

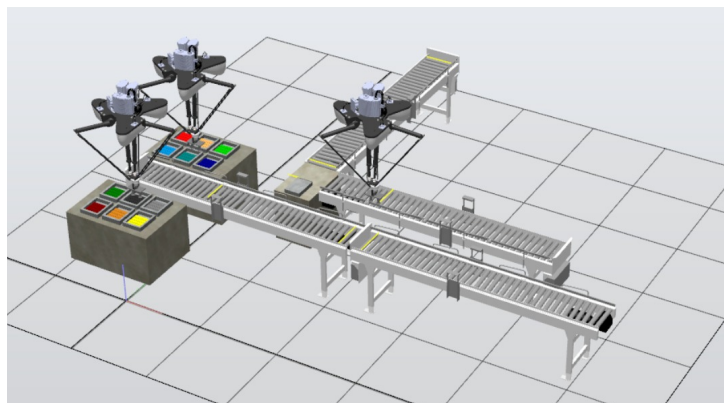


Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Grado en Ingeniería Robótica
Robótica de servicios

Práctica 4

Sistema automatizado de empaquetado de té



Autores:

Daniel García Serna
Esther Rego Falagán
Juan Pérez Fernández
Miguel Ferrer Castellá
Pablo de Codina Palacios
Miguel Ángel Pascual Morante

Índice

1. Introducción	2
2. Componentes de la estación.	3
2.1. Robots utilizados en el sistema	3
2.2. Cintas utilizadas en el sistema	4
2.3. Efectores finales de doble ventosa	5
3. Diagrama de flujo del ciclo completo.	6
4. Lógica de programación del sistema	7
4.1. Explicación teórica del funcionamiento de los robots	7
4.1.1. Robot 1 y Robot 2: Alimentación de las cintas	7
4.1.2. Robot 3: Recogida y empaquetado	7
4.2. Explicación teórica de la lógica de control de las estaciones y cintas	8
4.2.1. Cinta 1: Cinta encargada del transporte de bolsas	8
4.2.2. Cinta 2: Cinta encargada del transporte de cajas	8
4.2.3. Cinta 3: Cinta encargada del transporte de tapaderas	8
4.2.4. Cinta 4: Cinta encargada de la salida de cajas completas.	8
5. Diagramas de flujo de los diferentes componentes	9
5.1. Diagrama de flujo de la Cinta 1	9
5.2. Diagrama de flujo de la Cinta 2	10
5.3. Diagrama de flujo de la Cinta 3	11
5.4. Diagrama de flujo de la Cinta 4	12
5.5. Diagrama de flujo del Robot 1	12
5.6. Diagrama de flujo del Robot 2	13
5.7. Diagrama de flujo del Robot 3	13
6. PackGo adjuntados en la entrega	14
7. Preparación de la simulación en RobotStudio	14
8. Enlace a simulación de la estación	14

1. Introducción

El presente proyecto tiene como objetivo el diseño, desarrollo y simulación de un sistema automatizado para el empaquetado de bolsas de té utilizando robots industriales y cintas transportadoras. Esta simulación robótica simula una línea de producción real en la que intervienen distintas estaciones interconectadas para llevar a cabo tareas de manipulación, transporte y ensamblaje de productos ligeros de manera sincronizada, eficiente y fiable.

El sistema está compuesto por cuatro cintas transportadoras y tres robots ABB IRB 365 de tipo delta, dispuestos de manera estratégica para cumplir con funciones específicas. La Cinta 1 recibe las bolsas de té desde estaciones de alimentación gestionadas por los robots 1 y 2. La cinta 2 se encarga de llevar el recipiente donde se colocarán las bolsas de té y coordinar el accionamiento del pistón para el paso de la caja ya cerrada y llena a la Cinta 4, la cual se encarga de extraer las cajas finalizadas fuera de la zona de manipulación y colocación. La Cinta 3 proporciona las tapaderas necesarias para cerrar las cajas una vez llenas. Todo el proceso está coordinado mediante sensores, señales digitales y una lógica de control desarrollada en el entorno de simulación RobotStudio, lo que permite replicar el comportamiento del sistema en un entorno virtual de manera precisa.

El trabajo incluye el diseño de herramientas específicas como un efector final de doble ventosa (que permite acelerar el pick and place de las bolsas), capaz de manipular tanto bolsas de té como tapaderas, garantizando un agarre seguro y una colocación precisa. También incluye el diseño de las bolsas, cajas, tapaderas y demás objetos en Autodesk Inventor necesarios para recrear el escenario propuesto en el enunciado. Asimismo, se ha desarrollado una programación individual para cada robot en lenguaje RAPID, permitiendo no solo realizar tareas repetitivas, sino también interactuar entre ellos mediante señales sincronizadas. Esto garantiza que el sistema funcione como un conjunto coherente, donde cada robot ejecuta sus acciones en función del estado del entorno y del avance del proceso global.

Este documento detalla la arquitectura a nivel de hardware y software de la estación, incluyendo los componentes inteligentes, las funciones asignadas a cada robot, la lógica de control implementada y la simulación de su funcionamiento. A través de diagramas de flujo, representaciones gráficas y explicaciones técnicas, se expone cómo cada elemento contribuye al cumplimiento del objetivo final: empaquetar de forma ordenada, automatizada y sin intervención humana directa, 24 bolsas de té en una caja cerrada en 1 minuto.

2. Componentes de la estación.

2.1. Robots utilizados en el sistema

Para llevar a cabo las tareas de manipulación de forma rápida, precisa y fiable, se ha optado por el uso del robot industrial **ABB IRB 365**. Este modelo pertenece a la familia de robots delta de ABB, caracterizados por su cinemática paralela y sus altas prestaciones en términos de velocidad, precisión y eficiencia energética. En particular, el IRB 365 está diseñado para operaciones de recogida y colocación (pick-and-place) a gran velocidad, siendo capaz de realizar hasta 90 ciclos por minuto con una carga útil de hasta 1.5 kg.

Se trata de un robot de cinco ejes, con un alcance horizontal de 800 mm y una repetibilidad inferior a 0.1 mm, lo que lo hace especialmente indicado para aplicaciones donde la velocidad no puede comprometer la precisión. Su arquitectura compacta y su bajo peso permiten una rápida aceleración y desaceleración, minimizando los tiempos de ciclo. Además, está equipado con el moderno controlador **OmniCore**, que proporciona una interfaz intuitiva, mayor conectividad con sistemas industriales (como PLCs y sensores), y compatibilidad con herramientas de visión artificial y seguimiento de bandas.

En esta práctica se han implementado **tres unidades del ABB IRB 365**, integradas de manera sincronizada dentro del sistema automatizado de empaquetado. Cada robot ha sido asignado a una tarea específica dentro del flujo operativo:

- **Robot 1 y Robot 2:** Realizan la manipulación inicial de las bolsas de té, extrayéndolas de sus respectivas cajas de almacenamiento y depositándolas sobre las Cinta 1. Gracias a su velocidad y repetibilidad, logran alimentar el sistema sin interrupciones y con una colocación precisa.
- **Robot 3:** Es responsable de recoger las bolsas desde la Cinta 1 y colocarlas dentro de la caja, distribuyéndolas en dos capas organizadas. Además, gestiona la manipulación de la tapadera proveniente de la Cinta 3 y su colocación sobre la caja, completando así el proceso de empaquetado.



Figura 1: Robot ABB IRB 365 real

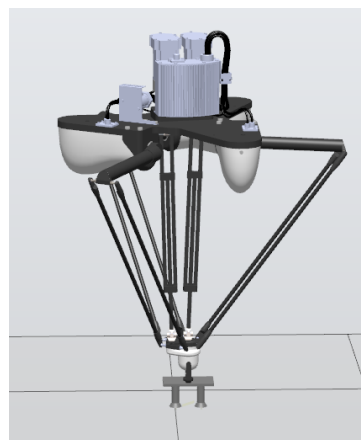


Figura 2: Robot ABB IRB 365 en simulación en RobotStudio

La elección del **ABB IRB 365** no solo se fundamenta en su rendimiento técnico, sino también en su compatibilidad con el entorno de programación **RobotStudio** y el lenguaje **RAPID**, que han facilitado la implementación de trayectorias optimizadas, la gestión de señales de entrada/salida y la coordinación entre robots. Su diseño modular también favorece el mantenimiento y la futura reconfiguración del sistema si se desea escalar el proceso o adaptarlo a nuevos productos. Todo ello convierte al IRB 365 en una solución robusta y versátil para entornos industriales de alta exigencia.

2.2. Cintas utilizadas en el sistema

Cada una de las cintas utilizadas en el sistema está compuesta por una serie de bloques funcionales que permiten simular con precisión el transporte de bolsas, cajas y tapaderas dentro del entorno de RobotStudio. A continuación, se describen los principales componentes utilizados en las cintas:

- **LinearMover:** Elementos que permiten desplazar objetos a lo largo de la cinta con velocidad constante. En cada cinta se emplean varios LinearMover para controlar los movimientos de cajas, bolsas y tapaderas con trayectorias separadas.
- **LineSensor:** Sensores lineales dispuestos en puntos clave del recorrido para detectar la presencia de cajas en posiciones críticas. Estos sensores son responsables de activar señales digitales como `DO_caja_posicionada` o `DI_caja_completa`.
- **PlaneSensor:** Superficies sensibles al paso de objetos que permiten activar eventos como la eliminación de bolsas sobrantes tras cerrar la caja, o comprobar que el volumen de la caja está despejado antes de su transferencia.
- **Queue:** Bloques que gestionan la entrada y salida de objetos en la cinta, permitiendo acumular o liberar elementos según el estado del sistema. Las colas ayudan a evitar colisiones y a mantener la fluidez del proceso.
- **Repeater y Source:** Componentes que generan nuevos objetos al inicio del ciclo. `Source_X` se encarga de crear cajas vacías, bolsas o tapas en la Cinta X, mientras que el bloque `Repeater` asegura la repetición continua del proceso cuando se cumple una condición.
- **SimulationEvents:** Módulo que permite vincular los eventos de simulación (inicio, parada) con el comportamiento de la cinta.

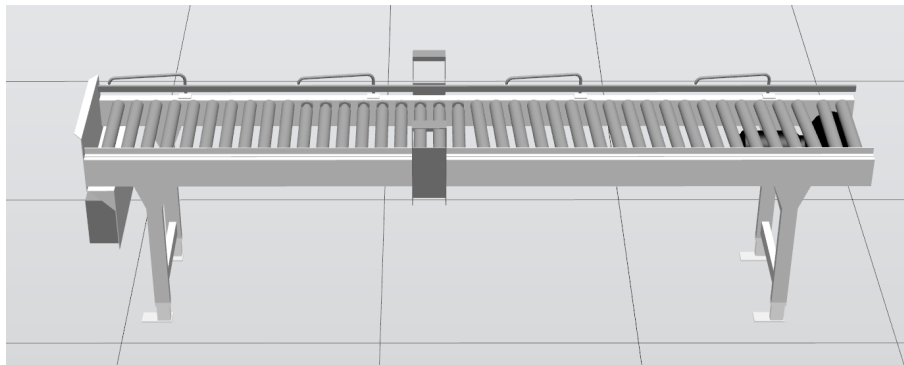


Figura 3: Modelo de cinta transportadora usado

Estos componentes se combinan en cada cinta con diferentes configuraciones para adaptar su comportamiento a los requerimientos de transporte de cada fase del sistema: alimentación de bolsas, posicionamiento de cajas, gestión de tapaderas y salida del producto final.

2.3. Efectores finales de doble ventosa

Para llevar a cabo las operaciones de recogida y colocación de bolsas de té y tapaderas con precisión y fiabilidad, se ha diseñado un efector final de doble ventosa específicamente adaptado a esta aplicación. Este efector ha sido desarrollado como un modelo 3D externo e integrado manualmente como parte del modelo del sistema en RobotStudio. Su estructura está compuesta por una base rígida, sobre la cual se montan dos ventosas industriales dispuestas en paralelo, lo que permite manipular objetos planos con mayor estabilidad y seguridad.

El uso de una configuración de doble ventosa responde a dos necesidades clave: por un lado, asegurar la sujeción firme de dos bolsas ligeras de forma simultánea que tienen superficies flexibles, y por otro, facilitar el manejo de tapaderas rígidas con una distribución equilibrada del punto de agarre. Esto permite al efector adaptarse a distintas geometrías y pesos sin comprometer la fiabilidad del agarre.

Desde el punto de vista funcional, el efector está equipado con dos sensores de línea, que detectan si un objeto ha sido correctamente adherido a la herramienta antes de proceder al movimiento. Esto permite implementar lógicas de control que impiden al robot avanzar si no se ha logrado un agarre válido, mejorando la robustez del sistema.

El control del sistema de vacío se implementa mediante bloques **Attacher** y **Detacher**, los cuales permiten fijar o liberar objetos del efector bajo condiciones controladas. Esta funcionalidad se sincroniza con el ciclo de ejecución del robot a través de señales digitales enviadas desde la lógica de estaciones, asegurando que el agarre y la liberación ocurren exactamente en los momentos previstos del ciclo de trabajo.

Además, el diseño del efector ha sido optimizado para mantener una orientación adecuada en las distintas fases de trabajo, evitando colisiones y permitiendo movimientos eficientes tanto en altura como en desplazamiento lateral. La estructura y disposición de los componentes ha sido validada mediante pruebas dentro del entorno de simulación, ajustando la posición de las ventosas y los sensores para maximizar la fiabilidad operativa.

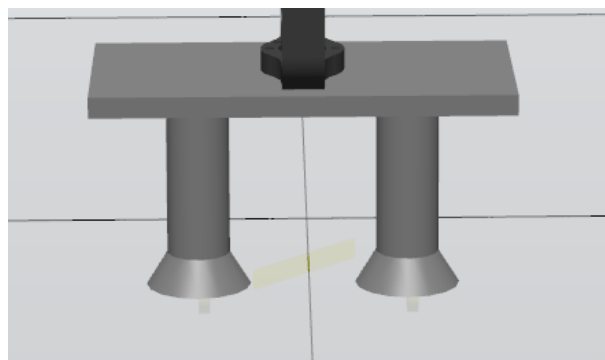


Figura 4: Herramienta de doble ventosa como efector final de los robots

3. Diagrama de flujo del ciclo completo.

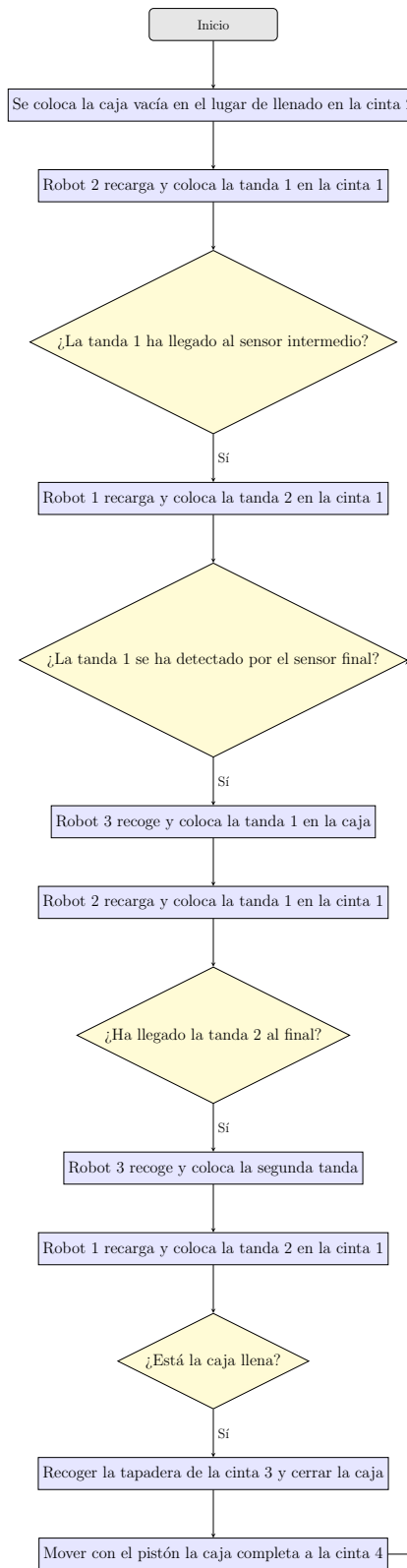


Figura 5: Diagrama de flujo del proceso automatizado de empaquetado de té.

4. Lógica de programación del sistema

El sistema automatizado diseñado en esta práctica está compuesto por tres robots ABB IRB 365, cuatro cintas transportadoras y sensores para la sincronización y detección. A continuación se describe la lógica de programación y control empleada en cada componente.

4.1. Explicación teórica del funcionamiento de los robots

4.1.1. Robot 1 y Robot 2: Alimentación de las cintas

Los robots 1 y 2 son los encargados de recoger las bolsas de té desde las bandejas de almacenamiento y colocarlas ordenadamente sobre la Cinta 1. Cada robot manipula seis variedades distintas, asegurando que se coloquen dos unidades de cada una.

La secuencia de trabajo para ambos robots se estructura en ciclos de dos tandas, y sigue estos pasos:

1. Espera la señal de inicio de tanda desde el robot 3 mediante una entrada digital, `fullBox` o `halfBox`, para Robot2 y Robot1 correspondientemente.
2. Se realiza una segunda comprobación controlada por la lógica de la cinta, que habilita la colocación de la tanda en cuestión.
3. Ejecuta la trayectoria programada en el procedimiento `Path_10` o `Path_20` según la tanda que se trate.
4. Recoge las bolsas con `attach` y las deposita con `detach`, aplicando desplazamientos `RelTool` para separarlas sobre la cinta.
5. Tras cada tanda, lanza una señal `PulseDO tandaX` para activar el movimiento de las bolsas sobre la cinta que las desplaza.

4.1.2. Robot 3: Recogida y empaquetado

El robot 3 recoge las bolsas desde las cintas y las coloca en una caja en dos capas de 12 unidades. Su funcionamiento se organiza del siguiente modo:

- Detecta bolsas en la cinta mediante `BagDetected`.
- Usa `recoger_cinta_first_row` o `recoger_cinta_snd_row` según la fila.
- Coloca las bolsas con `colocar_bolsa_bottom` o `colocar_bolsa_top`, según la capa.
- Finaliza el ciclo con `pulseReloadUno`, `pulseReloadDos` y `pulseBoxFull`.

4.2. Explicacion teórica de la lógica de control de las estaciones y cintas

El sistema automatizado está compuesto por cuatro cintas transportadoras, cuyo funcionamiento está coordinado mediante sensores y señales digitales, que se va explicar a continuación.

4.2.1. Cinta 1: Cinta encargada del transporte de bolsas

La Cinta 1 es la encargada de transportar las bolsas de té colocadas por los robots 1 y 2 hacia el extremo de la línea de empaquetado. El proceso se organiza en dos tandas: primero se colocan 12 bolsas por el Robot 1 que conforman la tanda 1, y una vez alcanzado un sensor intermedio, se inicia la colocación de la tanda 2 en posiciones similares esta vez por el Robot 2. La cinta se mantiene en movimiento hasta que las tandas alcanzan el sensor final. A partir de ese momento, el sistema activa las señales de recogida para el robot 3, quien extrae las bolsas siguiendo una secuencia sincronizada con señales digitales (*Tanda Attach, Attach, etc.*). Una vez finalizada cada tanda, se emite una señal para permitir la recarga y repetir el ciclo.

4.2.2. Cinta 2: Cinta encargada del transporte de cajas

La Cinta 2 es responsable de posicionar las cajas vacías para su llenado. Al inicio del ciclo, se genera una caja que avanza automáticamente hasta alcanzar un sensor situado en la zona de trabajo del robot 3. Cuando la caja llega a esa posición, se emite una señal digital de “caja posicionada”, la cual habilita al robot para iniciar la secuencia de llenado. Una vez colocadas todas las bolsas y añadida la tapadera, se activa la señal de “caja completa”, que autoriza el desplazamiento de la caja hacia la Cinta 4 por medio de un pistón que empuja la caja tras ser detectada por un sensor. Esta última es la encargada de retirar la caja terminada del sistema, permitiendo que Cinta 2 genere una nueva caja e inicie un nuevo ciclo.

4.2.3. Cinta 3: Cinta encargada del transporte de tapaderas

La Cinta 3 es responsable de suministrar tapaderas al sistema de empaquetado. Al inicio de cada ciclo, se crea automáticamente una tapadera que avanza por la cinta hasta alcanzar el sensor final, situado en el extremo más próximo al robot 3. Una vez detectada por dicho sensor, se emite una señal que permite saber al robot 3 que la tapadera está lista para poder ser recogida y posteriormente colocada cerrando la caja. Cuando la tapadera se retire de la Cinta 3 se creará otra tapadera que avanzará por esta repitiendo el ciclo.

4.2.4. Cinta 4: Cinta encargada de la salida de cajas completas.

Una vez que el robot 3 ha colocado la tapadera y se ha activado la señal de caja completa, la Cinta 2 transfiere la caja a la Cinta 4 con la ayuda de un pistón neumático. Esta cinta detecta la llegada de la caja mediante sensores de entrada, y al confirmarlo, lanza una señal digital que indica a la Cinta 2 que puede generar una nueva caja. A partir de ese momento, la Cinta 4 se encarga de transportar la caja finalizada hacia el exterior de la estación de trabajo, completando así el ciclo de empaquetado de forma continua y automatizada.

5. Diagramas de flujo de los diferentes componentes

5.1. Diagrama de flujo de la Cinta 1

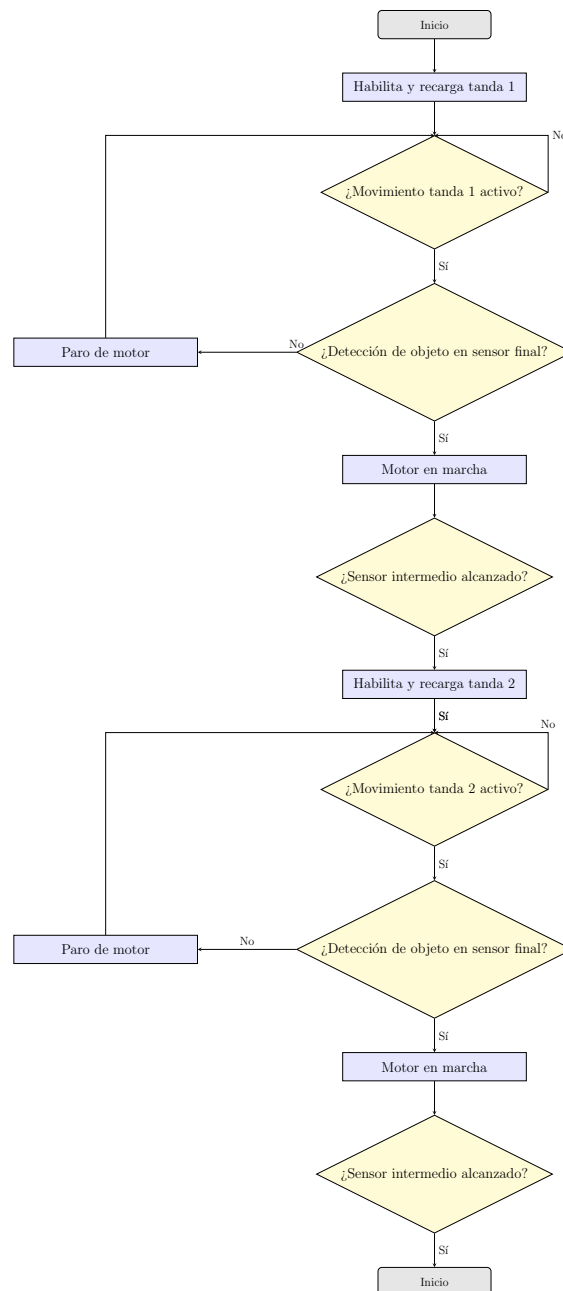


Figura 6: Diagrama de flujo de la Cinta 1: gestión del suministro de bolsas.

5.2. Diagrama de flujo de la Cinta 2

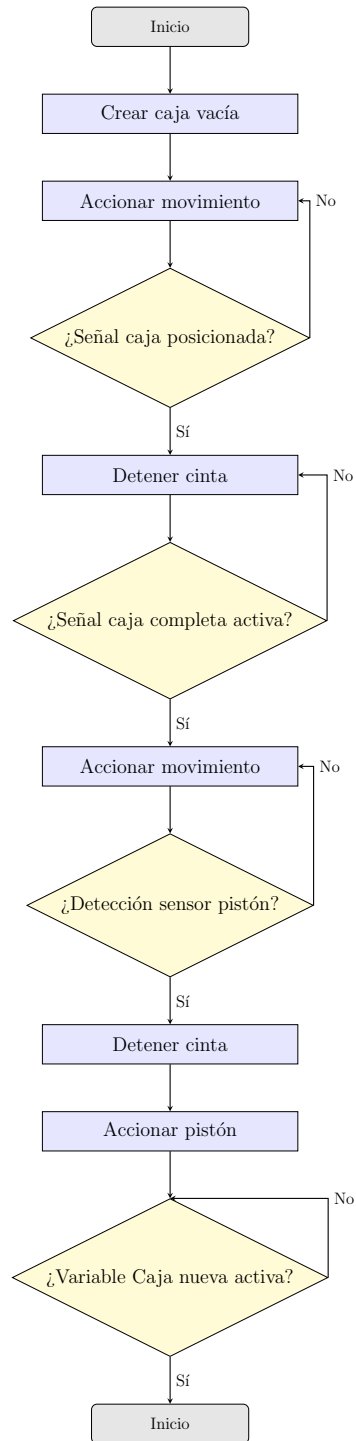


Figura 7: Diagrama de flujo de la Cinta 2: gestión de caja y transferencia a Cinta 4

5.3. Diagrama de flujo de la Cinta 3

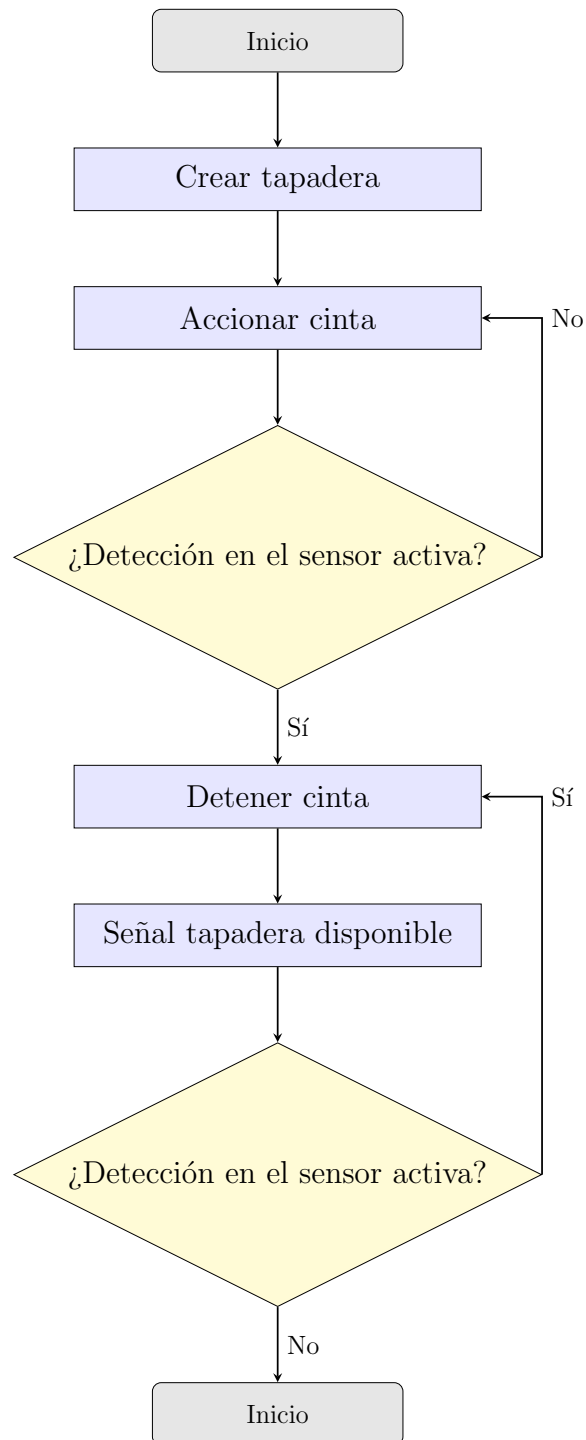


Figura 8: Diagrama de flujo de la Cinta 3: gestión de tapaderas para el cierre de cajas

5.4. Diagrama de flujo de la Cinta 4

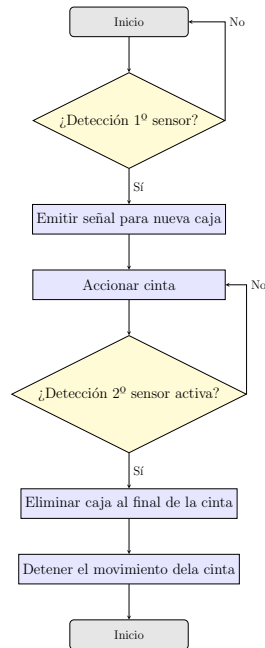


Figura 9: Diagrama de flujo de la Cinta 4: extracción de caja final y reinicio de ciclo

5.5. Diagrama de flujo del Robot 1

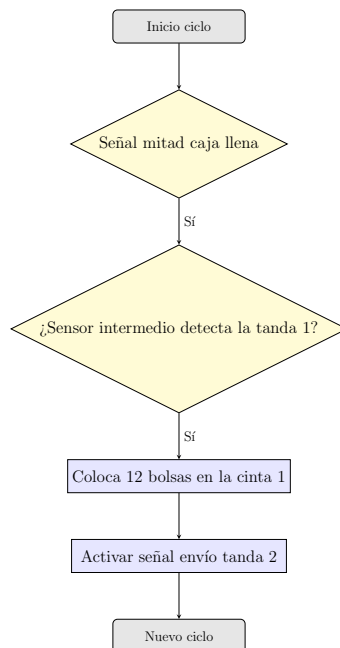


Figura 10: Diagrama de flujo de la secuencia ejecutada por el Robot 1

5.6. Diagrama de flujo del Robot 2

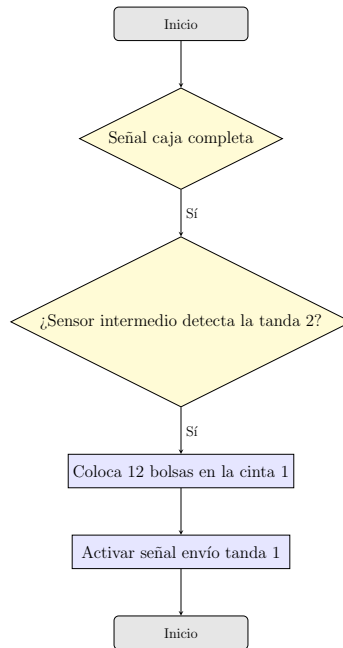


Figura 11: Diagrama de flujo de la secuencia ejecutada por el Robot 2

5.7. Diagrama de flujo del Robot 3

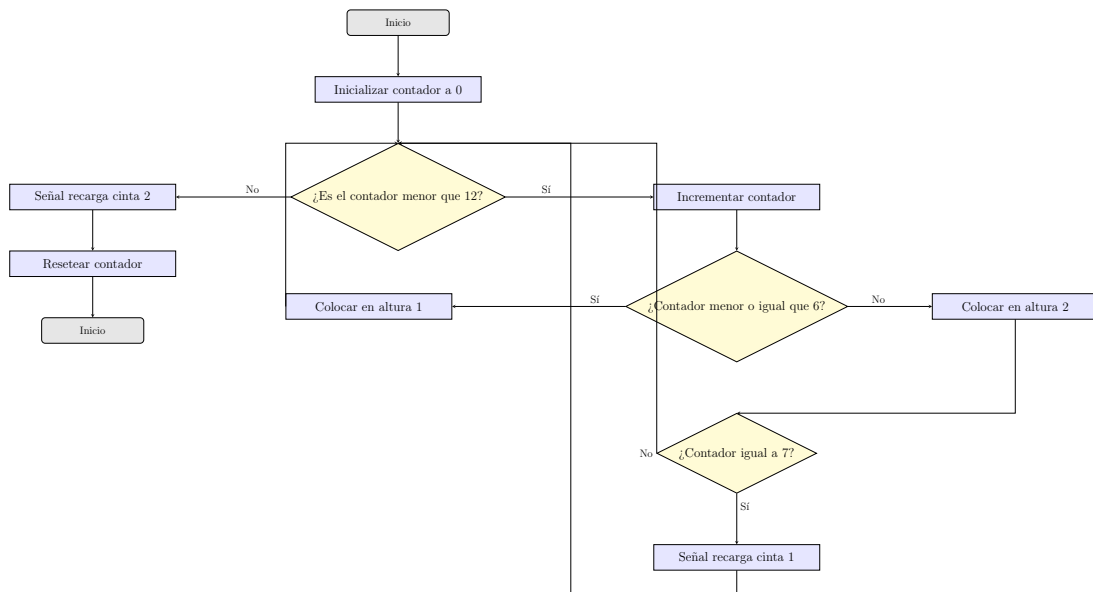


Figura 12: Diagrama de flujo de la lógica del Robot 3

6. PackGo adjuntados en la entrega

- **Ciclo único:** Se presenta una simulación del empaquetado de una única caja de 24 bolsas de té.
- **Ciclo continuo:** Se presenta una simulación del empaquetado continuo de cajas de 24 bolsas de té. Esta simulación puede generar errores durante su ejecución en ocasiones específicas, como el pick and place del Robot 3, debido a errores en los flancos de activación de algunas señales ocasionados por un mal reinicio o inicialización de los valores que generan un comportamiento inesperado.

7. Preparación de la simulación en RobotStudio

A continuación, se detallan los pasos necesarios para preparar la simulación del proyecto en RobotStudio:

1. Instalar la versión **RobotWare 7.18.1**, correspondiente al controlador utilizado en el proyecto.
2. Abrir el proyecto en **RobotStudio**, asegurándose de seleccionar la versión **RobotWare 7.18.1** previamente instalada.
3. Acceder a la pestaña **Simulación**, desplegar el menú **Restablecer** y seleccionar la opción del estado guardado, necesario para establecer el estado inicial del entorno.
4. En la pestaña **Controlador**, reiniciar los tres controladores (*Robot_1*, *Robot_2* y *Robot_3*) de forma individual:
 - Hacer clic con el botón derecho sobre el nombre del controlador en el panel izquierdo de la pantalla.
 - Seleccionar la opción **Reiniciar** del menú contextual.
5. Una vez que RobotStudio indique que las tres controladoras han sido actualizados correctamente, volver a la pestaña **Simulación** y **Restablecer** el entorno seleccionando nuevamente la opción disponible.
6. Por último, iniciar la simulación.
7. Debido a la necesidad de restablecer diferentes señales que se han quedado en estados no deseados por paros durante la ejecución de la simulación, es necesario realizar siempre todo este proceso una segunda vez cuando se abre el programa para que funcione adecuadamente.

8. Enlace a simulación de la estación

En este apartado se encuentra un enlace a YouTube donde se muestra el funcionamiento de la aplicación de llenado y empaquetado continuo de 24 bolsas de té en una caja y su posterior cierre en menos de 1 minuto por caja.

Vídeo del funcionamiento del ciclo continuo