.7.	Estación de filtros.....	94
3.1.2.8.	Sensores.....	96
3.1.2.9.	Equipo para automatización.....	99
3.1.2.10.	Software.....	105
3.1.2.11.	Equipo vario.....	109
3.1.3.	Equipo complementario.....	109
3.1.4.	Diagrama de automatización del equipo.....	111
3.1.5.	Disposición del equipo dentro de la planta de producción.....	112
3.2.	Línea de producción automatizada.....	115
3.2.1.	Requerimientos de la nueva línea de producción.....	115
3.2.2.	Equipo necesario.....	117
3.2.2.1.	Extrusora y coextrusora.....	117
3.2.2.2.	Tornillos de extrusión y coextrusión...	120
3.2.2.3.	Calandra.....	121
3.2.2.4.	Estación de embobinado.....	123
3.2.2.5.	Bomba de agua.....	125

3.2.2.6.	Panel de control de la maquinaria	126
3.2.2.7.	Software y sensores	128
3.2.3.	Equipo complementario	130
3.2.4.	Automatización de la línea de producción	132
3.2.5.	Nivelación del equipo	133
3.2.6.	Requerimiento del lugar de instalación	133
3.2.7.	Disposición del equipo dentro de la planta de producción	134
3.3.	Manejo de materia prima	135
3.4.	Sistema eléctrico	137
3.5.	Sistema de agua de enfriamiento	138
3.6.	Modificación de las instalaciones actuales	139
3.7.	Montaje del equipo	141
4.	OPERACIÓN DEL SISTEMA DE SUMINISTRO Y LÍNEA DE PRODUCCIÓN AUTOMATIZADA	143
4.1.	Descripción del funcionamiento de sistemas	143
4.1.1.	Sistema de suministro automatizado	143
4.1.2.	Línea de extrusión automatizada	146
4.2.	Componentes	148
4.2.1.	Sistema de suministro automatizado	148
4.2.2.	Línea de extrusión automatizada	149
4.3.	Parámetros de operación del sistema de suministro	149
4.4.	Parámetros de operación de línea de extrusión	150
4.5.	Especificaciones técnicas del equipo	152
4.5.1.	Sistema de suministro automatizado	152
4.5.2.	Línea de producción automatizada	153
4.6.	Regulaciones de seguridad	154
4.7.	Sistemas de seguridad	155

4.8.	Consumo del equipo.....	157
4.8.1.	Electricidad	158
4.8.2.	Agua de enfriamiento.....	158
4.8.3.	Aire comprimido.....	159
4.9.	Cuidados previo al arranque de maquinaria	160
4.9.1.	Preparación del dado.....	160
4.9.2.	Preajuste de espesor de tela	160
4.9.3.	Preajuste de ancho de tela	162
4.9.4.	Temperatura en producción.....	163
4.10.	Operación normal de la línea de producción	165
4.11.	Principales funciones de los sistemas de automatización	173
4.11.1.	Sistema de suministro automatizado	173
4.11.2.	Línea de extrusión automatizada.....	175
4.12.	Operación del software.....	176
4.12.1.	Sistema de suministro automatizado	176
4.12.1.1.	Hardware	177
4.12.1.2.	Software	178
4.12.2.	Línea de extrusión automatizada.....	182
4.12.2.1.	Hardware	182
4.12.2.2.	Software	183
4.13.	Cálculo de velocidad de producción	186
5.	IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE SUMINISTRO Y LÍNEA DE PRODUCCIÓN AUTOMATIZADA.....	187
5.1.	Seguridad industrial.....	187
5.1.1.	Equipo de Protección Personal (EPP).....	187
5.1.2.	Simbología de seguridad	188
5.1.3.	Descripción de situaciones inseguras.....	189
5.2.	Mantenimiento	191

5.2.1.	Sistema de suministro automatizado.....	191
5.2.1.1.	Silos	191
5.2.1.2.	Tubería.....	192
5.2.2.	Línea de extrusión automatizada	193
5.2.2.1.	Rutinas diarias.....	193
5.2.2.2.	Rutinas semanales.....	193
5.2.2.3.	Rutinas mensuales.....	194
5.2.2.4.	Rutinas de lubricación	194
5.2.3.	Mantenimiento de equipo auxiliar y complementario.....	195
5.2.4.	Mantenimiento de software y hardware.....	200
5.3.	Guía de solución de errores (<i>Troubleshooting</i>)	200
5.3.1.	Sistema de suministro automatizado.....	200
5.3.2.	Línea de extrusión automatizada	202
5.4.	Capacitación de operarios.....	203
5.5.	Inventario mínimo de repuestos	206
5.6.	Directrices para métodos operativos, anexos de control y registros de control del proceso	207
CONCLUSIONES.....		211
RECOMENDACIONES		215
BIBLIOGRAFÍA.....		217
ANEXOS.....		219

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Ubicación de EDECA, S. A.	3
2.	Estructura organizacional de EDECA, S. A.....	4
3.	Diseño genérico de un extrusor de polímeros.....	10
4.	Diagrama de un proceso de termoformado.....	12
5.	Diseño genérico de una máquina inyectora	15
6.	Diseño demostrativo del proceso de impresión.....	17
7.	Muestra de productos de la línea industrial de EDECA, S. A.....	18
8.	Muestra de productos de la línea comercial de EDECA, S. A.....	20
9.	Estructura química y simbología de reciclaje del polipropileno	22
10.	Estructura química y simbología de reciclaje del poliestireno	25
11.	Gráfica de volúmenes de producción de extrusión	32
12.	Gráfica de volúmenes de producción de termoformado.....	34
13.	Gráfica de volúmenes de producción de inyección	36
14.	Gráfica de volúmenes de producción de impresión	38
15.	Fórmula empleada para el cálculo de eficiencia general.....	39
16.	Gráfica de comportamiento de eficiencia de extrusión.....	41
17.	Gráfica de comportamiento de eficiencia de termoformado	43
18.	Gráfica de comportamiento de eficiencia de inyección	45
19.	Gráfica de comportamiento de eficiencia de impresión.....	47
20.	Gráfica de eficiencia de la planta de producción	49
21.	Frecuencias de paros de producción de extrusión.....	52
22.	Frecuencias de paros de producción de termoformado	54
23.	Frecuencias de paros de producción de inyección	56

24.	Frecuencias de paros de producción de impresión.....	58
25.	Diagrama de Causa y Efecto de la situación actual.....	62
26.	Dimensiones y especificaciones de la tubería	70
27.	Conexiones para aspirado manual	72
28.	Conexiones para tubería.....	73
29.	Sujeciones para tubería	74
30.	Soporte horizontal de tubería.....	75
31.	Soporte vertical de tubería	76
32.	Láminas de silos	79
33.	Vigas de silos.....	80
34.	Patas y viga exterior de silos	81
35.	Tapas de silos.....	82
36.	Partes de vía de acceso a silos	83
37.	Acople y válvula de salida de silos.....	84
38.	Dimensiones de silos externos e internos.....	86
39.	Dosificador Wittmann GRAVIMAX	89
40.	Alimentador Wittmann FEEDMAX	92
41.	Bomba de vacío Wittmann	94
42.	Filtro Wittmann SBF.....	95
43.	Sensores de nivel de silos BinMaster	98
44.	Consola de control de silos SmartBob C-100	100
45.	Consola de control de dosificadores Wittmann XLB	101
46.	Equipo de control de sistema de suministro Wittmann	103
47.	Diagrama de red del sistema de suministro.....	104
48.	Interfaz del software eBOB 5.1	106
49.	Interfaz del software GRAVIMAX.....	107
50.	Interfaz del software M7.2.....	108
51.	Soplador Gardner Denver 5LR	110
52.	Diagrama de automatización del sistema de suministro	111

53.	Plano del sistema de suministro - exterior.....	112
54.	Plano del sistema de suministro - área de extrusión	113
55.	Plano del sistema de suministro – complementario	114
56.	Extrusor y coextrusor MEAF 75-H34.....	118
57.	Tornillo helicoidal de extrusión	120
58.	Calandra.....	122
59.	Estación de corte y embobinado	124
60.	Bomba de agua.....	126
61.	Panel de control de máquina extrusora y coextrusora	127
62.	Interfaz del software Extrusol v3.7	128
63.	Equipo complementario.....	131
64.	Diagrama de automatización de la línea de producción.....	132
65.	Plano de línea de producción.....	134
66.	Sistema eléctrico	137
67.	Sistema de agua de enfriamiento.....	139
68.	Ilustración de modificaciones realizadas	140
69.	Diagrama de funcionamiento del sistema de suministro	144
70.	Diagrama de funcionamiento de la línea de producción.....	146
71.	Jerarquía de los usuarios de los sistemas	155
72.	Botones de emergencia	157
73.	Preajuste de espesor	161
74.	Preajuste de ancho	162
75.	Tela receptora para arranque.....	169
76.	Escala Vernier de calibración de espesor de tela	172
77.	Consolas de control del sistema de suministro	177
78.	Comandos del software de inventario de materia prima	178
79.	Menús del software de mezcla y dosificación	179
80.	Menús del software de control general.....	180
81.	Encendido o apagado de componentes.....	181

82.	Controles para operación de la línea de producción.....	183
83.	Menús del software de control de línea de producción	184
84.	Pantallas de operación de la máquina extrusora	185
85.	Simbología de seguridad	189

TABLAS

I.	Proveedores de materia prima de EDECA, S. A.....	6
II.	Proveedores de material de empaque de EDECA, S. A.....	7
III.	Descripción de productos de la línea industrial de EDECA, S. A.....	19
IV.	Descripción de productos de la línea comercial de EDECA, S. A.....	21
V.	Información técnica del polipropileno (PP).....	23
VI.	Información técnica del poliestireno (PS).....	26
VII.	Resumen de volúmenes de producción de extrusión	32
VIII.	Resumen de volúmenes de producción de termoformado.....	34
IX.	Resumen de volúmenes de producción de inyección	36
X.	Resumen de volúmenes de producción de impresión	38
XI.	Resumen de valores de eficiencia de extrusión.....	40
XII.	Resumen de valores de eficiencia de termoformado	42
XIII.	Resumen de valores de eficiencia de inyección	44
XIV.	Resumen de valores de eficiencia de impresión.....	46
XV.	Resumen de valores de eficiencia de la planta de producción	48
XVI.	Resumen de paros de producción de extrusión.....	52
XVII.	Resumen de paros de producción de termoformado	54
XVIII.	Resumen de paros de producción de inyección	56
XIX.	Resumen de paros de producción de impresión.....	58
XX.	Niveles de cumplimiento de órdenes por área	60
XXI.	Parámetros de operación de la línea de extrusión.....	151
XXII.	Especificaciones técnicas del sistema de suministro.....	152

XXIII.	Especificaciones técnicas de la línea de producción	153
XXIV.	Consumo de electricidad.....	158
XXV.	Consumo de agua de enfriamiento	159
XXVI.	Consumo de aire comprimido	159
XXVII.	Valores de temperaturas de operación	164
XXVIII.	Actividades de mantenimiento para silos	192
XXIX.	Rutinas de lubricación	195
XXX.	Actividades complementarias de mantenimiento	196
XXXI.	Solución de errores para sistema de suministro	201
XXXII.	Solución de errores para línea de producción.....	202
XXXIII.	Programa de capacitación para operarios.....	205

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A	Amperio
≈	Aproximadamente igual a
bar	Barias
cm	Centímetro
CA	Corriente alterna
dB	Decibelio
Φ	Diámetro
/	División
GPa	Gigapascal
°	Grados
°C	Grados Celsius
Hz	Hercio
=	Igual a
J / (kg K)	Julio por kilogramo por Kelvin
kg	Kilogramo
kg/h	Kilogramo por hora
kg/m ³	Kilogramo por metro cúbico
kPa	Kilopascal
kW	Kilovatio
MB	Megabyte
MPa	Megapascal
m	Metro
m ³	Metro cúbico

m³/h	Metro cúbico por hora
m³/min	Metro cúbico por minuto
m/min	Metro por minuto
µm	Micrómetro
mA	Miliamperio
mbar	Milibarías
ml	Mililitro
mm	Milímetro
*	Multiplicación
%	Porcentaje
psi	Pounds per square inch (libras por pulgada cuadrada)
"	Pulgadas
:	Relación de a
+	Suma
K⁻¹	Unidad de coeficiente de expansión térmica
V	Voltio

GLOSARIO

ABS	Acrylonitrile Butadiene Styrene (Acrilonitrilo Butadieno Estireno).
ACC	American Chemistry Council (Consejo Americano de Química).
Aceite	Líquido graso de orígenes diversos.
Acero austenítico	Aleación de hierro - carbono con una disolución máxima de carbono del 2,11 por ciento.
Actuador	Dispositivo que activa un efecto sobre un proceso automatizado.
AGEXPORT	Asociación Guatemalteca de Exportadores.
AISI	American Iron and Steel Institute (Instituto Americano del Hierro y Acero).
Aleación	Combinación de propiedades metálicas, compuesto por dos o más elementos metálicos.
Anclaje	Acción de fijar o sujetar por medio de un elemento de fijación.

Anticorrosivo	Material que protege la superficie de otros materiales de los efectos de la corrosión.
Aspirado	Acción de trasladar un elemento mediante un diferencial de presiones entre dos puntos.
ASTM	American Society for Testing and Materials (Sociedad Americana de Ensayos y Materiales).
Buenas Prácticas de Manufactura	Herramienta para la obtención de productos seguros que se centralizan en la higiene y forma de manipulación.
Calefacción	Acción de aportar calor a un espacio, elemento o componente deseado.
CAN BUS	Controller Area Network BUS (Red de Área de Control BUS).
Capacitación	Toda actividad que se realiza para aumentar actitudes, conocimientos y habilidades del recurso humano.
Cimentación	Obra realizada con el fin de transmitir cargas estáticas y dinámicas de un elemento hacia el suelo.
Cojinete	Pieza sobre la que se soporta y gira un eje transmisor de momento de una máquina.

Corrosión	Proceso electroquímico derivado de la interacción con el medio ambiente que conlleva la destrucción gradual de los materiales.
CPU	Central Processing Unit (Unidad de Procesamiento Central).
Cresta (<i>Rim</i>)	Protuberancia observada en una tela extruida originada por flujos turbulentos.
Déficit	Escasez de producción con respecto a la demanda.
Demanda	Cantidad de bienes que pueden ser adquiridos a diversos precios por el mercado.
Densidad	Cantidad de masa contenida en un determinado volumen de una sustancia.
Desgaste	Pérdida de superficie de un material sólido por abrasión, adhesión, fatiga, corrosión o erosión.
DIN	Deutsches Institut für Normung (Instituto Alemán de Normalización).
Dosificación	Establecer proporciones adecuadas de cada material que componen una mezcla.
EDECA	Envases Desechables Centroamericanos.

EEGSA	Empresa Eléctrica de Guatemala, S. A.
Eje	Elemento constructivo destinado a guiar un movimiento de rotación, denominado par de torsión. También puede recibir el nombre de árbol.
Electrodo	Material empleado en el proceso de soldadura, que cumple funciones de conexión del circuito y material fundente.
Electromecánico	Sistema de automatización o máquina que opera bajo las disciplinas de ingeniería eléctrica y mecánica.
Electroneumática	Sistema de automatización o máquina que opera bajo las disciplinas de ingeniería eléctrica y neumática.
Embobinado	Acción de enrollar coaxialmente un elemento alrededor de un eje.
Empaque	Recipiente o envoltura que preserva un producto durante su manipulación, transporte y almacenaje.
Epoxi	Polímero termoestable que se endurece cuando se mezcla con un agente catalizador.
FDA	Food and Drug Administration (Administración de Alimentos y Medicamentos).

Fórmula	Representación de los elementos que conforman un compuesto.
Hardware	Partes tangibles de un sistema informático.
Higiene industrial	Conjunto de conocimientos y técnicas para el control de factores causantes de enfermedades ocupacionales.
Homogenización	Proceso por el que se hace que una mezcla presente las mismas propiedades en una sustancia.
HVI	High Viscosity Index (Alto Índice de Viscosidad).
Índice de viscosidad	Escala utilizada para medir la variación de la viscosidad de un aceite lubricante al variar la temperatura de operación.
Interfaz	Medio por el cual un usuario puede comunicarse con un sistema informático.
IPC	Comunicación Inter-Procesos, mecanismo de comunicación y sincronización de procesos.
IR	Infrarrojo.
ISO	International Organization for Standardization (Organización Internacional de Normalización).

LAN	Local Area Network (Red de Área Local).
LCD	Liquid-Crystal Display (Pantalla de Cristal Líquido).
LS	Line Server (Servidor de Línea).
Lubricación	Acción ejercida por un lubricante o grasa, mediante la cual se reduce la fricción y desgaste entre dos piezas con movimiento relativo.
Mantenimiento	Conjunto de actividades sistemáticas que buscan preservar equipos y maquinaria en forma óptima.
Materia prima	Materia extraída de la naturaleza y que se transformará en bienes de diversos usos.
Material de reproceso	Material que no fue aprovechado, o resultó como no conforme, en un procesamiento previo.
Material virgen	Material en estado puro.
Mezclado	Acción de combinar heterogénea u homogéneamente dos o más elementos.
Micrómetro	Instrumento de medición de precisión mide rangos de 0,01 a 0,001 milímetros.

Motor eléctrico	Motor que transforma energía eléctrica en energía mecánica. Puede ser monofásico, bifásico o trifásico y de corriente alterna o corriente directa.
Neumática	Tecnología que emplea la energía del aire comprimido para accionar mecanismos.
Parámetro	Variable que puede modificar un resultado proporcionalmente a su magnitud.
PDA	Asistente Digital Personal, todo aparato electrónico portátil que permita almacenar información.
Permisible	Magnitud máxima de una variable que puede ser permitida.
Perno	Elemento de fijación que consiste en una pieza metálica alargada con una sección lisa y una roscada, empleado en la sujeción de elementos de gran volumen.
Plastificación	Proceso por el cual se lleva un polímero a su punto de fusión.
Polímero	Macromoléculas formadas por la unión de monómeros.
PP	Polipropileno.

Precisión	Capacidad de un instrumento o máquina de dar el mismo resultado durante su operación normal.
Presión	Magnitud física que mide la acción de una fuerza perpendicular sobre una superficie.
Proceso industrial	Conjunto de operaciones unitarias necesarias para modificar las características de la materia prima.
<i>Programmable Logic Controller</i>	Computadora utilizada para la automatización de procesos electromecánicos y electroneumáticos.
PS	Poliestireno.
Punto de fusión	Temperatura del material en la que se encuentra el equilibrio de fases sólido - líquido.
Purga	Acción manual o automática de remoción de elementos indeseados dentro de un sistema.
PVC	Polyvinyl Chloride (Policloruro de Vinilo).
RAM	Memoria de Acceso Aleatorio, memoria de trabajo para un sistema operativo.
Rayos IR	Radiación electromagnética y térmica cuya longitud de onda está comprendida entre los 50 micrómetros y 2 500 nanómetros.

Rayos UV	Radiación electromagnética cuya longitud de onda está comprendida entre los 400 y 15 nanómetros.
Refrigeración	Acción de remover calor de un espacio, elemento o componente deseado.
Rodamiento	Tipo de cojinete que reduce la fricción entre un eje y las piezas conectadas a él.
RPM	Revoluciones por minuto.
RT / LS	Real Time / Live Scale (Tiempo Real / Escala en Vivo).
Scrap	Porción de una tela extruida que no es aprovechada en el proceso de termoformado.
Seguridad industrial	Conjunto de normas que tienen como fin la prevención y reducción de accidentes laborales.
Señal	Variación de una corriente eléctrica para transmitir información.
Simbología industrial	Representaciones gráficas que buscan prevenir de forma visual un peligro potencial.
Sistema	Conjunto de componentes que se relacionan e interactúan entre sí.

Software	Conjunto de componentes lógicos necesarios para la realización de una tarea específica.
Soldadura	Proceso mediante el cual se unen dos materiales, por lo general, metales.
Suministro	Abastecimiento en tiempo, cantidad, forma y calidad de algún recurso.
Superávit	Exceso de producción sobre la demanda.
Tela	Bobina de polímeros varios extruidos.
Temperatura	Magnitud relacionada con la energía interna de un sistema u objeto.
Timer	Reloj especializado para medir intervalos de tiempo específicos.
Transmisión	Mecanismo encargado de transmitir potencia entre dos o más elementos de una máquina.
Troubleshooting	Guía de solución de errores, indica algorítmicamente cómo resolver problemas técnicos de equipos o máquinas.
USA	United States of America (Estados Unidos de América).

USB	Universal Series Bus (Bus Universal en Serie).
UV	Ultravioleta.
VAC	Voltage in Alternating Current (Voltaje en Corriente Alterna).
Válvula	Mecanismo que regula el flujo de un fluido dentro de un conducto.
VDC	Voltage in Direct Current (Voltaje en Corriente Directa).
VG	Viscosity Grade (grado de viscosidad).
WAN	Wide Area Network (Red de Área Amplia).

RESUMEN

El presente trabajo de graduación hace una descripción y análisis del contexto administrativo y operativo de la empresa Envases Desechables Centroamericanos, S. A. Con el fin de diagnosticar el desempeño de la capacidad instalada del área de producción, en el período comprendido del 01 de enero de 2012 al 28 de febrero de 2013, fueron evaluados y analizados los parámetros de volúmenes de producción, eficiencia, paros de producción, cumplimiento de órdenes y producto no conforme.

Determinadas las causas y consecuencias de la problemática de la capacidad instalada se diseñó una solución específica para el aumento de la capacidad de producción del área de extrusión, la cual provee de materia prima, consistente en telas de polipropileno o poliestireno, a las líneas de termoformado e impresión. El diseño contempla un sistema de suministro de materia prima y una nueva línea de producción de extrusión, así como el empleo de tecnologías de automatización.

El diseño del sistema de suministro y línea de producción abarca los requisitos mínimos que deberán satisfacer los sistemas, componentes, equipos auxiliares o complementarios, infraestructura, software, hardware, diagramas de automatización, disposiciones dentro de la planta de producción, sistemas secundarios y montaje del equipo que constituirá cada sistema.

Para la operación del sistema de suministro y línea de producción fueron definidos parámetros de operación, especificaciones técnicas del equipo, regulaciones de seguridad, sistemas de seguridad, consumos del equipo y directrices para actividades de preparación, arranque y operación normal.

Finalmente, para poder llevar a cabo una apropiada implementación de los sistemas son definidos aspectos de seguridad industrial, programas de mantenimiento, rutinas de lubricación, guías de solución de errores, programas de capacitación, inventarios de repuestos y directrices de documentación del proceso.

El apropiado cumplimiento e implementación del diseño del sistema de suministro y línea de producción de extrusión, contribuirá, principalmente, con el aumento de la producción de telas de polipropileno y poliestireno y erradicará problemáticas derivadas de una insuficiente capacidad instalada en el área de extrusión y producción.

OBJETIVOS

General

Implementar un nuevo sistema de suministro y línea de producción automatizada para la extrusión de telas de polipropileno y poliestireno para solucionar la problemática de capacidad instalada de EDECA, S. A.

Específicos

1. Analizar las dificultades originadas por la capacidad instalada y el crecimiento de la demanda de los envases desechables dentro de la empresa.
2. Determinar las especificaciones necesarias del proyecto para la adecuación de la capacidad instalada a la demanda actual de los productos.
3. Diseñar la configuración física de la disposición de maquinaria empleada para el proyecto dentro de la planta de producción.
4. Investigar los parámetros de proceso de producción a utilizar en la nueva línea de producción.
5. Identificar accesorios, equipo complementario y puntos críticos de la nueva maquinaria.

6. Proponer un plan de actividades de mantenimiento preventivo y un *stock* de repuestos mínimos.
7. Proporcionar directrices de seguridad industrial y métodos de operación de la nueva maquinaria.

INTRODUCCIÓN

EDECA, S. A. es una empresa guatemalteca con más de 20 años de experiencia en la industria de extrusión, termoformado, inyección e impresión de envases desechables de polipropileno y poliestireno, siendo estos empleados en su mayoría para el envasado de productos de consumo humano. Actualmente, la demanda de dichos tipos de productos se ha incrementado de forma considerable; especialmente, la de aquellos productos derivados del Polipropileno, por razones tales como: economía, presentación, durabilidad.

Así mismo, empiezan a converger dentro de la empresa otras varias problemáticas que dificultan el funcionamiento normal de la misma. La actual capacidad instalada de la empresa resulta insuficiente para cubrir la cantidad de demanda de envases desechables, incurriendo en incumplimiento de órdenes, paros, disminución de eficiencia y limitaciones en cantidades de órdenes de los clientes. Teniendo incidencia directa en la expansión de operaciones, posicionamiento en el mercado y satisfacción de los clientes, puntos que son considerados como fundamentales dentro de la política de calidad vigente de la empresa, esto, sin mencionar los amenazantes efectos sobre los ingresos y estados financieros.

Otra problemática que aqueja a la empresa es el de la calidad en sus productos, misma que por tratarse de un producto relacionado con la industria alimenticia y envase primario, debe de cumplir altos estándares de calidad, los cuales empiezan a verse comprometidos con la situación actual y reclaman se lleve a cabo un proceso de automatización de la planta que garantice un mayor control del proceso, eficiencia, economía y calidad.

Dada la combinación de los problemas anteriormente mencionados y su impacto dentro de las operaciones de la empresa, se hace necesario el estudio, diseño e implementación de una solución que garantice un aumento sostenido de la producción, teniendo como principales directrices para la implementación de dicha solución, factores como: economía, tecnología, capacidad, viabilidad, disponibilidad y eficiencia.

Las actividades involucradas en la implementación de dicho proyecto, demandan poner en práctica varias técnicas, herramientas y conocimientos de ingeniería, que permitan su preparación, evaluación, implementación y mejora continua, de forma de mitigar la actual problemática y contribuir al mismo tiempo con la garantía de la calidad en los productos, satisfacción del cliente y eficiencia en los procesos y recursos, mismos que conducirán a una distinguida posición en el mercado y bienestar general de la empresa.

1. ENVASES DESECHABLES CENTROAMERICANOS, S. A.

1.1. Perfil de la organización

EDECA, S. A., (Envases Desechables Centroamericanos, Sociedad Anónima) es una empresa cien por ciento guatemalteca, con experiencia en la industria del plástico desde 1992, cubriendo el mercado nacional, centroamericano, México, el Caribe y Estados Unidos.

EDECA, S. A., se dedica a la producción y comercialización por extrusión, termoformado, inyección e impresión de vasos, platos, bandejas y otros envases y empaques desechables, especialmente para la industria agrícola y alimenticia; atendiendo prestigiosas cadenas de restaurantes, supermercados y los más grandes distribuidores de productos lácteos, verduras y bebidas, tanto a nivel nacional como internacional.

Posee reconocimientos como la Ceiba de Oro en el 2003 y es miembro activo de AGEXPORT. Como parte de la labor de proyección social de EDECA se cuenta con un programa de apoyo denominado AMA (Asociación Manos que te Apoyan), este programa tiene como fin la reinserción social de jóvenes que están saliendo de pandillas juveniles, brindándoseles dentro de la empresa, una oportunidad de trabajo a pesar de sus antecedentes.

Producto del éxito empresarial EDECA, S. A. tiene una empresa hermana llamada Tecnología en Empaque, S. A., (TECNOPAK, S. A.), dedicada a la comercialización de envases especiales.

1.2. Misión

“Somos una empresa guatemalteca, al servicio del comercio e industria, que respalda la imagen de nuestros clientes y facilita sus actividades, cubriendo necesidades de envase y empaque con soluciones integrales, personal calificado y tecnología de punta.”¹

1.3. Visión

“En el 2020 seremos líderes a nivel regional en el mercado de envases y empaques desechables, posicionándonos como los primeros en la mente de nuestros clientes y consumidores a través de respuestas y soluciones prácticas e inmediatas en productos y servicios de la mejor calidad.”²

1.4. Política de calidad

“Somos una industria de productos plásticos orientados a mejorar continuamente nuestros procesos y comprometidos a garantizar:

- La satisfacción de nuestros clientes a través de productos y servicios de calidad
- El bienestar de nuestros colaboradores
- Eficiencia en nuestros procesos”³

¹ Envases Desechables Centroamericanos, S.A. *Manual de Calidad*. p. 7.

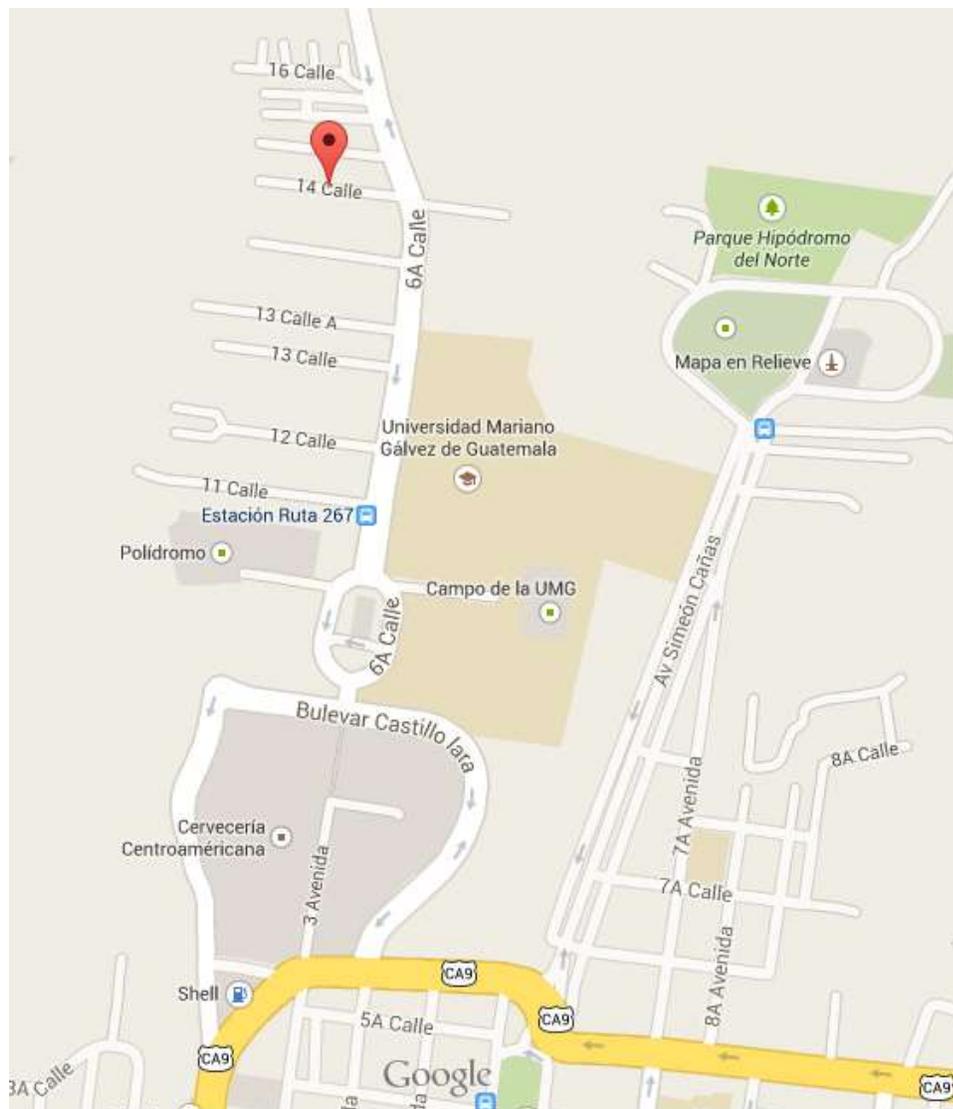
² *Ibíd.* p. 8.

³ *Ibíd.* p. 10.

1.5. Ubicación

EDECA, S. A. tiene sus oficinas administrativas y planta de producción en la 14 calle final, interior finca El Zapote zona 2, de la ciudad de Guatemala.

Figura 1. Ubicación de EDECA, S. A.

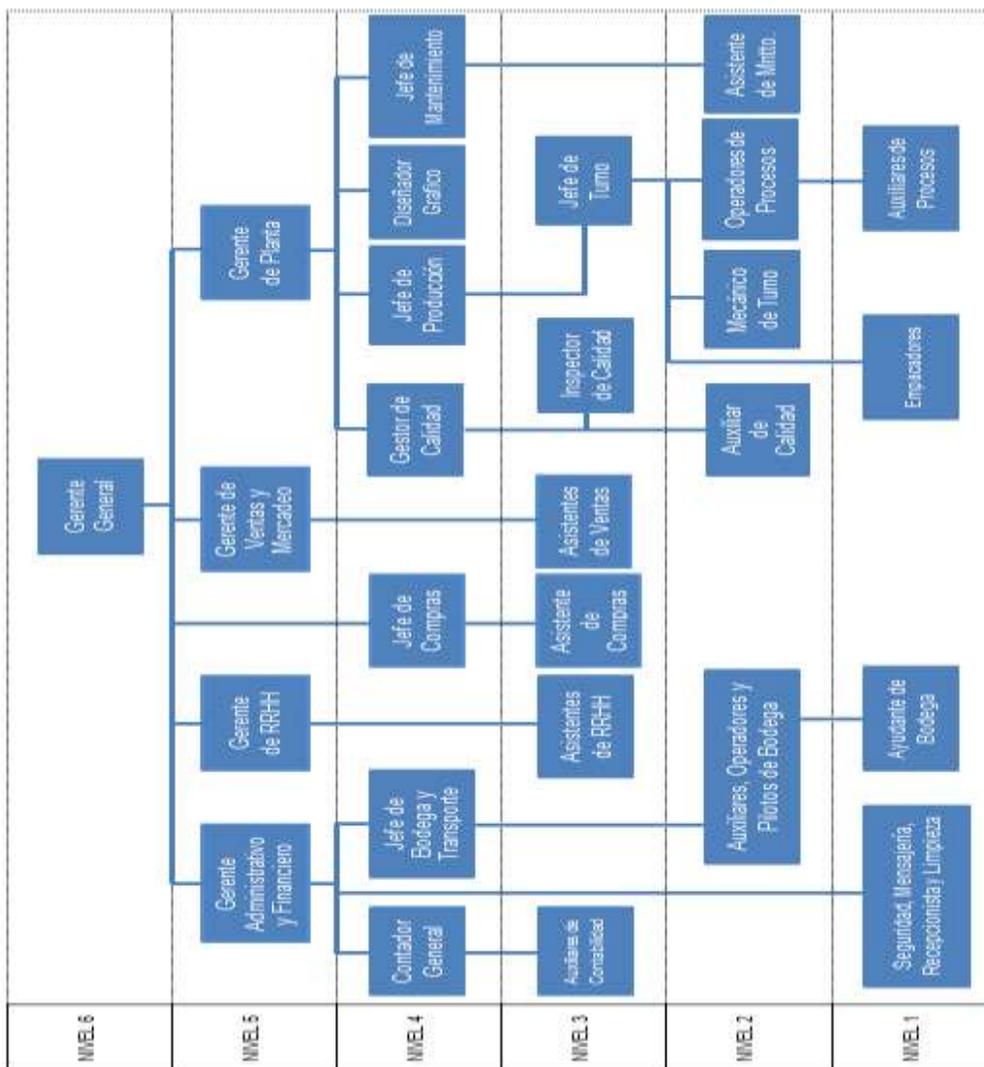


Fuente: Google Maps. Consulta: 13 de mayo de 2013.

1.6. Estructura organizacional

La actual estructura organizacional esta subdividida en 6 niveles, considerándose los niveles del 1 al 3 como operativos, el 4 como un nivel de coordinación y supervisión y los niveles 5 y 6 como corporativos.

Figura 2. Estructura organizacional de EDECA, S. A.



Fuente: EDECA, S. A.

1.7. Mercado objetivo

En virtud de las óptimas propiedades físicas, químicas y mecánicas de los envases de polipropileno y poliestireno para el envasado de productos de consumo humano, las industrias agrícolas y alimenticias constituyen el mercado objetivo primario de EDECA, S. A., asimismo, los supermercados y tiendas de conveniencia son considerados como el mercado alterno de la empresa.

EDECA, S. A. cuenta con reconocidos e importantes clientes, tales como: Pollo Campero, S. A., Bimbo de Centroamérica, S. A., Industrias Licoreras de Guatemala, S. A., Cervecería Centroamericana, S. A., Walmart Guatemala, Avícola Villalobos, S. A., Café Barista, ILGUA, Foremost, entre otras.

En el mercado internacional, específicamente en la región de Centroamérica, Colombia y México, EDECA, S. A., comercializa productos especialmente para las industrias licoreras, derivados de lácteos y comidas rápidas. Entre los clientes internacionales más importantes, se destacan: Compañía Cervecera de Nicaragua, S. A., Compañía Licorera de Nicaragua, S. A., Grupo Modelo, S. A., entre otras.

Cabe mencionar que algunos otros segmentos del mercado son atendidos mediante la venta a detalle de los envases desechables, actividad llevada a cabo en las instalaciones de la empresa.

1.8. Proveedores

Tomando en cuenta el carácter operativo y comercial de EDECA, S. A. son indispensables los proveedores de materia prima, material de empaque y otros tipos, los cuales son descritos a continuación.

1.8.1. Materia prima

En Guatemala, principalmente por razones económicas, no existe ninguna empresa dedica a la producción de Polipropileno o Poliestireno, dado que son necesarias inversiones millonarias para el establecimiento de las plantas de producción respectivas. A raíz de dicha problemática EDECA, S. A., importa las materias primas de diferentes países industrializados, por lo general, México, Estados Unidos y Colombia. En el caso de los aditivos (*master batch*), es la única materia prima que es comprada directamente en Guatemala, sin embargo, la misma no es producida en el país.

Tabla I. Proveedores de materia prima de EDECA, S. A.

Proveedor	País	Materia Prima
Kama	USA	Bobinas OPS
Reynolds Packaging Kama	USA	Bobinas OPS Prime
Propilco	Colombia	Polipropileno
Indelpro	México	Polipropileno
Resirene	México	Poliestireno
Certene	USA	Polipropileno y Poliestireno
Coresa	Guatemala	Master Batch varios
Clariant de Guatemala	Guatemala	Master Batch varios
Zeller & Gmelin	Holanda / USA	Tintas

Fuente: EDECA, S. A.

1.8.2. Material de empaque

Con el objetivo de garantizar la higiene e integridad del producto al momento de su bodegaje, traslado y entrega, se emplean dos empaques. Un empaque primario consistente en una bolsa de plástico, ya sea impresa o transparente, y otro empaque secundario, consistente en cajas de cartón corrugado de diversos tamaños impresas con el logotipo e información de la empresa.

Tabla II. **Proveedores de material de empaque de EDECA, S. A.**

Proveedor	País	Material de Empaque
Oreplast	Guatemala	Bolsa Impresa
Combi	Guatemala	Bolsa Transparente e Impresa
Cartones de Guatemala	Guatemala	Caja de cartón corrugado
Cajas y Empaques	Guatemala	Caja de cartón corrugado
Cartogua	Guatemala	Caja de cartón corrugado

Fuente: EDECA, S. A.

1.8.3. Otros

EDECA, S. A. cuenta con una lista amplia de proveedores de repuestos diversos, accesorios de maquinaria, materia prima consumible, bodega, mantenimiento, útiles, enseres, protección personal e higiene industrial. Los proveedores de este rubro son en su totalidad nacionales.

1.9. Procesos de producción

Son los que están constituidos por todas las acciones interdependientes orientadas a la transformación de la materia prima; en EDECA, S. A., los procesos de producción son los que se describen a continuación.

1.9.1. Extrusión de polímeros

Es un proceso industrial mecánico en el cual se fusiona un polímero empleando la acción mecánica, temperatura y presión, dándosele posteriormente una forma deseada mediante un molde.

El proceso aplica a todos los polímeros existentes, variando cuantitativamente el valor de los parámetros de procesos anteriormente mencionados. En EDECA, S. A., esos polímeros son el Polipropileno (PP), Poliestireno (PS), material de reproceso y aditivos (*Master Batch*).

Para la producción de los envases desechables, este proceso es el primer subproceso de producción. Principia mediante la carga de material (polímero), ya sea en forma pura (comúnmente denominado virgen) o material reprocesado de un dosificador hacia la tolva de carga; cabe mencionar que dicha configuración puede variar en función del nivel de automatización de la línea de producción. El material en forma granular cae por gravedad y por acción de empuje hacia la parte interna de la extrusora conocida como cañón.

El cañón, dependiendo del modelo de la máquina y tipo de extrusión, puede estar dividido en varias cámaras denominadas sectores (*barrel*), cada una con varios calentadores y termopares que aportarán temperatura al proceso, coaxialmente a lo largo de los sectores o *barrels*, se encuentra el husillo o tornillo de extrusión (tornillo de Arquímedes), mismo que es accionado por un motor eléctrico.

Al iniciarse el movimiento giratorio del tornillo de extrusión se crean dos fuerzas elementales, una fuerza de empuje y otra de corte, que generan una presión de entre 7 a 16 megapascal (70 a 160 bar), contribuyendo al aumento de la temperatura interna del polímero y esta, en combinación con los sistemas de calefacción, hacen posible el alcance del punto de fusión del material. Las temperaturas del proceso de extrusión del polipropileno están alrededor de los 190 a 220 grados Celsius, mientras que las del poliestireno están alrededor de los 210 a 230 grados Celsius.

Sin embargo, la temperatura de fusión del polipropileno es de 173 grados Celsius, mientras que la del poliestireno es de alrededor de 200 grados Celsius, la razón por la que se trabajan ambos materiales en temperaturas más elevadas a la de fusión, es el de garantizar una óptima homogenización de la mezcla trabajada.

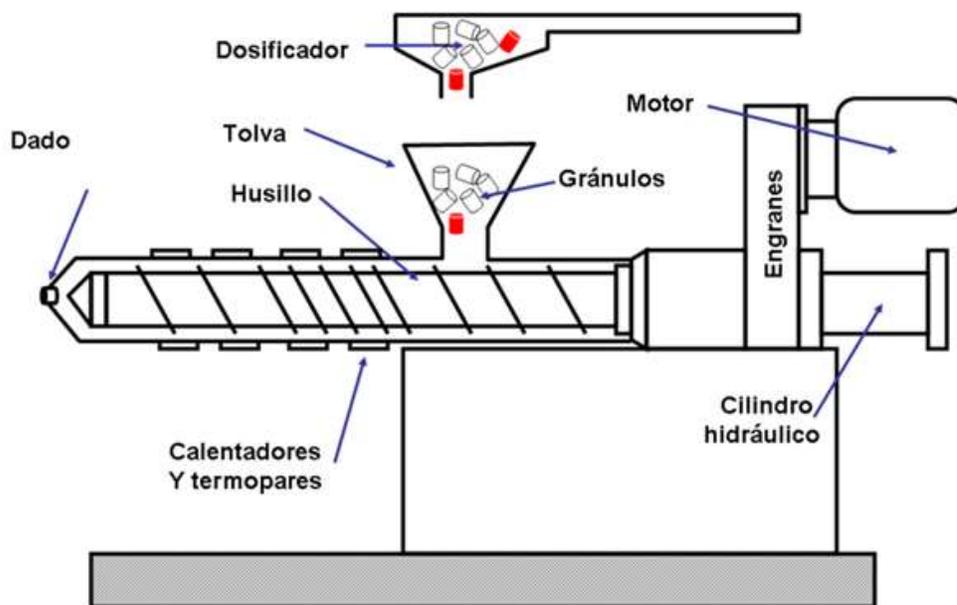
Se hace la excepción de que, algunas máquinas, usan un coextrusor paralelo a la extrusora principal con fines de aportar brillo, color y otros aditivos a la mezcla, sin embargo, los principios y parámetros de funcionamiento son exactamente los mismos.

Al alcanzarse el punto de fusión, coloquialmente se dice que el polímero tiene una apariencia chiclosa o pastosa, pero técnicamente, el polímero ha alcanzado un estado líquido de alta viscosidad.

El polímero fusionado o mezcla fusionada es forzada a pasar a través de un molde que le dará la forma deseada al polímero, denominada como tela. Seguidamente para asegurar un embobinado apropiado y al mismo tiempo cumplir especificaciones de grosor de tela, se le debe de enfriar y calibrar en una estación llamada Calandra.

Concluido el proceso de calibración y enfriado de la tela, se contempla una estación de tensión y corte, para regular especificaciones de ancho y largo de la tela y finalmente se le embobina en una estación diseñada para tal fin.

Figura 3. **Diseño genérico de un extrusor de polímeros**



Fuente: MORTON, Jones. *Procesamiento de plásticos*. p.124.

1.9.2. Termoformado

También llamado termoconformado es un proceso mediante el cual se deforma una lámina de plástico (polímero) empleando un molde para dicho efecto. La acción de transformación de la materia prima, consistente en telas de plástico, se da gracias a la acción de la temperatura y presión.

El proceso es considerado final en la producción de envases desechables si no requiere ningún tipo de grabado de artes, marcas o especificaciones, en caso contrario, debe de sufrir un proceso de impresión para considerársele como producto final.

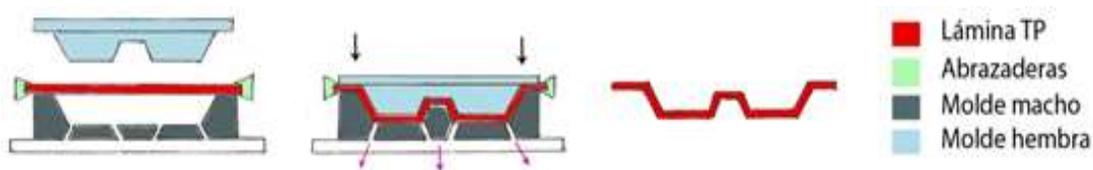
Dependiendo de la configuración de la línea de producción, primeramente, se carga las telas de plástico en un cargador de la máquina ya sea de forma manual o automática. Las máquinas cuentan con un sistema transportador de tela que la hace circular de manera automática a través de toda la configuración de la misma.

Una vez cargada la bobina, la cual pesa por lo general entre 226,8 a 294,8 kilogramos (500 a 650 libras), la tela es forzada a pasar a través de dos planchas que contienen resistencias con el fin de precalentarla para el proceso de termoformado. El fin de dicho precalentamiento, es el de alivianar tensiones residuales propias del proceso de extrusión y el de facilitar el proceso propio de termoformado. Por lo general, las temperaturas de termoformado están alrededor de los 170 a 185 grados Celsius para el polipropileno y 165 a 200 grados Celsius para el poliestireno.

Pre calentada la tela llega al área de termoformado, en donde se encuentran dos platinas, una móvil y otra fija. La platina móvil tiene una carrera vertical que es controlada por una leva y la misma es accionada por un motor eléctrico. Cada una de las platinas contiene una parte de los moldes, denominados hembra y macho, a la conclusión de un ciclo de trabajo se tendrá un envase desechable exactamente igual al contenido en la unión de los dos moldes, dicho resultado se debe a la acción de la presión en el molde ejercida por pistones de termoformado, la cual por tratarse de envases desechables es relativamente baja, por lo general entre 300 a 800 kilopascal (3 a 8 bar).

Termoformado el envase, un sistema de aire comprimido expulsa el envase hacia una tolva de clasificación en donde un operario manualmente ejerce el primer control de calidad, clasificándole como conforme o no conforme. Como se podrá imaginar, la superficie total de la tela de plástico extruida y recientemente termoformada, no es aprovechada al cien por ciento en su superficie, por ello, la máquina automáticamente embobina el esqueleto de la tela, denominado *scrap*, para un posterior proceso de reciclaje.

Figura 4. Diagrama de un proceso de termoformado



Fuente: MORTON, Jones. *Procesamiento de plásticos*. p. 265.

1.9.3. Inyección

Denominado también como moldeo por inyección es un proceso mediante el cual se inyecta un polímero en estado fundido a un molde cerrado a presión. Por propiedad de los líquidos, adoptará la forma contenida en el molde.

Con este proceso, EDECA, S. A. produce tenedores, cuchillos, cucharas y tapaderas. Los tenedores, cuchillos y cucharas, son considerados como productos finales, mientras que las tapaderas en caso de requerir el grabado de artes, marcas o especificaciones, deben de sufrir un proceso posterior de impresión.

El proceso de inyección, en su primera fase, contempla una variante del proceso de extrusión, es decir, primeramente se debe de extruir el polímero para podersele inyectar. El material es cargado manual o automáticamente en una tolva de alimentación y este al igual que en el proceso de extrusión, cae por gravedad y por acción de empuje generado por el tornillo de extrusión.

Internamente, el calor aportado por un sistema de calefacción y la presión ejercida por el tornillo de extrusión, hacen posible el alcance del punto de fusión del material en una parte denominada cañón o cilindro de plastificación. Las temperaturas de extrusión para el moldeo por inyección del polipropileno y poliestireno son de 180 a 240 grados Celsius y 180 a 260 grados Celsius, respectivamente.

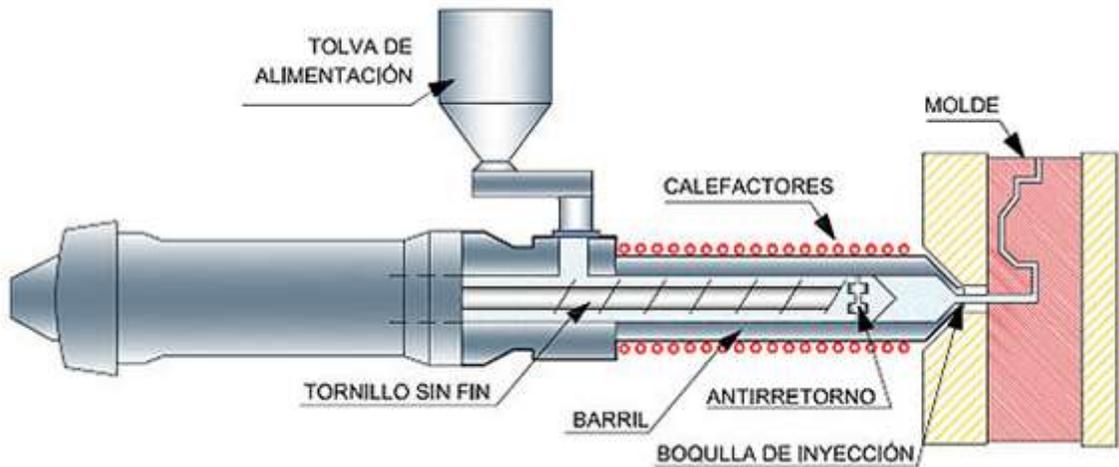
El cilindro de plastificación está directamente conectado a una parte del molde fijo, gracias a una boquilla de inyección, a través de él y por la acción del tornillo, es inyectado el polímero al molde en un momento dado de la colada. La segunda parte del molde, la cual es móvil, es accionada por un brazo mecánico con una carrera cíclica, controlado por el PLC (*Programmable Logic Controller*) de la máquina.

El trabajo del PLC (*Programmable Logic Controller*) permite la activación, duración y desactivación de las fases de inyección, las cuales de forma genérica, son las siguientes: activación de brazo, activación de molde, detener molde, mantener molde, modo de inyección, modo de lubricación, enfriamiento, activación de molde y modo de salida.

Cuando es activado el modo de inyección es inyectado el polímero fundido en el molde, adoptando el polímero la forma contenida en el molde. La temperatura del molde está en el orden de los 30 a 50 grados Celsius para el polipropileno y 20 a 60 grados Celsius para el poliestireno, mientras que las presiones en el molde pueden variar entre los 4 a 9,5 megapascal (40 a 95 bares), dependiendo del material y de la pieza a producir.

Una vez inyectado el polímero se requiere de entre 2 a 4 segundos de enfriamiento, después de lo cual, el molde abre y, por un sistema de vástagos o aire comprimido, se expulsan las piezas producidas del molde, las cuales caen a una tolva en donde se les separa del esqueleto de inyección, se inspeccionan y se les empaca. Se acota que aquel producto no conforme y esqueletos de inyección son clasificados para su reciclaje. El tiempo completo de colada dura entre 10 a 22 segundos, dependiendo de la pieza a formar por inyección.

Figura 5. **Diseño genérico de una máquina inyectora**



Fuente: MORTON, Jones. *Procesamiento de plásticos*. p. 203.

1.9.4. **Impresión**

Se trata de un método de reproducción de artes, logotipos o imágenes, sobre la superficie o capas superficiales de un material o producto, mediante el empleo de tintas específicas para dicho efecto. El proceso de impresión en envases plásticos es denominado *Dry Offset* (Offset Seco).

En el contexto de las operaciones de EDECA, S. A., el proceso de impresión, en caso de ser requerido por el cliente, supone el último proceso para la producción de envases desechables, a su conclusión, el producto es considerado como final.

El envase desechable previamente termoformado o inyectado es colocado de forma manual o automática en una banda transportadora, misma que regula la velocidad del producto y lo transporta hacia el cabezal de impresión. Dicho cabezal de impresión esta subdividido en dos áreas, la sección de tinteros y la sección del mandril de sujeción.

La sección de tinteros se integra de 5 ramificaciones, cada una con un recipiente en donde se vierte la tinta manualmente, asimismo, cada ramificación cuenta con una configuración de 7 rodillos tangenciales unos con otros. Dicha configuración, hace posible la dosificación y homogenización de la tinta. Las 5 ramificaciones, finalmente, son todas tangenciales a un rodillo o cilindro central, el cual contiene una mantilla con las placas de impresión, confeccionadas de latón con un recubrimiento especial de polímeros. El número total de ramificaciones en una máquina, da lugar a que la impresora trabaje con cierta cantidad de colores al mismo tiempo.

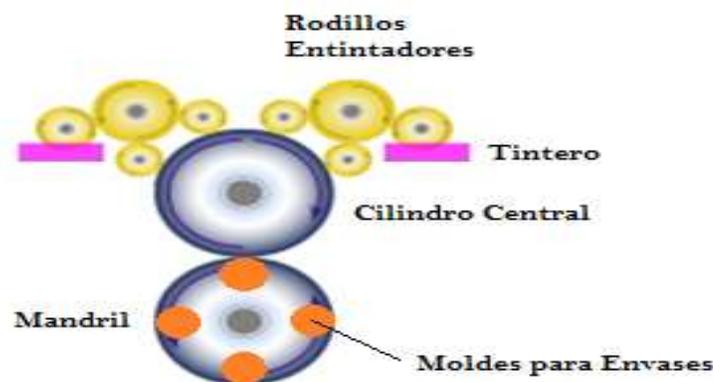
Por su parte, el mandril de sujeción, cumple únicamente funciones de sujeción al momento de la impresión, lo cual se logra gracias a un sistema de generación de vacío que adhiere el envase a un molde. La acción de impresión se realiza cuando el cilindro central, imprime el contenido de la placa de impresión en el envase desechable mediante el movimiento giratorio de cada uno de los rodillos de la máquina impresora. Dependiendo la capacidad de la máquina impresora, pueden ser obtenidos entre 140 a 260 envases desechables impresos por minuto.

Una variación del proceso se da al momento de imprimir envases o tapaderas de polipropileno, pues dicho material, carece de propiedades óptimas de absorción, por lo que debe tratarse previa, durante y después del proceso de impresión. A dicho tratamiento se le conoce como tratamiento de Corona, el cual emplea rayos UV para expandir el poro del material y asegurar la absorción de la tinta, por lo general, dicho tratamiento se aplica a temperaturas de unos 110 a 170 grados Celsius.

Después del proceso de impresión, el envase es retirado del mandril de sujeción mediante ventosas o bandas llamadas gusanos. Asimismo, se le fuerza a pasar por una serie de resistencias que secan completamente la impresión con el empleo de rayos IR y, finalmente, se le cuenta manual o automáticamente, se supervisa, se clasifica y se le empaca.

Concluido el proceso, supervisión y empaque, el envase desechable completamente finalizado, es trasladado a bodega en donde aguardara hasta su despacho hacia el cliente respectivo.

Figura 6. **Diseño demostrativo del proceso de impresión**



Fuente: elaboración propia, con programa SketchBook Pro.

1.10. Productos

Hasta el mes de febrero del 2013, EDECA, S. A., cuenta con 1 375 productos activos, distribuidos en dos grandes líneas de comercialización: línea industrial y línea comercial. Derivado de la creciente demanda de envases desechables de polipropileno y poliestireno, la cual aumenta entre 20 a 24 por ciento anualmente, se prevé un crecimiento sostenible de la cantidad de productos.

1.10.1. Línea industrial

Es la línea de mayor programación en la planta de producción de la empresa. Está orientada a la producción de envases desechables personalizados para clientes varios, en los ramos de las industrias agrícolas, bebidas, productos lácteos y productos alimenticios.

Figura 7. Muestra de productos de la línea industrial de EDECA, S. A.



Fuente: EDECA, S. A.

Dentro de la línea industrial se incluyen productos de la línea TECNOPAK, correspondientes a la empresa hermana de EDECA, S. A., llamada Tecnología en Empaques S. A. Estos productos son elaborados en la planta de producción de EDECA, S. A., aunque el mercado objetivo, está enfocado a la producción de domos y cajas para la industria panificadora.

Tabla III. Descripción de productos de la línea industrial de EDECA, S. A.

Línea Industrial	
Producto	Tamaño
Vasos	Desde 1,5 onzas hasta 32 onzas
Envases	Desde 7 onzas hasta ¼ de galón
Envase Cristal	Desde 5 onzas hasta 9 onzas
Envase Yogurt	Desde 95 gramos hasta 180 gramos
Paletitas	No aplica
Tapadera Termoformada	Desde 75 mm hasta 150 mm
Tapadera Inyectada	Desde 68 mm hasta 115 mm
Cúpulas Cristal	75 mm y 90 mm (planas y altas)
Cúpulas Yogurt	68 mm
Bandejas Lácteos	Desde ½ libra hasta 1 ½ libra
Bandejas	Volúmenes varios
Línea Industrial TECNOPAK	
Producto	Tamaño
Domo	Desde 7 pulgadas hasta 10 pulgadas
Caja Bisagrada	570 ml
Caja de 6 donas	No aplica
Cubilete doble / triple	No aplica

Fuente: EDECA, S. A.

1.10.2. Línea comercial

Esta línea es comercializada bajo el nombre propio de la empresa (EDECA, S. A.), el de su empresa hermana (TECNOPAK), o por las marcas COLORS o TORNADO, las cuales están orientadas a platos y vasos respectivamente. El mercado objetivo de esta línea, considerado como mercado alternativo por la empresa, es el de supermercados y tiendas de conveniencia. Asimismo, se considera también la venta a detalle.

La participación en la programación de la planta de producción de esta línea es considerablemente menor a la de la línea industrial. Sin embargo, varios de estos productos son incluidos en las órdenes de varios clientes que principalmente optan por la línea industrial.

Figura 8. Muestra de productos de la línea comercial de EDECA, S. A.



Fuente: EDECA, S. A.

Tabla IV. **Descripción de productos de la línea comercial de EDECA, S. A.**

Producto	Tamaño
Vasos	Desde 7 onzas a 16 onzas
Platos planos	Desde 6 pulgadas hasta 9 pulgadas
Platos hondos	6 y 8 pulgadas
Platos con división	9 pulgadas
Bandeja con 3 divisiones	No aplica
Tarro Clarificado	16 onzas
Cubiertos	No aplican

Fuente: EDECA, S. A.

1.11. Materia prima

Materia extraída de la naturaleza mediante diversos procesos, que posteriormente se convertirán en bienes de consumo. La materia prima de EDECA, S. A., está comprendida por los elementos expuestos.

1.11.1. Polipropileno (PP)

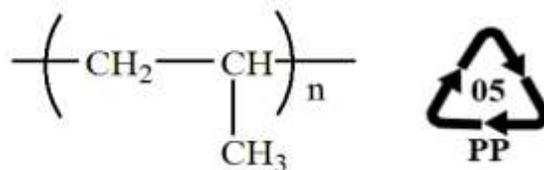
El Polipropileno o Polipropeno, abreviado PP, es un polímero termoplástico, es decir, un plástico que a temperaturas relativamente altas, se vuelve deformable o flexible, que se obtiene de la polimerización del Propileno. Químicamente, está compuesto de enlaces simples de carbono-carbono y carbono-hidrógeno, su apariencia es semicristalina y es utilizado en una amplia variedad de aplicaciones, tales como: productos para la industria alimenticia, textil, química, automotriz, aeroespacial, entre otras.

En el proceso de producción por polimerización, consistente en un proceso químico en el que los reactivos, denominados monómeros, se agrupan químicamente entre sí, se da origen a una molécula de gran peso, subdividiéndose en: Polipropileno Homopolímero (PPH) y Polipropileno Copolímero. Dicha diferencia, se logra mediante la polimerización de Propileno puro y la adición de un porcentaje de etileno, respectivamente.

Según estadísticas del Consejo Americano de Química (ACC, American Chemistry Council por sus siglas en inglés), el consumo mundial de polipropileno ha crecido en 400 por ciento desde 1993 al 2010, llegándose a consumir mundialmente, en este último año, un total de casi 40 millones de toneladas. De igual forma, las estadísticas reflejan un incremento anual de la demanda de entre el 7 al 10 por ciento. Las razones para tal explosión de la demanda se debe a varios factores, tales como: economía, baja densidad, alta dureza, resistencia a la abrasión, alta rigidez, buena resistencia al calor, excelente resistencia química, excelente versatilidad, reciclaje, entre otros.

En EDECA, S. A., son empleados el Homopolímero y Copolímero, el primero es empleado en la producción de productos por inyección y el segundo es empleado exclusivamente para el área de extrusión.

Figura 9. **Estructura química y simbología de reciclaje del polipropileno**



Fuente: Propilco, S. A. <http://www.propilco.com.co>. Consulta: 16 de mayo de 2013.

Tabla V. **Información técnica del polipropileno (PP)**

Nombre común	Polipropileno o Polipropeno
Grupo	Poliiolefina
Tipos	Homopolímero y Copolímero
Fórmula química	$-(C_3H_6)_n$
Monómero	Propileno (Propeno)
Normas que rigen	ISO, DIN y ASTM
Absorción de Agua	0,03 %
Densidad	850 – 900 kg/m ³
Índice refractivo	1,49
Inflamabilidad	Combustible
Resistencia a rayos UV	Aceptable, según ASTM D5208
Alargamiento a la rotura	150 – 300 %
Coefficiente de Fricción	0,1 – 0,3
Resistencia a la tracción	25 – 40 MPa
Módulo de Tracción	0,9 – 1,5 GPa
Calor Específico	1 700 – 1 900 J / (kg K)
Coefficiente de expansión térmica	100 – 180 x10 ⁻⁶ K ⁻¹
Temperatura de fusión	≈ 173 °C
Temperatura de carbonización	≈ 286 °C
Reciclabilidad	100 %
Resistente a	Ácidos Concentrados, Ácidos Diluidos, Álcalis, Alcoholes, Cetonas, Grasas, Aceites, Halógenos e Hidrocarburos Aromáticos

Fuente: elaboración propia.

1.11.2. Poliestireno (PS)

El Poliestireno, abreviado PS, es un polímero termoplástico que es obtenido mediante un proceso de polimerización del Estireno (Etenilbenceno). Al igual que en el caso del polipropileno, estructuralmente, es una larga cadena hidrocarbonada, técnicamente, por el monómero base, se le considera como un polímero vinílico.

Su apariencia es blanca y es empleado en innumerables aplicaciones dentro de las industrias alimenticias, construcción, punta, manufacturera, entre otras.

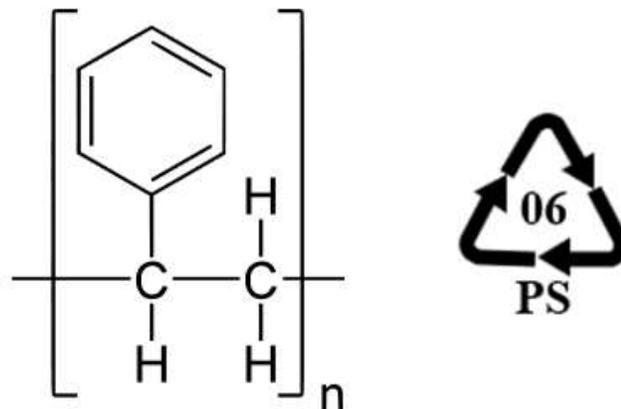
A diferencia del polipropileno (PP), el poliestireno, cuenta con cuatro tipos de poliestireno: el poliestireno cristal (GPPS, *General Purpose Polystyrene*), poliestireno de alto impacto (HIPS, *High Impact Polystyrene*), poliestireno expandido (EPS, *Expandable Polystyrene*) y poliestireno sindiotáctico (sPS, *Sodium Polystyrene Sulfonate*). Las formas de producción de cada uno de los tipos de poliestireno, radica en la adición de aditivos al proceso de polimerización. En el caso del poliestireno cristal no se añade ningún elemento, al poliestireno de alto impacto se añade hasta un 14 por ciento de caucho, al poliestireno expandido se gasifica hasta en un 5 por ciento y en el caso del poliestireno sindiotáctico, se le reordena estereoquímicamente en su estructura molecular.

En EDECA, S. A., son empleados el poliestireno de alto impacto (HIPS), poliestireno cristal (GPPS) y el poliestireno bioorientado (BOPS).

En términos de demanda, el poliestireno, ocupa el cuarto lugar a nivel mundial entre los plásticos más consumidos, únicamente por detrás del polietileno (PE), polipropileno (PP) y el policloruro de vinilo (PVC). Se estima que anualmente se consumen entre unos 13 a 17 millones de toneladas de PS, con un crecimiento anual de entre el 4 al 8 por ciento.

Dentro de las ventajas del poliestireno se pueden mencionar la economía, resistencia, reciclaje, impermeabilidad, presentación, entre otras. Podría decirse que el Poliestireno comparte muchas de estas cualidades con casi todos los polímeros, pero su extraordinaria y remarcable versatilidad, hace que hoy en día se emplee en infinitas aplicaciones e industrias.

Figura 10. **Estructura química y simbología de reciclaje del poliestireno**



Fuente: Resirene, S. A. <http://www.resirene.com>. Consulta: 16 de mayo de 2013.

Tabla VI. **Información técnica del poliestireno (PS)**

Nombre común	Poliestireno
Grupo	Estirénico
Fórmula química	$(C_8H_8)_n$
Monómero	Estireno
Normas que rigen	ISO, DIN y ASTM
Absorción de Agua	1,0 – 3,0 %
Densidad	1 050 kg/m ³
Índice refractivo	1,57
Inflamabilidad	Combustible
Resistencia a UV	Débil, según ASTM D5208
Alargamiento a la rotura	1,6 %
Coeficiente de Fricción	0,17 – 0,35
Resistencia a la tracción	30 – 100 MPa
Módulo de Tracción	2,3 – 4,1 GPa
Calor Específico	1 200 J / (kg K)
Coeficiente de expansión térmica	30 – 210 x10 ⁻⁶ K ⁻¹
Temperatura de fusión	≈ 180 a 240°C (depende el tipo)
Temperatura de carbonización	≈ 250 a 300°C (depende el tipo)
Reciclabilidad	100 %
Resistente a	Ácidos Concentrados, Ácidos Diluidos, Álcalis, Alcoholes, Grasas, Aceites

Fuente: elaboración propia.

1.11.3. Tintas

La tinta es un líquido que contiene varios pigmentos o colorantes, resina, disolventes y aditivos, que es empleado para grabar sobre la superficie de un material imágenes, artes o textos. Sus aplicaciones son amplias, al igual que las industrias que la emplean, pero en algunas industrias como la alimenticia, existen estrictas regulaciones para su uso.

Las tintas empleadas en la industria alimenticia carecen en su contenido de metales pesados como plomo o mercurio, olores, radicales libres y elementos o agentes químicos nocivos para la salud. Para asegurar ello, existen varias instituciones que normalizan la producción de dicho tipo de tintas, tales como: ASTM (American Society for Testing and Materials), ISO (International Organization for Standardization), DIN (Deutsches Institut für Normung) y la más importante de todas, FDA (Food and Drug Administration).

Entre las características que reúne las tintas empleadas en el proceso de impresión en envases plásticos se pueden mencionar: bajo olor, impresión óptima a altas velocidades, máxima adherencia, libre de benzofenonas, fórmulas con alta pigmentación, excelente estabilidad, alta transparencia, alto brillo, excelente curado, alta tolerancia a rayos UV, bajo contenido de compuestos volátiles, alta resistencia a químicos, agua y rayado.

En cuanto a las tonalidades requeridas para las impresiones, estas se logran mediante la mezcla, dosificación y disolución con alcohol isopropílico. En EDECA, S. A., todas las tintas utilizadas son importadas de los Estados Unidos de América, tienen grado alimenticio y están aprobadas por la ISO y FDA.

1.11.4. Colorantes y abrillantadores

Tanto colorantes como abrillantadores son conocidos dentro de la industria como *master batch*. Un *master batch* es un aditivo líquido o sólido que, principalmente, es usado para la coloración de plásticos (*color master batch*), o impartir otras propiedades al plástico (*additive master batch*). Recientemente, se han introducido al mercado *master batchs* más avanzados, entre las nuevas propiedades que se pueden impartir a un plástico se puede mencionar: resistencia a rayos UV, inhibidor de combustión, anti estática, lubricación, anti deslizante, inhibidores de corrosión, antimicrobiano, antioxidante, brillo, fragancias, fluorescencia, entre otros.

Los *master batch* están formados por resinas base y pigmentos y/o aditivos. De hecho, la calidad de un *master batch* está en función del tamaño de partícula del grano de pigmento y/o aditivo incorporado. A un grano más fino, mayor calidad y capacidad de tintóreo, o aporte de propiedades, pero el precio del producto, se incrementa considerablemente.

La resina base es en sí un polímero en su estado puro o virgen, tal y como el Polipropileno, Estireno, Polietileno, ABS, PVC, entre otros. Cuando se les produce por medio de un proceso combinado de Extrusión – Granulación, quedan definidos los porcentajes de concentración, siendo estos: 15 al 30 por ciento de pigmento orgánico – 70 al 85 por ciento de resina base y 50 al 60 por ciento de pigmento inorgánico – 40 al 50 por ciento de resina base. Por tenerse resina base consistente de polímeros puros y pigmentos y/o aditivos, el punto de fusión de un *master batch* esta aproximadamente entre 10 a 40 grados Celsius por encima del punto de fusión del polímero puro.

El *master batch* es procesado junto con los polímeros al momento del proceso de la extrusión; por lo general, su extrusión ocurre en la parte denominada como coextrusora y son mezclados finalmente en el dado de la extrusora. Industrialmente, la dosis empleada de *master batch* en el proceso de coloración y abrillantado, usualmente, varía entre el 1,5 a 3 por ciento, es decir, entre 15 a 30 gramos por cada kilogramo de producto extruido.

En EDECA, S. A. son usados los *master batch* de color blanco, negro, amarillo, celeste y rosado, aunque también se ha trabajado con colores azul, verde, gris, entre otros.

2. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE EDECA, S. A.

2.1. Volúmenes de producción

Volumen de producción es una cantidad de bienes o servicios producidos por una organización en un período determinado de tiempo. Para efectos del presente trabajo, el período de análisis del presente capítulo, comprende desde el 01 de enero de 2012 hasta el 28 de febrero de 2013.

2.1.1. Extrusión

En promedio son producidas aproximadamente 164 068,15 kilogramos de tela por mes; de las cuales, el 62,53 por ciento son de poliestireno y el 37,43 por ciento son de polipropileno. Si se toma un peso unitario de 249,5 kilogramos por tela, según las políticas que rigen al área de producción, durante el período de análisis, han sido producidas unas 9 208 telas o su equivalente de 2 296 954 kilogramos de tela extruida.

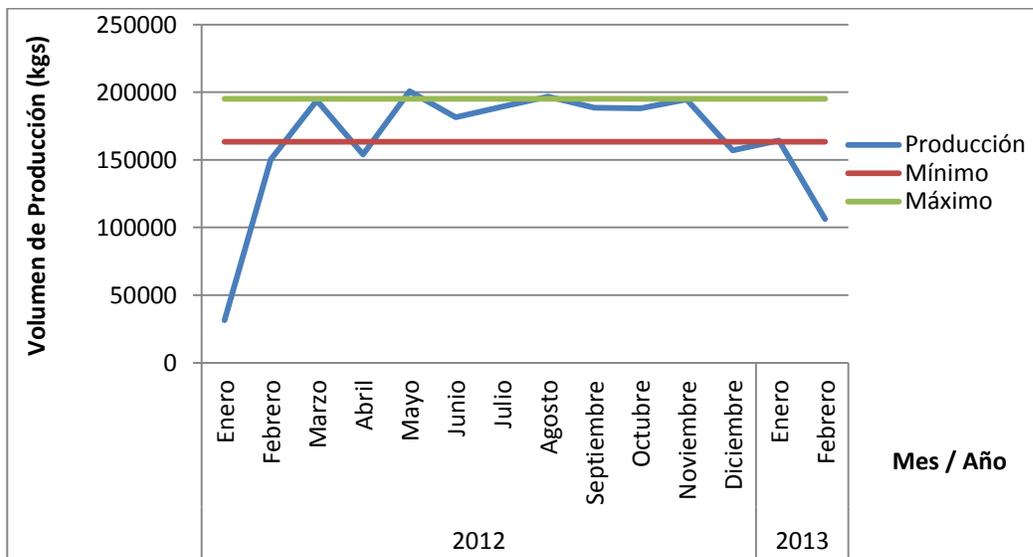
Pese a encontrar un promedio mensual que es levemente superior al mínimo en cuanto a las metas; las cuales son: mínimo: 163 000, óptimo: 176 900 y máximo: 195 000 kilogramos. La producción del área está en función de varias variables tales como: demanda, paros de producción, disponibilidad de materia prima, disponibilidad de materia prima suplementaria y picos de producción.

Tabla VII. **Resumen de volúmenes de producción de extrusión**

	Mes	Volumen de Producción (kilogramos)		Mes	Volumen de Producción (kilogramos)
2012	Enero	31 515,12	2012	Agosto	196 872,08
	Febrero	150 308,60		Septiembre	188 503,31
	Marzo	193 927,36		Octubre	188 095,08
	Abril	154 070,23		Noviembre	194 648,12
	Mayo	200 718,54		Diciembre	157 049,43
	Junio	181 480,34		2013	Enero
	Julio	189 304,81	Febrero		106 131,46

Fuente: EDECA, S. A.

Figura 11. **Gráfica de volúmenes de producción de extrusión**



Fuente: elaboración propia.

Evidentemente (de acuerdo a los datos de la tabla VII y figura 11) el área de extrusión no ha alcanzado en 5 de los 14 meses de estudio, los niveles mínimos de producción de 163 000 kilogramos de tela extruida, incumpléndose entre un 5 hasta el 80 por ciento del valor de dicha meta. Los efectos del incumplimiento en estos volúmenes de producción, se reflejarán posteriormente en los volúmenes de producción, paros y eficiencia de las áreas de termoformado e impresión, incumplimiento de órdenes de producción, satisfacción del cliente y disminución de la capacidad de comercialización.

2.1.2. Termoformado

En el período expuesto se ha producido un total de 261 336 950 envases desechables, equivalente a 1 406 411,9 kilogramos de productos termoformados. La relación de productos de poliestireno y polipropileno, se mantiene en un 60 y 40 por ciento respectivamente. Los productos termoformados corresponden mayoritariamente a aquellos que conforman la línea industrial; aunque, la línea comercial tiene también participación en el proceso.

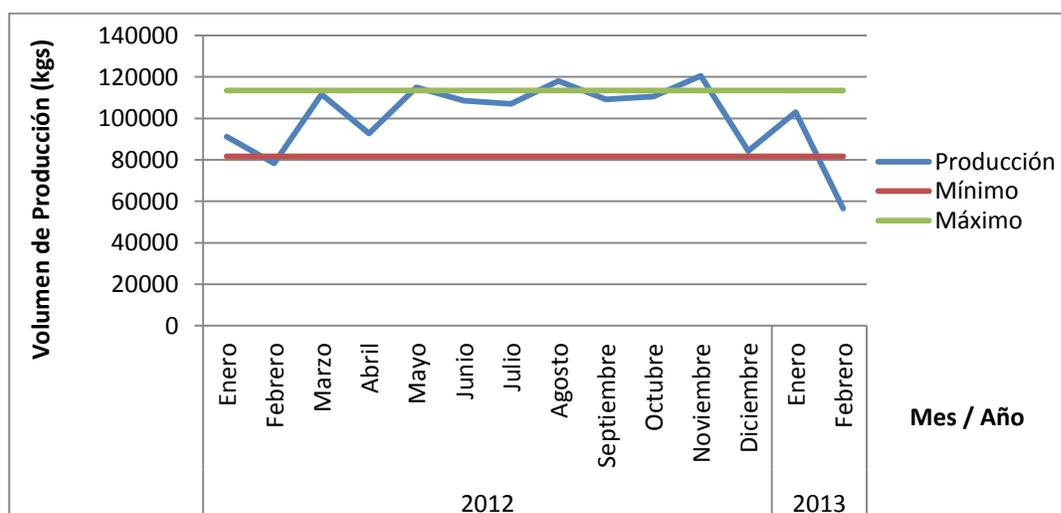
Con los datos recabados se obtiene un promedio mensual de 100 458 kilogramos, o 18 666 925 productos termoformados, que se encuentran dentro de los niveles de producción satisfactorios establecidos por la empresa; los cuales son: mínimo: 81 650, satisfactorio: 104 300 y máximo: 113 400 kilogramos de productos termoformados. Los parámetros de volumen de producción, eficiencia, tiempo efectivo de trabajo y calidad, están en función del performance del área de Extrusión. En la tabla VIII y figura 12, están ejemplificados los resúmenes de volumen de producción del área.

Tabla VIII. Resumen de volúmenes de producción de termoformado

Mes	Volumen de Producción (unidades)	Volumen de Producción (kgs)	Mes	Volumen de Producción (unidades)	Volumen de Producción (kgs)
Enero	16 274 255	91 163,83	Agosto	23 917 180	118 106,74
Febrero	15 306 000	78 316,29	Septiembre	19 299 110	109 165,08
Marzo	19 626 230	111 610,39	Octubre	19 344 270	110 507,26
Abril	17 505 710	92 768,18	Noviembre	19 774 060	120 525,29
Mayo	20 489 270	114 898,94	Diciembre	16 141 650	84 262,88
Junio	20 553 425	108 545,93	Enero	20 494 910	102 951,78
Julio	20 215 380	107 024,13	Febrero	12 395 500	56 565,19

Fuente: EDECA, S. A.

Figura 12. Gráfica de volúmenes de producción de termoformado



Fuente: elaboración propia.

Comparando las gráficas de volúmenes de producción de extrusión y termoformado, resulta evidente que, en los meses de enero a febrero de 2012 y diciembre de 2012 a febrero de 2013, la producción del área de extrusión estuvo por debajo del volumen mínimo, afectando notoriamente al área de termoformado, por cuya causa, también estuvo cerca e incluso por debajo del mínimo de producción para dicha área en el mismo período de tiempo. La forma, concavidad y puntos de inflexión de las curvas de volúmenes de producción de ambos procesos, evidencian la relación e interdependencia del proceso de termoformado con respecto al proceso de extrusión.

2.1.3. Inyección

En el contexto de producción de EDECA, S. A., el área de inyección es el proceso más estable en cuanto a sus volúmenes de producción, lo cual es debido al alto grado de automatización, presente en dicho proceso. En el período de análisis, se produjeron 201 095 544 unidades formadas por inyección, o su equivalente a 476 019,4 kilogramos de producto inyectado, en su mayoría cubiertos y tapaderas. Cabe mencionar que el proceso no está relacionado con los procesos de extrusión y termoformado.

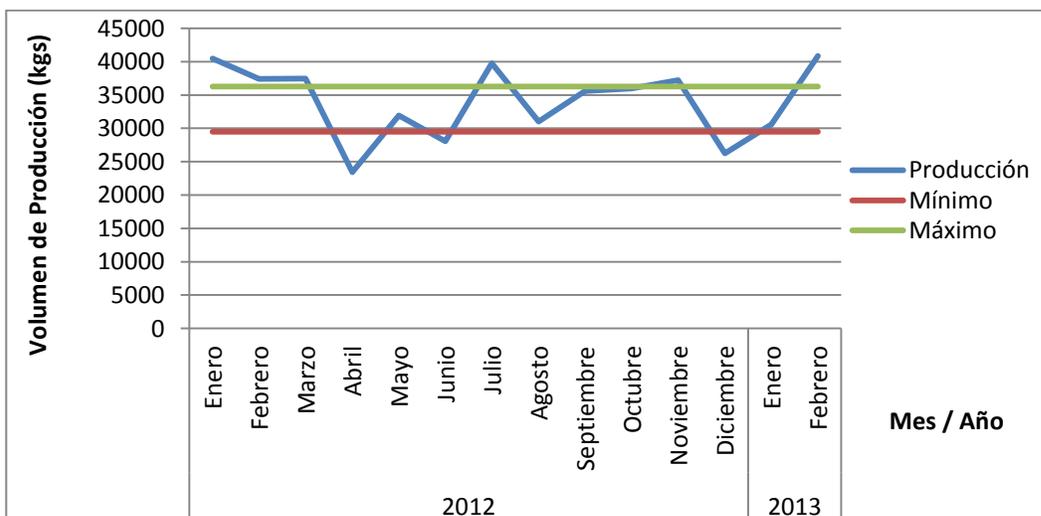
En un mes son producidas 14 363 968 unidades o, 34 001 kilogramos de producto formado por inyección, lo cual supera los estándares establecidos por la empresa, los cuales son: mínimo: 29 500, óptimo: 31 800 y máximo: 36 300 kilogramos por mes. En esta área de producción se utiliza única y exclusivamente, Polipropileno y, de requerirlo el envase (tapadera), debe sufrir un proceso posterior de impresión. En la tabla IX y figura 13 son mostrados los resúmenes de volumen de producción para el área en referencia.

Tabla IX. Resumen de volúmenes de producción de inyección

Mes	Volumen de Producción (unidades)	Volumen de Producción (kgs)	Mes	Volumen de Producción (unidades)	Volumen de Producción (kgs)
Enero	18 432 400	40 449,97	Agosto	11 762 100	31 039,75
Febrero	17 551 600	37 405,46	Septiembre	14 898 000	35 588,83
Marzo	15 706 350	37 449,46	Octubre	14 326 300	35 983,91
Abril	9 768 700	23 454,34	Noviembre	16 785 600	37 205,88
Mayo	12 816 700	31 941,95	Diciembre	10 863 700	26 269,78
Junio	11 348 500	28 069,63	Enero	13 218 700	30 574,37
Julio	15 835 700	39 737,83	Febrero	17 781 194	40 848,23

Fuente: EDECA, S. A.

Figura 13. Gráfica de volúmenes de producción de inyección



Fuente: elaboración propia.

La demanda, paros de producción y el suministro de materia prima (Polipropileno), constituyen factores que inciden en el máximo y mínimo de volúmenes de producción establecidos por la empresa. Los parámetros de volumen de producción, eficiencia, tiempo de producción efectivo y calidad, tienen un impacto directo en el proceso de impresión de los envases desechables.

2.1.4. Impresión

El proceso de impresión es el último proceso para la producción de envases desechables. Su aplicación es opcional si el envase desechable lo requiere y por lo general, dicho proceso es aplicado únicamente a productos de la línea industrial y a solicitud del cliente.

De enero de 2012 a febrero de 2013 se han impreso 92 669 100 envases desechables. Aunque no se tiene contemplado ningún mínimo o máximo en cuanto a las unidades impresas, históricamente, son impresos un promedio de 5 000 000 a 9 000 000 de envases por mes.

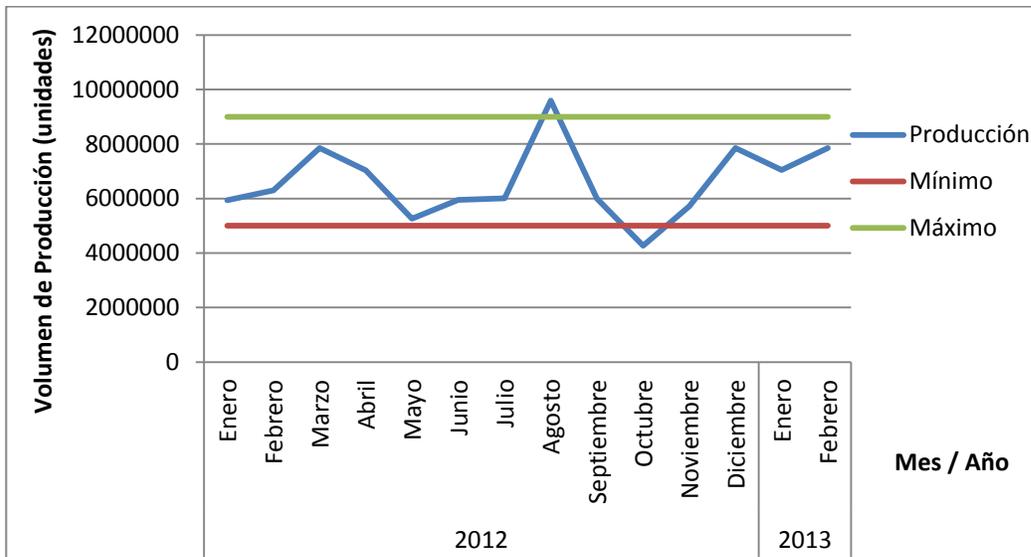
Mensualmente son impresos unos 6 619 222 envases desechables. Los porcentajes de impresión en envases desechables de Poliestireno y Polipropileno, varían entre un 60 a 90 por ciento y 10 a 40 por ciento, respectivamente. Aunque el proceso no forma o produce un envase desechable, aporta un aspecto de personalización del envase para los clientes, mediante el grabado de artes, logotipos, colores, etc. En la tabla X y figura 14 se detalla un resumen del volumen de producción de impresión.

Tabla X. **Resumen de volúmenes de producción de impresión**

	Mes	Volumen de Producción (en unidades)		Mes	Volumen de Producción (en unidades)
2012	Enero	5 940 200	2012	Agosto	9 593 800
	Febrero	6 301 200		Septiembre	6 000 200
	Marzo	7 851 000		Octubre	4 274 000
	Abril	7 038 400		Noviembre	5 714 000
	Mayo	5 258 600		Diciembre	7 850 000
	Junio	5 951 000		2013	Enero
	Julio	6 003 400	Febrero		7 850 500

Fuente: EDECA, S. A.

Figura 14. **Gráfica de volúmenes de producción de impresión**



Fuente: elaboración propia.

En la gráfica de los volúmenes de producción del área de impresión se refleja la fluctuación de las cantidades demandadas de envases desechables impresos y la razón por la cual, en el área en referencia, no existan metas definidas en cuanto al volumen de producción.

2.2. Eficiencia por área

Desde un enfoque productivo, la eficiencia es la capacidad de emplear todos los recursos de una forma óptima, con el propósito de producir el máximo posible de bienes o servicios. Universalmente son aceptadas dos escalas para la medición de la eficiencia: en forma porcentual y en escala decimal.

Los valores de eficiencia expuestos en el presente subcapítulo fueron calculados mediante una fórmula general que relaciona el producto de cuatro factores de eficiencia, siendo estos: eficiencia de calidad, eficiencia de aprovechamiento de materia prima, eficiencia de mantenimiento y eficiencia de velocidad de producción. En la figura 15 se indica la fórmula empleada para el cálculo respectivo de la eficiencia global.

Figura 15. **Fórmula empleada para el cálculo de eficiencia general**

$$\text{Eficiencia General} = \frac{\text{Eficiencia}}{\text{Calidad}} * \frac{\text{Eficiencia}}{\text{MP}} * \frac{\text{Eficiencia}}{\text{Mantenimiento}} * \frac{\text{Eficiencia}}{\text{Velocidad de Producción}}$$

Fuente: EDECA, S. A.

2.2.1. Extrusión

Tomando en cuenta los procedimientos y maquinaria empleada en el proceso de extrusión de la empresa, podría calificarse el nivel de eficiencia del área de extrusión, durante el período del estudio, como aceptable y normal. Sin embargo, dicho nivel de eficiencia como se podrá observar adelante en este capítulo, es beneficioso pero insuficiente al mismo tiempo.

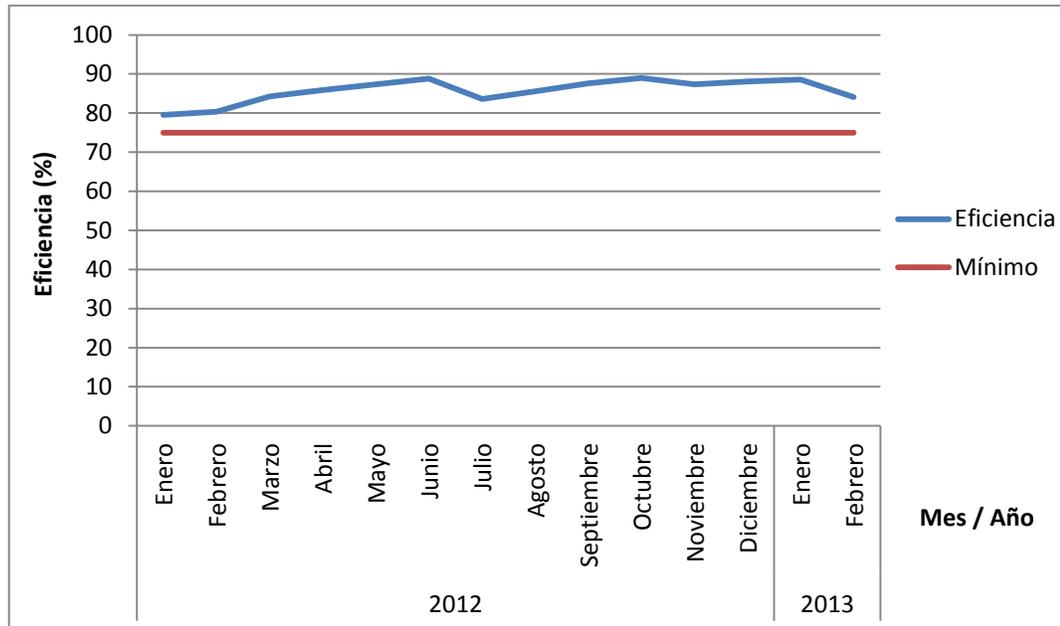
Con un promedio de 85,71 por ciento de eficiencia mensual, durante el período expuesto, se superó por valores de entre 4,5 a 13,95 por ciento, el valor mínimo de eficiencia aceptable para el área de extrusión, el cual se sitúa en el 75 por ciento. En la tabla XI y figura 16 son indicados los resúmenes y comportamientos de la eficiencia para el área de extrusión.

Tabla XI. Resumen de valores de eficiencia de extrusión

	Mes	Eficiencia (en %)		Mes	Eficiencia (en %)
2012	Enero	79,50	2012	Agosto	85,59
	Febrero	80,31		Septiembre	87,59
	Marzo	84,25		Octubre	88,95
	Abril	85,91		Noviembre	87,36
	Mayo	87,31		Diciembre	88,07
	Junio	88,79		2013	Enero
	Julio	83,64	Febrero		84,11

Fuente: EDECA, S. A.

Figura 16. **Gráfica de comportamiento de eficiencia de extrusión**



Fuente: elaboración propia.

Durante el análisis del comportamiento de la eficiencia del área se detectaron considerables repercusiones del factor denominado eficiencia de velocidad de producción, en la eficiencia general del área. Las implicaciones de dicho impacto en pocas palabras, se reducen a que la máquina trabaja en promedio entre el 50 al 70 por ciento de la velocidad a la que debería de trabajar, específicamente, por el modelo de la máquina empleada y por la capacidad de producción de la misma.

El factor de calidad también perjudica notoriamente la eficiencia general, pues su valor oscila entre un 65 a 100 por ciento. Otros factores como los de aprovechamiento de materia prima y mantenimiento, se mantienen notablemente estables, con valores cercanos al 100 por ciento.

2.2.2. Termoformado

Por ser un proceso dependiente del proceso de extrusión, en cuanto al suministro de materia prima (telas) para termoformado, todo análisis y resultado, serán directamente proporcionales al rendimiento del proceso previo. El área de termoformado obtuvo una media de eficiencia de 78,48 por ciento, lo que la ubica considerablemente cerca del mínimo aceptable para el área, el cual se sitúa en 75 por ciento.

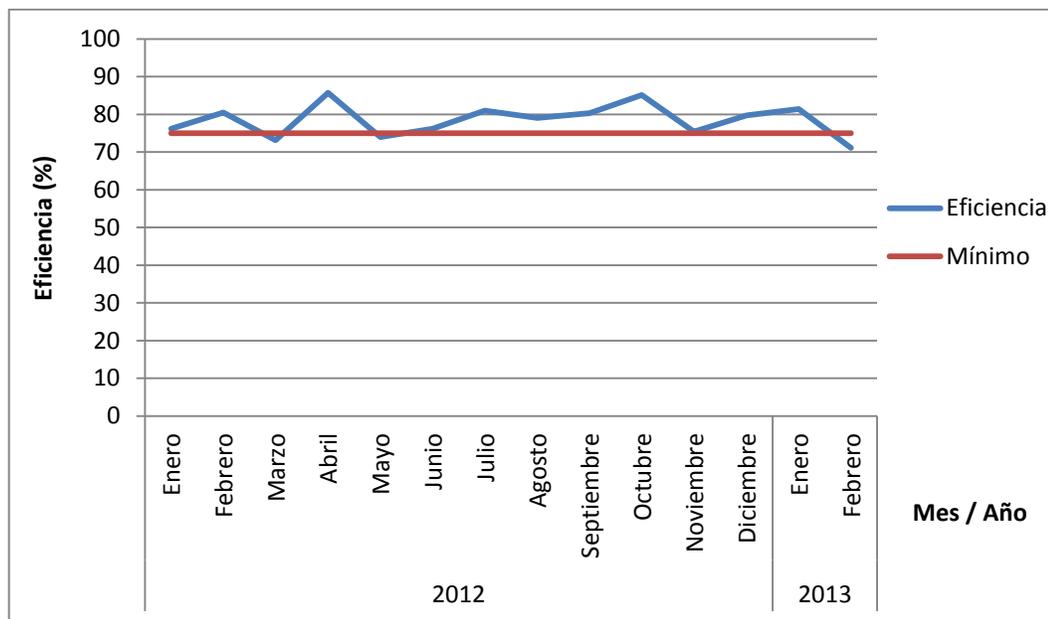
Los valores de eficiencia que están por encima del mínimo establecido tienen una media de variación del 5,04 por ciento y los valores por debajo del mínimo, tienen una media de variación del 2,25 por ciento. En otros términos, los datos de eficiencia durante el período de estudio están concentrados muy cerca del mínimo permisible, lo cual puede ser perjudicial para la empresa.

Tabla XII. **Resumen de valores de eficiencia de termoformado**

	Mes	Eficiencia (en %)		Mes	Eficiencia (en %)
2012	Enero	76,20	2012	Agosto	79,02
	Febrero	80,49		Septiembre	80,31
	Marzo	73,16		Octubre	85,09
	Abril	85,71		Noviembre	75,45
	Mayo	73,97		Diciembre	79,70
	Junio	76,13		2013	Enero
	Julio	80,94	Febrero		71,13

Fuente: EDECA, S. A.

Figura 17. **Gráfica de comportamiento de eficiencia de termoformado**



Fuente: elaboración propia.

Como se puede observar en la tabla XII y figura 17, los datos de eficiencia son estables, pero próximos al límite inferior, este comportamiento está en función de los factores empleados para el cálculo de la eficiencia. Los factores de eficiencia de aprovechamiento de materia prima, velocidad de producción y calidad, se mantienen bastante estables y al momento de cualquier fluctuación, el impacto en la eficiencia general es poco significativo.

A pesar de que tres de cuatro factores son notablemente estables, el factor de eficiencia de mantenimiento del área de termoformado es bajo e inestable y es el responsable de la tendencia de agrupación de los valores de eficiencia cerca del mínimo permisible. En el siguiente subcapítulo, se explicará a detalle la composición de dicho factor y los subproblemas generados.

2.2.3. Inyección

Considerando el alto nivel de automatización del área de inyección, los niveles de eficiencia del área son considerados como óptimos. Con un promedio mensual de eficiencia de 93,00 por ciento, en trece de los catorce meses de estudio, se superó dicha meta por, aproximadamente, un 8,55 por ciento. La meta para el área de inyección tiene un mínimo de 85 por ciento de eficiencia mensual.

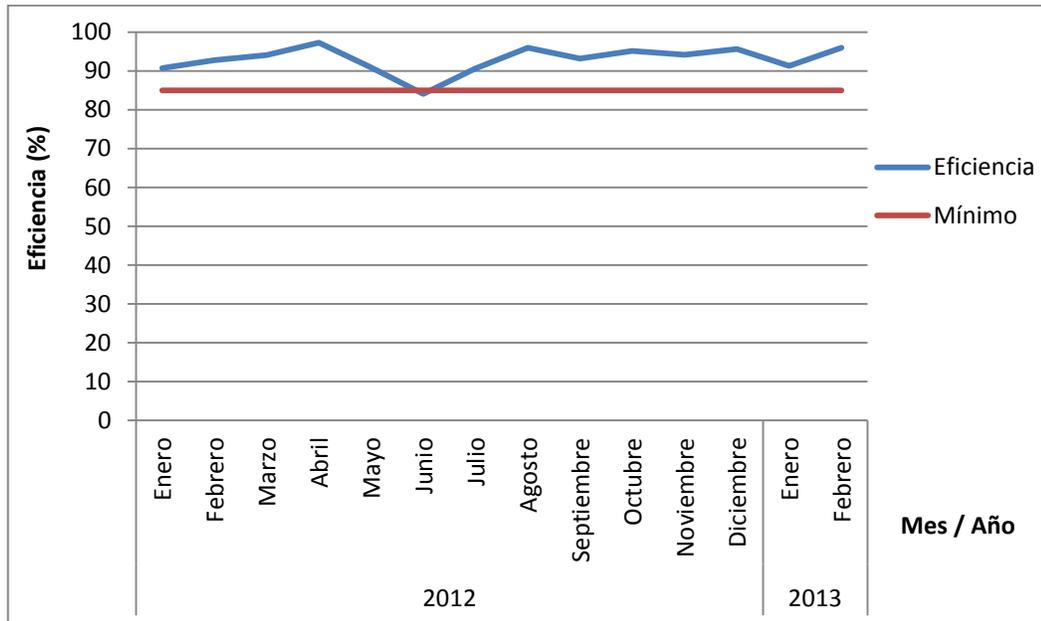
Como se puede observar en la tabla XIII y figura 18, los niveles de eficiencia del área en mención son bastante estables. Toda variación, está en función primordialmente del factor de eficiencia en mantenimiento, mismo que es inversamente proporcional a los paros de producción.

Tabla XIII. Resumen de valores de eficiencia de inyección

	Mes	Eficiencia (en %)		Mes	Eficiencia (en %)
2012	Enero	90,73	2012	Agosto	95,98
	Febrero	92,81		Septiembre	93,18
	Marzo	94,09		Octubre	95,18
	Abril	97,28		Noviembre	94,17
	Mayo	90,93		Diciembre	95,64
	Junio	84,13		2013	Enero
	Julio	90,64	Febrero		95,97

Fuente: EDECA, S. A.

Figura 18. Gráfica de comportamiento de eficiencia de inyección



Fuente: elaboración propia.

Los factores de eficiencia de calidad, aprovechamiento de materia prima y velocidad de producción no presentan fluctuaciones significantes y, por lo general, se mantienen en niveles de entre el 95 al 99 por ciento.

En el análisis de eficiencia por área se puede concluir categóricamente que inyección es el proceso más eficiente y estable de los cuatro procesos principales de la empresa, lo cual es debido al nivel de automatización e independencia de proceso. Otros factores de la eficiencia, son muy estables y contribuyen también al comportamiento previamente descrito.

2.2.4. Impresión

Estadísticamente, el comportamiento de la eficiencia en el área de impresión es considerado como crítico. El promedio de eficiencia mensual se calculó en 58,05 por ciento, a 11,95 por ciento del 70 por ciento mensual de eficiencia, que es el mínimo. Únicamente en uno de los catorce meses de estudio, se superó dicha meta por 0,27 por ciento. En todos los otros meses de estudio, se estuvo a un promedio de 12,85 por ciento de alcanzarse el mínimo.

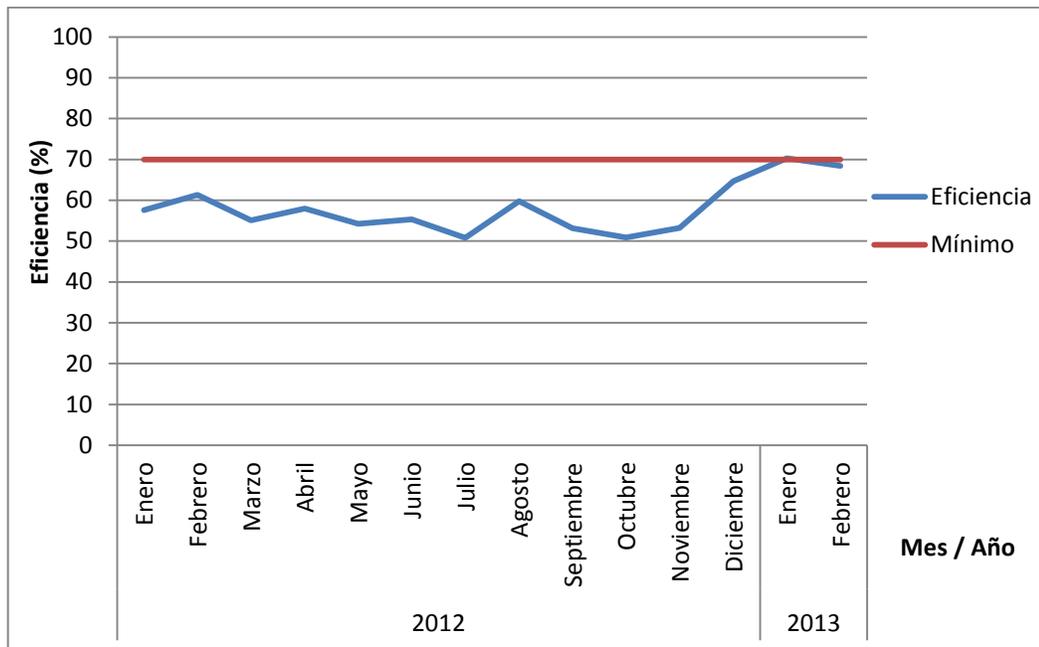
Conviene aclarar que estos niveles bajos de eficiencia son considerados como normales, especialmente, por el tipo de proceso y por las actividades que se deben de llevar a cabo, previo a alcanzar velocidades de producción óptimas. Se puede observar en la tabla XIV y figura 19 el comportamiento de los niveles de eficiencia respectivos.

Tabla XIV. **Resumen de valores de eficiencia de impresión**

	Mes	Eficiencia (en %)		Mes	Eficiencia (en %)
2012	Enero	57,60	2012	Agosto	59,73
	Febrero	61,32		Septiembre	53,15
	Marzo	55,12		Octubre	50,91
	Abril	57,98		Noviembre	53,22
	Mayo	54,25		Diciembre	64,68
	Junio	55,29		2013	Enero
	Julio	50,80	Febrero		68,40

Fuente: EDECA, S. A.

Figura 19. **Gráfica de comportamiento de eficiencia de impresión**



Fuente: elaboración propia.

El factor de eficiencia de mantenimiento es el único responsable de los niveles bajos de eficiencia del área. Derivado de la subdivisión de dicho factor, actividades como pruebas de impresión, pruebas de tintas, cambios de producto, limpieza y problemas de índole mecánica, electrónica y térmica, son los rubros de mayor influencia en la problemática de eficiencia.

A pesar de la frecuencia de participación de los factores anteriormente expuestos, las actividades son consideradas como propias del proceso de impresión y no pueden ser excluidas, especialmente las pruebas generales del proceso, pues supone una actividad para el aseguramiento de la calidad del producto.

2.2.5. General

Pese a los bajos niveles de eficiencia del área de impresión y eficiencia del mantenimiento, los valores de eficiencia obtenidos en forma general para la planta de producción de EDECA, S. A. son considerablemente estables y aceptables. La planta en promedio se maneja en un nivel de eficiencia del 82,59 por ciento y en ninguno de los catorce meses de estudio, ese nivel de eficiencia estuvo por debajo del mínimo establecido, el cual es del 75 por ciento.

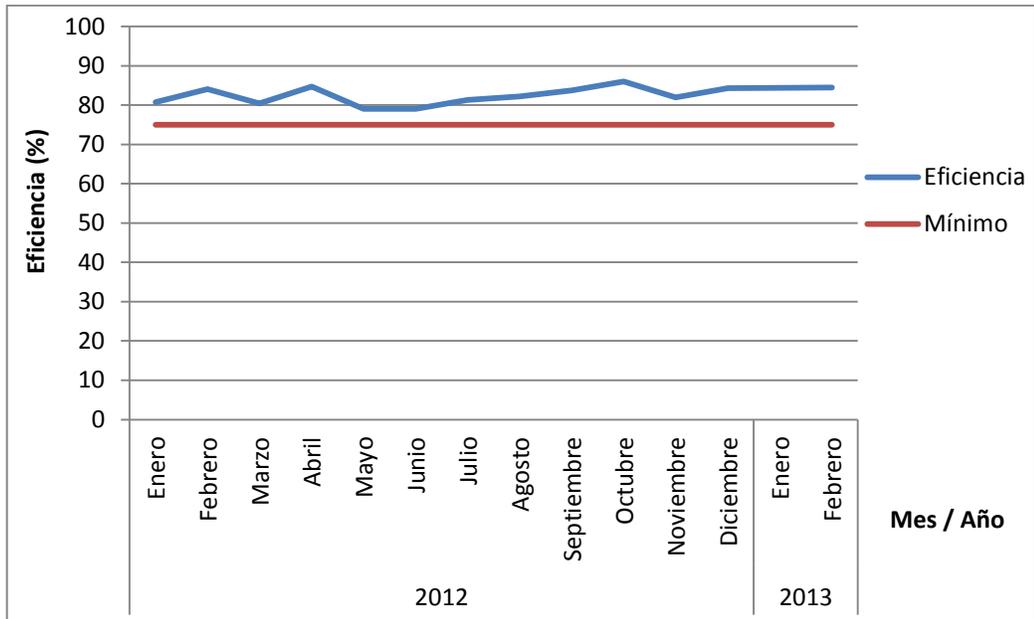
Los valores de eficiencia expuestos en la tabla XV y figura 20 están conformados por los valores de las áreas de extrusión, termoformado, inyección, impresión, empaque y GN. Las últimas dos áreas no fueron consideradas dentro del trabajo por la poca relación con el tema expuesto en el presente documento.

Tabla XV. **Resumen de valores de eficiencia de la planta de producción**

	Mes	Eficiencia (en %)		Mes	Eficiencia (en %)
2012	Enero	80,70	2012	Agosto	82,23
	Febrero	84,02		Septiembre	83,76
	Marzo	80,41		Octubre	86,01
	Abril	84,73		Noviembre	81,95
	Mayo	79,05		Diciembre	84,28
	Junio	79,02		2013	Enero
	Julio	81,27	Febrero		84,43

Fuente: EDECA, S. A.

Figura 20. **Gráfica de eficiencia de la planta de producción**



Fuente: elaboración propia.

La planta de producción de la empresa supera, en promedio, el 7,59 por ciento del mínimo establecido para la eficiencia de la planta. Para poder elevar los niveles generales de eficiencia deberá de hacerse énfasis en la mejora de los niveles de eficiencia de mantenimiento, los cuales son originados por la relación de los tiempos programados y paros de producción.

2.3. Paros de producción por área

Un paro de producción es todo aquel evento no planificado, de índole diversa que afecta a una planta, sistema, línea o máquina, impidiendo la producción normal de un bien o servicio.

Por motivos de simplificación de los datos obtenidos durante el análisis, las categorías de los paros han sido clasificados de la siguiente forma:

- Paros administrativos: todos aquellos paros originados por fallas en la administración del área de producción.
- Paros por falla mecánica: todos aquellos paros originados por fallas en sistemas, accesorios, componentes y elementos mecánicos.
- Paros por falla eléctrica-electrónica: todos aquellos paros originados por fallas en sistemas, accesorios, componentes y elementos eléctricos y/o electrónicos.
- Paros por falla de sistema de calefacción-refrigeración: todos aquellos paros originados por fallas en sistemas, accesorios componentes y elementos de los sistemas de tratamiento, calefacción y/o refrigeración.
- Paros por suministro de materia prima: todos aquellos paros originados por la escasez de materia prima para el proceso de producción. En esta clasificación se contempla única y exclusivamente la falta de telas de Polipropileno o Poliestireno.
- Paros por mantenimiento menor: todos aquellos paros originados por actividades de mantenimiento correctivo menor.
- Paros por defecto en el producto: todos aquellos paros originados por la detección de defectos varios en la calidad del producto al momento de la producción.
- Otros paros: incluye aquellos originados por calentamiento de maquinaria, arranque de maquinaria, irregularidades de moldes, cavidades y bobinas, siempre y cuando exista un producto programado cuya producción se demore por efectos.

2.3.1. Extrusión

En el período de estudio, el área de extrusión contaba únicamente, con una sola extrusora, marca MEAF modelo 1999. El factor de eficiencia de mantenimiento, se situó en 99,24 por ciento. La relación entre los minutos efectivos de producción y los paros presentados durante el período, es de aproximadamente 131:1, significando que, por cada 131 minutos efectivos de tiempo producido, se para la máquina extrusora únicamente 1 minuto. De este minuto 30,11 segundos sería por fallas eléctricas; 21,83 segundos por fallas mecánicas y 8,06 segundos por otros tipos de paro.

Como se puede observar en la tabla XVI y figura 21 los minutos contabilizados de paros de producción para el área en mención, son sorprendentemente aceptables, pues de los 14 meses de estudio, la máquina estuvo parada únicamente 2,91 días.

Los beneficios que proporcionan el bajo nivel contabilizado de cantidad de paros se ven reflejados en que la máquina extrusora tiene un tiempo bastante amplio de producción efectiva, el cual fue calculado en 546 616 minutos o 379,59 días. El estudio también determina con un alto nivel de confianza, que durante el período de estudio, el área de extrusión, específicamente la única extrusora con la que cuenta la empresa, está produciendo telas de Polipropileno y Poliestireno en un 99,24 por ciento del tiempo planificado de producción, aunque conviene aclarar que, la velocidad o ritmo de producción, está en función única y exclusivamente del ancho de la tela requerida, por lo que a un mayor espesor de tela, es necesario una baja velocidad de producción y viceversa.

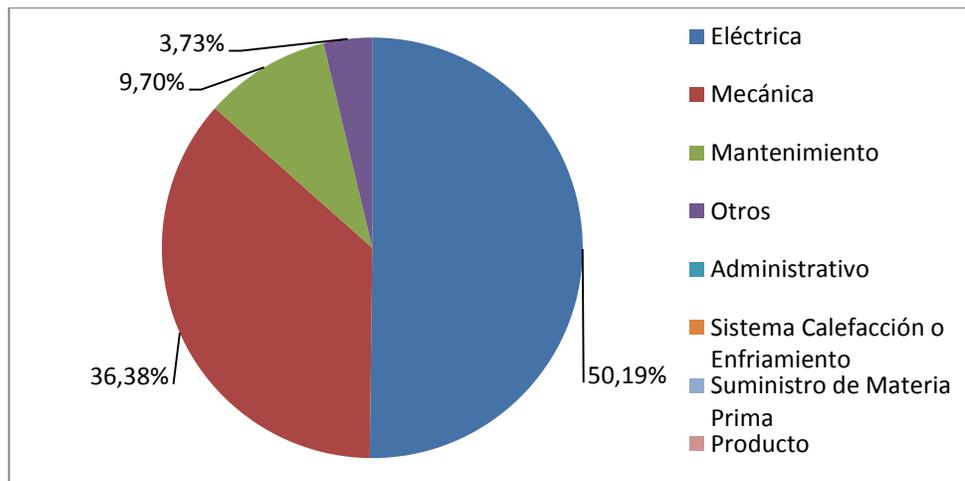
Tabla XVI. Resumen de paros de producción de extrusión

Tipo de Paro (por falla)	Minutos de paro	Frecuencia (%)
Eléctrica	2 100	50,19
Mecánica	1 522	36,38
Mantenimiento Menor	406	9,70
Otros	156	3,73
Administrativo	0	0,00
Sistema Calefacción o Enfriamiento	0	0,00
Suministro de Materia Prima	0	0,00
Producto	0	0,00
TOTAL	4 184	100,00

Tiempo total de producción	546 616 Minutos
-----------------------------------	------------------------

Fuente: EDECA, S. A.

Figura 21. Frecuencias de paros de producción de extrusión



Fuente: elaboración propia.

2.3.2. Termoformado

Durante el período del estudio, el área de termoformado contaba con un total de 10 máquinas termoformadoras. La contabilización de paros combinados en esta área es crítica. Desde el punto de vista de relación entre tiempo producido combinado y tiempo total de paros combinados, está sería de 2,17:1; lo que significa que por cada 2,17 minutos de tiempo de producción en una máquina, se está parando aproximadamente 1 minuto.

Los paros son de índole variada siendo frecuentemente ocasionados por fallas mecánicas, eléctricas, sistemas de calefacción, los cuales no se resuelven debido a un deficiente programa de mantenimiento. Junto a la deficiencia de este programa, se tiene un tipo de paro denominado como Suministro de Materia Prima, el cual representa un paro combinado total de 132 048 minutos o 91,7 días de paro, debido a la falta de materia prima (telas de polipropileno o poliestireno) para poder termoformar envases desechables.

Como se puede observar en la tabla XVII y figura 22 surgen dos problemas importantes: la falta de un programa de mantenimiento preventivo eficiente, por la considerable cantidad de minutos de paro en las máquinas, debido a fallas mecánicas, y la insuficiente capacidad instalada del área de extrusión, pues no se genera suficientes cantidades de telas para el área de termoformado, creando un paro por suministro de materia prima. Ambos problemas requieren una solución inmediata, pues las estadísticas reflejan que la situación de paros actual dicta que en una jornada de 24 horas netas de producción, cada una de las 10 máquinas del área de termoformado se está parando aproximadamente 11,06 horas.

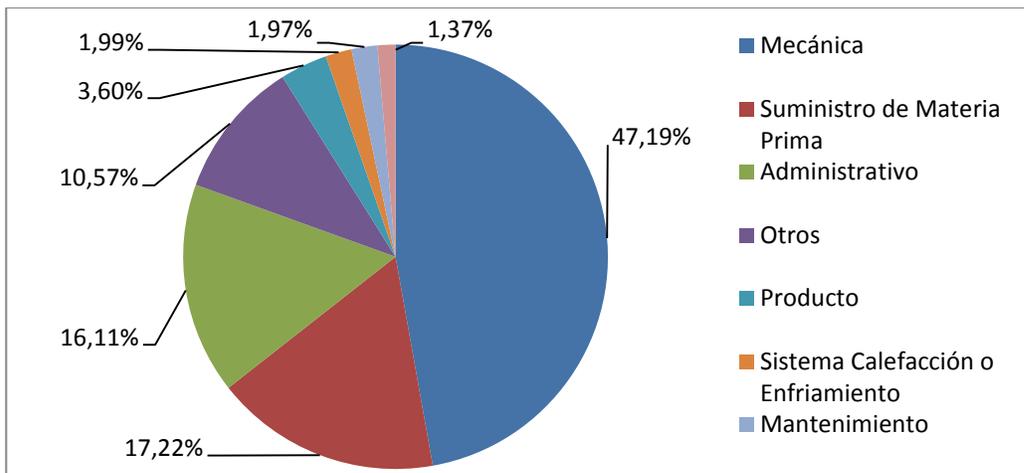
Tabla XVII. **Resumen de paros de producción de termoformado**

Tipo de Paro (por falla)	Minutos de paro	Frecuencia (%)
Mecánica	361 965	47,19
Suministro de Materia Prima	132 048	17,22
Administrativo	123 560	16,11
Otros	81 059	10,57
Producto	27 578	3,60
Sistema Calefacción o Enfriamiento	15 266	1,99
Mantenimiento Menor	15 092	1,97
Eléctrica	10 478	1,37
TOTAL	767 046	100,00

Tiempo total de producción	1 663 802 Minutos
-----------------------------------	--------------------------

Fuente: EDECA, S. A.

Figura 22. **Frecuencias de paros de producción de termoformado**



Fuente: elaboración propia.

2.3.3. Inyección

Durante el período de estudio, el área de inyección estaba integrada por 9 máquinas inyectoras automatizadas de modelos del 2003 al 2012. Pese a tener niveles de paros combinados bastante amplios, el tiempo de producción efectivo combinado compensa y minimiza las repercusiones de los tiempos de paros combinados. El cálculo de la relación entre tiempo producido y tiempo total de paros combinados es del 8,64:1, significando que, por cada 8,64 minutos de tiempo de producción, existe 1 minuto de paro.

En general, el factor de mayor influencia en los paros de producción del área, se limita a la deficiencia del actual programa de mantenimiento preventivo de la empresa, con la salvedad de que los tipos de fallas están orientados a problemas de índole mecánica-eléctrica-electrónica, por el alto nivel de automatización presente en la maquinaria empleada en el proceso.

El factor de eficiencia de mantenimiento del área es del 88,42 por ciento. Como se puede observar en el resumen de los paros de producción del área, (contenidos de la tabla XVIII y figura 23), el paro de suministro de materia prima, ya no juega un rol importante dentro del contexto de los paros, pues no está relacionado con extrusión o termoformado; sin embargo, la producción del área también contribuye al suministro de envases o tapaderas para impresión, por lo que en la relación inyección – impresión, podría darse un factor de suministro de materia prima, que se traduzca en una cantidad de paros considerable para el área de impresión de la empresa.

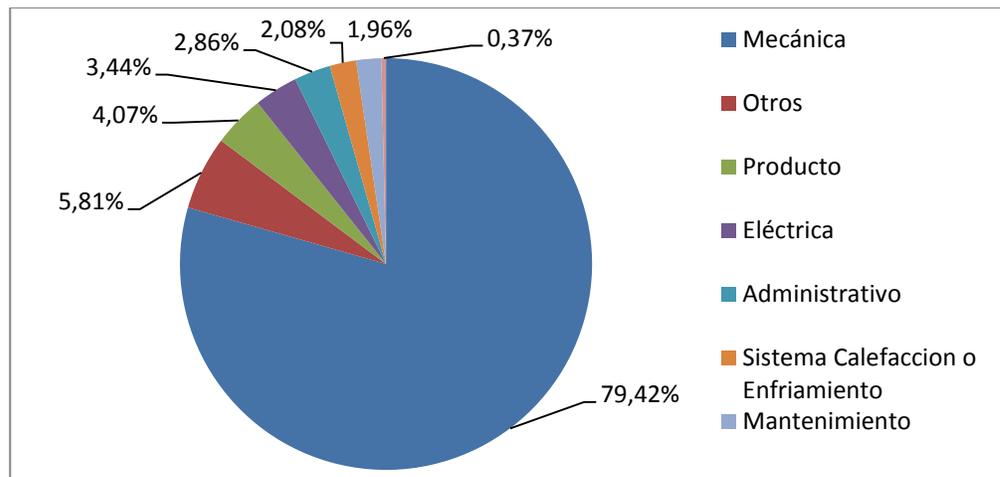
Tabla XVIII. **Resumen de paros de producción de inyección**

Tipo de Paro (por falla)	Minutos de paro	Frecuencia (%)
Mecánica	231 320	79,42
Otros	16 916	5,81
Producto	11 844	4,07
Eléctrica	10 010	3,44
Administrativo	8 330	2,86
Sistema Calefacción o Enfriamiento	6 049	2,08
Mantenimiento Menor	5 714	1,96
Suministro de Materia Prima	1 068	0,37
TOTAL	291 251	100,00

Tiempo total de producción	2 515 587 Minutos
-----------------------------------	--------------------------

Fuente: EDECA, S. A.

Figura 23. **Frecuencias de paros de producción de inyección**



Fuente: elaboración propia.

2.3.4. Impresión

En el contexto de los paros de producción de la empresa, el proceso de impresión presenta niveles de paros peligrosos y alarmantes. Contando con 3 máquinas impresoras de modelos antiguos, la relación entre tiempo producido combinado y el total de paros combinados es del 1,1:1, lo que supone que por cada 1,1 minutos de producción, se para 1 minuto; deduciéndose que por cada minuto de producción, se para casi la misma cantidad de tiempo.

Como se puede observar en la tabla XIX y figura 24, el deficiente programa de mantenimiento preventivo es responsable en gran medida la actual situación, a lo que se debe de añadir rubros como paros por defectos en el producto y el paro por suministro de materia prima. Este último es consecuencia de la problemática descrita en la relación de los procesos de extrusión – termoformado – impresión e inyección – impresión.

Aunque la estadística refleja determinados números, en la práctica, la realidad es otra. Dentro del rubro de Productos y Mantenimiento son incluidos los paros generados de pruebas de tintas, pruebas generales, limpieza de tintores, limpieza de máquina, cambios de producto, los cuales, efectivamente consumen recursos del área de impresión e incluso, atrasan la programación del área, sin embargo, su omisión imposibilitaría el poder llevar a cabo una impresión de calidad y acorde a las especificaciones de los clientes.

Si se hiciera la excepción de no incluir los rubros de paros por fallas del producto y mantenimiento, la relación sería de 1,63:1, la cual sería mejor, pero comprometería altamente los parámetros de calidad del envase impreso.

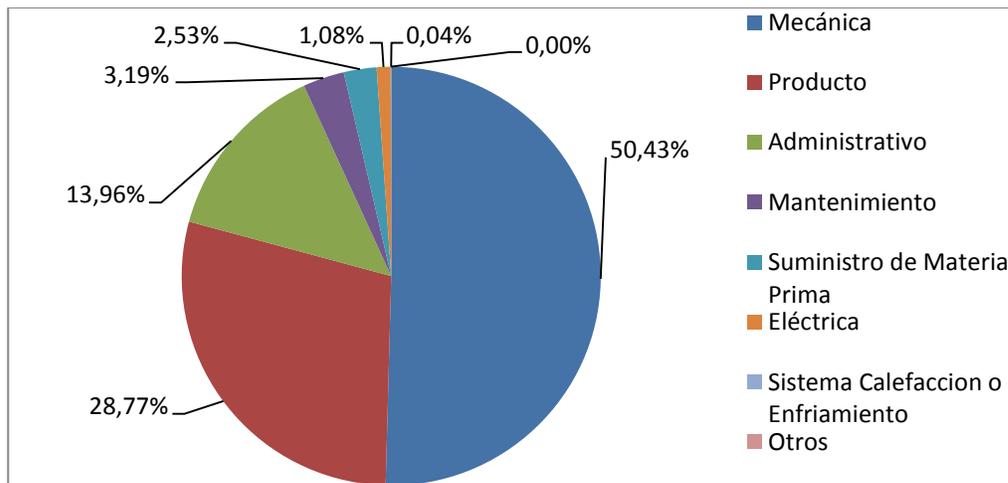
Tabla XIX. **Resumen de paros de producción de impresión**

Tipo de Paro (por falla)	Minutos de paro	Frecuencia (%)
Mecánica	240 627	50,43
Producto	137 295	28,77
Administrativo	66 634	13,96
Mantenimiento Menor	15 213	3,19
Suministro de MP	12 083	2,53
Eléctrica	5 150	1,08
Sistema Calefacción o Enfriamiento	180	0,04
Otros	0	0,00
TOTAL	477 182	100,00

Tiempo total de producción	529 648 Minutos
-----------------------------------	------------------------

Fuente: EDECA, S. A.

Figura 24. **Frecuencias de paros de producción de impresión**



Fuente: elaboración propia.

2.4. Nivel de cumplimiento de órdenes

Nivel de cumplimiento es la relación entre lo que se produjo y lo que se programó producir. Su forma de medición es en porcentaje y, contrario a la eficiencia, esta puede superar el 100 por ciento, aunque para cierto tipo de industrias, no es conveniente el superávit en el nivel de cumplimiento.

Debido a las problemáticas de eficiencia y paros de producción, especialmente, en las áreas de termoformado e impresión, los niveles de cumplimiento no son óptimos.

En el período del estudio se determinaron dos tipos de órdenes: las relacionadas al peso de las telas de polipropileno y poliestireno y las relacionadas a las cantidades de envases desechables, formados por inyección o termoformado e impresos. En ninguna de estas categorías de órdenes se alcanzó un nivel de cumplimiento satisfactorio, siendo estos de 78,69 por ciento del total de kilogramos de telas requeridas y un 71,87 por ciento para la cantidad de envases requeridos.

Como lo refleja la tabla XX existe un déficit de 622 307 kilogramos de telas y 217 277 448 unidades de envases desechables, requeridos. El déficit es primordialmente influenciado por un programa de mantenimiento preventivo deficiente y por una insuficiente capacidad instalada de la planta de producción, que le está haciendo perder importantes ingresos en sus rubros de ventas, impactando en el crecimiento sostenible de la empresa.

Tabla XX. **Niveles de cumplimiento de órdenes por área**

	Total requerido	Total producido	Nivel de cumplimiento (%)
Extrusión (libras)	2 918 991	2 296 954	78,69
TOTAL	2 918 991	2 296 954	78,69
Termoformado (unidades)	389 183 842	261 336 950	67,15
Inyección (unidades)	247 137 205	201 095 544	81,37
Impresión (unidades)	136 057 994	92 669 100	68,11
TOTAL	772 379 042	555 101 594	71,87

Fuente: EDECA, S. A.

El total de producto requerido del presente subcapítulo, no representa de forma fehaciente el verdadero nivel de demanda, pues dicha cantidad de producto requerido por los clientes, es condicionada acorde a las capacidades y planificación de la producción al momento de la solicitud de compra de envases desechables por parte del cliente. En otros términos, la capacidad de producción instalada de la empresa no es capaz de satisfacer la demanda actual del mercado.

Las mejoras sustanciales en la capacidad instalada y el programa de mantenimiento preventivo conducirían a un panorama en el diagnóstico de la situación actual, dramática y drásticamente distinto. Se comercializaría volúmenes de productos más amplios, se generaría un impacto positivo en la percepción de los clientes, mayor satisfacción del cliente, mayor participación en el mercado, aumento de la eficiencia y disminución de paros.

2.5. Producto No Conforme (PNC)

Incluido dentro del proceso de control de calidad, producto no conforme es toda unidad o unidades de producto que no cumplen con las normalizaciones, especificaciones y trazabilidad propias del producto.

En el contexto operativo de EDECA, S. A. el aspecto de calidad, constituye una de las principales fortalezas de la misma. Durante los catorce meses de estudio, únicamente se registraron 34 casos de Producto No Conforme; 17 correspondieron a termoformado, 9 a inyección y 8 a impresión. Se podría afirmar que por mes y de manera interna, son detectados 2,5 casos de inconformidades en los envases desechables, si se consideran los volúmenes de producción expuestos, es una cifra aceptable. La cantidad de envases clasificados como no conformes por las rutinas de inspección de calidad fueron 731 940, lo que supone un 0,13 por ciento del total del volumen de producción de envases.

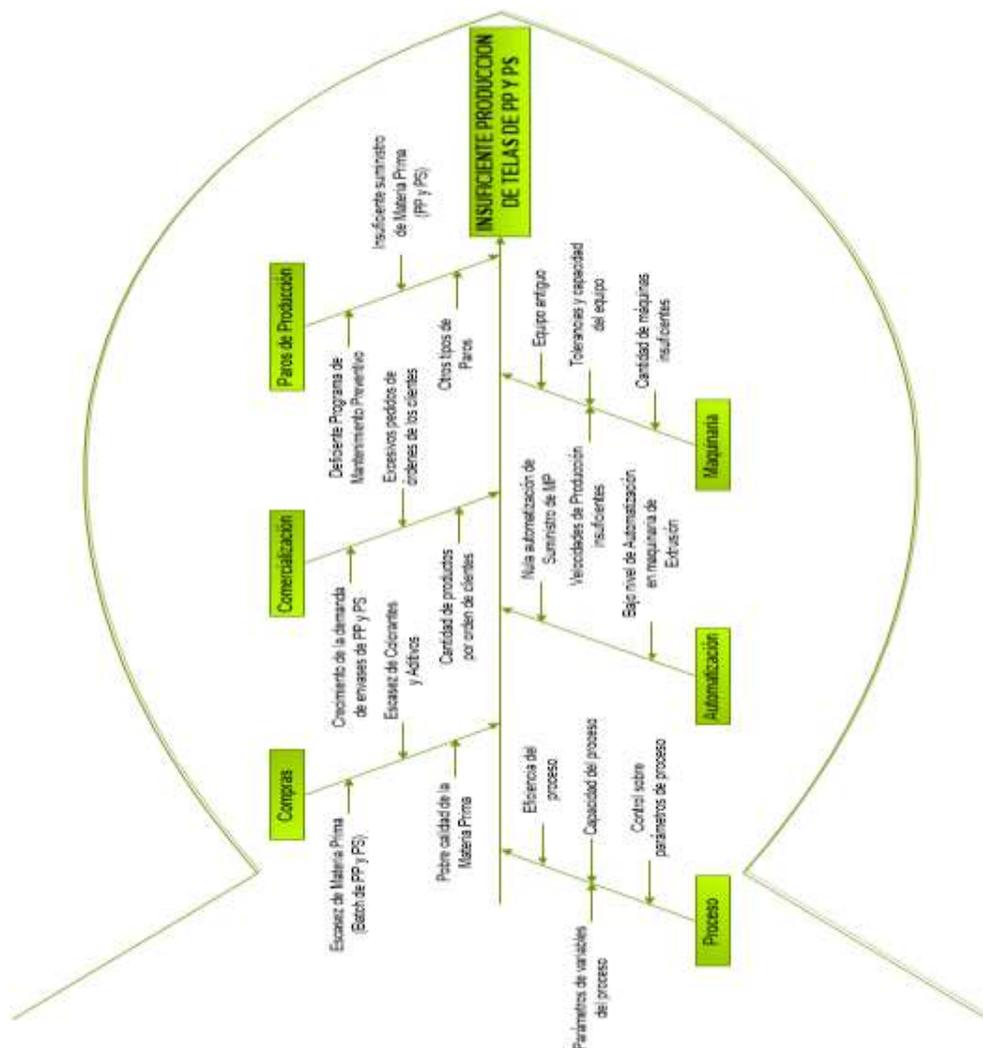
Pese a los buenos controles de calidad internos de la empresa se registra en promedio entre 3 a 6 quejas externas mensuales. Las razones por las cuales son emitidas las quejas son diversas siendo las más recurrentes: producto mal formado, faltantes, defectos en impresión y mal empaque.

El despacho de producto no conforme no detectado dentro de las rutinas de calidad tiene graves repercusiones en la satisfacción del cliente e imagen de la empresa. Aunque las rutinas y procesos de control de calidad garantizan la calidad del producto, en ningún momento, garantizan el control de los parámetros de proceso de extrusión, termoformado, inyección e impresión, lo cual puede originar producto no conforme.

2.6. Diagrama Causa y Efecto

También denominado diagrama de Ishikawa; se define como una herramienta que permite el análisis de las causas que originan un efecto. En EDECA, S. A. la problemática a evaluar es la capacidad instalada.

Figura 25. Diagrama de Causa y Efecto de la situación actual



Fuente: elaboración propia, con programa Visio 2010.

2.7. Análisis final de la problemática en producción

La producción de envases desechables de PP y PS se logra mediante dos combinaciones de varios procesos. La primera combinación es la de los procesos de extrusión, termoformado e impresión y, la segunda es la combinación de inyección e impresión. Derivado de esta combinación de procesos, el último proceso depende del *performance* del proceso predecesor y así sucesivamente, es decir, son procesos dependientes.

Específicamente en la línea de extrusión – termoformado – impresión con los datos analizados en el presente capítulo, se puede afirmar, con un alto grado de confianza, que el área de extrusión está trabajando en el 99,24 por ciento del tiempo planificado de producción y a un nivel de eficiencia del 85,71 por ciento; sin embargo, los 164 068,15 kilogramos producidos mensualmente, resultan insuficientes para una producción regular de las área de termoformado e impresión.

Identificada la insuficiente producción de materia prima para el área de termoformado (industrialmente denominada como telas de PP o PS) en el diagnóstico de la situación del área de termoformado, se hace evidente la convergencia de dos problemáticas mayores que aquejan el área: los paros por suministro de materia prima (telas de PP y PS) y los paros por fallas en las máquinas. Dichos paros, hacen que el área se maneje mensualmente a un 78,48 por ciento de eficiencia, trabaje el 53,89 por ciento del tiempo planificado de producción y produzca la insuficiente cantidad de 18 666 925 envases mensuales termoformados.

En un efecto dominó la insuficiente capacidad instalada, originada en extrusión y amplificada en termoformado. Se refleja finalmente en el proceso de impresión, el cual tiene una media de eficiencia del 58,05 por ciento y con niveles de paros que tienen casi una relación de 1 a 1 con el tiempo producido, produciendo una situación operacional que se hace inaceptable. Nuevamente el deficiente programa de mantenimiento y suministro de materia prima juegan un rol importante en los paros del área.

Combinando el tiempo producido de extrusión, termoformado e impresión, durante el período de estudio, este sería de 2 740 066 minutos, de igual forma, el tiempo combinado de paros sería de 1 248 412 minutos. De la cantidad total combinada de paros, 667 999 minutos, o 53,51 por ciento, serían causados por el deficiente programa de mantenimiento y 144 131, o 11,55 por ciento, serían causados por la falta de suministro de materia prima para los procesos.

Analizando la cantidad de minutos de paro originados por el deficiente programa de mantenimiento, estos serían reducidos en notables porcentajes mediante el diseño e implementación de un nuevo y eficiente programa de mantenimiento, caso contrario de los paros por suministro de materia prima. Para evitar este tipo de paros debe de considerarse la implementación de una solución que contribuya al aumento de la capacidad instalada, especialmente en el área de extrusión.

El área de inyección trabaja de manera independiente a extrusión y termoformado, por lo que, los valores de volúmenes de producción, eficiencia y paros, están en función primordialmente de su nivel de automatización y programa de mantenimiento preventivo. Aunque presenta algunas anomalías en su comportamiento, estas no tienen ningún impacto significativo en la línea principal que es la de extrusión, termoformado e impresión.

Los datos expuestos de volumen de producción, eficiencia y paros de producción de las áreas de extrusión, termoformado e impresión, tienen graves repercusiones en el nivel del cumplimiento de órdenes, las cuales están en 78,69 por ciento para el área de extrusión y 67,40 por ciento combinado para termoformado e impresión. Datos que son traducidos en que, lo que ha sido requerido por un cliente, con una frecuencia bastante alta, no se ha cumplido.

Como puede entenderse, el no cumplir a cabalidad con una orden de un cliente, genera bajos niveles de satisfacción de los mismos, mala percepción acerca de la empresa, pérdida de participación en el mercado, baja capacidad de comercialización de producto, pérdida de ventas, poca competitividad, entre otras, lo que es traducido, finalmente, a un considerable impacto financiero para la empresa.

Al bajo nivel de cumplimiento para la línea de producción principal se debe de añadir el nivel de producto no conforme, que se está produciendo y despachando a los clientes. Aunque los niveles de dicho producto no conforme son bajos, actualmente las rutinas de calidad están enfocadas únicamente al producto y no al proceso, situación que puede generar más producto no conforme no detectado, lo cual impactará nuevamente en la satisfacción del cliente.

Con la información expuesta en el presente capítulo se infiere que el área de extrusión no produce, a pesar de su alto nivel de eficiencia y pocos paros de producción, suficiente cantidad de telas de Polipropileno y Poliestireno para que puedan ser termoformados e impresos, la amplia gama de envases desechables comercializados por EDECA, S. A. y, en conjunto con un plan de mantenimiento preventivo deficiente, se han mantenido a las áreas de termoformado e impresión en niveles de paros de producción alarmantes.

Dicha situación limita no solo la cantidad de envases que puede comercializar la empresa, sino también, un mayor ingreso por ventas de los envases desechables y el crecimiento económico de la empresa.

En conclusión, es necesaria la implementación de un nuevo programa de mantenimiento preventivo para la reducción de paros por fallas y la implementación de una solución basada en conocimientos de ingeniería para dar pronta solución a la problemática de capacidad instalada de la línea de extrusión, termoformado e impresión de EDECA, S. A.

Los beneficios de dichas implementaciones serán traducidas al aumento de la capacidad de producción de la planta, lo cual significaría niveles de producción que permitirán una mayor amplitud en la comercialización de envases desechables, mayor participación en el mercado, aumento de satisfacción de los clientes, mejor posicionamiento en el mercado y auge económico de la empresa.

3. DISEÑO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO Y LÍNEA DE PRODUCCIÓN

3.1. Sistema de suministro automatizado

Un sistema de suministro es aquella configuración de infraestructura, ductos, máquinas eléctricas y/o hidráulicas, hardware y software, cuyo fin es el de suministrar un caudal volumétrico regulado de un fluido en estado sólido, líquido o gaseoso. Industrialmente este fluido constituye por lo general la materia prima para un proceso de producción, aunque puede cumplir otras funciones dentro del mismo proceso.

3.1.1. Requerimientos del nuevo sistema de suministro

En el proceso de producción el sistema de suministro debe de cumplir ciertos requerimientos, que son determinados en función del producto que se elabora dentro de la planta de producción de EDECA, S. A. Los requerimientos mínimos del nuevo sistema de suministro son expuestos a continuación:

- Automatización: constituido por el uso de sistemas y componentes electromecánicos que permitan controlar el proceso de mezcla y suministro de materia prima a la línea de producción.
- Higiene del proceso: medidas y acciones que permiten garantizar la sanidad de todas las materias primas utilizadas en el proceso de producción.

- Capacidad de almacenamiento: los objetivos de aumentar la producción en un cien por ciento, requiere de una capacidad mínima de almacenamiento de 100 000 kilogramos de materia prima, dividida en 50 000 kilogramos de polipropileno (PP) y 50 000 kilogramos de poliestireno (PS), aproximadamente.
- Software: existen cuatro requisitos fundamentales para el sistema informático a emplearse en el diseño: 1. Precisión en la mezcla de las materias primas (material de reproceso, poliestireno, polipropileno, aditivos, colorantes); 2. Almacenamiento y edición de las fórmulas de los productos; 3. Monitoreo y control a distancia del proceso en tiempo real y 4. Versatilidad de sincronización a diferentes velocidades de producción.
- Versatilidad de diseño: se deben de considerar tres puntos críticos en la versatilidad del sistema: facilidad de aumento de la capacidad instalada del sistema, facilidad de desmontaje y remontaje y utilización de material de reproceso generado del *scrap*.
- Resistencia a la intemperie: tomando en cuenta las condiciones actuales de la planta, se prevee que parte del sistema tenga que ser instalado a la intemperie; en cuyo caso, se necesitarán materiales o recubrimientos anticorrosivos para la estructura del sistema de suministro y elementos electromecánicos apropiados para la operación en la intemperie.
- Eliminación de polvo de la materia prima: inevitablemente, los procesos de producción del Polipropileno y Poliestireno generan polvo de partícula menor a 500 micrómetros. Este polvo puede generar diversas enfermedades crónicas del sistema respiratorio, por lo que se hace necesario el diseño de una estación de filtros apropiada.

- Nivel de mantenimiento: estructuralmente, los silos tienen definida una rutina de mantenimiento, la cual es sugerida por el fabricante. Sin embargo, en términos de software, hardware y elementos electromecánicos o neumáticos se persigue el empleo de equipo con niveles de mantenimiento de bajos a nulos.

3.1.2. Equipo necesario

Los equipos e infraestructura necesarios para la implementación del sistema de suministro en EDECA, S. A. es el que se detalla a continuación.

3.1.2.1. Tubería

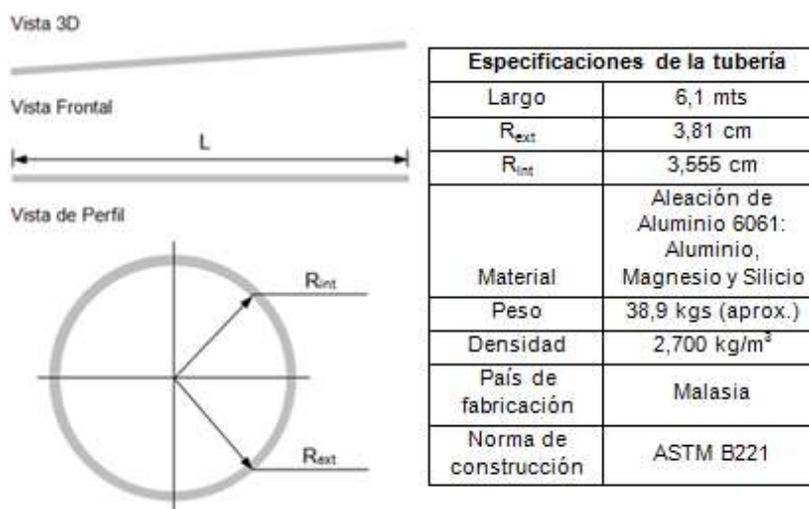
Tubería es un conducto plástico o metálico que cumple con la función de trasladar un fluido en cualquier estado de la materia. Dados los enormes avances en términos de materiales para tuberías, procesos de producción y normalizaciones de las mismas, en el mercado se encuentran diversidad de tuberías para aplicaciones y procesos específicos.

Los fluidos utilizados en el proceso son el polipropileno, poliestireno, material de reproceso, aditivos y *master batch*. El estado de agregación es sólido son poco nocivos, sin elementos corrosivos, sin cargas eléctricas, poca presión de flujo y las temperaturas del fluido pueden ser considerada como la de ambiente (15 – 25 grados Celsius). Tomando en cuenta estas características, la condicionante más importante para la tubería es el coeficiente de fricción de los materiales, los cuales por tratarse de sólidos pueden generar un rozamiento mayor con las paredes internas de la tubería, lo que se traduciría en pérdidas de energía. Para poder contrarrestar dicho efecto, las paredes internas de la tubería deberán ser lo más lisas posibles.

Basados en la información del fluido, en aplicaciones similares en la industria y en recomendaciones del proveedor, se determinó que el tipo de tubería a usar es del tipo de Aleación de Aluminio 6061.

Manufacturada principalmente en países de Asia está construida bajo la Norma ASTM B221 *Standard Specification for Aluminum and Aluminum Alloy Extruded Bars, Rods, Wire, Profile and Tubes*. En su composición química están incluidos el Aluminio 95,8-98,6 por ciento, Cromo 0,04-0,35 por ciento, Cobre 0,15-0,4 por ciento, Hierro máximo 0,7 por ciento, Magnesio 0,8-1,2 por ciento, Manganeso máximo 0,15 por ciento, Silicio 0,4-0,8 por ciento, Titanio máximo 0,15 por ciento y Zinc máximo 0,25 por ciento, aportándole durezas medias-altas, esfuerzos de tensión de entre 250 a 380 megapascal, elongaciones de entre 8 al 17 por ciento, aceptable maquinabilidad, soldabilidad, coeficiente de fricción entre 0 a 0,0015, temperaturas de flujo de entre 180 a 300 grados Celsius, entre otras.

Figura 26. Dimensiones y especificaciones de la tubería



Fuente: elaboración propia, con programa SketchBook Pro.

Se estima una longitud de 762,5 metros de tubería, para lo cual, serán empleados 125 tubos de aleación de aluminio 6061. El peso total de la tubería es de 4 862,5 kilogramos, aproximadamente.

3.1.2.2. Conexiones / acoples

Para realizar conexiones entre silos, filtros, maquinaria de producción y máquinas electromecánicas y/o neumáticas es necesario el empleo de conexiones que posibiliten una geometría del sistema de tubería adecuado. Con este fin, serán empleadas cuatro categorías de conexiones: para aspirado manual, para tubería, sujeciones para tubería y soportes para tubería.

Como puede observarse en las figuras 27 a la 31, en la instalación del sistema de suministro serán empleados 11 elementos diferentes para poder realizar las distintas conexiones, sujeciones y soportes de la tubería. Dichos elementos de conexión facilitan el desmontaje y remontaje del sistema de suministro, y cumplen, además, con el criterio de versatilidad, impuesto en el diseño de dicho sistema.

Referente al material de los elementos de conexión, este es del mismo tipo de la tubería, es decir, una aleación de aluminio 6061, cuyas propiedades, descritas en el subcapítulo previo, son aplicables a los elementos expuestos en el presente subcapítulo; con la excepción de la manguera flexible, la cual está hecha de Policloruro de Vinilo (PVC).

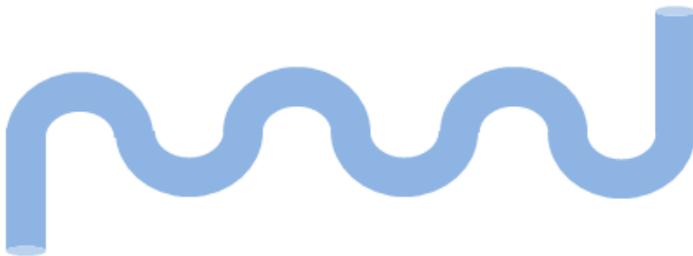
Como complemento a los elementos de conexión descritos también debe de ser empleada una pistola de aplicación y un sellador especial de alta presión para tuberías de aluminio de poliuretano, con efectos de adhesión y sellado impermeable. Asimismo, es necesaria la soldadura con electrodos E4043 así como de su planta de CA en 440 voltios.

Figura 27. **Conexiones para aspirado manual**

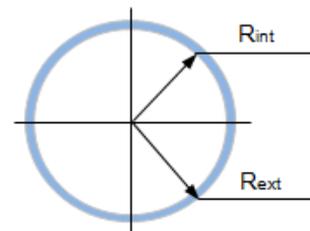
Manguera Flexible (Flex Hose)

Especificaciones		
L = 7 m	R _{ext} = 3,935 cm	R _{int} = 3,81 cm

Vista 3D



Vista de Perfil



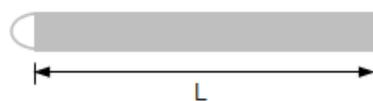
Tubería de Aspirado Manual

Especificaciones		
L = 66,3 cm	R _{ext} = 3,81 cm	R _{int} = 3,555 cm

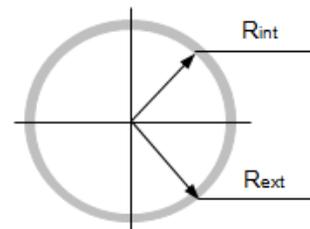
Vista 3D



Vista Frontal



Vista de Perfil



Fuente: elaboración propia, con programa SketchBook Pro.

Figura 28. Conexiones para tubería

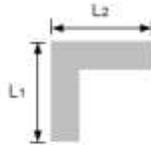
Conexión Codo 90°

Especificaciones			
$L_1 = 17,78 \text{ cm}$	$L_2 = 17,78 \text{ cm}$	$R_{ext} = 3,81 \text{ cm}$	$R_{int} = 3,555 \text{ cm}$

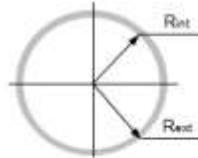
Vista 3D



Vista de Planta



Vista de Perfil



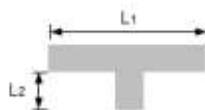
Conexión en T

Especificaciones			
$L_1 = 27,94 \text{ cm}$	$L_2 = 10,16 \text{ cm}$	$R_{ext} = 3,81 \text{ cm}$	$R_{int} = 3,555 \text{ cm}$

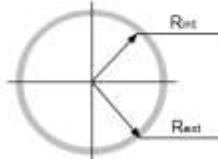
Vista 3D



Vista de Planta



Vista de Perfil



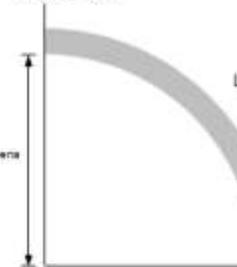
Conexión Curva

Especificaciones			
$L = 143,63 \text{ cm}$	$R_{tuberia} = 91,44 \text{ cm}$	$R_{ext} = 3,81 \text{ cm}$	$R_{int} = 3,555 \text{ cm}$

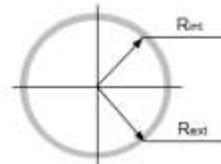
Vista 3D



Vista de Planta



Vista de Perfil



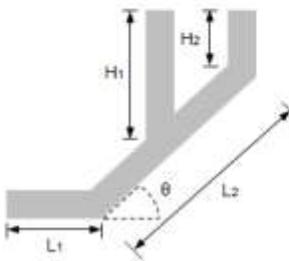
Manifold

Especificaciones			
$L_1 = 25,60 \text{ cm}$	$L_2 = 56,40 \text{ cm}$	$H_1 = 36,42 \text{ cm}$	$H_2 = 18,13 \text{ cm}$
$\theta = 42^\circ$	$R_{ext} = 3,81 \text{ cm}$	$R_{int} = 3,555 \text{ cm}$	

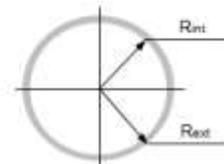
Vista 3D



Vista Frontal



Vista de Perfil



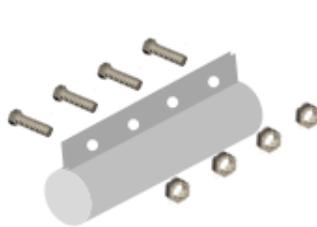
Fuente: elaboración propia, con programa SketchBook Pro.

Figura 29. Sujeciones para tubería

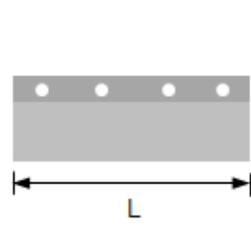
Accesorio de Conexión (Fitting)

Especificaciones			
L = 32 cm	H = 2,66 cm	R _{ext} = 4,00 cm	R _{int} = 3,81 cm

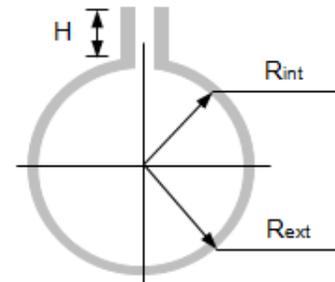
Vista 3D



Vista Frontal



Vista de Perfil



Abrazadera

Especificaciones			
L = 2,5 cm	H = 2,66 cm	R _{ext} = 4,00 cm	R _{int} = 3,81 cm

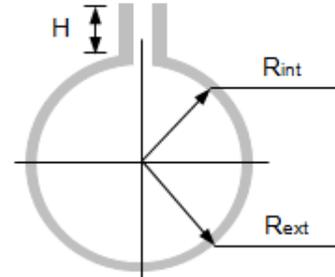
Vista 3D



Vista Frontal



Vista de Perfil



Tornillería

Especificaciones		
Juego Tornillo y Tuerca	Largo = 3,81 cm (1 ½")	Φ = 1,27 cm (½")

Vista 3D



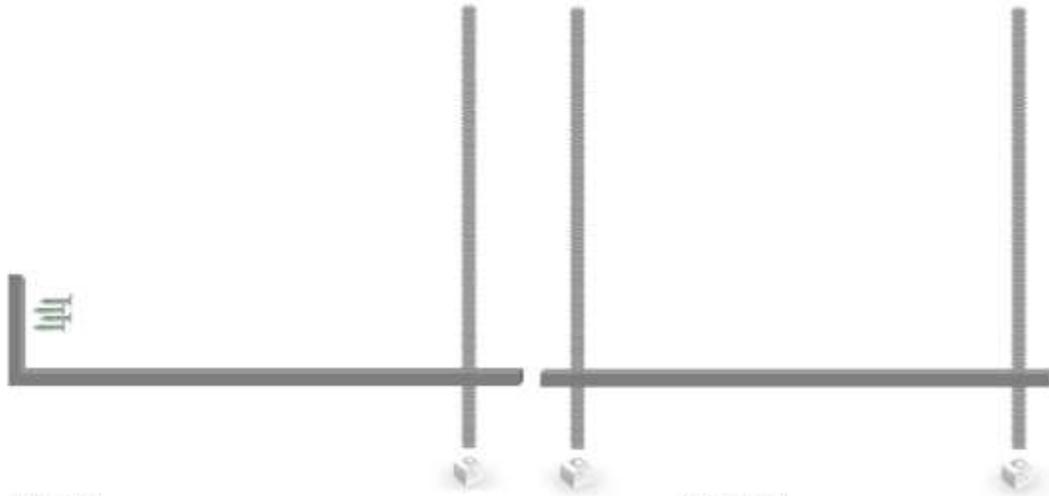
Fuente: elaboración propia, con programa SketchBook Pro.

Figura 30. Soporte horizontal de tubería

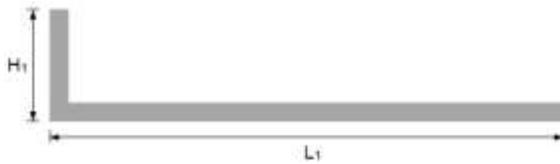
Soporte Horizontal de Tubería

Especificaciones			
$H_1 = 27,90 \text{ cm}$	$H_2 = 107,67 \text{ cm}$	$L_1 = 129,55 \text{ cm}$	$L_2 = 4,93 \text{ cm}$
$L_3 = 4,56 \text{ cm}$	$R_{\text{barrá}} = 1,27 \text{ cm}$		

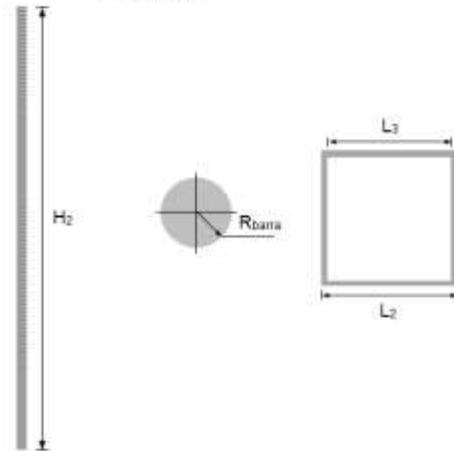
Vista 3D



Vista Frontal



Vista de Perfil



Tornillería

Especificaciones		
Tornillo sin taco	Largo = 3,81 cm (1 1/2")	$\Phi = 1,27 \text{ cm}$ (1/2")
Tuerca	$\Phi = 2,54 \text{ cm}$ (1")	



Fuente: elaboración propia, con programa SketchBook Pro.

Figura 31. Soporte vertical de tubería

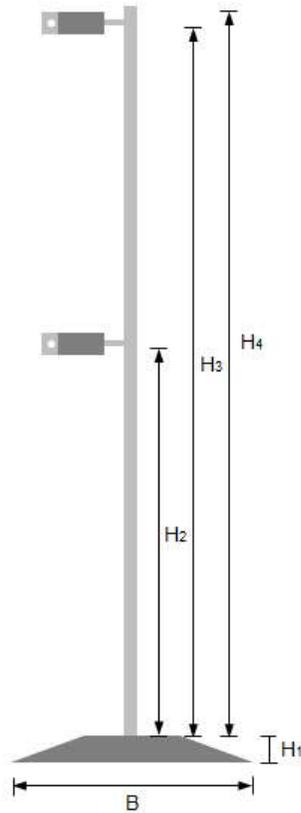
Soporte Vertical de Tubería

Especificaciones			
$H_1 = 8,10 \text{ cm}$	$H_2 = 74,70 \text{ cm}$	$H_3 = 136,81 \text{ cm}$	$H_4 = 141,00 \text{ cm}$
$L_1 = 11,10 \text{ cm}$	$L_2 = 11,10 \text{ cm}$	$R_{ext} = 4,00 \text{ cm}$	$R_{int} = 3,81 \text{ cm}$
$H = 2,66 \text{ cm}$	$B = 38 \text{ cm}$		

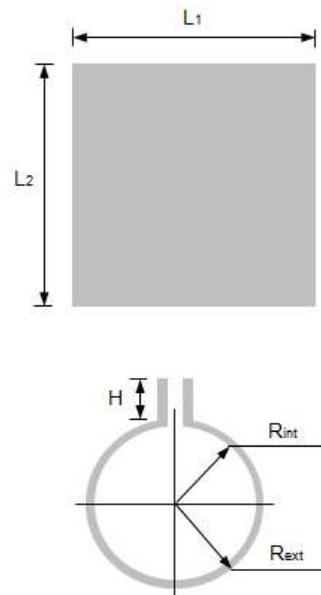
Vista 3D



Vista Frontal



Vista de Perfil



Tornillería

Especificaciones		
Juego Tornillo y Tuerca	Largo = 3,81 cm (1 ½")	$\Phi = 1,27 \text{ cm}$ (½")
Tornillo sin taco	Largo = 3,81 cm (1 ½")	$\Phi = 1,27 \text{ cm}$ (½")



Fuente: elaboración propia, con programa SketchBook Pro.

3.1.2.3. Silos

Un silo es una construcción diseñada para almacenar materiales a granel. Dependiendo de la aplicación del silo, debe reunir determinadas características de almacenamiento, lo cual se logra con materiales de construcción y controles de temperatura, humedad y presión. Por lo general, están construidos en forma cilíndrica y su estructura puede ser de madera, hormigón armado y aceros inoxidable o aceros al carbono.

En la industria de plásticos son empleados, exclusivamente, dos tipos de silos: modulares y soldados. La principal diferencia entre ambos radica en la forma de acoplar las partes del silo. En los modulares se hace en forma de juntas con juego de tornillo, rondana y tuerca y, en los soldados, se hace con diferentes tipos de soldadura de acuerdo al material empleado en la construcción del silo. Se exceptúan partes, tales como: patas, vigas, techos, otros, en donde se usan soldaduras para reforzar el diseño estructural del silo.

Con base en los aspectos de logística, economía, automatización, carga de material, dimensiones, equipo auxiliar, superficie interior del silo y normalizaciones, en EDECA, S. A., se optó por silos modulares para el nuevo sistema de suministro. Tomando en cuenta aspectos de mantenimiento de silos, tubería y elementos electromecánicos del sistema de suministro y, jornadas de operaciones de la planta, es necesaria la instalación de silos externos e internos, con diferentes dimensiones y capacidades de almacenaje. Los silos modulares fueron proveídos por la empresa MC Ingeniería (Metalúrgica Colla), con sede en México y Argentina.

En total, deben ser instalados cuatro silos: dos internos y dos externos. Para cada una de las materias primas (poliestireno y polipropileno) será destinado un silo interno y otro externo.

El diseño y construcción del silo requiere del empleo de tres tipos distintos de láminas: lámina para cuerpo de silo, lámina para techo y lámina para tolva de silo. Todas las láminas, vigas y patas del silo son de acero inoxidable austenítico AISI 304, con recubrimiento de resina epoxi. Como lo detalla la figura 32, para la construcción de los silos se necesitan 22 anillos para un total de 88 láminas del tipo de cuerpo de silo, 4 tolvas para un total de 20 láminas del tipo de cuerpo de tolva y 4 techos para un total de 48 láminas del tipo de techo de silo. Tanto para láminas como para vigas, el espesor es de 1,27 centímetros ($\frac{1}{2}$ pulgada).

El interior del silo es reforzado estructuralmente con tres tipos de vigas: viga de cuerpo de silo, viga de techo y viga de tolva de silo. La forma de acople con los anillos, techos y tolvas, es por medio de juntas y soldaduras. En la figura 33 se indican las dimensiones de las vigas anteriormente expuestas.

El diseño y construcción de los silos, persiguen:

- Reducir los costos por recepción de materias primas.
- Reducir los costos de suministro de materia prima.
- Disminuir retrasos en el proceso de recepción y almacenaje de materias primas.
- Disminuir espacios destinados a almacenaje en la planta.
- Incrementar la seguridad del proceso de recepción y almacenaje.
- Facilitar el mantenimiento y adecuación para la operación en intemperie.

Figura 32. Láminas de silos

Lámina para Cuerpo de Silos

Vista de Anillo de Silo



Cantidad de Láminas = 4

Vista de Lámina

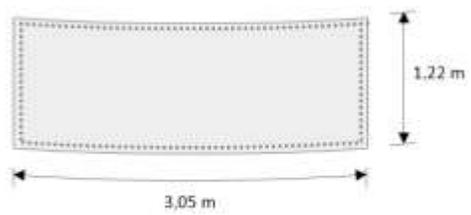
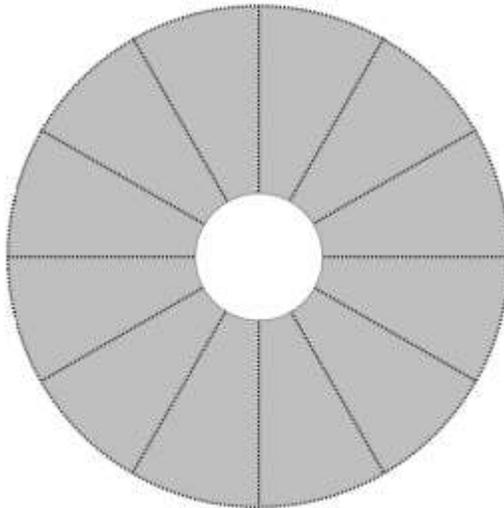


Lámina para Techo de Silos

Vista de Armazón de Techo



Cantidad de Láminas = 12

Vista de Lámina

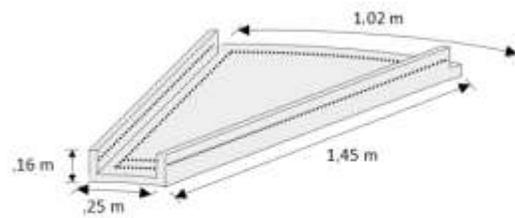
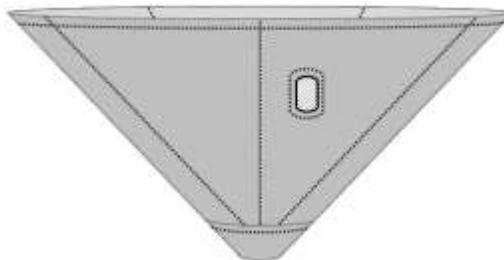


Lámina para Cuerpo de Tolva

Vista de Tolva de Silo



Cantidad de Láminas = 5

Vista de Lámina



Fuente: elaboración propia, con programa SketchBook Pro.

Figura 33. Vigas de silos

Viga para Cuerpo de Silos

Vista de Viga de Silo

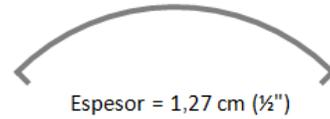


Cantidad de Vigas = 4

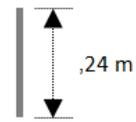
Vista Individual



Vista de Planta



Vista de Perfil



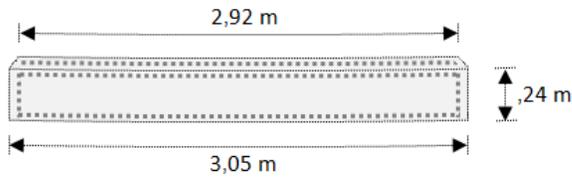
Viga para Techo de Silos

Vista de Viga de Techo

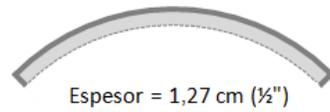


Cantidad de Vigas = 4

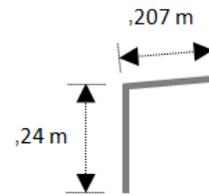
Vista Individual



Vista de Planta

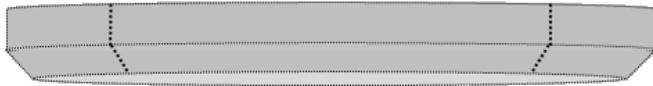


Vista de Perfil



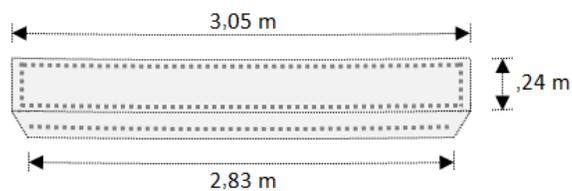
Viga para Cuerpo de Tolva

Vista de Viga de Tolva

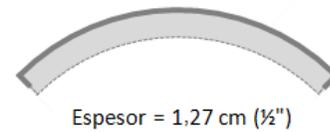


Cantidad de Vigas = 4

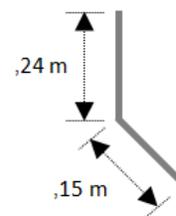
Vista Individual



Vista de Planta



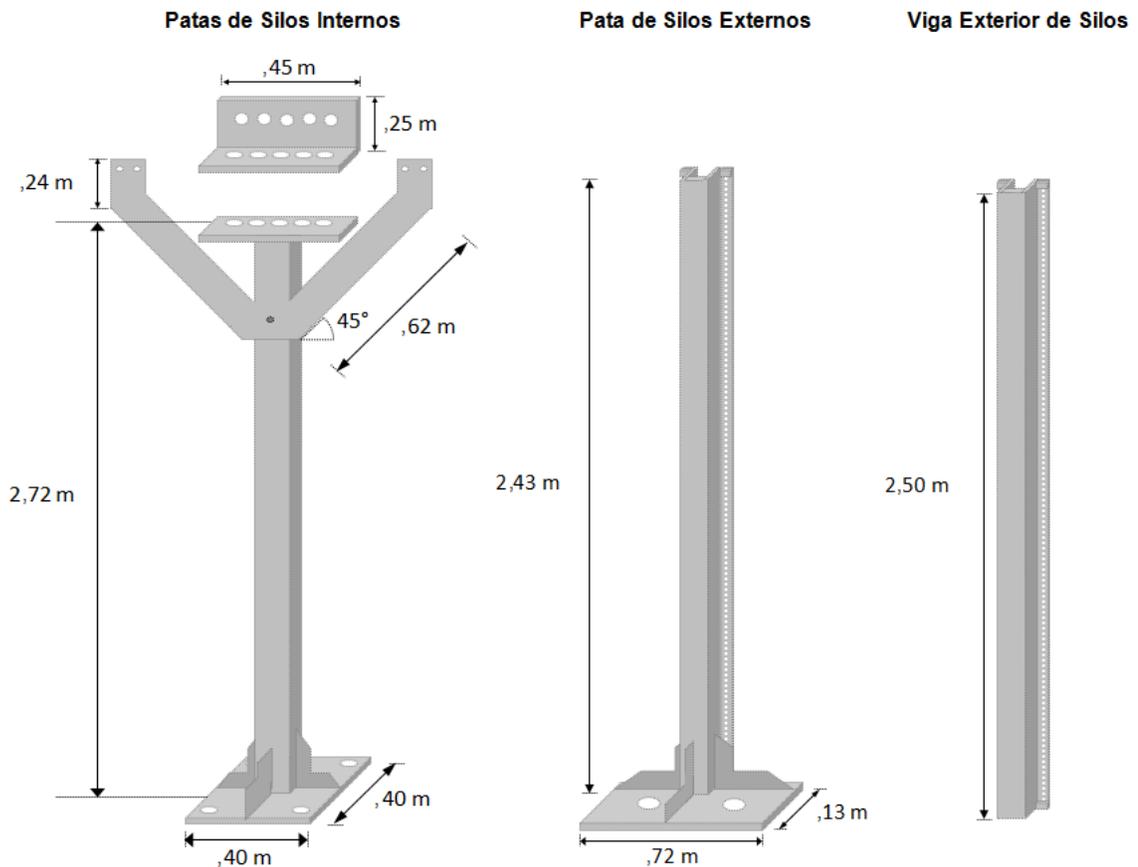
Vista de Perfil



Fuente: elaboración propia, con programa SketchBook Pro.

Los silos, tanto externos como internos, son sostenidos con patas cuyas dimensiones y forma dependen del tipo de silo. En el caso de los silos externos se instalan 4 patas por silo, para un total de 8 patas y, en los silos internos, son instaladas 3 patas por silo, para un total de 6 patas. El material de construcción es de acero inoxidable AISI 304 con recubrimiento de epoxi. En la figura 34 pueden observarse las dimensiones de las patas de silo y vigas exteriores de los mismos.

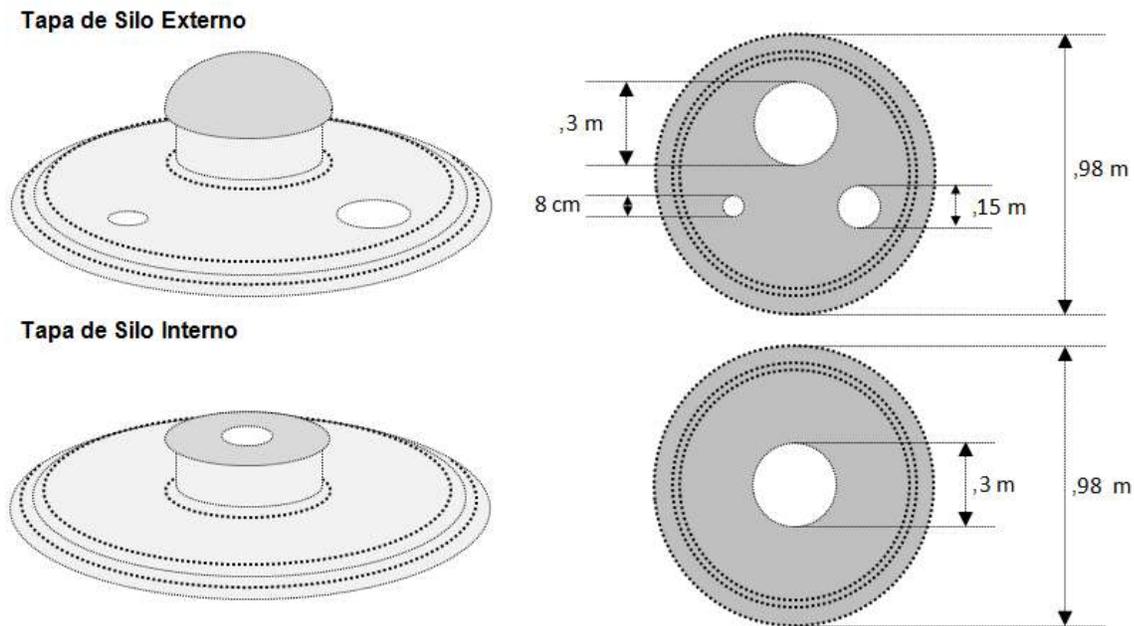
Figura 34. Patas y viga exterior de silos



Fuente: elaboración propia, con programa SketchBook Pro.

Cada uno de los silos, tanto internos como externos, cuenta con su propia tapa, (como se observa en la figura 35) estas de los silos externos tienen tres entradas: acceso de tubería, sensor de nivel y filtro superior. Las tapas del silo interno solo tienen una entrada, en la cual se instala un elemento electromecánico o neumático, el cual alimenta de materia prima al silo.

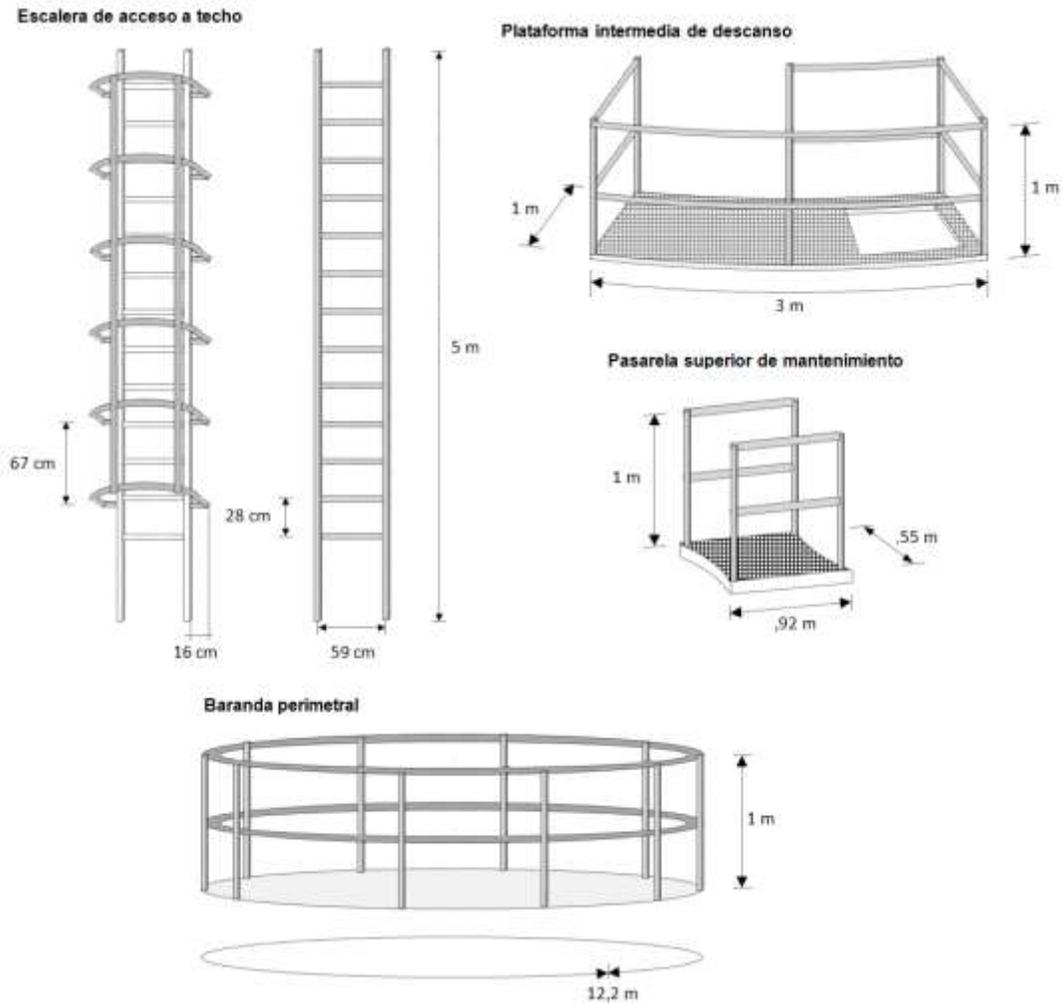
Figura 35. **Tapas de silos**



Fuente: elaboración propia, con programa SketchBook Pro.

Para labores de inspección, mantenimiento, montajes, desmontajes y seguridad, debe instalarse una vía de acceso y delimitarse un área perimetral para la parte superior del silo. En la figura 36 pueden observarse las partes de la vía de acceso a los silos, así como sus respectivas dimensiones.

Figura 36. Partes de vía de acceso a silos

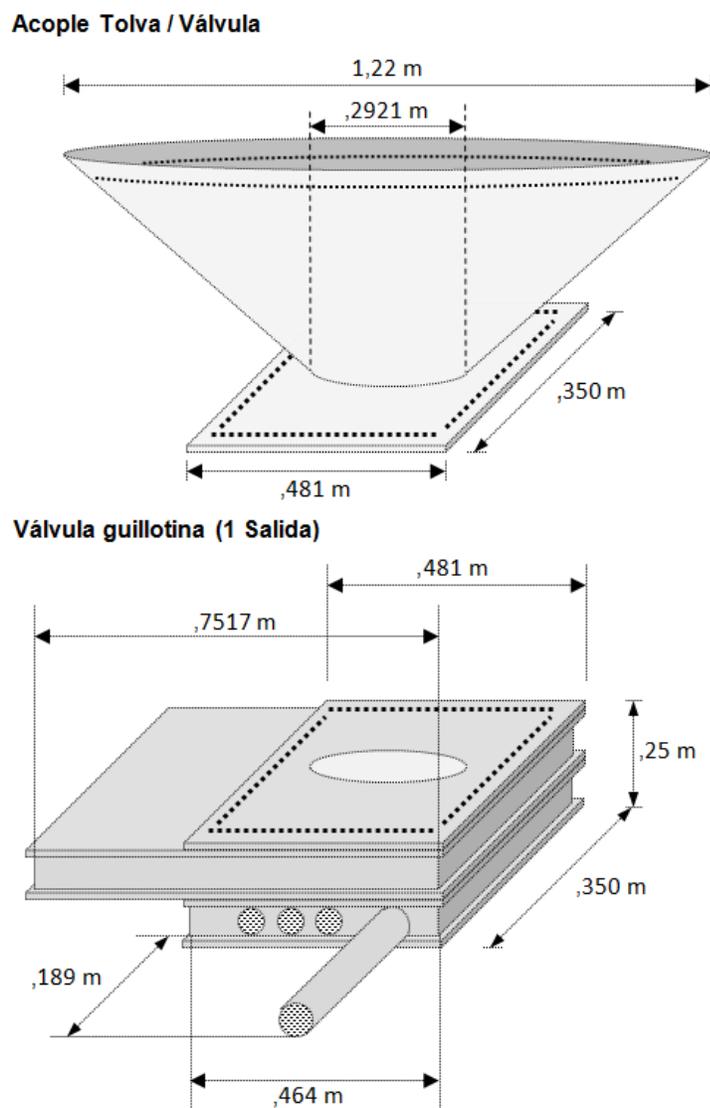


Fuente: elaboración propia, con programa SketchBook Pro.

Por motivos de mantenimiento, emergencias y operaciones, los silos deben de contar con un mecanismo de control de descarga, razón por la cual, en la parte inferior de cada tolva, debe instalarse una válvula de guillotina de accionamiento manual, con el fin de poder activar o desactivar el flujo de materia prima.

Como se observa en la figura 37, la válvula de guillotina es acoplada a la tolva por medio de un acople de tolva / válvula del mismo tipo de material del silo. La válvula tipo guillotina es de marca WamGroup, con capacidad para 28 kilogramos de materia prima, de salida única, para esta aplicación.

Figura 37. **Acople y válvula de salida de silos**



Fuente: elaboración propia, con programa SketchBook Pro.

Para la instalación de los silos se requiere de accesorios, tales como: juegos de llaves mixtas, pinzas, *cutters* industriales, pistolas de impacto, minipulidores, polipastos eléctricos, taladro/rotomartillo para acero, juegos de brocas de medidas varias, cuerdas, silla colgante, poleas, pistola calafateadora, silicón de poliuretano, torres de 6 y 14 metros con andamios, extensiones eléctricas, plataforma de área circular, electrodos 7018 en 5/32, planta CA en 440 voltios, grúa, entre otros.

Adicionalmente, para poder realizar conexiones entre láminas o entre lámina-viga es empleado un empaque de PVC con adhesivo. Todas las juntas usadas en los silos son de juego tornillo, rondana y tuerca. La tornillería varía en relación al sector del silo, pero en general, es empleada tornillería de 1¼ x 3/8, 1½ x 3/8, 1 x 3/8, tuercas de 3/8, rondanas de nylon de 3/8 y juegos especiales de tornillo, rondana y tuerca de ½ x 5 y ½ x 1¼ pulgadas.

Los silos completamente instalados, véase figura 38, tienen un diámetro de 3,88 metros; sin embargo, derivado de la conexión con vigas circulares y longitudinales internas, el diámetro medio útil del silo en su parte cilíndrica es de aproximadamente 3,77 metros.

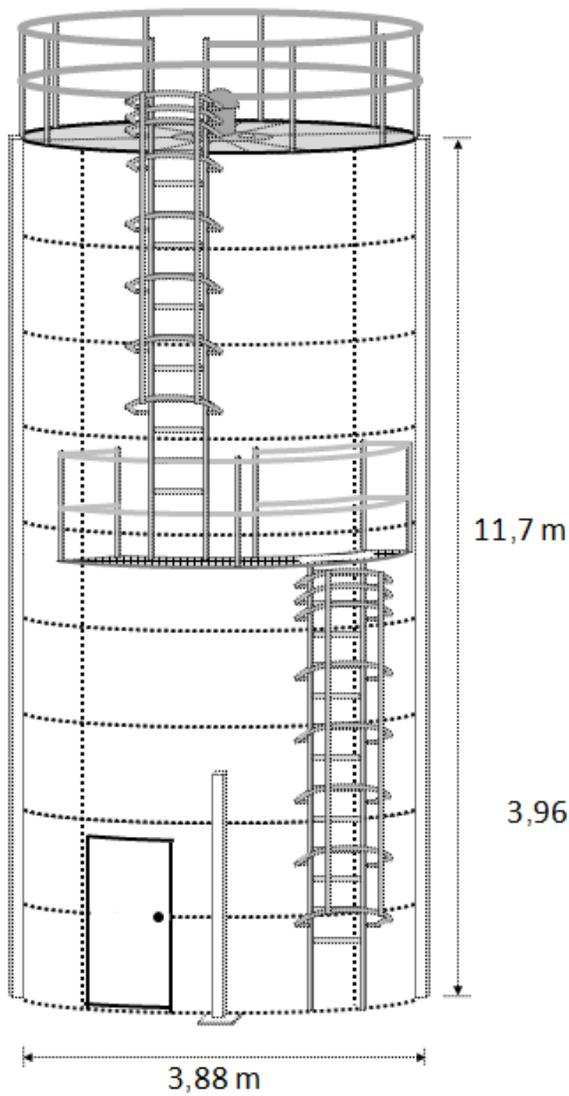
Un silo externo proporciona una capacidad de almacenamiento de 111,4 metros cúbicos, en tanto que, un silo interno, proporciona una capacidad de almacenamiento de 21,6 metros cúbicos. De forma combinada, un silo externo y uno interno, proporciona una capacidad total de almacenamiento de 133,0 metros cúbicos por tipo de materia prima. En términos de peso, esto se traduciría a aproximadamente 116 436 kilogramos de Polipropileno y 139 724 kilogramos de Poliestireno, superando los mínimos permisibles impuestos en la parte de diseño del sistema de suministro de 50 000 kilogramos por material.

Figura 38. Dimensiones de silos externos e internos

Silo Externo

Cantidad de Silos = 2

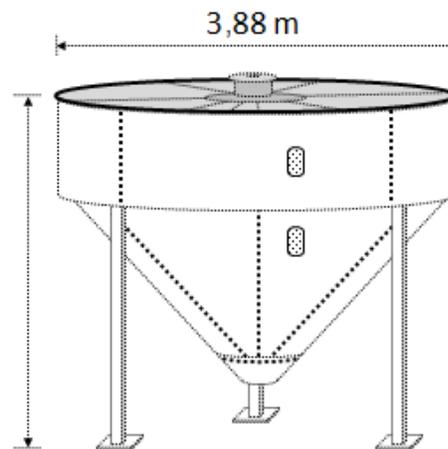
DMU (Diámetro medio útil) = 3,77 m



Silo Interno

Cantidad de Silos = 2

DMU (Diámetro medio útil) = 3,77 m



Fuente: elaboración propia, con programa SketchBook Pro.

3.1.2.4. Dosificadores

Un dosificador (*Blender*) es una máquina, electromecánica o electroneumática, que posibilita la dosificación, mezcla y alimentación de materia prima a una línea de producción. Al referirse a un dosificador como una máquina electromecánica o electroneumática, se hace referencia a que esta emplea una parte electrónica en su operación y que es para trabajo en sistemas de accionamiento mecánico o neumático. Por su principio de operación, se pueden subdividir en volumétricos y gravimétricos.

Específicamente para la aplicación en el sistema de suministro, en el dosificador se da el proceso de mezcla entre material virgen (Polipropileno y Poliestireno), material de reproceso (generado del molido del *scrap*), *master batch* (colorante) y aditivos especiales; deben de considerarse cinco aspectos fundamentales al momento de selección del equipo: operación simple, precisión en mezcla, software, capacidad mínima de 4 materiales y bajo nivel de mantenimiento.

Con base en costos, calidad del equipo, prestigio de marca, accesorios del equipo y software del mismo se eligieron dosificadores de la marca Wittmann Battenfeld modelo GRAVIMAX Serie 1. El equipo fue proveído por la filial de Wittmann Battenfeld para América, con sede en Canadá.

La operación de los dosificadores comienza por la tolva de alimentación individual de los materiales (véase figura 39), los cuales pueden ser cargados a la máquina directamente, a través de una conexión de la tubería, o bien, por medio de un alimentador (*loader*).

Ingresada la materia prima a la tolva con capacidad de cuatro componentes, hay 13,1 kilogramos de materia prima en total. Los sensores del dosificador, que son incluidos en la máquina al momento de su adquisición, detectan el material y empieza el proceso de dosificación de cada una de las materias primas, con el fin de completar la receta que es ingresada, almacenada y seleccionada en la memoria interna del software del equipo.

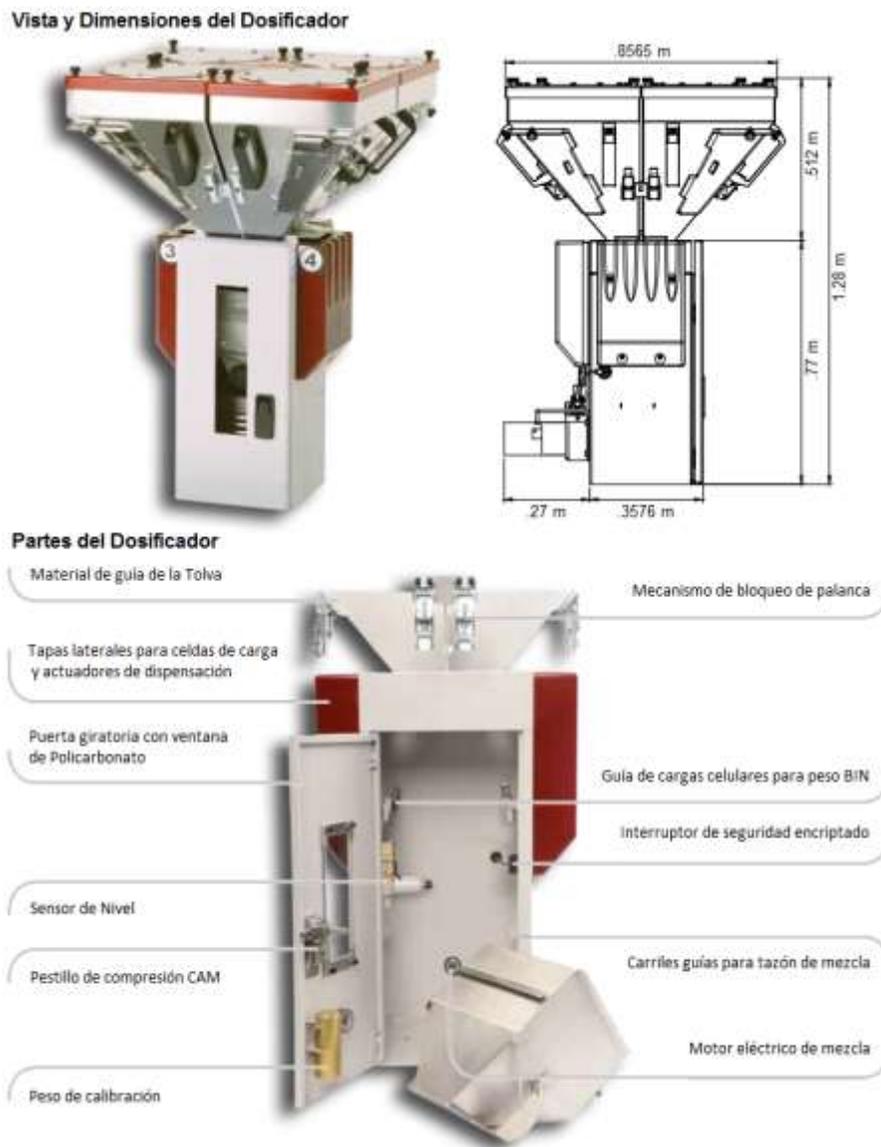
El software activa los actuadores de dispensación, que en realidad son válvulas de acero de alta precisión de 40 milímetros; dichos actuadores de dispensación permiten el flujo de: a kilogramos de material virgen que suponen un w por ciento de la mezcla, b kilogramos de material de reproceso que suponen un x por ciento de la mezcla, c kilogramos de *master batch* que suponen un y por ciento de la mezcla y, si aplica, d kilogramos de aditivos que suponen un z por ciento de la mezcla.

Activados los actuadores de dispensación, los tres o cuatro tipos de materiales caen por gravedad hacia el tazón de mezcla, en donde una paleta helicoidal de acero inoxidable mezcla el material que fue previamente pesado y liberado; en el mismo tazón de mezcla, se da el proceso de pesaje de la mezcla para su posterior almacenamiento y análisis por parte de supervisores o administradores del software.

Un sensor de nivel detecta niveles bajos en la altura de la mezcla y repite el proceso previamente descrito; el material ya mezclado con precisión de 0,1 por ciento por kilogramo de componente, cae nuevamente por gravedad hacia una cámara de despacho en donde el sistema de suministro automatizado lo transportará hacia la línea de producción para su procesamiento.

Trabajando en condiciones normales, sin variaciones de tipos de materia prima y de forma promedio, el dosificador puede trabajar a un ritmo de mezcla y dosificación de 370 kilogramos por hora.

Figura 39. **Dosificador Wittmann GRAVIMAX**



Fuente: Wittmann Battenfeld. *Manual de operación GRAVIMAX Serie 1*. p. 3.

3.1.2.5. Alimentadores

Alimentador (*Loader*) es una máquina, electromecánica o electroneumática, cuya actividad principal es la de transportar material desde un punto inicial a uno final. Al igual que el dosificador, este emplea elementos electrónicos para activar su funcionamiento, y sistemas mecánicos o neumáticos para completar el traslado de materia prima.

Los requisitos previstos para la selección de un equipo adecuado para un sistema de suministro fueron: diseño, limpieza simple, bajo mantenimiento, fiabilidad, hermeticidad, flujo y fácil operación. Sin embargo, por motivos de compatibilidad, costos y calidad de equipo, para el nuevo sistema de suministro fueron seleccionados alimentadores hermanos del dosificador previamente descrito, de marca Wittmann Battenfeld, modelo FEEDMAX BS/6, los cuales fueron proveídos por Wittmann Battenfeld con sede en Canadá.

El funcionamiento general del alimentador es similar a la función que desarrolla el sensor de nivel del dosificador. El alimentador no lleva a cabo acciones de pesaje, mezcla o dosificación, siendo su única función la de activar o desactivar el flujo de un solo tipo de materia prima. Por regla general, el alimentador debe de ser instalado en la parte superior de cada elemento al cual se desea alimentar de un tipo de materia prima, es decir en: silos internos, tolvas de material de reproceso, dosificadores y maquinaria de extrusión.

En la parte superior del alimentador, como se puede ver en la figura 40, se encuentran instaladas válvulas de fundición de acero inoxidable, lo que hace que el alimentador trabaje exclusivamente con sistemas neumáticos.

El funcionamiento del alimentador empieza con una señal eléctrica de solicitud de material de un sensor de aproximación de serie, instalado en la válvula de descarga de material. Dicha señal es procesada por el software de control de serie de las estaciones de alimentación, con capacidad de hasta 6 estaciones por línea. A la señal de solicitud de material, el software acciona automáticamente una bomba de vacío con válvula de *bypass*, lo que genera un diferencial de presiones, posibilitando de esa forma, energía suficiente para el flujo de materia prima.

Simultáneamente al accionamiento de la bomba de vacío, en el alimentador, es accionada una válvula de cierre neumática, que también contribuye al diferencial de presión y por ende, al traslado de flujo por el principio de Bernoulli. Dicha válvula de cierre, también contribuye a la operación libre de polvo en los dosificadores, silos y extrusoras.

El material suministrado, ya sea virgen, de reproceso, *master batch* o aditivos, pasa longitudinalmente por el alimentador mediante el cuerpo central y cae por gravedad hacia la tolva de la extrusora, tolva de dosificador o silo. Al igual que al inicio, el sensor de proximidad de altura, censa dicho parámetro y al detectar un nivel óptimo, envía una señal de desactivación hacia el controlador que desactiva la bomba de vacío y, simultáneamente, cierra la válvula de cierre.

Cuando se vuelve a detectar un nivel bajo, el proceso es repetido de forma cíclica. Cada alimentador tiene una capacidad máxima de presión de hasta 1,7 megapascal (250 psi), en cuanto a la capacidad de ritmo de flujo, cada alimentador soporta una capacidad de entre 120 a 370 kilogramos por hora, sin embargo, por estar conectados en serie, dicha capacidad de ritmo de flujo se ve aumentada.

Figura 40. **Alimentador Wittmann FEEDMAX**



Fuente: Wittmann Battenfeld. *Manual de operación FEEDMAX BS/6*. p. 3.

3.1.2.6. **Bombas**

Bomba hidráulica es una máquina generadora que transforma energía mecánica en energía hidráulica, energía de flujo o energía cinética. Por el principio de funcionamiento existen muchas clases de bombas. Para la aplicación de sistemas de suministro son empleadas, por lo general, Bombas de Vacío de Desplazamiento Positivo y/o Sopladores de Aire (*Blower*).

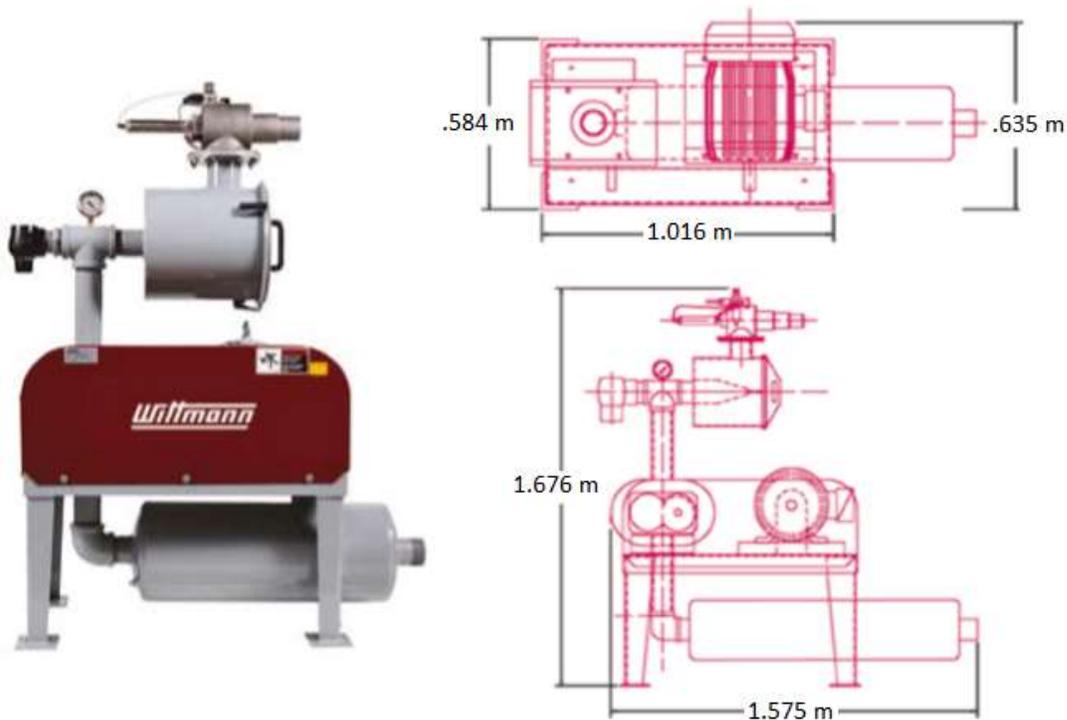
Dentro del sistema de suministro, la única función de una bomba de vacío o *blower* es la de generar presiones por debajo de la presión atmosférica, conocidas como presión de vacío. Dicha presión de vacío hace posible que al accionar ciertos mecanismos (Alimentadores), se produzca un diferencial de presiones entre dos puntos y se aplique el principio de Bernoulli, el cual indica que un fluido circulará del punto de mayor al de menor presión, tratando siempre de nivelar las energías piezométricas, cinética, de flujo y potencial, como lo dicta el principio de conservación de la energía.

Con base en compatibilidad de equipos, costos, capacidad, diseño y versatilidad del equipo fue seleccionada una Bomba de Vacío con Soplador Integrado, marca Wittmann Battenfeld modelo PDV-150 y, al igual que dosificadores y alimentadores, el equipo fue proveído por Wittmann Battenfeld con sede en Canadá.

Entre las ventajas que ofrece la bomba de vacío se puede mencionar: flujo de aire constante, válvula neumática de frenado de bomba de vacío, conexión a filtros, reducción eficiente de ruido, entre otras.

En términos de operación, la bomba de vacío debe operar, exclusivamente, en 480 voltios y 18,0 amperios. Tiene una potencia de 11,2 kilovatios, vacío de entre -45 a -75 kilopascal (-450 – -750 milibar) y capacidad de suministro de aire de aproximadamente 4 535 kilogramos por hora. Por motivos de mantenimiento, deben de ser instaladas tres bombas de vacío; una para la línea de Poliestireno, una para la línea de Polipropileno y una última bomba de reserva, que permita la desconexión por actividades de mantenimiento; sin interrumpir la operación normal del sistema de suministro y de las líneas de producción. En la figura 41 se puede apreciar la vista de la bomba de vacío, así como las dimensiones de la misma.

Figura 41. **Bomba de vacío Wittmann**



Fuente: Wittmann Battenfeld. *Manual de operación PDV-150*. p. 3.

3.1.2.7. Estación de filtros

Un filtro es un dispositivo que contiene o elimina ciertos elementos al circular un fluido a través de él. El transporte de material granular, la fricción del mismo y el proceso de producción de las materias primas, producen un polvillo de grano menor a los 500 micrómetros, el cual, al ser inhalado, puede provocar severos problemas en el aparato respiratorio; razón por la cual es necesaria la instalación de una estación de filtros que elimine dicho polvo de las materias primas en el sistema de suministro.

El filtro escogido para esta tarea es de marca Wittmann Battenfeld, modelo SBF, proveído por Wittmann Battenfeld, Canadá. El filtro, por norma general, debe de instalarse inmediatamente después a las bombas de vacío del sistema, pues en esa posición, las presiones de vacío nominales no presentan pérdidas o fugas, por lo que el polvo adoptará una tendencia a circular hacia la bomba y será atrapado por el filtro.

El polvo que se desea eliminar entra por un anillo superior en el filtro y al momento de fluir por el mismo, una serie de 8 cartuchos de eliminación de polvo atrapa dichas partículas. El filtro está dotado de un *timer* que cada cierto período de tiempo ejecuta una limpieza automática, la cual consiste en la dilatación de los cartuchos por aire comprimido y posterior depósito de dicho polvo en un cubo de liberación manual, instalado en la parte inferior del filtro.

Figura 42. **Filtro Wittmann SBF**



Fuente: Wittmann Battenfeld. *Manual de operación SBF*. p. 3.

Al igual que las bombas de vacío son necesarios 3 filtros (como el observado en la figura 42) para el sistema de suministro; uno para la línea de Poliestireno, uno para la línea de Polipropileno y uno para la línea de reservamantenimiento.

3.1.2.8. Sensores

Sensor es un dispositivo con capacidad de detectar magnitudes físicas o químicas y transformarla en señales útiles para un sistema de medida y/o control. Desde el punto de vista de la automatización, estos dispositivos son indispensables para el control de maquinaria, sistemas y procesos, pues permiten conocer magnitudes de parámetros en tiempo real, así como también, la pronta detección de errores y solución de los mismos.

En el sistema de suministro, el nivel de automatización pretendido requiere el empleo de dos tipos de sensores: sensores de nivel y sensores de proximidad, pues estos tipos detectan niveles bajos de materia prima y envían señales al software de control para poder trasladar más materia prima al lugar de donde provino la señal de solicitud de material. Sin embargo, estos sensores vienen integrados, de fábrica, en los Dosificadores y Alimentadores que fueron adquiridos para el sistema de suministro.

A pesar del alto nivel de tecnología del equipo de marca Wittmann Battenfeld existe la necesidad de instalar sensores de nivel en los silos externos del sistema, pues en la compra de dichos silos no se incluye ningún tipo de sensores y software para el control del nivel de materia prima interna del silo.

Por el tipo de aplicación, costo y calidad de equipo se seleccionó un sensor de nivel de paleta rotatoria de marca BINMASTER, modelo BMRX; dicho sensor fue proveído por la empresa BinMaster con sede en los Estados Unidos de Norteamérica.

El objetivo del sensor es el mismo que el de los sensores integrados en los dosificadores y alimentadores; sin embargo, la forma de realizar la medición del nivel es distinta. En los sensores de dosificadores y alimentadores se hace la medición de forma eléctrica (capacitiva) y, en el sensor de paleta rotatoria del silo, se hace de forma mecánica.

El proveedor recomienda instalar dos sensores por silo; uno en la parte superior del techo del silo y otro en la parte lateral inferior del silo. El primero censa el nivel máximo del silo y, el segundo, el nivel mínimo permisible para despacho de material. El funcionamiento es relativamente simple; cuando el sensor es instalado y puesto en operación, la paleta del sensor (véase figura 43) gira libremente y cuando entran en contacto con material a granel, el giro se detiene y envía una señal, luminosa o auditiva, a un panel de control para indicar que el silo está a su máximo nivel.

Por otra parte, derivado de la necesidad de tener una medición de inventario de materia prima en cada uno de los silos externos se seleccionó, con las mismas bases que el sensor de paletas giratorias, un sistema de inventariado de gráneles marca SMARTBOB II, modelo SBRX II, proveído por BinMaster.

Los equipos previamente descritos deben de ser instalados, estrictamente, en la parte superior de cada silo (véase figura 43).

El funcionamiento nuevamente se limita al nivel del material, con la excepción de que este sensor involucra un PLC para poder determinar parámetros, tales como: cantidad en kilogramos de materia prima presente en cada silo, altura en metros utilizada en el silo y la altura en metros libre del mismo. La diferencia en la forma de medición de dichos parámetros es que el equipo utiliza ultrasonido para la medición; una señal es enviada de forma interna en el silo y cuando esta encuentra material, rebota y regresa al sensor para registrarse. Dicho impulso es enviado al PLC en el tablero de control en donde es procesada y las mediciones son desplegadas en una pantalla de información.

Figura 43. **Sensores de nivel de silos BinMaster**

Sensor de Paletas Giratorias



Especificaciones	
Voltaje	115/230 VAC – 24/12 VDC
Temperatura de operación	-40°C a 85°C
Corriente	60/35 mA
Precisión	N.A.
Frecuencia	50/60 Hz

Sensor SmartBob II



Especificaciones	
Voltaje	115/230 VAC
Temperatura de operación	-40°C a 85°C
Tasa de medición	.61 m por segundo
Precisión	± 0.25% de medición
Frecuencia	50/60 Hz

Fuente: BinMaster. *Manual de operación SmartBob System*. p. 8.

3.1.2.9. Equipo para automatización

Se entiende por automatización al uso de sistemas y/o elementos computarizados, electromecánicos y mecánicos, para el control de maquinaria, líneas de producción, líneas de suministro de materia prima y/o procesos industriales. En el proceso de automatización se involucran dos partes fundamentales: Hardware y Software. El Hardware son todas aquellas partes tangibles del sistema, tales como: componentes electrónicos, eléctricos, electromecánicos, electroneumáticos y mecánicos; mientras que, el Software, comprende el conjunto de componentes lógicos que hacen posible la realización de una tarea específica.

Dosificadores, Alimentadores y Sensores pueden considerarse parte del hardware de la automatización del sistema de suministro. Aunque elementos, tales como: IPC (*Inter-Process Communication*), PLC (*Programmable Logic Controller*), controladores BUS (*Universal Series Bus*), CPU (*Central Processing Unit*) y/o pantallas de despliegue de menús, también integran la misma.

Para el sistema de suministro serán empleados tres tipos de equipos (hardware) de automatización: el primero, para operación de los silos externos, el segundo, para operación de los dosificadores y el tercero, para operación de los alimentadores, filtros y bombas de vacío.

Tomando en cuenta la compatibilidad con los sensores del silo, para la operación y control de los silos externos, fue seleccionada una consola de control marca SMARTBOB, modelo C-100, proveído por BinMaster, con sede en los Estados Unidos de Norteamérica.

Esta consola tiene capacidad para desplegar: capacidad total, producto y espacio restante de silo en porcentaje, metros y kilogramos, para ambos silos. Para realizar los cálculos, la consola tiene integrado un PLC asistente, el cual realiza los cálculos mediante fórmulas. Como se observa en la figura 44, la consola tiene una pantalla LCD donde se despliegan todos los datos anteriormente mencionados en tiempo real. La interfaz de usuario soportado por el software eBob hace que la operación de la consola sea fácil de utilizar.

Entre las ventajas que este equipo ofrece se menciona: indicador de estado de sensores, soporte de hasta 128 sensores en serie, sistema de menús de opciones simples, ajuste de valores, resistencia a impactos, operación al aire libre, circuito de protección contra sobretensiones y actividad electroatmosférica, chip de memoria interna y fácil instalación y mantenimiento.

Figura 44. **Consola de control de silos SmartBob C-100**



Fuente: BinMaster. *Manual de operación SmartBob System*. p. 9.

Para su operación y control, los dosificadores vienen integrados de fábrica, con una consola de control XLB modelo PP420, proveída también por Wittmann Battenfeld, Canadá. Este equipo tiene control, únicamente, en el proceso de dosificación y mezcla de materia prima y es ajeno al sistema de control del sistema de suministro.

La consola de control XLB dispone de una pantalla táctil de 5 pulgadas, (véase figura 45) en donde el operario puede controlar el proceso de dosificación y hacer cambios en los ajustes del dosificador, dependiendo de los niveles de seguridad asignados; también viene incorporado un controlador por microprocesador de alta capacidad, que regula todos los elementos del sistema de actuadores de dispensación.

Figura 45. **Consola de control de dosificadores Wittmann XLB**



Fuente: Wittmann Battenfeld. *Manual de operación GRAVIMAX Serie 1*. p. 4.

Entre los beneficios que este equipo ofrece se pueden mencionar: conectividad vía USB (*Universal Series Bus*), compatibilidad con cualquier equipo Wittmann, despliegue en tiempo real de condiciones de operación, memoria local con capacidad para 100 recetas, parada automática al alcanzar el número de lote preestablecido, panel de control con componentes eléctricos estándar para operación confiable, fácil mantenimiento y compatibilidad con CP's, laptops y PDA's.

En general, el sistema de suministro requiere el establecimiento de una red bastante compleja, en donde para un tipo de materia prima deben de ser controladas las siguientes líneas: silo externo / alimentador / silo interno, silo interno / alimentador / dosificador, molido / alimentador / dosificador, recipiente / alimentador / dosificador, dosificador / alimentador / extrusora, dosificador / alimentador / coextrusor y sistema / filtro / bomba de vacío. Dada la complejidad de la red, no existe en el mercado ningún equipo que administre y opere colectivamente estas complejas subredes; razón por la cual, deben emplearse controladores individuales de componentes.

Para dicha tarea se seleccionó un Comunicador Interproceso (IPC), modelo Steuerung IPC, Servidores de Línea LS (*Line Server*), modelo B30 T y Controladores Módulo BUS de 4/4, de marca Wittmann Battenfeld.

El controlador módulo BUS 4/4 (4 entradas / 4 salidas), como se puede ver en la figura 46, es el encargado de proporcionar control individual sobre cada elemento al que se desee conectar, estos pueden ser: alimentador, filtros centrales, manifold, silos, bombas, dándole una alta versatilidad al sistema y posibilidades ilimitadas de configurabilidad. En el caso de los alimentadores, el fabricante recomienda una conexión máxima de dos alimentadores.

El Servidor de Línea LS, véase figura 46, tiene como fin el de proveer control sobre los controladores módulo BUS de libre configuración conectados en paralelo a una línea CAN-BUS, la cual es un protocolo de comunicaciones normalizado para comunicar subsistemas en una red común. Por existir dos tipos de materia prima a suministrar, deben de existir dos LS para integrar dichos datos en el IPC.

El último componente es el IPC (véase figura 46), empleado para presentar toda la información recopilada por los controladores módulo BUS y servidores de línea LS en tiempo real. Este cuenta con una pantalla táctil de alta resolución de 15 pulgadas. Su objetivo es facilitar el control del sistema, ajustes de parámetros del proceso de suministro, visualización de unidades conectadas y encendido o apagado de unidades.

Figura 46. **Equipo de control de sistema de suministro Wittmann**

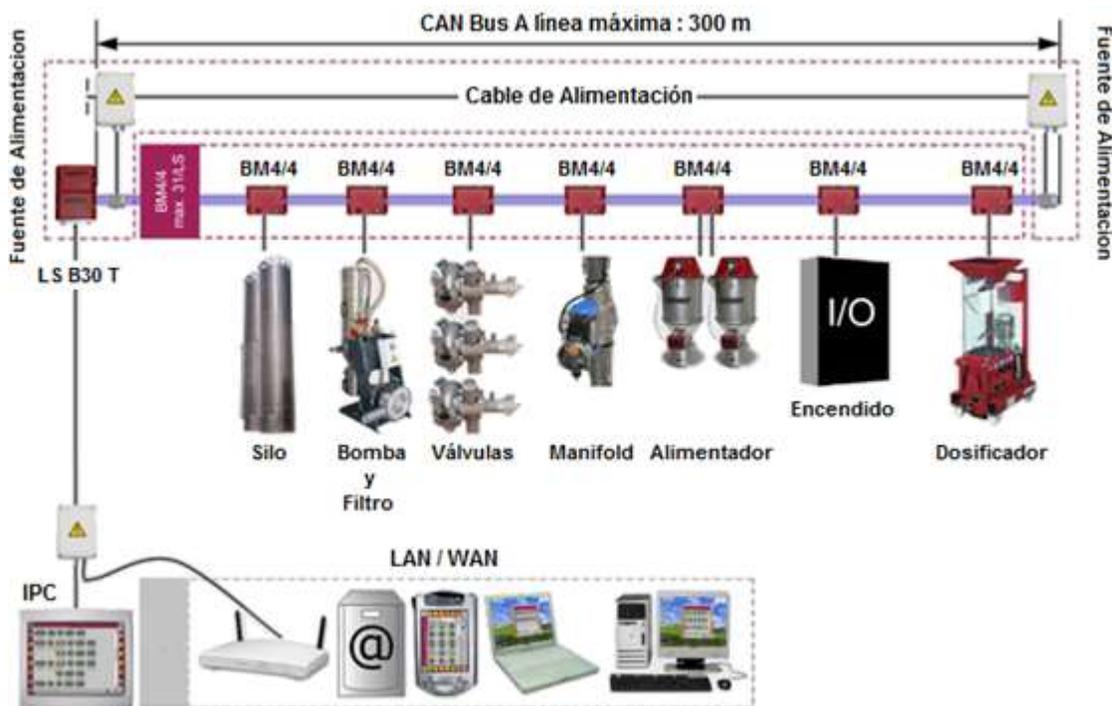


Fuente: Wittmann Battenfeld. *Manual de operación FEEDMAX BS/6*. p. 5.

Como se observa en la figura 47, los componentes individuales (silos, bomba, filtro, alimentadores, dosificadores) son conectados a los controladores módulo BUS por medio de cables BUS y alimentación. Los controladores módulo BUS, por su parte, están instalados paralelos a una línea de protocolo CAN-BUS, el cual es controlado por un servidor de línea que, simultáneamente, controla a cada uno de los controladores. Finalmente, los servidores de línea convergen en el IPC el cual permite la interacción con todos los componentes del sistema.

Nótese que el IPC permite la distribución de señal a redes locales (LAN) o redes amplias (WAN), posibilitando así el control del sistema a distancia.

Figura 47. **Diagrama de red del sistema de suministro**



Fuente: elaboración propia, con programa SketchBook Pro.

3.1.2.10. Software

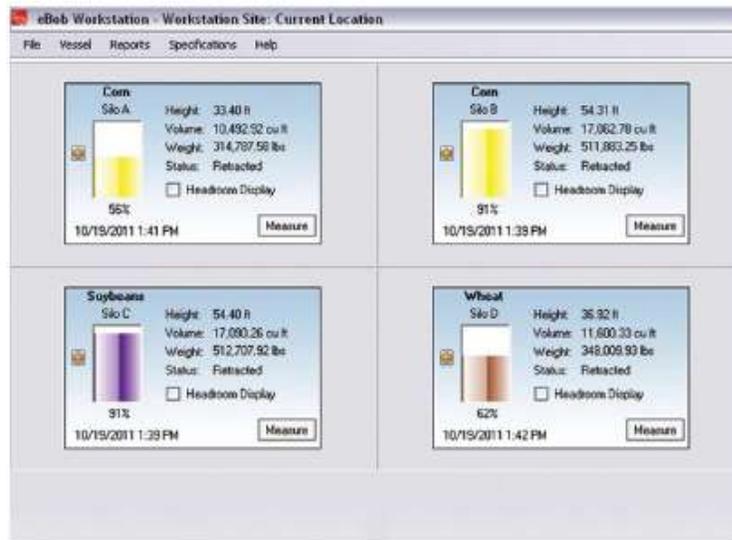
Tal como con el hardware, el sistema de suministro requiere el empleo de tres tipos independientes de software. El primero, que controle el proceso de inventariado de materia prima en los silos externos, el segundo, para controlar de manera precisa el delicado proceso de mezcla y dosificación de la materia prima y, el tercero, para el control de la red de suministro de materia prima. Este último, es considerado como el más importante de los tres.

Para controlar las operaciones de los silos externos será empleado el software eBOB, versión 5.1, proveído por BinMaster. Este software es un administrador de inventario de materia prima, diseñado para ayudar a los usuarios a la recopilación de datos en tiempo real; tiene la particularidad de poder desplegar datos de tres formas: en consola de control, ordenador personal y red de área local (LAN).

Entre los beneficios que ofrece el software eBOB se puede mencionar: soporte de hasta 100 señales individuales de sensores, generación de informes, almacenaje de datos históricos, eliminación de inspecciones manuales de nivel de material, facilidad de operación, optimización del uso de recursos para la carga de material, optimización de los niveles de inventario, sistema de alarmas programables, compatibilidad con sistemas operativos de Microsoft Windows, opción de expansión a redes inalámbricas, niveles de seguridad para usuarios, encriptación de seguridad por clave única y visualización de interfaz en PC con Software eBOB Viewer.

En la figura 48 se puede observar la interfaz del software para un ordenador personal con el software eBOB Viewer.

Figura 48. Interfaz del software eBOB 5.1



Fuente: BinMaster. *Manual de operación SmartBob System*. p. 11.

En el control de operación de los dosificadores será empleado el software GRAVIMAX, incluido de fábrica en los Dosificadores Wittmann Battenfeld. Este software y eBOB 5.1, controlan las operaciones del dosificador y silos externos, pero no el funcionamiento del sistema de suministro.

El software GRAVIMAX permite beneficios, tales como: control de hasta 8 componentes, medición precisa mediante algoritmos de control adaptativo, tecnología RTLS (Tiempo Real / Escala en Vivo), tecnología "on the go" (cambio de recetas y parámetros sin necesidad de paro de máquina), elaboración de informes, proceso de mezclado temporizado o continuo, interfaz amigable, despliegue de condiciones de operación, identificación de materiales, niveles de seguridad, ajuste independiente de dosificación, fácil mantenimiento, operación en modo manual o automática.

En la figura 49 se puede observar la interfaz del software GRAVIMAX y una breve descripción del despliegue de menús que el mismo ofrece.

Figura 49. Interfaz del software GRAVIMAX



Fuente: Wittmann Battenfeld. *Manual de operación GRAVIMAX Serie 1*. p. 6.

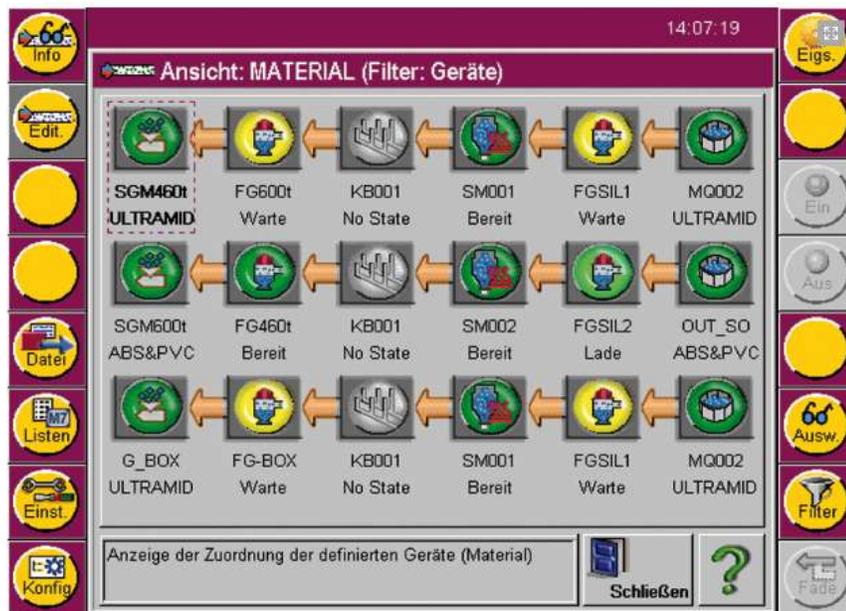
Finalmente, el sistema de suministro es controlado por un software CAN-BUS de Control de Carga Central, Serie M7.2, Versión 3.16.00, desarrollado, distribuido y proveído por Wittmann Battenfeld Canadá.

Como se explicó en el subcapítulo previo, el IPC es el lugar en donde físicamente se presenta la interfaz del software, desde el cual se ejecuta la activación y desactivación del sistema de suministro y de todos los componentes (Alimentadores, Dosificadores, Filtros, Bombas, Silos, Alimentador de Extrusor y Alimentador de Coextrusor).

Como se puede observar en la figura 50, la visualización que ofrece el software es en forma de transporte por líneas, para representar el flujo de material dentro del sistema. También permite la ejecución de las siguientes tareas: apagado/encendido de componentes, simbología individual de componentes, cambiar línea de vacío, visualización del sistema por material y por vacío, información del sistema, edición de parámetros de funcionamiento del sistema, almacenar datos en archivos extraíbles vía USB, elaboración de reportes, lista de recetas, ajustes de equipo, visualización de componentes de forma individual, filtros de visualización y estado de componentes.

Una de las funciones especiales es la conectividad a Ethernet e Internet, lo que posibilita el control a distancia de todo el sistema (LAN) y el soporte técnico, por parte del proveedor, al momento de una falla en el sistema.

Figura 50. **Interfaz del software M7.2**



Fuente: Wittmann Battenfeld. *Manual de operación FEEDMAX BS/6*. p. 8.

3.1.2.11. Equipo vario

En adición al equipo expuesto en el diseño del sistema de suministro deben de considerarse equipos, tales como: torres de mezclado de material de reproceso, recipientes industriales para material de reproceso, protectores de sobretensión, cajas de flip - on, cables CAN BUS A, cables de alimentación para Alimentadores, cables de alimentación para Dosificadores, asientos para Alimentador, asientos para Dosificador y herramientas, enseres y útiles que permitan la instalación, operación y labores de mantenimiento del sistema de suministro.

3.1.3. Equipo complementario

El sistema de suministro de materia prima tiene control, únicamente, sobre la operación desde los silos externos hasta los alimentadores para extrusora y coextrusor; dicho sistema, no tiene operación y control sobre el proceso de carga de materia prima en cada uno de los silos externos, destinados para el almacenamiento de polipropileno y poliestireno, respectivamente.

Derivado de dicha limitación es necesario establecer un sistema complementario que posibilite la carga de material a granel de Polipropileno y Poliestireno en cada uno de los silos. Tomando como bases la calidad de equipo, aplicación, costo de equipo, capacidad de bombeo y versatilidad de equipo, se seleccionó un Soplador (*Blower*) de Aire, marca Gardner Denver, modelo 5LR, proveído por Gardner Denver con sede en los Estados Unidos de Norteamérica.

El Soplador de Aire ilustrado en la figura 51 es activado por un motor eléctrico trifásico de 14,92 kilovatios, por transmisión de faja. El soplador toma aire por medio de una toma con un filtro integrado; el aire entra por la parte superior del soplador y un sistema de lóbulos lo impulsa por medio de una tubería hacia el lugar de destino deseado. El material es vertido manualmente en una tolva especial instalada después del soplador; dependiendo del tipo de material a descargar, se debe de hacer, previamente, la conexión de la tubería flexible a la línea específica del tipo de material a descargar.

El soplador tiene capacidad de descarga de 26,5 metros cúbicos por minuto a 2 850 revoluciones por minuto y es compatible con tuberías de diámetro de hasta 10,16 centímetros (4 pulgadas). El equipo viene con una tubería flexible para hacer conexión con las líneas de materia prima que se desee descargar.

Figura 51. **Soplador Gardner Denver 5LR**

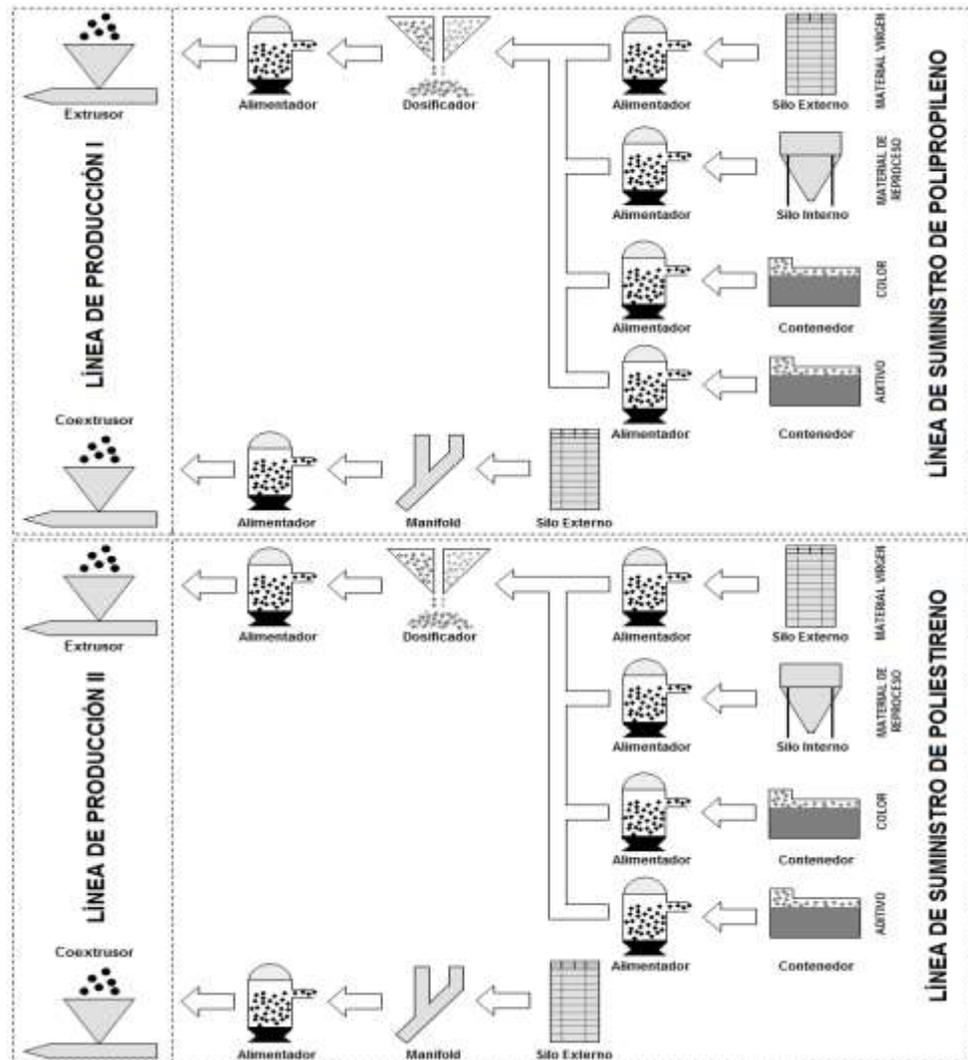


Fuente: Gardner Denver. *Manual de operación 5LR*. p. 3.

3.1.4. Diagrama de automatización del equipo

El diagrama (de la figura 52) es una representación gráfica de la operación y configuración del nuevo sistema de suministro de EDECA, S. A. También detalla el flujo de los procesos de suministro, mezcla y dosificación.

Figura 52. Diagrama de automatización del sistema de suministro

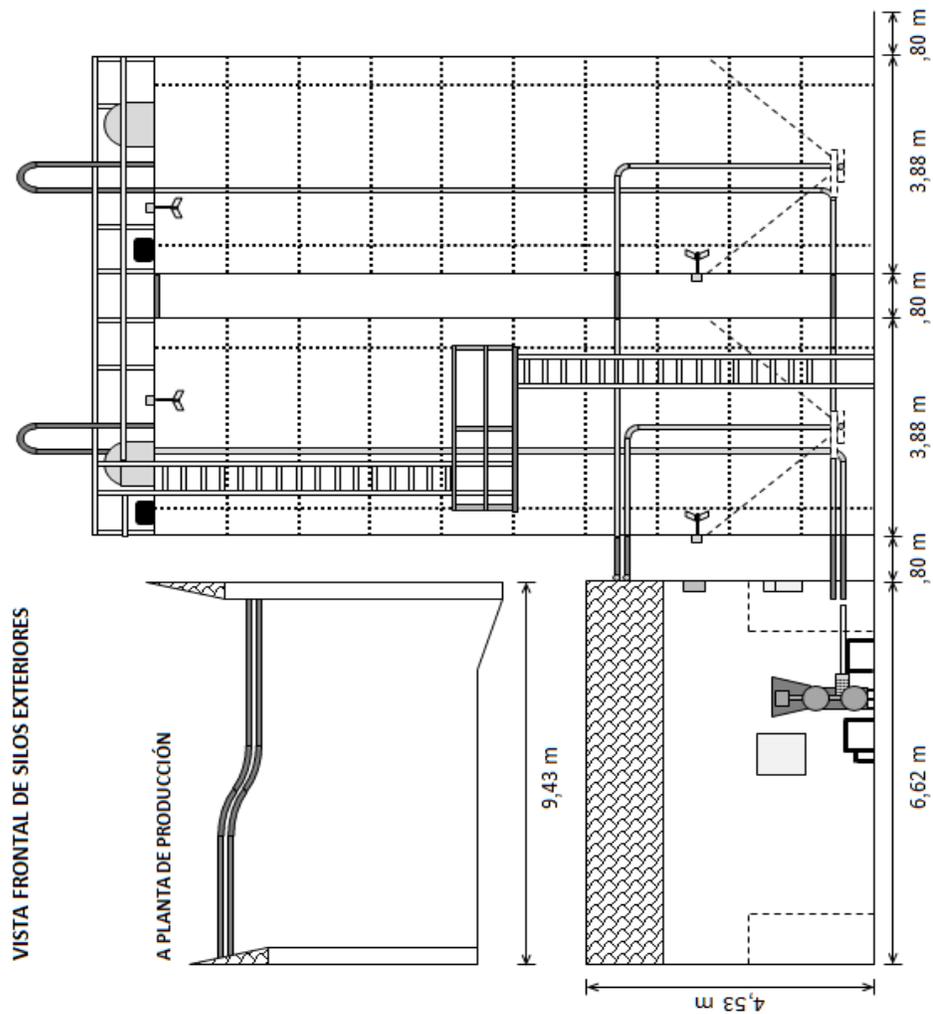


Fuente: elaboración propia, con programa SketchBook Pro.

3.1.5. Disposición del equipo dentro de la planta de producción

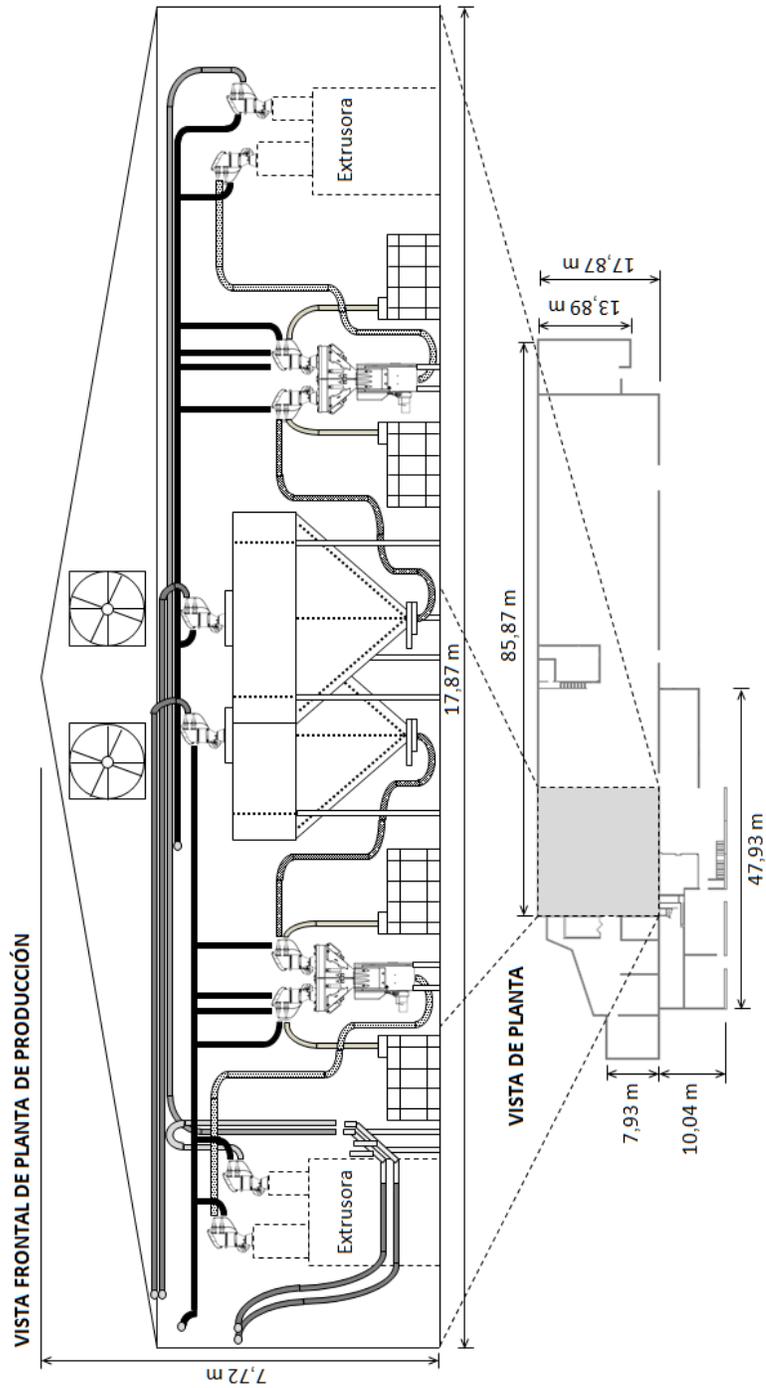
Las figuras 53, 54 y 55 muestran la instalación y configuración del sistema de suministro y equipos complementarios, dentro de la planta de producción de EDECA, S. A.

Figura 53. Plano del sistema de suministro - exterior



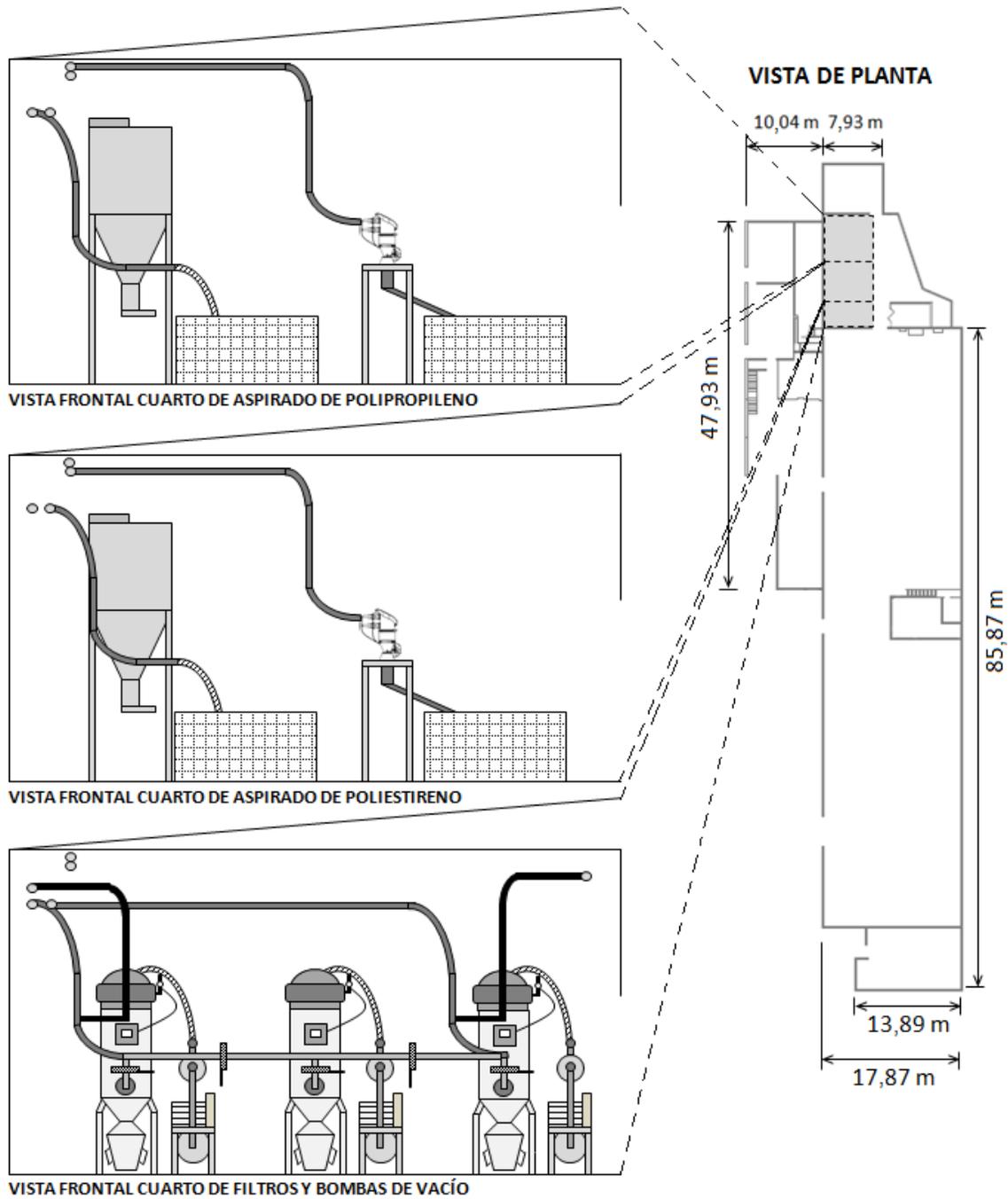
Fuente: elaboración propia, con programa SketchBook Pro.

Figura 54. Plano del sistema de suministro - área de extrusión



Fuente: elaboración propia, con programa SketchBook Pro.

Figura 55. Plano del sistema de suministro – complementario



Fuente: elaboración propia, con programa SketchBook Pro.

3.2. Línea de producción automatizada

Línea de producción automatizada es un conjunto armonizado de diversos subsistemas, tales como: neumáticos, térmicos, hidráulicos, mecánicos, electrónicos, software, entre otros, cuyo fin es el de transformar o integrar materia prima en otros productos.

3.2.1. Requerimientos de la nueva línea de producción

Igual que el sistema de suministro, la nueva línea de producción debe de cumplir ciertos requerimientos mínimos, los cuales están primordialmente en función de la programación de producción de envases desechables, volumen de ventas, creciente demanda de productos de Polipropileno e incursión en el mercado de telas de Polipropileno y Poliestireno. Los requerimientos a satisfacer por parte de la línea de producción, son:

- Automatización: control del proceso de extrusión, maquinaria, equipos auxiliares y complementarios por medio de un panel de control que integre CPU, PLC, sensores y software, garantizándose de esta forma una alta calidad y precisión en el proceso de extrusión de telas de Polipropileno y Poliestireno.
- Materiales: Polipropileno (PP) y Poliestireno (PS).
- Capacidad de producción: capacidades mayores a 250 kilogramos por hora para polipropileno y 300 kilogramos por hora para poliestireno.
- Ancho de tela: no menor a 0,6 metros para ambos materiales.
- Espesor de tela: en el caso del polipropileno, no menor a 0,3 ni mayor a 2 milímetros; en el del poliestireno, no menor a 0,2 ni mayor a 2 milímetros.
- Aditivos: capacidad mínima de colorantes (*master batch*) y aditivos (*additive master batch*).

- Software: son nueve los requisitos fundamentales para el sistema informático integrado en la máquina extrusora: niveles de seguridad, fácil operación, indicador de parámetros de temperaturas y presiones de trabajo de la máquina en tiempo real, parámetros de máquina, menú de alarmas, programación de mantenimiento, elaboración de informes, extracción de información vía USB y extensión de control a distancia.
- Nivel de mantenimiento: de medio a bajo; actividades semanales simples, actividades mensuales simples y servicio mayor una vez por año.
- Calandra: rodillos de enfriamiento de cromo.
- Estación de corte: corte con regla graduada y cuchillas de acero inoxidable.
- Estación de embobinado: capacidad mínima de dos bobinas que permitan descarga de bobina completa y comienzo de nuevo embobinado, simultáneamente.
- Sistemas de seguridad: sistemas de botón de emergencia en cada una de las partes de la máquina extrusora.
- Dimensiones de la máquina: sin restricciones.
- Compatibilidad de accesorios de la máquina: compatibilidad con alimentadores o cargadores de materia prima, especialmente de aquellos de marca Wittmann Battenfeld.
- Material de reproceso: triturador portátil de *scrap*.
- Servicios adicionales: asesoría en instalación de la maquinaria, calibración y capacitación y entrenamiento de operarios.

3.2.2. Equipo necesario

Los componentes necesarios para la implementación de la línea de producción por extrusión en EDECA, S. A., es el que se detalla a continuación.

3.2.2.1. Extrusora y coextrusora

Extrusora y coextrusora son las partes en donde se lleva a cabo el proceso de prensado, plastificación y moldeado del polímero. Dependiendo el tipo, modelo y fabricante de la maquinaria, por lo general, el extrusor es empleado para el procesamiento de material puro y/o reprocesado y el coextrusor para el procesamiento de colorantes, aditivos, y/o material reprocesado.

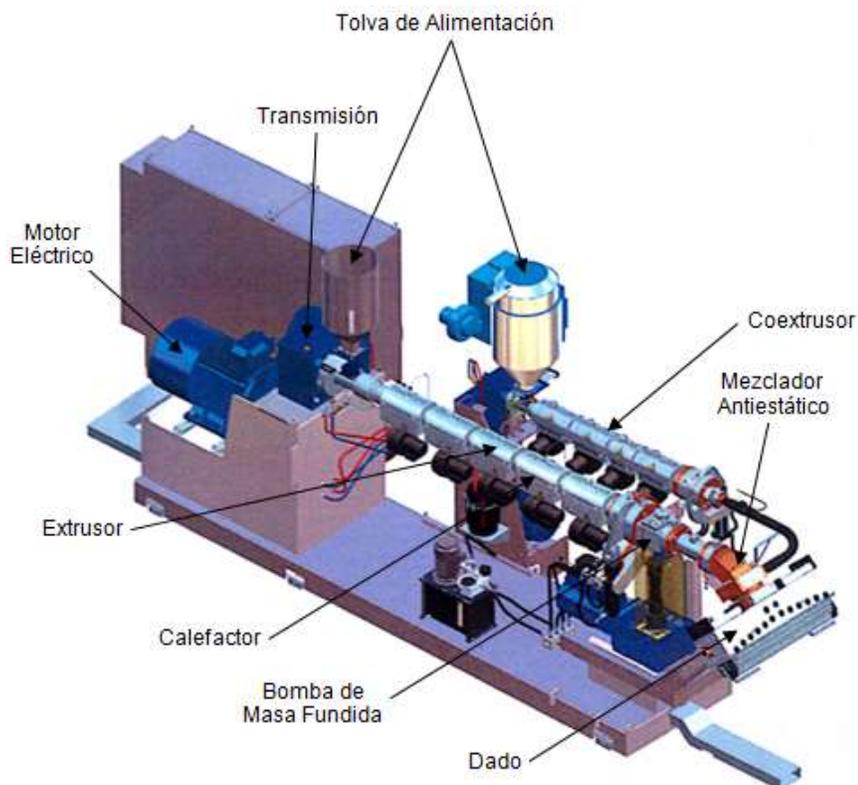
En el mercado de maquinaria de procesamiento de plásticos existen pocos proveedores que ofrezcan maquinaria de alta tecnología y que cumplan con los requerimientos expuestos previamente para la adquisición de dicho equipo. Con base en parámetros, tales como: calidad, prestigio de la marca, especificaciones de la maquinaria, costos, acceso a repuestos, niveles de mantenimiento, precisión, nivel de automatización, tecnología, facilidad de operación, compatibilidad con alimentadores del sistema de suministro y servicios de instalación, calibración y entrenamiento de operarios, fue seleccionada una máquina extrusora de marca MEAF, línea 75-H34 y coextrusor 50-E30, proveídos por MEAF Machines B.V., con sede en Yerseke, Holanda.

Extrusor, coextrusor, calandra, estación de corte, estación de embobinado y equipo complementario fueron proveídos por la empresa mencionada; sin embargo, algunos de los equipos fueron fabricados por empresas terceras.

Como se puede observar en la figura 56 el material es cargado en cada una de las tolvas de alimentación por los alimentadores del sistema de suministro. El material, que fue previamente mezclado y dosificado de acuerdo a la fórmula ingresada en el software del dosificador, cae por gravedad hacia los sectores (*barrels*) de extrusión de la máquina. El extrusor principal tiene cinco sectores y el coextrusor tres; al conjunto de sectores se le conoce con el nombre de cañón.

Cabe mencionar que el proceso de alimentación de materia prima al extrusor y coextrusor es una tarea del sistema de suministro automatizado.

Figura 56. **Extrusor y coextrusor MEAF 75-H34**



Fuente: MEAF. *Manual de operación 75-H34*. p. 3.

Tanto el extrusor como el coextrusor se valen de dos sistemas independientes para llevar a cabo el proceso de extrusión: un sistema mecánico y un sistema eléctrico de calefacción. El sistema mecánico es una configuración de motor eléctrico, transmisión y tornillo; dos motores de 75 y 15 kilovatios, respectivamente, se encargan de dar torque a un tornillo de extrusión, el cual fuerza al material a pasar a través de cada sector, incrementando la temperatura interna del material.

El sistema eléctrico consiste en una configuración de varios calefactores (resistencias eléctricas), para cada uno de los sectores (*barrel*) y termopares, que regulan y controlan la temperatura en cada sector. Cabe mencionar que cada uno de los sistemas es controlado en conjunto por el software y el PLC integrado en la máquina extrusora. La acción combinada de ambos sistemas, permite alcanzar el punto de fusión del material.

Cuando se ha completado el proceso de extrusión, el polímero fundido debe de ser bombeado por una bomba especial para material fundido en cada una de las líneas de extrusión y coextrusión. Los materiales procesados en cada una de las líneas convergen en un mezclador antiestático, en donde los materiales procesados forman la mezcla final de material virgen, material de reproceso, colorante y/o aditivos.

La mezcla final es forzada a pasar a través de un dado, el cual le da la forma deseada. En el caso de la aplicación, simplemente se dosifica la salida de material por medio de una boquilla de forma rectangular.

En adición, también es empleado un sistema neumático para la bomba de masa fundida, un sistema de agua de enfriamiento para la extrusora y coextrusora y un sistema de aire comprimido para la bomba de agua.

3.2.2.2. Tornillos de extrusión y coextrusión

Desde el punto de vista mecánico, el tornillo de extrusión, husillo o tornillo de Arquímedes como también es conocido, es el elemento más importante de la máquina. El tornillo es el que introduce una fuerza de empuje fundamental para el proceso de extrusión, fluido y mezcla de la materia prima.

Aunque no hay normalización en la industria, por lo general, las dimensiones de los tornillos son representadas en proporciones longitud – diámetro (L:D), siendo la proporción del tornillo de 33:1. El tornillo helicoidal empleado en la máquina extrusora (véase figura 57), es de diseño especial y desempeña tres funciones básicas: 1. Alimentación/Transporte, 2. Fusión/Mezcla y, 3. Compresión/Bombeo; contribuyendo cada cual, no solo al proceso sino también al flujo interno del material, lo cual se traduce en un proceso óptimo y capaz de operar a diversas velocidades de producción.

Figura 57. **Tornillo helicoidal de extrusión**



Fuente: MEAF. *Manual de operación 75-H34*. p. 4.

Entre las ventajas ofrecidas por el tornillo de extrusión se pueden mencionar: aplicación de principio tornillo – tuerca (*nut and bolt*) mediante surcos internos en los sectores (*barrels*) del cañón, presiones adicionales de trabajo de extrusión, alta capacidad de mezclado, mayor relación de salida de material por revolución de tornillo (kg/h por RPM), estabilidad de presión de trabajo, estabilidad de proceso de extrusión, ahorro de hasta 20 por ciento de energía, entre otros.

Es importante mencionar que la eficiencia del tornillo de extrusión es combinada con un diseño especial de los sectores coaxiales (*barrel*) de la extrusora. Los tornillos del extrusor y coextrusor cumplen con los mismos objetivos, funciones y ventajas expuestas, la diferencia radica en las dimensiones de los tornillos.

3.2.2.3. Calandra

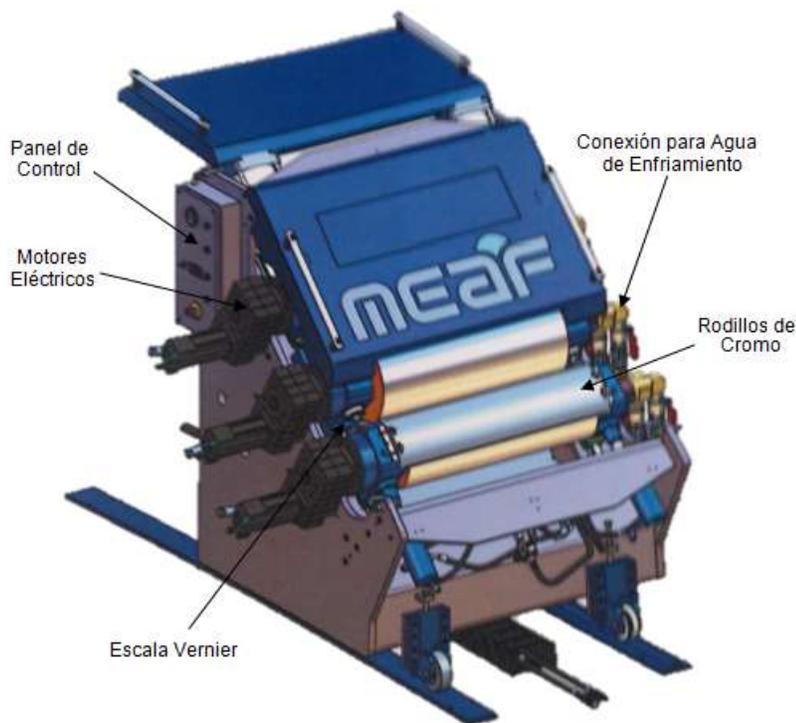
Calandra (*Roll Stack*) es una máquina con una configuración de una serie de rodillos cuyo fin es el de calibrar y/o enfriar una lámina, tela o perfil industrial. En la industria de procesamiento de polímeros y, específicamente, dentro de una línea de producción por extrusión, se le considera como el segundo equipo de mayor importancia.

Dentro del diseño de la línea de producción automatizada, la calandra cumple dos objetivos críticos para la producción de telas de polipropileno y poliestireno: enfriar la tela para un posterior tensado, corte y embobinado apropiado y calibrar la tela a un espesor determinado.

Como se podrá inferir de la figura 58, la tela, extremadamente caliente, es recibida del dado de la extrusora por una serie de rodillos de cromo endurecidos y de alto brillo. La tela debe de pasar el primer calibre que se da entre el rodillo inferior y el rodillo intermedio; sin embargo, el objetivo primordial del calibre primario es el de combinarlo con un enfriamiento máximo permisible de tela. El calibre final se da entre el rodillo intermedio y el rodillo superior; concluido dicho calibre, la tela debería de tener el espesor requerido para la posterior producción de envases desechables.

El denominado calibre de tela es posible gracias a una graduación Vernier para la separación entre los rodillos inferior, intermedio y superior.

Figura 58. **Calandra**



Fuente: MEAF. *Manual de operación 75-H34*. p. 6.

Cuando la tela ha recibido el calibre final, vuelve a pasar por una serie de rodillos de iguales características, que tienen por objeto proporcionar el enfriado final a la tela. Terminado dicho proceso, la tela está en material, color, aditivo, espesor y temperatura idóneas para un proceso de tensado, corte y embobinado.

3.2.2.4. Estación de embobinado

Dependiendo del diseño de la máquina, la Estación de Embobinado (*Winder*) es donde se lleva a cabo el proceso final de tensado, corte y embobinado de la tela de Polipropileno o Poliestireno. En el caso particular de la extrusora MEAF, esta se vale de dos subestaciones para llevar a cabo las tareas mencionadas; una Estación de Corte (*Rubber Roller*) y una Estación de Embobinado (*Winder*).

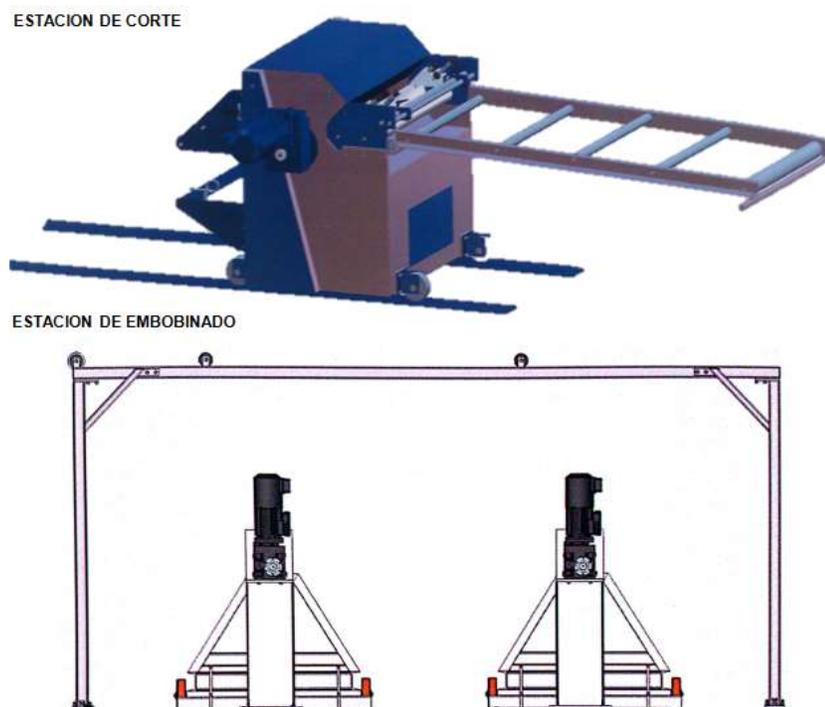
Cuando la tela fue enfriada y calibrada en espesor entra a una serie de cinco rodillos de tensión que la preparan para el proceso de corte (véase figura 59). El corte se lleva a cabo por unas cuchillas de acero inoxidable, instaladas en un portacuchillas; cada portacuchillas está separado uno del otro a una distancia x , dicha separación es controlada por una regla graduada y corresponde al ancho requerido en la tela a producir.

Para ser considerada como producto final, la tela debe cumplir en material, color, aditivo, espesor y ancho de acuerdo a lo requerido en la orden de producción respectiva; posterior al proceso de corte, el cual rectifica el ancho, la tela debe ser embobinada apropiadamente.

El embobinado es un proceso que requiere de una sincronización perfecta entre la velocidad de embobinado de la estación y la velocidad lineal de salida del flujo de material de la extrusora.

La tela, rectificada en su ancho, sube por encima de la estructura de la estación de embobinado (véase figura 59), y, posteriormente baja al rodillo embobinador que se esté usando. Cuando el rodillo, a criterio del operador, ha alcanzado un nivel máximo, se detiene y se corta la tela, la bobina completa se desmonta y se le registra en una boleta de control de producto terminado. La tela en proceso se adhiere al rodillo libre para comenzar un nuevo embobinado.

Figura 59. **Estación de corte y embobinado**



Fuente: MEAF. *Manual de operación 75-H34*. p. 12.

Es importante señalar que durante el suministro de materia prima y extrusión de telas, el operario interviene, únicamente, en la carga manual de la materia prima en los silos externos del sistema de suministro y en el corte manual de la tela, antes de empezar un nuevo embobinado.

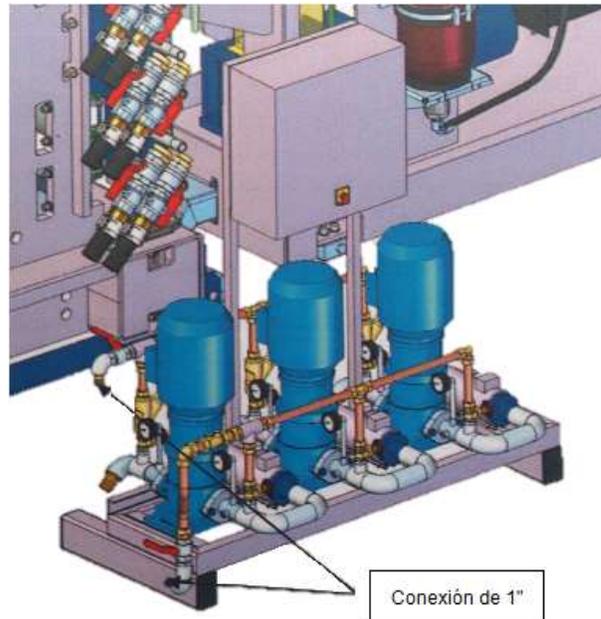
3.2.2.5. Bomba de agua

Los procesos de extrusión y de enfriamiento de tela, conllevan temperaturas que oscilan entre los 180 a 230 grados Celsius, razón por la que es necesario el establecimiento de un circuito de agua de enfriamiento para extrusor – coextrusor y calandra, respectivamente. Para hacer circular el agua de enfriamiento dentro del circuito, será necesario el empleo de una o varias bombas de agua.

La bomba de agua ilustrada en la figura 60 tiene tres motores independientes de 2,2, 5,5 y 2,5 kilovatios, respectivamente. La razón de dicha configuración es porque está en relación al caudal de agua necesario para el enfriamiento eficiente de cada una de las partes de la máquina (coextrusor, extrusor y calandra).

Adicionalmente, para accionar ciertos mecanismos, la bomba necesitará de una conexión a la red de aire comprimido instalado en la planta de producción de EDECA, S. A. Se requieren presiones de 300 a 500 kilopascal (3 – 5 bar) para que la bomba realice las labores de enfriamiento eficientemente. Las conexiones bomba – extrusor/coextrusor/calandra son de cobre y la tubería es de tipo flexible de polímero, ambos elementos son incluidos con la máquina.

Figura 60. **Bomba de agua**



Fuente: MEAF. *Manual de operación 75-H34*. p. 15.

3.2.2.6. **Panel de control de la maquinaria**

Al igual que en el caso del sistema de suministro, el panel de control de la maquinaria representa el punto neurálgico de la máquina extrusora MEAF 75-H34. Con excepción de la alimentación de materia prima, graduación de escala Vernier de rodillos de la calandra, separación de cuchillas de corte y cambio de rodillo de embobinado; todas las tareas y funciones de la máquina extrusora son operadas y controladas desde este punto.

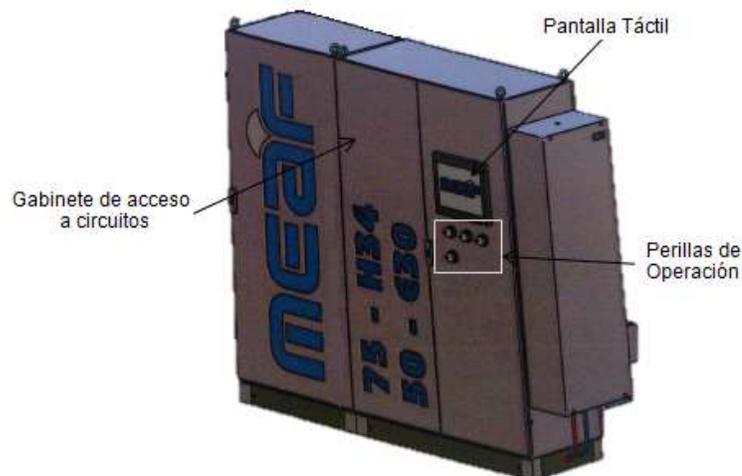
En la figura 61 se puede observar el panel de control con el que cuenta la máquina extrusora.

Sin operar el software de la máquina, el panel de control permite, físicamente, cinco funciones: 1. Control de velocidad de operación, 2. Control de salida de material extruido, 3. Paro de emergencia completo de la maquinaria, 4. Bloqueo de seguridad de perillas y pantalla táctil y, 5. Acceso a tableros de circuitos integrados, PLC, CPU, pantalla táctil, protectores de sobretensión y demás componentes eléctricos y electrónicos.

Exceptuando las perillas de velocidad de operación y salida de material extruido, toda la operación del resto de componentes queda limitada al uso conjunto de la pantalla táctil de 15 pulgadas, software y PLC de la máquina.

Adicionalmente, el panel de control permite dos conexiones importantes: Ethernet y USB; la primera permite el monitoreo a distancia por parte de un administrador o del fabricante y la segunda permite la extracción digital de reportes de producción elaborados por la máquina.

Figura 61. **Panel de control de máquina extrusora y coextrusora**



Fuente: MEAF. *Manual de operación 75-H34*. p. 19.

3.2.2.7. Software y sensores

Tomando en cuenta la capacidad de 1 GB de RAM del PLC (*Programmable Logic Controller*) y por la naturaleza de las tareas a controlar es suficiente la implementación de un solo tipo de software de control. Para la aplicación, la máquina extrusora viene integrada de fábrica con el software Extrusol v3.7, desarrollado y proveído por MEAF Machines B.V.

La figura 62 ilustra la interfaz del software desplegada en la pantalla táctil del panel de control de la extrusora; el cual se divide en cuatro partes básicas: área permanente (parte superior), área de acción directa (parte lateral izquierda), cambios de páginas (parte inferior) y área de trabajo (parte central).

Figura 62. Interfaz del software Extrusol v3.7



Fuente: MEAF. *Manual de operación Extrusol*. p. 4.

El área de trabajo es donde se despliegan los menús de control para: vista y edición de temperaturas de trabajo (extrusor y coextrusor), establecimiento de parámetros límites de temperaturas (extrusor y coextrusor), programador de mantenimiento, programador de calentamiento de máquina, control de velocidad y torque de rodillos (calandra, estación de corte y estación de embobinado), parámetros de operación de bomba de mezcla, gráficas de valores históricos de parámetros, gráficas y parámetros de operación de motores (extrusor y coextrusor), sincronización de encendido, calculador, configuración, autodiagnóstico, intervalos de mantenimiento, almacenamiento / carga / descarga de información, historial y administración de alarmas, otros componentes y recetas.

Por motivos de seguridad, el software tiene capacidad de establecer usuarios por nivel jerárquico siendo estos: operativo, supervisor y administrador. El acceso a determinadas pantallas del menú depende del nivel jerárquico asignado al usuario.

En relación a los sensores, la máquina extrusora viene provista de termocuplas para todos los sectores de la extrusora y coextrusora, sensores de torque para los rodillos de calandra, estación de corte y estación de embobinado, sensores de presión para puntos de entrada y salida de material (bomba de mezcla y filtros), entre otros. Todos los sensores son conectados directamente al PLC de la máquina y, en contraste con los valores de operación predeterminados por el usuario de mayor nivel jerárquico, puede dar una alarma al detectar anomalías en la magnitud de algún parámetro.

Los equipos complementarios, tales como: bomba de agua, triturador, torres de enfriamiento, *chillers*, alimentadores y dosificadores, deben de ser encendidos y operados independientemente del software Extrusol v3.7.

3.2.3. Equipo complementario

La rectificación en el ancho requerido de la tela extruida genera dos extremos de tela que no pueden ser aprovechados en el embobinado de la misma. Por esta causa, es necesaria la implementación de una máquina trituradora para moler, transportar y almacenar este material para su uso posterior como material de reproceso.

Como se ejemplifica en la figura 63, los extremos de la tela recién cortada se introducen en el interior de la cámara de molido por medio de dos brazos mecánicos. Cada uno de los extremos es molido por acción de una serie de cuchillas fijas y móviles; posteriormente, el material molido cae hacia una cámara de descarga, en donde un soplador lo conduce, por una tubería, hacia un contenedor. Cuando el contenedor está lleno debe trasladarse al área de molino para que su contenido sea mezclado con material virgen, esperando ser introducido nuevamente, al sistema de suministro para su reproceso.

Otra de las necesidades previamente descritas es la de un sistema de agua de enfriamiento para el extrusor – coextrusor y calandra. Dada la adquisición de una bomba de agua, que provea de energía al sistema de agua de enfriamiento, deben de existir dos equipos independientes que lleven a cabo la tarea de transferencia de calor del agua de refrigeración.

Cabe mencionar que EDECA, S. A., ya contaba con el equipo para la transferencia de calor del agua de enfriamiento. Dicho equipo operaba exclusivamente para la única extrusora con la que contaba la empresa y la capacidad de enfriamiento de agua, estaba previamente diseñada para poder soportar una segunda conexión de un equipo adicional.

Para el enfriamiento de la extrusora y coextrusora es empleada una torre de enfriamiento marca SIUS, modelo FT-100 (véase figura 63). En el caso del enfriamiento de los rodillos de la calandra es empleado un *chiller*, marca McQuay, modelo MAC100C (véase figura 63).

También puede mencionarse como equipo adicional, un polipasto, necesario para la descarga manual de las bobinas de telas de polipropileno y poliestireno. Podría considerarse al sistema de suministro como un equipo complementario de la línea de producción por extrusión.

Figura 63. **Equipo complementario**

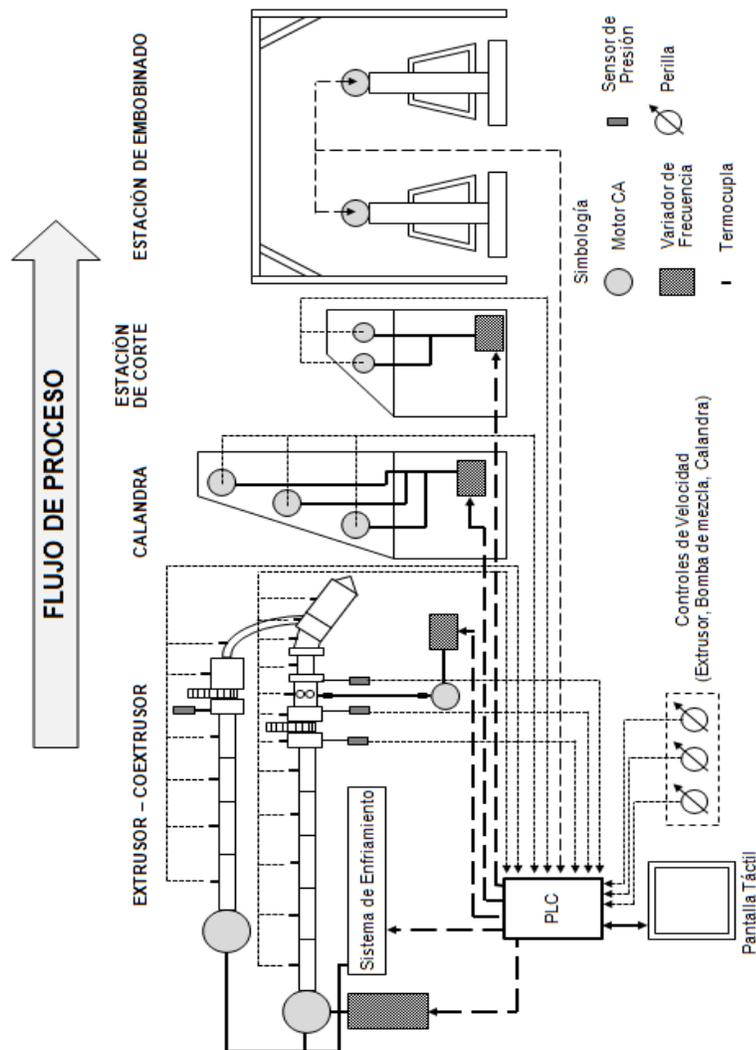


Fuente: MEAF. *Manual de operación 75-H34*. p. 25.

3.2.4. Automatización de la línea de producción

En la figura 64 se representa gráficamente la configuración de la nueva línea de producción por extrusión de EDECA, S. A. También se detalla el flujo del proceso de extrusión y componentes de automatización.

Figura 64. Diagrama de automatización de la línea de producción



Fuente: elaboración propia, con programa SketchBook Pro.

3.2.5. Nivelación del equipo

En algunas máquinas extrusoras, el nivel de inclinación contribuye al proceso de extrusión y a una mayor salida de material extruido. Sin embargo, el nivel de inclinación en la máquina extrusora MEAF 75-H34 y 50-E30, no es deseable, por lo que la máquina debe estar perfectamente nivelada.

La nivelación debe ser tanto en relación con la horizontal como con los componentes de la línea de producción (extrusora, calandra, estación de corte y estación de embobinado). Para efectos de nivelación, todos los componentes, en la parte inferior, vienen dotados de pernos para ajuste de nivelación. Dicha nivelación, se debe de corroborar con un nivel. En la alineación con los componentes, la calandra y estación de corte, están equipadas con un sistema de carriles, los cuales permiten una perfecta alineación con la extrusora y estación de embobinado.

3.2.6. Requerimiento del lugar de instalación

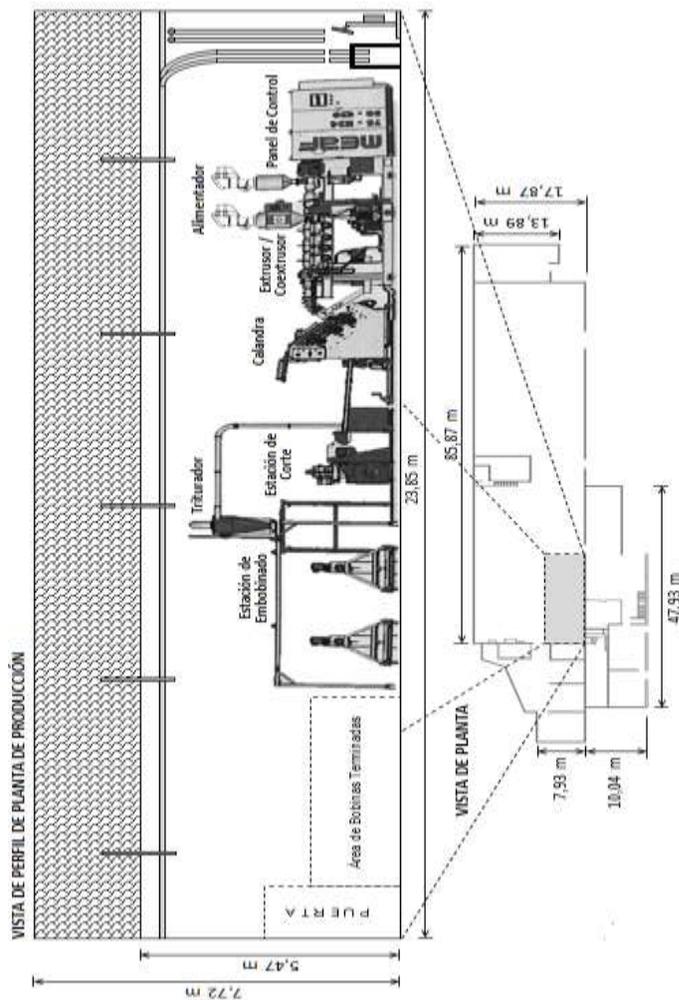
El lugar de instalación debe de ser cuidadosamente seleccionado con bases en: necesidad de libre acceso a todas las partes de la máquina, ambiente seco (poca humedad), estrictamente bajo techo (no intemperie), libre de polvo, libre de goteras, con ventilación natural o forzada, iluminación adecuada y altura del techo de por lo menos 4 metros de alto.

La máquina extrusora no requiere ningún tipo de cimentación para su instalación; sin embargo, si exige una superficie lo más regular posible.

3.2.7. Disposición del equipo dentro de la planta de producción

La figura 65 muestra la instalación y configuración de los componentes de la línea de producción por extrusión, dentro de la planta de producción de EDECA, S. A.

Figura 65. Plano de línea de producción



Fuente: elaboración propia, con programa SketchBook Pro.

3.3. Manejo de materia prima

Según lo expuesto en el presente capítulo, existen tres puntos principales de ingreso de materia prima al sistema de suministro: 1. Sistema de carga de material para silos externos (material virgen), 2. Área de Molino (material de reproceso y mezcla de material virgen y reproceso) y 3. Contenedores industriales (*master batch* y aditivos). En el primer punto, el ingreso del material es de forma inducida y, en los otros dos, es de forma de aspiración.

A pesar del nivel de tecnología del sistema de suministro, las cargas de materia prima en los silos externos y en los contenedores para aspirado, son de forma manual, significando que, uno o varios operarios, deben de cortar un saco de materia prima y verterlo en una tolva de carga o en un contenedor industrial.

Las actividades de carga de materia prima en los silos externos es responsabilidad de los operarios de Bodega de materia prima, mientras que, la carga de materia prima en el área de Molino es responsabilidad del operador y auxiliar de Molino.

Previo al diseño e implementación del presente proyecto, la tarea de dosificación y mezcla consistía en verter x cantidad de sacos de material virgen con y sacos de material de reproceso y, de ser necesario, se le añadía w y z kilogramos de colorantes y/o aditivos, respectivamente. Dichas cantidades eran vertidas en la tolva de una máquina mezcladora y posteriormente eran procesadas. Cabe señalar que este proceso era poco preciso en cuanto a su dosificación. Con el nuevo sistema de suministro, esta es una tarea automatizada que solo requiere de una constante supervisión.

Un aspecto importantísimo dentro de producción y descuido previamente en EDECA, S. A., es el de la inspección de materia prima. En bodega por falta de personal, equipo y conocimiento, la materia prima no era inspeccionada a su arribo y, en el área de extrusión, por motivos de cargas de trabajo, programación de producción y urgencia de pedidos, la materia prima tampoco era inspeccionada antes de su procesamiento.

Con una capacidad de almacenamiento de 133 metros cúbicos, por tipo de materia prima, el nuevo sistema de suministro permite tiempo suficiente para inspeccionar la materia prima ingresada, sin necesidad de suspender o interrumpir el proceso de producción de extrusión.

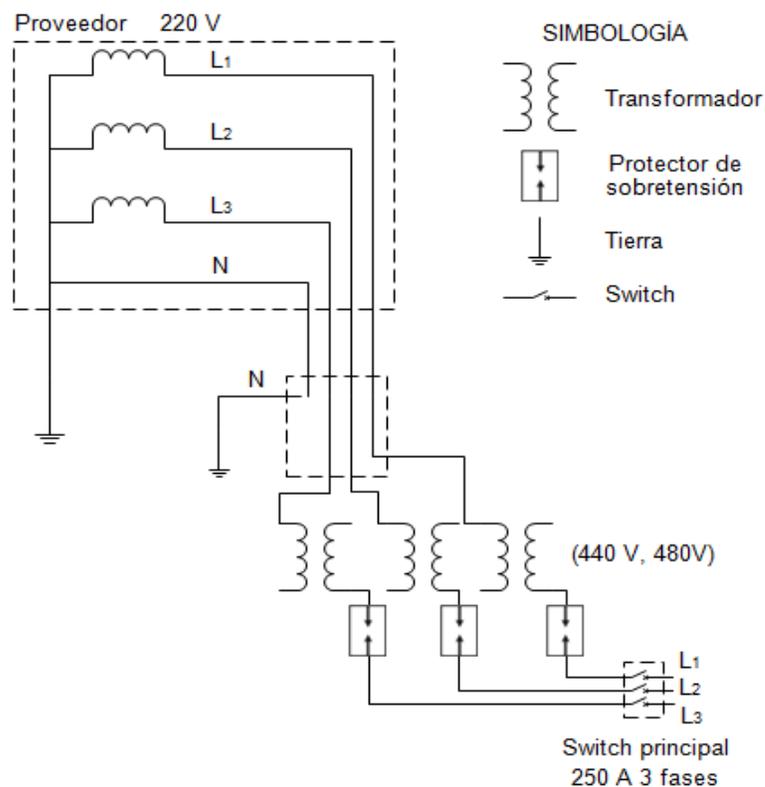
Con propósito de aprovechar todos los beneficios obtenidos del diseño del sistema de suministro, asegurar una debida inspección de la materia prima y garantizar la calidad en el producto final son recomendables las siguientes medidas:

- Crear dos puestos de auxiliares de sistema de suministro
- Crear un puesto de inspector de materia prima
- Diseñar pruebas cuantitativas y cualitativas para la materia prima
- Elaborar una metodología de muestreo aleatorio y criterios de aceptación o rechazo de lotes
- Elaborar métodos operativos, anexos de control y registros de control del sistema de suministro e inspección de materia prima
- Diseñar un sistema de capacitación para operación del sistema de suministro e inspección de materia prima

3.4. Sistema eléctrico

Para la operación de la máquina extrusora, bombas de vacío del sistema de suministro y demás equipo, se necesita una nueva conexión eléctrica, (como la ejemplificada en la figura 66). La contratación de este nuevo servicio deberá de ser gestionada ante la Empresa Eléctrica de Guatemala, S. A. (EEGSA), debiéndose considerar el requisito indispensable de transformar la potencia del proveedor de 220 a 480 voltios, el cual es valor nominal de potencia sugerido por los proveedores de los equipos.

Figura 66. Sistema eléctrico



Fuente: elaboración propia, con programa Visio 2010.

El sistema de suministro será conectado a la antigua red de la planta de producción de EDECA, S. A. Todo el equipo del sistema de suministro opera entre los 24 a 110 VAC (Voltaje en Corriente Alterna por sus siglas en inglés). La red antigua de la planta de producción es de semejante diseño a la ejemplificada previamente, con la diferencia de una salida unificada de 440 voltios.

3.5. Sistema de agua de enfriamiento

Como se había indicado anteriormente, el Extrusor - Coextrusor y la Calandra, tienen necesidad de agua de enfriamiento, tanto para elementos de la maquinaria como para enfriamiento de la tela extruida.

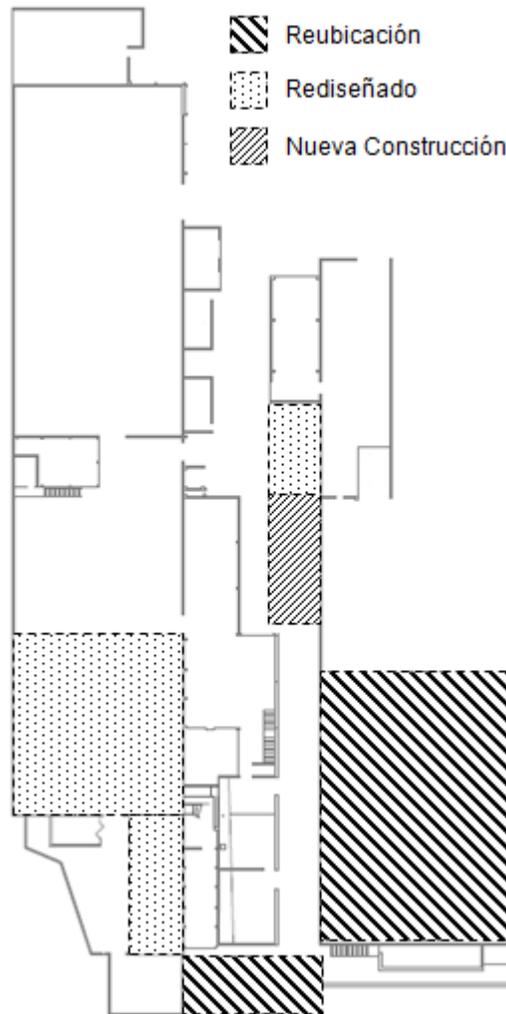
En la figura 67 se ilustra el sistema de agua de enfriamiento usado por la máquina. Los intercambiadores de calor corresponden a la torre de enfriamiento y *chiller*, el primero, destinado al enfriamiento de extrusora MEAF 75-H34 / 50-E30 y extrusora 90+50 MM VBM y, el segundo, empleado exclusivamente para el enfriamiento de los rodillos de la calandra.

El aire comprimido que se necesita para el funcionamiento del sistema es proveído por la red neumática de la planta de producción. Todos los componentes empleados en el sistema de agua de enfriamiento, con excepción de la bomba de agua, ya se encontraban en operación al momento del presente trabajo.

Los parámetros de mayor importancia para el sistema de agua de enfriamiento son el de proveer agua a temperatura de entre 10 a 12 grados Celsius y presión entre 300 a 500 kilopascal (3-5 bar).

El rediseño de instalaciones (véase figura 68), fue elaborado tomando en cuenta el montaje y operación de: sistema de carga de materia prima para silos externos, tubería, filtros, bombas de vacío, aspirado de material de reproceso (Polipropileno y Poliestireno), máquina extrusora y demás componentes de la línea de producción.

Figura 68. **Ilustración de modificaciones realizadas**



Fuente: elaboración propia, con programa SketchBook Pro.

Finalmente, es necesaria una cimentación de 10,16 metros de largo por 4,51 metros de ancho por 0,20 metros de profundidad, con sus respectivos anclajes para los silos externos.

Cada una de las modificaciones realizadas a la actual planta de producción, incluye la correspondiente extensión y/o instalación de sistemas de iluminación, ventilación, seguridad, eléctricos, neumáticos, agua, entre otros.

3.7. Montaje del equipo

Como un proceso por el cual se emplaza cada pieza en su posición definitiva dentro de un sistema o estructura, el montaje del equipo estará subdividido en varias fases: análisis del entorno físico, presupuesto, requerimientos y restricciones de obra, planificación, diseño preliminar del proyecto de montaje del sistema de suministro y línea de producción, evaluación, análisis de recursos humanos, análisis de recursos técnicos, diseño definitivo del proyecto de montaje del sistema de suministro y línea de producción, despacho de equipos, ejecución y verificación de calidad.

Para el montaje del equipo, se cuenta con tres beneficios importantes:

- Todos los equipos que se adquirirán para el sistema de suministro y línea de producción, cuentan con sus propios elementos de fijación y anclaje.
- Los equipos no requieren tareas de montaje complejas (con excepción de los silos externos).
- Asesoría en montaje, calibración y primer arranque por parte de los proveedores de los equipos.

En el montaje de los silos y tubería, es necesaria la contratación de un servicio tercerizado de grúa para la instalación de los anillos superiores y techo de los silos.

El montaje de los alimentadores, filtros, bombas de vacío y dosificadores estará a cargo del personal de mantenimiento de EDECA, S. A., con la asesoría de un técnico especializado de la empresa Wittmann Battenfeld. El cableado, conexiones, montaje y programación de consolas de control, servidores de línea, controladores BUS y demás equipo de automatización, está a cargo del mismo técnico especializado.

La máquina extrusora requiere únicamente del anclaje y nivelación, actividades que están a cargo del personal de mantenimiento de EDECA, S. A. Las labores posteriores de conexiones con sistema de agua de enfriamiento, sistema eléctrico, sistema de suministro y preparación de la maquinaria, está a cargo de dos técnicos especializados de la empresa MEAF.

Todas las demás labores de montaje de equipos complementarios, están a cargo del personal de mantenimiento de EDECA, S. A. Las actividades de montaje del sistema de suministro y línea de producción, deben ser concluidas paralelamente, persiguiendo una preparación y primer arranque de equipos, simultáneamente.

El montaje del equipo fue programado para comenzar el 02 de febrero de 2013 y finalizar el 15 de febrero de 2013.

4. OPERACIÓN DEL SISTEMA DE SUMINISTRO Y LÍNEA DE PRODUCCIÓN AUTOMATIZADA

4.1. Descripción del funcionamiento de sistemas

En el presente subcapítulo se detalla en forma general, la operación del sistema de suministro y línea de producción automatizados de la planta de producción de EDECA, S. A.

4.1.1. Sistema de suministro automatizado

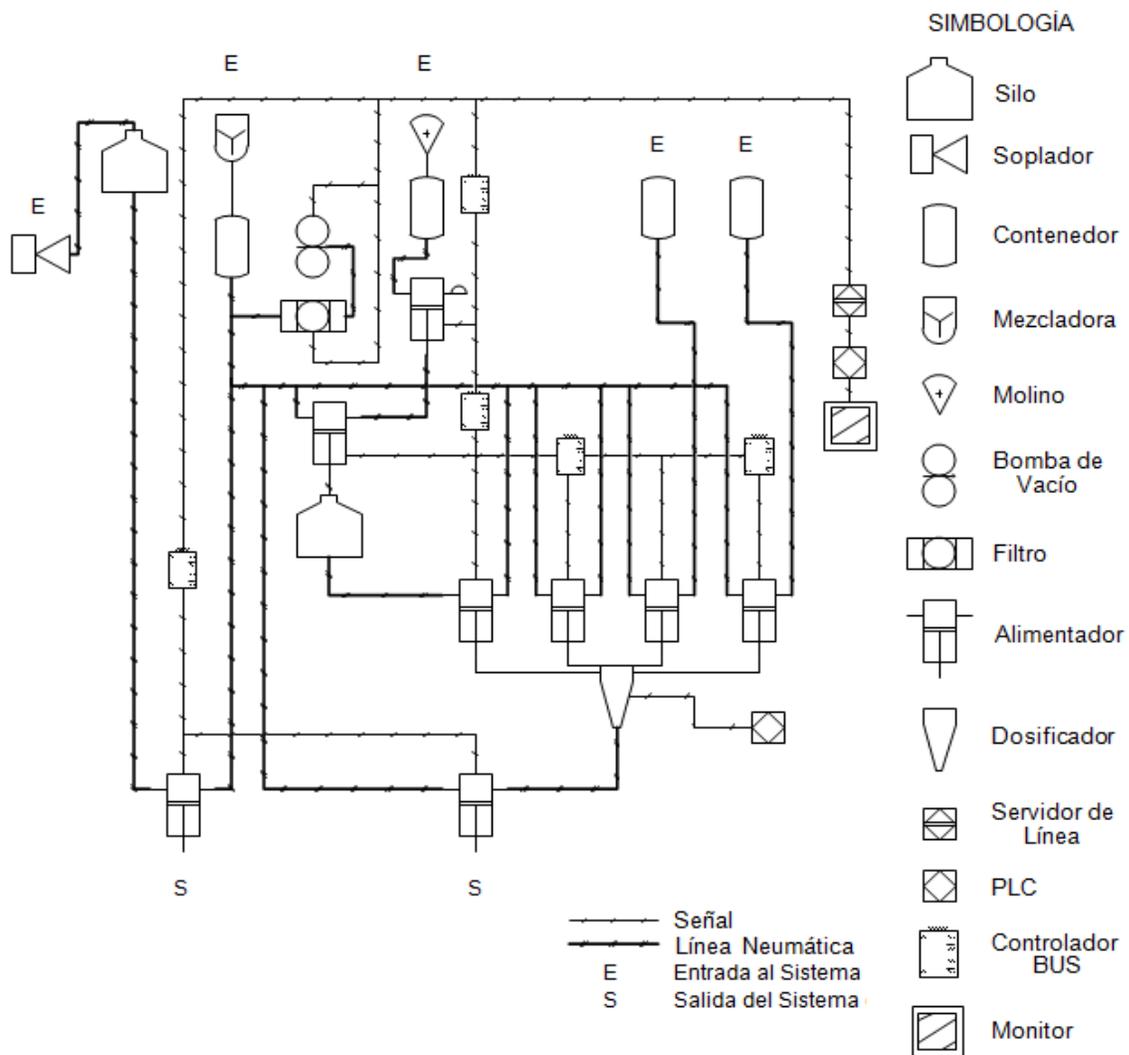
El sistema de suministro de materia prima instalado en la planta de producción de EDECA, S. A., tiene dos ramas; una para polipropileno y una para poliestireno. Para cada rama, como se podrá observar en la figura 69, existen cinco entradas de materia prima; tres de estas son obligatorias y dos opcionales. Las obligatorias son para material virgen, material de reproceso y mezcla de material virgen y material de reproceso, mientras que, las opcionales, son para colorantes y aditivos.

En el contexto del proceso de suministro de materia prima, la carga, en tolvas o contenedores es la única operación realizada manualmente por un operario. Es hasta el cambio de bobina en donde, nuevamente, un operario interviene.

El sistema de suministro tiene, también, dos salidas por rama que corresponden a los dos alimentadores instalados encima de las tolvas de carga del extrusor y coextrusor, respectivamente.

Sistemáticamente, el sistema de suministro opera en forma de cascada inversa, en el cual, los componentes más próximos a la salida del sistema, activan a los componentes intermedios y componentes próximos a la entrada del sistema. El ritmo de activación de los componentes de salida está en función de la velocidad de producción de la línea de extrusión.

Figura 69. Diagrama de funcionamiento del sistema de suministro



Fuente: elaboración propia, con programa Visio 2010.

En términos de operación, el alimentador de salida del coextrusor está conectado a líneas con el silo externo y mezcla de material virgen y material de reproceso. A la detección de niveles bajos de material, por parte del sensor de proximidad del alimentador, se solicita a y b por ciento de ambos materiales.

La conexión del alimentador de salida del extrusor principal es considerablemente más compleja, esta conexión es con líneas de mezcla de material virgen y material de reproceso y dosificador. El dosificador por su parte, tiene conexiones a líneas de material de reproceso, mezcla de material de reproceso y material virgen, colorante y aditivos. Nuevamente, a la detección de niveles bajos de material, se solicita c y d por ciento de material mezclado y material dosificado.

Desde el punto de vista de configuración y red, todas las operaciones son controladas por dos softwares independientes. Las señales de activación y desactivación, operación y encendido de componentes, son controlados por el software central; mientras que, el proceso de mezcla y dosificación, es controlado por el software del dosificador. Para asegurar una precisión en la receta de la tela a producir, el equipo de automatización permite la opción de programar las cantidades despachadas por los alimentadores que no son controlados por el software de dosificación.

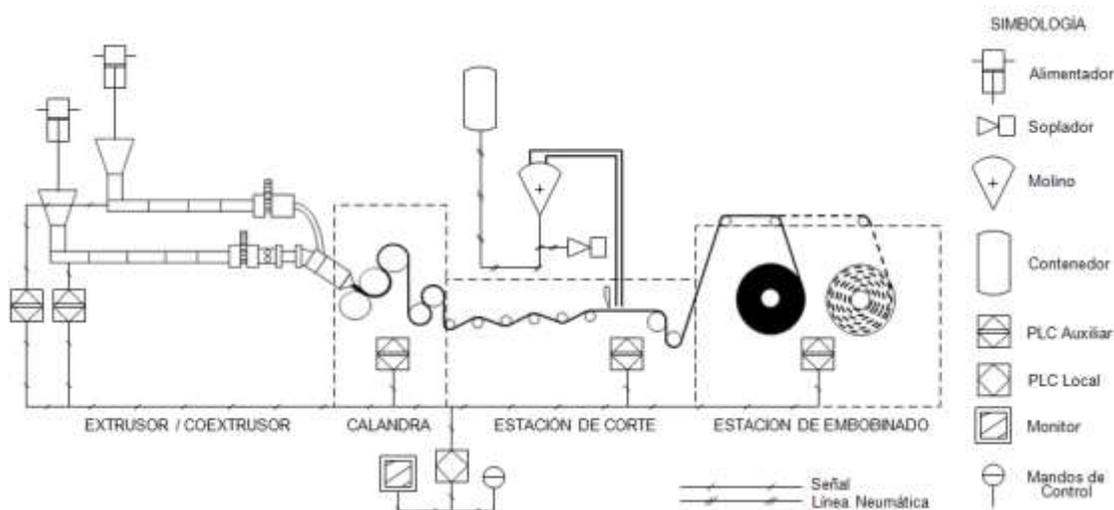
Una serie de dos componentes (dosificador, alimentador, bomba de vacío o filtro) es controlada por un controlador BUS; a su vez, una serie de estos controladores es controlada por un servidor de línea. Por tratarse de dos líneas de suministro son necesarios dos servidores de línea, mismos que son conectados a un PLC / IPC, desde donde el operario, mediante una pantalla táctil, puede controlar todo el sistema de suministro.

4.1.2. Línea de extrusión automatizada

En donde concluye el sistema de suministro (alimentador) comienza la configuración de la línea de producción por extrusión. El extrusor principal procesa una mezcla de w kilogramos de material virgen y material de reproceso y x kilogramos de material dosificado; el coextrusor, por su parte, procesa y kilogramos de material virgen y z kilogramos de mezcla de material virgen y material de reproceso.

Dentro del cañón, los tornillos de extrusión y coextrusión en combinación con un sistema de calefacción y un diseño especial, se encargan de aportar temperatura, presión y flujo al proceso de extrusión. Como se observa en la figura 70, los productos de las dos líneas (extrusora y coextrusora), se mezclan, dosifican y moldean previo a su enfriamiento en la Calandra.

Figura 70. Diagrama de funcionamiento de la línea de producción



Fuente: elaboración propia, con programa Visio 2010.

La calandra cumple dos funciones importantes: enfriar y calibrar el espesor de la tela recién extruida. El gradiente de enfriamiento debe de ser alrededor de los -140 a - 170 grados Celsius; un pobre enfriamiento puede ocasionar un corte y embobinado defectuosos y un sobre enfriamiento, la cristalización de la tela. Una defectuosa calibración de la tela puede provocar desperdicio de material, problemas de embobinado y problemas posteriores de termoformado.

Cuando se han cumplido las operaciones de enfriamiento y calibración se debe de tensar la tela en el sistema de rodillos de tensión, previo a la rectificación por corte del ancho de la tela. Completada la tensión se procede al corte de la tela por medio de dos cuchillas, las cuales están separadas a una distancia que concuerda con el ancho requerido de la tela.

Del proceso de corte surgen tres porciones de tela: dos tiras laterales y la tela rectificada. La tela rectificada sube hacia los rodillos superiores de la estación de embobinado y baja, posteriormente, al rodillo de embobinado que esté operando; el otro rodillo de embobinado, será activado al momento de completarse una bobina y hacer el cambio respectivo, permitiendo simultáneamente la finalización y comienzo de un nuevo embobinado.

Las tiras laterales son conducidas a una trituradora para su molido; y posteriormente, un soplador se encarga de enviar el material molido a un contenedor. De donde se traslada al área de mezclado con material virgen para su posterior reproceso.

La bobina completa se retira del rodillo, manualmente, se pesa y etiqueta de acuerdo a los procedimientos establecidos de control de producto terminado.

Sistemáticamente, la operación de la máquina es controlada por un único software. Cada una de las partes de la máquina (extrusor, coextrusor, calandra, estación de corte y estación de embobinado) cuenta con un PLC auxiliar. La serie de cinco PLC auxiliares (véase figura 70), está conectada al PLC local o central y este a su vez se conecta a las interfaces de control del usuario, que para el caso de la extrusora MEAF son la pantalla táctil y las perillas de control.

Las operaciones de circulación de agua de enfriamiento, triturado de tiras laterales, cambio de rodillo embobinador y descarga de bobina completa son controladas parcialmente, por el software de la máquina. Es necesario que el operario o auxiliar de extrusión, complete la operación, supervisión y control de dichas tareas.

Por el nivel de automatización del sistema de suministro y línea de producción, generalmente, las tareas o atribuciones tanto del operario como del auxiliar de extrusión se limitan a la programación de parámetros de operación, supervisión, desmontaje de bobinas y registro del producto terminado.

4.2. Componentes

Los componentes que integran el sistema de suministro y la línea de producción automatizados son los que se identifican a continuación, exceptuándose todos los elementos de sujeción (tornillería).

4.2.1. Sistema de suministro automatizado

El sistema de suministro posee dos ramas; una rama para polipropileno y una para poliestireno y se extiende hacia dos máquinas extrusoras; extrusora MEAF 90+50 MM VBM y extrusora MEAF 75-H34 / 50-E30.

El sistema de suministro está integrado por: dos silos externos, dos silos internos, tres bombas de vacío, tres filtros, dieciséis alimentadores, dos dosificadores, un sistema de carga de materia prima para silos externos, doce controladores BUS, dos servidores de línea, una consola IPC/PLC, cables BUS, cables de alimentación, ciento veinticinco tubos de aleación de aluminio, acoples de tubería, sujeciones de tubería, tubería flexible, ocho contenedores industriales, soportes para montaje, tres softwares independientes (inventariado de materia prima de silos, dosificación y central), dos mezcladoras y un molino.

4.2.2. Línea de extrusión automatizada

La línea de extrusión automatizada está integrada por: un extrusor, un coextrusor, una calandra, una estación de corte, una estación de embobinado, una trituradora, un panel / gabinete de control, dos contenedores industriales, tres bombas de agua, un chiller, una torre de enfriamiento, tres bombas de agua de enfriamiento, un software de control, motores eléctricos varios, transmisiones, bombas de mezcla, dados, PLC's individuales, sistemas de seguridad y polipasto de descarga de bobinas completas.

4.3. Parámetros de operación del sistema de suministro

Parámetro de operación es el valor puntual o rango de valores permisibles de la magnitud de las variables que influyen en un proceso. Un proceso óptimo es aquel que opera dentro de los límites establecidos.

Con excepción de las operaciones de mezcla y dosificación realizadas por el dosificador; el sistema de suministro por sí mismo, no lleva a cabo ninguna función u operación donde se transforme cualquier propiedad de la materia prima. Siendo su principal función la de trasladar, sistemáticamente, la materia prima.

Operativamente, el único parámetro a considerar es el de la supervisión del funcionamiento de todos los componentes de una rama, la cual se realiza desde el IPC del sistema de suministro.

Sistemáticamente, el parámetro a cumplir es la formulación de las cantidades en kilogramos o porcentajes de materia prima que componen la fórmula de la tela a producir. Dicha fórmula es administrada, únicamente, por el puesto jerárquico más alto de usuarios creados en el sistema.

Por motivos de confidencialidad, ninguna de las fórmulas es expuesta en el presente trabajo. Sin embargo, los principios generales de las mismas son:

$$F = a \% \text{ m. virgen} + b \% \text{ m. reproceso} + c \% \text{ colorante} + d \% \text{ aditivo o}$$
$$F = w \text{ kgs m. virgen} + x \text{ kgs m. reproceso} + y \text{ kgs colorante} + z \text{ kgs aditivo}$$

4.4. Parámetros de operación de línea de extrusión

Distinto al sistema de suministro, la línea de producción por extrusión, mediante fuerzas diversas, puede transformar una o varias propiedades de la materia prima. Dichas fuerzas deben de ser reguladas en magnitud, con el fin de contrarrestar los impactos que puedan tener en el producto final.

Con excepción de los valores nominales de temperaturas de operación, que serán expuestas posteriormente, en la tabla XXI se muestran los parámetros de operación de la máquina extrusora MEAF 75-H34 / 50-E30.

Tabla XXI. **Parámetros de operación de la línea de extrusión**

Parámetro	Valor o Intervalo Permissible
Presión de Filtro	7,0 – 14,0 MPa
Presión de Entrada	3,0 MPa
Presión de Salida	Máximo 15,0 MPa (En función de la salida en kg/h de material)
Presión en Calandra	Máximo 10,0 MPa
Temperatura máxima de Agua de Enfriamiento	60 – 80 °C
Presión de Agua de Enfriamiento	400 – 800 kPa
Salida de Material	Polipropileno: Máx. 350 kg/h Poliestireno: Máx. 400 kg/h
Presión de Aceite	Máximo 16,6 MPa
Velocidad de Producción	Polipropileno: 4,39 – 41,67 m/min Poliestireno: 4,18 – 79,37 m/min
Torque de Rodillos	En función de la velocidad de producción

Fuente: MEAF. *Manual de operación 75-H34*. p. 14.

La magnitud del torque de todos los rodillos está en función de la velocidad de producción; aunque la máquina extrusora MEAF 75-H34 autorregula los valores del torque, estos pueden ser modificados.

Es indispensable observar y practicar la regla fundamental en operación de máquinas extrusoras: a espesor de telas gruesas, menor velocidad y a espesor de telas delgadas, mayor velocidad.

4.5. Especificaciones técnicas del equipo

Las especificaciones técnicas de un equipo están estrechamente ligadas a los parámetros y necesidades de producción, razón por la cual debe considerarse un análisis especial de los mismos.

4.5.1. Sistema de suministro automatizado

En la tabla XXII se resumen las especificaciones técnicas para el sistema de suministro de EDECA, S. A. Conviene aclarar que algunas especificaciones son propias de un equipo en particular y no del sistema general.

Tabla XXII. **Especificaciones técnicas del sistema de suministro**

Parámetro	Valor / Característica
Fuente de Alimentación	110 VAC
Fuente de Alimentación (Bombas de Vacío)	480 V
Software	3; eBOB 5.1, GRAVIMAX, M7.2
Interfaz	Táctil (IPC)
Presión de Vacío	-45 - -100 kPa
Presión Máxima (Alimentador)	1,7 MPa
Protocolo de Comunicación	CAN-BUS
Componentes Controlados	42

Continuación de la tabla XXII.

Entradas – Salidas	10 – 4; 5 – 2 por rama
Conexiones	Ethernet, USB, CPU y PDA
Capacidad de Almacenamiento	100 recetas máximo

Fuente: Wittmann Battenfeld. *Manual de operación FEEDMAX BS/6*. p. 3.

4.5.2. Línea de producción automatizada

En la tabla XXIII se resumen las especificaciones técnicas para la línea de producción de EDECA, S. A. Conviene aclarar que algunas especificaciones son propias de un componente en particular y no de la línea en general.

Tabla XXIII. **Especificaciones técnicas de la línea de producción**

Parámetro	Valor / Característica
Capacidad Máxima	Polipropileno: 350 kg/h Poliestireno: 400 kg/h
Ancho Máximo de Tela	0,8 m
Espesores de Tela	Polipropileno: 0,4 – 1,9 mm Poliestireno: 0,2 – 1,9 mm
Conexiones a	Agua de Enfriamiento, Aire Comprimido, Sistema de Suministro y Sistema Eléctrico
Tipos de Material	PS (GPPS, HIPS) y PP (PPH, Copolímero)
Aditivos	Colorantes y Aditivos (<i>Anti-static y Anti-blocking</i>)

Continuación de la tabla XXIII.

Software	Extrusol v3.7
Interfaz	Táctil y Mandos de Control
Número de Coextrusores	1
Largo	17 m (variable por guías)
Ancho	4 m
Alto	3 m
Peso	8 000 kgs aprox.
Estaciones Adicionales	3: calandra, corte y embobinado
Operarios Requeridos	2 (mínimo)

Fuente: MEAF. *Manual de operación 75-H34*. p. 14.

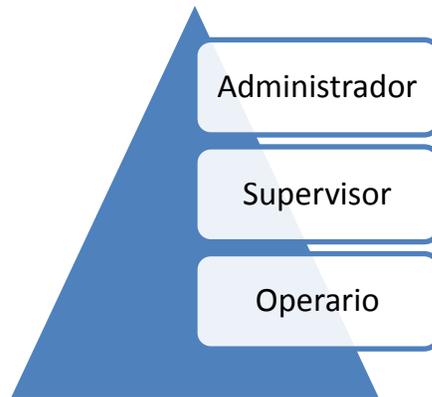
4.6. Regulaciones de seguridad

Dada la importancia del proceso de producción por extrusión, dentro de la industria de procesamiento de plásticos, se deben establecer varias regulaciones de seguridad, especialmente, en la dosificación, mezcla y extrusión.

Los cuatro softwares empleados (eBOB 5.1, GRAVIMAX, M7.2 y Extrusol v3.7) en el sistema de suministro y línea de producción, permiten el establecimiento de tres tipos de usuarios: operativo, supervisor y administrador (véase figura 71).

El nivel operativo tiene control sobre mandos básicos de operación; el supervisor, sobre alarmas, mantenimiento, fallas, reportes, configuraciones y a los mismos mandos que el operario, y, el administrador, tiene control ilimitado sobre todo el sistema.

Figura 71. **Jerarquía de los usuarios de los sistemas**



Fuente: elaboración propia, con programa Word 2010.

La creación de usuarios y carga, almacenamiento y edición de fórmulas de las telas es atribución única del administrador. El nivel jerárquico del administrador corresponde al de Gerente de Planta, Jefe de Producción y/o Ingeniero de Proceso.

4.7. Sistemas de seguridad

No obstante que el sistema de suministro no representa riesgo alguno de accidentes laborales para un operario, en caso de emergencia, todos los componentes del sistema de suministro (exceptuando el sistema de carga de materia prima de los silos externos) pueden ser apagados desde la consola central de control.

Contrariamente, la línea de producción sí representa riesgos y son susceptibles las heridas por quemaduras, abrasiones, cortes y aplastamiento. Son necesarias las implementaciones de medidas de seguridad industrial, especialmente, el uso de equipo de protección personal.

En la figura 72 a. se observan los botones y parada de emergencia de tirón de la línea de extrusión. Estos dispositivos están ubicados al costado del Panel de Control, Calandra, Estación de Corte y Estación de Embobinado.

En la figura 72 b y 72 c se ilustran los botones de paro de emergencia para el sistema de carga de materia prima (silos externos) y trituradora de tiras de rectificado, respectivamente. La activación de los botones de paro de emergencia anteriormente expuestos, no tienen ninguna incidencia en el sistema de suministro o línea de producción.

Posterior a una emergencia y a su respectiva gestión, específicamente para la línea de producción, debe de considerarse el tiempo de paro de la maquinaria. Si el tiempo de paro incidió en que la máquina perdiese sus valores de operación nominales, debe de atenderse las indicaciones y actividades para un nuevo arranque de la maquinaria.

En caso de emergencia en el sistema de carga de materia prima en los silos externos, si el período de paro excede 30 minutos, debe de encenderse el equipo y dejar que trabaje, sin carga, por lo menos 1 hora. En el sistema de suministro, la reactivación de los componentes puede ser inmediata.

Figura 72. **Botones de emergencia**



Fuente: EDECA, S. A.

4.8. **Consumo del equipo**

Toda máquina, independientemente de su operación o fin, necesita de sistemas auxiliares, tales como: aceite, agua de enfriamiento, calefacción, electricidad, aire comprimido, entre otros. Para garantizar un proceso óptimo y un cuidado apropiado de los equipos se exponen los requerimientos a satisfacer por los sistemas auxiliares.

4.8.1. Electricidad

En la tabla XXIV pueden observarse los parámetros de consumo eléctrico del equipo. El consumo eléctrico expuesto corresponde, exclusivamente, a la línea de producción.

Tabla XXIV. Consumo de electricidad

	Valor o Intervalo
Fuente de Alimentación	400 V
Frecuencia	50 Hz
Consumo de Calefactores	69 kW
Consumo de Motores	131 kW
Total de Conexiones	200 kW
Corriente Eléctrica	290 A
Consumo de Electricidad Promedio	90 kW aprox.
Consumo de Sistema de Agua de Enfriamiento	60 kW

Fuente: MEAF. *Manual de operación 75-H34*. p. 14.

4.8.2. Agua de enfriamiento

En la tabla XXV pueden observarse los parámetros de consumo de agua de enfriamiento del equipo. El consumo de agua de enfriamiento expuesto corresponde, exclusivamente, a la línea de producción.

Tabla XXV. **Consumo de agua de enfriamiento**

	Valor o Intervalo
Temperatura de Agua para Producción	10 – 12 °C
Presión del Agua	300 – 500 kPa
Uso de Agua	10 m ³ /h aprox.
Calor a retirar	60 kW
Capacidad requerida de Chiller / Torre	60 kW
Conexión de tuberías (Diámetro)	2,54 – 5,08 cm (1" - 2")
Observaciones	Libre de sólidos en suspensión y de minerales

Fuente: MEAF. *Manual de operación 75-H34*. p. 14.

4.8.3. **Aire comprimido**

En la tabla XXVI pueden observarse los parámetros de consumo de aire comprimido del equipo. El consumo de aire comprimido expuesto corresponde, exclusivamente, a la línea de producción.

Tabla XXVI. **Consumo de aire comprimido**

	Valor o Intervalo
Uso de Aire Comprimido	2,0 – 3,0 m ³ /h
Presión de Aire	600 – 800 kPa

Fuente: MEAF. *Manual de operación 75-H34*. p. 14.

4.9. Cuidados previo al arranque de maquinaria

Con propósitos de prolongar la vida útil del equipo, asegurar un proceso óptimo de producción y seguridad industrial, se exponen algunas directrices previo al arranque y operación normal de la línea de producción.

4.9.1. Preparación del dado

La preparación del dado, que es la parte de la máquina extrusora en donde se da el proceso de moldeado, previo al arranque de la línea de extrusión, consiste en su calentamiento hasta la temperatura correspondiente del polímero a extruir (polipropileno o poliestireno).

Al igual que el dado, todos los elementos pertenecientes al sistema de calefacción deben de ser pre calentados previo al arranque de la maquinaria. Las temperaturas de calentamiento son las mismas que las temperaturas en producción.

La extrusora MEAF 75-H34 / 50-E30, demora entre 30 a 45 minutos para alcanzar los valores de temperaturas de operación desde 0 grados Celsius; sin embargo, es necesario un período mínimo de 2 horas de calentamiento. La máquina puede ser programada para no operar si no se ha cumplido con dicho período.

4.9.2. Preajuste de espesor de tela

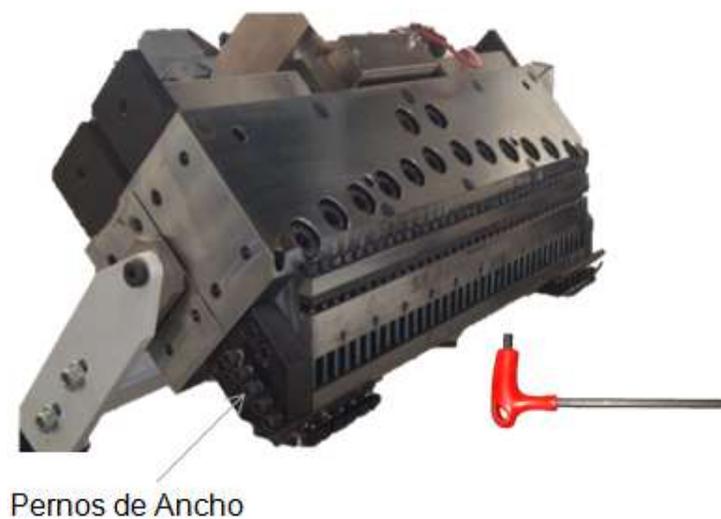
Dependiendo de las especificaciones de la tela programada, el espesor debe ser pre ajustado, previo al arranque de la máquina. Este pre ajuste se lleva a cabo mediante el ajuste del labio del dado.

4.9.3. Preajuste de ancho de tela

Por lo general, se programan telas, de ambos materiales, con anchos de entre 45 a 60 centímetros; sin embargo, puede darse el caso en que una tela requiera un ancho distinto.

Para ajustar el ancho de las telas, similar a como se ajusta el espesor de la tela, debe ajustarse los pernos de ancho en el dado de la máquina (véase figura 74). Estos pernos mueven internamente una platina en el dado, lo cual proporciona un ancho requerido.

Figura 74. **Preajuste de ancho**



Fuente: EDECA, S. A. editado con programa SketchBook Pro.

El operario requerirá de una llave Allen para efectuar la operación de apretar o aflojar cada perno, hasta lograr el ancho deseado. La máquina tiene capacidad de producción de tela con anchos de hasta 80 centímetros.

La secuencia de operación para el preajuste de ancho de tela, es:

- Aflojar los pernos de sellado de las platinas.
- Apretar o aflojar los pernos y platina a la posición deseada.
- Asegurar la barra de cobre de salida y sellador Gylon en la posición deseada con las platinas.
- Apretar suavemente los pernos para cerrar el labio del dado con la barra de cobre y sellados Gylon.
- Asegurarse que todos los pernos estén apretados con el mismo torque.

4.9.4. Temperatura en producción

La temperatura en producción es el parámetro de proceso más importante dentro del proceso de extrusión. Coincide con las temperaturas a las que se debe de llevar a cabo las tareas de pre calentamiento de la maquinaria. Las temperaturas de operación en los sectores (*barrels*) y demás zonas de la máquina, dependen de dos variables: tipo de material a extruir y salida en kilogramos por hora de material extruido.

El operario de extrusión debe de cumplir, estrictamente, los parámetros observados en la tabla XXVII; de igual forma, el supervisor y jefe de producción, deben velar por el uso de dichos parámetros en el proceso de extrusión.

Tabla XXVII. **Valores de temperaturas de operación**

Zona	Descripción	POLIPROPILENO	POLIESTIRENO
1	Entrada Extrusor Principal	190 – 220 °C	180 – 210 °C
2	Extrusor Sector 2	200 – 230 °C	190 – 220 °C
3	Extrusor Sector 3	220 – 230 °C	190 – 220 °C
4	Extrusor Sector 4	220 – 230 °C	190 – 230 °C
5	Extrusor Sector 5	220 – 230 °C	190 – 230 °C
6	Filtro Extrusor	220 – 230 °C	190 – 210 °C
7	Bomba de Mezcla	220 – 230 °C	190 - 200 °C
8	Mezclado Estático	220 – 230 °C	190 - 200 °C
9	Angulo de 45°	220 – 230 °C	190 - 200 °C
10	Bloque Alimentador	220 – 230 °C	190 - 200 °C
11	Conector al Dado	220 – 230 °C	190 - 200 °C
12	Dado Izquierdo 1	220 – 230 °C	190 - 200 °C
13	Dado Izquierdo 2	220 – 230 °C	190 - 200 °C
14	Dado Medio	220 – 230 °C	190 - 200 °C
15	Dado Derecho 2	220 – 230 °C	190 - 200 °C
16	Dado Derecho 1	220 – 230 °C	190 - 200 °C
17	Entrada Coextrusor	190 – 220 °C	180 – 210 °C
18	Coextrusor Sector 2	200 – 230 °C	190 – 220 °C
19	Coextrusor Sector 3	220 – 230 °C	190 – 230 °C
20	Coextrusor Sector 4	220 – 230 °C	190 – 230 °C
21	Filtro Coextrusor	220 – 230 °C	190 - 210 °C
22	Válvula de Coextrusor	220 – 230 °C	190 - 210 °C
23	Manguera de Conexión	220 – 230 °C	190 - 210 °C

Fuente: MEAF. *Manual de operación 75-H34*. p. 49.

Los valores de las temperaturas de operación deben ser programados en la máquina extrusora, por los usuarios clasificados como administradores. El nivel operativo tiene acceso únicamente a menús de control de dichos valores.

Puesto que el sistema de calefacción emplea corriente eléctrica para llevar a cabo el calentamiento de componentes, puede darse el caso de sobre calentamiento de zonas o sectores. Inmediatamente, la máquina emitirá una alarma de sobre calentamiento, a lo cual se debe de responder con una medición del amperaje de entrada, medición de temperatura del agua de enfriamiento, supervisión de completa apertura de llaves de paso y supervisión de una correcta recirculación del agua de enfriamiento; en caso que dichas acciones se clasifiquen como normales, debe de pararse la línea de producción.

4.10. Operación normal de la línea de producción

Por normal general, las operaciones del sistema de suministro preceden y conectan con las de la línea de producción. Aunque el sistema de suministro está diseñado para la operación continua, puede darse el caso de que una o ambas ramas del sistema estén desactivadas.

En el caso de la desactivación de la rama asignada a la extrusora MEAF 75-H34 / 50-E30, el auxiliar del sistema de suministro debe de ejecutar la siguiente sucesión de pasos para la activación de la rama del sistema de suministro respectiva:

- Verificación del nivel de materia prima en los silos externos; debiéndose incrementar el nivel de materia prima si fuese necesario.

- Verificación de carga en contenedores y disponibilidad de material de reproceso y mezcla de material de reproceso y material virgen; en caso de poca o ninguna disponibilidad, deberá de entregarse una orden de trabajo al operario de molido.
- Verificación de carga en contenedores y existencia de colorantes y aditivos; en caso de bajo inventario, se debe de procesar una orden de compra del material respectivo.
- Verificación de señales de los componentes en el IPC del sistema de suministro; en caso de señal nula de un componente, debe notificarse al ingeniero electrónico, gerente de planta, jefe de producción, supervisor de producción o jefe de mantenimiento de la planta de producción.
- Verificación de selección de recetas de arranque y receta de tela a producir; en caso de receta equivocada, deberá notificarse a las personas asignadas como usuarios administradores del sistema de suministro.
- Encendido de componentes desde el IPC del sistema de suministro; el encendido deberá de efectuarse desde los componentes más cercanos a las entradas de materia prima, siguiendo hasta los más próximos a la salida de materia prima.
- Encendido del Dosificador.
- Inspección de carga correcta de material en las entradas.
- Inspección de carga correcta de material en silos internos y dosificador.
- Inspección de carga en los alimentadores del extrusor y coextrusor.

Los pasos previamente descritos son también aplicables al funcionamiento de la extrusora MEAF 90+50 MM VBM.

Después de haberse confirmado la activación del sistema de suministro, previo al arranque de la máquina extrusora MEAF 75-H34 / 50-E30, el operario y auxiliar de extrusión, bajo la supervisión del supervisor de turno, sucesivamente, deberán realizar las actividades siguientes:

- Encendido del Switch principal de la máquina extrusora.
- Pre calentamiento de componentes (2 horas como mínimo).
- Encender todos los componentes de calefacción (extrusor principal, coextrusor, bloque alimentador y dado).
- Verificación de valores de temperatura de todos los componentes.
- Apertura de válvulas de paso de agua de enfriamiento.
- Apertura de válvulas de paso de aire comprimido.
- Verificación de activación de componentes del Sistema de Suministro.
- Verificación de carga de material en los alimentadores de la extrusora y coextrusora y apertura de la válvula de admisión de materia prima.

Existen dos recomendaciones por parte del fabricante que deben de ser cumplidas: 1. Comenzar la producción con mezcla de 60 por ciento de material virgen y 40 por ciento de material de reproceso, y, 2. Nunca encender los motores de extrusión y coextrusión mientras los sectores (*barrel*) estén fríos o poco pre calentados.

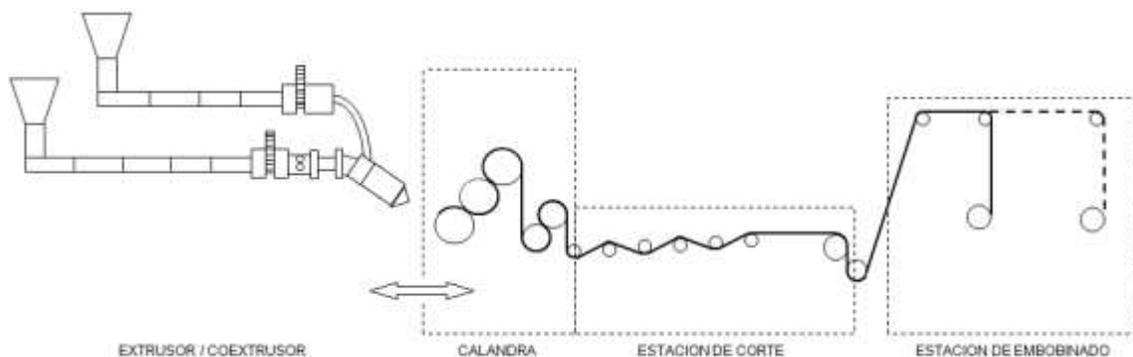
Cuando la máquina extrusora ha alcanzado los valores nominales de temperaturas de producción deben ejecutarse, nuevamente, una serie de actividades previo a la operación manual de la máquina, que, en orden sucesivo son:

- Segunda inspección del funcionamiento del sistema de suministro.
- Segunda verificación de carga de materia prima en los alimentadores.

- Verificación del funcionamiento del Dosificador.
- Segunda verificación de selección de receta de arranque y recetas de telas a producir.
- Preajuste del espesor de tela.
- Preajuste del ancho de tela.
- Verificación y colocación correcta del filtro. El filtro debe de tener cuatro mallas de 12,5 centímetros de diámetro; una malla número 20, una número 80, una número 40 y, la última, número 20, colocadas en el orden descrito.
- Calibración de separación de rodillos de la calandra; dicha separación, se lleva a cabo con la escala Vernier y debe coincidir con el espesor requerido de la tela a producir.
- Verificación del funcionamiento y torque de los rodillos de la calandra.
- Verificación del funcionamiento y torque de los rodillos de la estación de corte.
- Verificación del funcionamiento y torque de los rodillos de la estación de embobinado.
- Limpieza del dado y revisar que no haya cuerpos o elementos extraños.
- Colocar una tela receptora especial en toda la configuración de la máquina extrusora (véase figura 75), para que sirva de guía a la tela recién extruida al momento del acercamiento con la calandra.
- Ubicar el rodillo inferior de la calandra a la altura de la salida del dado (véase figura 75).
- Retirar las cuchillas de corte.

Por los valores de temperatura y presión alcanzados en estos pasos es necesaria que todas las actividades sean realizadas con el uso de equipo de protección personal. El incumplimiento en uno o más pasos de este procedimiento, deberá retrasar el arranque de la máquina extrusora hasta su verificación y corrección.

Figura 75. **Tela receptora para arranque**



Fuente: elaboración propia, con programa SketchBook Pro.

Después de haberse cumplido todos los pasos anteriormente expuestos, el operario de extrusión, puede encender el motor principal, motor de coextrusor y motor de la bomba de mezcla. Durante este período, la operación es estrictamente en modo manual. Posterior al encendido deben realizarse las siguientes actividades:

- Verificación visual del apropiado funcionamiento de la bomba de mezcla.
- Incrementar la salida de material extruido a 100 kilogramos por hora.
- Aumentar las revoluciones por minuto del motor principal, hasta alcanzar una presión de salida de material extruido de 4,0 megapascal (40 bar).
- Cambiar el modo de operación de manual a automático.

En tanto el proceso de extrusión se normaliza, el operario de extrusión debe de preparar la calandra para empezar las operaciones de enfriado y calibración, así como las posteriores operaciones de corte y embobinado; para lo cual, deben de seguirse los siguientes pasos:

- Encender los motores de los rodillos de la calandra.
- Encender los motores de los rodillos de la estación de corte.
- Encender los motores de los rodillos de la estación de embobinado.
- Ajustar el torque de los rodillos de la estación de corte y embobinado en un 20 o 40 por ciento del torque de los rodillos de la calandra.
- Segunda verificación de la separación entre rodillos de la calandra (calibre de tela).

Terminadas las tareas en las demás estaciones, el operario y auxiliar de extrusión pueden proceder a la circulación de la tela extruida por todas las estaciones de la máquina, realizando los siguientes pasos:

- Acercar la calandra al dado por medio de las manivelas de las guías de piso.
- Aumentar la salida de material extruido a 150 kilogramos por hora.
- Posicionar el rodillo inferior de la calandra justamente debajo de la salida del dado; simultáneamente, deben activarse todos los rodillos de las estaciones.
- La tela se fusionará con la tela receptora y empezará a fluir.
- Verificar y/o corregir el trayecto que toma la tela por la calandra, estación de corte y estación de embobinado.
- En la estación de embobinado se corta la parte que une la tela extruida a la tela receptora y se embobinan separadamente.

En este punto se considera que la línea de producción fue completa y satisfactoriamente arrancada y se encuentra en pre producción normal. Las condiciones de operación en el último punto descrito deben de mantenerse por un período de entre 5 a 10 minutos, para que el proceso y la extrusora se normalicen.

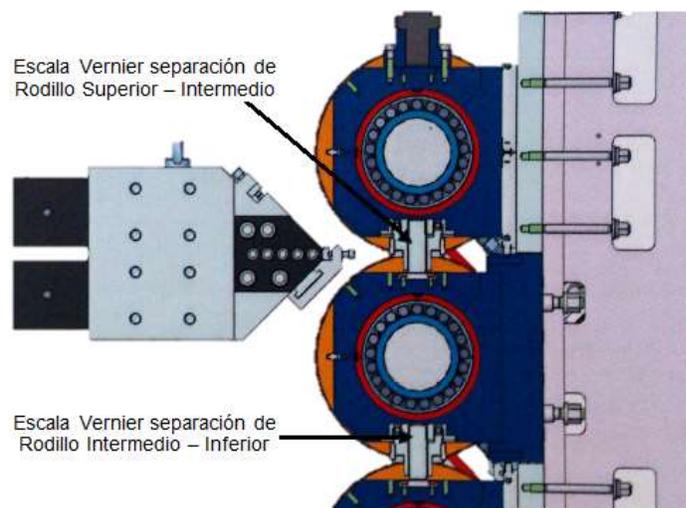
Durante el período de normalización del proceso debe de supervisarse, con especial énfasis, el parámetro de presión, porque si este valor cae por debajo de 1,0 megapascal (10 bar) por más de 2 minutos o excede los 20,0 megapascal, la máquina se detendrá automáticamente; en cuyo caso, debe procederse de acuerdo a la guía de solución de errores (*troubleshooting*) de la máquina.

Posterior al período de normalización y durante la preproducción, debe hacerse un ajuste sobre el espesor de la tela, al cual se le denomina de fineza. Para efectuar dicho ajuste, deben seguirse los siguientes pasos:

- Sincronizar la velocidad de los rodillos con la salida de material. Dicha operación se hace de manera empírica y la sincronización se nota cuando la cresta (*rim*) que se forma en el punto de depósito del material extruido, entre el cilindro inferior y el cilindro intermedio de la calandra, desaparece paulatinamente.
- Ajustar la separación de los rodillos superior, intermedio e inferior de la calandra (véase figura 76).
- Ajustar la separación de labios y ancho de platinas del dado.
- Controlar la temperatura de los rodillos de la calandra, la cual debe estar entre los 20 y 85 grados Celsius. Con Polipropileno debe de evitarse exceder los 85 grados Celsius, pues puede dañarse permanentemente la superficie de los rodillos.

Con la ayuda de un micrómetro digital, el operario o auxiliar de extrusión puede determinar el espesor de la tela; si este es el requerido, puede empezarse a preparar el primer embobinado útil; en caso contrario, deben repetirse los pasos previamente expuestos.

Figura 76. **Escala Vernier de calibración de espesor de tela**



Fuente: MEAF. *Manual de operación 75-H34*. p. 47.

Alcanzado el espesor requerido, la tela puede ser rectificada en su ancho, para lo cual deben ser cuidadosamente instaladas las cuchillas de corte en la estación respectiva y las tiras del rectificado direccionadas, manualmente, a la trituradora. Se hace pasar las tiras por la configuración de los brazos mecánicos de la trituradora y se enciende el equipo. La operación de la trituradora es completamente automática y requiere de poca supervisión.

El comienzo de la porción de tela rectificada debe de ser cortada para ser embobinada en el rodillo embobinador libre en la estación respectiva, a este nuevo embobinado y desde el punto de vista del proceso de extrusión, se le considera como el producto final.

Desde este punto hasta el cambio de producto o paro de producción, la máquina puede ser operada de forma automática, aunque debe contarse con la supervisión del operario y auxiliar de extrusión.

Si se trata del primer arranque o de un arranque posterior a un período de inactividad mayor de 2 semanas, el material extruido durante el arranque se encuentra contaminado y no es apto para el reproceso. En caso contrario, el material debe de ser trasladado al área de molino para el comienzo de su reproceso. Terminado el arranque debe hacerse cambio de receta de arranque a la receta de la tela a producir y aumentar la velocidad de producción.

4.11. Principales funciones de los sistemas de automatización

Antes de la ejecución de cualquier actividad de preparación, arranque u operación del sistema de suministro y/o máquina extrusora MEAF 75-H34 / 50-E30, tanto operario como auxiliar, deben tener claro cuáles son las principales funciones de cada uno de los sistemas de automatización instalados.

4.11.1. Sistema de suministro automatizado

El sistema de suministro automatizado está integrado por tres softwares independientes: eBOB 5.1, GRAVIMAX y M7.2. Las principales funciones de cada software son las que se detallan a continuación.

Principales funciones del sistema eBOB 5.1:

- Inventariar la materia prima de los silos externos
- Detección de nivel máximo de materia prima
- Detección de nivel mínimo de materia prima
- Información de altura y capacidad de almacenamiento libre
- Alarmas de nivel máximo y mínimo
- Reportes de inventario de materia prima
- Almacenamiento de información de inventariado de materia prima

Principales funciones del sistema GRAVIMAX:

- Dosificación precisa de las materias primas, de acuerdo a la fórmula de la tela a producir
- Mezcla precisa (en porcentaje o en kilogramos) de las materias primas
- Almacenamiento expandible de hasta 100 recetas
- Cuantificación de lotes producidos
- Lista de alarmas varias
- Reportes
- Control a distancia

Principales funciones del sistema M7.2:

- Encendido y apagado de componentes del sistema de suministro
- Habilitación o Inhabilitación de ramas del sistema de suministro
- Despliegue de operación de líneas del sistema de suministro en tiempo real
- Detección de bajos niveles de materia prima en alimentadores

- Detección de bajos niveles de materia prima en contenedores industriales
- Detección de bajos niveles de materia prima en silos internos
- Detección de bajos niveles de materia prima en el dosificador
- Alarmas de señal, carga defectuosa y mal funcionamiento de líneas o ramas del sistema de suministro
- Activación de filtro y bomba de vacío de respaldo, debido a labores de mantenimiento
- Reportes de operación
- Control a distancia
- Diagnóstico del sistema de suministro a distancia

4.11.2. Línea de extrusión automatizada

La línea de producción automatizada es controlada por el software de fábrica de la extrusora MEAF 75-H34 / 50-E30. Las principales funciones del software son detalladas a continuación.

Principales funciones del sistema Extrusol v3.7:

- Encendido y apagado de extrusor principal, coextrusor, calandra, estación de corte y estación de embobinado
- Programación, ajuste y control de temperaturas de operación
- Programación de valores límite de temperaturas de operación
- Programador de actividades de mantenimiento y períodos de producción
- Ajuste y control de valores análogos del proceso (velocidades y torques de rodillos)
- Graficador de funcionamiento de máquina, comportamiento de parámetros y volumen de producción

- Despliegue de parámetros de operación de motores de la máquina
- Programación y ajuste de sincronización en el arranque
- Despliegue de parámetros de operación de la bomba de mezcla
- Despliegue de valores de presiones de trabajo
- Apagado automático al detectarse valores límites de operación
- Alarmas de mantenimiento y mal funcionamiento
- Diagnóstico general de la máquina y del PLC
- Almacenamiento y carga de ajustes preferidos de la máquina
- Almacenamiento de recetas de trabajo
- Reportes de operación
- Extracción de datos vía Ethernet, USB, CPU y PDA
- Control y diagnóstico a distancia
- Restricción de menús de acuerdo al nivel del usuario
- Bloqueo de seguridad de mandos por *timer*

4.12. Operación del software

Con el propósito de asegurar una apropiada operación de los equipos instalados en el sistema de suministro y línea de producción de EDECA, S. A., deben cumplirse las siguientes directrices de operación.

4.12.1. Sistema de suministro automatizado

Las directrices son aplicables para los softwares eBOB 5.1, GRAVIMAX y M7.2, con sus respectivas consolas de control. Únicamente personal capacitado y autorizado podrá operar dichos equipos.

4.12.1.1. Hardware

Las operaciones de inventariado de materia prima en silos externos, mezcla y dosificación y control general del sistema de suministro, se hace directamente desde las consolas de control respectivas (véase figura 77).

Figura 77. Consolas de control del sistema de suministro



Fuente: EDECA, S. A.

En el caso de la consola de inventariado de materia prima, la interacción con el software es mediante botones de comandos, en tanto que, en las otras dos consolas son de manera táctil. Las consolas están instaladas en el cuarto de carga de los silos externos, dosificador y área de extrusión, respectivamente.

4.12.1.2. Software

El software de inventario de materia prima (eBOB 5.1) no requiere ningún tipo de operación por parte del operario u otro usuario, en virtud de que su único objetivo es el despliegue del nivel de materia prima dentro de los silos externos.

En caso de cambios de pantallas de información debe de tenerse en cuenta los comandos ilustrados en la figura 78.

Figura 78. **Comandos del software de inventario de materia prima**



Fuente: BinMaster. *Manual de operación SmartBob System*. p. 11.

El software de dosificación (GRAVIMAX) a nivel operativo no permite la visualización de todos los menús. Como se muestra en la figura 79, de forma táctil, el operario puede ingresar a los menús ejemplificados. Al momento de la selección de un menú específico, se habilita una opción de retorno de pantalla en la esquina superior derecha.

Si el usuario administrador lo considera pertinente, el operario puede hacer cambios en la producción de recetas, sin embargo, el ingreso, administración, almacenaje y edición de recetas (fórmulas) es atribución exclusiva del administrador, para lo cual cuenta con una interfaz especial del software.

Figura 79. Menús del software de mezcla y dosificación



Fuente: Wittmann Battenfeld. *Manual de operación GRAVIMAX Serie 1*. p. 8.

Aunque el software de control general del sistema de suministro (M7.2) lleva a cabo tareas complejas su operación es relativamente simple. En la figura 80 pueden observarse los diferentes menús y comandos ofrecidos por el sistema.

Los menús de mayor importancia son el de información, filtro y estado del componente; la combinación de dichos menús permiten al operario del sistema de suministro la activación o desactivación de los componentes.

Figura 80. Menús del software de control general



Fuente: Wittmann Battenfeld. *Manual de operación FEEDMAX BS/6*. p. 10.

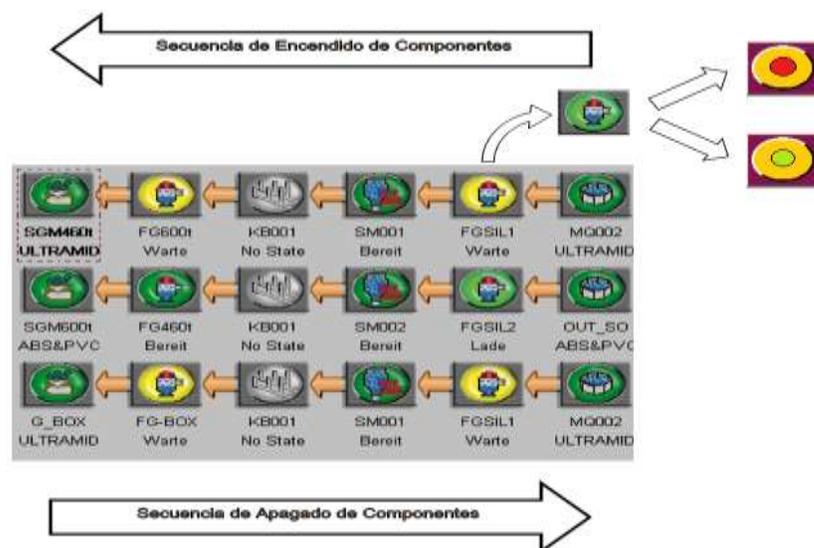
Para encender o apagar un componente, debe, primeramente, seleccionarse el menú de información. Posteriormente, se selecciona el menú de filtro, el cual permite visualizar el diagrama de red del sistema de suministro, por componentes o por red.

Al completarse la selección de visualización del diagrama, en la consola central se tendrá una pantalla similar a la de la figura 81. Al seleccionarse el componente a encender, dos íconos, uno rojo y otro verde, se habilitarán al lado derecho de la barra de menús. El ícono rojo apaga el componente y el ícono verde enciende el mismo.

La secuencia de encendido y apagado de componentes es inversa. El encendido de componentes comienza por los más próximos a las entradas de materia prima, mientras que, el apagado comienza por los más próximos a las salidas de materia prima. Debe tomarse en cuenta que el sistema de suministro se apaga, única y exclusivamente, cuando una o ambas máquinas extrusoras (MEAF 75-H34 / 50-E30 y MEAF 90+50 MM VBM) se encuentran completamente paradas.

En los íconos, un fondo verde significa operación normal, un fondo rojo significa sin comunicación o señal y un fondo gris significa apagado. Las líneas que interconectan componentes tienen tres tonalidades: una tonalidad azul significa operación normal, una tonalidad naranja significa en espera y una tonalidad roja significa error en la línea. Al momento de cualquier error en el sistema, en la consola central se desplegará una alarma visual y auditiva.

Figura 81. Encendido o apagado de componentes



Fuente: Wittmann Battenfeld. *Manual de operación FEEDMAX BS/6*. p. 13.

4.12.2. Línea de extrusión automatizada

Las directrices son aplicables para el software Extrusol v3.7, así como, para los comandos y pantalla de control de la máquina extrusora MEAF 75-H34 / 50-E30. Únicamente personal capacitado y autorizado podrá operar dichos equipos.

4.12.2.1. Hardware

Como se ha mencionado previamente, la mayoría de tareas de la máquina extrusora MEAF 75-H34 / 50-E30 son llevadas a cabo desde el panel de control de la misma, el cual está subdividido en controles táctiles y perillas de control.

En la figura 82 son ilustrados la pantalla o monitor de control y las perillas de control de la máquina. Adicionalmente, la máquina cuenta con un *timer* de operación, el cual bloquea la pantalla y las perillas de control, después de cierto tiempo de inactividad. Para desbloquear ambos elementos debe presionarse el botón de desbloqueo.

Un giro hacia la derecha de cualquiera de las perillas aumentará la cantidad de material extruido, cantidad de material en la bomba de mezcla o velocidad de los rodillos de la calandra; inversamente, un giro hacia la izquierda disminuirá los parámetros mencionados.

Figura 82. **Controles para operación de la línea de producción**

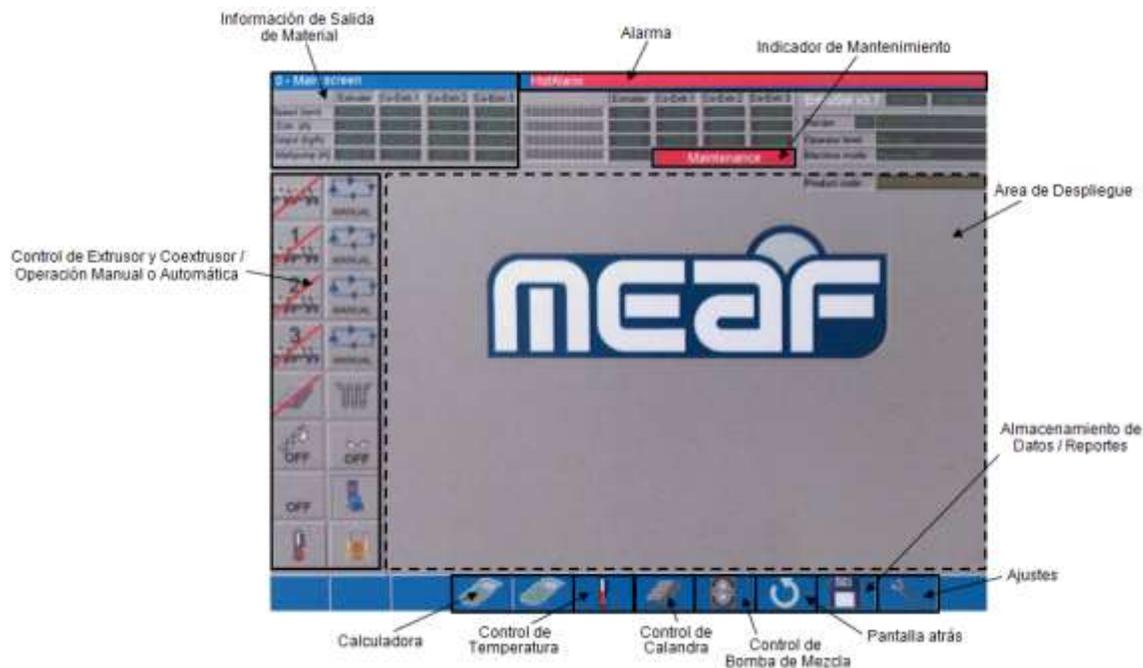


Fuente: MEAF. *Manual de operación Extrusol*. p. 5.

4.12.2.2. **Software**

Quando la máquina extrusora es encendida, el operario podrá ver una pantalla como la ilustrada en la figura 83. Básicamente desde esta pantalla pueden ser controladas todas las funciones de manera simple y rápida.

Figura 83. Menús del software de control de línea de producción



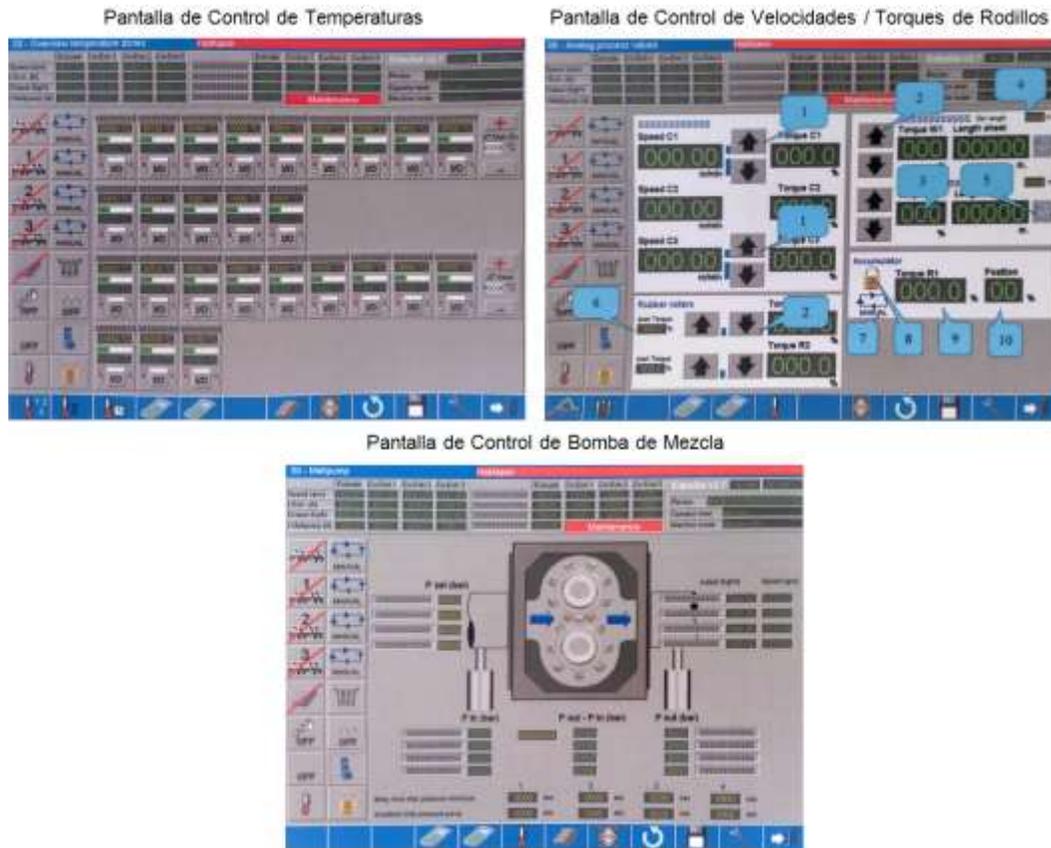
Fuente: MEAF. *Manual de operación Extrusol*. p. 5.

El encendido de componentes puede hacerse directamente desde la barra de comandos de acción rápida de la pantalla inicial, así como cambiar el modo de operación de manual a automático y viceversa.

Accediendo a los íconos de la barra inferior de la pantalla principal (véase figura 83), el operario puede ingresar a pantallas de control de temperatura, calandra, bomba de mezcla, extracción de datos y configuraciones. Si se accede, el operario tendrá pantallas como las mostradas en la figura 84.

Nuevamente, conforme al nivel del usuario, el sistema solicitará una clave para poder acceder a ciertos menús, pantallas o al tratar de modificar algún ajuste o parámetro de operación.

Figura 84. **Pantallas de operación de la máquina extrusora**



Fuente: MEAF. *Manual de operación Extrusol*. p. 5.

Las pantallas ilustradas (en la figura 84) son las de uso común al momento de la operación de la máquina extrusora. La forma de interactuar con el sistema es siempre de forma táctil y cuando se desee modificar algún parámetro o ajuste, el sistema desplegará una calculadora o una serie de íconos de aumento o disminución, para el ingreso, ajuste y confirmación del valor deseado.

Es importante mencionar que los parámetros de presión de la máquina están en función de la salida de material extruido, por lo que a un valor de presión excesivo, se debe de disminuir la cantidad de salida de material en el sector específico.

4.13. Cálculo de velocidad de producción

La velocidad de producción es directamente proporcional a la salida de material extruido en kilogramos por hora e inversamente proporcional al ancho de la tela en metros, espesor de la tela en metros y la densidad del material en kilogramo por metro cúbico.

La fórmula que determinara la velocidad de producción a utilizar es:

$$V = \frac{\text{Salida de Material Extruido } \left(\frac{\text{kg}}{\text{h}}\right) / 60 \text{ min}}{\text{Ancho de tela (m)} * \text{Espesor de tela (m)} * \text{Densidad del Material } \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)}$$

Para el caso de la densidad del material deberá emplearse el valor de 875 kilogramos por metro cúbico para polipropileno y 1 050 kilogramos por metro cúbico para poliestireno.

5. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE SUMINISTRO Y LÍNEA DE PRODUCCIÓN AUTOMATIZADA

5.1. Seguridad industrial

Antes de implementar el sistema de suministro y línea de producción automatizados deben de considerarse, cuidadosamente, los riesgos que representan la operación del equipo respectivo. Con el fin de prevenir accidentes, lesiones laborales y proteger la integridad física del personal, deben cumplirse las normas establecidas a continuación.

5.1.1. Equipo de Protección Personal (EPP)

El equipo de protección personal es de carácter obligatorio y bajo ninguna circunstancia se aprueba la operación de la maquinaria sin su respectivo uso. Es responsabilidad del supervisor de turno y jefe de producción, el velar por el uso adecuado del equipo de protección personal.

- Operario y auxiliar del sistema de suministro
 - Calzado industrial con puntera de seguridad (acero)
 - Cinturón de fuerza lumbar
 - Guantes industriales
 - Tapones auditivos

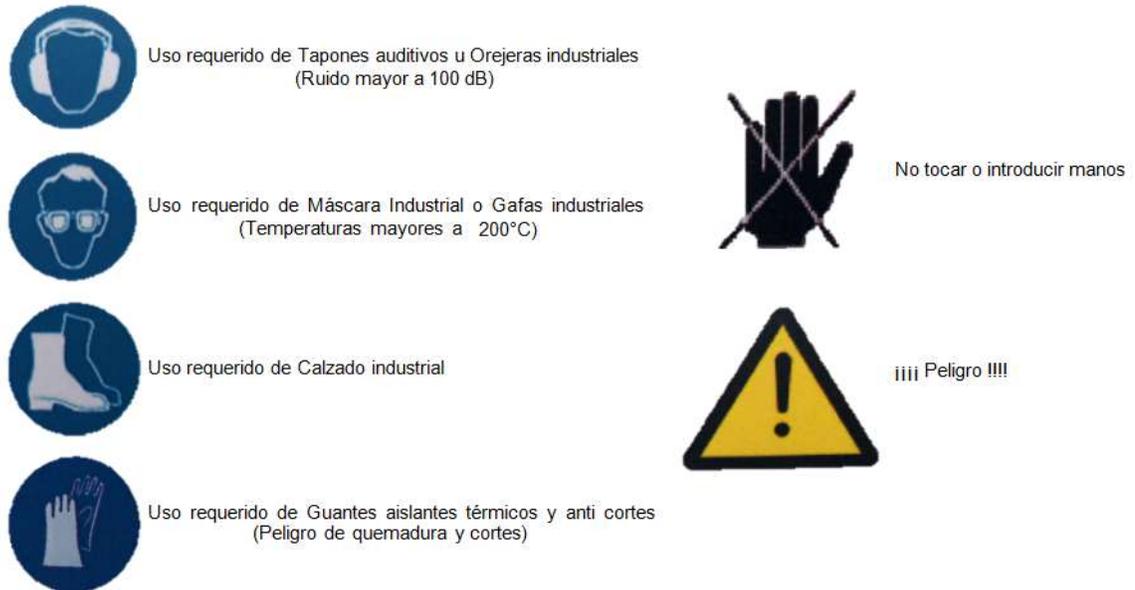
- Operario y auxiliar de molino
 - Calzado industrial con puntera de seguridad (acero)
 - Cinturón de fuerza lumbar
 - Guantes industriales
 - Orejeras industriales
 - Gafas industriales

- Operario y auxiliar de extrusión
 - Calzado industrial con puntera de seguridad (acero)
 - Cinturón de fuerza lumbar (Aplicable al momento de descarga y manipulación de bobinas)
 - Guantes aislantes térmicos y anti cortes
 - Tapones auditivos
 - Máscara industrial o Gafas industriales

5.1.2. Simbología de seguridad

En el sistema de suministro no existe riesgo mayor de accidentes o lesiones industriales, al momento de la operación, razón por lo cual, el equipo empleado no tiene ninguna simbología adherida. Caso contrario, la línea de producción, en aquellas partes consideradas como potencialmente peligrosas, de fábrica, se adhiere la simbología ilustrada en la figura 85.

Figura 85. **Simbología de seguridad**



Fuente: MEAF. *Manual de operación 75-H34*. p. 3.

La ausencia de simbología de seguridad en los componentes no debe suponer una operación descuidada y confiada por parte del operario, especialmente, en aquellos elementos de carga de materia prima en los silos externos y aspirado de material de reproceso.

5.1.3. Descripción de situaciones inseguras

Las acciones, que a continuación se mencionan, serán consideradas como situaciones inseguras y deberán ser objeto de llamada de atención y/o sanción, según lo estipulado en el reglamento interno de trabajo de EDECA, S. A.:

- Operar maquinaria sin equipo de protección personal.

- Operar maquinaria sin pre calentamiento previo del equipo.
- Operar maquinaria fuera de los parámetros de operación establecidos en el capítulo 4.
- Omitir pasos o actividades establecidas de las secuencias de arranque y operación normal.
- Usar artículos personales como joyas, relojes, entre otros, al momento de la carga de materia prima en silos externos, área de material de reproceso o contenedores industriales.
- Introducir elementos extraños en la tubería de aspirado manual y sistema de carga de materia prima para silos externos.
- Incrementar o disminuir la velocidad de producción de la máquina extrusora sin razón justificada.
- Ingerir alimentos o bebidas durante la operación de la maquinaria.
- Usar teléfonos celulares, reproductores de música, radios, tabletas, videojuegos o cualquier equipo electrónico portátil, al momento de la operación de la maquinaria.
- Tocar sin guantes, los sectores (*barrels*) de la extrusora o coextrusora.
- Manipular sin guantes, los rodillos de la calandra.
- Introducir las manos o elementos extraños entre los rodillos de la calandra.
- Manipular inapropiadamente las cuchillas de corte.
- Dejar sin supervisión la operación del equipo.
- Mantener sucia y desordenada el área de trabajo.
- Subir a los silos externos sin razón fundamentada.
- Usar aire comprimido para limpiar los equipos y el área de trabajo.
- Hacer caso omiso de las alarmas emitidas por el equipo y maquinaria.
- Hacer uso del equipo y/o maquinaria con fines distintos para los cuales fueron diseñados.

5.2. Mantenimiento

Con el fin de evitar operaciones peligrosas, mantener en óptimo estado los equipos y maquinaria y evitar paros perjudiciales de producción, el mantenimiento preventivo debe ser realizado bajo los siguientes lineamientos.

La ejecución de las tareas de mantenimiento está a cargo del personal del Departamento de Mantenimiento, con cooperación de los respectivos operarios y auxiliares de área. La supervisión de las tareas de mantenimiento es responsabilidad del supervisor de producción, jefe de producción y jefe de mantenimiento. La programación del mantenimiento es responsabilidad conjunta de la gerencia de planta, jefatura de producción y jefatura de mantenimiento, debiendo considerar que dicha programación debe coincidir con los períodos de baja demanda y notificar la misma a todas las gerencias de la empresa.

5.2.1. Sistema de suministro automatizado

Las actividades de mantenimiento indicadas en el presente subcapítulo están orientadas a los silos y tubería del sistema de suministro. El equipo restante será considerado en las actividades de mantenimiento propuestas para el equipo complementario.

5.2.1.1. Silos

En la tabla XXVIII se muestran las actividades sugeridas por MC Ingeniería, proveedor de los silos externos del sistema de suministro. Las actividades son aplicables para silos internos y externos.

Tabla XXVIII. **Actividades de mantenimiento para silos**

Actividad	Frecuencia	Útiles / Enseres
Inspección de corrosión	3 veces al año; aumentar frecuencia en época de invierno	-
Inspección de corrosión de vía de acceso	3 veces al año; aumentar frecuencia en época de invierno	-
Inspección de elementos de anclaje	3 veces al año	-
Inspección de válvulas guillotinas	1 vez al mes	-
Limpieza interna (Servicio tercerizado)	1 vez cada tres años	-
Pintura (Repintar)	1 vez cada cinco años	Pintura anticorrosiva

Fuente: elaboración propia.

5.2.1.2. Tubería

La tubería del sistema de suministro requiere la inspección trimestral de: corrosión de la tubería (especialmente de los tramos expuestos a la intemperie) y corrosión y ajuste de elementos de sujeción de tubería y conexiones de tubería. Adicionalmente, se recomienda la verificación mensual de fugas de materia prima.

5.2.2. Línea de extrusión automatizada

Las rutinas de inspección y verificación expuestas a continuación son aplicables para la máquina extrusora MEAF 75-H34 / 50-E30. La ejecución de las rutinas son atribuciones del operario y auxiliar de extrusión.

5.2.2.1. Rutinas diarias

Previo al arranque, durante el arranque, el calentamiento, preproducción y producción normal, el operario y/o auxiliar de extrusión deben de realizar las rutinas descritas.

- Verificación de operación normal de la máquina extrusora y detección de ruidos anormales.
- Verificación de fugas de agua de enfriamiento y aceite.
- Limpieza del filtro principal de agua.

5.2.2.2. Rutinas semanales

Durante la producción normal de la máquina extrusora, el operario y/o auxiliar de extrusión deben de realizar las rutinas descritas. La programación del día en que se ejecuten las rutinas, quedará a discreción del encargado de las rutinas.

- Verificación del funcionamiento apropiado de los calefactores.
- Revisión del sistema hidráulico de la máquina y verificación del nivel de aceite del sistema. En caso de detectarse bajo nivel de aceite, llenar hasta el nivel óptimo con aceite hidráulico HVI46 (Alto Índice de Viscosidad, por sus siglas en inglés).

5.2.2.3. Rutinas mensuales

Durante la producción normal de la máquina extrusora, el operario y/o auxiliar de extrusión con apoyo del ingeniero electrónico de planta, deben de realizar las rutinas descritas. La programación del día en que se ejecuten las rutinas, quedará a discreción del encargado de las rutinas.

- Chequeo de desgaste o sobrecalentamiento de cables eléctricos o conexiones.
- Verificar si existen señales de desgaste en las tuberías de agua de enfriamiento y aire comprimido.
- Verificación del torque de pernos de fijación.
- Chequear el funcionamiento del relé *Finder* 24 VDC, el cual activa la unidad de lubricación y sistema de freno de la máquina. En caso de un mal funcionamiento de la extrusora, la acción del relé es de suma importancia para su paro automático de emergencia.

5.2.2.4. Rutinas de lubricación

Con propósito de prevenir desgastes prematuros, especialmente en elementos mecánicos y transmisiones se propone las siguientes rutinas de lubricación para la máquina extrusora MEAF 75-H34 / 50-E30. Las rutinas de lubricación están a cargo del operario y/o auxiliar de extrusión.

Conviene indicar que la gerencia de planta, jefatura de compras y jefatura de bodega deben velar por la existencia de los aceites o grasas indicadas. Podría optarse por aceites o grasas con características similares, pero única y exclusivamente, en caso de que no hayan existencias en el mercado.

Tabla XXIX. **Rutinas de lubricación**

Lubricación de ...	Frecuencia	Aceite / Grasa
Transmisión Extrusor	Primeras 500 horas de operación, a las 8 000 horas de operación y cada 16 000 horas de operación	Aceite ISO VG 320
Transmisión Coextrusor		
Sistema Hidráulico	Cada 18 meses	Aceite HVI 46
Transmisión de la Bomba de Mezcla	Cada 2 meses	Grasas: DIN 51825 K2 N-30, ISO 6743-09, ISO L XCFIA2 o USDA H2
Rodamientos de Rodillos Embobinadores	Cada 2 meses	
Rodamientos de Rodillos de Calandra	Cada 2 meses	
Cojinete del Motor Principal	Cada 2 meses	
Eje del Motor Principal	Cada 2 meses	

Fuente: elaboración propia.

5.2.3. Mantenimiento de equipo auxiliar y complementario

Las actividades de mantenimiento expuestas en la tabla XXX son aplicables a diversos componentes de la máquina extrusora y sistema de suministro. La ejecución de las actividades está a cargo del personal del Departamento de Mantenimiento.

Tabla XXX. **Actividades complementarias de mantenimiento**

Transmisión de la Bomba de Mezcla		
Actividad	Frecuencia	Útiles / Enseres
Limpieza del diafragma de la transmisión	2 veces por año	Paño suave
Bomba de Mezcla		
Actividad	Frecuencia	Útiles / Enseres
Desmontaje, Inspección de desgaste y fugas	1 vez por año	Herramientas de la máquina
Limpieza de la Bomba	1 vez por año	Brocha
Árbol de transmisión de la Bomba de Mezcla		
Actividad	Frecuencia	Útiles / Enseres
Lubricación de articulaciones	1 vez por año. (si se ha trabajado con altas velocidades de producción, aumentar la frecuencia a 3 veces por año)	Grasa saponificada con litio (NL-G12)
Lubricación de cojinetes de protección		
Lubricación de tubos perfilados		
Limpieza del árbol		Paño suave
Transmisiones Tornillos de Extrusión / Freno		
Actividad	Frecuencia	Útiles / Enseres
Inspección de nuevo aceite	Cada vez que se cambia aceite.	Aceite ISO VG 320
Inspección de aceite viejo	1 vez cada 3 meses	-
Pruebas del aceite en operación	Cada 6 000 a 7 000 horas de operación	Instrumentos de medición de aceite

Continuación de la tabla XXX.

Verificación de temperatura de carcasa	1 vez por semana	Pirómetro
Inspección de Fugas	1 vez por semana	-
Dado		
Actividad	Frecuencia	Útiles / Enseres
Engrasado de pernos	4 veces por año	Grasa Kluber HTC
Limpieza del dado	1 vez por año	Kit de limpieza especial
Sistema Hidráulico		
Actividad	Frecuencia	Útiles / Enseres
Inspección de: nivel de aceite hidráulico, presiones de operación de válvulas, temperaturas de operación y fugas	A la semana después del encendido, a las 4 semanas después de la primera semana de encendido y cada 3 meses	-
Cambio de aceite	Cada 18 meses	Aceite HVI 46
Cambio de filtro	Cada 2 000 horas/12 meses	Filtro
Motores del Sistema Hidráulico		
Actividad	Frecuencia	Útiles / Enseres
Limpieza del motor	1 vez por semana	Paño suave
Verificación de conexiones	1 vez por mes	-
Inspección de ruidos, vibración y sobre calentamiento	1 vez por semana	-

Continuación de la tabla XXX.

Lubricación	4 veces por año	Grasa estándar con base de litio No. 3
Bombas de Agua de Enfriamiento		
Actividad	Frecuencia	Útiles / Enseres
Lubricación	Cada 2 000 horas	Lubricante SKF LGHT 3
Giro del eje de la bomba	Cada 3 meses	-
Reemplazo de la válvula de no retorno	1 vez por año	Válvula de retorno DPVE
Unidad de Poder y Barras Antiestáticas		
Actividad	Frecuencia	Útiles / Enseres
Limpieza de barras	3 veces por año	Paño de microfibras y alcohol isopropílico
Limpieza de la unidad de poder	3 veces por año	
Componentes de Sistema Eléctrico y Electrónico		
Actividad	Frecuencia	Útiles / Enseres
Limpieza general	2 veces por año	Escobillas o paños de microfibra
Inspección	5 veces por año	-
Autodiagnóstico	2 veces por año	-
Dosificadores, Alimentadores y Consolas de Control		
Actividad	Frecuencia	Útiles / Enseres
Limpieza	4 o 5 veces por año	Paños o escobillas de microfibra y líquido para pantallas táctiles

Continuación de la tabla XXX.

Bombas de Vacío y Filtros		
Actividad	Frecuencia	Útiles / Enseres
Cambio de filtros de polvos	3 veces por año	Filtros especiales
Purga de polvos	1 a 3 veces por semana	-
Limpieza del equipo	2 veces por semana	Paño suave o escobillas
Cambio de aceite	2 veces por año	Aceite VG 32 o VG 100
Inspección del equipo	1 vez por semana	-
Cambio de filtros de aceite	1 vez al año	Filtro

Fuente: elaboración propia.

El mantenimiento preventivo de los sectores de la extrusora y coextrusora y tornillos de extrusión debe darse por lo menos, una vez cada dos años. Frecuencia que deberá variar si se programa cambio de producto, de Polipropileno a Poliestireno o viceversa.

Sin excepción alguna, todas las actividades de mantenimiento anteriormente estipuladas deben ser ejecutadas cuando los equipos estén fuera de servicio.

5.2.4. Mantenimiento de software y hardware

El equipo empleado como hardware para los sistemas de automatización, únicamente requieren de limpieza del equipo con líquidos especiales, para pantallas táctiles - superficies plásticas, y paños o escobillas de microfibra.

El software empleado en los sistemas de automatización es libre de mantenimiento, sin embargo, es conveniente estar informados sobre cualquier actualización del software ofrecida por el fabricante.

5.3. Guía de solución de errores (*Troubleshooting*)

Un *troubleshooting* es una secuencia algorítmica que se utiliza para resolver un problema. En la aplicación de una máquina, ante el despliegue de una alarma o mensaje de error, se indican las posibles fuentes que están originando un error.

5.3.1. Sistema de suministro automatizado

Ante el despliegue de alarmas y errores durante la operación del sistema de suministro, el operario del sistema o encargado deberá de ejecutar los pasos expuestos en la tabla XXXI, para dar solución al error.

Conviene recomendar que durante la activación de alarmas y detección de errores es necesario notificar inmediatamente al supervisor de turno, al mismo tiempo, la velocidad de producción de las máquinas extrusoras, deberá de ser disminuida. Ante la persistencia del error deben pararse completamente la o las máquinas extrusoras y escalar la situación al gerente de planta, jefe de producción e ingeniero electrónico de la planta.

Tabla XXXI. **Solución de errores para sistema de suministro**

Error Desplegado	Solución
Carga de Material	<ol style="list-style-type: none"> 1: Verificación de carga de materia prima. 2: Verificación de señal de componentes. 3: Verificación de encendido de componentes. 4: Verificación de aspirado. 5: Verificación de funcionamiento de bombas de vacío. 6: Verificación de presiones de vacío. 7: Verificación de funcionamiento de alimentadores. 8: Verificación de funcionamiento de dosificadores. 9: Búsqueda de taponamientos en puntos de aspirado.
Señal Nula de serie de Componentes (No State)	<ol style="list-style-type: none"> 1: Verificación de conexiones del Servidor de Línea. 2: Verificación de encendido del Servidor de Línea. 3: Verificación de encendido de Controladores BUS. 4: Verificación de cableado BUS. 5: Verificación de conexiones del componente.
Señal Nula de Rama	<ol style="list-style-type: none"> 1: Verificación de la configuración de la red. 2: Verificación de conexiones del Servidor de Línea. 3: Verificación de encendido del Servidor de Línea.
Señal Nula de Componente (No State)	Ejecutar los mismos pasos que Señal Nula de serie de Componentes.
Monitor IPC No responde	Notificar a Ingeniero Electrónico y paro de línea de producción.
Errores del Sistema	Notificar a Ingeniero Electrónico y al proveedor para solución.

Fuente: elaboración propia.

5.3.2. Línea de extrusión automatizada

De igual forma, ante el despliegue de una alarma en la pantalla táctil de la extrusora, el operario de extrusión deberá de actuar conforme a lo establecido en la tabla XXXII. Una alarma o error en la línea de extrusión no tiene repercusión alguna en el sistema de suministro o en su operación.

Tabla XXXII. **Solución de errores para línea de producción**

Alarma Desplegada	Solución
000	Desactivar botón de emergencia.
001	Verificación de temperatura de gabinete de control (35°C).
002	Verificación de nivel de aceite en las transmisiones.
003	Verificación de alarmas especiales de los equipos.
011 – 022 (Errores de <i>Drive</i>)	Notificar a Ingeniero Electrónico y ejecución de <i>Troubleshooting</i> del equipo específico.
030 – 129 (Errores de Control de Temperatura)	1: Verificación de encendido del sector (<i>barre</i>). 2: Verificación de encendido del fusible interruptor de circuitos. 3: Medición de voltaje en el relé de estado sólido (230V). 4: Medición de corriente eléctrica en cables de los calefactores (5 – 20 Amperios). 5: Medición de resistencia de los cables eléctricos.
130 – 137 (Errores de Presión en el Filtro)	1: Buscar agentes contaminantes. 2: Reemplazar el filtro.

Continuación de la tabla XXXII.

140, 143, 146, 149 (Presión Baja)	1: Verificar salida y circulación del material. 2: Operar la máquina extrusora en modo automático.
141, 144, 147, 150 (Presión Alta)	Operar la máquina extrusora en modo automático para normalización.
142, 145, 148, 151 (Presión Irregular)	
160, 162, 164, 166 (Presión Máxima en Bomba de Mezcla)	1: Verificación de correctas aperturas de labios y platinas de dados.
161, 163, 165, 167 (Presión Irregular en Bomba de Mezcla)	2: Verificar que no haya bloqueos en la salida del dado.

Fuente: elaboración propia.

Al activarse la máquina extrusora se desplegarán una serie de alarmas, las cuales desaparecerán paulatinamente, conforme avance el período de calentamiento. Llegado el momento del arranque de la maquinaria, ninguna alarma debe de estar desplegada en la pantalla de control; en caso contrario, deberá de solucionarse el error previo al arranque.

5.4. Capacitación de operarios

Al momento de la implementación de los sistemas, los niveles de dotación de personal de la planta de producción eran óptimos, por lo que no fue necesaria la activación del proceso de selección y contratación de personal.

De estimarse necesaria la contratación de nuevo personal para la operación de la línea de producción, de forma operativa, deberán de considerarse los siguientes requisitos para el puesto:

- Bachiller Industrial o cualquier técnico en operación de maquinaria especializada.
- Género masculino.
- Experiencia mínima de 1 o 2 años en procesos de extrusión o inyección de plásticos.
- Conocimientos básicos del proceso de extrusión y termoformado.
- Inglés técnico.
- Conocimiento de Buenas Prácticas de Manufactura y Seguridad Industrial.
- Cumplir con todos los requisitos exigidos por el Departamento de Recursos Humanos.

También podrían ser considerados requisitos adicionales definidos en conjunto por gerencia de planta, jefatura de producción y gerencia de Recursos Humanos.

La creación del puesto de operario y/o auxiliar del sistema de suministro es decisión y responsabilidad de la gerencia general, gerencia de planta y gerencia de Recursos Humanos. Los requisitos previamente desarrollados son aplicables al puesto en mención.

Al personal antiguo o de nuevo ingreso que se desempeñe en los puestos de operación del sistema de suministro y línea de producción deben ser instruidos de acuerdo al contenido del programa de capacitación, contemplado en la tabla XXXIII.

Tabla XXXIII. Programa de capacitación para operarios

Tema	Duración	Impartido por	
Explicación del reglamento interno	1 día	Jefe de Producción	
Atribuciones del puesto			
Explicación general del proceso			
Explicación de componentes			
Estudio de Documentación / Dudas	2 días	1. Supervisor de Turno. o 2. Operario altamente experimentado y capacitado, con la supervisión del Supervisor de Turno	
Operación del Software	3 días		
Operación del Hardware			
Preparación y Arranque de Equipo	1 día		
Operación Normal del Equipo	1 día		
Operación de Equipo Complementario			
Parámetros de Operación			
Cambios de Bobina	1 día		
Cambios de Filtro y/o partes			
Empaque y Embalaje			
Otras actividades especiales	1 día		
Guía de Solución de Errores	1 día		
Documentación del proceso			
Sistemas de Seguridad	1 día		
Seguridad Industrial			
Labores de Mantenimiento			
Operación lado a lado	10 días		Supervisor de Turno
Operación Supervisada	30 días		
DURACION TOTAL	52 días		

Fuente: elaboración propia.

Este programa de capacitación está diseñado para llevarse a cabo en un período de dos meses, aproximadamente, que coinciden con el período de prueba, estipulado en el Artículo 81 del Código de Trabajo. Cumplidos satisfactoriamente los requisitos específicos y el programa de capacitación, puede confirmarse en su puesto al trabajador.

5.5. Inventario mínimo de repuestos

Con el fin de minimizar los tiempos de reparaciones y/o cambios de componentes de la maquinaria o equipo debe considerarse el siguiente inventario mínimo de repuestos:

Línea de producción:

- 2 Cajas de filtros malla 20
- 1 Caja de filtros malla 40
- 1 Caja de filtro malla 80
- 3 juegos de cuchillas de corte de acero inoxidable Stanley
- 15 pernos para dado de la máquina
- 5 termocuplas
- 2 válvulas de no retorno DPVE para bomba de agua
- 2 mangueras para conexión de agua de enfriamiento
- 5 metros de cables de calibres varios para el gabinete de control
- 2 filtros de agua para la máquina
- Protectores de sobretensión empleados en la máquina
- Aceites, alcoholes y grasas especificadas en la sección de Mantenimiento

Sistema de suministro:

- 6 juegos de filtros para Filtros de Polvos
- 15 metros de tubería flexible de PVC
- 40 metros de cableado BUS
- 20 metros de cables de alimentación
- 2 Controladores BUS 4/4
- 1 Servidor de Línea
- 3 acoples de tubería (por tipo)
- 3 sujeciones de tubería (vertical y horizontal)
- 3 tubos de aleación de aluminio 6061
- Aceites, alcoholes, líquidos para limpieza y grasas especificadas en la sección de Mantenimiento

Será función de la gerencia de planta, jefatura de producción y jefatura de compras, el velar por la existencia de los repuestos contemplados. Se recomienda una auditoria bimestral del inventario, el cual estará a cargo del departamento de Bodega.

5.6. Directrices para métodos operativos, anexos de control y registros de control del proceso

Con base en la documentación sugerida por la norma del Sistema de Gestión de la Calidad ISO 9001:2008, se recomienda la creación de: métodos operativos, anexos de control y registros de control para el sistema de suministro y línea de producción por extrusión.

El método operativo es el documento jerárquico de mayor importancia, el cual indicará la forma apropiada y aprobada de operar el equipo y llevar a cabo las actividades involucradas. Se subdividirá en:

- Encabezado
- Propósito y alcance
- Definiciones
- Descripción de actividades
- Verificación de los parámetros del proceso
- Material de reproceso
- Cuidados especiales
- Seguridad industrial
- Control maestro de registros
- Anexos
- Control de cambios

El anexo de control es el documento que contiene los parámetros de control del proceso, criterios de aceptación y regula el proceso de control sobre dichos parámetros. Se subdividirá en:

- Encabezado
- Propósito y alcance
- Definiciones
- Parámetros de control
- Defectos en el producto
- Criterios de aceptación
- Equipo y metodología de medición

Finalmente, el registro de control es el documento que contendrá el registro cuantitativo de los valores de los parámetros de operación establecidos en el anexo de control. Se subdividirá en:

- Encabezado
- Resúmenes de parámetros y formas de captura
- Área de registro o *check list*
- Observaciones

La redacción de los documentos será responsabilidad conjunta de gerencia de planta, gestión de calidad y jefatura de producción y debe basarse en los manuales de operación proveídos por los fabricantes y por la información contenida en el presente documento. La aprobación de los documentos es responsabilidad exclusiva de la gerencia general.

Después de su aprobación, el documento debe de ser inmediatamente divulgado entre los operarios respectivos y empleado en los programas de capacitación.

CONCLUSIONES

1. No obstante los resultados aceptables obtenidos en el diagnóstico de las áreas de extrusión y termoformado, en un 32,37 por ciento, aproximadamente, no se cumple con el total de telas requeridas para la formación de envases desechables. EDECA, S. A., no cuenta con una capacidad instalada capaz de cubrir la creciente demanda de envases de PP y PS, especialmente, en el área de extrusión, lo cual obliga a la empresa a limitar las cantidades ofrecidas a sus clientes, acciones que impactan negativamente en el aspecto financiero.
2. El parámetro básico para la línea de extrusión es la de una capacidad mínima de producción de 250 kilogramos por hora para PP y 300 kilogramos por hora para PS, incrementando en un 99,15 por ciento la capacidad instalada de extrusión. El parámetro para el sistema de suministro está relacionado con la capacidad de almacenaje, el cual se fijó en un mínimo de 50 000 kilogramos de PP y PS, para un total de 100 000 kilogramos.
3. La línea de extrusión fue instalada de acuerdo a las recomendaciones del lugar y actividades de instalación del fabricante. El sistema de suministro fue diseñado por ramas y operación en cascada inversa, lo cual equivale a una rama con varias subramas para un tipo de material, y operación, en donde los elementos próximos a la salida, activan a todos los elementos sobre la misma subrama, hasta el más próximo a la entrada del sistema.

4. El sistema de suministro no tiene parámetros de operación, exceptuando la receta o fórmula de los materiales que se estén suministrando para producir una tela en específico. En el proceso de extrusión existen varios parámetros de proceso, siendo el de temperatura y presión, los más importantes. La temperatura de proceso deberá estar entre 190 y 230 grados Celsius para PP y, entre 180 y 220 grados Celsius para PS. Aunque la presión está en función de la parte de la máquina extrusora a analizar, generalmente, en la entrada, se debe operar a un máximo de 3 megapascal, en el filtro, entre 7 a 14 megapascal y, en la salida, a un máximo de 15 megapascal. Los demás parámetros a considerar están establecidos en la subcapítulo 4.4 del presente trabajo.

5. El sistema de suministro está integrado por 42 componentes controlados, siendo los dosificadores y el IPC los más críticos porque determinan la composición de una tela específica. La línea de extrusión está formada por 4 componentes, igualmente controlados por un software y un PLC. Desde el punto de vista del proceso, los puntos críticos están en el extrusor / coextrusor y calandra, pues en la combinación de ambos radica la plastificación, calibre y enfriamiento de las telas de PP y PS.

6. El plan de mantenimiento propuesto está subdividido en actividades diarias, semanales, mensuales y anuales, sugiriéndose se integre al programa general de mantenimiento de la empresa. También contempla los útiles y enseres necesarios, tales como: grasas, aceites, paños, escobillas, instrumentos, filtros, entre otros. El *stock* mínimo de repuestos propuesto está en función de un análisis de aquellos elementos propensos a fallas o desgastes y tienen como fin el reducir el tiempo de corrección de una falla dada.

7. Con el propósito de reducir los riesgos y accidentes laborales se hace un enfoque sobre la capacitación del personal, el equipo de protección personal, operación apropiada de los equipos, simbología de seguridad y otras clases de riesgos laborales. Con fines de seguridad industrial se hace enfoque sobre documentación de procesos y normalización y se expone la introducción de una jerarquía de documentos, tales como: método operativo, anexo de control y registro de control, que expongan, normen y controlen los procesos y todas las actividades involucradas en los mismos.

RECOMENDACIONES

1. Por la complejidad de operación del sistema de suministro, y para evitar una elevada carga de trabajo para los operarios existentes, es necesaria la implementación de una plaza de auxiliar, por turno, en dicho sistema.
2. El sistema de suministro, en su máxima capacidad de almacenamiento, permite, aproximadamente, 8 días de trabajo ininterrumpido sin reabastecimiento, lo cual favorece la implementación de un puesto de inspector de materia prima que tenga a su cargo determinar la calidad en toda materia prima.
3. Con la disponibilidad de tiempo para poder inspeccionar la materia prima debe de considerarse el diseño e implementación de pruebas y/o ensayos físicos, químicos y cualitativos de la materia prima.
4. A la disponibilidad de tiempo y pruebas o ensayos debe sucederle el diseño e implementación de un plan de muestreo para la determinación de la aceptación o rechazo de lotes de materia prima.
5. En el transcurso de la elaboración del presente proyecto se observaron problemáticas con los proveedores de materia prima, especialmente en el retraso del despacho de la materia prima ordenada. Sobre esta problemática, puede recomendarse la diversificación de los proveedores de materia prima, especialmente nacionales.

6. Rediseño completo del actual programa de mantenimiento preventivo, haciendo especial énfasis en el área de termoformado e impresión.
7. Toda actividad de mantenimiento preventivo mayor (actividades anuales) deberá ser programada, en aquellas épocas del año que coincidan con los períodos de baja demanda.
8. Digitalizar todas las fórmulas de las telas producidas y cargarlas en la memoria del sistema de suministro, con el fin de minimizar la probabilidad de errores de producción.
9. Sobre cualquier producción fuera del o los parámetros establecidos y posterior a la corrección de dichas fallas, se debe elevar el nivel de inspección sobre el producto final.
10. Comunicar efectivamente a la Gerencia de Ventas, la capacidad instalada actual de la planta de producción, así como en el caso de futuras expansiones.
11. Implementar y divulgar, efectivamente, un sistema de programación de la producción, que permita hacer del conocimiento general todos los productos, cantidades, calendarización y tiempos establecidos para la producción de productos específicos.
12. Iniciar con los estudios de prefactibilidad para la modernización o automatización del área de termoformado.

BIBLIOGRAFÍA

1. BARKMAN, William E. et al. *Handbook of Industrial Automation*. New York, USA: Marcel Dekker, Inc., 2000. 904 p. ISBN: 0-8247-0373-1
2. BinMaster. *Manual de operación SmartBob System*. Lincoln, Estados Unidos de América: 2013. 89 p.
3. Gardner Denver. *Manual de operación 5LR*. México D.F.: 2013. 77 p.
4. KREITH, Frank. *CRC Handbook of Mechanical Engineering*. Kreith, Frank (editor). Boca Ratón, Florida: CRC Press, 1998. 2624 p. ISBN: 978-0-8493-0866-6
5. LÓPEZ ALDANA, Juan Antonio. *Diseño de plantas para la producción de poliestireno expandido y sus aplicaciones en la industria*. Trabajo de graduación de Ing. Industrial, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. 2000. 112 p.
6. MEAF. *Manual de operación 75-H34*. Yerseke, Holanda: 2013. 179 p.
7. _____. *Manual de operación Extrusol*. Yerseke, Holanda: 2013. 49 p.
8. MORTON, Jones. *Procesamiento de plásticos*. México D.F.: Editorial Limusa, 1993. 302 p. ISBN: 9789681844349

9. POLANCO ORTEGA, Juan Elías. *Mejora en la productividad del área de empaque, a través de la implementación de una línea automatizada, en una empresa productora de cloro*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánica Industrial, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. 2009. 97 p.
10. VALDÉZ MORÁN, Luis Fernando. *Aumento de producción en una línea de fabricación de lazo polipropileno basado en la optimización de la maquinaria*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánica Industrial, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. 2010. 122 p.
11. Wittmann Battenfeld. *Manual de operación FEEDMAX BS/6*. Markham, Canadá: 2013. 126 p.
12. _____. *Manual de operación GRAVIMAX Serie 1*. Markham, Canadá: 2013. 57 p.
13. _____. *Manual de operación PDV-150*. Markham, Canadá: 2013. 42 p.
14. _____. *Manual de operación SBF*. Markham, Canadá: 2013. 51 p.

ANEXOS

Figura 86. Formato sugerido del método operativo

	ENVASES DESECHABLES CENTROAMERICANOS, S.A.					Código:
	MÉTODO OPERATIVO DE					
	Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:	Fecha aprobado:	Fecha rige:	Versión
PROPÓSITO Y ALCANCE		DEFINICIONES				
DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES PASO A PASO						
VERIFICACIÓN DE LOS PARÁMETROS DEL PROCESO						
MATERIAL DE REPROCESO						
CUIDADOS ESPECIALES						
SEGURIDAD INDUSTRIAL						
CONTROL MAESTRO DE REGISTROS						
ANEXOS						
CONTROL DE CAMBIOS						

Fuente: elaboración propia, con programa SketchBook Pro.

Figura 87. **Formato sugerido del anexo de control**

	ENVASES DESECHABLES CENTROAMERICANOS, S.A.					Código:
	ANEXO DE CONTROL DE					
	Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:	Fecha aprobado:	Fecha rige:	Versión
PROPÓSITO Y ALCANCE		DEFINICIONES				
PARÁMETROS DE CONTROL DEL PROCESO						
DEFECTOS EN EL PRODUCTO POR PROCESO NO CONTROLADO						
CRITERIOS DE ACEPTACIÓN DE PARÁMETROS DEL PROCESO						
EQUIPO Y METODOLOGÍA DE MEDICIÓN						

Fuente: elaboración propia, con programa SketchBook Pro.

