

---

Facultad de Ciencias

GRADO EN INGENIERÍA  
ELECTRÓNICA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE GRADO

**Densímetro óptico  
combinado con  
electroimanes de bajo  
costo, para el estudio y  
análisis de suspensiones  
con partículas magnéticas**

Presentado por:

**D./D<sup>a</sup>. Jorge Benítez Domingo**

Tutor:

**Prof. Dr. Guillermo Iglesias Salto**

Curso académico 2023/2024



# UNIVERSIDAD DE GRANADA

## GRADO EN INGENIERIA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL

Densímetro óptico combinado con electroimanes de bajo costo, para el estudio y análisis de suspensiones con partículas magnéticas

Autor: Jorge Benítez Domingo

Directores: Prof. Dr. Guillermo Iglesias Salto

Departamento: Física aplicada

Palabras clave: Espectrofotómetro, Campos magnéticos, Densidad óptica, ESP32, Controladores de motores, Fotodiodos

**Resumen:** Los espectrofotómetros son dispositivos fundamentales en laboratorios de química, bioquímica y biología, entre otros. Su finalidad es medir la absorbancia de distintas soluciones químicas, lo que permite determinar la concentración de diversas sustancias mediante la medición de la cantidad de luz absorbida a distintas longitudes de onda.

En este trabajo, se abordará la construcción y caracterización de un espectrofotómetro de bajo costo, diseñado para realizar mediciones en soluciones que contienen partículas metálicas. Este espectrofotómetro tendrá la particularidad de incluir un sistema de tres pares de bobinas ortogonales, generando campos magnéticos en los tres ejes del espacio. Esto permitirá orientar las partículas magnéticas de la manera deseada mientras se mide la absorbancia.

El objetivo principal de este trabajo es demostrar la viabilidad de construir un espectrofotómetro funcional para trabajar con suspensiones de partículas metálicas, utilizando componentes económicos y fácilmente disponibles, como LEDs RGB en

sustitución de cromadores o lámparas ultravioletas. A lo largo del proyecto, se abordarán los fundamentos físicos detrás del funcionamiento del sistema, el diseño y construcción de este, así como la realización de diversas pruebas con este.

**Abstract:** Spectrophotometers are fundamental devices in laboratories of chemistry, biochemistry, biology, and other fields. Their purpose is to measure the absorbance of various chemical solutions, which allows for the determination of the concentration of different substances by measuring the amount of light absorbed at different wavelengths.

This work addresses the construction and characterization of a low-cost spectrophotometer designed to measure solutions containing metallic particles. This spectrophotometer will feature a system of three pairs of orthogonal coils, generating magnetic fields in three spatial axes. This will allow the magnetic particles to be oriented as desired while measuring absorbance.

The main goal of this work is to demonstrate the feasibility of constructing a functional spectrophotometer to work with suspensions of metallic particles using economical and readily available components, such as RGB LEDs instead of monochromators or ultraviolet lamps. Throughout the project, the physical principles behind the system's operation, its design and construction, as well as various tests conducted with it, will be addressed.