

Instrumentación de la Línea de Producción del Laboratorio de Automatización Versión 1.0

Las líneas de producción son empleadas en los procesos que tienen etapas secuenciales. En una línea de producción el trabajo total es dividido en estaciones de trabajo. Cada estación de trabajo tiene asignados un conjunto de operarios y máquinas para realizar las tareas con gran eficiencia.

La Línea de Producción del Laboratorio de Automatización de Procesos Industriales de la Universidad Pontificia Bolivariana está formada por cuatro estaciones de trabajo: Pre-selección, Clasificación, Transporte y Empacado de piezas. La Tabla 1 muestra el principio de operación y la función de cada una de las estaciones de trabajo.

Estación de trabajo	Operación	Función
Pre-selección	Manual	Control de Calidad. El operario comprueba las piezas y selecciona aquellas que cumplan con los requerimientos de calidad. Las imperfecciones encontradas son registradas empleando un lector de código de barras.
Clasificación	Automatizada	Clasificación de piezas por material y altura. Un conjunto de sensores mide la altura de las piezas. Las piezas con altura válida (14mm o 16mm) son llevadas a una banda transportadora, en la cual, se identifica el material de la cara superior (metal, aluminio o plástico) y se clasifican en los depósitos de almacenamiento correspondientes.
Transporte	Híbrida	Etiquetado y transporte de piezas. El operario debe recoger las piezas de los depósitos de almacenamiento y pegar la etiqueta de color en su cara inferior (sobre el tornillo) antes de ingresarla en la Estación de Transporte. Un robot cartesiano transporta las piezas etiquetadas hasta la banda de empacado o hasta el tablero de almacenamiento dependiendo del modo de operación previamente programado.
Empacado	Híbrida	Empacado de piezas. Las piezas que ingresan en la Estación de Empacado atraviesan la etapa de detección de color. Si el color detectado corresponde a una pieza válida para la orden de producción, la pieza continúa el recorrido hasta la etapa de sellado y corte de plástico.

Tabla 1. Estaciones de trabajo de la Línea de Producción

1. Estación de Clasificación

La Estación de Clasificación está formada por cinco etapas. En la Figura 1 se muestra el diagrama de bloques y en la Figura 2 se identifican las etapas de la Estación de Clasificación.



Figura 1. Diagrama de bloques de la Estación de Clasificación

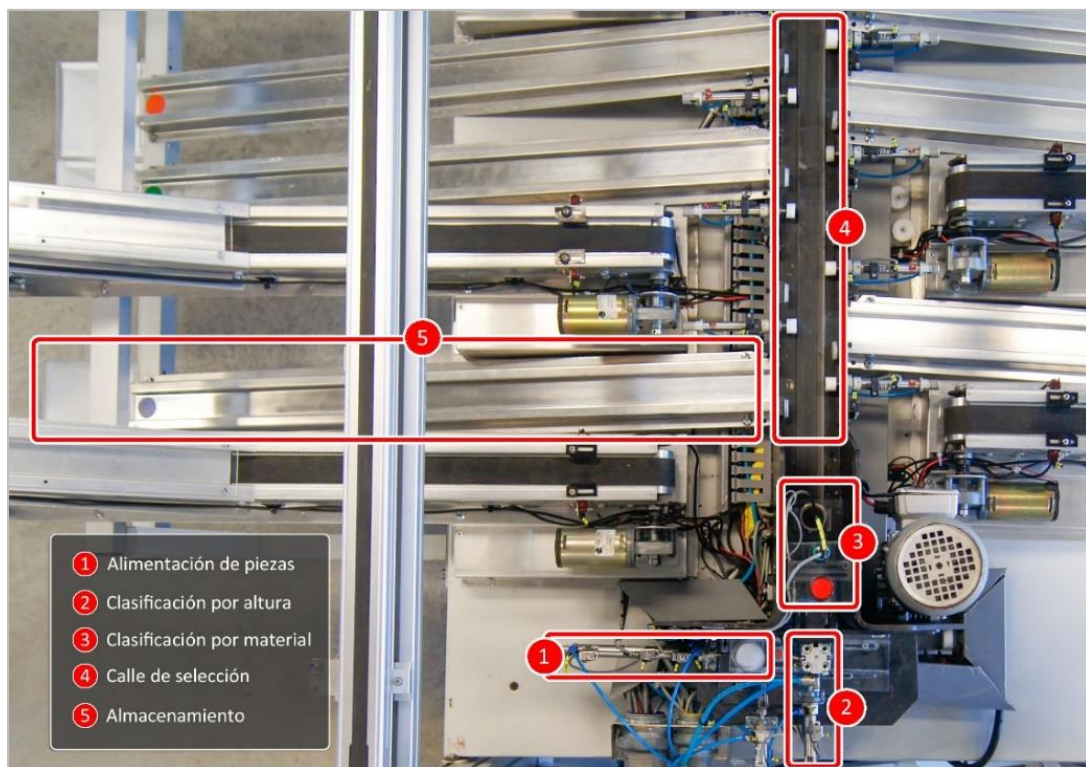


Figura 2. Etapas de la Estación de Clasificación

1.1. Alimentación de Piezas

Las piezas cilíndricas son introducidas por el operario en el cilindro de alimentación con la cara del material hacia arriba (ver Figura 3). Un sensor réflex ① detecta la pieza e inicia el conteo del tiempo de preparación del sistema. Finalizado el tiempo de preparación, el cilindro de retención ③ abre la compuerta de acrílico para que el cilindro de alimentación ② desplace la pieza hacia el sistema de clasificación por altura. Los interruptores magnéticos ④ permiten controlar el estado de los cilindros neumáticos.

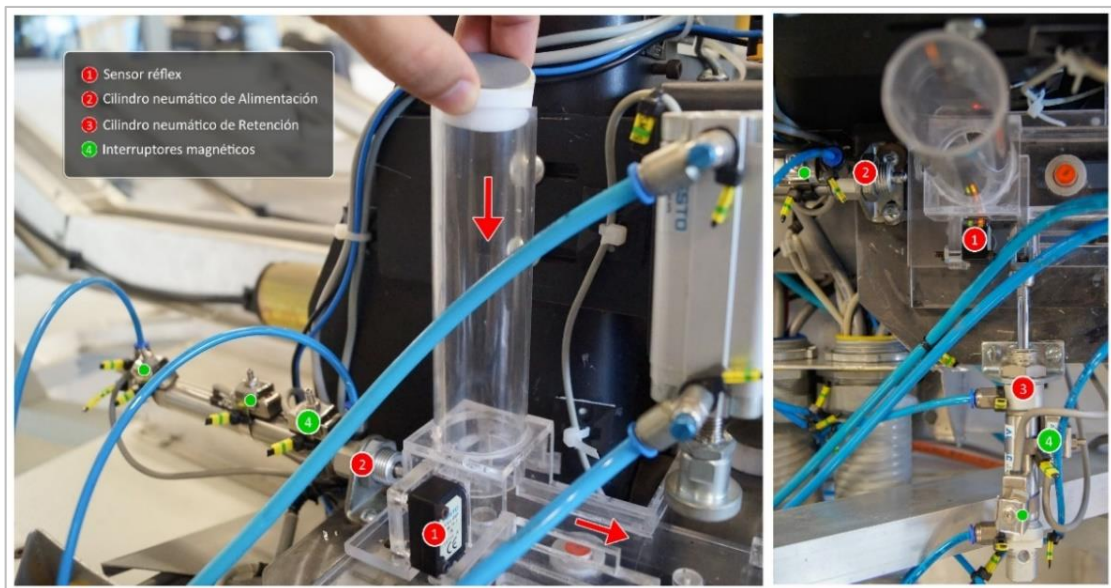


Figura 3. Sistema de alimentación de piezas

En la Figura 4 se muestran los elementos del sistema de clasificación de piezas.

① Sensor réflex Festo SOEG-RSP-Q20-PS-S-2L 	② Cilindro neumático doble efecto A.r.t CIA16150 	③ Cilindro neumático doble efecto Airtac MI 16x125 
④ Interruptor magnético (x5) AirTAC CSU-1 para posición de cilindro ② y ③ 	Electroválvula 5/3 vías AirTAC 4V230C-06 para activación de cilindro ② 	Electroválvula 5/2 vías AirTAC 4V210-06 para activación de cilindro ③ 

Figura 4. Elementos del sistema de alimentación de piezas

1.2. Clasificación por Altura

El sistema de Clasificación por Altura utiliza tres elementos para determinar la altura de la pieza: un cilindro compacto ①, un sensor de proximidad ② y un transmisor de posición ③. El sensor de proximidad y el transmisor de posición están ubicados en el cuerpo del cilindro; el sensor de proximidad es usado como punto de referencia, mientras que, el transmisor de posición mide el desplazamiento del vástago del cilindro compacto para determinar la altura de la pieza.

El sistema considera piezas válidas aquellas que están dentro de los siguientes rangos de altura: 13.5mm-14.5mm (para piezas de 14mm) y 15.5mm-16.5mm (para piezas de 16mm). Las piezas con altura válida son llevadas al sistema de Clasificación por Material empleando un cilindro neumático ⑤ (ver Figura 5).

Este sistema también cuenta con un sensor inductivo ④ que permite realizar dos tipos de rechazo: piezas sin tornillo en su cara inferior y piezas invertidas.

En la Figura 6 se muestran los elementos del sistema de Clasificación por Altura. Los interruptores magnéticos ⑥ permiten controlar el estado de los cilindros neumáticos.

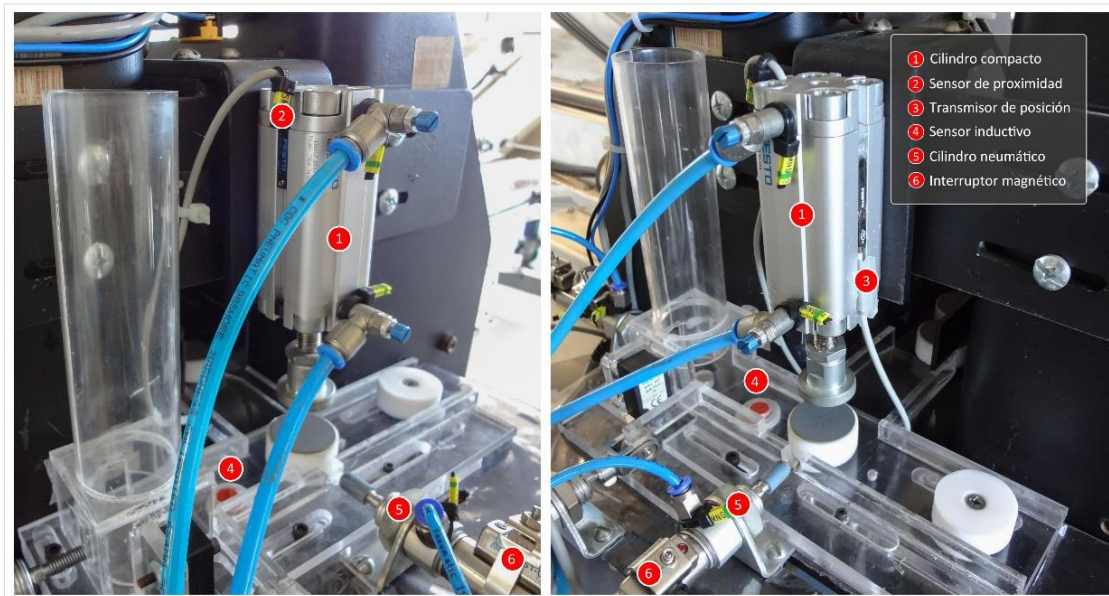


Figura 5. Sistema de clasificación por altura

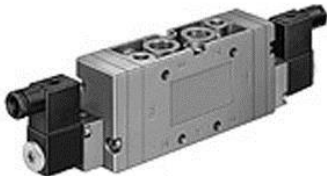
① Cilindro compacto doble efecto Festo ADVU-20-50-A-P-A 	② Sensor de proximidad Festo SME-8-K-LED-24 	③ Transmisor de posición Festo SMAT-8M 
④ Sensor Inductivo Autonics PR12-4DP 	⑤ Cilindro neumático doble efecto Airtac MI 16x125 	⑥ Interruptor magnético (x2) Airtac CSU-1 Para posición de cilindro ⑤ 
Electroválvula 5/3 vías FESTO para activación de cilindro ① 		Electroválvula 5/3 vías Airtac 4V230C-06 para activación de cilindro ⑤ 

Figura 6. Elementos del sistema de clasificación por altura

1.3. Clasificación por Material

Dos sensores situados en el recorrido de las piezas determinan el material de la cara superior. Un sensor fotoeléctrico ① es utilizado para la detección del aluminio y un sensor inductivo ② para la detección del metal (ver Figura 7). Si ninguno de los sensores registra actividad en el recorrido de la pieza, el material se considera plástico.

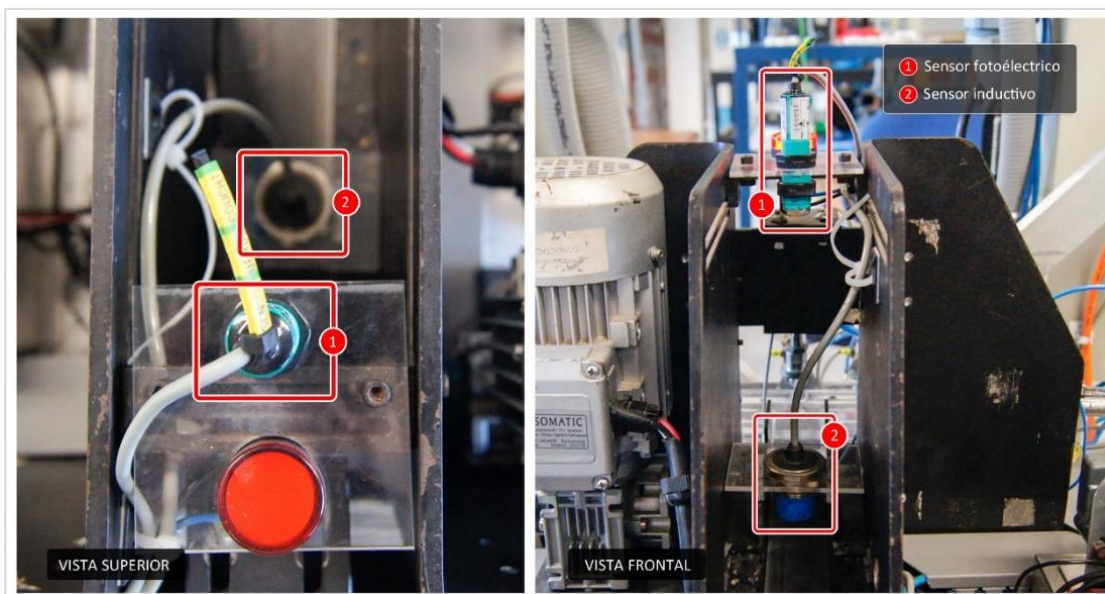


Figura 7. Sistema de clasificación por material

Los elementos del sistema de clasificación por material se muestran en la Figura 8.



Figura 8. Elementos del sistema de clasificación por material

1.4. Calle de Selección

La calle de selección está formada por una banda transportadora ①, un motor de inducción trifásico ②, un encoder incremental ③, ocho sensores réflex ④, ocho cilindros neumáticos ⑤ y ocho sensores de proximidad magnéticos ⑥ (ver Figura 9). Los sensores réflex ④ detectan el paso de las piezas y activan el cilindro neumático ⑤ correspondiente para llevar la pieza a su depósito de almacenamiento. El encoder ③ es utilizado para medir la velocidad de la banda transportadora. Los sensores de proximidad ⑥ permiten controlar el estado de los cilindros neumáticos.

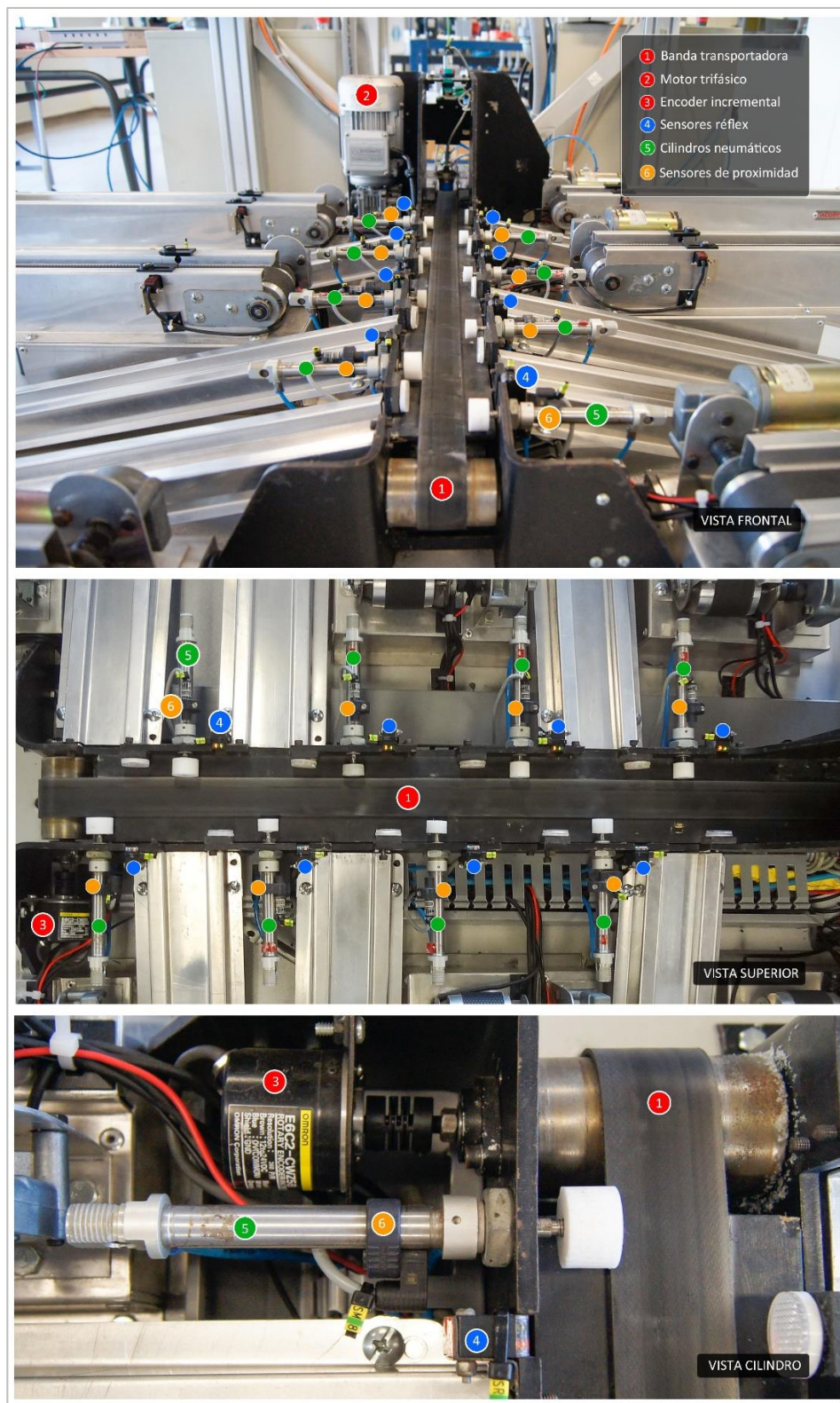


Figura 9. Calle de selección

Los elementos de la calle de selección se muestran en la Figura 10.

② Motor de inducción trifásico Y2-632-4 (B14) 	③ Encoder rotatorio incremental Omron E6C2-CWZ5B 	④ Sensor réflex (x8) Festo SOEG-RSP-Q20-PS-S-2L 
⑤ Cilindro neumático (x8) doble efecto Airtac MI 16x25 	⑥ Sensor de proximidad (x8) Festo SMEO-4U-K-LED-230 para posición de cilindros ⑤ 	Electroválvulas 5/2 vías (x8) Festo CPV-SC-MP-VI para activación de cilindros ⑤ 

Figura 10. Elementos de la calle de selección

1.5. Almacenamiento

El sistema de almacenamiento está formado por seis canales y seis depósitos. Cada conjunto canal-depósito está identificado con un color que corresponde a una combinación de material y altura como se muestra en la Figura 11 y en la Tabla 2.

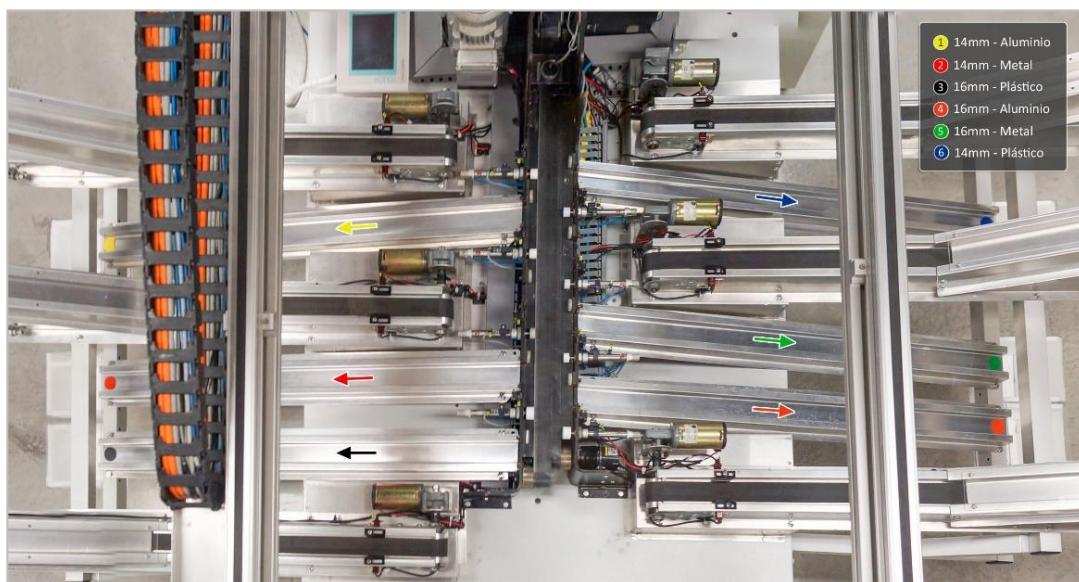


Figura 11. Sistema de almacenamiento

Depósito	Color	Material	Altura
1	Amarillo	Aluminio	14mm
2	Rojo	Metal	14mm
3	Negro	Plástico	16mm
4	Naranja	Aluminio	16mm
5	Verde	Metal	16mm
6	Azul	Plástico	14mm

Tabla 2. Clasificación de piezas

Los depósitos son cajas de acrílico en las cuales se almacenan las piezas clasificadas. En la Figura 12 se muestran los depósitos 2 y 3 que corresponden a los colores rojo y negro.

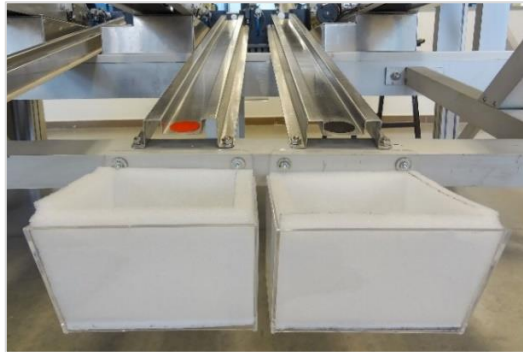


Figura 12. Depósitos de almacenamiento

2. Estación de Transporte

La estación de Transporte está formada por dos etapas: Etiquetado y Transporte. En la Figura 13 se muestra el diagrama de bloques de esta Estación. Dependiendo del modo de operación programado: manual o automático, el robot cartesiano lleva las piezas hasta el tablero de almacenamiento o hasta la banda transportadora de empacado.

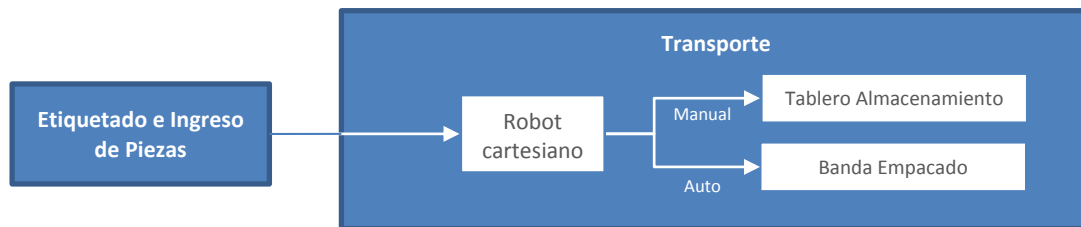


Figura 13. Diagrama de bloques de la Estación de Transporte

En la Figura 14 se muestran los elementos principales de la Estación de Transporte. La pieza etiquetada debe ser ingresada por el operario a través de los canales de alimentación ④. El robot cartesiano ① recoge las piezas de las bandas transportadoras ⑤ y las lleva hasta el tablero de almacenamiento ② o hasta la banda transporta de empacado ③, dependiendo del modo de operación.

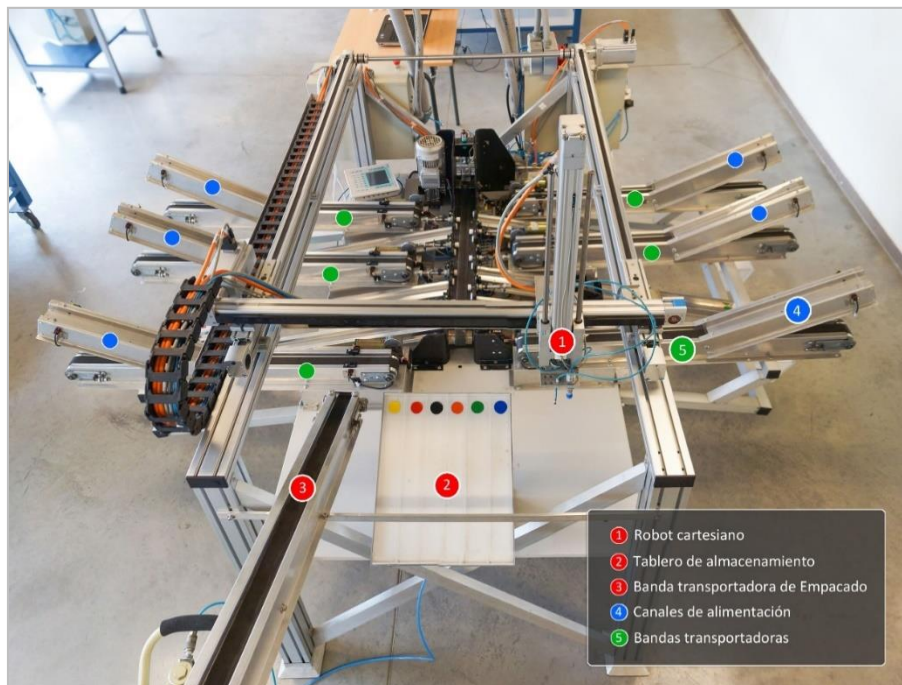


Figura 14. Estación de Transporte

2.2. Etiquetado de Piezas

Las piezas deben ser etiquetadas con el adhesivo de color que corresponda a su depósito de almacenamiento. El material empleado para el etiquetado de piezas es papel contact. En la Figura 15 se muestran los colores empleados.

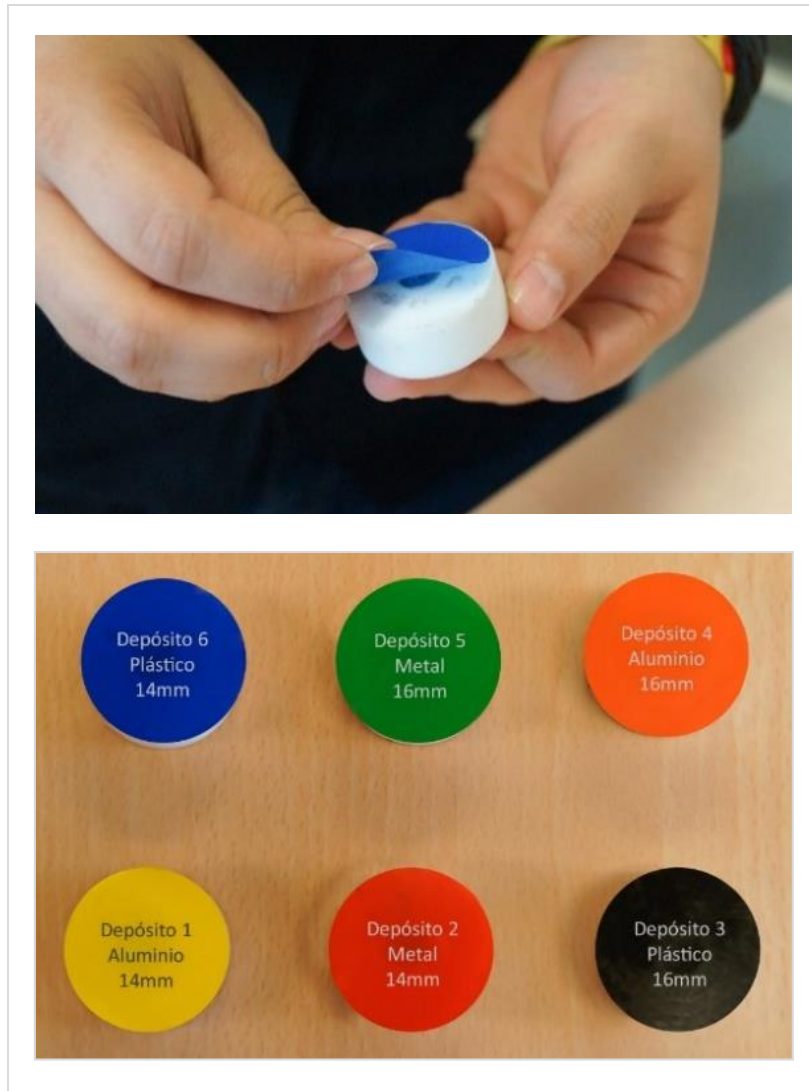


Figura 15. Etiquetado de piezas

2.3. Ingreso de Piezas

En la Figura 16 se muestra la etapa de ingreso de piezas a la Estación de Transporte. El operario debe tomar la pieza etiquetada del depósito de almacenamiento ⑤ y llevarla hasta la entrada del canal de alimentación ①. Al ingresar al canal, un sensor fotoeléctrico ② detecta el paso de la pieza y activa el motorreductor ④ para iniciar el recorrido de la pieza por la banda transportadora. Cuando la pieza llega al final de la banda, un sensor fotoeléctrico ③ desactiva el motorreductor y comunica al controlador la disponibilidad de pieza para ser transportada por el robot cartesiano.

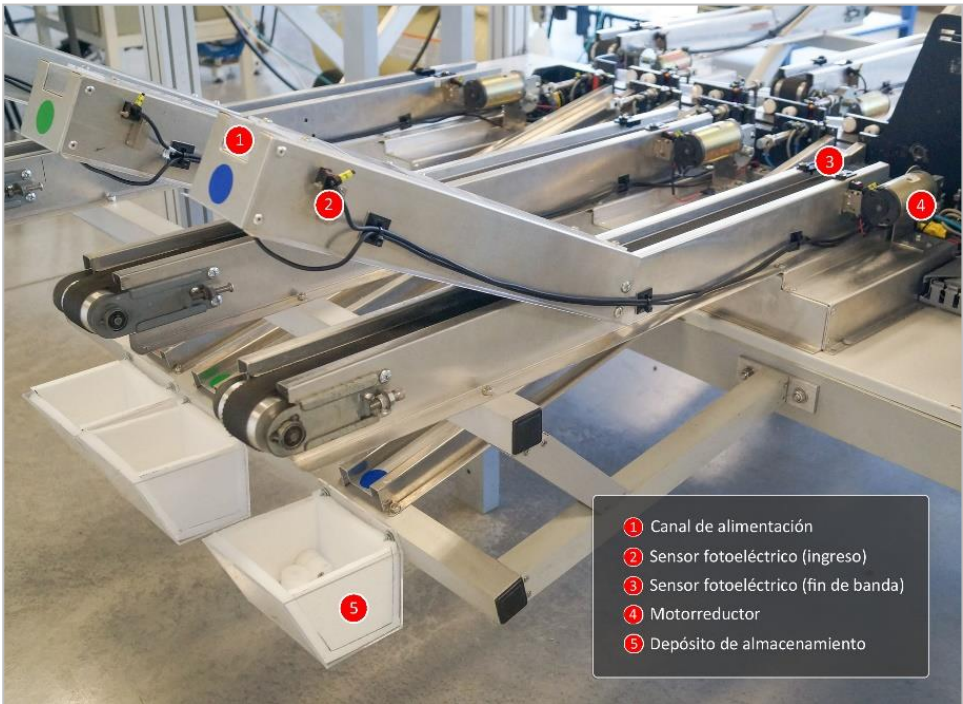


Figura 16. Ingreso de piezas a la estación de transporte

La Figura 17 contiene los elementos del sistema de ingreso de piezas: un motorreductor y dos sensores fotoeléctricos por cada canal de alimentación.

Motorreductor (x6) Buehler 1.61.031.111.06	Sensor fotoeléctrico (x12) Autonics BY500-TDT

Figura 17. Elementos de Ingreso de Piezas

2.4. Robot Cartesiano

El robot cartesiano es un sistema puente grúa que permite el desplazamiento en los ejes X, Y y Z para recoger la pieza de los canales de alimentación y llevarlas hasta la banda transportadora de empacado o el tablero de almacenamiento. El robot cuenta con tres motores: dos motores paso a paso ① y ② para el movimiento en los ejes X-Y y un servomotor AC ③ para el movimiento en el eje Z; cada motor tiene asociado un resolver que obtiene con precisión la posición absoluta del eje del rotor.

El desplazamiento del cartesiano está limitado por un conjunto de sensores magnéticos e inductivos situados en los extremos de cada eje: dos sensores inductivos ④ determinan el desplazamiento máximo en el eje X, dos sensores magnéticos ⑤ el desplazamiento máximo en el eje Y y otros dos sensores magnéticos ⑥ el desplazamiento máximo en el eje Z (ver Figura 18).



Figura 18. Robot Cartesiano

Los elementos del robot cartesiano se muestran en la Figura 19.

① Motor paso a paso para eje X Festo EMMS-ST-87-M-SE-G2 	② Motor paso a paso para eje Y Festo EMMS-ST-87-M-SE 	③ Servomotor AC para eje Z Festo MTR-AC-40-3S-AB 
④ Sensor de proximidad inductivo (x2) Festo SIEN-M8B-PS-K-L 	⑤ y ⑥ Sensor magnético de proximidad (x4) Festo SME-8-K-LED-24 	

Figura 19. Elementos del robot cartesiano

2.4.1. Generación de vacío del robot cartesiano

El sistema de generación de vacío para el transporte de piezas está formado por tres elementos: un generador de vacío con sistema de expulsión ①, encargado de crear aire comprimido, y un acople ventosa ③ y compensador de altura ② que sujeta la pieza durante el recorrido del cartesiano. El generador de vacío se encuentra instalado en uno de los gabinetes de paso.

En la Figura 20 y Figura 21 se muestran los elementos del sistema de generación de vacío del robot cartesiano.

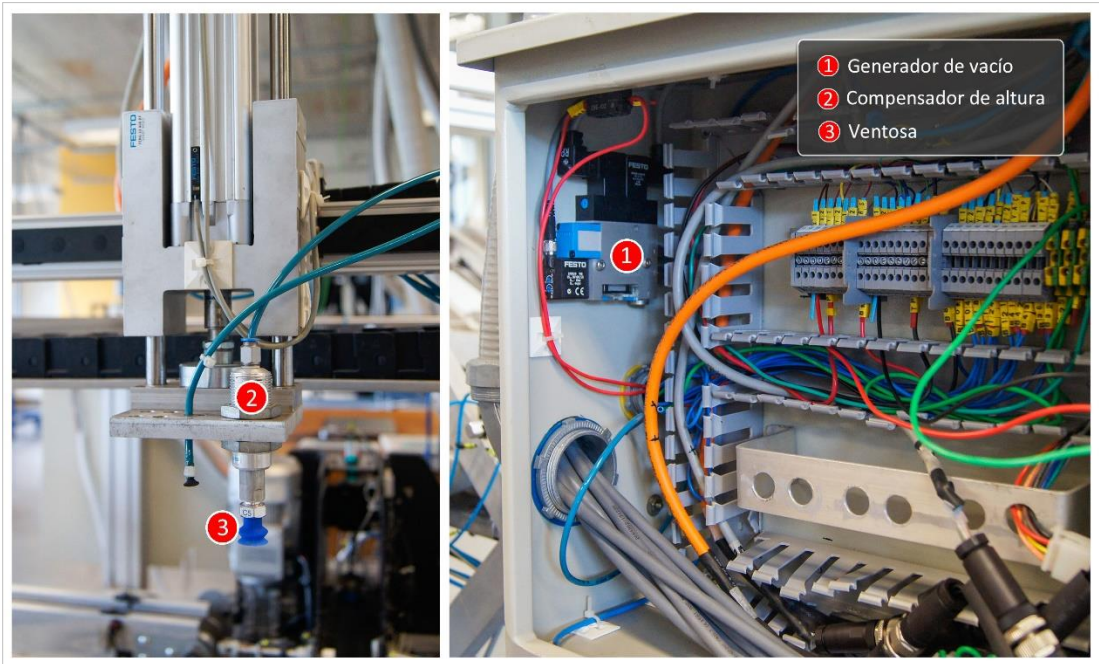


Figura 20. Generación de vacío del robot cartesiano

① Generador de vacío Festo VADMI-95-LS-P	② Height Compensator Festo VAL-1/8-10	③ Suction Cup Complete Festo VASB-30-1/8-NBR
		

Figura 21. Elementos del sistema de generación de vacío del robot cartesiano

2.5. Tablero de almacenamiento y banda de empacado

El robot cartesiano ① recoge la pieza de las bandas de alimentación y dependiendo del modo de operación programado las lleva hasta el tablero de almacenamiento ③ o hasta la banda transportadora ② que comunica con la Estación de Empacado (ver ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.).

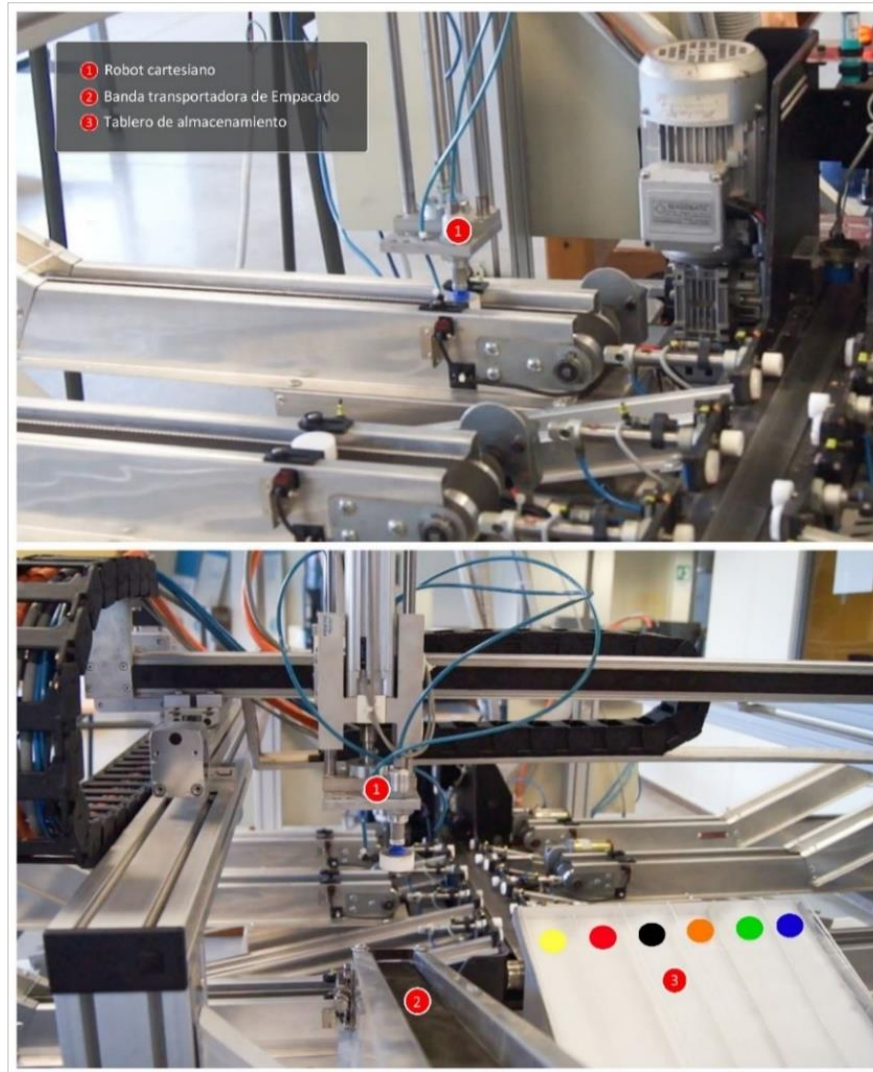


Figura 22. Tablero de almacenamiento y banda transportadora de empacado

3. Estación de Empacado

La estación de Empacado está formada por dos etapas: detección de color y sellado-corte. En la Figura 23 se muestra el diagrama de bloques de la Estación de Empacado y en la Figura 24 se identifican las etapas de la Estación de Empacado.

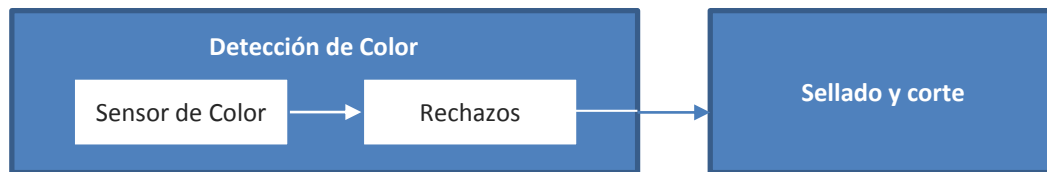


Figura 23. Diagrama de bloques de la Estación de Empacado

Los gabinetes de paso mostrados en la Figura 24 contienen las electroválvulas, encargadas de la activación de los cilindros neumáticos, y las señales para la operación de resistencias de calentamiento, RTDs, motores, entre otros.

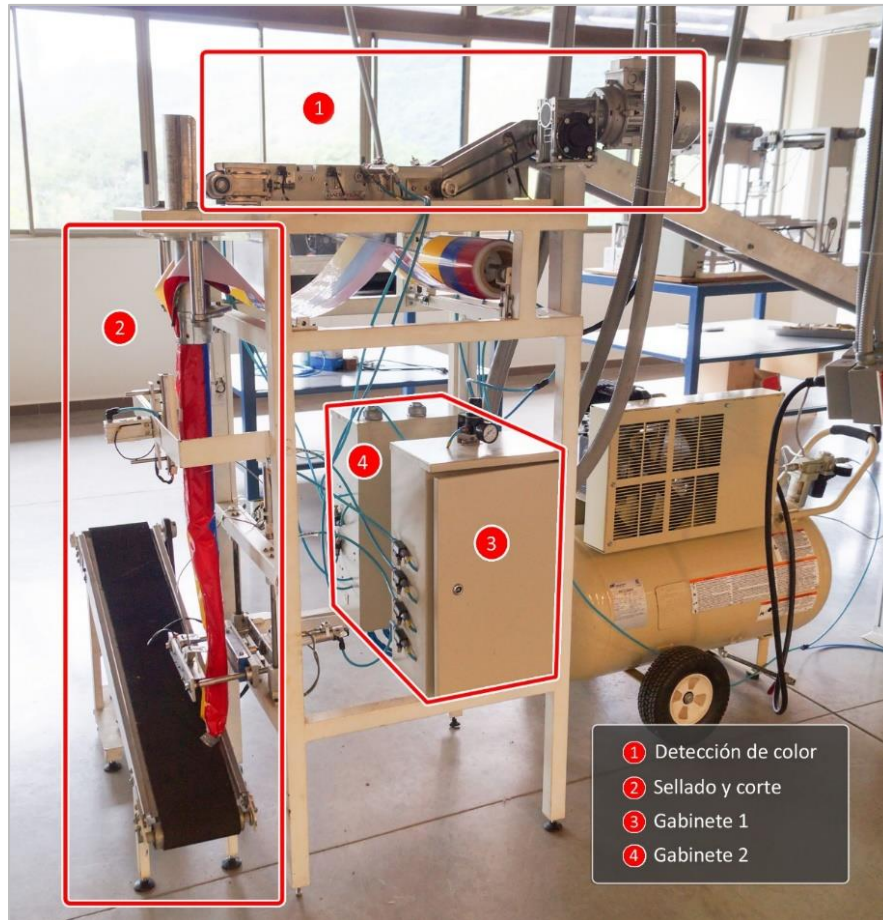


Figura 24. Estación de Empacado

3.2. Detección de Color

Las piezas ingresan a la estación de empacado a través de la banda transportadora ③ que comunica con la estación de transporte. Un cilindro neumático ⑤ detiene el recorrido de la pieza para la verificación del sensor de color ④. Luego, un conjunto de sensores fotoeléctricos ⑥ y cilindros neumáticos realizan el Rechazo por Color (piezas con color no reconocido) y el Rechazo por Orden (piezas con color válido que no corresponden a la orden de producción).

La velocidad del motor ① es ajustada empleando un variador de frecuencia; el encoder ② mide la velocidad de la banda transportadora ③ de empacado y los interruptores magnéticos ⑦ permiten controlar el estado de los cilindros neumáticos.

En la Figura 25 y la Figura 26 se muestran los elementos del sistema de detección de color.

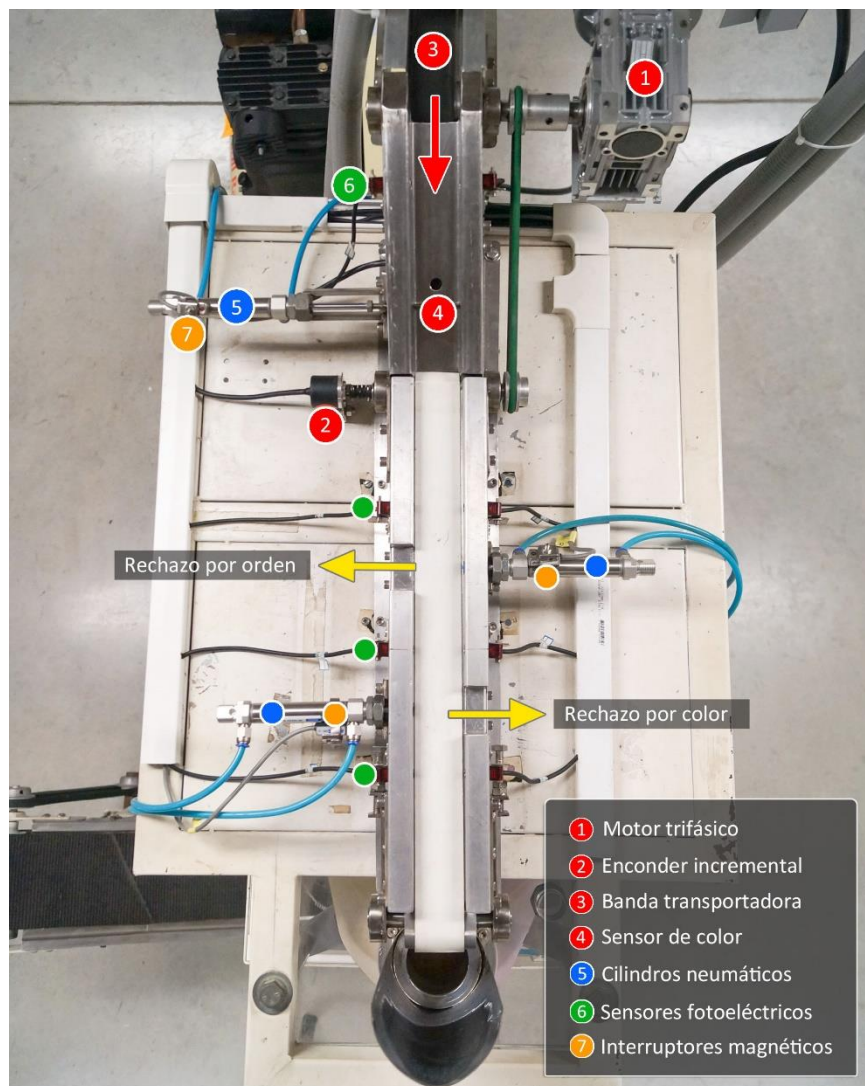


Figura 25. Sistema de Detección de Piezas

① Motor de inducción trifásica MS7124	② Encoder rotatorio incremental Autonics E30S4-1024-3-T-2A	④ Sensor de color Tri-tronics smarteye CW-1
		
⑤ Cilindro neumático (x3) Doble efecto MI16x50-S-CA	⑥ Sensor fotoeléctrico (x4) Autonics BY500-TDT	⑦ Interruptor magnético (x3) Airtac CSU-1 para posición de cilindros ⑤
		Electroválvula (x3) Airtac 4V210-06 5/2 vías para activación de cilindros ⑤



Figura 26. Elementos del sistema de detección de color

3.3. Sellado y corte

Las piezas válidas para la orden de producción continúan en la banda transportadora y caen sobre un cilindro de polipropileno cubierto de plástico. Una unidad se encarga del sellado vertical del plástico ① y otra del sellado horizontal y corte ② (ver Figura 27). El producto final es recogido por una banda transportadora ④ acoplada a un motor trifásico ⑤.

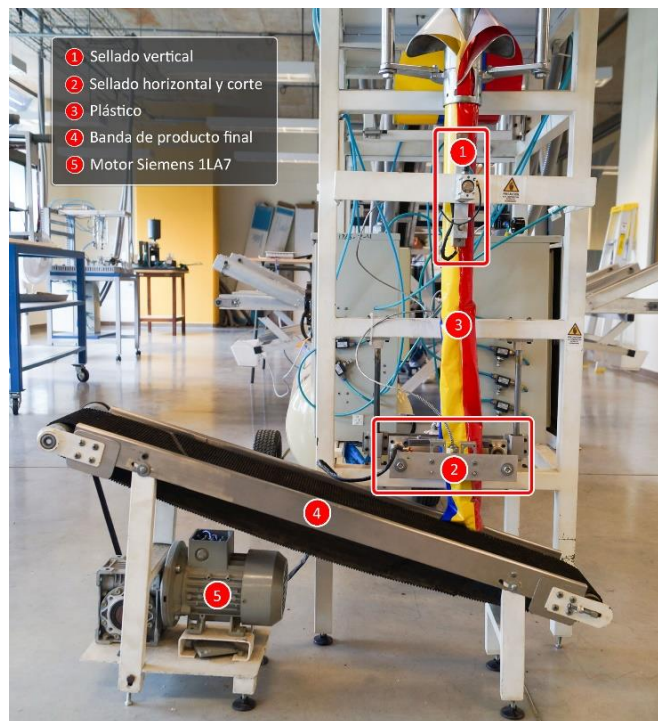


Figura 27. Sistema de sellado y corte

3.3.1. Sellado Vertical

Esta unidad se encarga del sellado vertical del plástico. Se activa cuando se han completado las piezas correspondientes a un paquete de la orden de producción.

La unidad de sellado vertical está formada por una resistencia de calentamiento ①, una RTD Pt-100 ② y un cilindro neumático de simple efecto ③ (ver Figura 28 y Figura 29).



Figura 28. Unidad de Sellado vertical

① Resistencia de calentamiento vertical	② Sensor de temperatura RTD Pt-100	③ Cilindro neumático Simple efecto AirTAC MSD-20x20-S
		

Figura 29. Elementos del sistema de sellado vertical

3.3.2. Sellado horizontal y corte

Esta unidad se encarga del sellado horizontal y corte del plástico. Se activa una vez ha finalizado el sellado vertical.

La unidad de sellado horizontal y corte está formada por una resistencia de calentamiento ①, una RTD Pt-100 ②, dos cilindros neumáticos ③-④ y cuatro interruptores magnéticos ⑤ (ver Figura 30 y Figura 31). Para realizar el corte, el tiempo de exposición entre el

plástico y la resistencia de calentamiento es mayor que el tiempo utilizado para el sellado vertical.

Durante el sellado y corte, el cilindro ③ desplaza el plástico para que entre en contacto con la resistencia de calentamiento ①, mientras que, el cilindro ④ se encarga del movimiento vertical de la unidad de sellado horizontal. Los interruptores magnéticos ⑤ permiten controlar el estado de los cilindros neumáticos.

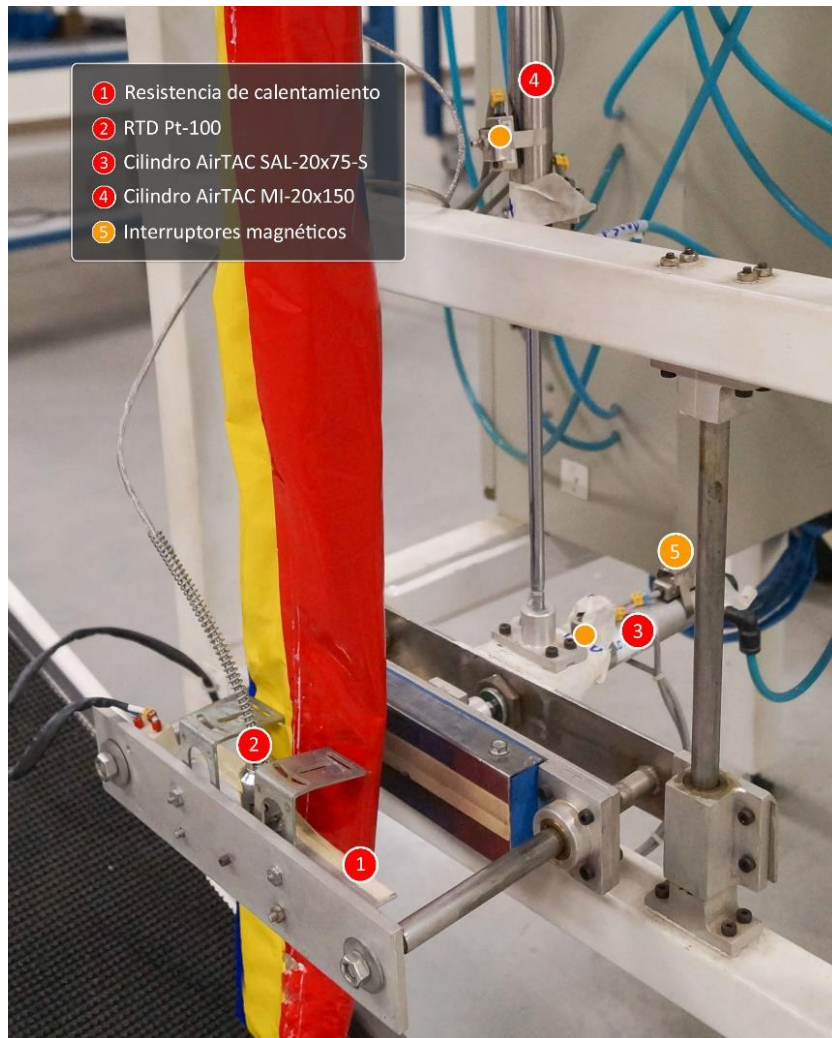


Figura 30. Unidad de sellado horizontal y corte

① Resistencia de calentamiento horizontal

② Sensor de temperatura RTD Pt-100

③ Cilindro neumático AirTAC SAL-20x75-S

		
④ Cilindro neumático AirTAC MI-20x150	⑤ Interruptor magnético (x4) AirTAC CSU-1 Para posición de cilindros ③ y ④	Electroválvula 5/3 vías AirTAC 4V130C-06 para activación de cilindro ③
		
Electroválvula 3/2 vías AirTAC 3V210-06-NC para activación de cilindro ④		
		

Figura 31. Elementos de sellado horizontal y corte

3.4. Motor banda transportadora de producto final

Los paquetes sellados son recogidos por una banda transportadora. El motor de inducción trifásica acoplado a la banda de producto final se muestra en la Figura 32.



Figura 32. Motor banda transportadora de producto final

4. Elementos de Inicio – Parada y Sistema de Alimentación de Aire

Adicionalmente, la Estación de Clasificación tiene dos pulsadores que realizan las funciones de INICIO ① y PARADA ② del proceso. El interruptor ③ es utilizado para realizar paradas de emergencia (ver Figura 33).

Pulsadores e interruptor de emergencia de la Estación de Clasificación	
	Pulsador Normalmente Abierto Schenider Electric XB7-EA.1
	
	Pulsador Normalmente Cerrado Schenider Electric XB7-EA.2P
	
	Interruptor Normalmente Cerrado EBCHQ 20112
	

Figura 33. Elementos de inicio, parada y parada de emergencia

El sistema de alimentación neumático está formado por un compresor con capacidad máxima de 135 PSI y mangueras de 6mm de diámetro que suministran el aire comprimido a todos los elementos neumáticos. La alimentación de los dispositivos neumáticos es ajustada mediante una válvula reguladora de presión a 100 PSI. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestran los elementos del sistema de alimentación de aire.

Compresor de aire comprimido Ingersoll Rand SS3F2-GM	Mangueras neumáticas de 6mm
	

Figura 34. Elementos del sistema de alimentación de aire