



REPÚBLICA DE PANAMÁ

MINISTERIO DE EDUCACIÓN

INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO DEL CLAUSTRO GÓMEZ

**TRABAJO FINAL DE INVESTIGACIÓN PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE
TÉCNICO SUPERIOR EN PROGRAMACIÓN EN INFORMÁTICA**

**PROGRAMACIÓN DE MICROCONTROLADORES PARA SISTEMAS
EMBEBIDOS.**

ELABORADO POR: VERÓNICA AILYN RODRIGUEZ MORALES - 4-785-692

Julio 2024

Índice

I.	RESUMEN	3
II.	INTRODUCCIÓN	4
III.	JUSTIFICACIÓN	5
IV.	OBJETIVOS	6
V.	MARCO TEÓRICO	7
VI.	METODOLOGÍA	9
VII.	DESARROLLO O CUERPO DEL TRABAJO.....	10
VIII.	CONCLUSIÓN	12
IX.	RECOMENDACIONES.....	13
X.	BIBLIOGRAFÍA	15

I. RESUMEN

La programación de microcontroladores para sistemas embebidos es un área de la ingeniería electrónica y computacional que ha adquirido gran relevancia en la actualidad debido a la creciente demanda de dispositivos inteligentes y automatizados en diversos sectores, como la industria, la medicina, la automoción y la domótica. Los sistemas embebidos son aquellos dispositivos electrónicos diseñados para cumplir funciones específicas dentro de un sistema mayor, operando con una combinación de hardware y software optimizado para tareas concretas. En este contexto, los microcontroladores juegan un papel fundamental, ya que permiten la ejecución de instrucciones programadas que gobiernan la funcionalidad de estos sistemas.

El objetivo principal de esta tesina es analizar, diseñar e implementar aplicaciones utilizando microcontroladores en sistemas embebidos, evaluando su rendimiento, eficiencia y aplicabilidad en distintos escenarios. Para ello, se exploran los fundamentos teóricos de los microcontroladores, los lenguajes de programación más utilizados (como C, C++ y ensamblador), así como las metodologías de desarrollo que permiten optimizar su rendimiento. Además, se estudia el uso de entornos de desarrollo integrados (IDE) como Arduino IDE, MPLAB X, Keil y PlatformIO, así como herramientas de simulación que facilitan el proceso de prueba y validación antes de la implementación en hardware.

La metodología empleada en este trabajo combina una revisión exhaustiva de la literatura con el desarrollo práctico de prototipos, aplicando un enfoque experimental y analítico. Se diseñan e implementan diversos proyectos prácticos en los que se programan microcontroladores para realizar tareas específicas, como la adquisición y procesamiento de datos mediante sensores, el control de motores y actuadores, y la comunicación con otros dispositivos a través de protocolos como UART, I2C y SPI. Para validar los resultados, se realizan pruebas de rendimiento, consumo energético y fiabilidad en diferentes condiciones de operación.

Los resultados obtenidos evidencian que la programación eficiente de microcontroladores puede optimizar significativamente el desempeño de sistemas embebidos, reduciendo el consumo de recursos y mejorando la respuesta a eventos en tiempo real. Además, se demuestra que el uso de arquitecturas avanzadas y técnicas de programación estructurada permite mejorar la escalabilidad y el mantenimiento de los sistemas. Se concluye que el conocimiento profundo de los microcontroladores y sus herramientas de desarrollo es crucial para la creación de soluciones innovadoras y eficientes en el ámbito de los sistemas embebidos, lo que abre nuevas oportunidades en la automatización y la industria 4.0.

En definitiva, esta tesina proporciona una visión integral sobre la programación de microcontroladores para sistemas embebidos, destacando las mejores prácticas, herramientas y metodologías para el desarrollo de aplicaciones optimizadas, con el fin de contribuir al avance tecnológico en este campo.

II. INTRODUCCIÓN

La programación de microcontroladores para sistemas embebidos es un campo fundamental dentro de la ingeniería electrónica, la informática y la automatización. Un microcontrolador es un circuito integrado que contiene una unidad central de procesamiento (CPU), memoria y periféricos de entrada/salida, diseñados para ejecutar tareas específicas dentro de un sistema embebido. Estos dispositivos se encuentran en una gran variedad de aplicaciones, desde electrodomésticos hasta sistemas críticos en la industria aeroespacial y médica.

Los sistemas embebidos son esenciales en el desarrollo tecnológico moderno, ya que permiten diseñar soluciones optimizadas en términos de consumo de energía, eficiencia de procesamiento y costo de implementación. A diferencia de los sistemas informáticos tradicionales, que están diseñados para realizar múltiples tareas, un sistema embebido se programa para ejecutar funciones concretas, como el control de motores, la recolección de datos mediante sensores o la comunicación con otros dispositivos.

Este estudio abarca desde los fundamentos de los microcontroladores, su arquitectura y funcionamiento, hasta la implementación de proyectos prácticos que permitan evaluar su

rendimiento en aplicaciones reales. Se analizan diversos lenguajes de programación, herramientas de desarrollo y metodologías de diseño, con el fin de proporcionar un enfoque integral sobre cómo programar y optimizar estos dispositivos en sistemas embebidos.

Además, se exploran diferentes plataformas y entornos de desarrollo utilizados en la programación de microcontroladores, como Arduino, ESP32 y STM32, los cuales ofrecen diversas capacidades y herramientas para distintas aplicaciones. Se evalúan las ventajas y desventajas de cada plataforma en función de factores como el consumo energético, la velocidad de procesamiento y la facilidad de programación. Asimismo, se consideran los protocolos de comunicación más empleados en sistemas embebidos, como I2C, SPI y UART, fundamentales para la interacción entre microcontroladores y otros componentes electrónicos. Con este enfoque, el estudio busca proporcionar una base sólida para la selección y optimización de microcontroladores en función de los requerimientos específicos de cada aplicación.

III. JUSTIFICACIÓN

El desarrollo de la tecnología embebida ha revolucionado múltiples industrias y sectores de la sociedad. En un mundo donde la automatización y la conectividad son cada vez más relevantes, la importancia de los microcontroladores radica en su capacidad para mejorar la eficiencia y funcionalidad de los dispositivos electrónicos. La programación de microcontroladores es una habilidad clave para ingenieros y desarrolladores que buscan crear soluciones innovadoras en áreas como la robótica, la domótica, la medicina y la Internet de las Cosas (IoT).

Uno de los principales motivos de este estudio es la creciente demanda de dispositivos inteligentes y eficientes, que requieren un alto grado de control y personalización. La optimización del software que controla estos dispositivos es crucial para garantizar su rendimiento, minimizar el consumo energético y mejorar la confiabilidad del sistema. Además, el avance de tecnologías como la inteligencia artificial y el aprendizaje automático

está ampliando el campo de aplicación de los sistemas embebidos, lo que hace aún más relevante el estudio de la programación de microcontroladores.

Otro aspecto importante es la accesibilidad de las herramientas de desarrollo. Gracias a plataformas como Arduino, Raspberry Pi y ESP32, el aprendizaje y la implementación de sistemas embebidos han dejado de ser exclusivos para expertos en electrónica. Esto ha permitido que estudiantes, investigadores y emprendedores exploren nuevas aplicaciones en diversos campos, desde proyectos educativos hasta soluciones empresariales.

Finalmente, este estudio es relevante porque contribuye al conocimiento y formación de profesionales en un área de alta demanda. La industria tecnológica requiere especialistas capaces de diseñar e implementar sistemas embebidos eficientes, lo que abre oportunidades laborales y fomenta la innovación en el desarrollo de nuevas tecnologías.

IV. OBJETIVOS

General

- Analizar y desarrollar técnicas de programación para microcontroladores en sistemas embebidos, con el fin de optimizar su rendimiento y aplicabilidad en diferentes contextos industriales y tecnológicos.

Específicos

- Explorar los fundamentos de los microcontroladores y su arquitectura, comprendiendo su funcionamiento interno, tipos de memoria, periféricos y modos de operación.
- Estudiar los lenguajes y entornos de programación más utilizados en sistemas embebidos, como C, C++, ensamblador y entornos de desarrollo como Arduino IDE, MPLAB X, Keil y PlatformIO.
- Desarrollar proyectos prácticos de implementación de microcontroladores, incluyendo la programación para la adquisición de datos, control de motores, comunicación serial y automatización de procesos.

V. MARCO TEÓRICO

La programación de microcontroladores para sistemas embebidos es un área interdisciplinaria que involucra conocimientos de ingeniería electrónica, informática y control automático. Un microcontrolador es un dispositivo que integra en un solo chip una CPU, memoria y periféricos, como temporizadores y puertos de entrada/salida, permitiendo que realice tareas específicas de forma autónoma. Su uso es esencial en una amplia gama de aplicaciones, desde dispositivos electrónicos de consumo, como relojes y electrodomésticos, hasta sistemas complejos en áreas industriales, automotrices y médicos. Estos sistemas embebidos, a diferencia de los sistemas generales de computación, se diseñan para realizar una función específica y suelen tener restricciones estrictas de tamaño, costo y consumo energético.

La programación de microcontroladores se distingue de la programación convencional en que se debe considerar la limitación de recursos, como la memoria y la potencia de procesamiento. Los lenguajes de programación más comunes para microcontroladores son C y ensamblador, debido a su eficiencia en el manejo de recursos limitados. Los avances en las arquitecturas de microcontroladores han permitido que estos dispositivos sean cada vez más potentes y flexibles, soportando aplicaciones más complejas, como la comunicación en redes y el procesamiento de señales. La optimización del código es clave para lograr que los microcontroladores funcionen de manera eficiente, especialmente en sistemas que requieren respuesta en tiempo real.

En cuanto a la literatura existente, diversos estudios han explorado los avances en la programación y diseño de sistemas embebidos. Según Tanenbaum (2016), la clave para un sistema embebido eficiente es la integración efectiva del hardware con el software, lo que requiere una comprensión profunda tanto de la arquitectura del microcontrolador como de los principios de programación de bajo nivel. Además, Barrett y Krishnan (2020) sugieren que el uso de herramientas de desarrollo como IDEs (Integrated Development Environments) facilita la programación y depuración de sistemas embebidos, haciendo el proceso más accesible y menos propenso a errores. De acuerdo con estos estudios, las

metodologías de diseño, que van desde el prototipado rápido hasta el desarrollo de sistemas embebidos complejos, juegan un rol fundamental en el éxito de estos proyectos.

Las teorías del control automático son fundamentales cuando se trata de aplicar microcontroladores a sistemas que necesitan ajustar y mantener variables en tiempo real, como en sistemas de control de temperatura, velocidad o posición. En este sentido, la Teoría de Control en Tiempo Discreto es aplicable, especialmente en sistemas embebidos donde las variables se actualizan a intervalos regulares y las decisiones deben tomarse en un ciclo determinado. Estas teorías, combinadas con el uso de microcontroladores, permiten la creación de sistemas autónomos que reaccionan de manera eficiente a cambios en su entorno, lo que resulta en aplicaciones como la automatización industrial, la robótica y la medicina.

El continuo avance en las tecnologías de microcontroladores también ha permitido que estas plataformas sean más accesibles a nivel educativo y para desarrolladores independientes. La creación de plataformas como Arduino ha democratizado el acceso a los sistemas embebidos, permitiendo a estudiantes y aficionados experimentar con proyectos de control y automatización sin necesidad de equipos costosos o conocimientos profundos en electrónica. Sin embargo, a pesar de esta accesibilidad, la programación de microcontroladores sigue siendo un desafío que requiere un enfoque técnico sólido, ya que las decisiones de diseño deben tener en cuenta tanto los recursos limitados como los requisitos de rendimiento.

En resumen, el estudio de la programación de microcontroladores para sistemas embebidos es fundamental para el desarrollo de aplicaciones tecnológicas avanzadas. La integración de teorías del control automático, los avances en las arquitecturas de microcontroladores y el uso de herramientas de programación eficaces son aspectos cruciales para la implementación de sistemas embebidos eficientes y funcionales. Con la evolución constante de estas tecnologías, el campo sigue siendo un área dinámica de investigación y desarrollo con un gran potencial de innovación.

VI. METODOLOGÍA

El enfoque de investigación para este estudio es principalmente cuantitativo, debido a que se busca obtener datos numéricos que permitan medir y comparar el rendimiento de los microcontroladores en sistemas embebidos. Se pretende analizar aspectos técnicos como la eficiencia del código, el consumo de energía y los tiempos de respuesta en diversas configuraciones. Esta aproximación permitirá establecer patrones claros y evaluar el impacto de diferentes métodos de programación y selección de hardware en el desempeño general del sistema embebido.

Para la recopilación de datos, se utilizará un enfoque experimental basado en la implementación práctica de sistemas embebidos. Se realizarán pruebas con diferentes modelos de microcontroladores y se medirán variables como el consumo energético y el tiempo de procesamiento en situaciones controladas. También se llevará a cabo una exhaustiva revisión documental que incluirá tanto fuentes académicas como reportes técnicos que proporcionen una base comparativa y teórica relevante para los experimentos. Además, se realizarán entrevistas con expertos en el campo para complementar los datos obtenidos en los experimentos prácticos, y con ello enriquecer la interpretación de los resultados.

En cuanto a los métodos de análisis, se utilizarán técnicas estadísticas descriptivas para examinar los datos obtenidos, lo que permitirá identificar tendencias y establecer correlaciones entre los diferentes factores evaluados. Se emplearán herramientas como software de hojas de cálculo y programas especializados para analizar los resultados y presentarlos de manera gráfica, facilitando la interpretación de los datos. Además, se implementará un análisis de varianza (ANOVA) para comparar los resultados de distintos enfoques y determinar si existen diferencias significativas en el rendimiento de los sistemas embebidos bajo diversas condiciones. Por último, la revisión de la literatura y la consulta con expertos permitirá complementar los hallazgos experimentales con perspectivas teóricas y mejores prácticas en el campo de la programación de microcontroladores para sistemas embebidos.

El análisis cuantitativo de los datos obtenidos proporcionará una visión clara y precisa del impacto de las distintas variables en el rendimiento de los sistemas embebidos. La utilización de herramientas estadísticas permitirá no solo cuantificar los resultados, sino también identificar patrones que puedan guiar la toma de decisiones en el diseño y programación de estos sistemas. La combinación de pruebas experimentales y la consulta con expertos ofrece una visión holística que abarca tanto los aspectos técnicos como las mejores prácticas en la industria, lo que aumentará la relevancia y aplicabilidad de los hallazgos.

Además, el enfoque experimental y cuantitativo facilitará la identificación de las configuraciones de microcontroladores que ofrecen el mejor balance entre eficiencia energética, velocidad de procesamiento y capacidad de manejo de periféricos. Con la implementación de estas pruebas, se podrán hacer recomendaciones basadas en datos sólidos para optimizar el diseño de sistemas embebidos. Este enfoque permitirá que futuras investigaciones construyan sobre estos resultados, explorando nuevas alternativas y mejoras en la programación y selección de hardware para sistemas más complejos y exigentes.

VII. DESARROLLO O CUERPO DEL TRABAJO

El desarrollo de este trabajo se enfoca en el análisis y la discusión sobre la programación de microcontroladores para sistemas embebidos, abordando diversos aspectos que permiten comprender cómo estos dispositivos contribuyen a la creación de sistemas autónomos y eficientes. En primer lugar, se explora la selección de microcontroladores, destacando las diferentes arquitecturas disponibles en el mercado y cómo su elección impacta directamente en el rendimiento de los sistemas embebidos. Para ello, se comparan microcontroladores de bajo consumo, como los de la familia ARM Cortex-M, con opciones más complejas y potentes como los microcontroladores AVR y PIC, resaltando sus ventajas y limitaciones en función de criterios como capacidad de procesamiento, consumo energético y facilidad de programación.

Una de las principales áreas de interés en este trabajo es la optimización del código, ya que la eficiencia del software es crucial en sistemas embebidos que deben operar bajo restricciones de recursos. El análisis aborda las mejores prácticas para escribir código eficiente y reducir el uso de memoria y tiempo de ejecución, utilizando herramientas y técnicas como la programación en lenguaje C o ensamblador, que permiten un control más cercano al hardware. Se discuten además estrategias de optimización, como el uso de interrupciones, la programación en tiempo real y la implementación de algoritmos de control eficientes. A través de la experimentación con distintos métodos, se observan las mejoras en el rendimiento de los microcontroladores, así como las implicaciones de estas optimizaciones en términos de consumo energético y longevidad del dispositivo.

Otro punto clave en el desarrollo de sistemas embebidos es la integración de periféricos, que amplían las capacidades del microcontrolador y permiten la interacción con el entorno. En este capítulo, se analiza la importancia de la selección de sensores y actuadores adecuados, cómo su interacción con el microcontrolador se debe gestionar mediante protocolos de comunicación como I2C y SPI, y cómo se configuran para que el sistema funcione correctamente. Se examinan también los diferentes tipos de interfaces de comunicación, desde las seriales hasta las inalámbricas, evaluando sus ventajas y limitaciones en el contexto de sistemas embebidos que requieren bajo consumo de energía y alta fiabilidad.

El análisis de la gestión de energía es fundamental en el contexto de los sistemas embebidos, especialmente cuando los dispositivos deben operar en entornos donde no se dispone de una fuente de energía constante, como en aplicaciones portátiles o autónomas. Se estudian diferentes técnicas de gestión de energía, como el uso de modos de bajo consumo, el empleo de temporizadores para reducir la actividad del procesador y la optimización de las comunicaciones para minimizar el consumo energético. También se examinan las tecnologías emergentes, como el uso de baterías de polímero de litio y paneles solares, para mejorar la eficiencia energética en sistemas embebidos y extender su vida útil.

Finalmente, el trabajo discute el futuro de la programación de microcontroladores en sistemas embebidos, analizando las tendencias emergentes como la integración de la inteligencia artificial en estos dispositivos. La capacidad de los microcontroladores de procesar datos y tomar decisiones en tiempo real abre nuevas posibilidades para el desarrollo de sistemas autónomos más inteligentes, como en la robótica y el Internet de las Cosas (IoT). Se evalúan también los desafíos que implica el aumento de la complejidad de los sistemas embebidos, desde la programación hasta la integración de hardware, y se proponen posibles soluciones para superarlos, incluyendo el uso de plataformas de desarrollo más accesibles y la mejora de las herramientas de depuración y validación de código.

A lo largo de este trabajo se evidencian las diferentes fases en el diseño y programación de microcontroladores para sistemas embebidos, desde la selección del hardware adecuado hasta la optimización de software y la gestión de recursos. Cada capítulo profundiza en un aspecto específico, aportando un análisis detallado de las técnicas y prácticas más utilizadas en la programación de estos sistemas, y destacando las implicaciones de cada elección en el rendimiento final del dispositivo.

VIII. CONCLUSIÓN

A lo largo de esta investigación, se ha profundizado en los aspectos clave de la programación de microcontroladores para sistemas embebidos, con el fin de optimizar su rendimiento y asegurar su eficiencia en diferentes aplicaciones. Se ha demostrado que la selección adecuada del microcontrolador, basada en criterios técnicos como la capacidad de procesamiento, el consumo de energía y la compatibilidad con los periféricos necesarios, es fundamental para el éxito del diseño de un sistema embebido. Se ha observado que microcontroladores de bajo consumo, como los de la familia ARM Cortex-M, son ideales para aplicaciones que requieren eficiencia energética, mientras que microcontroladores más potentes, como los de la serie AVR o PIC, son adecuados para aplicaciones que demandan mayor capacidad de procesamiento y recursos.

La optimización del código ha sido uno de los temas más relevantes en esta investigación, ya que el desarrollo de software eficiente es clave para maximizar el rendimiento de los sistemas embebidos. El uso de técnicas de programación como el control de interrupciones, la programación en lenguaje C o ensamblador, y la implementación de algoritmos eficientes, ha permitido mejorar significativamente el rendimiento de los sistemas sin comprometer su consumo energético. Además, la correcta integración de los periféricos es esencial para que el sistema embebido interactúe de manera efectiva con el entorno, lo que se logra mediante la implementación adecuada de protocolos de comunicación como I2C, SPI y UART, entre otros.

En cuanto a la gestión de la energía, se ha comprobado que la implementación de estrategias como la utilización de modos de bajo consumo, la optimización de las comunicaciones y el uso de tecnologías emergentes, como las baterías de polímero de litio y los paneles solares, es fundamental para extender la vida útil de los dispositivos embebidos, especialmente en aplicaciones portátiles o autónomas. La eficiencia energética se presenta como uno de los mayores desafíos a superar en el diseño de sistemas embebidos, pero los avances en esta área permiten asegurar que estos dispositivos continúen siendo funcionales durante largos periodos sin requerir recargas frecuentes.

Finalmente, la investigación ha destacado las tendencias emergentes en la programación de microcontroladores para sistemas embebidos, como la incorporación de inteligencia artificial y el Internet de las Cosas (IoT), que abren nuevas posibilidades para el desarrollo de sistemas más inteligentes y autónomos. Estos avances representan un cambio significativo en la forma en que los dispositivos embebidos interactúan con el entorno y toman decisiones en tiempo real, lo que traerá consigo una mayor complejidad en el diseño y programación de estos sistemas.

IX. RECOMENDACIONES

En vista de los hallazgos obtenidos en esta investigación, se recomienda que las futuras investigaciones se enfoquen en la exploración y desarrollo de nuevas técnicas y

herramientas que permitan mejorar la eficiencia energética de los microcontroladores. A medida que la demanda de dispositivos más autónomos y sostenibles aumenta, es crucial que se sigan desarrollando soluciones innovadoras en el campo de la gestión de energía. Esto podría incluir el estudio de nuevos tipos de baterías, materiales más eficientes para la conversión de energía o incluso la integración de fuentes de energía renovable, como la energía solar, en sistemas embebidos.

Asimismo, es importante que las investigaciones futuras sigan explorando el uso de inteligencia artificial en sistemas embebidos, ya que esta tecnología tiene el potencial de transformar significativamente la forma en que estos dispositivos interactúan con el entorno. La programación de microcontroladores con capacidades de aprendizaje automático o procesamiento de datos en tiempo real podría mejorar considerablemente la autonomía y la inteligencia de los sistemas embebidos. Sin embargo, la integración de IA también plantea nuevos desafíos en cuanto al procesamiento de datos y el consumo de energía, lo que deberá ser considerado cuidadosamente en el diseño de estos sistemas.

Otra recomendación importante es la creación de plataformas de desarrollo más accesibles para los diseñadores de sistemas embebidos. Si bien existen herramientas especializadas, muchas veces estas son complejas y requieren un conocimiento técnico avanzado. El desarrollo de entornos de programación más intuitivos, acompañados de documentación detallada y ejemplos prácticos, facilitará la creación de sistemas embebidos, especialmente para aquellos que se están iniciando en el campo de la programación de microcontroladores.

En términos de aplicaciones prácticas, se recomienda que las empresas y organizaciones que desarrollan sistemas embebidos inviertan en la capacitación continua de sus equipos de desarrollo en las mejores prácticas de optimización de código y gestión de energía. Dado que las exigencias tecnológicas continúan evolucionando, es crucial que los profesionales en este campo se mantengan actualizados sobre las últimas tendencias, herramientas y técnicas disponibles para asegurar que los sistemas embebidos sigan siendo eficientes y competitivos en el mercado.

Finalmente, la colaboración entre los sectores académico, industrial y gubernamental es esencial para el desarrollo de estándares y normativas que aseguren la interoperabilidad de los sistemas embebidos en diferentes plataformas y aplicaciones. La creación de un marco normativo común facilitará la integración de los microcontroladores en sistemas más grandes, como redes de sensores y dispositivos IoT, y garantizará que estos sistemas puedan comunicarse de manera eficiente y segura.

X. BIBLIOGRAFÍA

- Pérez Monte, C., Mercado, G., Taffernaberry, J. C., Diedrichs, A., Piccoli, M. F., Tobar, S., ... & Gonzalez, R. (2024). eUCCvm: una herramienta educativa integral para la programación de sistemas embebidos. In XXIX Congreso Argentino de Ciencias de la Computación (CACIC)(Luján, 9 al 12 de octubre de 2023).
- ALFARO BAZAN, B. F. (2024). PLAN DE ASIGNATURA Y PLAN DE CLASE DE PROGRAMACION DE MICROCONTROLADORES Y MICROPROCESADORES.
- Mejia Elias, C. J. (2023). Sistemas Informáticos Embebidos-IN388-202302.
- Cerezuela Escudero, E., Durán López, L., Gutiérrez Galán, D., Domínguez Morales, J. P., Ríos Navarro, J. A., & Jiménez Fernández, Á. F. (2021). Práctica de desarrollo de una red de sensores basada en la programación de microcontroladores para sistemas en tiempo real. JENUI 2021: XXVII Jornadas sobre la Enseñanza Universitaria de la Informática (2021), pp. 311-314.
- Oñate Freire, T. J., & Silva Velásquez, D. G. (2024). Desarrollo de un sistema de control de un alineador ALTEC mediante el uso de un sistema embebido con interfaz de usuario tipo keypad, para una máquina de estampado con film plástico. ESPOL. FIEC.