



GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA DE COMUNICACIONES

Curso 2024-25

Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Arquitectura de Computadores y Automática
Título:	Aplicación de técnicas de Aprendizaje Profundo al Procesamiento Digital de Imágenes
Title:	Deep Learning Applied to digital image processing
Tutor/es:	Clara Isabel López González, Eva Besada Portas
E-mail tutor/es:	claraisl@ucm.es, ebesada@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:	Asignación directa

Objetivos:

Métodos bien asentados de procesamiento de imágenes tales como la convolución y el filtrado son el soporte de numerosas técnicas avanzadas de aprendizaje profundo (deep learning) para diferentes problemas de visión artificial (como por ejemplo, la detección de objetos o la segmentación de imágenes) que se utilizan en la actualidad en diferentes aplicaciones (p.e. ayudas a la conducción de coches modernos, detección de tumores en imágenes médicas, segmentación de imágenes en el ámbito acuático).

A lo largo del Grado de Ingeniería Electrónica de Comunicaciones el estudiante ha adquirido los conocimientos fundamentales de las operaciones sobre las que se soportan algunas de las redes neuronales que se utilizan actualmente en visión artificial, por lo que este Trabajo de Fin de Grado (TFG) le permitirá explorar técnicas de procesamiento avanzadas aprovechando la existencia de alguna de las herramientas software que están siendo actualmente utilizadas en numerosas aplicaciones reales. Por ese motivo, en este TFG se proponen varias alternativas, centradas en el aprendizaje profundo, de modo que los estudiantes que lo escojan puedan desarrollar el software necesarios para resolver un problema concreto de visión artificial.

En particular, los tres objetivos del TFG son que el estudiante:

- 1.- Conozca los fundamentos de la técnica de visión artificial más adecuada para el problema que va a resolver y los relacione con los conocimientos adquiridos a lo largo de la asignatura.
- 2.- Aprenda a utilizar alguna de las herramientas software disponibles.
- 3.- Desarrolle la aplicación software para el problema elegido.
- 4.- Caracterice de forma adecuada los resultados obtenidos.

Ejemplos de los problemas a los que se podría enfrentar el estudiante son:

- A.- Reconocimiento facial
- B.- Clasificación de señales
- C.- Segmentación de imágenes en el entorno forestal o acuático.

Metodología:

Para realizar el problema propuesto el estudiante deberá realizar los siguientes pasos:

- 1.- Estudiar el marco común de las técnicas utilizadas para resolver el problema elegido.
- 2.- Comprender los fundamentos de la técnica seleccionada para resolver dicho problema.
- 3.- Aprender a utilizar una de las herramientas software disponibles.
- 4.- Programar la aplicación software que dará respuesta al problema de visión artificial seleccionado.
- 5.- Caracterizar el funcionamiento de la aplicación desarrollada sobre un conjunto de imágenes adecuado.

Actividades Formativas:

Seminarios sobre la definición del problema y objetivos; sobre las técnicas de visión artificial más adecuadas para el problema elegido; sobre las herramientas software disponibles; y sobre cualquier otra información necesaria para la realización del TFG del estudiante.

Bibliografía:

[1] Gonzalo Pajares Martinsanz, Pedro Javier Herrera Caro, Eva Besada Portas. Aprendizaje Profundo. Editorial: Libros RC.

[2] Aston Zhang, Zachary C. Lipton, Mu Li, Alexander J. Smola. Dive into Deep Learning. <https://d2l.ai/>

[3] Aurélien Géron. Hands-on Machine Learning with Scikit-Learn, Keras and Tensorflow. Editorial: O'Reilly

[4] Christopher M. Bishop. Pattern Recognition and Machine Learning. Editorial: Springer.

[5] Ian Goodfellow, Yoshua Bengio, Aaron Courville. Deep Learning. Editorial: MIT Press, Cambridge MA. <https://www.deeplearningbook.org/>



GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA DE COMUNICACIONES

Curso 2024-25

Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Arquitectura de Computadores y Automática
Título:	Evaluación de comunicaciones Meshtastic
Title:	Evaluation of Meshtastic communication
Tutor/es:	Luis Piñuel, Julio Serna
E-mail tutor/es:	lpinuel@ucm.es, azul@ucm.es
Número de plazas:	1
Tipo de TFG:	Experimental <input checked="" type="checkbox"/> Bibliográfico <input checked="" type="checkbox"/> Simulación <input type="checkbox"/>
Asignación de TFG:	Asignación directa

Objetivos:

Meshtastic (<https://meshtastic.org>) es un proyecto de código abierto que permite crear una red de radios LoRa de baja potencia para comunicaciones en grupo. Este proyecto en origen estaba pensado para utilizarse en deportes al aire libre y lugares sin acceso a Internet, pero hoy día está expandiéndose a otros ámbitos.

El objetivo principal del TFG es poner en marcha una red de este tipo con 2-3 nodos y evaluar experimentalmente su comportamiento (alcance, ancho de banda, consumo, etc.) en diversas circunstancias de manera a identificar sus fortalezas y debilidades así como proponer mejoras a estas últimas.

Metodología:

El TFG constará de los siguientes pasos:

1. Estudio de la red Meshtastic así como las tecnologías de radio y red que emplea (LoRa, LoRaWAN, etc.)
2. Puesta en marcha de una red de pruebas (2-3 nodos).
3. Evaluación experimental de la red con diversas configuraciones de los protocolos empleados y diversos contextos experimentales (línea-vista, edificios, etc.).
4. Desarrollo de mejoras en el entorno experimental y/o la configuración.

Actividades Formativas:

Tutorías con los profesores supervisores.
Cursos sobre LoRa y LoRaWAN.

Bibliografía:

- [1] Meshtastic. An Open Source, Off-Grid, Decentralized, Mesh Network Built to Run on Affordable, Low-Power Devices. Available online: <https://meshtastic.org/docs/introduction> (accessed on May 2024).
- [2] Suryadevara, N.K., Dutta, A. (2022). Meshtastic Infrastructure-less Networks for Reliable Data Transmission to Augment Internet of Things Applications. Wireless and Satellite Systems. WiSATS 2021. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-93398-2_55
- [3] Messina, F.; Santoro, C.; Santoro, F.F. Enhancing Security and Trust in Internet of Things through Meshtastic Protocol Utilising Low-Range Technology. Electronics 2024, 13, 1055. <https://doi.org/10.3390/electronics13061055>



GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA DE COMUNICACIONES

Curso 2024-25

Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Arquitectura de Computadores y Automática
Título:	Estudio y evaluación de estaciones satelitales TinyGS
Title:	Study and Evaluation of TinyGS Satellite Stations.
Tutor/es:	Luis Piñuel, Pedro Antoranz
E-mail tutor/es:	lpinuel@ucm.es, antoranz@fis.ucm.es
Número de plazas:	1
Tipo de TFG:	Experimental <input checked="" type="checkbox"/> Bibliográfico <input checked="" type="checkbox"/> Simulación <input type="checkbox"/>
Asignación de TFG:	Asignación directa

Objetivos:

En muchos ámbitos existe la necesidad de comunicaciones ubicuas de bajo coste económico/energético. Sin duda, uno de los más importantes sería el de Internet de las Cosa (IoT): seguimiento de flotas o animales, obra civil, energía, industria militar, etc. las aplicaciones son casi ilimitadas.

Una de las soluciones más prometedoras para lograr este objetivo consiste en emplear constelaciones de satélites LEO (Low Earth Orbit) y protocolos de comunicaciones de bajo ancho de banda como LoRa o NB-IoT.

Es en este contexto que nace la iniciativa TinyGS (<https://tinygs.com>), una red abierta de estaciones terrestres para recibir paquetes LoRa de satélites LEO y otros objetos voladores.

El objetivo de este TFG es doble, por un lado estudiar y explicar las tecnologías en las que se basa TinyGS, y por otro lado, configurar y evaluar una estación TinyGS, con especial énfasis en el ajuste de la antena-filtros para maximizar la distancia de recepción de paquetes LoRa satelitales.

Metodología:

El TFG constará de 3 fases:

1. Estudio:

- Alternativas para IoT satelital
- Radio LoRa
- Red TinyGS
- Hardware y software de una estación tinyGS
- . Puesta a punto de una estación terrestre
 - Selección de componentes
 - Configuración
 - Conexión a la red
- . Evaluación y optimización de la recepción de paquetes.
 - Mejora antena y filtro

Actividades Formativas:

Tutorías con los profesores supervisores.
Cursos sobre LoRa y LoRaWAN.

Bibliografía:

- [1] E. Rastogi, N. Saxena, A. Roy, D. R. Shin, "Narrowband Internet of Things: A Comprehensive Study," in *Computer Networks*, vol. 173, pp. 1-40, May 2020, doi: 10.1016/j.comnet.2020.107209.
- [2] S. Liu et al., "LEO Satellite Constellations for 5G and Beyond: How Will They Reshape Vertical Domains?," in *IEEE Communications Magazine*, vol. 59, no. 7, pp. 30-36, July 2021, doi: 10.1109/MCOM.001.2001081.
- [3] M. Y. Abdelsadek et al., "Future Space Networks: Toward the Next Giant Leap for Humankind," in *IEEE Transactions on Communications*, vol. 71, no. 2, pp. 949-1007, Feb. 2023, doi: 10.1109/TCOMM.2022.3228611.
- [4] M. M. Azari et al., "Evolution of Non-Terrestrial Networks From 5G to 6G: A Survey," in *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 24, no. 4, pp. 2633-2672, Fourthquarter 2022, doi: 10.1109/COMST.2022.3199901.
- [5] O. Kodheli et al., "Satellite Communications in the New Space Era: A Survey and Future Challenges," in *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 23, no. 1, pp. 70-109, Firstquarter 2021, doi: 10.1109/COMST.2020.3028247.t
<https://github.com/G4lile0/tinyGS>



GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA DE COMUNICACIONES

Curso 2024-25

Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Arquitectura de Computadores y Automática
Título:	Desarrollo de proyectos de IoT que implementen ML/IA en sistemas empotrados
Title:	Development of IoT projects implementing ML/AI in embedded systems
Tutor/es:	Guillermo Botella Juan
E-mail tutor/es:	gbotella@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:	Asignación directa

Objetivos:

Desarrollar dispositivos IoT que integren capacidades de Machine LML/AI mediante placas empotradas como ESP32. La integración de ML/AI en dispositivos IoT, se presta a un rango muy amplio de aplicaciones, desde la automatización del hogar y la asistencia sanitaria personalizada hasta la optimización de procesos industriales y la gestión de recursos en ciudades inteligentes.

Se propone un proyecto que use placas como el ESP32, y se buscará una implementación eficiente que tenga un equilibrio eficiente entre costo, consumo energético y capacidad de procesamiento, esencial para la implementación a gran escala de soluciones IoT inteligentes. Se enfocará el proyecto dependiendo del perfil de el/los estudiante(s).

Metodología:

1- Se realizará una revisión bibliográfica de placas para IoT haciendo especial uso en la familia ESP32. También realizarán una revisión de entornos de programación y sensores.

2- Se estudiará la comunicación de sensores, la integración de bibliotecas como LittleFS, LVGL. Medidas de seguridad, integración, etc...

3- Se estudiará también técnicas de ML/AI para sistemas empotrados, y se construirán casos de usos sencillos como ejemplos.

4- Se desarrollará el proyecto final de acuerdo a los puntos anteriores y el caso de uso elegido. Se caracterizará el desarrollo realizado de acuerdo a varias métricas de calidad.

5- Se harán pruebas de conceptos en escenarios reales.

Actividades Formativas:

Bibliografía:

[1] Developing IoT Projects with ESP32: Automate your home or business with inexpensive Wi-Fi devices. 2024. Vedat Ozan. PACKT

[2] <https://circuitdigest.com/esp32-projects>

[3] <https://www.tensorflow.org/lite/microcontrollers?hl=es-419>



GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA DE COMUNICACIONES

Curso 2024-25

Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Arquitectura de Computadores y Automática
Título:	Implementación reconfigurable de algoritmos criptográficos
Title:	Reconfigurable implementation of cryptographic algorithms
Tutor/es:	José Luis Imaña Pascual
E-mail tutor/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:	Asignación directa

Objetivos:

Al finalizar el trabajo, el estudiante 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 estudiante adquirirá los conocimientos básicos necesarios sobre criptografía y realizará un estudio previo de distintos algoritmos de cifrado.
- El estudiante realizará una descripción sintetizable en el lenguaje de descripción de hardware VHDL de uno de los algoritmos criptográficos.
- El estudiante utilizará una herramienta de diseño electrónico automatizado para la implementación y simulación de dicha descripción sobre dispositivos reconfigurables.
- El estudiante 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", Prensas 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 2024-25

Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Arquitectura de Computadores y Automática
Título:	Análisis e implementación de comportamiento colaborativo en robots móviles
Title:	Analysis and implementation of collaborative behaviour in mobile robots
Tutor/es:	Lía García Pérez / Jesús Chacón Sombría
E-mail tutor/es:	liagar05@ucm.es / jeschaco@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:	Asignación directa

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.

Concretamente se propone el desarrollo e implementación de un algoritmo de control que mantenga el movimiento de los robots dentro del área del Robotarium-Arena destinado para ello. Este objetivo de seguridad tendrá que combinarse con el objetivo de funcionamiento que tengan los robots (recorrer un camino determinado, seguir a un líder, ir hacia una fuente de luz, etc...)

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.

Cada uno de los estudiantes trabajará con algoritmos de control multi-robot diferentes, centrándose tanto en el estudio de distintos aspectos como en comportamientos emergentes diferentes.

Metodología:

1. Estudio, guiado por los supervisores, de bibliografía relacionada con sistemas multi robot y comportamiento emergente.
2. Estudio de funciones de control de barreras (CBF) aplicadas a controlar sistemas garantizando condiciones de seguridad.
3. Selección de comportamientos sencillos de grupo para los robots del UCM-Robotarium.
4. 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] Xu, X., Waters, T., Pickem, D., Glotfelter, P., Egerstedt, M., Tabuada, P., ... & Ames, A. D. (2017, August). Realizing simultaneous lane keeping and adaptive speed regulation on accessible mobile robot testbeds. In 2017 IEEE conference on control technology and applications (CCTA) (pp. 1769-1775). IEEE.
- [2] 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.
- [3] 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).
- [4] 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>
- [5] 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 2024-25

Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	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
Tutor/es:	Guillermo Botella Juan
E-mail tutor/es:	gbotella@ucm.es
Número de plazas:	2
Tipo de TFG:	Experimental <input checked="" type="checkbox"/> Bibliográfico <input checked="" type="checkbox"/> Simulación <input checked="" type="checkbox"/>
Asignación de TFG:	Asignación directa

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 aprovechen 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 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/>

[5] Lázaro, Pablo Alex, Ignacio Jiménez Gallo, Juan Roldán Aranda, Alberto del Barrio García, Guillermo Botella Juan, and Francisco Jiménez Molinos. "Design and simulation of memristor-based neural networks." *arXiv preprint arXiv:2306.11678* (2023).



GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA DE COMUNICACIONES

Curso 2024-25

Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Arquitectura de Computadores y Automática
Título:	Validación mediante prototipos de un gemelo digital de una turbina eólica
Title:	Validation through prototypes of a digital twin of a wind turbine
Tutor/es:	Matilde Santos/Segundo Esteban
E-mail tutor/es:	msantos@ucm.es/sesteban@ucm.es
Número de plazas:	1
Tipo de TFG:	Experimental <input checked="" type="checkbox"/> Bibliográfico <input type="checkbox"/> Simulación <input checked="" type="checkbox"/>
Asignación de TFG:	Asignación directa

Objetivos:

En este TFG se propone la validación de un gemelo digital de una turbina eólica. Se considera que dado el interés de las energías renovables para mejorar el impacto ambiental, la experiencia en este campo puede ser muy beneficiosa para el estudiante. Además permite aplicar conocimientos de diversas materias en un sistema real (electrónica, computación, simulación, control, comunicaciones, ...)

El trabajo consiste en desarrollar un sistema de toma de datos que permita monitorizar, detectar fallos y controlar la turbina utilizando prototipos a baja escala de turbinas eólicas disponibles en el grupo de trabajo. Estos modelos físicos a baja escala son sistemas mecánicos dotados de una electrónica para su funcionamiento y de sensores de distinto tipo.

El desarrollo incluye la simulación de un modelo digital de la turbina en un PC, las comunicaciones, y su conexión con el prototipo mediante la electrónica correspondiente para que responda a los comandos del gemelo digital.

Metodología:

1. Reuniones periódicas con los tutores
2. Estudio, guiado por los supervisores, de bibliografía relacionada con el funcionamiento de las turbinas eólicas.
3. Simulación del modelo de turbina eólica. Análisis de su comportamiento.
4. Conexión del prototipo de turbina a pequeña escala con el modelo digital. Adquisición de datos.
5. Validación del modelo con los prototipos

Actividades Formativas:

Tutorías con los profesores expertos en la materia. Reuniones periódicas planificadas.

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

Estudio del simulador de turbinas eólicas.

Se facilitará bibliografía sobre gemelos digitales de turbinas eólicas

Bibliografía:

[1] M. Tomás-Rodríguez, and M. Santos. "Modelado y control de turbinas eólicas marinas flotantes." *Revista iberoamericana de automática e informática industrial* 16, no. 4 (2019): 381-390.

[2] F.J. Pimenta, F., J. Pacheco, C. M. Branco, C. M. Teixeira, and F. Magalhães. "Development of a digital twin of an onshore wind turbine using monitoring data." In *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1618, no. 2, p. 022065. IOP Publishing, 2020.

[3] O. O. Olatunji, P. A. Adedeji, N. Madushele, and T.-C. Jen. "Overview of digital twin technology in wind turbine fault diagnosis and condition monitoring." In *2021 IEEE 12th International Conference on Mechanical and Intelligent Manufacturing Technologies (ICMIMT)*, pp. 201-207. IEEE, 2021.

[4] I. Tajadura, J.E. Sierra-García, and M. Santos. "Communication library to implement digital twins based on matlab and IEC61131." In *APCA International Conference on Automatic Control and Soft Computing*, pp.