

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR, PREVIO A LA
OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO**

**“MANTENIMIENTO CORRECTIVO-MODIFICATIVO EN
PLANTA DE RECICLAJE ARTESANAL DE POLÍMEROS
TERMOPLÁSTICOS EN FUNCIÓN DE LA MEJORA DE LA
EFICIENCIA Y EFICACIA PARA LA GENERACIÓN DE
PRODUCTOS”**

**AUTORES: DARLEY ALEXIS CURAY ALCOCER
 DANNY ALEXANDER PACHACAMA GUALOTUÑA**

TUTOR ACADÉMICO: ING. XAVIER ROLANDO SÁNCHEZ SÁNCHEZ

2024





Objetivos

Objetivo General

Desarrollar una línea base de producción de elementos obtenidos de polímeros termoplásticos reciclados, a partir de mantenimientos correctivos y modificativos de maquinaria artesanal.

Objetivos Específicos

- Implementar de manera efectiva una línea de producción que integre los procesos de trituración, extrusión e inyección, utilizando como base termoplásticos reciclados.
- Evaluar el rendimiento de los equipos, tras la implementación de las estrategias de mantenimiento en la línea de producción.
- Desarrollar un sistema de peletizado para la extrusora y un sistema de empuje neumático para la inyectora con el propósito de optimizar la fabricación de productos y reducir los tiempos de producción.
- Evaluar la capacidad de producción de los equipos después de implementar las estrategias de mantenimiento, y analizar el costo de producción vinculado al consumo energético.

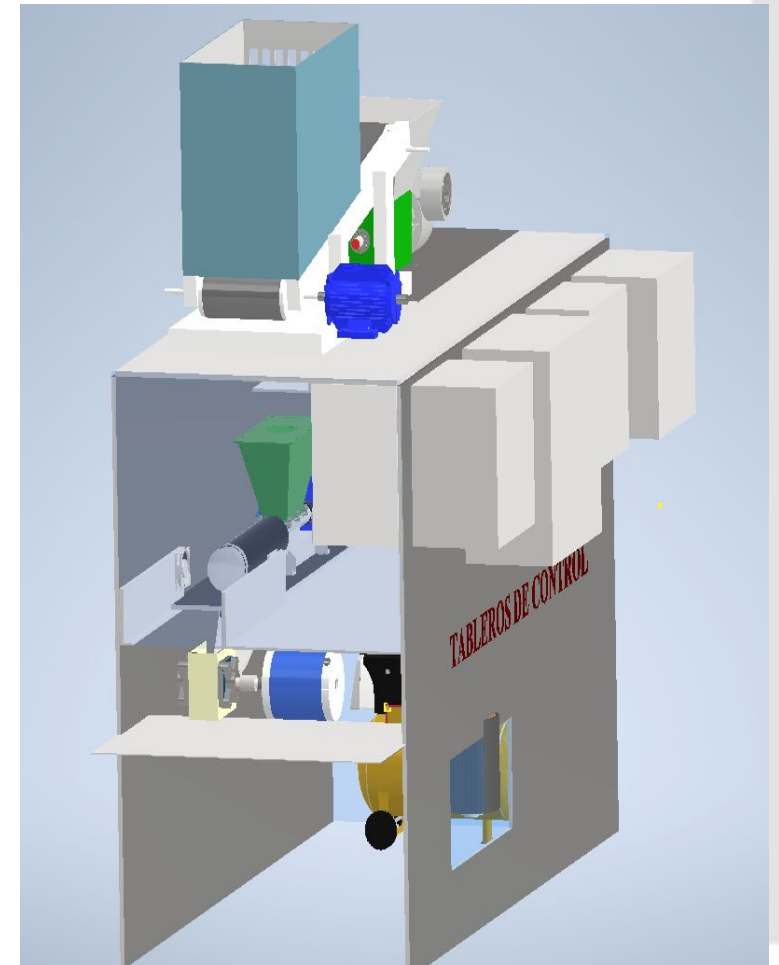


Figura 1. Conjunto de la línea de producción.



Polímeros termoplásticos.

Polímeros que se caracterizan por su capacidad de volver a fundirse y moldearse repetidamente cuando se calientan y enfrían. Es decir, conforme se eleva la temperatura por encima del punto de fusión, los termoplásticos se vuelven fáciles de moldear.

La línea de producción será trabajada con polietileno, por sus propiedades térmicas, que se pueden encontrar en tapas de botellas.

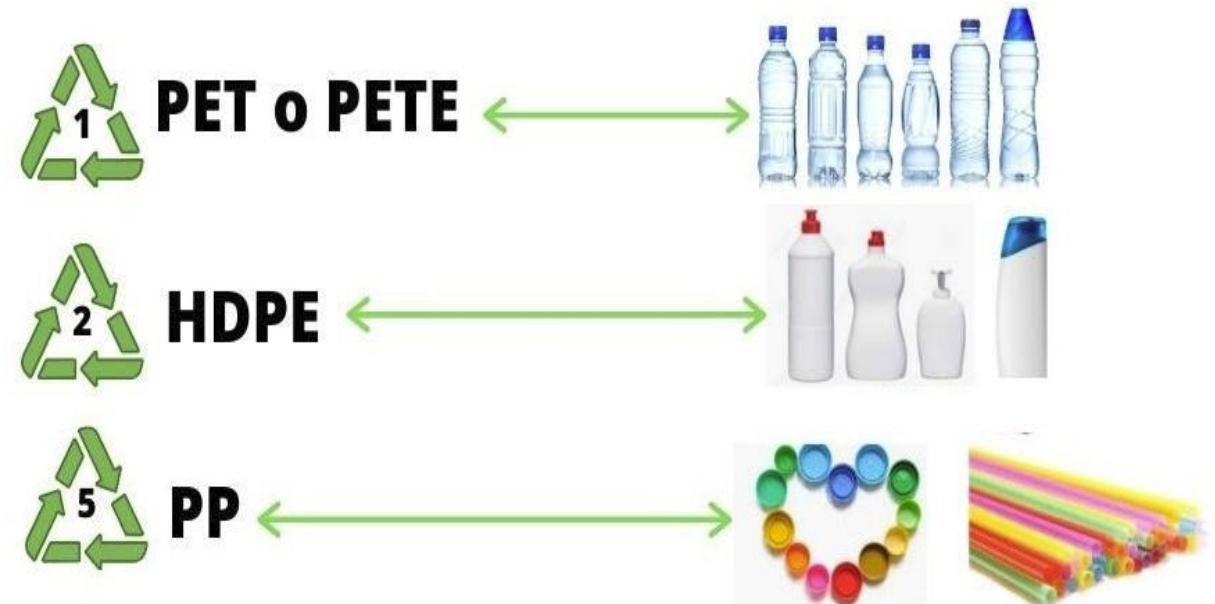
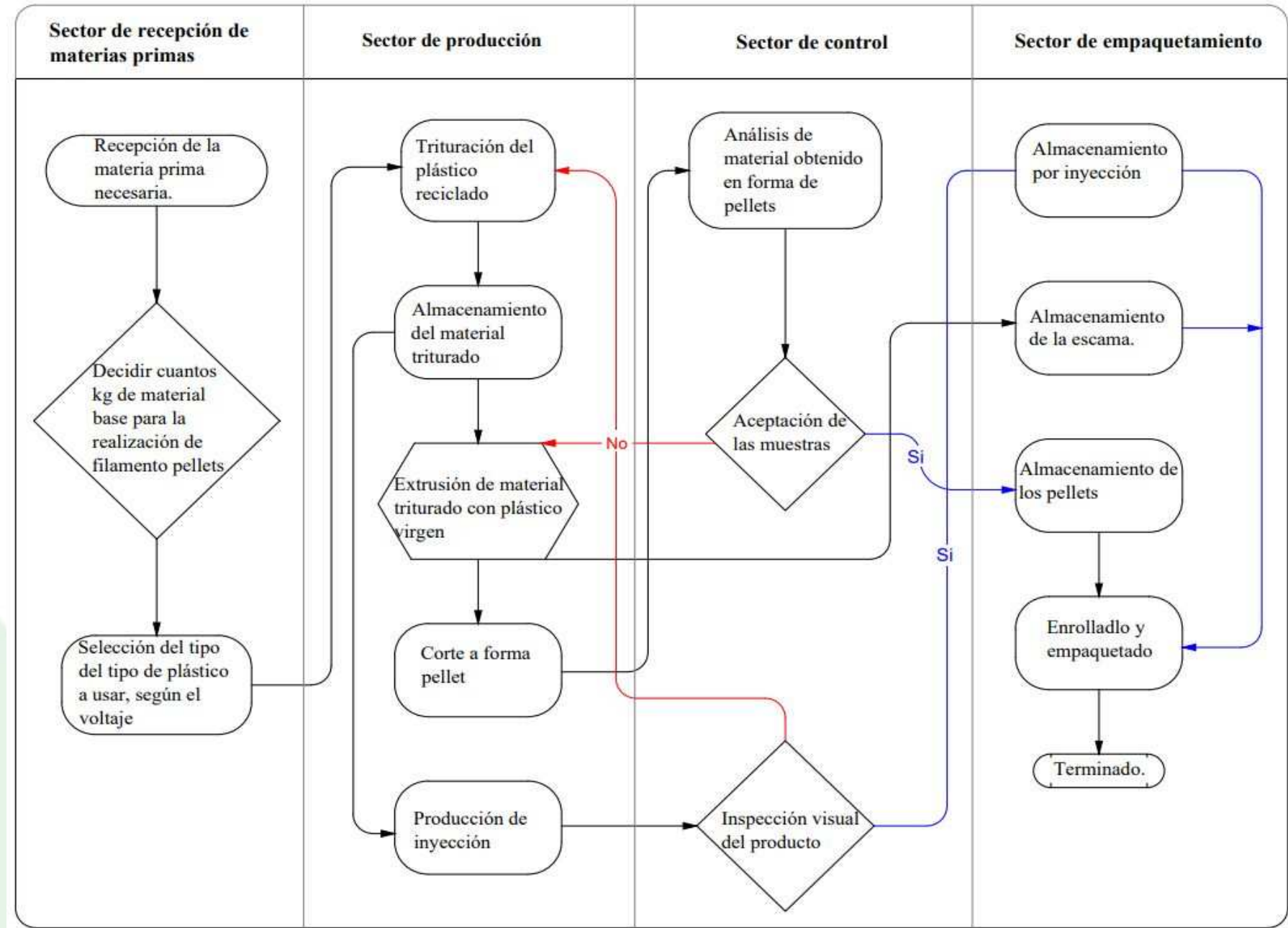


Figura 2. Plásticos utilizados en la línea de producción.



Diagrama de enrutamiento de proceso de producción.



Fuente: Propia.



Proceso de Trituración.

Cordova Cabada (2022) enfatiza que la función del proceso de trituración es reutilizar los diferentes tipos de plásticos reduciendo su tamaño por medio del desgarro a fibras, para posteriormente utilizar el material resultante en un nuevo proceso de producción del plástico.

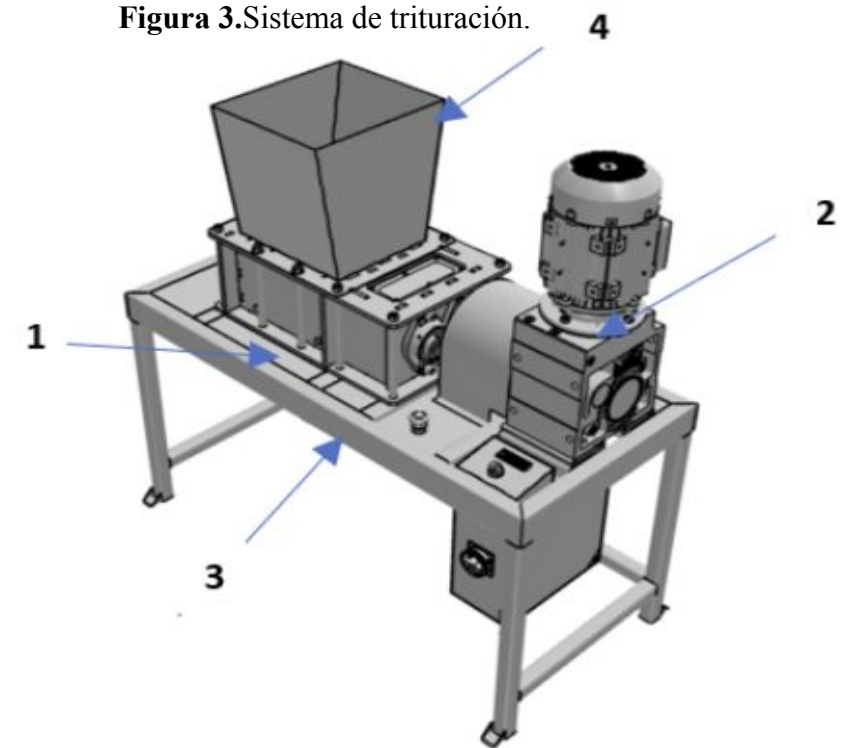


Figura 3. Sistema de trituración.

- 1) Elementos de corte.
- 2) Suministros de poder.
- 3) Estructura.
- 4) Tolva de alimentación.

Fuente: Precious Plastic.

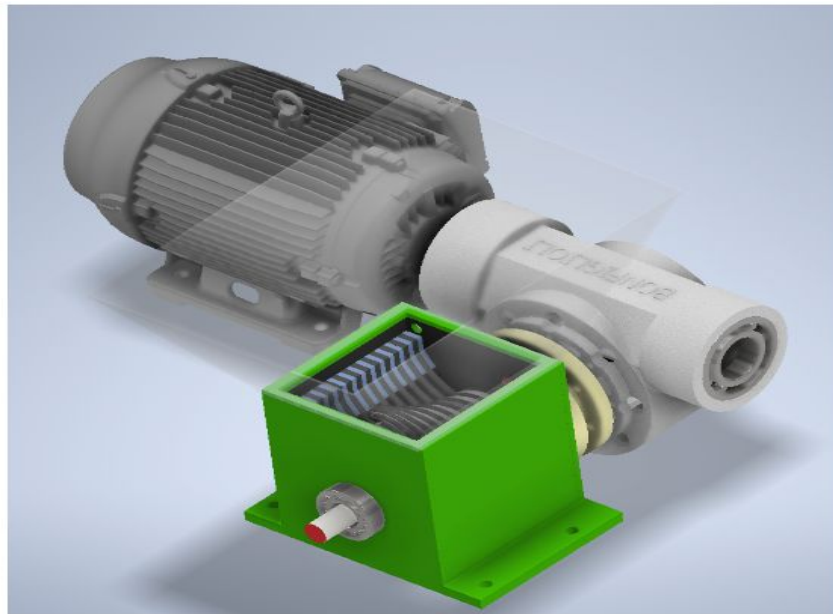


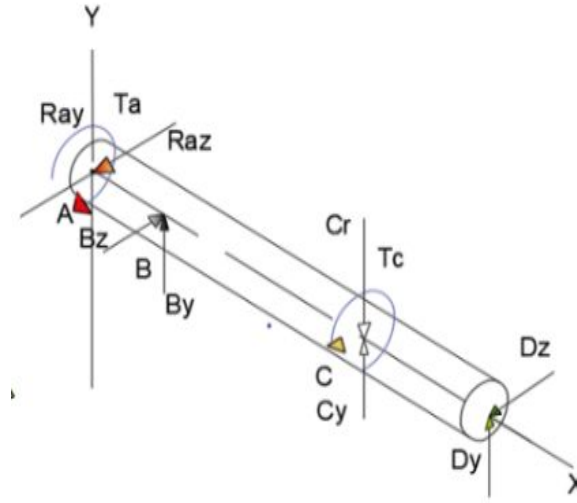
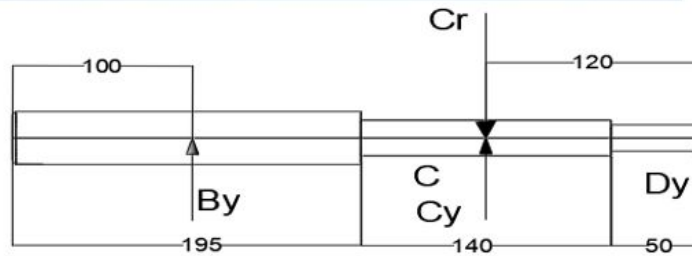
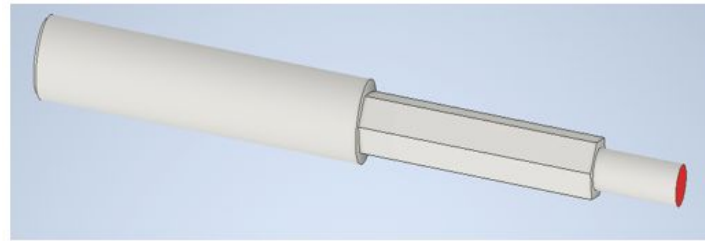
Figura 4. Conjunto del sistema de trituración

Especificaciones Técnicas de los equipos

Equipos	Parámetros	Especificaciones
Motor WEG MO0ICO	Potencia	2HP
	RPM	1720
	Voltaje	110/220V
	Amperaje	27.6/13.8A
	Relación de transmisión	1/45
	Diámetro de paso de corona	20
Reductor de velocidad BONFIGLIOLI 312303701	Diámetro de paso del sin fin	70.4
	Número de roscas del tornillo	2
	Ángulo de presión	20°
	Ángulo de hélice	15°
	Paso	5



Figura 5. Eje transmisor de movimiento del la trituradora



Ray, Raz= Reacciones del torque generado por el reductor
 By, Bz=Reacción de rodamientos 1
 Cy=Fuerza que genera por el impacto de la cuchilla móvil en el instante
 Cr= Fuerza del peso de las cuchillas, eje.
 Dy, Dz=Reacción de rodamiento 2

$N = 38,3 \text{ rpm}$

Torque salida del reductor.	$T_i = 305.54 \text{ Nm}$
Reacciones obtenidas del análisis estático	$Raz = 3271N, Ta = 305.53Nm$ $Bz = 2171,3N, By = 9668N$ $Cy = 8680N, Cr = -53N j, Tc = 305.53Nm$ $Dz = 1099,7N, Dy = 1041N j$
Esfuerzo por flexión respecto x y esfuerzo cortante	$\sigma_x = 205,24MPa$ $\tau_{xy} = 102,78 MPa$
Esfuerzos Principales	$\sigma_1 = 247,86MPa, \sigma_3 = -42,62 MPa,$ $\sigma_3 = 0$
Esfuerzo principal por cortante	$\tau_{max} = 145.24 MPa$
Factor de seguridad por la teoría de ECM	$\eta = 1.281$
Esfuerzo de von Mises	$\sigma' = 271,7MPa$
Factor de seguridad por teoría de ED	$n = 1.37$



Capacidad de producción de la trituradora.

$$C_{ap} = Cap_{rev} \cdot \eta \cdot 60 \quad \text{ec: (1)}$$

$$Cap_{rev} = N_{ejes} \cdot N_{filos} \cdot N_{cuchillas} \cdot A_{corte} \cdot t_{pet} \cdot \rho_{pet}$$

N_{ejes} : Número de ejes de la trituradora

$N_{cuchillas}$: Número de cuchillas

N_{filos} : Número de filos por cuchilla

A_{corte} : Área de corte

t_{pet} espesor del plástico PET

ρ_{pet} : densidad del material.

Datos:

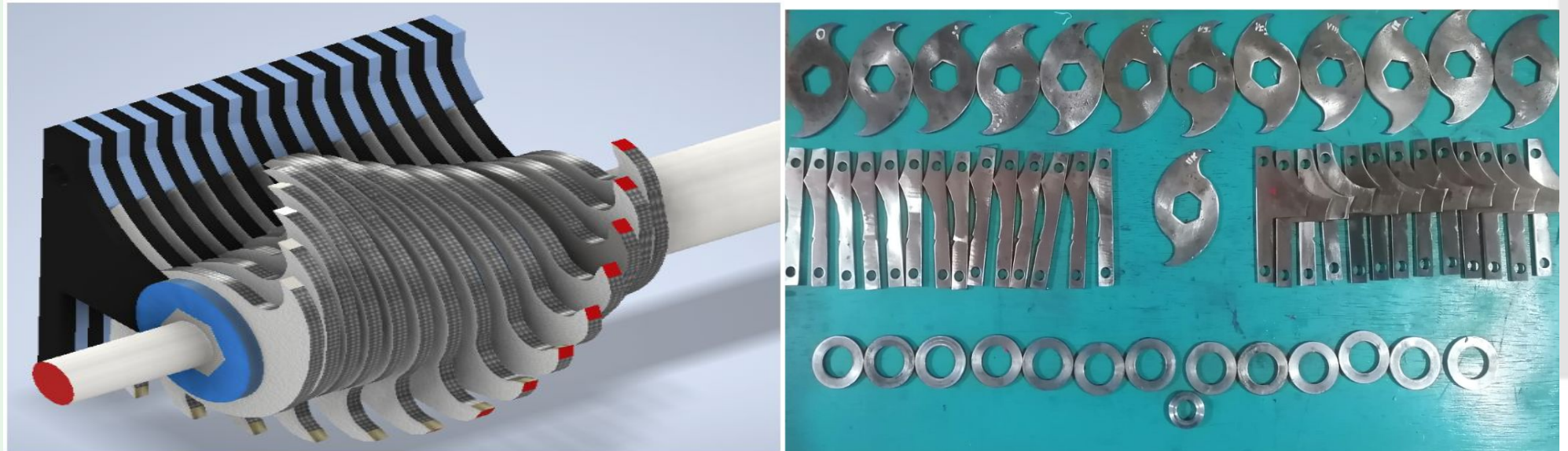
$N_{ejes}=1$	$N_{filos}=2$	$t_{pet}=0.5 \text{ mm}$
$N_{cuchillas}=14$	$A_{corte}=5 \text{ mm}^2$	$\rho_{pet}= 1,38 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$

Resultados:

$$Cap_{rev} = 0.097 \frac{\text{g}}{\text{rev}}$$

$$C_{ap} = 23,06 \frac{\text{g}}{\text{s}}$$

Figura 6. Sistema de corte, por cuchillas fijas y móviles.





ECUADOR

Resultados arrojados por entidades terciarias



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA



Resultados de análisis por Espectrometría de Chispa

Solicitante : Alexis Curay
No. Referencia : ST - 8637
Fecha : 09/11/2023
Muestras recibidas : Una cuchilla de trituradora

La cuantificación de los metales presentes en la muestra se realizó empleando el Espectrómetro de Chispa marca BRUKER modelo Q4TASMAN y se reportan los datos con tres cifras decimales por pedido del cliente. A continuación, los resultados obtenidos:

Metales	Cuchilla (%)
Carbono (C)	0,165
Silicio (Si)	0,013
Manganeso (Mn)	0,933
Fósforo (P)	0,001
Azufre (S)	0,001
Cromo (Cr)	0,017
Molibdeno (Mo)	0,005
Niquel (Ni)	0,003
Cobre (Cu)	0,012
Aluminio (Al)	0,034
Cerio (Ce)	0,058
Niobio (Nb)	0,018
Hierro (Fe)	98,66



Ing. Eddy Pazmiño I. PhD.
Jefe de Departamento (s)



MSc. Evelyn Criollo T.
Jefe de Laboratorio



CERTIFICADO DE DUREZA

AIT-051

Fecha: 4-12-2023

CLIENTE: ALEXIS CURAY

TIPO DE PIEZA: cuchillas y separadores de trituradora

ORDEN DE TRABAJO: 1317

ORDEN DEL CLIENTE: N/A

COTIZACIÓN: N/A

FACTURA: 4694

PESO DEL MATERIAL: 5 KG

CANTIDAD: 41 piezas

TOLERANCIA REQUERIDA: +- 2 HRC

TIPO DE TRABAJO: Servicio de cementación profunda 1.00 mm

TIPO DE ACERO: 1018

DUREZA OBTENIDA: 50-52 HRC

INSTRUMENTO UTILIZADO: Durómetro de pedestal para HRC, verificado. (HR-150 A /1564)

Orlando Paredes
ACEIN ACEROS INDUSTRIALES

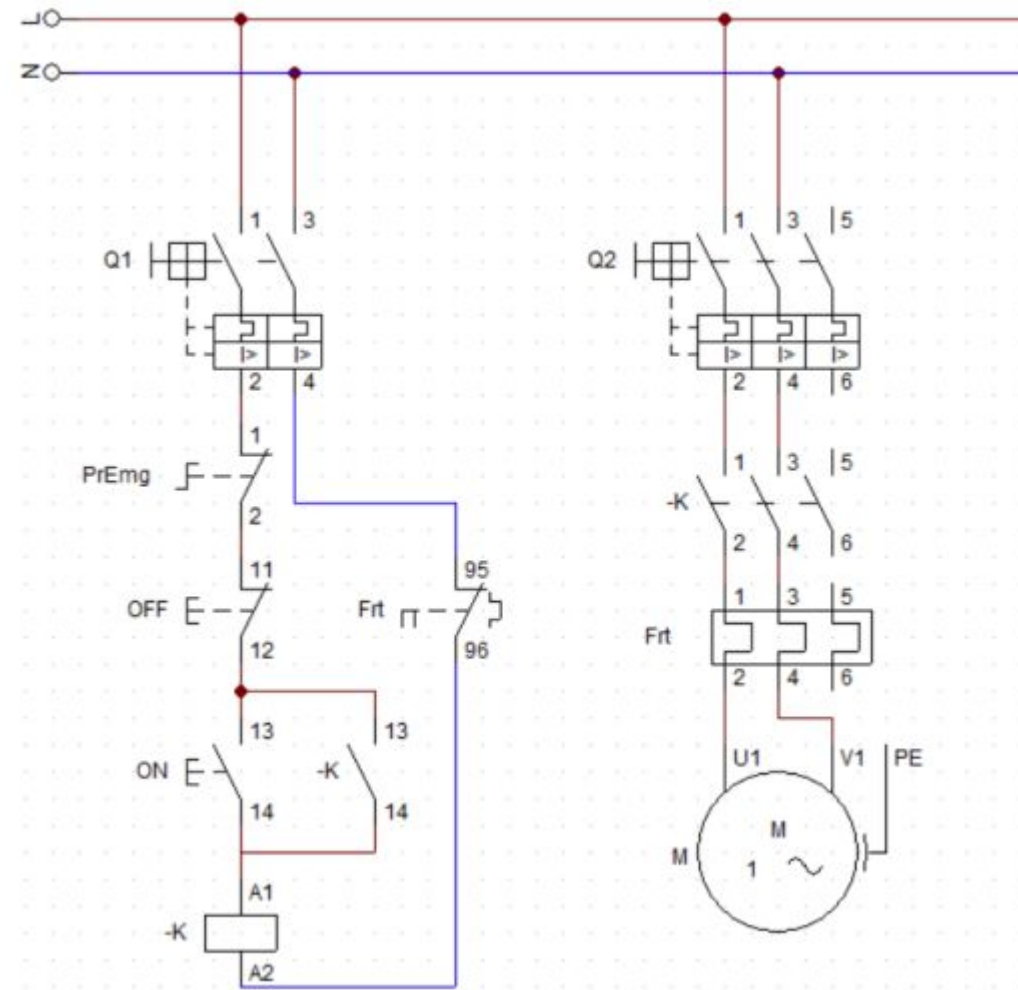
Tec. Orlando Paredes

www.grupoacein.com





Figura 7. Diagrama de control y de potencia del conjunto de la trituradora



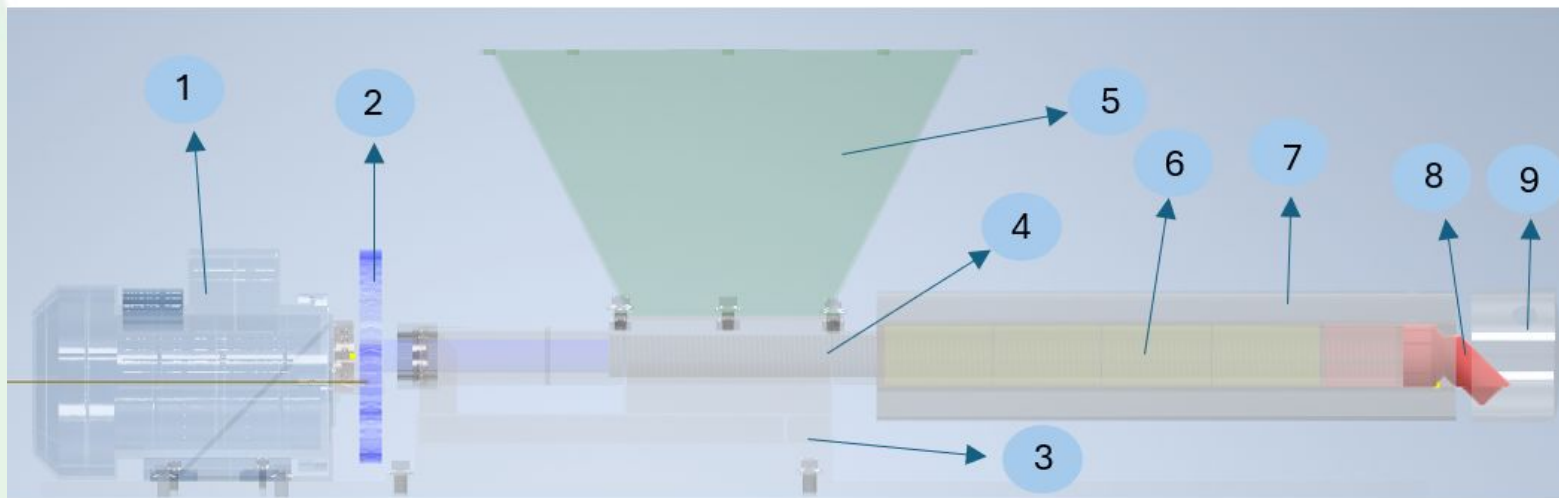
Funcionalidad de la conexión es válida para 110V/220V. Fuente: Propia



Proceso de extrusión

El proceso implica la fusión del material plástico a través del tubo de la extrusora, con la asistencia de resistencias industriales. El avance del material se logra gracias al flujo de arrastre generado por el tornillo sin fin, acompañado de un esfuerzo de contrapresión ejercido por el material fundido.

Figura 8. Conjunto de elementos del sistema de extrusión.



- 1) Motor generador LLL
- 2) Sistema transmisor.
- 3) Estructura base.
- 4) Tornillo sin fin.
- 5) Tolva de alimentación.
- 6) Resistencias eléctricas.
- 7) Tubo aislante.
- 8) Boquilla de extrusora.
- 9) Tapa de boquilla.

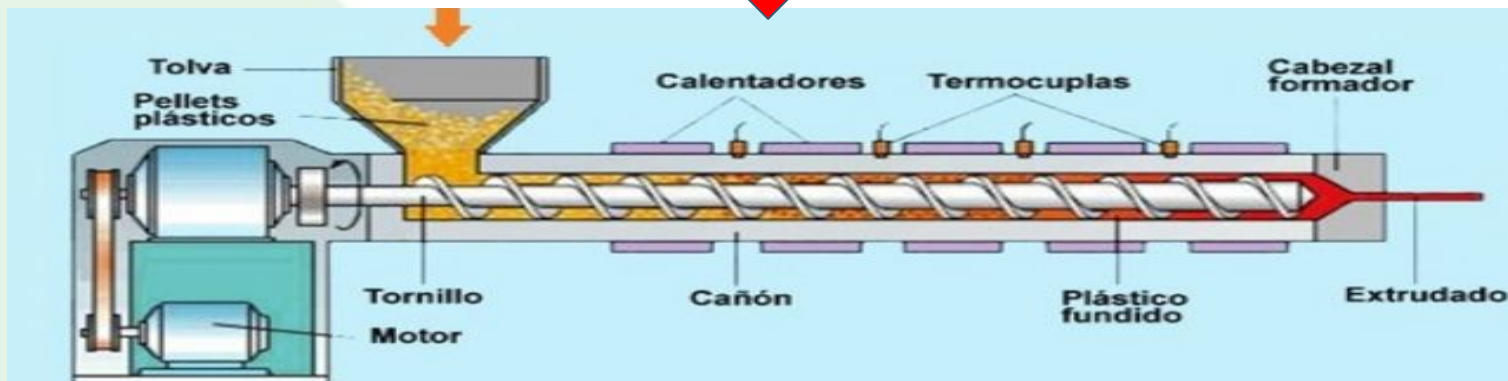


Figura 9. Recorrido de material en la extrusora.

Capacidad de producción de la extrusora

Funcionamiento

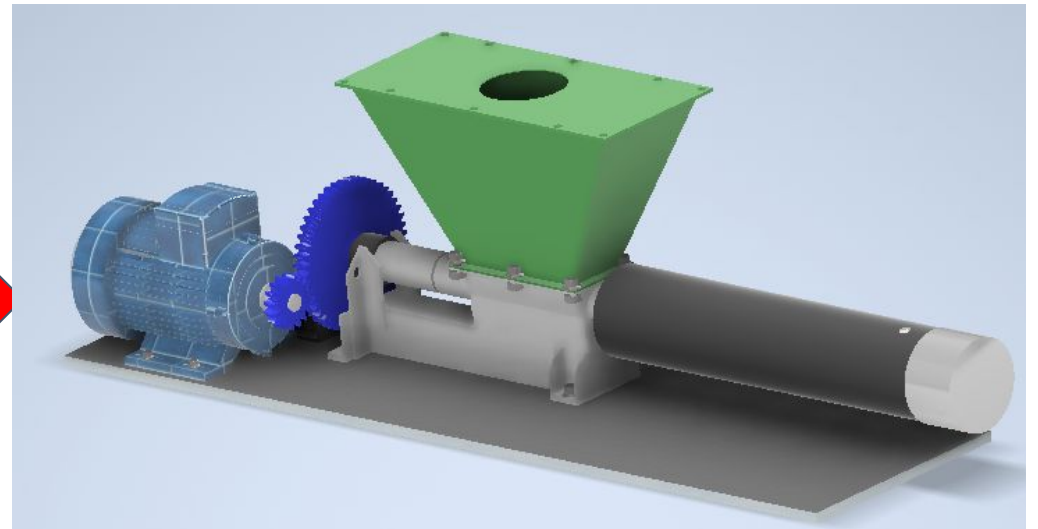


ECUADOR

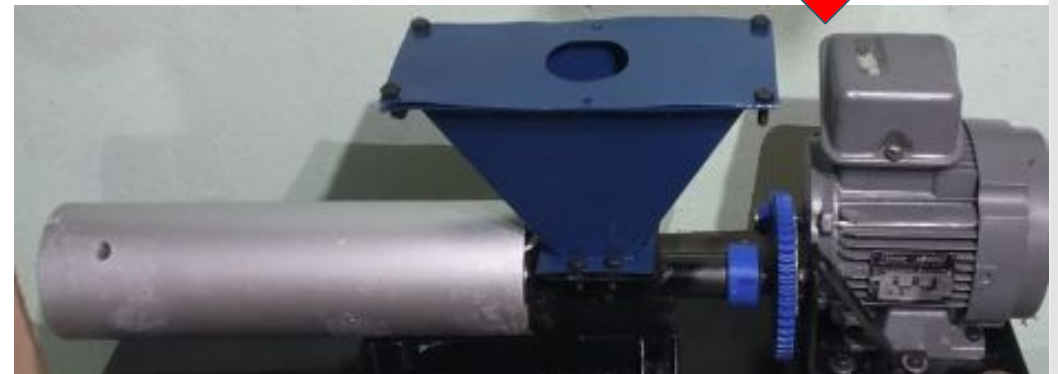
Sistema entregado para la línea de producción.



Extrusora resultante y mantenimiento correctivo al sistema de calentamiento.



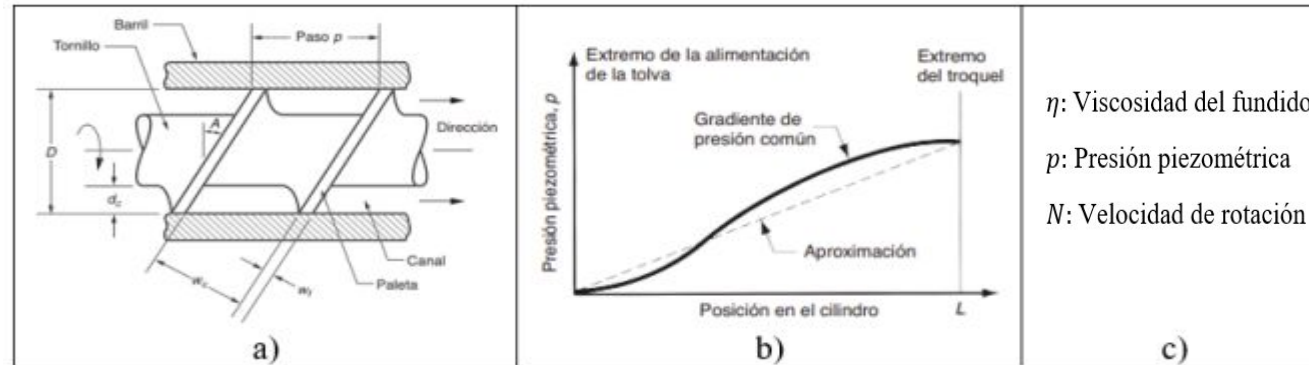
Propuesta de diseño de extrusora





Sistema extrusión flujo del fundido

El flujo volumétrico según Groover (2007), $Q_s = Q_d - Q_b$, el mecanismo de transporte está dado por el flujo de arrastre Q_d y el flujo de contrapresión Q_b .



Nota. a) Sistema de empuje tornillo de Arquímedes ,b) Distribución de presión c) Simbología de arrastre.

Fuente: Groover (2007).

Flujo volumétrico por tornillo sin-fin.

$$Q_s = 0,5\pi^2 D^2 N d_c \text{sen}(A) \cos(A) - \frac{p\pi D d_c^3 \text{sen}(A)^2}{12\eta L_n} \text{ec: (2)}$$

Presión Máxima

$$p_{max} = \frac{6\pi D L_n \cot(A)}{d_c^2} \text{ec: (3)}$$

Flujo volumétrico de extrusora

$$Q_s = k_s p \text{ec: (4)}$$

$$k_s = \frac{\pi D_d^4}{128\eta L_d}$$

D : Diámetro del tornillo [mm]

d_c : Profundidad del canal [mm]

A : Ángulo de hélice del tornillo sin fin [A°]

η : Viscosidad del polímero fundido [$\frac{N}{m^2}$]

p : Paso del tonillo sin-fin[mm]

N : Velocidad de rotación [rpm]

L_n : Longitud de barril [mm]

k_s : Factor de forma troque.

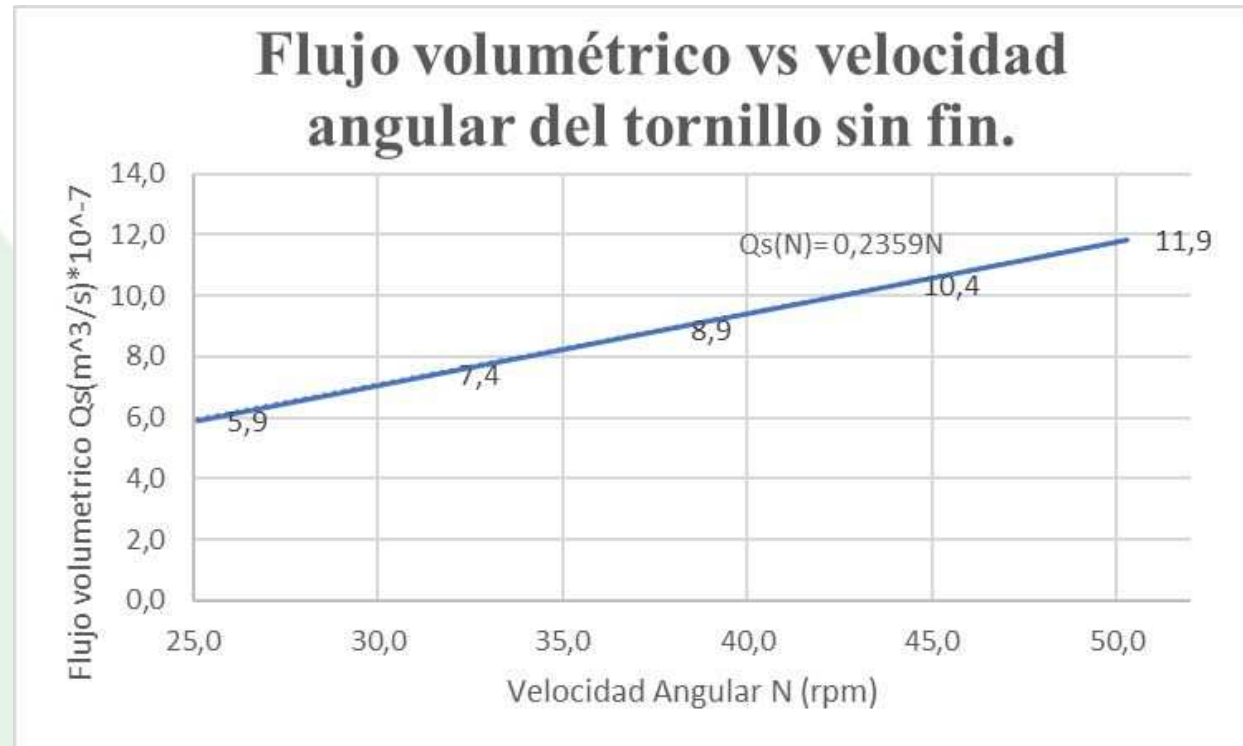
D_d : Diámetro de abertura del troquel [mm]

L_d : Longitud de abertura del troquel [mm]



		$f(\text{Hz})$	$N(\text{rpm})$	$Q_{max}(10^{-5}) \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$	$p_{max}(10^4) \text{Pa}$	$k_s(10^{-12} \frac{\text{m}^5}{\text{Ns}})$	$Q_s(10^{-7}) \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$	$Q(\text{mm/s})$
$D(\text{mm})$	25,4	4	25,1	1,09	5,94	9,94	5,92	1,3
$D_d(\text{mm})$	3	5	31,4	1,36	7,45		7,41	1,6
A	10°	6	37,7	1,63	8,94		8,90	1,9
L_n	486	7	43,9	1,91	10,44		10,37	2,2
$\eta \text{ Pa}$	100	8	50,3	2,18	1,93		11,86	2,5

Nota. Los resultados se generan para la salida de la boquilla de 3 mm y siguen una tendencia lineal. $Q_s(N) = 0,235N$ en relación al aumento de la frecuencia N , dependiendo de la capacidad de la extrusora y el material utilizado. Fuente: Groover (2007).





Evaluación de desempeño del conjunto de engranajes helicoidales.

Esfuerzo a flexión

$$S_t = \frac{W_t P_d}{F J} K_o K_s K_m K_B K_v$$

Resistencia a la picadura en los dientes

$$S_c = C_p \sqrt{\frac{W_t K_o K_s K_m K_v}{F D_p I}}$$

Esfuerzo de contacto admisible

$$S_{ac} = 349 HB + 34300 (\text{psi})$$

$$\frac{K_R(n)}{Z_N C_H} S_c = S_{ac}$$

W_t : Fuerza tangencial [N]

P_d : Paso diametral [mm]

F : Ancho nominal de cara del engrane [mm]

I : Factor geométrico para la resistencia a la picadura []

C_p : Coeficiente elástico [MPa]

n : Factor de seguridad

C_H : Factor de relación de durezas

K_R : Factor de confiabilidad

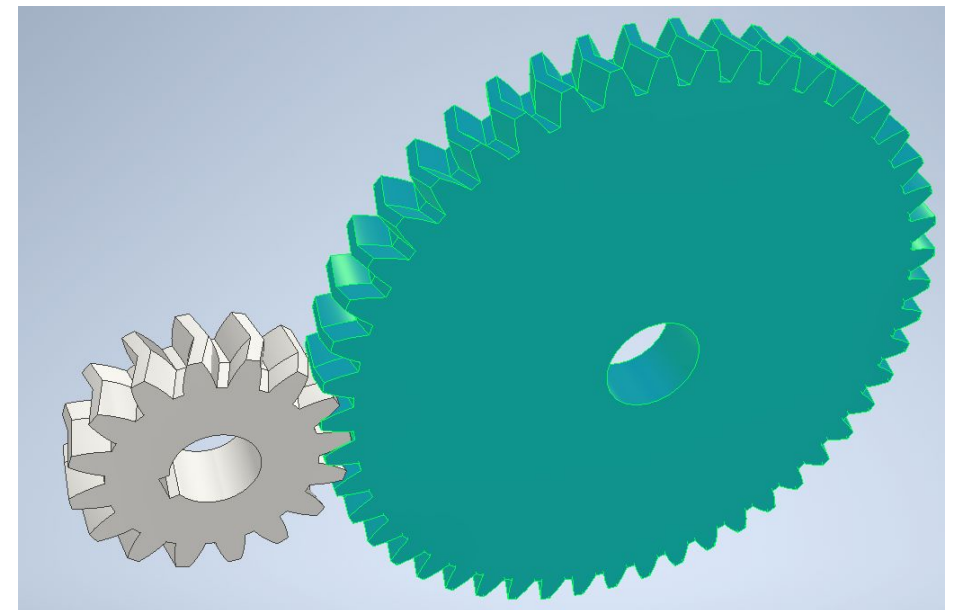
Z_N : Factor de resistencia flexionante

n_{fl} : Factor de seguridad por resistencia a flexión

n_{pc} : Factor de seguridad por resistencia a la picadura.

Factores	Simbología	Valor	Propiedades del PLA PLUS	
Sobrecarga	K_o	1,5	Resistencia a tracción MPa	59
tamaño	K_s	1	Resistencia a flexión MPa	44
Distribución de carga	K_m	1,26	Resistencia de impacto KJ/m2	13,4
Espesor de borde	K_B	1	Densidad (kg/m3)	1252
Dinámico	K_v	1,35	Dureza	90,8
Geometría	J	0,48	temperatura de fusión °C	165

Nota. Los datos son obtenidos de un ensayo realizado en el cual la resistencia a flexión promedio es la mostrada. Fuente: Andrez (2021)





Factor de seguridad respecto a la resistencia a la flexión y picadura en los dientes

N(rpm)	W_t (N)	S_t MPa	S_c MPa	n_{fl}	n_{pc}
20	280	13,24	853,36	3,36	1,57
30	187	8,82	696,77	5,05	1,92
40	140	6,62	603,42	6,72	2,21
45	124	5,88	568,91	7,57	2,35
55	102,0	4,81	514,60	9,25	2,60
60	93,4	4,41	492,60	10,09	2,71

Velocidad angular vs Factor de Seguridad

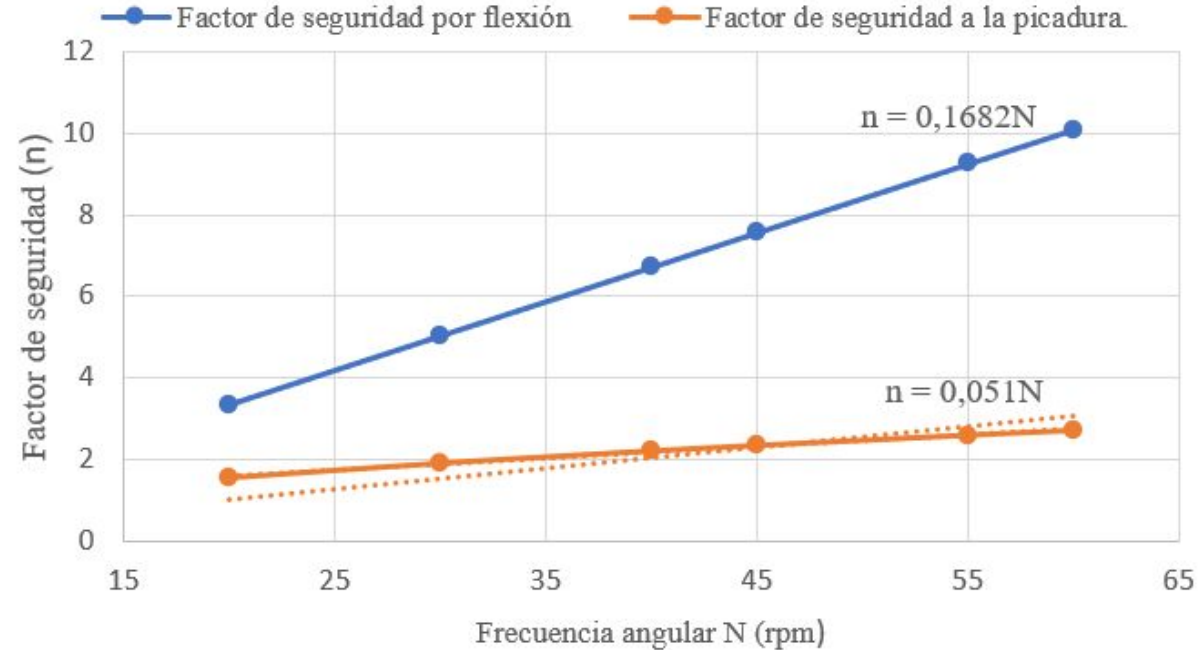
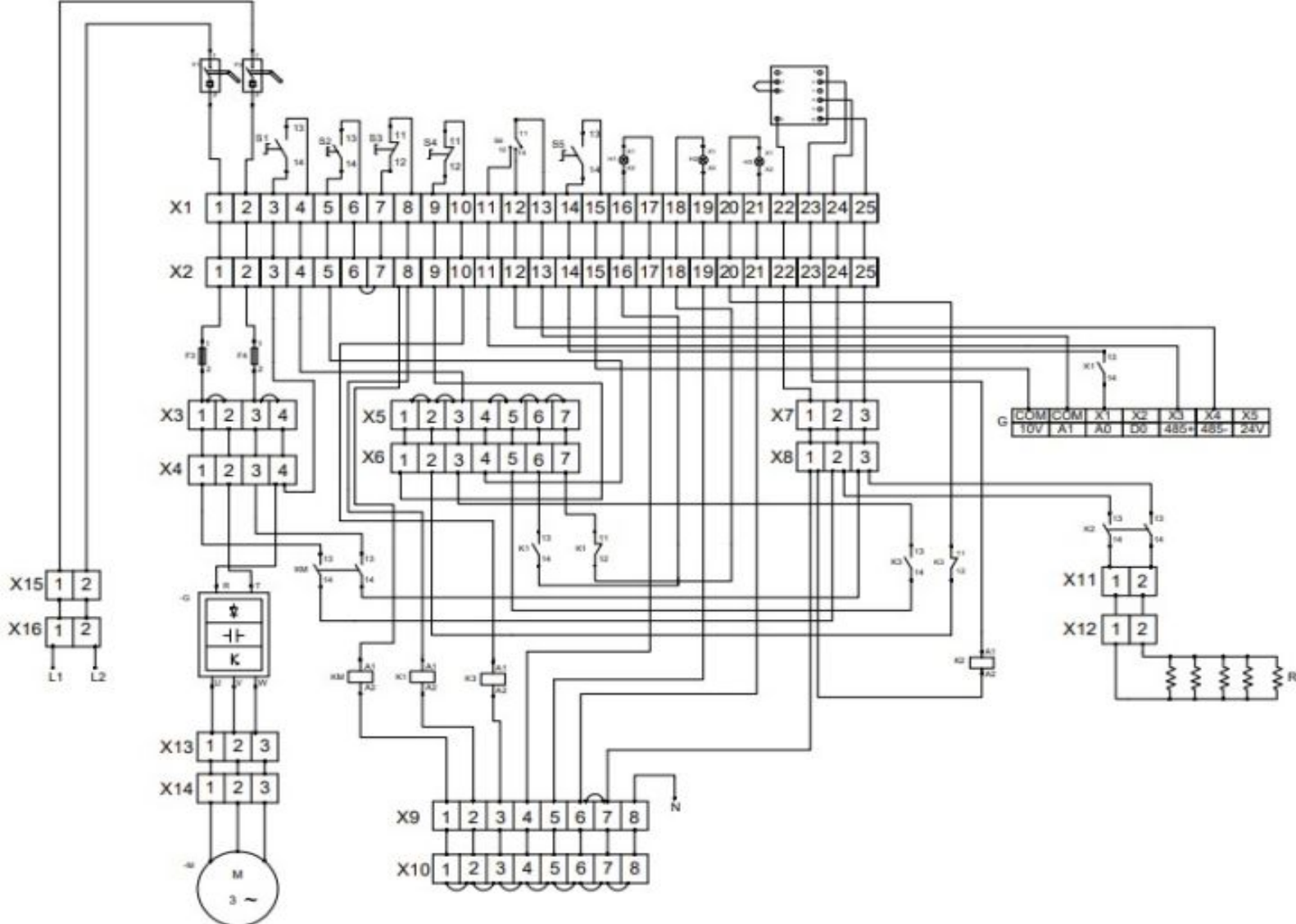




Diagrama de control y de potencia del conjunto de la extrusora



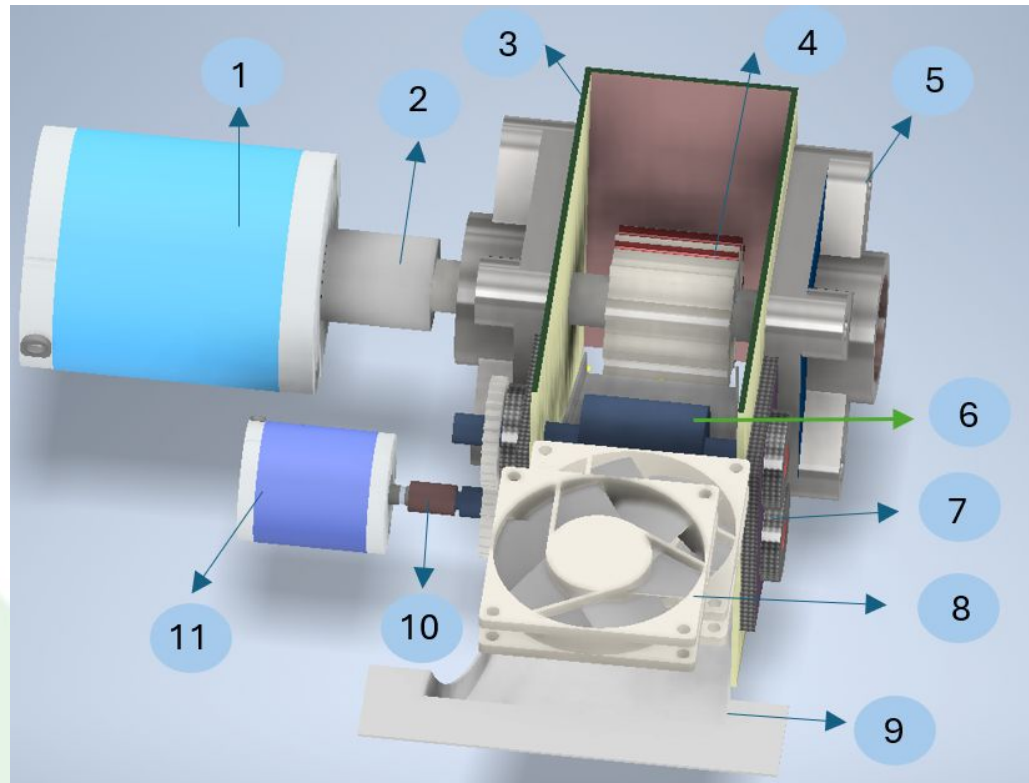
Funcionalidad de la conexión es válida para 220V.
Fuente: Propia.



Sistema de peletizado y enfriamiento del filamento

El filamento producido por la extrusora tiene una consistencia viscosa, por lo que requiere ser enfriado. Para ello, se utiliza convección forzada. Una vez que el filamento alcanza la peletizadora, los rodillos le proporcionan la firmeza necesaria para que pueda ser cortado por la cuchilla móvil.

Componentes del sistema de peletizado para filamentos



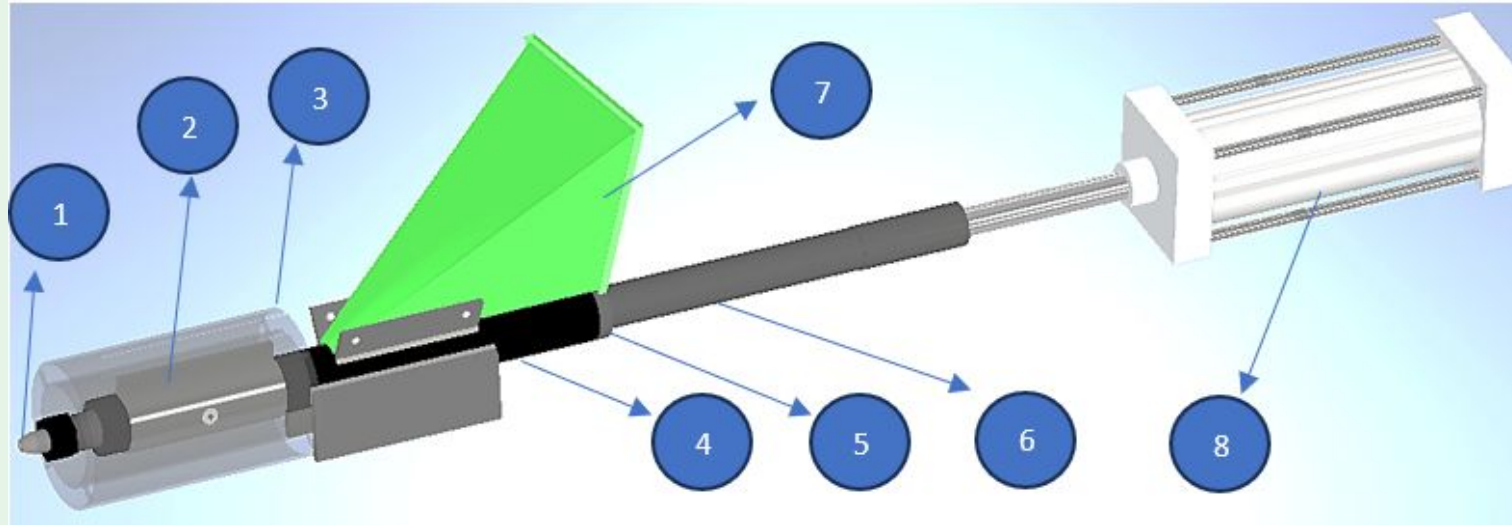
- 1 Motor DC 12 V
- 2 Unión cortadora
- 3 Estructura
- 4 Conjunto de corte
- 5 Soporte de corte
- 6 Rodamiento
- 7 Soporte de rodamiento
- 8 Ventiladores DC
- 9 Rampa
- 10 Unión rodamiento
- 11 Motor reductor.

El conjunto consta de un sistema enfriamiento por un túnel de aire.
Fuente: Propia



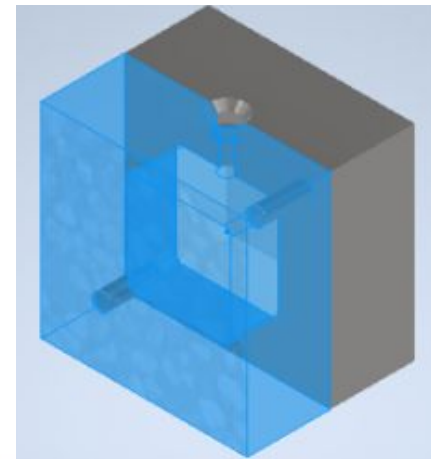
Proceso de inyección

Funciona mediante la fusión de plástico reciclado en un cilindro calentado. Una vez que el polipropileno alcanza la temperatura adecuada (180 °C), se inyecta en un molde con la forma deseada mediante la acción de un pistón. Tras enfriarse y solidificarse, el molde se abre y se extrae la pieza de plástico moldeado.



1. Boquilla de la inyectora
2. Resistencia eléctrica
3. Tubo aislante
4. Estructura base
5. Anillo de retención
6. Eje de inyección
7. Tolva de alimentación
8. Pistón neumático

Matriz o molde para inyección





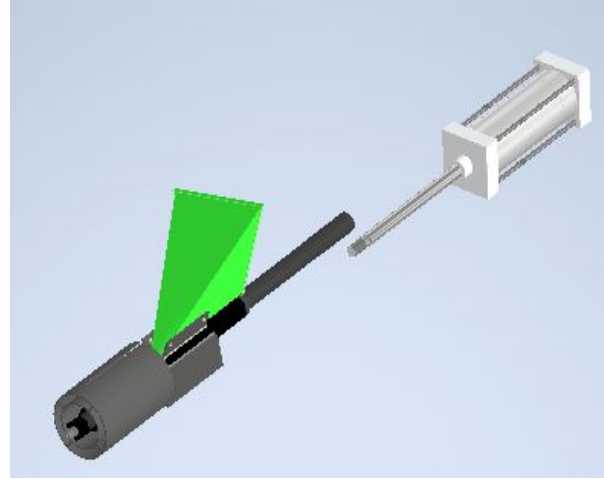
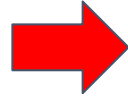
ECUADOR

Análisis de funcionalidad del sistema de inyección

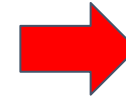
Sistema de Inyección



Mecanismo manual de inyección (palanca)



Propuesta de diseño (Inyección mediante un cilindro neumático)



Sistema de inyección, mediante la implementación de un sistema electroneumático



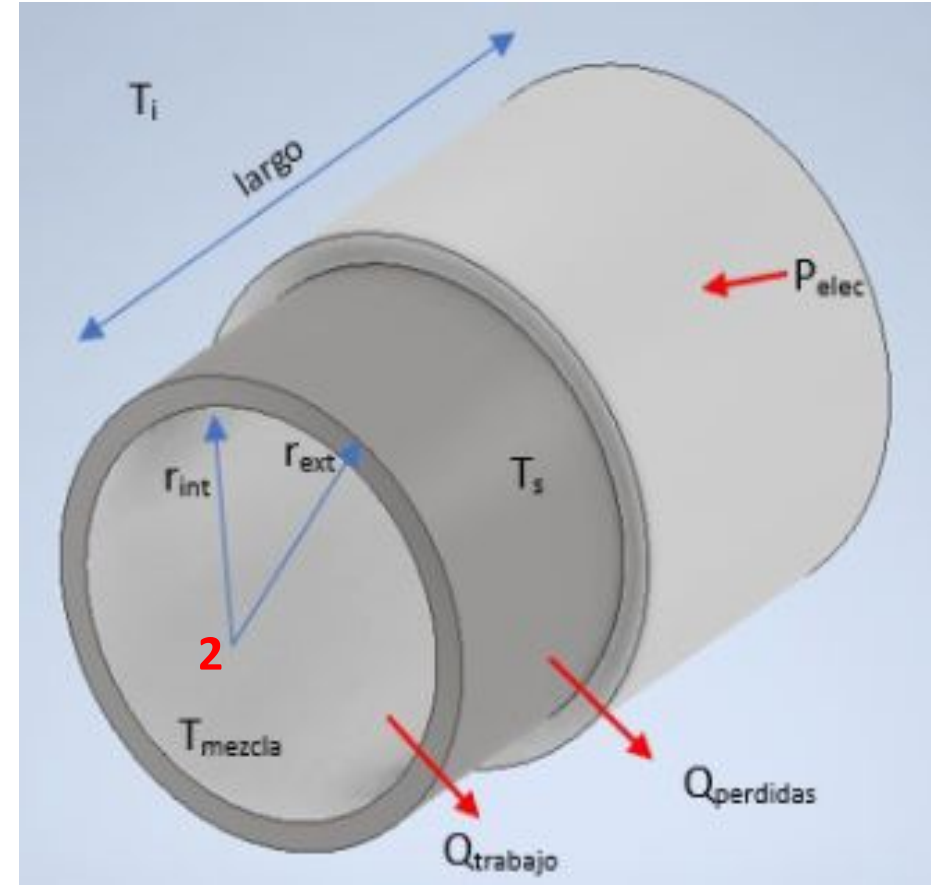
Diseño del sistema de calentamiento

Representación simplificada del cilindro de la máquina de inyección y la cubierta de la resistencia tipo abrazadera, en el cual se asume que el flujo de calor es unidimensional en estado estacionario y sin aislamiento.



$$A_1 V_1 = A_2 V_2$$

$$v_1 = 0.026 \text{ m/s}$$



Variables	Simbología	Valor
Radio de la sección transversal de la boquilla	r_1	3 mm
Radio de la sección transversal del cilindro	r_2	15 mm
Tiempo de extensión del vástago del cilindro	$t_{\text{extensión}}$	1 s
Desplazamiento del vástago	x_D	130 mm



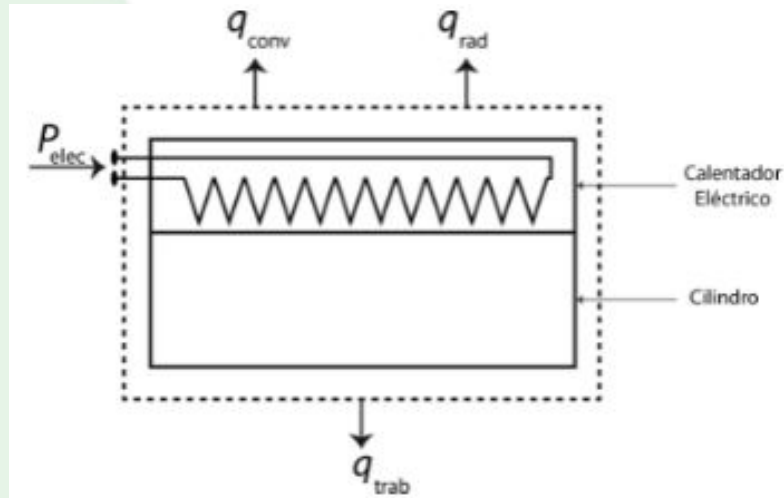
Flujo másico en el cilindro

$$\dot{m} = \rho * A_{cilindro} * v_{cilindro}$$

Velocidad dentro del cilindro	$V_2 = 1.04 \times 10^{-3} \left[\frac{m}{s} \right]$
Flujo másico del polietileno que entra en el cilindro	$\dot{m}_{PET} = 1.014 \times 10^{-3} \frac{kg}{s}$
Flujo másico del polipropileno que entra en el cilindro	$\dot{m}_{PP} = 6.954 \times 10^{-4} \frac{kg}{s}$



Para hallar la potencia requerida



Potencia de trabajo

$$q_{trab} = \dot{m} * C_p * (T_f - T_o)$$

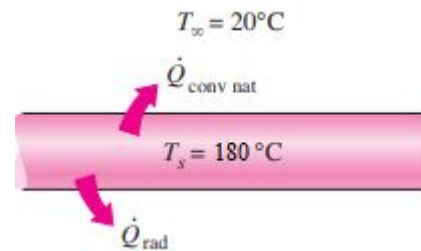
PET	328.7 <i>Watts</i>
PP	214.2 <i>Watts</i>

$$q_{elec} = q_{trab} + (q_{conv} + q_{rad}) = q_{trab} + q_{perd}$$



Pérdidas de calor

$$q_{perd} \begin{cases} R_{conv} = \frac{1}{h * A_s} \\ R_{rad} = \frac{1}{A * \epsilon * \sigma * (T_s^2 + T_i^2) * (T_s + T_i)} \end{cases}$$



$$h = 8.8 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}$$

$q_{perdidasPETconv} = 27.7 \text{ Watts}$	$q_{perdidasPETrad} = 18.5 \text{ Watts}$
$q_{perdidasPPconv} = 14.7 \text{ Watts}$	$q_{perdidasPPrad} = 6 \text{ Watts}$

$$q_{elec} = q_{trabajo} + (q_{perdidasconv} + q_{perdidasrad})$$

$$q_{elecPET} = 371 \text{ Watts}$$

$$q_{elecPP} = 239 \text{ Watts}$$



Parámetros	Especificaciones
Potencia	450 Watts
Tensión	220 V

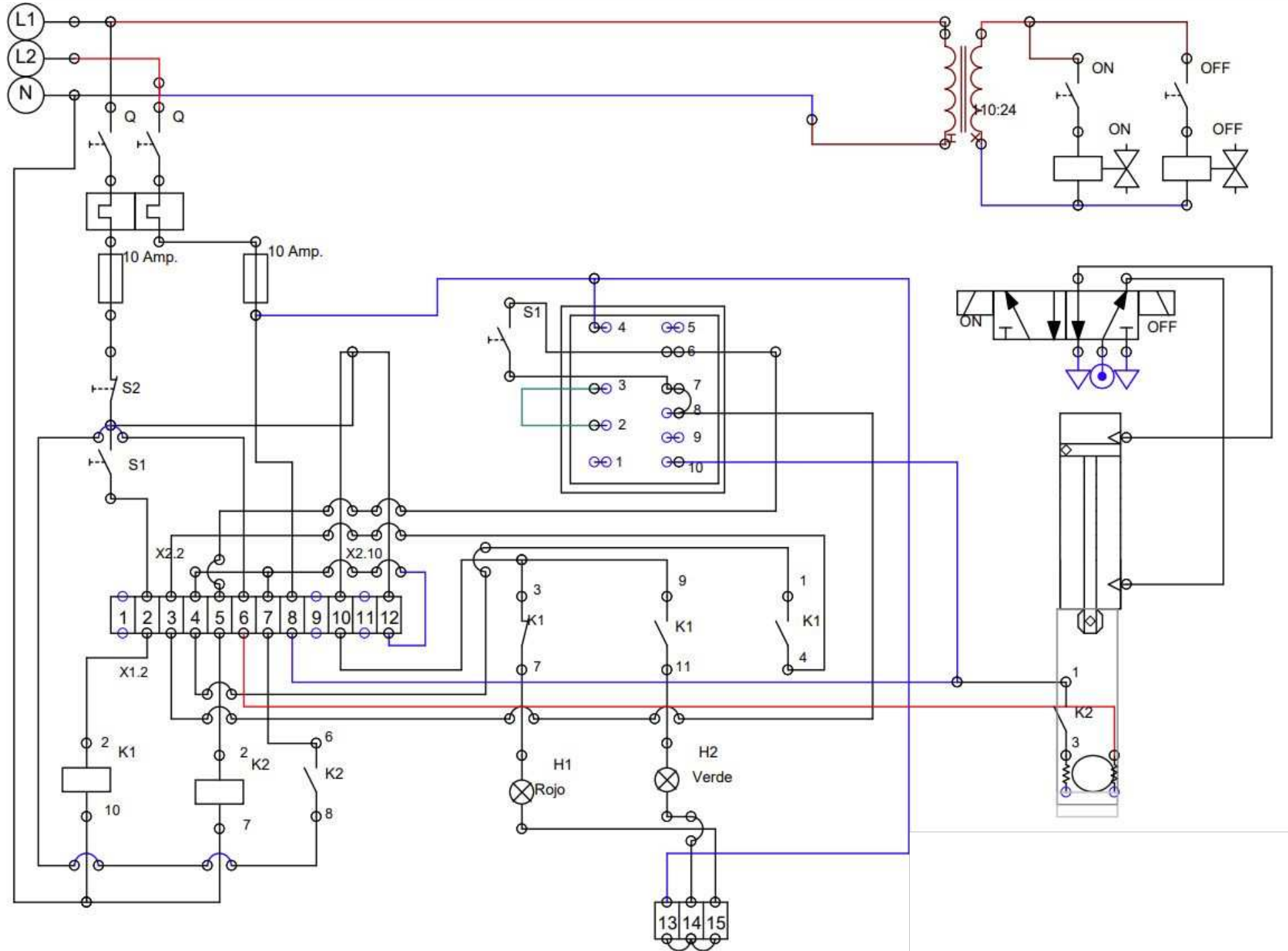


Criterios para la obtención de productos mediante el moldeo por inyección

Selección del material	Polipropileno (180 - 200)°C
Matriz para inyección	Molde de doble placa con figura de cubo 27cm ³
Enfriamiento del molde	23 minutos



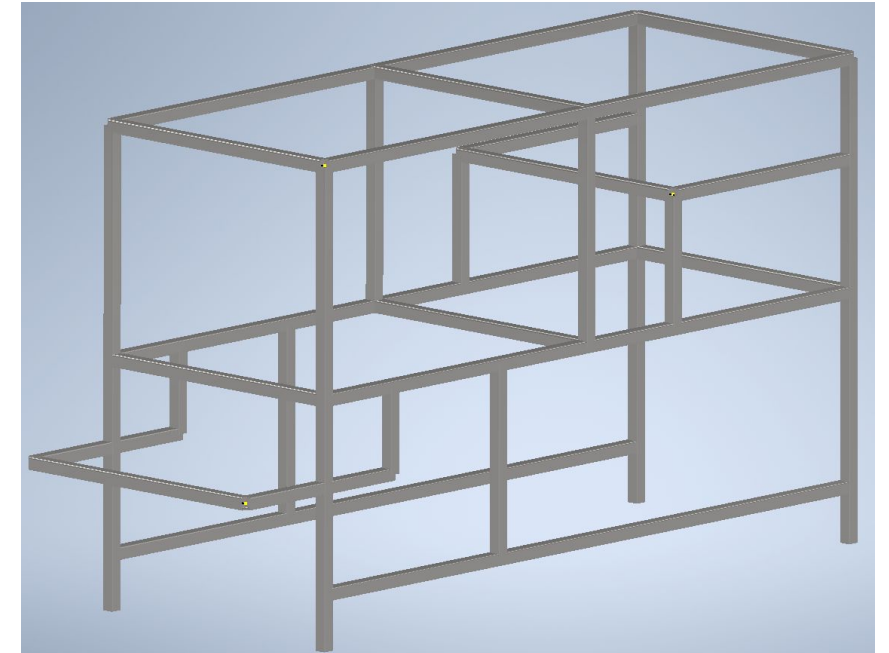
Panel de control eléctrico de la inyectora





Estructura base de la línea de producción

Denominación	Peso (kg)
Sistema de trituración	40
Extrusora	20
Inyectora	15
Sistema de peletizado	12
Tableros de control	25
Estructura propia	50
Material eléctrico adicional	5
Accesorios (Blower, electroválvula, cinta transportadora, cajas, etc.)	5
Total	172



Estructura soporte de la línea de producción.



ECUADOR

Consumo energético de la línea de producción

Consumo teórico de la línea de producción.

Consumo eléctrico teórico por áreas de trabajo						
Equipo	Elemento	Nº	Consumo W	Hora Uso	Kwh	Kw/Mes
Trituradora	Motor Monofásico	1	1500	1	1,5	642
	Contactador	1	10	1	0,01	4,28
Sistema Distribución	Blower 2" 110V	1	190	1	0,19	81,32
Cinta Transportadora	Motorreductor	1	60	1	0,06	25,68
Extrusora	Motor Trifásico	1	750	1	0,75	321
	Resistencias	4	960	1	0,96	410,88
	Resistencia	1	240	1	0,24	102,72
	Variador de frecuencia	1	60	1	0,06	25,68
	Relé 220V	3	5,5	1	0,006	2,35
	Controlador de TCN 72	1	5	1	0,005	2,14
Cortadora Pellet	Motor 110 V	1	660	1	0,66	282,48
	Bomba Arduino	1	4,8	1	0,005	2,05
Inyectora	Compresor 24 L	1	1000	0,13	0,13	55,64
	Resistencia	1	240	1	0,24	102,72
	Resistencia tubular	1	240	1	0,24	102,72
	Fuente de Alimentación	2	60	1	0,12	51,36
	Controlador de TCN 72	1	5	1	0,005	2,14
				TOTAL	5,18	2217,17

Consumo real de la línea de producción.

Consumo eléctrico real por áreas de trabajo						
Equipo	Elemento	Nº	Consumo W	Hora Uso	Kwh	Kw/Mes
Trituradora	Motor Monofásico	1	1430	1	1,43	612,04
	Contactador	1	10	1	0,01	4,28
Sistema Distribución	Blower 2" 110V	1	190	1	0,19	81,32
Cinta Transportadora	Motorreductor	1	60	1	0,06	25,68
Extrusora	Motor Trifásico	1	737,7	1	0,738	315,74
	Resistencias	4	480	1	0,48	205,44
	Resistencia	1	120	1	0,12	51,36
	Variador de frecuencia	1	60	1	0,06	25,68
	Relé 220V	3	5,5	1	0,006	2,35
	Controlador de TCN 72	1	5	1	0,005	2,14
Cortadora Pellet	Motor 110 V	1	616	1	0,616	263,65
	Bomba Arduino	1	2,4	1	0	1,03
Inyectora	Compresor 24 L	1	957	0,13	0,124	53,25
	Resistencia	1	220	1	0,22	94,16
	Resistencia tubular	1	220	1	0,22	94,16
	Fuente de Alimentación 24 V	2	60	1	0,12	51,36
	Controlador de TCN 72	1	5	1	0,005	2,14
				TOTAL	4,406	1885,77

El consumo teórico por cada máquina se encuentran en las placas de identificación, b) En el consumo se toma en cuenta 20h de trabajo por día, 5 días a la semana durante 1 mes.

Fuente: Propia



Representación por áreas el consumo energético



Las áreas de mayor consumo son la trituradora y la extrusora, debido al tiempo de funcionamiento, el cual es de 20 horas por día, durante 5 días a la semana.



Costo energético mensual de la línea de producción

Consumo	Separación de consumo	Costo del KWh	Valor Consumido
50	50	0,078	3,9
51-100	50	0,08	4,05
101-150	50	0,08	4,15
151-200	50	0,10	4,85
201-250	50	0,10	4,95
251-300	50	0,10	5,05
301-350	50	0,10	5,15
351-500	150	0,11	15,75
501-700	200	0,13	25,70
701-1000	300	0,15	43,50
1001-1500	500	0,17	85,45
1501-2500	649	0,28	178,59
Por comercialización			7,07
Subsidio Cruzado Solidario			10,47
TOTAL A PAGAR			398,62

El cobro mensual de la energía eléctrica consumida está dado por tablas de consumo el cual el valor de KWh cambia según el margen y considerando subsidios por el consumo.



Evaluación de eficiencia de línea de producción

La evaluación de la eficiencia se toma como parámetro clave el tiempo de producción actual vs antiguo, se trabaja con 3 Kg de PP.

Relación de producción en función del tiempo.

Área	Tiempo (min)			Reducción de tiempo (min)	Error porcentual
	Teórico	Real	Antiguo		
Trituración	11,25	10,7	13	2,3	5%
Alimentación	12,25	11,7	14	2,3	4%
Extrusión	23,22	22,8	27,5	4,7	2%
Corte Pellet	25,22	24,7	30	5,3	2%
Inyección	30	28,3	35	6,7	6%
Promedio:					4%

El tiempo teórico se encuentra con relación de la cantidad de masa y el flujo másico para máquina estando dadas por las ec. (1)(4)(12)

Fuente: Propia



Consideraciones de tiempo durante la línea de producción.

- La trituradora demora 2,16 minutos en procesar 3 kg de plástico picado.
- El blower operará al mismo tiempo que la trituradora hasta que se complete su tarea.
 - La extrusora y la inyectora son precalentados durante los primeros 12 minutos del proceso.
 - El tiempo que la extrusora tarda en procesar los 3 kg de material es de 8 min.
- La operación de corte de los pellets espera al filamento de la extrusora durante 2 minutos.
- El corte se llevará a cabo de manera secuencial con la extrusora, por lo que el tiempo total de acción de extrusora y peletizadora será de 10 min.
- El proceso de inyección se lleva a cabo durante la extrusora está activada.
- El tiempo que enfriamiento de molde matriz de 23,22 min.

$$t_{línea} = t_{trituradora} + t_{Hot+extriny} + t_{enfriamiento} + t_{funcionamiextr}$$

$$t_{línea} = 2,16 + 12 + 23,22 + 10$$

$$t_{línea_{3Kg}} = 47,5 \approx 48min$$



Relación de resultados y evaluación de la eficiencia en la producción.

Para la comparación de la producción, se considerará el tiempo real de la generación de productos, el cual fue de 45 min.

$$\varepsilon_r(\%) = \frac{|R_{practico} - R_{teorico}|}{R_{teorico}} * 100\%$$

$$\varepsilon_r(\%) = \frac{|45 - 48|}{48} * 100\%$$

$$\varepsilon_r(\%) = 6,2\%.$$

La producción a través de procesos separados requiere un tiempo de procesamiento de 60.11 min para procesar la misma cantidad de materia prima que se utiliza en la línea de producción en serie.

$$eff(\%) = \left(1 - \frac{t_{EquiposSepados}}{t_{Lineade Produccion}}\right) * 100\%$$

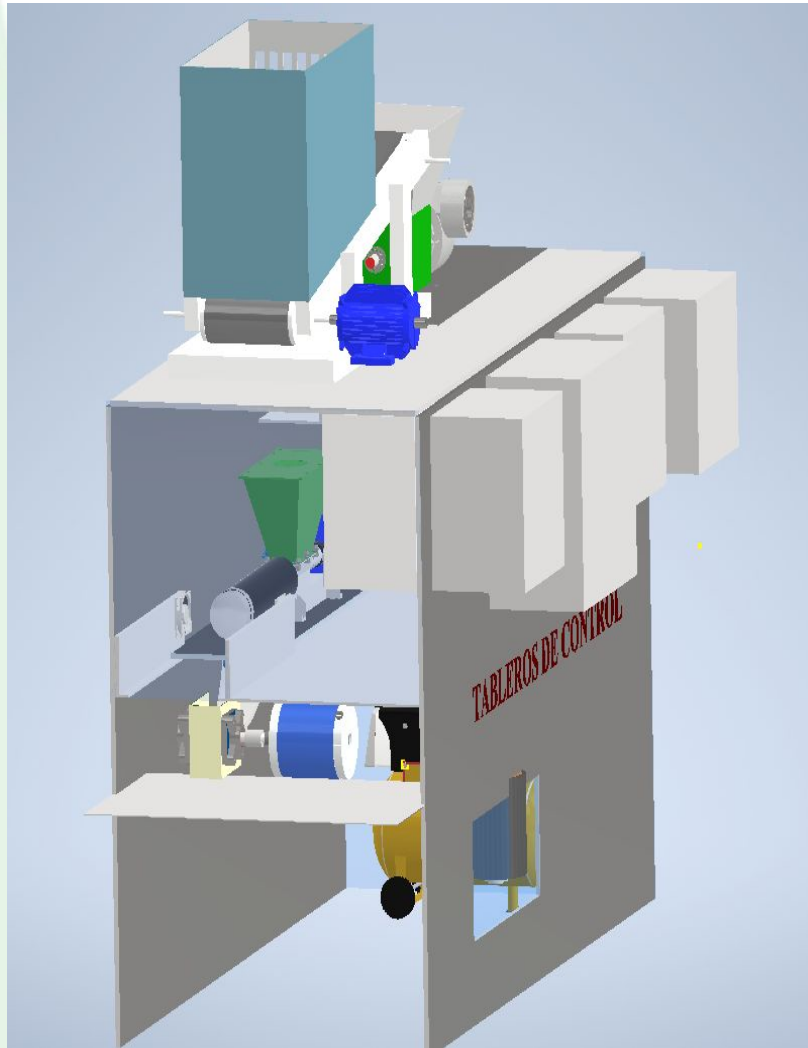
$$eff(\%) = \left(1 - \frac{60,11}{45}\right) * 100\% = 33,5\%$$

Al comparar el manejo manual de los equipos con el uso de un sistema de producción en serie, se observó una diferencia en el tiempo de producción de 15,11 minutos, el cual es dado principalmente por las interacciones entre el operador y las máquinas, especialmente en la alimentación de los equipos, pueden impactar significativamente en el tiempo de producción. Al implementar una línea de producción en serie, se reduce el tiempo necesario para fabricar productos, lo que resulta en un aumento de la eficiencia de producción en un 33,5\%.



ECUADOR

Manejo del equipo



1. Energizar las máquinas (110 y 220 V).
2. Encender los tableros de cada máquina.
3. Suministrar material y encendido de cinta transportadora.
4. Encendido de la trituradora.
5. Encendido del Blower.
6. Encendido de la extrusora e inyectora (precalentamiento).
7. Suministro de material a la extrusora.
8. Encendido del motor de la extrusora.
9. Encendido de la peletizadora, incluido el sistema de enfriamiento por aire (ventiladores).
10. Recolección de material Pellet.
11. Suministro de material a la Inyectora.
12. Encendido y carga del compresor.
13. Encendido del cilindro neumático a través de la electroválvula 5/2.
14. Enfriamiento de la matriz de inyección.

Modelado de la línea de producción artesanal



Línea artesanal repotenciada



RESULTADOS

Repotenciación de la línea de producción artesanal de una planta de reciclaje de polímeros termoplásticos.



Productos Resultantes



Escama



Filamento



Pellet



Cubo

RESULTADOS



ECUADOR

CONCLUSIONES

- El análisis de los sistemas transmisores de movimiento, tanto mediante el método de la energía de la distorsión (ED) para el eje transmisor de la trituradora, como a través del análisis de resistencia a flexión y contacto en los dientes del tren de engranajes de la extrusora, revela un factor de seguridad que supera el valor de 1. Esto se indica a que los sistemas de transmisión de movimiento cumplen con el criterio de funcionalidad.
- La producción inicial estaba destinada a involucrar tres tipos de plásticos: PET, PP y HDPE. Sin embargo, tras realizar pruebas, se optó por utilizar el polipropileno como material base de trabajo. Esto se debe a que sus propiedades térmicas y composición química permiten una mezcla uniforme mientras avanza por las zonas de la extrusora, logrando una fusión homogénea. En caso de trabajar con otros plásticos en el proceso de extrusión, se requerirá la adición de aditivos y material virgen para facilitar la mezcla y la fusión de los polímeros termoplásticos.



CONCLUSIONES

- La alimentación de equipos tiene un impacto considerable en el tiempo de producción y en el consumo energético. En procesos manuales, es frecuente que ocurran pérdidas de material debido a errores en la alimentación de las máquinas, así como un mayor costo en el consumo eléctrico. Al implementar una línea de producción en serie, no solo se logra reducir el tiempo de producción, sino también un consumo más eficiente de materia prima y energía. Esto conlleva a un aumento significativo en la eficiencia de producción de los equipos.
- Los mantenimientos correctivos y modificativos implementados en los equipos pueden reducir el tiempo de producción, ya que se adaptan tanto a una distribución independiente como continua, según lo determine el operador. Para lograr esto, se han instalado controles eléctricos en zonas estratégicas dentro de la estructura de la línea de producción.



CONCLUSIONES

- El gasto mensual por el uso de la línea de producción se determina en función de las tarifas de consumo eléctrico, y asciende a 398,62 USD. Esto se considera mientras la línea esté dentro del rango de consumo de 1,5 a 2,5 kW. La línea de producción opera durante 20 horas al día, durante 5 días a la semana, con 2 días reservados para mantenimiento si fuera necesario.
- El mantenimiento realizado a la inyectora tuvo un costo aproximado de 487 USD, lo cual se debió a la implementación de un nuevo sistema para inyectar el material. Se desarrolló un prototipo semi-automatizado que consta de un sistema neumático. Sin embargo, para generar ganancias a través de este sistema, será crucial el diseño del molde de inyección, ya que el costo variará según la geometría o forma que tenga la matriz.
- Las máquinas deben pasar por una etapa de precalentamiento de al menos 10 a 15 minutos para alcanzar la temperatura de fusión ideal del material, tanto para la extrusora como para la inyectora. Este período es necesario para que la temperatura se mantenga constante a lo largo del cilindro y también ayuda a prevenir atascos causados por residuos de material. Esto permite que las máquinas, como el motor de la extrusora o el pistón de la inyectora, operen en condiciones óptimas.



RECOMENDACIONES

- Para reducir el consumo energético tanto en la extrusora como en la inyectora es necesario realizar los cálculos de potencia, para poder determinar en función del material a fundir la potencia requerida, y no sobredimensionar las resistencias.
- Para la obtención del elemento inyectado por la máquina, es necesario conocer la cantidad suficiente de material requerida para la obtención del elemento y evitar el apareamiento de rebabas en la misma.
- Para asegurar el mantenimiento eficiente de una extrusora e inyectora, es crucial establecer un programa regular de mantenimiento preventivo que abarque inspecciones visuales, la correcta lubricación de partes móviles, y la verificación y calibración periódica de los controles de temperatura, presión y velocidad. La limpieza periódica de residuos acumulados, junto con la programación del reemplazo de piezas desgastadas, juega un papel fundamental en la prevención de posibles problemas operativos, asegurando así una producción eficaz y de alta calidad.



- Alvarez, J. S. L. (2005). Cementación sólida de aceros, tratamientos termoquímicos. Universidad Autónoma de Nueva León. UANL. España. Retrieved from <http://eprints.uanl.mx/5557/1/1020150661.PDF?fbclid=IwAR3A7CCBfLjXDFMbcL26oSvE2p6zm6mHPb6IOD4UPk63uooP56hgo1fcQpw>
- Arizmendi, J. (2020). Tratamientos térmicos temple, cementación y nutrición. Retrieved from <http://ferrepro.mx/temple-cementacion-y-nitruracion-tratamientos-termicos/#:~:text=Al%20proceso%20que%20involucra%20la,acero%20en%20funci%C3%B3n%20del%20tiempo.>
- Askeland, D. (2010). Dispersion strengthening by phase transformations and heat treatment. essentials of materials science and engineering. CENGAGE Learning. España.
- Beltran M, M. A. (2012). Tecnología de polímeros procesado y propiedades, moldeo por inyección. Universidad de Alicante. España. Retrieved from https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/16980/1/TEMA5_Moldeo_por_inyecci_n.pdf
- Biotech, A. (2022). Producción por lotes mrp. Retrieved from https://manufacturing-software-blog.mrpeasy.com/es/produccion-por-lotes/?fbclid=IwAR3f9gLTr92P3zADd5_OKQm082pKaB0YMzA1a5fzdBUyPfbZFFfx9kiujBM



- Bonilla, A. (2023). Sistemas de producción para negocios. Retrieved from <https://bind.com.mx/blog/manufactura-y-produccion/tipos-de-sistemas-de-produccion#:~:text=1.,a%20las%20necesidades%20del%20comprador>.
- Cabañes, A. (s.f.) Diseño de piezas de plástico para inyección. España, BASF.
- Canale, G. (2015). Materialoteca: Perfil ambiental de materiales (A. Buenos aires, Ed.). doi:ISBN 9789873607936.
- Capmany, J. F. (2014). Diseño para el moldeo por inyección de plástico. aplicación en producto. Memoria Tomo 1.
- Cimbala, J. (2023). Extrusión de materiales poliméricos. en tecnologías de fabricación con materiales poliméricos y compuestos. Universidad Politécnica de Valencia.
- ColorPlastic. (2021). Recuperacion plastica. <https://colorplasticcolombia.com>.
- Cordova Cabada, R. A. (2022). Design of a prototype pf a plastic crusher machine. [Quito-Ecuador].
- Estació, S. (2023). Tereftalato de polietileno pet características, usos y aplicaciones. Retrieved from <https://serveiestacio.com/blog/que-es-el-pet/>



- Fuster, F. L. (2021). Buffer y layout en líneas de producción (España, Ed.). Mecalux. Retrieved from <https://www.mecalux.com.mx/blog/buffer-almacen>
- Garcia-Sabater, J. P. (2020). Diseño de líneas de producción (España, Ed.). Universidad Politécnica de Valencia. Retrieved from <https://riunet.upv.es/handle/10251/138801>
- Groover, M. (2007). Fundamentos de manufactura moderna .procesos de conformado para plásticos. Mexico, McGrawHill.
- Gugliotta, G. (2019). Polímeros. Universidad Nacional del Litoral.
- Martin, M. (2023). Polietileno de alta densidad hdpe. Retrieved from <https://www.ensavelia.com/blog/que-es-el-polietileno-de-alta-densidad-hdpe-o-pead-id18.htm>
- MinAmbiente. (2004). Principales procesos básicos de transformación de la industria plástica y manejo, aprovechamiento y disposición de residuos plásticos post-consumo (C. Bogotá, Ed.). doi:9589739342.
- Molina, M. (2009). Diseño e implementación del sistema de control para una inyectora de plástico. Quito, EPN.
- Mott, R. (2006). Diseño de elementos de máquinas (México, Ed.). PEARSON Prentice Hall.



- Muñoz, D. (2023). Polipropileno: que es y sus características. Retrieved from <https://www.plastico.com/es/noticias/polipropileno-que-es-y-sus-caracteristicas>
- OVACEN. (2021). Máquinas para reciclar plástico. Retrieved from <https://ovacen.com/como-hacer-una-maquina-para-reciclar-plastico/>
- Ramirez, A. (1995). Procesos de transformación de plásticos por inyección: aplicaciones en materiales de ingeniería. Retrieved from <https://doi.org/10.23850/22565035.1163>
- Roberto Carro, D. G. (2023). Diseño y selección de procesos industriales (Argentina, Ed.). Universidad nacional del mar del plata.
- Roman, J. (2023). Instituto de tuberías de plástico fabricación por inyección. <https://www.plasticpipe.org/PPI-Home/PPI-Home/Default.aspx>.
- Romero Á, . P. H., Martinez B. (2023). Planta prototipo para fabricación de pellets y filamentos de impresion 3d elaborado apartir de botellas pet posconsumo. Bucaramanga.



- Sandoya, D. . M. (2021). Diseño y construcción de un equipo triturador-extrusor de material plástico reutilizable tipo tereftalato de polietileno (pet) para la elaboración de filamento para impresión 3d [Ecuador].
- Schmid, S. K. . S. (2008). Polímeros termoplásticos de manufactura, ingeniería y tecnología (México, Ed.). Pearson Educación.
- SeamPedia. (2018). Línea de producción. Retrieved from <https://seampedia.com/que-es-una-linea-de-produccion/>
- Tlalnepantla. (2022). Línea de producción industrial, programación y control industrial, México. Retrieved from <https://proci.com.mx/products/linea-de-produccion>
- Vlack, L. V. (1991). Elements of materials science and engineering. Addison-Wesley Publishing Company.
- Zapata, B. (2022). El costo de la planilla de luz sube hasta un 35 entre diciembre y mayo en la costa de Ecuador estos son los motivos y claves de control. EL UNIVERSO.



***GRACIAS POR SU
ATENCIÓN***