

# Jornadas de Automática

## *Escape room* en Ingeniería de Control: Una Aventura Gamificada desarrollada en la Universidad de Almería

González-Hernández, J.<sup>a</sup>, Cañadas-Aránega, F.<sup>a</sup>, Hoyo, Á.<sup>a</sup>, Otálora, P.<sup>a</sup>, Pataro, I. M. L.<sup>a</sup>, Gil, J. D.<sup>a,\*</sup>

<sup>a</sup>Universidad de Almería, Centro Mixto CIESOL, ceia3, Ctra. Sacramento s/n, 04120, Almería, España.

**To cite this article:** González-Hernández, J., Cañadas-Aránega, F., Hoyo, Á., Otálora, P., Pataro, I. M. L., Gil, J. D. 2024. Control Engineering *Escape room*: A Gamified Adventure Developed at the University of Almería. Jornadas de Automática, 45. <https://doi.org/10.17979/ja-cea.2024.45.10794>

### Resumen

La gamificación se refiere a la utilización de métodos y tácticas de juego en áreas no tradicionales, como la educación. En este trabajo se describe una experiencia basada en la gamificación para la enseñanza del control automático en los estudios de ingeniería, como alternativa o apoyo al sistema de enseñanza tradicional. Esta experiencia se desarrolla en el marco de un proyecto de innovación docente desarrollado en la Universidad de Almería. En concreto, se presenta el diseño y desarrollo de un *escape room* para la asignatura de Automatización Industrial, así como unas pruebas preliminares llevadas a cabo en el curso académico 2023-2024. Aviso, en el artículo se describe en detalle la construcción del *escape room*, pero solo se dan pinceladas de la mecánica del juego y de las pruebas incluidas en este, no hacemos *spoiler*. Para descubrir el juego al completo, le invitamos a que lo resuelva.

**Palabras clave:** Educación en Control, Innovación Docente, Nuevas metodologías docentes para los planes de estudio de Ingeniería de Control.

### Control Engineering *Escape room*: A Gamified Adventure Developed at the University of Almería

#### Abstract

Gamification refers to the use of gaming methods and tactics in non-traditional areas, such as education. In this paper, a gamification-based experience for teaching automatic control in engineering studies is described, as an alternative or support to the traditional teaching system. The experience is being developed within the framework of a teaching innovation project at the University of Almería. Specifically, we present the design and development of an *escape room* for the Industrial Automation subject, as well as preliminary tests conducted during the academic year 2023-2024. Please note that while the article provides detailed descriptions of the *escape room*'s construction, only glimpses of the game mechanics and included tests are provided, avoiding spoilers. To discover the full game, we invite you to solve it.

**Keywords:** Control Education, Teaching Innovation, New teaching methodologies for Control Engineering curricula.

## 1. Introducción

En el entorno universitario, especialmente en campos como la Ingeniería, es común que los cursos tengan una fuerte componente teórica. Normalmente, la teoría se transmite a través de clases magistrales, donde el profesor toma la iniciativa en la transmisión del conocimiento a los estudiantes. Sin

embargo, esto puede llevar a que los estudiantes adopten un papel pasivo-receptivo, lo que en algunos casos puede resultar en una pérdida de interés. Para abordar este desafío, es imperativo emplear nuevos métodos para presentar información teórica de manera atractiva y estimulante para los estudiantes, de forma que estos participen activamente en el proceso de aprendizaje. Entre las diversas alternativas, una metodología

\*Autor para correspondencia: [juandiego.gil@ual.es](mailto:juandiego.gil@ual.es)  
Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0)

que ha atraído un notable interés en la última década es la gamificación (Campillo-Ferrer et al., 2020).

La gamificación es un término derivado de la palabra “game”, e implica aplicar técnicas y estrategias de juegos a áreas donde tradicionalmente no se encuentran (Lee, 2011). En concreto, es un enfoque didáctico que puede utilizarse para mejorar la efectividad de la enseñanza al incentivar diversos aspectos, como la participación y motivación de los estudiantes, el rendimiento académico y la retención de información (Sangk-yeun, 2018). Además, una de sus principales ventajas radica en que proporciona realimentación instantánea sobre el progreso de los estudiantes (Jo et al., 2018).

En el entorno universitario, la gamificación se han implementado en varias ramas de la ingeniería con resultados positivos. Por ejemplo, en el trabajo de Toimah et al. (2021), se utilizó un videojuego en la asignatura de termodinámica. La experiencia mostró que los estudiantes que utilizaron activamente el videojuego - alrededor de 300 - lograron una tasa de aprobado un 36 % mayor que aquellos que no lo usaron. Otro ejemplo fue presentado por Leon and Peña (2022), donde se desarrollaron diferentes herramientas de gamificación para el ámbito de ingeniería naval. La experiencia también mostró resultados positivos en la motivación y participación de los estudiantes durante el desarrollo del curso. Además, existen otros ejemplos en el campo de la ingeniería industrial, como se muestra en el trabajo de Urgo et al. (2022).

A pesar del éxito de la metodología de gamificación en otras ramas de la ingeniería, en el área de Ingeniería de Sistemas y Automática hay escasos trabajos relacionados con ella. Una de las pocas experiencias reportadas en la literatura se muestra en el trabajo de Axelson-Fisk et al. (2022), donde se presentó un juego basado en un *escape room* para proporcionar una comprensión básica de la disciplina de control automático a usuarios generales. Otro ejemplo fue presentado en el trabajo de Gallarta-Sáenz et al. (2023), donde se empleó el paradigma del Aprendizaje Basado en la Competencia (ABC), lo que sirvió para desarrollar una competición nacional dentro del campo de la Ingeniería de Control en el marco de las XLIII Jornadas de Automática. Sin embargo, a pesar de estos dos enfoques, la metodología de gamificación no se ha utilizado intrínsecamente en la enseñanza universitaria como apoyo para los conceptos teóricos y las metodologías de enseñanza clásicas en los planes de estudio de Ingeniería de Control, lo que se identifica como una de las principales brechas en el contexto educativo actual del área.

En respuesta a esta brecha, el Grupo de Investigación de Automática, Robótica y Mecatrónica (ARM, <https://arm.ual.es/arm-group/>) de la Universidad de Almería (UAL) se encuentra desarrollando un proyecto de innovación docente centrado en la gamificación. El objetivo principal de este proyecto es analizar la viabilidad académica y la aceptación del uso de experiencias basadas en la gamificación en asignaturas relacionadas con el control automático. En el marco del proyecto, se están desarrollando tres tipos de juegos: i) juegos basados en cartas, ii) juegos virtuales e interactivos, y iii) juegos basados en *escape rooms*. Todos ellos están centrados en dos asignaturas clave dentro del plan de estudios de control automático en la UAL, como son: i) Automatización Industrial, una asignatura del segundo año del Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática, y ii) Modelado y Con-

trol de Sistemas Continuos, una asignatura en el tercer año del mismo grado. No obstante, cabe destacar que, aunque estas dos asignaturas han sido elegidas como base para el desarrollo de los juegos, todos ellos están siendo diseñados de manera multifuncional y reprogramable, permitiendo una fácil adaptación al contenido de otros cursos.

En este trabajo, se presenta el diseño y desarrollo del juego basado en *escape room* para la asignatura de Automatización Industrial, así como unas pruebas preliminares llevadas a cabo en el curso académico 2023-2024. Nótese que en el artículo se describe en detalle la construcción del *escape room*. Sin embargo, solo se dan pinceladas de la mecánica del juego y de las pruebas incluidas en este, no hacemos *spoiler*. Para descubrir el juego al completo, le invitamos a que lo resuelva.

## 2. Diseño del *escape room*

### 2.1. Mecánica del juego

Para el desarrollo del *escape room*, se ha diseñado una caja interactiva inspirándonos en las ideas presentadas en Axelson-Fisk et al. (2022). La idea es que los alumnos trabajen en grupos, fomentando así el trabajo en equipo. Además, todo el juego se ha centrado en torno a una historia relacionada con una central nuclear, donde el objetivo de los estudiantes es prevenir un inminente desastre. Para ello, y basándose en el desarrollo clásico de juegos de *escape room* (Armie and Membri-ve, 2022), los estudiantes deben resolver una serie de pruebas, llamadas “candados”.

Puesto que el bloque de conocimiento de la asignatura donde se aplicará el juego cuenta con cuatro componentes teóricas principales, el *escape room* está dividido en cuatro niveles o candados, de modo que se debe de ir superando cada uno de ellos, de uno en uno, para poder terminar el juego. Los bloques de conocimiento abarcados son: i) sensores y actuadores en sistemas industriales (candado 1), ii) análisis de la respuesta dinámica de un sistema continuo (candado 2), iii) modelado de un sistema dinámico en tiempo continuo (candado 3), y iv) diseño de bucles de control basado en PID (candado 4). Para cada candado, los estudiantes encontrarán diferentes cartas con las que trabajar, las cuales serán una de las principales herramientas de interacción entre el juego y el alumno. Por otra parte, la caja del *escape room* cuenta con una pantalla, en la cual, para cada candado, se muestra información para contextualizar y situar a los estudiantes. Por ejemplo, en el candado 1, los estudiantes encuentran la siguiente descripción:

*¡La planta de energía nuclear está en grave peligro! Debéis ayudar a controlar la situación antes de que todo colapse y pueda destruir toda la ciudad de Almería. Sin tiempo que perder, vuestro grupo debe comprender la gravedad de su misión:*

*Vuestro primer obstáculo se presenta en forma de documentos dispersos (cartas), cada uno de los cuales contiene segmentos de los diagramas de instrumentación y tuberías de la planta (P&ID). Estos documentos (cartas) contienen la clave para comprender el funcionamiento de la planta y encontrar los códigos exactos para poder entrar. Vuestra misión es clara: juntar meticulosamente los diagramas (cartas), decodificar los diagramas, acceder a la planta y evitar el desastre. Cada ubicación correcta os acerca a identificar las partes principales de los instrumentos y equipos de planta nuclear.*

**¡BUENA SUERTE, INGENIEROS/AS DE CONTROL!**

Asociado con este primer desafío, los estudiantes encontrarán las cartas que forman la imagen mostrada en la Fig. 1, las cuales tendrán que organizar como primer paso. Luego, deben encontrar la combinación numérica que desbloquea el candado e introducir la usando el teclado. Para ello, se deben basar en la información que aparece en la pantalla, la cual le animamos a descubrir en el juego real.

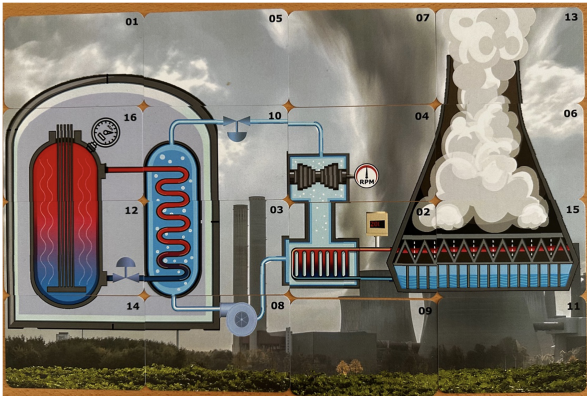


Figura 1: Cartas del candado 1

Se debe remarcar que la mecánica del juego es la misma para todos los candados, con la única diferencia que las cartas de los candados 3 y 4 están inicialmente escondidas en trampillas, como se verá en las siguientes subsecciones, y se descubrirán a medida que se desbloquee el candado previo, añadiendo un elemento sorpresa para mantener al grupo de estudiantes expectantes y comprometidos. También se debe mencionar que en los candados 2, 3 y 4, se proponen desafíos relacionados con la dinámica o control de un sistema. Por ejemplo, en el candado 4, el estudiante puede encontrar las tarjetas mostradas en la Fig. 2 las cuales están relacionadas con la salida de un sistema en bucle cerrado. Uno de los desafíos propuestos es:

*El tiempo sigue pasando y la planta no se estabiliza; tal vez el tipo de problema de control identificado no es el adecuado. La clave está es buscar documentos que combinen problemas de regulación y de seguimiento de consigna.*

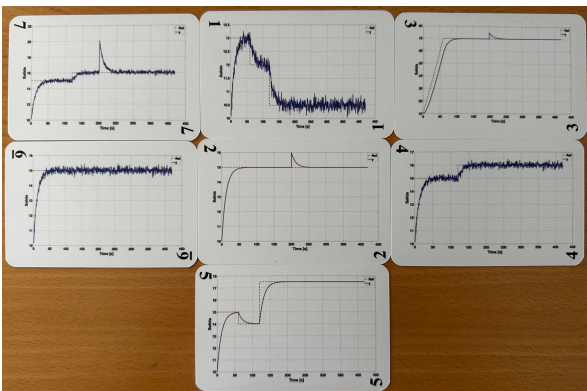


Figura 2: Cartas del candado 4

Nuevamente, le animamos a descubrir todas las pruebas

en el juego real. A continuación, se detalla el diseño de las componentes electrónicas y estructurales del juego.

**2.1.1. Diseño y características de la parte electrónica**

El desarrollo de la parte electrónica del *escape room* se basa en un microcontrolador Arduino Mega 2560. Este dispositivo se elige debido a la disponibilidad de 256 Kb de memoria flash, frente a 32 Kb de la tarjeta UNO, la cual permite almacenar el código fuente sin problemas (42 Kb). Además, el uso de esta tarjeta brinda una mayor disponibilidad de pines entrada/salida, lo cual permite la implementación de nuevas funcionalidades futuras sin limitaciones en el hardware.

La interfaz de usuario la componen un teclado matricial y una pantalla. Para la inserción de datos e interacción del usuario se ha hecho uso de un teclado matricial de 4 filas y 4 columnas, lo cual requiere un total de 8 entradas digitales, y su gestión ha sido realizada mediante la librería `kedpad.h`. Por otro lado, para la visualización de información se ha utilizado una pantalla TFT (*Thin-film Transistor*) de 2.8 pulgadas, conectada en los puertos SPI (*Serial Peripheral Interface*) con el fin de usar dicho protocolo de comunicación (Wootton, 2016), utilizando un total de 6 pines digitales, y la gestión de la misma se hace mediante las librerías `Adafruit_GFX.h` y `Adafruit_ILI9341.h`.

El almacenamiento de la información generada durante el juego se realiza en una tarjeta SD que se encuentra ubicada en el módulo de la pantalla TFT. La comunicación de la misma con el microcontrolador se realiza mediante SPI, al igual que la pantalla, y, por tanto, el uso de los pines digitales adicionales sería de uno, el correspondiente al *Chip Select* de la ranura SD. La interacción con la tarjeta SD se realiza haciendo uso de las librerías `SDFat.h` y `Adafruit_ImageReader.h`.

Por último, los elementos restantes conectados al microcontrolador son: i) 3 servos SG90 para la apertura de los candados del juego, los cuales requieren un pin digital con salida PWM (*Pulse-Width Modulation*) para su control mediante la librería `Servo.h`, ii) un zumbador piezoeléctrico para proporcionar al usuario información acústica, el cual requiere un pin digital, y iii) el uso un puerto analógico de la placa para medir el nivel de tensión de la batería que alimenta a todo el sistema.

La alimentación del conjunto electrónico se hace mediante el uso de una batería de Li-ion 18650 con una tensión nominal de 3.7 V. La batería se ha conectado a un controlador de carga, basado en el circuito integrado TC4056 que permite gestionar el proceso de carga de la misma, así como brindar protección contra cortocircuito y limitación de la descarga (*cut-off*) para evitar una descarga profunda que dañe la batería. La alimentación de Arduino se realiza a una tensión de 9 V, y este se encarga de alimentar al resto de módulos conectados a él con tensión nominal de 5 V mediante su regulador integrado. Para obtener esta tensión de 9 V, se ha incluido un módulo *boost-converter* DC-DC encargado de realizar la elevación de la tensión de la batería a la nominal de trabajo descrita.

Por otro lado, debido a que el controlador de la batería no permite el uso de esta durante su carga, se ha incluido un relé que se encarga de conmutar la alimentación de entrada del convertor DC-DC cuando se conecta el cargador al dispositivo. De este modo, la electrónica del sistema se alimenta de la batería y cuando se conecta el cargador, mientras se está jugando, el relé conmuta la alimentación del convertor DC-DC

al cargador, permitiendo continuar con el juego a la vez que se carga la batería de manera aislada.

En la Fig. 3 se muestra de manera esquemática la conexión de los distintos componentes mencionados anteriormente del microcontrolador, así como el número de pines utilizados por cada uno de ellos.

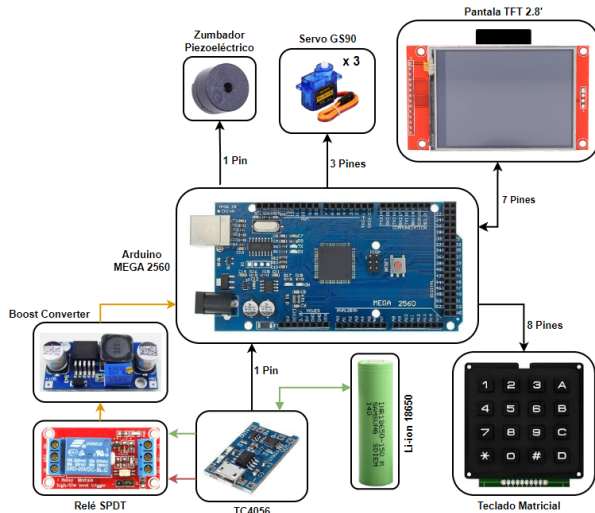


Figura 3: Esquema electrónico simplificado

### 2.1.2. Diseño y características de la parte estructural

El diseño de la forma y estructura de la caja interactiva del *escape room* juega un papel fundamental para entender y resolver el problema (juego) planteado. Inicialmente, se realiza una búsqueda de información sobre el método de construcción del prototipo, teniendo en cuenta los materiales y herramientas disponibles en el propio departamento de informática de la UAL. Por un lado, se decide utilizar Solidworks (SolidWorks, 2005) para realizar un diseño 3D previo y analizar el funcionamiento de la idea preliminar antes de ser llevado a cabo. Este software cuenta con un motor de simulación de movimiento que brinda la oportunidad de realizar los ajustes necesarios en tiempo real. Por otro lado, debido a que es un diseño único y que contará con formas especiales y complejas, el prototipo real se imprime en 3D usando las impresoras Prusa mk3s+ (Prusa Research, s.f.) del propio departamento, las cuales permiten elaborar objetos con un volumen máximo de 20x20x20 cm y una precisión de 1.75 mm.

Teniendo en cuenta las restricciones físicas de la propia impresora, el siguiente paso es elaborar un prototipo 3D que logre cumplir las expectativas propuestas en el proyecto. Bajo la idea de implementar varios candados a resolver por los alumnos, la estructura debe ser sencilla y que logre abarcar todos los componentes electrónicos descritos en la sección anterior. Además, se debe tener en cuenta la velocidad máxima de impresión y el volumen de impresión del modelo real por las impresoras 3D comentado anteriormente, por lo que el modelo debe ser segmentado e impreso en diferentes piezas, uniéndolas en forma de puzzle.

Cabe destacar que el prototipo ha sido diseñado bajo los requisitos de la normativa ISO 8124-1:2022. Esta norma describe los requisitos químicos del material y componentes utilizados para el desarrollo de juguetes y su estructura de diseño.

En este caso, la normativa se ha utilizado para determinar la forma del *escape room*, evitando que contenga zonas puntiagudas, cortantes o móviles. Además, según la norma, el material de diseño debe contener una cantidad máxima de sustancias denominadas “dañinas” para las personas y una resistencia mecánica mínima, de modo que no pueda romperse en el movimiento natural del juego. El diseño estará compuesto por 4 paredes unidas a través de una unión entrelazada triangular, una base donde irán apoyados los servomotores que accionan las puertas de los diferentes candados, una capa intermedia donde irán colocados los componentes electrónicos y una parte superior con los orificios necesarios para los elementos de interacción con el usuario. Es importante recalcar que, tanto las paredes laterales como tapadera superior, llevan un relieve con los logos más característicos del grupo de investigación ARM, junto al logo de la UAL en la parte trasera de la caja.

La Fig. 4 muestra el diseño estructural de la caja de *escape room*. Se puede observar como cada una de las esquinas de la caja está redondeada con un radio de 5 cm para las paredes y 0.5 cm para la base y tapadera, garantizando la seguridad al realizar el uso y movimiento de la propia estructura según la norma mencionada anteriormente. En la figura también se incluyen los modelos reales en 3D de los componentes electrónicos descritos en el apartado anterior, con el objetivo de implementarlos en el propio ensamblaje y ajustar el modelo a estos elementos. Asimismo, se realizan diseños 3D de los logos del grupo de investigación y de la UAL, los cuales se colocan sobre el relieve para dotar al modelo definitivo de diferentes colores.

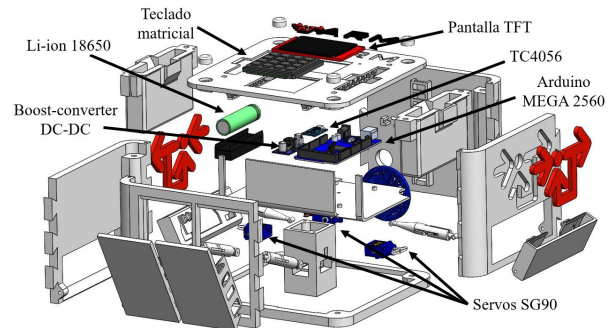


Figura 4: Diseño estructural de la caja en 3D

Nótese que en la Fig. 4 también se pueden observar las compuertas dinámicas donde irán alojadas las cartas del candado 3 y 4. En concreto, en la parte frontal, de cara al usuario, irán colocadas dos compuertas móviles que realizan un movimiento circular en base a un eje de giro, las cuales se abrirán en el momento que se supere el candado previo, como se ha mencionado anteriormente. Esto, en el prototipo, se traduce en la activación del servo correspondiente, girando un ángulo concreto comandado por el Arduino. Por otro lado, en los laterales, una vez terminadas y acertadas todas las preguntas, se abren dos compuertas donde se aloja un premio final, el cual, nuevamente, le animamos a descubrir. Estas compuertas también son diseñadas bajo la ISO 8124-1:2022 y se unen a los servomotores a través de un mecanismo de dos barras - muelle para evitar mover los actuadores accidentalmente (Buxton León, 2022).



Figura 5: Prototipo real

### 3. Visión general del funcionamiento y experiencias preliminares

#### 3.1. Escape room

##### 3.1.1. Modelo real

Tras la comprobación y ajuste del modelo 3D final, el siguiente paso fue la construcción del prototipo real del *escape room* en las impresoras 3D mk3s+. Para su construcción, teniendo en cuenta la propia seguridad por la normativa, se utilizó ácido poliláctico o *PolyLactic Acid* (PLA), ya que se trata de un termoplástico biodegradable derivado del maíz (Serna et al., 2003). En este caso, se utilizó PLA 850 blanco granito para la estructura, PLA 850 negro para el logo del grupo de investigación, PLA 890 para los símbolos de realimentación de los laterales y PLA azul para el logo de la UAL. La duración media de impresión fue de 7 h/pieza, con un tiempo total de 38 h. La estructura general se unió con tornillos de Métrica 3 (M3) y 5 (M5), y cuatro varillas roscadas M5 que atraviesan las 4 esquinas, quedando de forma compacta. Las compuertas giran alrededor de una varilla lisa de 0.3 cm. También cabe destacar que algunas de las piezas impresas se unieron mediante un adhesivo de alta dureza, resultando en una caja totalmente compacta.

El resultado se muestra en la Fig. 5, donde se puede ver un modelo con las puertas cerradas (Fig. 5a) y con las compuertas abiertas (Fig. 5b). Así, el estudiante se encontraría con una caja cerrada equipada con una pantalla y un teclado para la interacción. Además, en los diferentes compartimentos y trampillas, se encontrará un mazo de cartas diferente relacionado con un candado concreto del juego.

##### 3.1.2. Arquitectura software

La programación completa del dispositivo se realizó en el *Integrated Development Environment* (IDE) de Arduino. En el diagrama de flujo de la Fig. 6 se muestra el funcionamiento simplificado del software. El programa cuenta además con diversas funciones que se encargan de gestionar la visualización de la introducción de la respuesta en función del número de dígitos asociados a la misma, permitiendo modificar el tamaño

del campo de texto o marcar mediante un círculo la respuesta seleccionada en caso de tratarse de una pregunta tipo test. Además, permite gestionar el almacenamiento y carga de los datos de la tarjeta SD, y controlar el exportado de los datos mediante puerto serie.

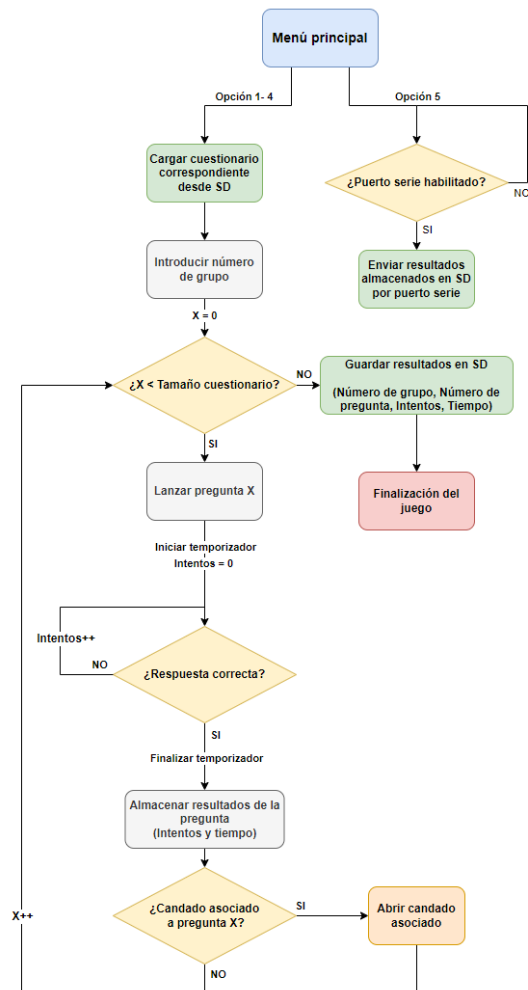


Figura 6: Diagrama de flujo del software

Los cuestionarios se almacenan en la tarjeta SD en un archivo .csv que contiene la información de cada pregunta organizada de la siguiente manera: ruta donde se encuentra la imagen con extensión .bmp asignada a la pregunta en la tarjeta SD, respuesta correcta de la misma, número de dígitos de la respuesta y candado asociado a la misma. Para la gestión de la información correspondiente a cada una de las preguntas del cuestionario en el programa, se realizó un *array* de estructuras, la cual está compuesta por los cuatro elementos que componen cada una de las cuestiones mencionadas anteriormente, facilitando la gestión de la información manejada durante la ejecución del juego.

Los resultados almacenados durante el transcurso del juego se guardan en la SD en una carpeta llamada *Reports* en un archivo nombrado ASIGNATURA\_GRUPO.csv con la siguiente información: número de pregunta, tiempo transcurrido y número de intentos. De esta manera, cuando se selecciona la opción 5 del menú correspondiente a exportar los datos, el dispositivo accede a la carpeta *reports* y extrae de manera iterativa toda la información presente en cada uno de los archivos. Finalmente, mediante un script realizado en *Python* se recogen todos los datos enviados por el dispositivo por el puerto serie y se tabulan, permitiendo así realizar un análisis objetivo del desempeño de cada uno de los grupos.

### 3.2. Primeras pruebas preliminares con alumnos

Se realizó una prueba preliminar con un grupo de cuatro estudiantes. Se debe destacar que el juego al completo contiene doce preguntas de la asignatura de Automatización Industrial, cuyos conocimientos engloban los principales objetivos de los cuatro bloques principales de la asignatura. Una vez realizada la prueba preliminar, se extraen y analizan los resultados graficados en la Fig. 7. Los resultados obtenidos muestran un dominio claro de los bloques 1 y 2 por parte del grupo, a la vez que manifiestan una mayor dificultad en la hora de abordar ejercicios de modelado y control, correspondientes a los bloques 3 y 4.

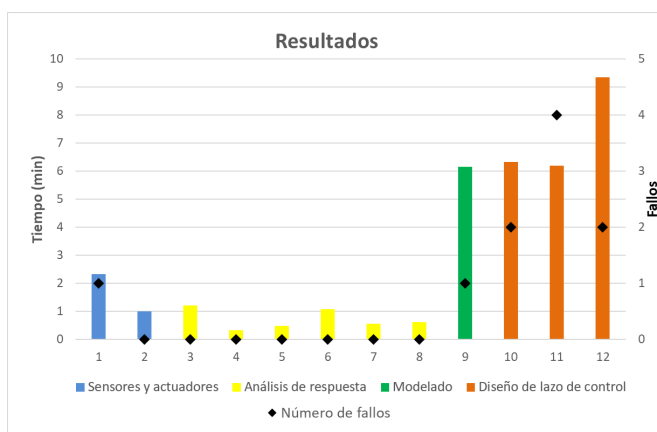


Figura 7: Resultados obtenidos en prueba preliminar

## 4. Conclusiones y trabajos futuros

Este trabajo presenta el desarrollo y diseño de una experiencia de gamificación basada en un *escape room* para la asignatura de Automatización Industrial del Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática de la Universidad de Almería. En concreto, se describe la mecánica del juego y se

detalla su diseño estructural y electrónico. El juego consiste en una caja interactiva relacionada con una temática de central nuclear, en la cual los alumnos deberán superar diversas pruebas relacionadas con contenidos teóricos de la asignatura para prevenir un inminente desastre. El juego se encuentra físicamente disponible durante la celebración de las jornadas para aquellos que deseen resolverlo.

Hasta el momento, la mayoría de los esfuerzos en el marco del proyecto docente se han centrado en el desarrollo y diseño del juego, por este motivo solo se muestran experiencias preliminares. Los trabajos futuros se centrarán en la evaluación exhaustiva del uso del juego por parte de los estudiantes, así como en la evaluación de la metodología de gamificación en el ámbito de la Ingeniería de Control.

## Agradecimientos

Este trabajo es resultado del Proyecto “Desarrollo de experiencias basadas en gamificación para la enseñanza de conceptos clave en el campo de la Ingeniería de Control” (REF: 23\_24\_1\_05) financiado por la Universidad de Almería. Los autores Jose González Hernández y Fernando Cañadas Aránega cuentan con una beca FPI y el autor Pablo Otálora con una beca FPU, todas del Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades (PRE2021-099733, PRE2022-102415 y FPU2019/03357 respectivamente).

## Referencias

- Armie, M., Membrive, V., 2022. Escaping boredom in the classroom: Breakouts, breakout boxes and escape rooms. Cambridge Scholars Publishing.
- Axelson-Fisk, M., Gentsch, M., Jackson, R. R., Knorn, S., Knorn, S., Paasche, L., Topalovic, D., Voit, S., 2022. Ctrl+ esc: An escape/exit room to teach control and its relevance to an audience outside engineering. IFAC-PapersOnLine 55 (17), 255–260.
- Buxton León, B., 2022. Estudio y diseño de un mecanismo alternativo de comprimir muelles. B.S. thesis, Universitat Politècnica de Catalunya.
- Campillo-Ferrer, J.-M., Miralles-Martínez, P., Sánchez-Ibáñez, R., 2020. Gamification in higher education: Impact on student motivation and the acquisition of social and civic key competencies. Sustainability 12 (12), 4822.
- Gallarta-Sáenz, D., Rico-Azagra, J., Gil-Martínez, M., 2023. Learning enhancement of control engineering: A competition-based case. IEEE Access.
- Jo, J., Jun, H., Lim, H., 2018. A comparative study on gamification of the flipped classroom in engineering education to enhance the effects of learning. Computer Applications in Engineering Education 26 (5), 1626–1640.
- Lee, D., 2011. What is gamification and how gamification will change our life? Journal of Digital Design 11 (4), 449–457.
- Leon, A., Peña, M., 2022. Gamification tools in the learning of shipbuilding in the undergraduate marine engineering education. Computer Applications in Engineering Education 30 (2), 458–471.
- Prusa Research, s.f. Prusa mk3s 3d printer. <https://www.prusa3d.com/es/categoria/original-prusa-i3-mk3s/>, Último acceso: 22 abril 2024.
- Sangkyun, K., 2018. Gamification in Learning and Education. Springer.
- Serna, L., Albán, F., et al., 2003. Ácido poliláctico (pla): Propiedades y aplicaciones. Ingeniería y competitividad 5 (1), 16–26.
- SolidWorks, D. S., 2005. Solidworks®. Version Solidworks 1.
- Toimah, T. F., Maulana, Y. I., Fajar, I., 2021. Gamification model framework and its use in e-learning in higher education. IAIC Transactions on Sustainable Digital Innovation (ITSDI) 3 (1), 28–35.
- Urgo, M., Terkaj, W., Mondellini, M., Colombo, G., 2022. Design of serious games in engineering education: An application to the configuration and analysis of manufacturing systems. CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology 36, 172–184.
- Wootton, C., 2016. Serial peripheral interface (spi). Samsung ARTIK Reference: The Definitive Developers Guide, 335–349.