

GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA DE COMUNICACIONES

Curso 2020-21

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	
NÚMERO DE PLAZAS:	2	
ASIGNACIÓN DE TFG:	Selección directa	Selección por expediente

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.

- 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 ELECTRÓNCIA DE COMUNICACIONES

Curso 2020-21

Ficha de Trabajo Fin de Grado

DEPARTAMENTO:	Arquitectura de Computadores y Automática	
TÍTULO:	Despliegue y mantenimiento de red de sensores	
TITLE:	Deployment and provisioning of sensor network	
SUPERVISOR/ES:	José Ignacio Gómez Perez y Christian Tenllado van der Reijden	
NÚMERO DE PLAZAS:	1	
ASIGNACIÓN DE TFG:	Selección directa	Selección por expediente

OBJETIVOS:

A partir de un nodo sensor funcional basado en un dispositivo LoPy, el proyecto consistirá en el despliegue de una red de dichos sensores, previsiblemente en el Campus de Moncloa. Los sensores enviarán sus medidas a un servidor central que, además de recoger y filtrar los datos, permitirá realizar una gestión de la red. Objetivos específicos:

- Test de funcionamiento de nodos sensores disponibles alimentados por una placa solar.
- Envío de datos por Wifi usando MQTT a un servidor ubicado en la UCM.
- Instalación y configuración de un servidor ThingsBoard para la gestión de nodos y creación de paneles de control.
- Implementación de un sistema de autoregistro de los nodos en el gestor.
- Creación de una base de datos con los datos enviados por los sensores. Se generarán scripts para volcar el contenido (parcial) de la base de datos en formatos específicos.
- Filtrado de datos para detección de anomalías en las series temporales



METODOLOGÍA:

Se proporcionarán nodos sensores ya desarrollados, a los que habrá que añadir únicamente alguna funcionalidad mínima. Para conseguir los objetivos el estudiante deberá:

- Comprender el funcionamiento del nodo sensor proporcionado.
- Documentarse acerca del protocolo MQTT.
- Documentarse acerca de la plataforma ThingsBoard para proceder a su instalación y configuración.
- Estudiar métodos de filtrado y detección de anomalías en series temporales.
- Asegurar la correcta sincronización entre los distintos nodos desplegados.
- Diseñar la base de datos en la que se almacenarán los datos de los sensores.
- Implementar algoritmos de detección de anomalías en tiempo real.

BIBLIOGRAFÍA:

• ThingsBoard: https://thingsboard.io/

MQTT: http://mqtt.org/

- Blázquez et al. A review on outlier/anomaly detection in time series data.
 Enero 2020. Publicado online https://arxiv.org/pdf/2002.04236.pdf
- https://www.coursera.org/projects/anomaly-detection-time-series-keras



GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA DE COMUNICACIONES

Curso 2020-21

Ficha de Trabajo Fin de Grado

DEPARTAMENTO:	Arquitectura de Computadores y Automática	
TÍTULO:	Sistema IoT para monitorización de parámetros ambientales en entornos cerrados.	
TITLE:	IoT system for indoor environmental parameters monitoring	
SUPERVISOR:	Luis Piñuel Moreno	
NÚMERO DE PLAZAS:	1	
ASIGNACIÓN DE TFG:	Selección directa	Selección por expediente

OBJETIVOS:

El objetivo del Trabajo Fin de Grado es el diseño e implementación de una solución completa basada en el paradigma IoT (Internet of Things) para la monitorización completa de diversos parámetros ambientales (temperatura, humedad, presencia de gases, etc.) en entornos indoor.

En concreto, se propone el desarrollo de una infraestructura multisensor completa con nodos sensores de muy bajo coste (tipo ESP32 Pico Kit o similar) y una Raspberri Pi 3B+/4 como gateway.

El objetivo final es el estudio de distintas alternativas a nivel software y hardware para cada uno de los elementos que componen una arquitectura típica IoT (nodo sensor, Gateway y plataforma de adquisición, almacenamiento, manipulación y representación de datos). Se propondrán distintas alternativas para la comunicación con los nodos (e.g. I2C o SPI con distintos tipos de sensores), red de interconexión con el Gateway (Wifi, Low-Power Bluetooth, ...) y para filtrado, almacenamiento y representación de los datos (Node-Red, MongoDB y desarrollo de Dashboards Web). De entre todas las alternativas estudiadas, se elegirá aquella que se considere, en base a un conjunto de características y restricciones planteadas, la mejor alternativa.



METODOLOGÍA:

El Trabajo Fin de Grado se divide en tres partes claramente diferenciadas e independientes, aunque relacionadas entre sí:

- Arquitectura del nodo sensor. Se estudiarán diversas alternativas tanto para el nodo como para los sensores y se seleccionará aquellas más adecuadas en función de los criterios objetivo: coste, funcionalidad y facilidad de programación/despliegue. Se desarrollarán programas que permitan tanto la comunicación con el sensor a través de los protocolos correspondientes, como la comunicación con el Gateway a través de protocolos y tecnologías de red pertinentes.
- Implementación del Gateway. Se estudiarán distintas alternativas para la implementación de un Gateway basado en una placa Raspberry Pi de última generación equipada con las interfaces de red correspondientes, evaluando su rendimiento, consumo energético, y facilidad de programación.
- 3. Sistema de adquisición, representación y almacenamiento de datos. Se estudiarán distintas alternativas para filtrar, almacenar y representar de forma visual los datos obtenidos. Se propone el desarrollo de interfaces web o móvil (dashboards) para la visualización de los datos obtenidos en tiempo real a partir de los nodos sensor.

ACTIVIDADES FORMATIVAS:

Seminario para la definición del problema y objetivos, en el que se presentará los conceptos básico sobre sistemas IoT tratando especialmente los aspectos más relevantes paras el desarrollo del TFG: arquitectura del nodo sensor, redes y protocolos e interfaces, y sobre cualquier otra información necesaria para la realización de este Trabajo Fin de Grado.

- A. Al-Fuqaha, M. Guizani, M. Mohammadi, M. Aledhari and M. Ayyash, "Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications," in IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 17, no. 4, pp. 2347-2376, 2015, doi: 10.1109/COMST.2015.2444095.
- Q. F. Hassan, "Internet of Things A to Z: Technologies and Applications", Wiley-IEEE Press, 2018.
- F. Javed, M. K. Afzal, M. Sharif and B. Kim, "Internet of Things (IoT) Operating Systems Support, Networking Technologies, Applications, and Challenges: A Comparative Review," in IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 20, no. 3, pp. 2062-2100, 2018, doi: 10.1109/COMST.2018.2817685.



GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA DE COMUNICACIONES

Curso 2020-21

Ficha de Trabajo Fin de Grado

DEPARTAMENTO:	Arquitectura de Computadores y Automática	
TÍTULO:	Desarrollo de sistemas de control cooperativos para USVs en tareas de bioinspección	
TITLE:	Cooperative Control Systems for USVs in Bio-surveillance tasks	
SUPERVISOR/ES:	Héctor García de Marina, Juan Jiménez	
NÚMERO DE PLAZAS:	1	
ASIGNACIÓN DE TFG:	Selección directa	Selección por expediente

OBJETIVOS:

El desarrollo en las últimas décadas de microcontroladores con una capacidad de cómputo cada vez mayor, la disponibilidad de sensores y actuadores de bajo coste, así como la mejora en la duración y potencia de las baterías eléctricas, ha potenciado el desarrollo de vehículos autónomos terrestres, aéreos y acuáticos.

Dicha autonomía –entendida como la capacidad de navegar por sí mismos sin intervención humana— se apoya necesariamente en la implementación de sistemas de control fiables. En gran medida, el desarrollo de tales sistemas de control ha centrado el esfuerzo de investigación en el pasado, permitiendo multiplicar las aplicaciones de los vehículos autónomos.

Una línea de trabajo actual, de gran interés en el área de control, es el uso de grupos de vehículos trabajando de un modo coordinado para alcanzar un objetivo común. La idea subyacente es que un grupo de agentes sencillos puede ser, en muchos casos, más versátil y efectivo que un único agente sofisticado.

Una aplicación interesante para vehículos autónomos acuáticos es su empleo en la detección y demarcación de sustancias contaminantes de origen biológico. Así, es posible desplegar grupos de vehículos de superficie (USV) para que monitoricen de modo autónomo masas de aguas continentales (lagos, embalses, etc). El presente proyecto plantea como objetivo principal el desarrollo de nuevas estrategias de control cooperativo que permitan el despliegue de equipos de USVs para la detección y demarcación de sustancias contaminantes de origen biológico en aguas continentales.



Los objetivos específicos del trabajo son:

- Desarrollo de algoritmos de control cooperativo para la navegación en formación de grupos de USVs .
- Desarrollo de algoritmos de control cooperativo para el seguimiento de y la demarcación de zonas contaminadas mediante el empleo de grupos de USVs.
- Pruebas de concepto sobre USVs en entornos de simulación.

METODOLOGÍA:

El punto de partida será un simulador de USVs desarrollado en Python, actualmente disponible como resultado de trabajos previos.

Durante este trabajo fin de grado, el alumno desarrollará las siguientes labores:

- Desarrollo e implementación en Python de controladores cooperativos que permitan el guiado de los USVs hacia las zonas de máxima concentración de sustancias tóxicas. Seguimiento de las zonas en caso de que su forma sufra una variación temporal o se desplace por corrientes, etc.
- Desarrollo e implementación en Python de controladores cooperativos para la demarcación de zonas afectadas por sustancias tóxicas.
- Simulación del despliegue de USVs en un conjunto de escenarios.

Además, como tarea opcional y una vez cubiertas las etapas anteriores, se plantea la migración del código desarrollado al microcontrolador de USVs reales, para realizar alguna prueba de campo.

- Khan, B. Rinner, A. Cavallaro. Cooperative Robots to Observe Moving Targets: Review.
 IEEE Transactions on Cybernetics, Vol. 48 (1). 2018
- Robin and S. Lacroix. Multi-robot target detection and tracking: taxonomy and survey. Autonomous Robots, Vol. 40 (4). 2016
- J. Hu, L Xie, K.Y. Lum, J. Xu. Multiagent Information Fusion and Cooperative Control in Target Search. IEEE Trans. On Control Systems Technology, Vol. 21 (4). 2013
- Bruce A Francis, Manfredi Maggiore, Flocking and Rendezvous in Distributed Robotics. Springer Briefs in Electrical and Computer Engineering. ISSN 2191-8112 2016



GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA DE COMUNICACIONES

Curso 2020-21

Ficha de Trabajo Fin de Grado

DEPARTAMENTO:	Arquitectura de Computadores y Automática	
TÍTULO:	Utilización de técnicas de aprendizaje profundo y mediante refuerzo a aplicaciones robóticas	
TITLE:	Deep Reinforcement Learning for Robotic Applications	
SUPERVISOR/ES:	Eva Besada Portas y José Antonio López Orozco	
NÚMERO DE PLAZAS:	1	
ASIGNACIÓN DE TFG:	Selección directa	Selección por expediente

OBJETIVOS:

Las técnicas de Aprendizaje mediante Refuerzo (RL, Reinforcement Learning) constituyen una de las tres áreas fundamentales del aprendizaje máquina, en el que que también se incluyen las técnicas de aprendizaje supervisado y no supervisado. En el ámbito del RL se considera que hay que determinar cuales son las acciones más apropiadas que deben realizar uno o varios agentes con el objetivo de maximizar la recompensa que éstos acumulan durante el desarrollo de una misión determinada. El RL profundo (DLR, Deep RL) es una variante moderna de la técnica, que aprovecha la versatilidad de las redes neuronales profundas en los elementos que son responsables, dentro del paradigma de RL, de aprender que acciones deben realizar los agentes en diferentes tipos de situaciones. Aún más, el DRL está siendo utilizado con éxito en numerosas aplicaciones reales en la que los agentes son robots móviles o vehículos autónomos, para lograr variado tipo de objetivos, como por ejemplo esquivar objetos, seguir trayectorias o determinar la mejor trayectoria de un vehículo en un entorno determinado.

La búsqueda de acciones óptimas hace que los problemas que resuelven las técnicas de DRL sean también tratados, bajo una perspectiva diferente, dentro del ámbito de la teoría del Control Óptimo, cuyos fundamentos se encuentran relacionados con conocimientos adquiridos por los alumnos de la titulación de Ingeniería Electrónica de Comunicaciones en las asignaturas de Control de Sistemas y de Optimización. Por lo tanto, la aplicación de DLR a un problema real permitirá que el alumno relacione los conocimientos de ambas materias y los trate desde un enfoque que está siendo utilizado en la actualidad en números problemas.



Los objetivos específicos del trabajo son:

- La elección y solución de un problema con agentes robóticos o vehículos autónomos mediante técnicas de DRL.
- El análisis sistemático de las limitaciones y soluciones proporcionadas por las técnicas implementadas.

METODOLOGÍA:

Para realizar el trabajo propuesto el alumno deberá seguir los siguientes pasos:

- Revisión del estado del arte en algoritmos y aplicaciones de DRL, haciendo un hincapié especial en aquellos relacionados con problemas robóticos o con vehículos autónomos.
- Resolución de un problema concreto mediante alguna de las técnicas identificadas durante la revisión del estado del arte, usando las librerías de DLR de MATLAB o Python.
- Análisis sistemático de los resultados obtenidos por la técnica implementada en diferentes escenarios del problema elegido. Determinación de las limitaciones e incorporación de modificaciones en la técnica.
- Elaboración de la memoria.

ACTIVIDADES FORMATIVAS:

Seminario para la definición del problema y objetivos; sobre las técnicas de DRL; sobre el problema concreto que se desea resolver; y sobre cualquier otra información necesaria para la realización de este Trabajo Fin de Grado.

- DRL for real world robotics (último acceso 21/05/2020)
 https://towardsdatascience.com/reinforcement-learning-for-real-world-robotics-148c81dbdcff
- Pagina web de aplicaciones y dificultades del RL (último acceso 21/05/2020)
 https://medium.com/@mohamadtweets/reinforcement-learning-in-the-wild-and-lessons-learned-c4b7aa04c3a5
- How to train your robot with DRL (último acceso 21/05/2020)
 https://es.mathworks.com/videos/how-to-train-your-robot-with-deep-reinforcement-learning-1580377250741.html
- S. Aradi. Survey of Deep Reinforcement Learning for Motion Planning of Autonomous Vehicles. 2020.
- A. Cabañeros Autonomous Vehicle navigation with Deep Reinforcement Learning.
 Trabajo Fin de Master, 2019.



GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA DE COMUNICACIONES

Curso 2020-21

Ficha de Trabajo Fin de Grado

DEPARTAMENTO:	Arquitectura de Computadores y Automática	
TÍTULO:	Sistema inteligente de reconocimiento automático de instrumentos musicales	
TITLE:	Intelligent System for Automatic Musical Instrument Recognition	
SUPERVISOR/ES:	Eva Besada Portas y Luis Piñuel Moreno	
NÚMERO DE PLAZAS:	1	
ASIGNACIÓN DE TFG:	Selección directa	Selección por expediente

OBJETIVOS:

El reconocimiento automático de instrumentos es una tarea fundamental dentro del ámbito de la recuperación de información musical, en la que se intenta identificar los instrumentos musicales que aparecen en una grabación. Para llevarla a cabo, se suelen obtener diferentes características de la grabación (p.e. las frecuencias predominantes, el espectrograma de Mel, el transitorio del ataque) mediante técnicas de Sistemas Lineales y Procesamiento de Señales, para a continuación, utilizarlas como entradas de diferentes algoritmos clásicos de clasificación de Inteligencia Artificial (p.e. K-means, Principal Component Analysis) o modernas técnicas de Aprendizaje Máquina (p.e. las redes convolucionales profundas). Por lo tanto, la resolución de un problema de este tipo permitirá al alumno poner en práctica conocimientos relacionados con las materias de Sistemas y Control y de Sistemas de Comunicación de la titulación de Ingeniería Electrónica de Comunicaciones, y adquirir nuevos conocimientos sobre técnicas de clasificación de Inteligencia Artificial (IA) y Aprendizaje Máquina (AM).

Por otra parte, el uso combinado de diferentes técnicas puede mejorar el resultado de un único clasificador. Además, las técnicas más modernas requieren de un tiempo de cómputo elevado, que puede ser mejorado mediante la implementación de las mismas en un acelerador computacional adecuado. Para poder realizar esta implementación, el alumno pondrá en práctica conocimientos relacionados con las materias de Sistemas de la titulación y aprenderá a utilizar aceleradores orientados a la IA y el AM.



Los objetivos específicos del trabajo son:

- El desarrollo de un reconocedor automático de instrumentos musicales combinando técnicas de Procesamiento de Señales, IA y AM.
- La implementación del reconocedor desarrollado sobre un acelerador hardware adecuado.

METODOLOGÍA:

Para realizar el trabajo propuesto el alumno deberá seguir los siguientes pasos:

- Revisión del estado del arte en algoritmos de reconocimiento de instrumentos musicales, haciendo un énfasis especial en aquellos que hacen uso de técnicas de IA y en la determinación de las características que se utilizan de forma habitual para caracterizar cada grabación.
- Selección de las características y del conjunto de algoritmos adecuados para los objetivos planteados.
- Implementación y evaluación preliminar de un prototipo del sistema automático de identificación de instrumentos, usando MATLAB o Python.
- Caracterización de las necesidades computacionales de la solución propuesta y selección de un acelerador adecuado entre los distintos disponibles en el mercado.
- Implementación de un prototipo acelerado del sistema de identificación musical y evaluación experimental del sistema.
- Elaboración de la memoria.

ACTIVIDADES FORMATIVAS:

Seminario para la definición del problema y objetivos; sobre las técnicas de extracción de características musicales; sobre algoritmos de clasificación de IA y AM; sobre aceleradores hardware y optimización de algoritmos de IA y AM; y sobre cualquier otra información necesaria para la realización de este Trabajo Fin de Grado.

- A. Eronen. Comparison of features for musical instrument recognition. In IEEE Applications of Signal Processing to Audio and Acoustics. 2001.
- Y. Takahashi and K. Kondo. Comparison of two classification methods for musical instrument identification. In IEEE 3rd Global Conference on Consumer Electronics (GCCE), 2014.
- D.G. Bhalke, C.B. Rama Rao and D.S. Bormane. Automatic musical instrument classification using fractional fourier transform based-mfcc features and counter propagation neural network. Journal of Intelligent Information Systems, 2015.
- V. Lostanlen and C.E. Cella. "Deep convolutional networks on the pitch spiral for music instrument recognition", 17th International Society for Music Information Retrieval Conference, 2016.
- Y. Han, J. Kim and K. Lee. Deep Convolutional Neural Networks for Predominant Instrument Recognition in Polyphonic Music. IEEE/ACM Transactions on Audio, Speech, and Language Processing. vol. 25, no. 1, 2017.



- V. Sze, Y. Chen, J. Emer, A. Suleiman and Z. Zhang. Hardware for machine learning: Challenges and opportunities, 2017 IEEE Custom Integrated Circuits Conference (CICC), 2017
- V. Sze, Y. Chen, T. Yang, and J. Emer. Efficient Processing of Deep Neural Networks: An Algorithm-Hardware Co-design Perspective. Synthesis Lectures on Computer Architecture, Morgan & Claypool, 2020.
- B. L. Deng, G. Li, S. Han, L. Shi and Y. Xie, Model Compression and Hardware Acceleration for Neural Networks: A Comprehensive Survey, in *Proceedings of the IEEE*, vol. 108, no. 4, 2020.



GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA DE COMUNICACIONES

Curso 2020-21

Ficha de Trabajo Fin de Grado

DEPARTAMENTO:	Arquitectura de Computadores y Automática	
TÍTULO:	Localización relativa de sensores con chips de banda <i>ultra</i> ancha	
TITLE:	Relative localization of sensors using ultra wideband chips	
SUPERVISOR/ES:	Héctor García de Marina y Eva Besada Portas	
NÚMERO DE PLAZAS:	1	
ASIGNACIÓN DE TFG:	Selección directa	Selección por expediente

OBJETIVOS:

El despliegue de sensores móviles para obtener información de áreas grandes es de interés en campos tales como la agricultura intensiva, la monitorización ambiental, o la navegación de robots móviles. Para poder explotar las lecturas de los sensores es necesario en muchas aplicaciones, como por ejemplo la de realizar un mapa o estimar puntos de interés, conocer la posición relativa de dichas lecturas. Desafortunadamente, existen escenarios donde los sistemas de posición por satélite no son efectivos, bien porque no dan una medida fiable, o bien porque no son directamente accesibles. Una forma reciente de resolver el problema es usar tecnología basada en radiofrecuencia de banda ultra ancha, ya que puede dar información sobre las distancias entre chips con resolución de cm para separaciones de varios centenares de metros.

Las posiciones relativas entre los sensores se pueden reconstruir a partir de las lecturas de distancias entre ellos utilizando algoritmos de optimización o de triangulación (*Rigidity theory*). Por medio del uso de estos métodos, el alumno podrá poner en práctica en un sistema real de sensores distribuidos los conocimientos adquiridos en las materias de Sistemas de Control y Sistemas de Comunicación de la titulación de Ingeniería Electrónica de Comunicaciones.

Los objetivos específicos del trabajo son:

 La puesta en marcha de una red distribuida de chips de banda ultra ancha, en donde cada chip se comunicará con sus vecinos para obtener la distancia entre ellos.



 La implementación de uno o varios algoritmos, de manera centralizada o distribuida, para reconstruir las posiciones relativas (en 2 o 3 dimensiones) de los chips.

METODOLOGÍA:

Para realizar el trabajo propuesto el alumno deberá seguir los siguientes pasos:

- Revisión del estado del arte en algoritmos centralizados y distribuidos de optimización y triangulación para la reconstrucción de posiciones relativas a partir de conjuntos de distancias.
- Configuración del firmware de los Decawave 1001 (chip de radiofrecuencia de banda ultra ancha) para poder medir la distancia entre ellos.
- Desarrollo de un programa en (C, C++ o Python) para monitorizar las lecturas de distancias entre los chips.
- Implementación en (C a bordo del chip o Python en un PC) de algoritmo(s) para la reconstrucción de las posiciones relativas entre los chips.
- Evaluación del sistema completo bajo diferentes escenarios, construidos variando la localización relativa de los sensores.
- Elaboración de la memoria.

- Aspnes, J., Eren, T., Goldenberg, D. K., Morse, A. S., Whiteley, W., Yang, Y. R., ... & Belhumeur, P. N. (2006). A theory of network localization. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 5(12), 1663-1678.
- Eren, T., Goldenberg, O. K., Whiteley, W., Yang, Y. R., Morse, A. S., Anderson, B. D., & Belhumeur, P. N. (2004). Rigidity, computation, and randomization in network localization. In *IEEE INFOCOM 2004*.
- Calafiore, G. C., Carlone, L., & Wei, M. (2012). A distributed technique for localization of agent formations from relative range measurements. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part A: Systems and Humans, 42*(5), 1065-1076.



GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA DE COMUNICACIONES

Curso 2020-21

Ficha de Trabajo Fin de Grado

DEPARTAMENTO:	Arquitectura de Computadores y Automática	
TÍTULO:	Desarrollo de una práctica remota de control del robot DOBOT Magician	
TITLE:	Developing a new remote laboratory for controlling DOBOT Magician robot	
SUPERVISOR/ES:	José Antonio López Orozco y Eva Besada Portas	
NÚMERO DE PLAZAS:	1	
ASIGNACIÓN DE TFG:	Selección directa	Selección por expediente

OBJETIVOS:

El diseño de prácticas remotas que permitan a los alumnos el uso de hardware del laboratorio para la realización de prácticas desde casa es cada día más necesario. La creación de estas prácticas tiene grandes ventajas frente al formato presencial tradicional, ya que permite un mayor tiempo de uso del hardware disponible y posibilita el acceso de los alumnos a través de internet a dispositivos reales, que no siempre son sustituibles por el uso de simuladores. De este modo un solo equipo puede ser utilizado por muchos alumnos, que pueden gestionar mejor su tiempo y utilizar los recursos disponibles fuera del horario presencial de las prácticas y repetir la práctica las veces que necesiten para una mejor comprensión de esta.

Para el diseño de una práctica remota de un robot es necesario contemplar varios aspectos importantes: (1) el hardware debe permitir un control abierto y accesible desde entornos configurables y programables; (2) se debe tener dar acceso mediante un portal web al control de la práctica; (3) hay que incorporar una cámara que permita al alumno ver qué está sucediendo durante el experimento; y (4) es necesario proporcionar elementos que permitan la recogida de datos para analizar el experimento.

En este trabajo se propone preparar el hardware y software necesario para que el robot manipulador *DOBOT Magician* pueda ser utilizado por los alumnos en una práctica remota y mostrar sobre una práctica ejemplo las posibilidades disponibles.



METODOLOGÍA:

Para realizar el trabajo propuesto el alumno deberá seguir los siguientes pasos:

- Revisión del funcionamiento del robot manipulador DOBOT Magician. Se deberá conocer el funcionamiento del robot y las herramientas disponibles para su uso en el laboratorio.
- Diseño de un simulador del robot manipulador a partir del desarrollo de las ecuaciones de la cinemática directa e inversa.
- Desarrollo del software de control para interactuar con el robot desde un microcontrolador externo tipo Arduino o Raspberry Pi.
- Conexión del microcontrolador a una herramienta software que permita dar acceso remoto a los alumnos, a través de internet, al software de control desarrollado. En concreto, para este fin se utilizará la metodología de puesta a punto de laboratorios remotos que se está actualizando en el PIMCD 139/2019.
- Diseño y puesta en funcionamiento de una práctica para control del robot.
- Desarrollo de la documentación técnica necesaria para la creación de nuevas prácticas en el futuro.

ACTIVIDADES FORMATIVAS:

Seminarios sobre la definición del problema y objetivos; sobre el uso del robot DOBOT Magician; sobre el entorno utilizado para dar conexión remota a las prácticas; y sobre cualquier otra información necesaria para la realización de este Trabajo Fin de Grado.

- Besada-Portas, E., Bermúdez-Ortega, J., de la Torre, L., De la Cruz, J., & López-Orozco, J. (2016). Lightweight Node.js & EjsS-Based Web Server for Remote Control Laboratories. IFACPapersOnLine, 49(6), 127-132.
- Bermúdez-Ortega, J., Besada-Portas, E., López-Orozco, J. A., & de la Cruz, J. (2015). Remote Web-Based Control Laboratory for Mobile Devices Based on EjsS, Rapberry Pi and Node.js. IFAC-PaapersOnLine, 48(29), 158-163.
- Besada Portas, E. (2020). Herramienta integral y de bajo coste para el desarrollo de prácticas remotas para las asignaturas de Ciencias e Ingeniería. PIMCD-UCM 139/2019.
- Página web del DOBOT Magician. dobot.cc/dobot-magician/productoverview.html (último acceso 21/05/2020)



GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA DE COMUNICACIONES

Curso 2020-21

Ficha de Trabajo Fin de Grado

DEPARTAMENTO:	Arquitectura de Computadores y Automática	
TÍTULO:	Procesamiento y control remoto de señales y sistemas reales	
TITLE:	Remote processing and control of real signals and systems	
SUPERVISOR/ES:	Jesús Chacón	
NÚMERO DE PLAZAS:	1	
ASIGNACIÓN DE TFG:	Selección directa	Selección por expediente

OBJETIVOS:

El procesamiento y control de señales y plantas reales es una tarea que permite a un estudiante de Ingeniería Electrónica de Comunicaciones poner en práctica parte de las técnicas y conocimientos adquiridos en muchas asignaturas del Grado de Ingeniería de Electrónica en Comunicaciones. La programación de las técnicas de adquisición y procesamiento de señales y del control de un sistema en un PC conectado a Internet puede permitir, siempre y cuando se use la metodología adecuada, que los alumnos analizen el comportamiento de diferentes señales y controladores remotamente (desde sus PCs, portátiles y tablets), de forma análoga a la que se ha realizado tradicionalmente en los laboratorios presenciales.

Teniendo en cuenta las necesidades actuales y previsibles de recursos de laboratorios online para el curso que viene, en este Trabajo Fin de Grado se propone la ampliación de los recursos de laboratorios remotos del área de Ingeniería de Sistemas y Automática, para que los alumnos puedan realizar a través de Internet Practicas de Procesamiento de Señales y Control de Sistemas sobre señales y dispositivos reales. Aun más, se dará acceso remoto a los sistemas que se usan de forma presencial en el laboratorio, de forma que los alumnos puedan realizar las prácticas de forma remota o presencial, según las necesidades docentes del momento.

Más en concreto, los objetivos del proyecto son que el alumno:



- 1.- Rediseñe la parte del hardware necesaria de las prácticas que serán actualizadas para poder conectar/manipular/configurar diferentes dispositivos del laboratorio desde una Raspberry PI.
- 2.- Programe las funciones y recursos necesarios para que los alumnos puedan, de forma remota y desde sus equipos (PCs, portátiles o tablets), analizar el comportamiento y configurar el procesamiento/control de las señales y la planta.

METODOLOGÍA:

Para realizar el trabajo propuesto el alumno deberá seguir los siguientes pasos:

- 1.- Estudiar y analizar el material y recursos necesarios para el correcto funcionamiento de las señales y planta reales. Se le proporcionará al alumno todo el material necesario para realizar este paso.
- 2.- Diseñar la parte del hardware de laboratorio que es necesaria para conectar/manipular/configurar diferentes dispositivos del laboratorio desde una Raspberry PI.
- 3.- Programar la funcionalidad del procesador, controlador y de los recursos adicionales necesarios para poder visualizar, de forma remota, el funcionamiento de las prácticas a través de internet. Este paso se realizará siguiendo una metodología en la que las labores de programación necesarias se reducen y concentran en torno a los objetivos propios de cada experiencia y en la que el entorno gráfico se construye mediante una herramienta de diseño de interfaces visual.
- 4.- Comprobar el correcto funcionamiento de las prácticas diseñadas.
- 5.- Elaboración de la memoria.

ACIVIDADES FORMATIVAS:

Seminario para la definición de las prácticas y objetivos; para el diseño de hardware necesario para conectar los dispositivos a la Raspberry PI; para la implementación del procesamiento, control y entorno gráfico necesario para el acceso remoto a las experiencias; y de cualquier otra información necesaria para la realización de las prácticas.

BIBLIOGRAFÍA:

E. Besada-Portas, J. Bermudez-Ortega, J.A. Lopez-Orozco, L. de la Torre Cubillo,
 J.M. de la Cruz. Lightweight Node.js & EJsS-based Web Server for Remote
 Control Laboratories. 11th IFAC Symposium on Advances in Control Education.



06/2016

- J. Bermudez-Ortega, E. Besada-Portas, J.A. Lopez-Orozco, J. Bonache-Seco, J.M. de la Cruz. Remote web-based control laboratory for mobile devices based on EJsS, Raspberry Pi and Node.js. IFAC-PapersOnLine. 48 29, pp. 158 163. 11/2015
- J. Saenz, J. Chacon, L. D. L. Torre, A. Visioli, and S. Dormido, "Open and low-cost virtual and remote labs on control engineering," IEEE Access,vol. 3, pp. 805–814, 2015.



GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA DE COMUNICACIONES

Curso 2020-21

Ficha de Trabajo Fin de Grado

DEPARTAMENTO:	Arquitectura de Computadores y Automática	
TÍTULO:	Actualización y programación del robot Scorbot-ER Vplus	
TITLE:	Updating and programming of Scorbot-ER Vplus robot	
SUPERVISOR/ES:	José A. López Orozco y Juan F. Jiménez Castellanos	
NÚMERO DE PLAZAS:	2	
ASIGNACIÓN DE TFG:	Selección directa	Selección por expediente

OBJETIVOS:

El robot Scorbot-ER Vplus es un robot manipulador diseñado por la empresa Eshed Robotec y comercializado en los años 90. Consta de cinco articulaciones y una pinza, y está específicamente diseñado para la enseñanza de modo que, programado mediante un lenguaje orientado a robot (ACL), puede realizar multitud de operaciones.

Cada uno de sus ejes está actuado por un motor de 12 VCC (potencia de pico de 70 W) con reductora y encoder óptico. El control del robot es realizado por el Controlador-A, basado en un Motorola 68010, que opera en tiempo real, es multitarea y controla la velocidad de los motores mediante señales PWM y un control PID.

Su manejo puede ser manual (con una botonera de enseñanza) o programado con el lenguaje ACL. Para la programación es necesario conectar por RS232 cualquier PC que, actuando como un terminal, puede volcar los programas o interactuar con el controlador por medio del interfaz ATS y el software ScorBase.

El robot Scorbot-ER Vplus consta de una resistente estructura metálica accionada por engranajes y correas que le dotan de una gran estabilidad y robustez. Prueba de ello es que lleva funcionando más de veinte años sin percances destacables. Sin embargo, el controlador-A, basado en un microcontrolador potente para la época, está comenzando a fallar y es demasiado limitado para desarrollar nuevas prácticas puesto que dispone de: 64 Kb de sistema y 128 Kb de usuario, un interfaz RS232 de comunicación y un software para el sistema operativo MS-DOS.



Por tanto, este trabajo propone actualizar el controlador del robot ScortBot-ER Vplus preparando el hardware (un nuevo microcontrolador tipo RaspBerry Pi o similares) y el software de control (nuevas librerías) necesarios para que el robot pueda utilizarse con los equipos y software actuales. Esto dotará al robot de nuevas posibilidades como conexión remota por Internet, interacción con otros dispositivos, uso con Matlab, etc., lo que permitirá el desarrollo de múltiples prácticas más avanzadas.

METODOLOGÍA:

Para realizar el trabajo propuesto se ofertan dos plazas, de modo que cada alumno pueda centrarse en una tarea concreta conducente al desarrollo del nuevo controlador del ScorBot.

Tarea 1: Manejo del hardware del manipulador

Esta tarea se centra en la interacción y control del nuevo microcontrolador con las entradas y salidas del robot. Para ello deberá:

- Actuar sobre los motores del Scorbot: acondicionar la señal, programar el controlador de potencia, ...
- Lectura de encoders y control en velocidad y posición de los motores.
- Gestión de otro tipo de señales: sensores de contacto, infrarrojos, etc.
- Diseñar e implementar el software necesario para evaluar el correcto funcionamiento del robot y crear una librería para su utilización desde software de alto nivel.

Tarea 2: Manejo software del manipulador

Esta tarea tiene como finalidad, poder programar tareas en el Scorbot de modo que pueda utilizarse para el desarrollo de prácticas para el aprendizaje de los alumnos del uso de manipuladores. Para ello deberá:

- Desarrollar un simulador de la cinemática del robot. Basado en los parámetros del robot deberá programar en Matlab un simulador del Scorbot y posteriormente, una vez verificado su correcto funcionamiento, trasladarlo al microcontrolador.
- Implementar, basado en el simulador anterior, un emulador de órdenes a nivel de robot (similar al lenguaje ACL).
- Desarrollar una librería para la programación del robot en lenguajes de alto nivel (lenguajes como C o Phyton).
- Diseñar un ejemplo de práctica que permita mostrar las posibilidades del software desarrollado.

Estas tareas pueden realizarse en equipo entre los dos alumnos o de forma independiente. Por un lado, la Tarea 1 puede realizarse sin necesidad de interacción con software de alto nivel. Por el otro, la Tarea 2 se puede desarrollarse en un microcontrolador diferente donde implementar el simulador del manipulador



independientemente (obteniendo los datos necesarios usando el controlador actual) y conectando el microcontrolador a un emulador del ScorBot.

ACTIVIDADES FORMATIVAS:

Seminario para: la definición del problema y objetivos; manejo y programación de manipuladores; uso del robot Scorbot-ER Vplus y del funcionamiento del controlador-A; y sobre cualquier otra información necesaria para la realización de este Trabajo Fin de Grado.

- SCORBOT-ER Vplus. Manual de usuario.
- ATS (Advanced Terminal Software). Reference Guide for Controller-A
- ACL (Lenguaje de Control Avanzado). Guía de Referencia para Controlador-A



GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA DE COMUNICACIONES

Curso 2020-21

Ficha de Trabajo Fin de Grado

DEPARTAMENTO:	Estructura de la materia, física térmica y electrónica	
TÍTULO:	Adquisición de datos mediante la tarjeta de sonido del ordenador	
TITLE:	Data acquisition with a PC sound card	
SUPERVISOR/ES:	Rodrigo García Hernansanz y Germán González Díaz	
NÚMERO DE PLAZAS:	1	
ASIGNACIÓN DE TFG:	Selección directa	Selección por expediente

OBJETIVOS:

El objetivo principal de este trabajo de fin de grado es el análisis de señales mediante la transformada de Fourier.

METODOLOGÍA:

Para lograr dicho objetivo, se estudiará la bibliografía propuesta de cara a realizar los montajes necesarios para llevar a cabo la adquisición de datos.

Dicha adquisición se realizará mediante la tarjeta de sonido de un ordenador personal y una aplicación de osciloscopio. Posteriormente se analizarán diferentes señales y se realizarán diferentes experiencias.

ACTIVIDADES FORMATIVAS:

- Se realizarán reuniones periódicas con el alumno de cara a resolver las posibles dudas que surjan durante la realización del trabajo.
- Análisis en laboratorio de diferentes componentes que puedan ser necesarios para el estudio
- Asesoramiento y ayuda en los análisis de señales.



- -Umer Hassan, Saad Pervaiz, and Muhammad Sabieh Anwar. *Inexpensive Data Acquisition with a Sound Card*. The Physics Teacher 49(9):537-539 · December 2011.
- https://www.mathworks.com/help/daq/examples/getting-started-acquiring-data-using-audio-in-session.html
- https://www.zeitnitz.eu/scope_en



GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA DE COMUNICACIONES

Curso 2020-21

Ficha de Trabajo Fin de Grado

DEPARTAMENTO:	Estructura de la Materia, Física Térmica y Electrónica	
TÍTULO:	Diseño de un circuito integrado de control de señal de	
TITLE:	pulsos de anchura modulada Design of an integrated circuit for pulse width modulated signal control	
SUPERVISOR/ES:	Álvaro del Prado Millán	
NÚMERO DE PLAZAS:	1	
ASIGNACIÓN DE TFG:	Selección directa	Selección por expediente

OBJETIVOS:

Diseño, a nivel de transistores, de un circuito integrado de control de señal de pulsos de anchura modulada para su aplicación en conversores DC-DC.

El diseño debería incluir, al menos, los siguientes módulos: Amplificador de error, oscilador, comparador, *driver* de salida.

Especificación de las dimensiones de los transistores para una tecnología dada.

Simulación que demuestre la funcionalidad del diseño.

Esquema a nivel de bloques funcionales completo del circuito integrado, con la especificación de cada uno de los pines.

METODOLOGÍA:

Se diseñarán los distintos bloques funcionales del circuito integrado basándose en una tecnología existente. En principio se considerará una tecnología CMOS.

La funcionalidad y el diseño se comprobarán mediante simulación con Pspice. Dado que el diseño se hará a nivel de transistores, se debe considerar un modelo para los transistores que tenga en cuenta las dimensiones del canal, movilidad, capacidad de óxido de puerta, tensión umbral y capacidades parásitas.



Se deberán aplicar los conocimientos de las distintas asignaturas cursadas en el Grado para diseñar los módulos.

ACTIVIDADES FORMATIVAS:

Reunión inicial con el supervisor para concretar las especificaciones del diseño.

Reuniones periódicas con el supervisor para resolver dudas que puedan surgir en el diseño e ir comentando los resultados.

Orientación por parte del supervisor de cara a redactar la memoria.

- 1. N. Mohan. "Power Electronics: A First Course". Wiley, 2012.
- 2. P.R. Gray, P.J. Hurst, S.H. Lewis, R. G. Meyer. "Analysis and design of analog integrated circuits". John Willey and Sons, 2010.
- 3. A.S. Sedra, K.C. Smith. "Microelectronic circuits" Oxford University Press 2011.
- 4. A.J. Peyton, V. Walsh. "Analog electronics with op Amps" Cambridge University Press 1993.
- 5. S.M. Kang, Y. Leblebici. "CMOS Digital Integrated Circuits, Analysis and Design". Mc-Graw Hill.
- 6. D.D. Gajski, "Principios de Diseño Digital". Prentice Hall, 1997.
- 7. J.M. Rabaey, A. Chandrakasan, B. Nikolic. "Circuitos Integrados Digitales: una perspectiva de diseño", Prentice Hall, 2004.
- 8. Hojas de datos y documentación técnica de circuitos integrados comerciales.



GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA DE COMUNICACIONES

Curso 2020-21

Ficha de Trabajo Fin de Grado

DEPARTAMENTO:	Estructura de la Materia, Física Térmica y Electrónica	
TÍTULO:	Diseño de conversores DC-DC	
TITLE:	Design of DC-DC converters	
SUPERVISOR/ES:	Álvaro del Prado Millán	
NÚMERO DE PLAZAS:	1	
ASIGNACIÓN DE TFG:	Selección directa	Selección por expediente

OBJETIVOS:

Revisión de la funcionalidad y características de los circuitos integrados comerciales para la realización de conversores DC-DC.

Revisión de las distintas posibilidades para el diseño de conversores DC-DC sin aislamiento galvánico en función de las especificaciones.

Diseño detallado de un conversor DC-DC (*buck, boost* o *buck-boost*) que involucre la utilización de un circuito integrado de control PWM. El diseño deberá justificar los criterios de elección de los distintos componentes.

Simulación del diseño.

Comprobación de su funcionamiento en el laboratorio.

METODOLOGÍA:

La primera parte es una revisión y estudio del mercado de circuitos integrados para el control de alimentación, centrándose en los circuitos de utilidad para la realización de conversores DC-DC. Esta revisión se hará consultando las páginas web de fabricantes y distribuidores de circuitos integrados.



Con esta información, se hará una pequeña guía de las distintas posibilidades de diseño en función de las especificaciones (principalmente niveles de señal y de potencia).

Finalmente se aplicará lo estudiado para un diseño concreto de un conversor básico (tipo *buck*, *boost* o *buck-boost*) que utilice un circuito integrado de control PWM (control de señal de pulsos de anchura modulada), preferiblemente basado en control en modo de corriente. Las especificaciones de diseño deben ser compatibles con el material utilizado habitualmente en el laboratorio docente (entrada de hasta 30 V, 2 A) y deberá utilizar preferentemente circuitos integrados de montaje en orificio pasante. El diseño deberá detallar los procedimientos de elección de componentes (bucle de control, elementos para funciones adicionales del circuito integrado, componentes magnéticos, dispositivos de conmutación). No se trata de hacer un diseño en condiciones límite, sino de estudiar y resolver las condiciones de un diseño.

Se demostrará la viabilidad del diseño mediante una simulación con PSpice lo más realista posible y mediante su montaje en el laboratorio (en placa de entrenador, no se requerirá la fabricación de una placa de circuito impreso).

ACTIVIDADES FORMATIVAS:

Reunión inicial con el supervisor para concretar los detalles del trabajo.

Reuniones periódicas con el supervisor para resolver las dudas que puedan surgir, especialmente durante la fase de diseño del conversor.

Orientación por parte del supervisor de cara a redactar la memoria.

- 1. N. Mohan. "Power Electronics: A First Course". Wiley, 2012.
- 2. N. Mohan, T. M. Undeland, W. P. Robbins. "Power Electronics: Converters, Applications and Design". John Willey and Sons, 2003.
- 3. J. G. Kassakian, M. F. Schlecht, G. C. Verghese "Principles of Power Electronics". Pearson (Addison-Wesley), 1991.
- 4. Documentación técnica de los fabricantes de circuitos integrados (datasheets, application notes).



GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA DE COMUNICACIONES

Curso 2020-21

Ficha de Trabajo Fin de Grado

DEPARTAMENTO:	Estructura de la Materia, Física Térmica y Electrónica	
TÍTULO:	Comunicaciones inalámbricas de alta velocidad	
TITLE:	High rate wireless communications	
SUPERVISOR/ES:	Javier Olea Ariza	
NÚMERO DE PLAZAS:	1	
ASIGNACIÓN DE TFG:	Selección directa	Selección por expediente

OBJETIVOS:

Debido a la necesidad de transmisión de información mediante comunicaciones inalámbricas de alta velocidad (5G, realidad virtual, drones, video 4K/8K, etc), resulta de interés el análisis de las tecnologías involucradas, actuales y futuras. El alumno deberá analizar aplicaciones y servicios, además de parámetros de importancia tanto económicos (compañías, inversiones, costes, etc), como tecnológicos (velocidades, tecnologías, latencia, modulaciones, etc). Como resultado, el alumno desarrollará un informe del estado actual de este concepto, incluyendo el impacto social y económico, además de previsiones futuras, retos tecnológicos y posibles soluciones.

METODOLOGÍA:

El alumno deberá analizar la bibliografía disponible sobre el tema, principalmente en internet (artículos científicos, artículos de divulgación, publicaciones de organismos oficiales, hojas de datos de fabricantes, etc). Además, el alumno deberá realizar contactos y entrevistas con grupos de investigación y empresas del sector: empresas tecnológicas, operadoras de telefonía móvil, etc.

ACTIVIDADES FORMATIVAS:

Reuniones/tutorías con profesores expertos en comunicaciones.



- https://www.huawei.com/en/press-events/news/2019/9/innovative-5g-applications-new-experiences
- https://www.cnet.com/news/5g-and-face-tracking-the-weird-future-of-vr-ar-headsets-like-oculus-quest-and-hololens/
- https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2019-07-23-gartner-identifies-the-top-10-wireless-technology-tre
- https://www.fenitel.es/las-oportunidades-que-el-5g-ofrece-al-4k-en-la-4k-hdr-summit/
- https://www.businesswire.com/news/home/20191217005612/en/Global-Wireless-Display-Market-2020-2024-Rising-Popularity
- https://phys.org/news/2019-07-drone-transmits-uncompressed-4kvideo.html



GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA DE COMUNICACIONES

Curso 2020-21

Ficha de Trabajo Fin de Grado

DEPARTAMENTO:	Estructura de la Materia, Física Térmica y Electrónica	
TÍTULO:	Desarrollo de electrónica de pruebas, revisión y test del	
	sistema MAGIC EOT	
TITLE:	Development of ancillary electronics, revision and tests of	
	the system MAGIC EOT	
SUPERVISOR/ES:	Luis Ángel Tejedor Álvarez	
NÚMERO DE PLAZAS:	1	
ASIGNACIÓN DE TFG:	Selección directa	Selección por expediente

OBJETIVOS:

La UCM es responsable del desarrollo del sistema Trigger Interface Board (TIB), encargado del trigger estéreo de los telescopios grandes del Cherenkov Telescope Array (CTA).

Cuando uno de los telescopios detecta una señal envía un pulso de trigger a través de fibras ópticas a los telescopios vecinos. A su vez, también recibe las señales de triggers de los vecinos, y decide guardar la imagen de la cámara si el evento ha sido detectado por varios telescopios en una cierta ventana temporal.

Actualmente el primer telescopio grande de CTA (LST-1) se encuentra en periodo de pruebas en el Observatorio del Roque de los Muchachos, muy próximo a los telescopios MAGIC (Major Atmospheric Gamma-ray Imaging Cherenkov Telescope). Se desea probar el sistema de trigger estéreo del LST-1 utilizando la información de trigger de los telescopios MAGIC. Para ello se diseñó y construyó en la UCM hace un año el sistema MAGIC Electrical to Optical Transceiver (MAGIC-EOT), encargado de convertir las señales de trigger de MAGIC (en formato LVDS) en pulsos ópticos procesables por la TIB del LST-1. Sin embargo, este sistema no llegó a probarse.

El objetivo de este trabajo de fin de grado es diseñar y construir una placa electrónica que permitan convertir señales CMOS producidas por un generador de laboratorio en las señales LVDS que debe recibir el MAGIC-EOT, y viceversa, de LVDS a CMOS para ver en un único canal de osciloscopio. Esta placa de pruebas se utilizará para



caracterizar el sistema MAGIC-EOT y, en caso de que no funcione adecuadamente, se propondrán mejoras.

El detalle concreto de los objetivos sería:

- 1. Diseñar la PCB de la placa auxiliar conversora de CMOS a LVDS y de LVDS a CMOS con Altium Designer.
- 2. Fabricar la placa auxiliar y probarla.
- 3. Utilizar la placa auxiliar para probar el sistema MAGIC-EOT.
- 4. Proponer mejoras al sistema MAGIC-EOT si se considera necesario.

METODOLOGÍA:

Diseñar la placa de circuito impreso auxiliar con el software Altium Designer, utilizando una licencia comercial de la que se dispone.

Estudiar los estándares típicos de la industria y generar la documentación necesaria para que empresas externas puedan fabricar la placa diseñada.

Probar la placa auxiliar en el laboratorio.

Caracterizar el sistema MAGIC-EOT y proponer mejoras.

ACTIVIDADES FORMATIVAS:

Reuniones periódicas con Luis A. Tejedor

Aprender a utilizar el software Altium Designer

Utilización de instrumentación de laboratorio para probar los diseños realizados.

- G. Hermann, et.al. "A Trigger and Readout Scheme for Future Cherenkov Telescope Arrays". Proc. Of the 4th Int. Meeting on High Energy Gamma-Ray Astronomy, Heidelberg, Germany, July 2008. doi:10.1063/1.3076822
- J. Aleksic et al. for the MAGIC collaboration "Performance of the MAGIC stereo system obtained with Crab Nebula data". Astroparticle Physics, vol. 35, issue 7, pp.435-448, February 2012 doi:10.1016/j.astropartphys.2011.11.007
- Luis A. Tejedor "A New Analog Trigger System for the Cherenkov Telescope Array" UPM Ph.D. Thesis http://oa.upm.es/32941/



GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA DE COMUNICACIONES

Curso 2020-21

Ficha de Trabajo Fin de Grado

DEPARTAMENTO:	Estructura de la Materia, Física Térmica y Electrónica	
TÍTULO:	Sistema de comunicaciones inalámbrico entre laboratorios	
TITLE:	Wireless communications system for laboratories	
SUPERVISOR/ES:	Javier Olea Ariza	
NÚMERO DE PLAZAS:	2, independientes	
ASIGNACIÓN DE TFG:	Selección directa	Selección por expediente

OBJETIVOS:

Para la comunicación inalámbrica entre despachos y laboratorios (misma planta, unos 20 – 30 metros de distancia) se propone el diseño, montaje y puesta a punto de un sistema de comunicaciones basado en el protocolo push-to-talk. Tanto emisor como receptor deben ir alimentados mediante conexión a la red. El alumno deberá proponer un diseño optimizado en cuanto a complejidad y coste. Aunque los parámetros de diseño están completamente abiertos, la comunicación deberá ser o bien en banda libre o bien cumpliendo los requisitos para un sistema de comunicaciones sin licencia (típicamente 466 MHz, 2.4 GHz o 5 GHz, y hasta 0.5 W de potencia).

METODOLOGÍA:

- Lectura de la bibliografía recomendada. En particular será vital aclarar cuáles son los requisitos legales de potencia y frecuencia para un sistema de comunicaciones sin licencia.
- Simulación de los diferentes circuitos en Pspice o simulador similar. Obtención de los parámetros y restricciones de los diferentes diseños.
- Fabricación y montaje de los diferentes circuitos.
- Prueba de los circuitos fabricados y optimización de los mismos.

ACTIVIDADES FORMATIVAS:

Reuniones/tutorías con profesores expertos en electrónica y comunicaciones.



- Apuntes de la asignaturas de electrónica y de comunicaciones y la bibliografía incluida.
- https://walkie-talkie.info/licencia-radioaficionado/



GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA DE COMUNICACIONES

Curso 2020-21

Ficha de Trabajo Fin de Grado

DEPARTAMENTO:	Estructura de la Materia, Física Térmica y Electrónica	
TÍTULO:	Análisis, diseño, simulación, construcción y medidas de una guía de onda integrada en sustrato (SIW).	
TITLE:	Analysis, design, simulation, manufacture and measurements of a substrate integrated waveguide (SIW).	
SUPERVISOR/ES:	Luis Ángel Tejedor Álvarez	
NÚMERO DE PLAZAS:	1	
ASIGNACIÓN DE TFG:	Selección directa	Selección por expediente

OBJETIVOS:

Desde hace unos años se conoce la posibilidad de crear circuitos con las características propias de las guías de ondas en sustratos planares: es lo que se conoce como SIW (Substrate Integrated Waveguide).

El objetivo de este trabajo de fin de grado es estudiar esta tecnología, evaluar la influencia de la separación y el tamaño de los taladros mediante simulaciones electromagnéticas, y construir varios prototipos de línea de transmisión. Estos prototipos se medirán con un analizador vectorial de redes y se compararán las medidas con los resultados obtenidos en las simulaciones electromagnéticas.

METODOLOGÍA:

Estudiar en la literatura las características principales de las líneas SIW.

Diseñar una línea de transmisión en tecnología SIW.

Simular electromagnéticamente en HFSS la línea diseñada, para diferentes separaciones y tamaños de los taladros metalizados.

Estudiar los estándares típicos de la industria y generar la documentación necesaria para que empresas externas puedan fabricar las líneas diseñadas.



Medir los circuitos fabricados en el laboratorio con la ayuda de un analizador vectorial de redes.

ACTIVIDADES FORMATIVAS:

Reuniones periódicas con Luis A. Tejedor

Aprender a utilizar el software de simulación electromagnética HFSS y el software de diseño electrónico Altium Designer.

Utilización de instrumentación de laboratorio para probar los diseños realizados.

- Feng Xu and Ke Wu "Guided-Wave and Leakage Characteristics of Substrate Integrated" Waveguide. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, Vol.53, No.1, January 2005 doi: 10.1109/TMTT.2004.839303
- Dominic Deslandes and Ke Wu "Accurate Modeling, Wave Mechanisms and Design considerations of a Substrate Integrated Waveguide". IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, Vol.54, No.6, June 2006 doi:10.1109/TMTT.2006.875807
- Dominic Deslandes and Ke Wu Integrated Microstrip and Rectangular Waveguide in Planar Form. IEEE Microwave and Wireless Components Letters, Vol.11, No.2, February 2001 doi: 10.1109/7260.914305
- Zhang-Cheng Hao, Wei Hong, Ji-Xin Chen, Xiao-Ping Chen and Ke Wu "Compact Super-Wide Bandpass Substrate Integrated Waveguide (SIW) Filters". IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, Vol.53, No.9, September 2005 doi: 10.1109/TMTT.2005.854232
- William D'Orazio and Ke Wu "Substrate-Integrated-Waveguide Circulators Suitable for Millimeter-Wave Integration". IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, Vol.54, No.10, October 2006 doi: 10.1109/TMTT.2006.882897



GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA DE COMUNICACIONES

Curso 2020-21

Ficha de Trabajo Fin de Grado

DEPARTAMENTO:	Estructura de la Materia, Física Térmica y Electrónica	
Τίτυιο:	"Diseño y optimización de líneas de transmisión para RF"	
TITLE:	"Design and optimization for RF transmission lines"	
SUPERVISOR/ES:	Sagrario Muñoz, Pedro Antoranz	
NÚMERO DE PLAZAS:	1	
ASIGNACIÓN DE TFG:	Selección directa	Selección por expediente

OBJETIVOS:

Se diseñarán tres líneas de transmisión: placas paralelas, microstrip y coaxial y se analizará su comportamiento en frecuencia. Se analizará el sistema que presenta el mayor ancho de banda en el rango de radiofrecuencias con el objetivo de conseguir un diseño optimizado.

METODOLOGÍA:

Se empleará el analizador vectorial para analizar el ancho de banda de los distintos sistemas.

ACTIVIDADES FORMATIVAS:

Aprender el manejo del analizado vectorial de impedancias y entender el comportamiento en frecuencia de distintos sistemas guiados.

- "Microwave Engineering". Third Edition David M. Pozar. John Wiley and Sons.
- "Foundations for Microwave Engineering". Second Edition. Robert E. Collin.
 Wiley-InterScience.



GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA DE COMUNICACIONES

Curso 2020-21

Ficha de Trabajo Fin de Grado

DEPARTAMENTO:	Estructura de la Materia, Física Térmica y Electrónica	
TÍTULO:	Construcción de un oxímetro para la medida del oxígeno en sangre y la frecuencia cardíaca.	
TITLE:	Development of an oximeter for measuring oxygen in blood and heart beat rate.	
SUPERVISOR/ES:	Francisco Javier Franco Peláez	
NÚMERO DE PLAZAS:	1	
ASIGNACIÓN DE TFG:	Selección directa	Selección por expediente

OBJETIVOS:

Pueden detectarse problemas respiratorios de diversos modos pero uno muy sencillo y barato es la detección del nivel de oxígeno en sangre. La técnica típica de medida consiste en medir la luz reflejada por el tejido humano con dos tipos distintos de LED, uno infrarrojo y otro de color, midiendo la diferencia de características entre las señales reflejadas y procesando los datos. Además, esta técnica permite medir de manera simple la frecuencia cardíaca.

METODOLOGÍA:

El procedimiento que se seguirá será el siguiente:

- 1.- Lectura de bibliografía y diseño de plan de desarrollo.
- 2.- Preparación de sistema de alimentación para dispositivos portátiles (p.e., elementos mecánicos para inserción de pilas).
- 3.- Selección de sensor (discretos o integrados) y preparación de partes mecánicas.
- 4.- Preparación de bloque de acondicionamiento de la señal. Posiblemente, se necesite elaborar una pequeña placa.
- 5.- Selección de microcontrolador, posiblemente integrado en kit de desarrollo comercial.
- 6.- Elección de método de muestra de resultados: LCD o pantalla de móvil.



7.- Desarrollo de software específico y calibración del sistema.

ACTIVIDADES FORMATIVAS:

Reuniones periódicas con el tutor que propone el trabajo.

- Guidelines for SpO2 Measurement Using the Maxim® MAX32664 Sensor Hub (https://www.maximintegrated.com/en/design/technical-documents/app-notes/6/6845.html)
- Microchip AN1525, "Pulse Oximeter Design Using Microchip's Analog Devices and dsPIC® Digital Signal Controllers (DSCs)", (https://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/00001525B.pdf)
- Texas Instruments, "Miniaturized Pulse Oximeter Reference Design", (http://www.ti.com/lit/ug/tidu542/tidu542.pdf)



GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA DE COMUNICACIONES

Curso 2020-21

Ficha de Trabajo Fin de Grado

DEPARTAMENTO:	Estructura de la Materia, Física Térmica y Electrónica / Física de la Tierra y Astrofísica	
TÍTULO:	Sismógrafo de bajo coste basado en acelerómetros	
TITLE:	Low cost accelerometer-based seismometer	
SUPERVISOR/ES:	Francisco Javier Franco Peláez / Maurizio Mattesini	
NÚMERO DE PLAZAS:	1	
ASIGNACIÓN DE TFG:	Selección directa	Selección por expediente

OBJETIVOS:

El desarrollo de los sistemas microelectromecánicos, o MEMS, ha permitido el desarrollo de sensores de movimiento compactos y muy baratos. En particular, los acelerómetros con tres ejes permiten medir vibraciones con una resolución de 1 cm/s² y frecuencias de varios kHz costando menos de un euro por sensor. Además, en muchos casos se realiza el acondicionamiento de señal directamente en el dispositivo y se transmite a un microcontrolador siguiendo protocolos convencionales como SPI o I²C.

En particular, se propone utilizar este sistema para construir sismógrafos de bajo coste, que consten de acelerómetros independientes conectados a un sistema de control que sea capaz de procesar la información y transmitirla a un usuario con el procedimiento que se considere más interesante.

METODOLOGÍA:

El procedimiento que se seguirá será el siguiente:

- 1.- Lectura de bibliografía y diseño de plan de desarrollo.
- 2.- Selección y compra del sensor o sensores más apropiados así como de elementos mecánicos.



- 3.- Opcionalmente, preparación de bloque de acondicionamiento de la señal y/o alimentación. Posiblemente, se necesite elaborar una pequeña placa.
- 4.- Selección de microcontrolador, posiblemente integrado en kit de desarrollo comercial. Es posible reemplazar este dispositivo por una Raspberry Pi o similar.
- 5.- Elección de método de muestra de resultados: Bien envío a la pantalla de móvil por Bluetooth o similar, bien transmisión por Ethernet, bien ambas.
- 6.- Desarrollo de software específico y calibración del sistema.

ACTIVIDADES FORMATIVAS:

Reuniones periódicas con los tutores que proponen el trabajo.

- Acelerómetros de ST: https://www.st.com/en/mems-and-sensors/accelerometers.html
- Ejemplo de sismógrafo casero basado en Arduino: https://create.arduino.cc/projecthub/mircemk/diy-sensitive-adxl335-earthquake-detector-d03702



GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA DE COMUNICACIONES

Curso 2020-21

Ficha de Trabajo Fin de Grado

DEPARTAMENTO:	Estructura de la Materia, Física Térmica y Electrónica	
TÍTULO:	Diseño y simulación de un sistema fotovoltaico realista.	
TITLE:	Design and simulation of a realistic photovoltaic system.	
SUPERVISOR/ES:	Enrique San Andrés	
NÚMERO DE PLAZAS:	2	
ASIGNACIÓN DE TFG:	Selección directa	Selección por expediente

OBJETIVOS:

El campo de las energías renovables en general, y de los sistemas fotovoltaicos en particular, es de gran actualidad, dada la grave crisis climática a la que nos enfrentamos en un futuro cercano. Esta crisis, junto a la reducción de costes de las energías renovables, está produciendo un crecimiento exponencial de la capacidad fotovoltaica instalada mundial. España es uno de los países con mayor crecimiento, dado nuestro excelente recurso solar y la eliminación de gran parte de las trabas regulatorias.

En este trabajo fin de grado se pretende que el alumno aplique los conocimientos adquiridos durante el grado, para introducirse en el campo de la energía fotovoltaica. Para ello se propone un camino con varios hitos: primero el alumno realizará una revisión del estado actual del modelo energético, para después centrarse en la tecnología fotovoltaica. Estudiará sus fundamentos físicos, así como los elementos que constituyen un sistema fotovoltaico (paneles, inversores, protecciones, cableado, etc.), las metodologías de diseño, así como la normativa española. Una vez adquiridos estos conocimientos, elaborará un proyecto de sistema fotovoltaico, que deberá ser lo más realista posible, y además simulará su comportamiento.

El detalle concreto de los objetivos es el siguiente:

1.- Obtener una visión de conjunto del modelo energético actual.



- 2.- Estudiar los fundamentos de la conversión fotovoltaica.
- 3.- Aprender el funcionamiento de los diferentes elementos de los sistemas fotovoltaicos.
- 4.- Asimilar los procedimientos de dimensionado de sistemas fotovoltaicos.
- 5.- Elaborar un proyecto realista de sistema fotovoltaico, incluyendo su simulación mediante herramientas informáticas de aplicación industrial (tales como PVSyst, SAM, etc.) y su análisis económico.

METODOLOGÍA:

- 1.-Lectura crítica de informes técnicos, libros y publicaciones sobre ingeniería fotovoltaica, donde se revise la situación actual de las energías renovables y en particular de la energía solar fotovoltaica, así como los aspectos teóricos detallados en el apartado de objetivos.
- 2.-Una vez adquiridos los conocimientos básicos necesarios, elaboración de un proyecto fotovoltaico dada una determinada hipótesis de trabajo (localización, necesidades energéticas, evaluación de tecnologías, etc.) definida por el alumno de acuerdo con el profesor.

ACTIVIDADES FORMATIVAS:

- 1.- Los estudiantes mantendrán reuniones periódicas para resolver las dudas que la realización del trabajo les plantee con el supervisor del trabajo, especialista en el campo de la energía fotovoltaica.
- 2.- Se realizará una visita a la sección de Sistemas Fotovoltaicos del CIEMAT.
- 3.- Se contactará con empresas que gestionen la operación de sistemas fotovoltaicos para la posible realización de visitas técnicas a sistemas fotovoltaicos en funcionamiento.

- 1.- O. Perpiñán, M. Castro, A. Colmenar "Energía Solar Fotovoltaica". Disponible bajo licencia *creative commons* en https://github.com/oscarperpinan/esf.
- 2.- E. Lorenzo "Ingeniería Fotovoltaica". Progensa, 2013.
- 3.- "Renewables 2019 Global Status Report". REN21.



- 4.- M. A. Green, K. Emery, Y. Hishikawa et al. "Solar cell efficiency tables". Progress in photovoltaics.
- 5.- R. A. Messenger, J. Ventre. "Photovoltaic Systems Engineering". 3rd ed. CRC Press.
- 6.- P. Würfel, U. Würfel. "Physics of solar cells. From Principles to New Concepts". 3ª edición. Wiley, 2016.

Esta es una bibliografía básica, que se actualizará y ampliará al comienzo del trabajo.



GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA DE COMUNICACIONES

Curso 2020-21

Ficha de Trabajo Fin de Grado

DEPARTAMENTO:	Estructura de la Materia, Física Térmica y Electrónica	
TÍTULO:	Desarrollo de un sistema de control de temperatura para caracterización de células solares en plataforma tipo Arduino.	
TITLE:	Temperature controller development for solar cells characterization in Arduino based platforms.	
SUPERVISOR/ES:	Eric García Hemme y Francisco Javier Franco Peláez	
NÚMERO DE PLAZAS:	1	
ASIGNACIÓN DE TFG:	Selección directa	Selección por expediente

OBJETIVOS:

El control de temperatura y disipación de calor en aplicaciones electrónicas es de vital importancia para el correcto funcionamiento de los dispositivos electrónicos. Asimismo, un sistema de control de temperatura es deseable para realizar una completa caracterización optoelectrónica de células solares y otros dispositivos electrónicos. Se pretende que el alumno que elija este trabajo se familiarice con alguna de las técnicas de control de temperatura, programación asociada en diferentes plataformas como Arduino o similar y montaje experimental. El detalle concreto de los objetivos es el siguiente:

- 1.- Aprendizaje de las técnicas habituales de control de temperatura con los dispositivos correspondientes (células Peltier, termopares, disipadores, etc.)
- 2.- Aprendizaje de protocolos de comunicación con equipos electrónicos como fuentes de corriente, y programación en microcontroladores tipo Arduino para la comunicación y control de los diferentes dispositivos.
- 3.- Introducirse en la caracterización eléctrica de células solares.



METODOLOGÍA:

- 1.- Diseño y realización práctica del montaje experimental para control de temperatura de células solares usando microprocesadores tipo Arduino, células Peltier y disipadores.
- 2.- Programación del sistema para control de temperatura utilizando la plataforma tipo Arduino. Como entorno de programación se podrá utilizar LabView u otros.
- 3.- Medida de la característica J-V de una célula solar en oscuridad y dependiente de la temperatura como comprobación y aplicación del sistema desarrollado.

ACTIVIDADES FORMATIVAS:

- -Aprendizaje de programación usando plataforma Arduino y lenguajes de programación LabView u otros. Se utilizarán funciones como el PID (proportional, integrative, derivative) para el control de la temperatura.
- -Aprendizaje del funcionamiento de células Peltier.
- -Introducción a la caracterización de células solares y de la dependencia de sus parámetros básicos en función de la temperatura.

- 1.- http://www.pveducation.org/pvcdrom/. Capítulos 3 y 4
- 2.- I. Mártil and G. González Díaz "Determination of the dark and iluminated characteristics parameters of a solar cell from I-V characteristics". Eur. J. Phys. 13 (1992) 183
- 3.- Arduino: https://www.arduino.cc/
- 4.- LabView: https://www.ni.com/en-us/shop/labview/select-edition.html y Toolkit para Arduino: https://www.ni.com/en-us/shop/labview/select-edition.html y Toolkit para Arduino: https://www.ni.com/gate/gb/GB EVALTLKTLVARDIO/US



GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA DE COMUNICACIONES

Curso 2020-21

Ficha de Trabajo Fin de Grado

DEPARTAMENTO:	Estructura de la Materia Física Térmica y Electrónica	
TÍTULO:	Emisor y receptor para probar fibras ópticas OM3 con pulsos de trigger	
TITLE:	Transmitter and receiver modules to test OM3 optical fibers with trigger pulses.	
SUPERVISOR/ES:	Luis Ángel Tejedor Álvarez	
NÚMERO DE PLAZAS:	1	
ASIGNACIÓN DE TFG:	Selección directa	Selección por expediente

OBJETIVOS:

La UCM es responsable del desarrollo del sistema Trigger Interface Board, encargado del trigger estéreo de los telescopios grandes del Cherenkov Telescope Array (CTA).

Cuando uno de los telescopios detecta una señal envía un pulso de trigger a través de fibras ópticas a los telescopios vecinos. A su vez, también recibe las señales de triggers de los vecinos, y decide guardar la imagen de la cámara si el evento ha sido detectado por varios telescopios en una cierta ventana temporal.

En este esquema, es fundamental garantizar una correcta transmisión de los pulsos ópticos de trigger a través de las fibras que, a su vez incluyen varios tramos unidos mediante conectores o fusión de fibras.

El objetivo de este trabajo de fin de grado es diseñar y construir un emisor y un receptor ópticos similares a los de la Trigger Interface Board, que permitan probar las fibras ópticas con unas señales similares a las reales.

El detalle concreto de los objetivos sería:

- 1. Modificar ligeramente los esquemas eléctricos del emisor y el receptor utilizados en la Trigger Interface Board para un funcionamiento portátil.
- 2. Diseñar las PCBs del emisor y el receptor en Altium.
- 3. Probar los circuitos fabricados.



METODOLOGÍA:

Analizar los circuitos transmisor y receptor utilizados en la Trigger Interface Board.

Proponer modificaciones para que puedan funcionar como módulos independientes, diseño de fuentes de alimentación, etc.

Diseñar las dos placas de circuito impreso con el software Altium Designer, utilizando una licencia comercial de la que se dispone.

Estudiar los estándares típicos de la industria y generar la documentación necesaria para que empresas externas puedan fabricar las placas diseñadas.

Probar los circuitos fabricados en el laboratorio.

ACTIVIDADES FORMATIVAS:

Reuniones periódicas con Luis A. Tejedor

Aprender a utilizar el software Altium Designer

Utilización de instrumentación de laboratorio para probar los diseños realizados.

- F.A. Aharonian and A. Konopelko "Stereo imaging of VHE gamma-ray sources" Proceedings Towards a Major Atmospheric Cherenkov Detector-V (Kruger Park). December 1997 arXiv:astro-ph/9712044
- G. Hermann, et.al. "A Trigger and Readout Scheme for Future Cherenkov Telescope Arrays". Proc. Of the 4th Int. Meeting on High Energy Gamma-Ray Astronomy, Heidelberg, Germany, July 2008. doi:10.1063/1.3076822
- Luis A. Tejedor "A New Analog Trigger System for the Cherenkov Telescope Array" UPM Ph.D. Thesis http://oa.upm.es/32941/
- Telecommunications Industry Association "Multimode Fiber for Enterprise Networks" TIA's Fiber Optics Tech Consortium, Nov. 2008 https://www.tiafotc.org/
- Hamamatsu Photonics K.K. Solid State Division "High-speed photodiodes, S5973 series: 1 GHz"
 - https://www.hamamatsu.com/eu/en/product/type/S5973/index.html
- David Haboud "Getting Started with PCB Design"
 https://resources.altium.com/sites/default/files/uberflip_docs/file_1163.pdf