

Sistema de Control de Servicio (Cinta Transportadora de Paquetes)

Autores y Padrones:

Ignacio Botbol - 109834

Sergio Nahuel Chaparro - 109752

Josefina Maria Duvidovich - 107467

Santiago Fontela - 109921

Fecha:

1er cuatrimestre 2025

1. Introducción

En el presente informe se realiza un análisis comparativo de dos posibles proyectos de sistemas embebidos, siguiendo la metodología planteada en el Ejemplo 12.1 del libro “A Beginner’s Guide to Designing Embedded System Applications on Arm Cortex-M Microcontrollers”. El objetivo es evaluar las distintas alternativas considerando criterios técnicos, funcionales y de factibilidad, asignando ponderaciones a cada aspecto y justificando los puntajes obtenidos por cada proyecto.

2. Descripción de los proyectos analizados

Proyecto 1 – Cinta transportadora de paquetes

En este trabajo final se desarrolló un sistema embebido para controlar una cinta transportadora de paquetes, diseñado e implementado sobre un microcontrolador STM32. El sistema permite seleccionar entre modo normal o setup, modificar la velocidad en tres niveles y gestionar una condición de falla simulada.

Cuenta con cuatro botones físicos para entrada de usuario, un display de caracteres e indicadores luminosos. Contiene un sensor de temperatura y almacenamiento no volátil para guardar configuración. Se implementa un control mediante máquinas de estados, filtrado por software, comunicación I2C y lectura de entradas analógicas. Posee una arquitectura modular con tareas periódicas para facilitar el mantenimiento y escalabilidad.

Este proyecto integra hardware y software en un entorno de automatización, asegurando un control robusto e intuitivo para el usuario.

Proyecto 2 – Sistema de control de ingreso y egreso de autos en estacionamiento

El sistema controla el acceso de vehículos a un estacionamiento, contabilizando entradas y salidas y considerando las limitaciones físicas del lugar. Permite configurar la advertencia de llenado y la capacidad máxima. El sistema es capaz de operar en modo normal donde se muestra en el display la cantidad de autos y los parámetros configurados, y además, es capaz de operar en modo set up, donde se permite modificar la capacidad máxima y advertencia de llenado. Posee una lectura de sensores de temperatura interna y externa mediante ADC. Se controla a partir de botones y DIP Switches y posee una interfaz modular entre sensores, sistemas y actuadores. Contiene un Display LCD para interacción con el usuario y un buzzer utilizado para la señalización sonora.

El sistema está pensado para aplicaciones de gestión de estacionamientos, optimizando el control y mejorando la experiencia del usuario.

3. Criterios de evaluación y ponderaciones

En la Tabla 1.0 se presentan los aspectos evaluados, sus ponderaciones y sus respectivas justificaciones.

Criterio	Ponderación (%)	Justificación
Disponibilidad del Hardware	20	Garantiza que los componentes se consigan fácilmente para reducir retrasos.
Complejidad técnica	15	Valora el desafío que presenta en términos de programación y hardware.
Aplicabilidad práctica	25	Evalúa la utilidad directa en entornos reales.
Escalabilidad y mantenimiento	15	Considera la facilidad para ampliar funciones o mantener el sistema.
Costo de implementación	10	Importante para la viabilidad del proyecto.
Innovación y diferenciación	15	Reconoce la originalidad y ventajas frente a soluciones similares.

Tabla 1: Criterio, ponderación y justificación del proyecto

4. Tabla comparativa de proyectos

En la Tabla 2 muestra la comparación entre ambos proyectos inicialmente planteados, para lograr una clara evaluación y un análisis profundo considerando criterios técnicos, de factibilidad y de utilidad práctica.

Criterio	Ponderación (%)	Proyecto 1: Cinta Transportadora	Proyecto 2: Control de Estacionamiento
Disponibilidad del Hardware	20	19 (componentes estándar, fácil reposición)	19 (sensores y actuadores muy comunes)
Complejidad técnica	15	11 (múltiples modos y estados, control de motores)	11 (múltiples modos, ADC, interfaces modulares)
Aplicabilidad práctica	25	22 (automatización industrial y educativa)	22 (gestión de estacionamientos, uso cotidiano)
Escalabilidad y mantenimiento	15	13 (arquitectura modular)	12 (modular, pero con más dependencias físicas)
Costo de implementación	10	9 (bajo costo de hardware)	8 (un poco más alto por sensores adicionales y buzzer)
Innovación y diferenciación	15	10 (concepto común, integración sólida)	11 (control parametrizable y señalización inteligente)
Puntaje total ponderado	100	8.4	8.3

Tabla 2: Comparación de proyectos

5. Análisis de resultados y selección

Si bien ambos proyectos tienen un alto potencial, el Proyecto 1 (Cinta transportadora) obtiene un puntaje total ligeramente superior (8,4 frente a 8,3). Esta diferencia, aunque pequeña, se justifica principalmente por diversos factores clave.

En primer lugar, en términos de escalabilidad y mantenimiento, el Proyecto 1 presenta una arquitectura modular muy clara y menos dependiente de factores externos, como la infraestructura física de un estacionamiento. Esto facilita su ampliación o adaptación a otros procesos de automatización industrial sin necesidad de modificaciones estructurales importantes.

En cuanto a la disponibilidad y simplicidad del hardware, los componentes utilizados en el Proyecto 1 son estándar y ampliamente disponibles en el mercado. Su montaje resulta más sencillo y presenta menor dependencia de sensores específicos, lo que disminuye riesgos logísticos y problemas de reposición a lo largo de su vida útil.

Por último, el costo de implementación es otro aspecto en el que el Proyecto 1 tiene ventaja. Requiere menos elementos adicionales, como sensores externos y sistemas de señalización compleja, lo que se traduce en una reducción de costos de materiales y montaje, sin sacrificar las funcionalidades esenciales del sistema.

En conclusión, aunque el Proyecto 2 destaca por su aplicabilidad directa en la gestión de estacionamientos y por incorporar funciones de configuración avanzada, el Proyecto 1 se selecciona por ofrecer una mayor flexibilidad, menores costos y una implementación más sencilla de escalar a diferentes entornos industriales, manteniendo un diseño robusto y funcional que cumple con todos los criterios evaluados.

6. Proyecto seleccionado: descripción y valor agregado

El sistema de control de cinta transportadora de paquetes permite operar en modo manual o automático, ajustar la velocidad en tres niveles, registrar configuraciones de forma no volátil y monitorear condiciones de funcionamiento. Todo esto se logra integrando de manera eficiente tanto el hardware como el software, garantizando un desempeño estable y confiable.

En relación con el proyecto seleccionado, se trata de un sistema embebido diseñado para la automatización de una cinta transportadora en entornos industriales o educativos. Su principal desafío es integrar múltiples funciones, como control de velocidad, modos de operación, gestión de fallas simuladas, almacenamiento persistente y monitoreo de temperatura, en una plataforma de bajo costo y fácil mantenimiento. La motivación detrás de este desarrollo es ofrecer una solución compacta, modular y escalable que permita aplicar en la práctica conocimientos de programación estructurada, control por máquinas de estados y manejo de periféricos. Su importancia radica en que puede adaptarse a diferentes procesos de transporte y clasificación de productos, favoreciendo la eficiencia operativa y reduciendo tiempos de intervención manual.

Su valor agregado radica en varios aspectos. En primer lugar, cuenta con una arquitectura modular que facilita el mantenimiento y la escalabilidad, permitiendo futuras mejoras sin alterar el núcleo del sistema. Además, implementa un control robusto mediante máquinas de estados finitas, lo que asegura un comportamiento predecible y fácil de depurar. La gestión de entradas se realiza con filtrado por software para evitar rebotes, mejorando la precisión en la detección de eventos. También se incluye comunicación

eficiente con periféricos mediante protocolos como I2C y ADC, optimizando la interacción con sensores y memorias externas. A esto se suma un bajo costo de implementación, gracias al uso de hardware estándar y fácilmente disponible.

El presente proyecto se destaca especialmente por incorporar control de modos, almacenamiento persistente de configuraciones y monitoreo en tiempo real de parámetros como la temperatura. Esto lo diferencia de otros sistemas similares en que no solo gestiona el transporte de forma básica, sino que añade funcionalidades avanzadas que permiten un control más inteligente, adaptable y documentado del proceso. Esta combinación, junto con su estructura modular, lo hace adaptable a distintos entornos industriales y educativos. La mezcla de bajo costo, flexibilidad y robustez lo convierte en una opción versátil y fácil de replicar frente a soluciones similares, aportando un equilibrio óptimo entre funcionalidad, eficiencia y viabilidad técnica.

En la Figura 1, se presenta el diagrama de bloques del sistema de control de la cinta transportadora de paquetes. Se observa que el sistema se organiza en módulos claramente diferenciados que interactúan entre sí de forma jerárquica y modular, lo que facilita su comprensión, mantenimiento y escalabilidad.

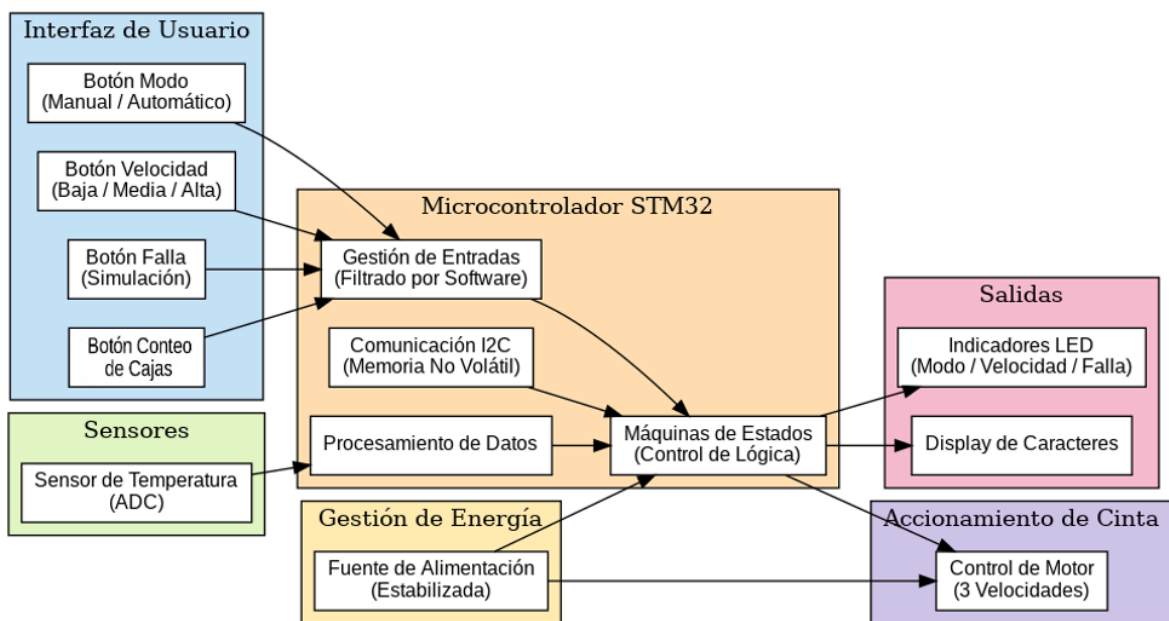


Figura 1: Diagrama de bloques del sistema de control de la cinta transportadora de paquetes

En la parte superior se encuentra el módulo de interfaz de usuario, compuesto por cuatro botones físicos que permiten seleccionar el modo de operación (manual o automático), ajustar la velocidad de la cinta en tres niveles y simular una condición de falla. Estos botones cuentan con un filtrado por software que evita el efecto de rebotes mecánicos y asegura la detección confiable de eventos.

El módulo de sensores incluye un sensor de temperatura conectado a la entrada analógica del microcontrolador mediante el ADC, lo que permite monitorear las condiciones de funcionamiento del sistema. La información captada por los sensores se procesa en tiempo real para actualizar los estados y realizar acciones preventivas.

El núcleo del sistema lo constituye el microcontrolador STM32, que integra el firmware estructurado en máquinas de estados finitas. Este módulo coordina la lectura de entradas, la lógica de control y la activación de salidas, además de gestionar la comunicación con una memoria externa a través del protocolo I2C, donde se almacenan de forma no volátil las configuraciones de velocidad, modo y otros parámetros del sistema.

En el módulo de salidas, se incluyen los indicadores luminosos LED que informan sobre el estado de la cinta (modo, velocidad y fallas) y un display de caracteres que presenta información más detallada al usuario. Estos elementos permiten una retroalimentación visual clara e inmediata.

Finalmente, el módulo de accionamiento de la cinta recibe las órdenes del microcontrolador y ajusta la velocidad del motor según el modo de funcionamiento y el nivel seleccionado por el usuario. Todo el sistema se alimenta a través de un módulo de gestión de energía, encargado de garantizar un suministro estable y seguro.

En resumen, el diagrama refleja cómo el diseño combina de manera eficiente la interacción con el usuario, el procesamiento de datos, el almacenamiento persistente y el control físico de la cinta transportadora. Esta organización modular no solo asegura un funcionamiento robusto, sino que también permite futuras ampliaciones y adaptaciones a distintos entornos industriales.

7. Elicitación de requisitos y casos de uso

En esta sección se lleva a cabo la identificación y especificación de los requisitos funcionales y no funcionales del sistema de control de cinta transportadora de paquetes, siguiendo la metodología propuesta en el Ejemplo 12.2 del libro “A Beginner’s Guide to Designing Embedded System Applications on Arm Cortex-M Microcontrollers”.

Para ello, se realizó un relevamiento de productos similares disponibles en el mercado con el objetivo de establecer una base comparativa de funcionalidades y características comunes. A partir de ese análisis, se definieron los requisitos del sistema conforme a los criterios SMART (específicos, medibles, alcanzables, relevantes y con un marco temporal definido), y se describieron los principales casos de uso que representan los escenarios típicos de interacción entre el usuario y el sistema.

Este proceso permite establecer una visión clara y estructurada del comportamiento esperado del sistema, asegurando una implementación alineada con los objetivos funcionales y técnicos del proyecto.

7.1 Análisis de productos similares en el mercado

Se analizaron dos productos comerciales que ofrecen funcionalidades similares a las del proyecto de cinta transportadora, especialmente en el ámbito educativo y de automatización industrial básica. A continuación, la Tabla 3 muestra las principales características de los respectivos productos.

Características	Producto A: Cinta Transportadora (Festo, modelo 548705)	Producto B: Mini Cinta Transportadora Trifásica con Sensores Electrónicos (Insur, Argentina)
Control de velocidad	Selección manual mediante botones, múltiples niveles disponibles según configuración didáctica	Motor trifásico 1/8 HP con reductor mecánico y control práctico mediante sensores electrónicos
Modo de operación	Soporta modo automático y manual, pensado para formación técnica	Permite prácticas como arranque directo, inversión de marcha y detención por sensor fotoeléctrico
Interfaz de usuario	Botones físicos, display LCD y LEDs indicadores (didáctico)	Pulsadores, sensores fotoeléctricos y bornes de conexión experimentales
Gestión de fallas	Simulación de errores y detención automática mediante sensores didácticos	Detención mediante sensor reflectivo o de barrera en prácticas reales
Sensor de temperatura	Incluido en el equipo didáctico Festo	No especificado
Almacenamiento persistente	Memoria EEPROM para guardar configuración de usuario	No disponible
Compatibilidad educativa	Diseñado para laboratorios y simulaciones técnicas	Equipamiento didáctico para automatización trifásica
Precio estimado	~100 USD, con enfoque educativo especializado	Precio aproximado en mercado educativo argentino; no especificado en el sitio, supongo al ser menos complejo es aproximadamente 80 USD
Enlace sitio web	https://www.festo.com/ar/es/p/cinta-transportadora-id_PROD_DID_548705/?page=0	https://www.insur.com.ar/equipos/area-electromecanica/cinta-t/216

Tabla 3: Características de productos comerciales similares

Ambos productos fueron tomados como referencia para establecer una línea base de funcionalidades alcanzables. El producto de Festo resulta más completo, pero también más costoso. El sistema propuesto busca ofrecer un conjunto equilibrado de funciones a un costo menor, orientado a la flexibilidad y aprendizaje.

7.2 Requisitos del sistema

En la Tabla 4 se presentan los siguientes requisitos definidos considerando los criterios SMART: específicos, medibles, alcanzables, relevantes y con límite de tiempo.

Req. Group	Req. ID	Descripción
1. Interfaz	1.1	El sistema debe tener cuatro botones físicos para controlar modo, velocidad, cantidad de cajas y simular fallas.
	1.2	El sistema debe mostrar información del estado en un display de caracteres.
	1.3	El sistema debe incluir indicadores LED para modo y velocidad seleccionada.
2. Modos	2.1	El sistema debe operar en modo normal y modo setup seleccionables por el usuario.
	2.2	En modo setup, el usuario debe poder iniciar/detener la cinta con un botón. Usuario configura los parámetros.
	2.3	En modo normal, la cinta debe detenerse ante una falla simulada.
3. Velocidad	3.1	El sistema debe permitir seleccionar entre tres niveles de velocidad de cinta.
4. Sensores	4.1	El sistema debe medir la temperatura ambiente mediante un sensor analógico.
5. Almacenamiento	5.1	El sistema debe guardar en memoria no volátil la última configuración usada.
6. Robustez	6.1	El sistema debe filtrar por software las entradas digitales para evitar rebotes.
7. Comunicación	7.1	El sistema debe comunicarse con la memoria externa mediante I2C.
8. Tiempo	8.1	El sistema debe completarse en un período de desarrollo de una semana.
9. Costo	9.1	El costo total del prototipo no debe superar los 40.000 pesos argentinos

Tabla 4: Requisitos iniciales del sistema de control de cinta transportadora

7.3 Casos de uso

Se definen a continuación en la Tabla 5, Tabla 6 y Tabla 7, tres casos de uso relevantes para el sistema propuesto.

Elemento del caso de uso	Descripción
Trigger	El usuario desea iniciar el movimiento de la cinta manualmente.
Precondición	El sistema debe estar encendido y configurado en modo manual.
Flujo básico	El usuario presiona el botón de inicio. La cinta se mueve a la velocidad configurada.
Flujos alternativos	1a: El usuario presiona el botón de parada, y la cinta se detiene inmediatamente.

Tabla 5: Caso de uso #1 - El usuario activa la cinta en modo manual

Elemento del caso de uso	Descripción
Trigger	El usuario activa el modo automático.
Precondición	El sistema está encendido y funcionando normalmente.
Flujo básico	El usuario selecciona modo automático. La cinta opera normalmente hasta que se simula una falla.
Flujos alternativos	2a: El sistema detecta una falla simulada → se detiene y activa la señalización.

Tabla 6: Caso de uso #2 - El sistema entra en modo automático y detecta una falla

Elemento del caso de uso	Descripción
Trigger	El usuario desea cambiar la velocidad de la cinta.
Precondición	El sistema debe estar encendido.
Flujo básico	El usuario presiona el botón de velocidad → el sistema alterna entre tres niveles posibles.
Flujos alternativos	3a: El sistema vuelve al primer nivel al llegar al máximo (ciclo circular).

Tabla 7: Caso de uso #3 - El usuario configura la velocidad de la cinta

Los casos de uso permiten describir de forma estructurada cómo interactúan los usuarios con el sistema en situaciones típicas de operación. En el contexto del proyecto de la cinta transportadora de paquetes, se identificaron tres escenarios principales que resumen la funcionalidad esperada del sistema: el inicio manual de la cinta, la detección y respuesta ante fallas en modo automático, y la configuración del nivel de velocidad.

Cada caso de uso detalla las condiciones iniciales, las acciones del usuario, la respuesta del sistema y los posibles caminos alternativos, contribuyendo así a una mejor comprensión del comportamiento general del sistema desde la perspectiva del usuario. Esta información es fundamental para validar los requisitos definidos y guiar el desarrollo del software embebido de forma coherente con los objetivos del proyecto.