



GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA DE COMUNICACIONES

Curso 2023-24

Ficha de Trabajo Fin de Grado

DEPARTAMENTO:	Departamento de Arquitectura de Computadores y Automática		
TÍTULO:	Modelado y detección de anomalías con aprendizaje automático aplicado a turbinas eólicas.		
TITLE:	Modelling and anomaly detection by machine learning for wind turbines		
SUPERVISOR/ES:	María José Gómez Silva y Matilde Santos Peñas		
E-MAIL SUPERVISOR/ES:	mgomez77@ucm.es y msantos@ucm.es		
NÚMERO DE PLAZAS:	1		
TIPO DE TFG:	Experimental <input type="checkbox"/>	Bibliográfico <input type="checkbox"/>	Simulación <input checked="" type="checkbox"/>
ASIGNACIÓN DE TFG:	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>		Selección por expediente <input type="checkbox"/>

OBJETIVOS:

La generación de energía eólica crece cada año, y cada vez son más los operadores energéticos que ven su gran potencial. La evaluación continua del rendimiento de los dispositivos energéticos es clave para maximizar la generación de energía.

El objetivo de este TFG es la aplicación de técnicas de Machine Learning al modelado de magnitudes físicas relacionadas con la operación de turbinas eólicas y así poder monitorizar su operación y detectar comportamientos anómalos.

METODOLOGÍA:

El alumno deberá realizar las siguientes etapas para desarrollar su proyecto:

1. Estudio de técnicas de Machine Learning
2. Estudio del estado de arte en cuanto a modelado de turbinas eólicas con ML.
3. Análisis de los datos disponibles en bases de datos con variables del comportamiento físico de la turbina. Pre-procesamiento.
4. Programación de algoritmos de aprendizaje automático y su aplicación para la obtención de modelos.
5. Experimentación mediante simulación. Evaluación de los modelos obtenidos.
6. Análisis de la solución.

ACTIVIDADES FORMATIVAS:



Tutorías con las profesoras expertas en la materia.

Estudio guiado de algunas técnicas de Machine Learning para modelado. Se aconsejará hacer algún curso online sobre estas técnicas

Se aconsejará también algún curso tutorial sobre el comportamiento de las turbinas eólicas.

BIBLIOGRAFÍA:

<https://www.coursera.org/specializations/machine-learning-introduction>

Sacie, M., Santos, M., López, R., & Pandit, R. (2022). Use of state-of-art machine learning technologies for forecasting offshore wind speed, wave and misalignment to improve wind turbine performance. *Journal of Marine Science and Engineering*, 10(7), 938.

Stetco, A., Dinmohammadi, F., Zhao, X., Robu, V., Flynn, D., Barnes, M., ... & Nenadic, G. (2019). Machine learning methods for wind turbine condition monitoring: A review. *Renewable energy*, 133, 620-635.

Pandit, R., Astolfi, D., Hong, J., Infield, D., & Santos, M. (2023). SCADA data for wind turbine data-driven condition/performance monitoring: A review on state-of-art, challenges and future trends. *Wind Engineering*, 47(2), 422-441.

Hsu, J. Y., Wang, Y. F., Lin, K. C., Chen, M. Y., & Hsu, J. H. Y. (2020). Wind turbine fault diagnosis and predictive maintenance through statistical process control and machine learning. *Ieee Access*, 8, 23427-23439.



GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA DE COMUNICACIONES

Curso 2023-24

Ficha de Trabajo Fin de Grado

DEPARTAMENTO:	Arquitectura de Computadores y Automática		
TÍTULO:	Implementación reconfigurable de algoritmos criptográficos		
TITLE:	Reconfigurable implementation of cryptographic algorithms		
SUPERVISOR/ES:	José Luis Imaña Pascual		
E-MAIL SUPERVISOR/ES:	jluimana@ucm.es		
NÚMERO DE PLAZAS:	1		
TIPO DE TFG:	Experimental <input type="checkbox"/>	Bibliográfico <input type="checkbox"/>	Simulación <input checked="" type="checkbox"/>
ASIGNACIÓN DE TFG:	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>		Selección por expediente <input type="checkbox"/>

OBJETIVOS:

Al finalizar el trabajo, el alumno será capaz de:

- Comprender las bases criptográficas y el funcionamiento de distintos algoritmos de cifrado.
- Comprender las operaciones involucradas en dichos algoritmos.
- Realizar la descripción en un lenguaje de descripción de hardware utilizando herramientas de diseño electrónico automatizado.
- Realizar la simulación e implementación reconfigurable de dicha descripción.
- Analizar e interpretar los resultados obtenidos.

METODOLOGÍA:

- El alumno adquirirá los conocimientos básicos necesarios sobre criptografía y realizará un estudio previo de distintos algoritmos de cifrado.
- El alumno realizará una descripción sintetizable en el lenguaje de descripción de hardware VHDL de uno de los algoritmos criptográficos.
- El alumno utilizará una herramienta de diseño electrónico automatizado para la implementación y simulación de dicha descripción sobre dispositivos reconfigurables.
- El alumno realizará el análisis de los resultados experimentales obtenidos y extraerá conclusiones de los mismos.

**ACTIVIDADES FORMATIVAS:**

Tutorías de un profesor experto en el tema.

BIBLIOGRAFÍA:

- 1.- A.J. Menezes, P.C. van Oorschot, S.A. Vanstone. "Handbook of Applied Cryptography", CRC Press, 1997.
- 2.- J. Pastor Franco, M.A. Sarasa López, J.L. Salazar Riaño. "Criptografía Digital. Fundamentos y Aplicaciones", Pressas Universitarias de Zaragoza, 2001.
- 3.- S. Brown, Z. Vranesic. "Fundamentos de lógica digital con diseño VHDL", McGraw-Hill, 2000.
- 4.- P.J. Ashenden. "The designer's guide to VHDL", Morgan Kaufmann, 2008.



GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA DE COMUNICACIONES

Curso 2023-24

Ficha de Trabajo Fin de Grado

DEPARTAMENTO:	Arquitectura de Computadores y Automática		
TÍTULO:	Revisión bibliográfica del control inteligente aplicado a turbinas eólicas marinas		
TITLE:	Literature review of intelligent control applied to offshore wind turbines		
SUPERVISOR/ES:	Matilde Santos		
E-MAIL SUPERVISOR/ES:	msantos@ucm.es		
NÚMERO DE PLAZAS:	1		
TIPO DE TFG:	Experimental <input type="checkbox"/>	Bibliográfico <input checked="" type="checkbox"/>	Simulación <input type="checkbox"/>
ASIGNACIÓN DE TFG:	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>		Selección por expediente <input type="checkbox"/>

OBJETIVOS:

El objetivo de este trabajo es realizar una revisión bibliográfica de la aplicación de técnicas de la inteligencia artificial al control de una turbina eólica marina. Se pueden clasificar según se apliquen a turbinas marinas ancladas en el fondo marino o a turbinas flotantes.

Se puede desarrollar, por un lado, según la zona de operación de la turbina, es decir, los controles inteligentes aplicados al ángulo de las palas y los aplicados al torque del generador.

También se puede incluir el control estructural para paliar las vibraciones y oscilaciones de la turbina flotante.

Además se pueden estudiar según las técnicas de la inteligencia artificial que se han aplicado (redes neuronales, lógica fuzzy, aprendizaje por refuerzo, optimización heurística, etc).

Con esto se pretende que el alumno termine con un conocimiento completo y global de los que son las turbinas eólicas marinas, el control de su potencia, y técnicas que se aplican para obtener la máxima energía de ellas.



METODOLOGÍA:

Se partirá de un estudio del control de una turbina eólica marina en sus distintas regiones de funcionamiento y de los distintos tipos de turbinas flotantes.

Se estudiarán las técnicas de la inteligencia artificial más usadas en el ámbito del control de sistemas.

Se analizarán otros trabajos de revisión del control de turbinas marinas que no tratan las técnicas inteligentes, para ver la estructura, desarrollo, etc.

Se usará la herramienta Google Académico para buscar artículos actuales (10 últimos años) que traten la temática propuesta. Se hará una selección tras leer los abstracts, y se describirá cada uno de ellos, resumiendo sus aportaciones.

Se realizarán tablas comparativas de esos trabajos.

ACTIVIDADES FORMATIVAS:

Se aconsejará algún breve curso de formación en búsqueda bibliográfica

Se animará a hacer algún curso de control básico para entender los conceptos fundamentales y poder desarrollar la revisión.

BIBLIOGRAFÍA:

- Shah, K. A., Meng, F., Li, Y., Nagamune, R., Zhou, Y., Ren, Z., & Jiang, Z. (2021). A synthesis of feasible control methods for floating offshore wind turbine system dynamics. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 151, 111525.
- Salic, T., Charpentier, J. F., Benbouzid, M., & Le Boulluec, M. (2019). Control strategies for floating offshore wind turbine: challenges and trends. *Electronics*, 8(10), 1185.
- Ha, K., Truong, H. V. A., Dang, T. D., & Ahn, K. K. (2021). Recent control technologies for floating offshore wind energy system: A review. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology*, 8, 281-301.
- Njiri, J. G., & Söffker, D. (2016). State-of-the-art in wind turbine control: Trends and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60, 377-393.



GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA DE COMUNICACIONES

Curso 2023-24

Ficha de Trabajo Fin de Grado

DEPARTAMENTO:	Departamento de Arquitectura de Computadores y Automática		
TÍTULO:	Implementación de Algoritmos de Procesamiento de Imágenes para la localización de objetos en superficies inestables		
TITLE:	Implementation of Image Processing Algorithms for Object Localization on Unstable Surfaces.		
SUPERVISOR/ES:	María José Gómez Silva y Raúl Fernández Fernández		
E-MAIL SUPERVISOR/ES:	mgomez77@ucm.es / raufer06@ucm.es		
NÚMERO DE PLAZAS:	1		
TIPO DE TFG:	Experimental <input checked="" type="checkbox"/>	Bibliográfico <input type="checkbox"/>	Simulación <input type="checkbox"/>
ASIGNACIÓN DE TFG:	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>		Selección por expediente <input type="checkbox"/>

OBJETIVOS:

El objetivo principal del proyecto es la implementación de algoritmos de procesamiento de imagen para la localización de objetos en superficies inestables usando algoritmos disponibles en dispositivos actuales. Este objetivo se puede dividir en los siguientes subobjetivos:

- Estudio y aprendizaje de uso de algoritmos en dispositivos actuales.
- Estudio de las dificultades y retos en el contexto de la segmentación de objetos en superficies inestables.
- Implementación de los algoritmos en el contexto planteado.
- Realización de experimentos para analizar el rendimiento de la solución planteada.

METODOLOGÍA:

Se usará la siguiente metodología:

1. Revisión bibliográfica: Se debe realizar una revisión exhaustiva de la literatura científica y técnica relacionada con el procesamiento de imágenes y la localización de objetos en superficies inestables.
2. Selección de algoritmos: Se deben seleccionar los algoritmos de procesamiento de imagen que se van a implementar en el proyecto, teniendo en cuenta su eficiencia y disponibilidad en dispositivos actuales.



3. Diseño de la solución: Con base en la revisión bibliográfica y la selección de los algoritmos, se debe diseñar la solución para la localización de objetos en superficies inestables.
4. Implementación: Se debe llevar a cabo la implementación de la solución diseñada.
5. Realización de experimentos: Se deben diseñar y ejecutar experimentos que permitan analizar el rendimiento de la solución propuesta.
6. Análisis de resultados: Una vez realizados los experimentos, se deben analizar los resultados obtenidos y compararlos con otros trabajos relacionados.
7. Redacción del trabajo fin de grado: Finalmente, se debe redactar el trabajo fin de grado, en el cual se describan los objetivos, metodología, resultados y conclusiones del proyecto.

ACTIVIDADES FORMATIVAS:

Tutorías con los supervisores.

Estudio guiado de algoritmos para la localización de objetos en imagen. Se aconsejará hacer algún curso online sobre estas técnicas

BIBLIOGRAFÍA:

Algunos trabajos relevantes sobre el tema son:

- J.-F. Aujol, G. Aubert, L. Blanc-Féraud, and A. Chambolle. Image decomposition into a bounded variation component and an oscillating component. *Journal of Mathematical Imaging and Vision*, 22(1):71–88, 2005.
- C. Bregler and J. Malik. Tracking people with twists and exponential maps. In *Proceedings of the Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, volume 2, pages 8–15, 1998.
- R. Cipolla and A. Blake. Surface fitting for motion estimation in image sequences. *Computer Vision and Image Understanding*, 63(3):475–496, 1996.
- J. Canny. A computational approach to edge detection. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, PAMI-8(6):679–698, 1986.



- P. F. Felzenszwalb and D. P. Huttenlocher. Efficient graph-based image segmentation. *International Journal of Computer Vision*, 59(2):167–181, 2004.
- D. G. Lowe. Distinctive image features from scale-invariant keypoints. *International Journal of Computer Vision*, 60(2):91–110, 2004.



GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA DE COMUNICACIONES

Curso 2023-24

Ficha de Trabajo Fin de Grado

DEPARTAMENTO:	Departamento de Arquitectura de Computadores y Automática		
TÍTULO:	Desarrollo de Algoritmos de Procesamiento de Imágenes para la localización de objetos usando redes neuronales profundas		
TITLE:	Development of Image Processing Algorithms for Object Localization using Deep Learning		
SUPERVISOR/ES:	Raúl Fernández Fernández y María José Gómez Silva		
E-MAIL SUPERVISOR/ES:	raufer06@ucm.es / mgomez77@ucm.es		
NÚMERO DE PLAZAS:	1		
TIPO DE TFG:	Experimental <input checked="" type="checkbox"/>	Bibliográfico <input type="checkbox"/>	Simulación <input type="checkbox"/>
ASIGNACIÓN DE TFG:	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>		Selección por expediente <input type="checkbox"/>

OBJETIVOS:

El objetivo principal del proyecto es el de desarrollo de algoritmos de procesamiento de imagen usando redes neuronales profundas para la localización de objetos. Este objetivo se puede dividir en los siguientes subobjetivos:

- Estudio y aprendizaje de algoritmos de procesamiento de imagen usando redes neuronales profundas.
- Estudio de las dificultades y retos en el contexto de la localización de objetos con redes neuronales profundas.
- Implementación de los algoritmos en el contexto planteado.
- Realización de experimentos para analizar el rendimiento de la solución planteada.

METODOLOGÍA:

Se usará la siguiente metodología:

1. Revisión bibliográfica: Se debe realizar una revisión exhaustiva de la literatura científica y técnica relacionada con el procesamiento de imágenes y redes neuronales profundas.
2. Selección de algoritmos: Se deben seleccionar los algoritmos de procesamiento de imagen que se van a implementar en el proyecto, teniendo en cuenta su eficiencia y disponibilidad en dispositivos actuales.



3. Diseño de la solución: Con base en la revisión bibliográfica y la selección de los algoritmos, se debe escoger la red a usar y el algoritmo de procesamiento de imagen.
4. Implementación: Se debe llevar a cabo la implementación de la solución diseñada.
5. Realización de experimentos: Se deben diseñar y ejecutar experimentos que permitan analizar el rendimiento de la solución propuesta.
6. Análisis de resultados: Una vez realizados los experimentos, se deben analizar los resultados obtenidos y compararlos con otros trabajos relacionados.
7. Redacción del trabajo fin de grado: Finalmente, se debe redactar el trabajo fin de grado, en el cual se describan los objetivos, metodología, resultados y conclusiones del proyecto.

ACTIVIDADES FORMATIVAS:

Tutorías con los supervisores.

Estudio guiado de algoritmos para la localización de objetos en imagen. Se aconsejará hacer algún curso online sobre estas técnicas

BIBLIOGRAFÍA:

Algunos trabajos relevantes sobre el tema son:

- Y. LeCun, Y. Bengio, and G. Hinton. Deep learning. *Nature*, 521(7553):436–444, 2015.
- K. Simonyan and A. Zisserman. Very deep convolutional networks for large-scale image recognition. In *Proceedings of the International Conference on Learning Representations (ICLR)*, 2015.
- O. Russakovsky, J. Deng, H. Su, J. Krause, S. Satheesh, S. Ma, Z. Huang, A. Karpathy, A. Khosla, M. Bernstein, A. Berg, and L. Fei-Fei. ImageNet large scale visual recognition challenge. *International Journal of Computer Vision*, 115(3):211–252, 2015.
- K. He, X. Zhang, S. Ren, and J. Sun. Deep residual learning for image recognition. In *Proceedings of the Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, pages 770–778, 2016.
- J. Redmon, S. Divvala, R. Girshick, and A. Farhadi. You only look once: Unified, real-time object detection. In *Proceedings of the Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, pages 779–788, 2016



- <https://www.coursera.org/specializations/machine-learning-introduction>



GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA DE COMUNICACIONES

Curso 2023-24

Ficha de Trabajo Fin de Grado

DEPARTAMENTO:	Arquitectura de Computadores y Automática		
TÍTULO:	Generación de dataset experimental e identificación de una turbina eólica flotante		
TITLE:	Experimental data set generation and wind turbine identification		
SUPERVISOR/ES:	Matilde Santos y Segundo Esteban		
E-MAIL SUPERVISOR/ES:	msantos@ucm.es y sesteban@ucm.es		
NÚMERO DE PLAZAS:	2		
TIPO DE TFG:	Experimental <input checked="" type="checkbox"/>	Bibliográfico <input type="checkbox"/>	Simulación <input checked="" type="checkbox"/>
ASIGNACIÓN DE TFG:	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>		Selección por expediente <input type="checkbox"/>

OBJETIVOS:

El objetivo es realizar una serie de experimentos de forma sistemática y rigurosa con el prototipo a escala de turbina eólica (flotante) mostrado en la imagen, y almacenar todos los resultados en un dataset. Estos datos se analizarán y se usarán para identificar el comportamiento del sistema.

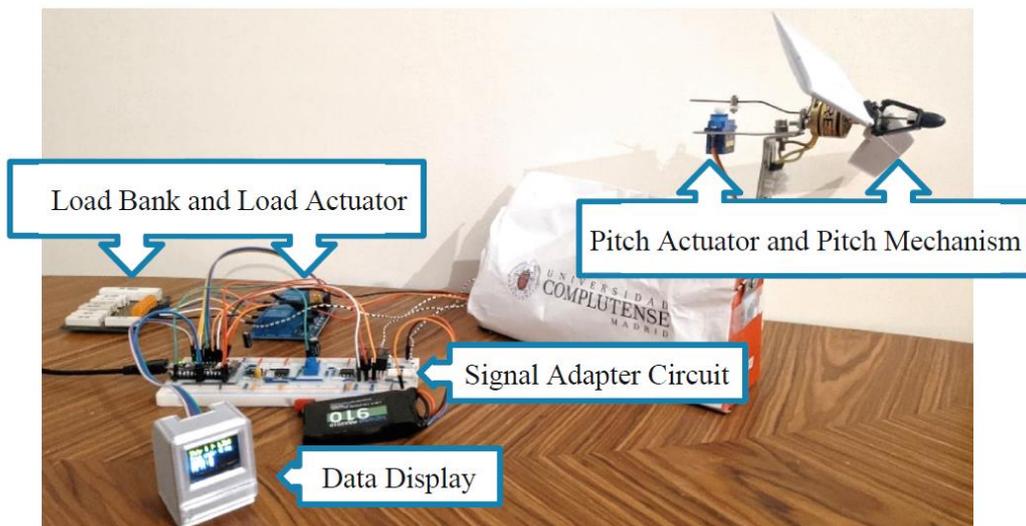


Fig. 1. Scale model of a wind turbine.

**METODOLOGÍA:**

Definición y descripción del entorno experimental: los sensores, los actuadores, la generación de los experimentos, los errores que se cometen con los instrumentos de medida, etc.

Análisis de los datos capturados por los sensores y pre-procesamiento de los mismos en caso de ser necesario.

Identificación de las curvas entrada-salida y definición de modelos del sistema

ACTIVIDADES FORMATIVAS:

- Aprendizaje del funcionamiento de turbinas eólicas
- Aprendizaje del método científico para la generación de experimentos
- Aprendizaje de técnicas de modelado e identificación de sistemas

BIBLIOGRAFÍA:

Andrade Aimara, G. A., Esteban San Román, S., & Santos, M. (2022, October). Control Tuning by Genetic Algorithm of a Low Scale Model Wind Turbine. In 17th International Conference on Soft Computing Models in Industrial and Environmental Applications (SOCO 2022) Salamanca, Spain, September 5–7, 2022, Proceedings (pp. 515-524). Cham: Springer Nature Switzerland.

Andrade, G.A., Esteban, S.: Modelo a escala de aerogenerador para control. In: Aitor J. Garrido et al. (eds.) Innovation and Lecture Notes In Control Engineering For Clean Energy Generation, pp. 53–58. Universidad del País Vasco, Bilbao (2021)



GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA DE COMUNICACIONES

Curso 2023-24

Ficha de Trabajo Fin de Grado

DEPARTAMENTO:	Arquitectura de Computadores y Automática		
TÍTULO:	Fabricación de Core RISC-V por medio de Herramientas Open-Source		
TITLE:	Fabricating a RISC-V core by means of Open-Source Tools		
SUPERVISOR/ES:	Alberto Antonio del Barrio y David Mallasén		
E-MAIL SUPERVISOR/ES:	abarriog@ucm.es , dmallase@ucm.es		
NÚMERO DE PLAZAS:	2		
TIPO DE TFG:	Experimental <input checked="" type="checkbox"/>	Bibliográfico <input type="checkbox"/>	Simulación <input type="checkbox"/>
ASIGNACIÓN DE TFG:	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>		Selección por expediente <input type="checkbox"/>

OBJETIVOS:

El objetivo del presente proyecto es preparar los ficheros necesarios para fabricar un core RISC-V gracias al programa Efabless Open MPW Program [1], esponsorizado por Google y que cuenta con el apoyo tecnológico de Skywater para fabricar con tecnologías de 130 nm.

En concreto, se trabajará sobre algún core RISC-V, como los soportados por el OpenHW group [2]. El alumno tendrá que encargarse de adaptar los ficheros del core en cuestión a las distintas herramientas open-source que deben usarse para cumplir con los requerimientos del programa Efabless Open MPW Program.

METODOLOGÍA:

La metodología de trabajo consistirá en seguir las instrucciones definidas en [1] para crear un proyecto válido que pueda ser enviado al Open MPW program en 2023, con el objetivo de concursar para ser fabricado con la tecnología de SkyWater.

Para ello se utilizarán solamente herramientas de código abierto, a saber:

- SkyWater Open PDK: <https://github.com/google/skywater-pdk>
- OpenLane RTL2GDS Compiler: <https://github.com/efabless/openlane>
- Caravel Harness: <https://github.com/efabless/caravel>
- Caravel User Project: https://github.com/efabless/caravel_user_project
- Open MPW Precheck: https://github.com/efabless/open_mpw_precheck

ACTIVIDADES FORMATIVAS:



Reuniones periódicas de seguimiento con el alumno

BIBLIOGRAFÍA:

[1] https://efabless.com/open_shuttle_program/

[2] <https://github.com/openhwgroup/core-v-cores>



GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA DE COMUNICACIONES

Curso 2023-24

Ficha de Trabajo Fin de Grado

DEPARTAMENTO:	Departamento de Arquitectura de Computadores y Automática		
TÍTULO:	Diseño y simulación de circuitos neuromórficos para IA con memristores		
TITLE:	Design and simulation of neuromorphic circuits for AI with memristors		
SUPERVISOR/ES:	Guillermo Botella		
E-MAIL SUPERVISOR/ES:	gbotella@ucm.es		
NÚMERO DE PLAZAS:	1		
TIPO DE TFG:	Experimental <input checked="" type="checkbox"/>	Bibliográfico <input checked="" type="checkbox"/>	Simulación <input checked="" type="checkbox"/>
ASIGNACIÓN DE TFG:	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>		Selección por expediente <input type="checkbox"/>

Objetivos:

El memristor es un dispositivo no lineal cuya resistencia actual depende de la cantidad de carga eléctrica que ha fluído en el pasado, y en qué dirección. El dispositivo recuerda su historia, la llamada propiedad de no-volatilidad. Por otra parte, cuando el suministro de energía eléctrica es desconectado, el memristor recuerda su resistencia más reciente, hasta que vuelva a ser encendido.

Dentro del ámbito de la IA, el uso de redes neuronales convolucionales (CNNs) con memristores en lugar de la computación digital ofrece ventajas significativas en términos de eficiencia energética, densidad de almacenamiento, velocidad de procesamiento, aprendizaje en línea, similitud con sinapsis biológicas y escalabilidad.

Estas características pueden ser especialmente beneficiosas en aplicaciones de inteligencia artificial y aprendizaje profundo. En este TFG vamos a aprovechar las propiedades descritas anteriormente de este dispositivo para realizar pruebas de conceptos sencillas, pero novedosas que aproveche las oportunidades de la computación analógica en el ámbito de la IA, específicamente las redes neuronales. Se podrá trabajar bien con placas experimentales, con simuladores analógicos o con lenguajes de alto nivel (Python o similar) dependiendo del perfil de origen de el/los estudiante(s).



METODOLOGÍA:

- 1- Se realizará una revisión bibliográfica de modelos de memristores y de redes neuronales.
- 2- Se caracterizarán memristores reales comerciales.
- 3- Diseño y simulación de una red neuronal basada en memristores y de la circuitería auxiliar.
- 4- Estudio de la influencia de la variabilidad de los dispositivos sobre las prestaciones finales del circuito.
- 5- Prueba de conceptos de la implementación de varias CNNs con estímulos y datasets validados por la comunidad científica.

ACTIVIDADES FORMATIVAS:

BIBLIOGRAFÍA:

[1] H. Jin *et al.*, "ReHy: A ReRAM-Based Digital/Analog Hybrid PIM Architecture for Accelerating CNN Training," in *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, vol. 33, no. 11, pp. 2872-2884, 1 Nov. 2022, doi: 10.1109/TPDS.2021.3138087.

[2] Anteneh Gebregiorgis, Hoang Anh Du Nguyen, Jintao Yu, Rajendra Bishnoi, Mottaqiallah Taouil, Francky Catthoor, and Said Hamdioui. 2022. A Survey on Memory-centric Computer Architectures. *J. Emerg. Technol. Comput. Syst.* 18, 4, Article 79 (October 2022), 50 pages. <https://doi.org/10.1145/3544974>

[3] Hu, X., Shi, W., Zhou, Y., Tang, H., & Duan, S. (2022). Quantized and adaptive memristor based CNN (QA-mCNN) for image processing. *Science China Information Sciences*, 65(1), 119104.

[4] <https://knowm.org/memristors/>



GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA DE COMUNICACIONES

Curso 2023-24

Ficha de Trabajo Fin de Grado

DEPARTAMENTO:	Arquitectura de Computadores y Automática		
TÍTULO:	Prueba de concepto con el framework ESP		
TITLE:	Proof of Concept with the ESP framework		
SUPERVISOR/ES:	Guillermo Botella y Raúl Murillo		
E-MAIL SUPERVISOR/ES:	gbotella@ucm.es , ramuri01@ucm.es		
NÚMERO DE PLAZAS:	2		
TIPO DE TFG:	Experimental <input checked="" type="checkbox"/>	Bibliográfico <input type="checkbox"/>	Simulación <input type="checkbox"/>
ASIGNACIÓN DE TFG:	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>	Selección por expediente <input type="checkbox"/>	

OBJETIVOS:

El framework ESP [1], desarrollado por la Universidad de Columbia, permite la implementación de System-on-Chip (SoC) customizados para aplicaciones de Machine Learning (ML). Dicho framework permite la integración de distintas herramientas, entre ellas el módulo hls4ml [2], el cual permite definir implementaciones hardware de aplicaciones de Machine Learning por medio de un lenguaje de alto nivel de abstracción, como es Python. ESP ofrece soporte para que dichas implementaciones puedan mapearse sobre SoCs basados en cores RISC-V, como Ibex [3] o Ariane, actualmente conocido como CVA6 [4].

El presente proyecto consistiría en familiarizarse con el framework ESP y en mapear una suite de aplicaciones sobre SoCs construidos en torno a los cores anteriormente mencionados.

METODOLOGÍA:

La metodología de trabajo consistirá en seguir los tutoriales accesibles a través [1] para crear un SoC y posteriormente mapear una aplicación. A continuación, se realizarán modificaciones para construir sistemas más complejos.

ACTIVIDADES FORMATIVAS:

Reuniones periódicas de seguimiento con el alumno.



BIBLIOGRAFÍA:

- [1] <https://esp.cs.columbia.edu/>
- [2] <https://fastmachinelearning.org/hls4ml/>
- [3] <https://github.com/lowRISC/ibex>
- [4] <https://github.com/openhwgroup/cva6>



GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA DE COMUNICACIONES

Curso 2023-24

Ficha de Trabajo Fin de Grado

DEPARTAMENTO:	Arquitectura de Computadores y Automática		
TÍTULO:	Implementación de nodo IoT para la captura y monitorización de datos de una estación meteorológica Davis		
TITLE:	Implementation of IoT node to capturing and monitoring Davis meteorological data		
SUPERVISOR/ES:	José Antonio López Orozco y Luis Piñuel Moreno		
E-MAIL SUPERVISOR/ES:	jalo@dacya.ucm.es ; lpinuel@dacya.ucm.es		
NÚMERO DE PLAZAS:	1		
TIPO DE TFG:	Experimental <input checked="" type="checkbox"/>	Bibliográfico <input type="checkbox"/>	Simulación <input type="checkbox"/>
ASIGNACIÓN DE TFG:	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>		Selección por expediente <input type="checkbox"/>

OBJETIVOS:

El uso de estaciones meteorológicas para el estudio de la calidad medioambiental en diversos biotipos está muy extendido. Estas estaciones se mueven en el rango entre los cientos y miles de euros, dependiendo de la calidad, precisión y tipo de sensores que integran.

A pesar de disponer diferentes estaciones para cubrir un territorio concreto, la integración de los datos de las múltiples estaciones distribuidas y su correspondencia con registros de otros instrumentos no es sencilla. Las soluciones comerciales, aparte de ser caras, limitan el alcance de los análisis que se pueden realizar puesto que no permiten integrar de forma sencilla todos los datos en una única base de datos.

Un ejemplo donde la captación e integración de los datos de las diferentes estaciones en una base de datos común y que permita su análisis y comparación con los datos de otros sensores de microorganismos es el proyecto multidisciplinar Microairpolar-2. La finalidad de este proyecto es la comprensión del tránsito de microorganismos por el aire de las zonas polares. Uno de los objetivos precisos de este proyecto consiste en entender los procesos de aerosolización de la materia particulada, esto es, cómo pasan los microorganismos de las superficies (agua, suelo, superficies biológicas) al aire para poder ser transportados. Para ello se utilizan una serie de capturadores de partículas situados de forma simultánea a diferentes alturas en una torre de captación en la Antártida (de 10 m de altura) y en un globo cautivo que muestreará microorganismos a diferentes alturas. Al lado de cada uno de los colectores se situará una estación meteorológica Davis que medirá fundamentalmente el viento (velocidad y dirección) y otras variables. Como se puede ver, no existe una solución comercial directa que permitiese captar y referenciar adecuadamente diferentes estaciones meteorológicas para su análisis y mucho menos su conexión con los otros sensores.



El objetivo de este TFG es encontrar una solución, basada en IoT, de bajo coste y replicable que pueda captar los datos de las diferentes estaciones meteorológicas Davis de manera simultánea, por radiofrecuencia y a distancia, para el almacenamiento y procesado de los datos. Y que estos datos se suban a la nube, siempre que sea posible, para su consulta y análisis.

METODOLOGÍA:

Para la realización del trabajo el alumno deberá seguir los siguientes pasos:

- 1.- Estudio y análisis de una estación meteorológica Davis cuyos datos se transmiten vía radio.
- 2.- Estudio de las diferentes alternativas para la captura de los datos de la estación y su viabilidad: coste, gasto de energía, código libre, ...
- 3.- Diseño del sistema de recepción de datos escogido e implementación del nodo IoT.
- 4.- Instalación/implementación de un entorno local para la monitorización y análisis de los datos.
- 5.- Implementación de un servicio en la nube para la monitorización y análisis de los datos.

ACTIVIDADES FORMATIVAS:

Se proporcionará al alumno una estación meteorológica Davis y aquellos elementos que se identifiquen como necesarios para implementar el nodo de IoT que capture y procese los datos.

Así mismo, se le darán los seminarios necesarios para el desarrollo del TFG.

BIBLIOGRAFÍA:

- <https://www.davisinstruments.com/pages/weather-stations>
- <https://github.com/dekay/DavisRFM69>
- <https://jeelabs.org>



GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA DE COMUNICACIONES

Curso 2023-24

Ficha de Trabajo Fin de Grado

DEPARTAMENTO:	Arquitectura de Computadores y Automática		
TÍTULO:	Diseño y validación de un sistema de comunicaciones reconfigurable para USV.		
TITLE:	Design and validation of a reconfigurable communications system for USV.		
SUPERVISOR/ES:	José Antonio López-Orozco y Jesús Chacón Sombría		
E-MAIL SUPERVISOR/ES:	jalo@ucm.es , jeschaco@ucm.es		
NÚMERO DE PLAZAS:	1		
TIPO DE TFG:	Experimental <input checked="" type="checkbox"/>	Bibliográfico <input type="checkbox"/>	Simulación <input type="checkbox"/>
ASIGNACIÓN DE TFG:	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>		Selección por expediente <input type="checkbox"/>

OBJETIVOS:

Una comunicación robusta y estable en entornos reales de vehículos no tripulados de superficie (USV) tanto entre sí, para tareas de cooperación y coordinación, como con una estación de tierra, para la definición y seguimiento de la misión, es fundamental para el correcto funcionamiento de las operaciones a realizar. Esta comunicación puede ser diferente dependiendo de la disponibilidad de cobertura, ancho de banda, perfil del terreno, etc., lo que lleva a que una comunicación eficaz en una situación o zona de trabajo no sea la más adecuada en otro momento.

Por ello, el objetivo de este trabajo es la puesta en funcionamiento de un sistema de comunicaciones para vehículos de superficie no tripulados (USV) en entornos reales que permita cierto grado de flexibilidad y adaptación a las condiciones de operación.

La arquitectura implementada permitirá la comunicación entre vehículo-vehículo (V2V) o vehículo-infraestructura (V2I) y tratará de utilizar los medios de comunicación disponibles de una manera que pueda dar soporte a las necesidades de transmisión de datos especificadas en el escenario de operación. Para ello, trataremos de determinar con precisión los límites prácticos en cuanto a ancho de banda, alcance y otras caracterizaciones de los medios de comunicación disponibles, y se propondrán estrategias que permitan adaptar la transmisión de datos a las circunstancias de operación existentes.



METODOLOGÍA:

En este trabajo se propone estudiar las tecnologías y protocolos de comunicación aplicables a un sistema de comunicación entre vehículos autónomos. Para ello se realizarán las siguientes tareas:

- 1) Definición de escenarios de prueba en entornos que reproduzcan situaciones reales de operación.
- 2) Análisis de las características y prestaciones de los sistemas de comunicación existentes y aplicables al problema.
- 3) Puesta en marcha y verificación de los sistemas de comunicación existentes y de los elementos necesarios para poder realizar los ensayos de experimentales.
- 4) Realización de ensayos experimentales para determinar el rendimiento y los límites prácticos en cuanto al ancho de banda y alcance de las transmisiones para diferentes tecnologías de transporte (Zigbee, WiFi, LTE/NB-IOT,...) y protocolos de comunicación (MQTT, CoAP, HTTP...).
- 5) Propuesta e implementación de estrategias de selección de las comunicaciones en base a los resultados obtenidos y a las circunstancias de operación.

ACTIVIDADES FORMATIVAS:

Seminario para la definición de objetivos, para la configuración y manejo del hardware y cualquier otra información necesaria para la realización del trabajo

BIBLIOGRAFÍA:

- [1] Jasenka Dizdarevic, Francisco Carpio, Admela Jukan, and Xavi Masip. A survey of communication protocols for internet of things and related challenges of fog and cloud computing integration. *ACM Computing Surveys*, 51, 04 2018.
- [2] Imad Jawhar, Nader Mohamed, Jameela Al-Jaroodi, Dharma P. Agrawal, Sheng Zhang, "Communication and networking of UAV-based systems: Classification and associated architectures", *Journal of Network and Computer Applications*, Volume 84, 2017, Pages 93-108, ISSN 1084-8045, <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2017.02.008>.



GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA DE COMUNICACIONES

Curso 2023-24

Ficha de Trabajo Fin de Grado

DEPARTAMENTO:	Arquitectura de Computadores y Automática		
TÍTULO:	Visualización de la trayectoria de un robot mediante luz y fotografía de larga exposición		
TITLE:	Visualization of a robot's trajectory using light and long exposure photography.		
SUPERVISOR/ES:	Lía García Pérez y Jesús Chacón Sombría		
E-MAIL SUPERVISOR/ES:	liagar05@ucm.es , jeschaco@ucm.es		
NÚMERO DE PLAZAS:	1		
TIPO DE TFG:	Experimental <input checked="" type="checkbox"/>	Bibliográfico <input type="checkbox"/>	Simulación <input type="checkbox"/>
ASIGNACIÓN DE TFG:	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>		Selección por expediente <input type="checkbox"/>

OBJETIVOS:

El objetivo de este trabajo es extender las capacidades software/hardware de un robot móvil para que permita la creación de imágenes basadas en técnicas de fotografía de larga exposición, mediante el control de la trayectoria de un punto de luz incorporado al robot.

Para realizar este trabajo se dispone de un robot móvil en funcionamiento, al que habrá que incorporar un sistema de realimentación visual (LEDs, pantalla TFT o similar), y programar para (a) realizar trayectorias predefinidas de forma automática mediante algoritmos de seguimiento, (b) y para interpretar un lenguaje de órdenes básicas de movimiento que permita generar la figura mediante código, utilizando un enfoque similar o inspirado en el lenguaje de programación Logo.

Este TFG tiene un fuerte carácter experimental, puesto que por un lado será necesario extender el hardware disponible con nuevas capacidades y por otro lado los algoritmos elegidos deberán ser implementados y probados en el hardware utilizando Python, C/C++ o Processing.



METODOLOGÍA:

La realización del trabajo se dividirá en las siguientes tareas:

1. Conocimiento del hardware y programación del robot móvil.
2. Extensión del hardware con un sistema de realimentación visual.
3. Implementación del seguimiento de trayectorias y programación mediante lenguaje de control del movimiento.
4. Implementación de técnicas de obtención de imagen de larga exposición.

ACTIVIDADES FORMATIVAS:

Seminario para la definición de objetivos, para la configuración y manejo del hardware y cualquier otra información necesaria para la realización del trabajo

BIBLIOGRAFÍA:

- [1] Sean Wilson, et al., The Robotarium: Globally Impactful Opportunities, Challenges, and Lessons Learned in Remote-Access, Distributed Control of Multirobot Systems. *IEEE Control Systems Magazine*, vol. 40, no. 1, pp. 26-44, Feb. 2020.
- [2] Paull, L., Tani, J., Ahn, H., Alonso-Mora, J., Carlone, L., Cap, M., Chen, Y. F., Choi, C., Dusek, J., Fang, Y., Hoehener, D., Liu, S. Y., Novitzky, M., Okuyama, I. F., Papis, J., Rosman, G., Varricchio, V., Wang, H. C., Yershov, D., ... Censi, A. Duckietown: An open, inexpensive and flexible platform for autonomy education and research. In *ICRA 2017 - IEEE International Conference on Robotics and Automation 2017* (pp. 1497-1504).
- [3] C. Eilers, J. Eschmann, R. Menzenbach, B. Belousov, F. Muratore and J. Peters, "Underactuated Waypoint Trajectory Optimization for Light Painting Photography," *2020 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, Paris, France, 2020, pp. 1505-1510, doi: 10.1109/ICRA40945.2020.9196516.



GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA DE COMUNICACIONES

Curso 2023-24

Ficha de Trabajo Fin de Grado

DEPARTAMENTO:	Arquitectura de Computadores y Automática		
TÍTULO:	Implementación y validación de un sistema de comunicaciones reconfigurable para robots móviles.		
TITLE:	Implementation and validation of a reconfigurable communication systems for mobile robots.		
SUPERVISOR/ES:	Lía García Pérez y Jesús Chacón Sombría		
E-MAIL SUPERVISOR/ES:	liagar05@ucm.es , jeschaco@ucm.es		
NÚMERO DE PLAZAS:	1		
TIPO DE TFG:	Experimental <input checked="" type="checkbox"/>	Bibliográfico <input type="checkbox"/>	Simulación <input type="checkbox"/>
ASIGNACIÓN DE TFG:	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>		Selección por expediente <input type="checkbox"/>

OBJETIVOS:

El objetivo de este trabajo es extender las capacidades de comunicaciones de la plataforma robótica multiagente UCM-Robotarium, compuesta por un conjunto de robot móviles basados en hardware de bajo coste, principalmente Arduino y Raspberry PI, que pueden comunicarse entre sí y con el servidor del laboratorio de forma inalámbrica a través de WiFi y Bluetooth. Actualmente, se utiliza una topología en estrella en la que cada agente debe comunicarse necesariamente con el servidor para transmitir y recibir información a otros agentes.

No obstante, resultaría conveniente poder realizar una configuración dinámica del sistema, de manera que se pueda definir una topología virtual definida por un grafo de conexiones. De esta manera, sera posible simular diferentes topologías de conexión a conveniencia. Por otra parte, esta configuración podría no escalar bien con el número de agentes y dar lugar a problemas de congestión en la red según se aumenta la cantidad de robots en funcionamiento simultáneo.

Por ello en este trabajo se proponen dos objetivos fundamentales, (1) la determinación experimental de los límites prácticos, en cuanto a ancho de banda y otras caracterizaciones, de los medios de comunicación disponibles, y (2) la implementación de la reconfiguración dinámica de la topología de comunicaciones a partir del grafo de conexiones.



Este TFG tiene un fuerte carácter experimental, y es recomendable experiencia previa con Arduino, Raspberry Pi y programación en Python y C/C++.

METODOLOGÍA:

La realización del trabajo se dividirá en las siguientes tareas:

1. Conocimiento de la programación de los robots y el servidor.
2. Caracterización de las comunicaciones.
3. Definición formal de posibles escenarios de comunicaciones.
4. Especificación e implementación del método de configuración.
5. Pruebas de validación.

ACTIVIDADES FORMATIVAS:

Seminario para la definición de objetivos, para la configuración y manejo del hardware y cualquier otra información necesaria para la realización del trabajo.

BIBLIOGRAFÍA:

[1] Sean Wilson, et al., The Robotarium: Globally Impactful Opportunities, Challenges, and Lessons Learned in Remote-Access, Distributed Control of Multirobot Systems. IEEE Control Systems Magazine, vol. 40, no. 1, pp. 26-44, Feb. 2020.

[2] Paull, L., Tani, J., Ahn, H., Alonso-Mora, J., Carlone, L., Cap, M., Chen, Y. F., Choi, C., Dusek, J., Fang, Y., Hoehener, D., Liu, S. Y., Novitzky, M., Okuyama, I. F., Papis, J., Rosman, G., Varricchio, V., Wang, H. C., Yershov, D., ... Censi, A. Duckietown: An open, inexpensive and flexible platform for autonomy education and research. In ICRA 2017 - IEEE International Conference on Robotics and Automation 2017 (pp. 1497-1504).

[3] Jasenka Dizdarevic, Francisco Carpio, Admela Jukan, and Xavi Masip. A survey of communication protocols for internet of things and related challenges of fog and cloud computing integration. ACM Computing Surveys, 51, 04 2018.



GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA DE COMUNICACIONES

Curso 2023-24

Ficha de Trabajo Fin de Grado

DEPARTAMENTO:	Arquitectura de Computadores y Automática		
TÍTULO:	Estudio de comportamiento emergente en múltiples robots en el UCM-Robotarium		
TITLE:	Study of emergent behaviour in multiple robots at UCM-Robotarium		
SUPERVISOR/ES:	Lía García Pérez y Jesús Chacón Sombría		
E-MAIL SUPERVISOR/ES:	liagar05@ucm.es , jeschaco@ucm.es		
NÚMERO DE PLAZAS:	1		
TIPO DE TFG:	Experimental <input checked="" type="checkbox"/>	Bibliográfico <input type="checkbox"/>	Simulación <input type="checkbox"/>
ASIGNACIÓN DE TFG:	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>		Selección por expediente <input type="checkbox"/>

OBJETIVOS:

El estudio de los comportamientos de formación en bandadas de pájaros o bancos de peces muestra que en muchos casos estos comportamientos emergen de comportamientos “sencillos” diferentes de los agentes individuales como por ejemplo tendencia a permanecer juntos y a la vez mantener una distancia de seguridad.

El objetivo principal del trabajo es introducirse en el comportamiento emergente en sistemas multi robot.

La propuesta de este Trabajo Fin de Grado (TFG) se centra en analizar e implementar distintos comportamientos sencillos en los agentes del sistema multirobot UCM-Robotarium, con el fin de generar comportamiento emergente. El UCM-Robotarium es un entorno multi robot de bajo coste disponible del grupo de Ingeniería de Sistemas, Control, Automatización y Robótica (ISCAR). UCM-Robotarium dispone de al menos 5 robots (que serán próximamente 10), y una cámara cenital y un servidor que proporcionan la localización a cada robot mediante un sistema de marcas.



Sobre el aspecto técnico, este TFG requiere que el estudiante se centre en dos componentes principales. Primero en el estudio de del comportamiento emergente en grupos de robots y la simulación sencilla de algunos de ellos. Para ello se usarán Python y/o C++. En segundo lugar, este TFG tiene un fuerte carácter experimental, puesto que el/los algoritmos han de ser probados en el UCM-Robotarium, de manera que el estudiante tendrá que trabajar con el hardware de los robots.

METODOLOGÍA:

1. Estudio, guiado por los supervisores, de bibliografía relacionada con sistemas multi robot y comportamiento emergente
2. Selección de comportamientos sencillos de grupo para los robots del UCM-Robotarium.
3. Implementación y análisis del funcionamiento de los algoritmos sobre los robots del UCM-Robotarium.

ACTIVIDADES FORMATIVAS:

Seminario para la definición de objetivos, para la configuración y manejo del hardware y cualquier otra información necesaria para la realización del trabajo

BIBLIOGRAFÍA:

[1] Sean Wilson, et al., ***The Robotarium: Globally Impactful Opportunities, Challenges, and Lessons Learned in Remote-Access, Distributed Control of Multirobot Systems.*** IEEE Control Systems Magazine, vol. 40, no. 1, pp. 26-44, Feb. 2020.

[2] Paull, L., Tani, J., Ahn, H., Alonso-Mora, J., Carlone, L., Cap, M., Chen, Y. F., Choi, C., Dusek, J., Fang, Y., Hoehener, D., Liu, S. Y., Novitzky, M., Okuyama, I. F., Pazis, J., Rosman, G., Varricchio, V., Wang, H. C., Yershov, D., ... Censi, A. ***Duckietown: An open, inexpensive and flexible platform for autonomy education and research.*** In ICRA 2017 - IEEE International Conference on Robotics and Automation 2017 (pp. 1497-1504).

[3] Dorigo, M., Theraulaz, G., & Trianni, V. (2021). **Swarm robotics: Past, present, and future [point of view].** *Proceedings of the IEEE*, 109(7), 1152-1165.
<https://hal.science/hal-03362874/document>

[4] Balch, T., & Arkin, R. C. (1998). **Behavior-based formation control for multirobot teams.** *IEEE transactions on robotics and automation*, 14(6), 926-939.



GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA DE COMUNICACIONES

Curso 2023-24

Ficha de Trabajo Fin de Grado

DEPARTAMENTO:	Arquitectura de Computadores y Automática		
TÍTULO:	Diseño e implementación de una plataforma para la evaluación de códigos de corrección de errores cuánticos		
TITLE:	Design and implementation of a platform for the evaluation of quantum error correction codes		
SUPERVISOR/ES:	Francisco Miguel García Herrero		
E-MAIL SUPERVISOR/ES:	francg18@ucm.es		
NÚMERO DE PLAZAS:	1		
TIPO DE TFG:	Experimental <input type="checkbox"/>	Bibliográfico <input type="checkbox"/>	Simulación <input checked="" type="checkbox"/>
ASIGNACIÓN DE TFG:	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>		Selección por expediente <input type="checkbox"/>

OBJETIVOS:

- Familiarizarse con las familias de códigos y decodificadores existentes para la corrección de errores cuánticos en procesadores de gran escala.
- Aprender a evaluar la complejidad y el rendimiento mediante métricas como la tasa de error lógico y el umbral de corrección cuántico.
- Diseñar e implementar una plataforma que permita integrar tanto simuladores como co-procesadores en tiempo real para la visualización de diferentes escenarios en sistemas de corrección de errores cuánticos.

METODOLOGÍA:

- Estudio de los simuladores y co-procesadores existentes.
- Captura de requisitos.
- Evaluación de diferentes entornos de desarrollo para la implementación de la plataforma.
- Diseño de la herramienta a implementar.
- Pruebas de integración con decodificadores y simuladores proporcionados por diferentes grupos de investigación.
- Verificación funcional y obtención de métricas de rendimiento.

**ACTIVIDADES FORMATIVAS:**

- Asistencia a seminarios relacionados con la corrección de errores para procesadores cuánticos impartidos por los miembros del proyecto QuantERA.
- Participación en el club de lectura para la corrección y mitigación de errores cuánticos, coordinado por varias universidades.
- Lectura de artículos científicos relacionados con la codificación y el uso de herramientas para la implementación de la plataforma.

BIBLIOGRAFÍA:

- M. A. Nielsen and I. L. Chuang, Quantum Computation and Quantum Information: 10th Anniversary Edition, Cambridge, U.K.:Cambridge Univ. Press, 2011.
- Z. Babar, P. Botsinis, D. Alanis, S. X. Ng and L. Hanzo, Fifteen years of quantum LDPC coding and improved decoding strategies, IEEE Access, vol.3, pp. 2492-2519, 2015.
- <https://errorcorrectionzoo.org/c/qldpc>