

Máster en Electrónica y Tecnología Digital Aplicada

Sincronización de sensores de navegación en tiempo real mediante lógica programable y arquitectura SoC

Adonaí Hernández Bolaños - adonai.hernandez101@alu.ulpgc.es

Dr. Héctor Navarro Botello - hnavarro@aerolaser.es

Dr. Alfonso Medina Escuela - aescuela@iuma.ulpgc.es

Septiembre 2026

Resumen:

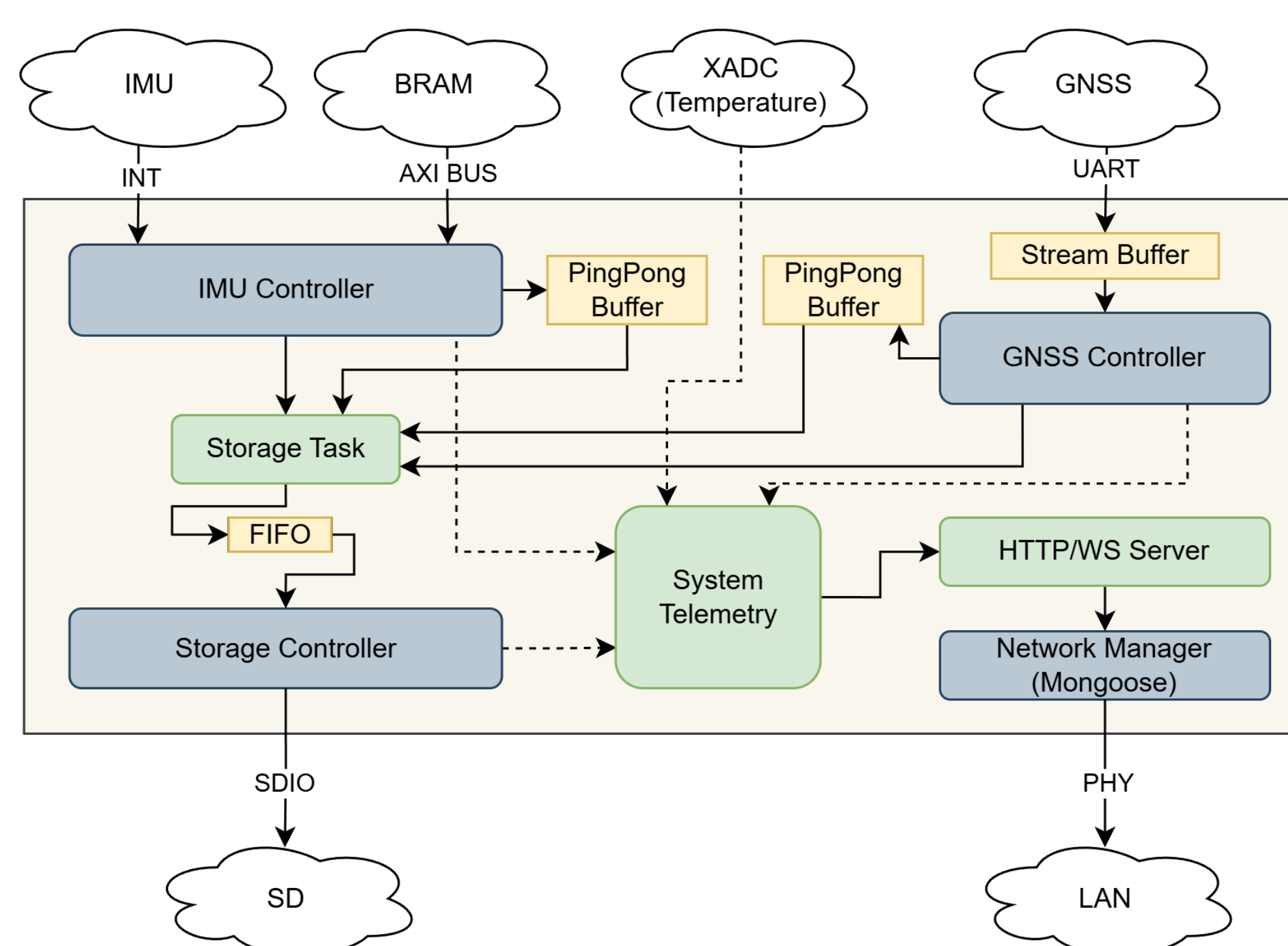
Este Trabajo de Fin de Máster presenta un sistema de sincronización y adquisición de datos GNSS/IMU basado en una arquitectura SoC Zynq-7000 (procesador Cortex-A9 con FreeRTOS y lógica programable en Verilog), centrado en el mecanismo de adquisición y sincronización mediante señal PPS, que integra una IMU Epson M-G366PDG0 y un receptor GNSS u-blox EVB-C099-F9P; los datos, marcados temporalmente y gestionados mediante colas de FreeRTOS, se almacenan y exportan a formatos compatibles con software profesional de navegación inercial (NovAtel Waypoint Inertial Explorer), con un panel de monitorización en tiempo real vía WebSocket, y su validación mediante un ensayo de campo junto a un sistema de referencia profesional montado sobre la misma plataforma LiDAR arrojó errores RMS de 1,583° en *heading* y 0,562 m en posición 2D, confirmando la viabilidad del sistema propuesto.

Arquitectura del sistema

A nivel hardware, el sistema está compuesto por tres módulos IP principales desarrollados en Verilog.

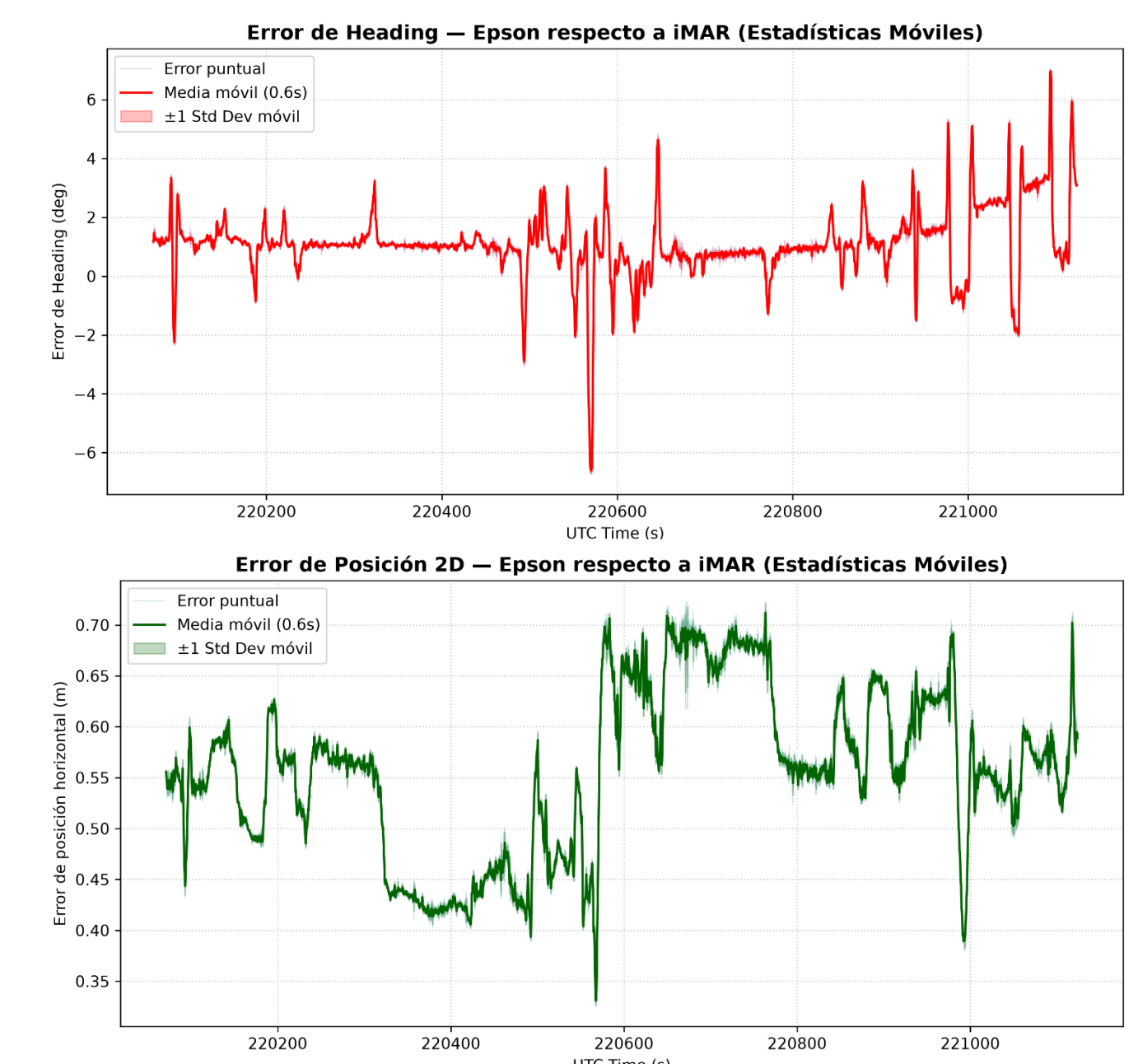
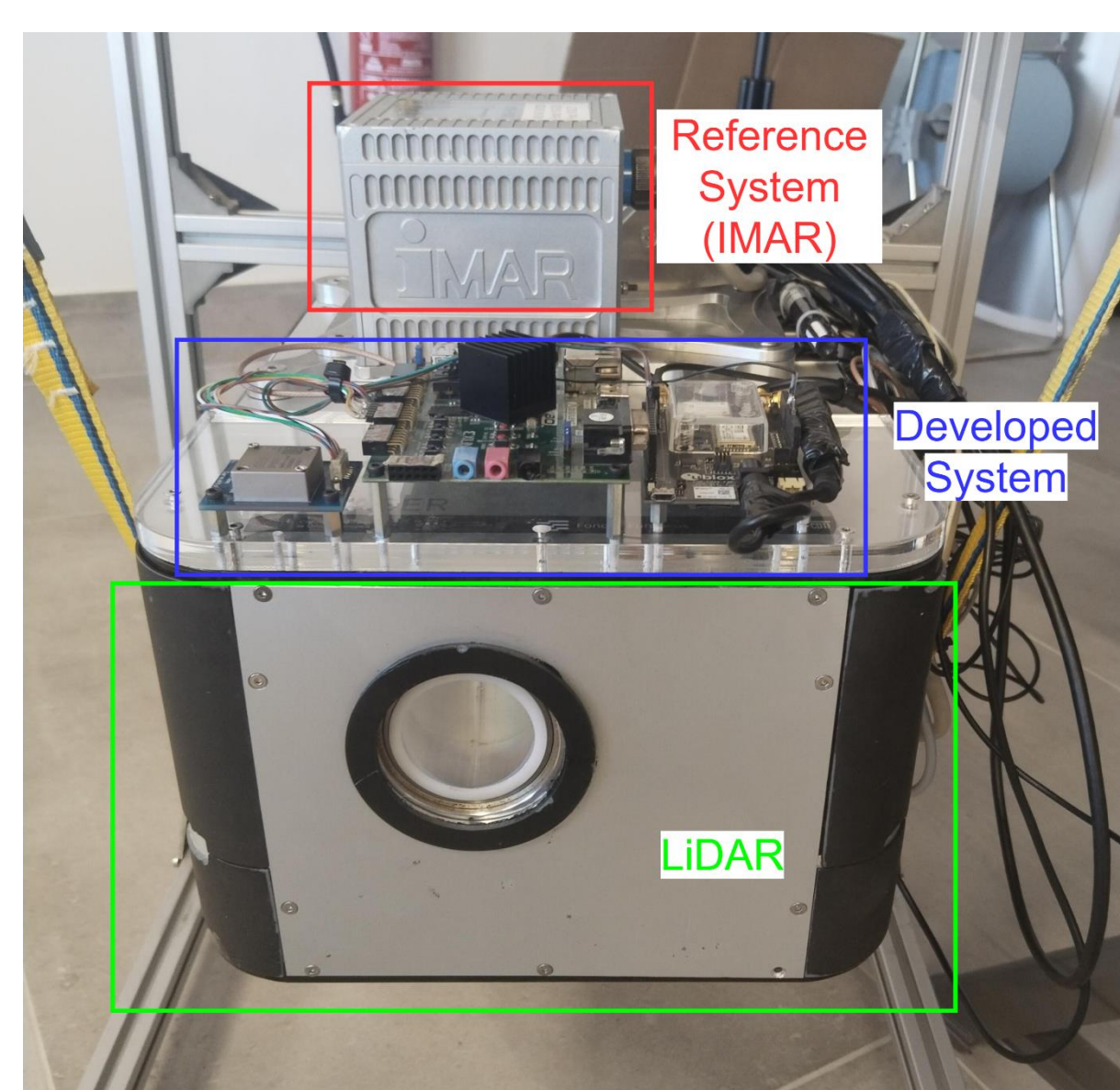
Uno encargado de sincronizar el reloj del sistema con la señal PPS generada por el receptor GNSS, este modulo incluye un contador de ciclos usado como referencia única temporal en todos los demás módulos. Otro es una FIFO encargado de almacenar el *timestamp* de cada pulso PPS para que el firmware pueda asignarlo a los paquetes GNSS que llegan por la UART. Y el ultimo es el encargado de recibir, marcar temporalmente y almacenar los datos recibidos de la IMU, para que posteriormente usando un buffer Ping-Pong el firmware pueda descárgalo y almacenarlo en una microSD.

A nivel de firmware el sistema corre sobre FreeRTOS, permitiendo la adquisición y procesamiento desacoplado mediante el uso de tareas y colas.



Resultados

Se realizó una captura de datos LiDAR con este sistema y otro profesional de referencia.



Conclusiones

Este trabajo valida experimentalmente un sistema de adquisición y sincronización GNSS/IMU de bajo coste basado en arquitectura SoC (Zynq-7000), capaz de ofrecer una base temporal común con precisión sub-microsegundo (jitter RMS de 189 ns en PPS y 165 ns en DRDY) mediante latching determinista en hardware. Los resultados del ensayo de campo, con errores RMS de 1,58° en *heading* y 0,56 m en posición 2D frente a un sistema de referencia profesional, confirman que la plataforma propuesta ofrece precisión suficiente para aplicaciones de visualización en tiempo real de nubes de puntos LiDAR.