

CARACTERIZACIÓN DE TÉCNICAS DE SINCRONIZACIÓN HORARIA EN SISTEMAS DISTRIBUIDOS MEDIANTE GNSS Y RTC DE BAJO COSTO PARA TELEMETRÍA A ESCALA GLOBAL

María Macarena Repetto¹, Federico Ares^{1,2,3}, Sebastián Lucas², Nicolás Scivetti^{1,2}, Andrés Bilmes^{1,2}

¹Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco

²Instituto Patagónico de Geología y Paleontología

³Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Chubut

mrepetto@ing.unp.edu.ar

RESUMEN

Este trabajo presenta un prototipo híbrido GNSS–RTC basado en ESP32 para sincronizar la hora en sistemas de telemetría distribuidos. El trabajo explora el uso del pulso satelital 1PPS y mensajes NMEA para disciplinar el reloj RTC local, calculando dinámicamente offset y deriva.

INTRODUCCIÓN

En sistemas distribuidos, la disponibilidad de una referencia temporal precisa resulta fundamental para la correcta correlación de datos adquiridos.

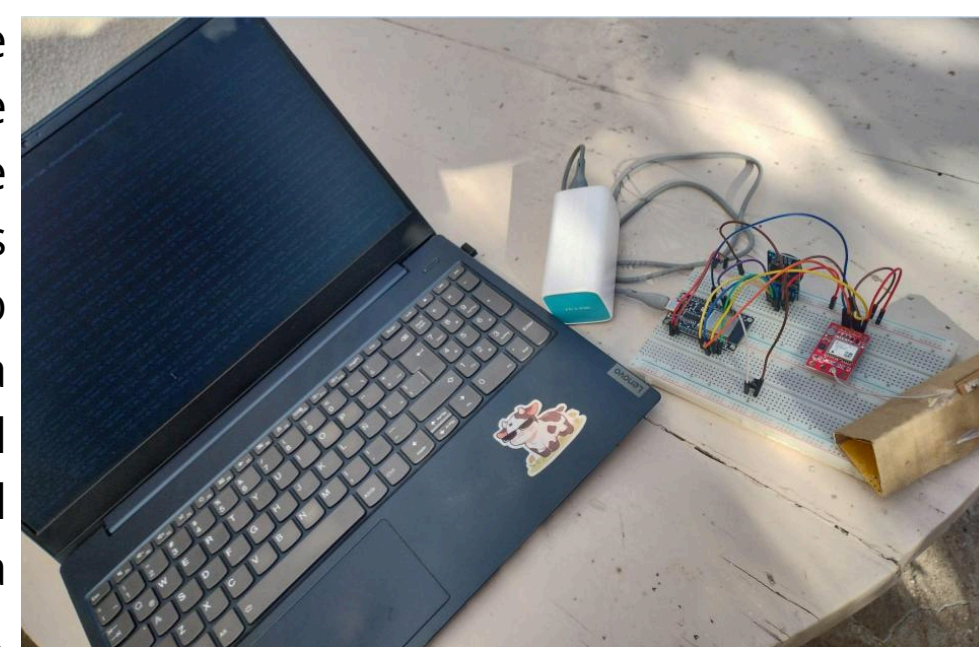
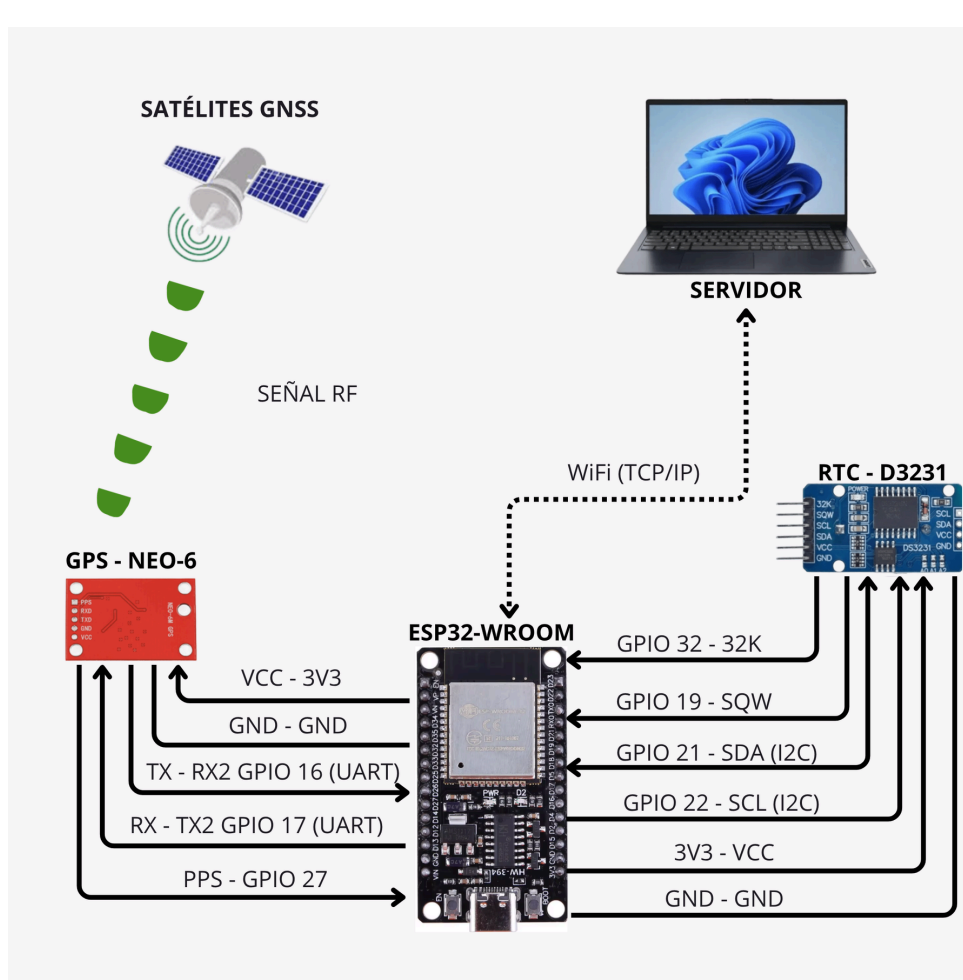
No obstante, los relojes locales de tiempo real (RTC) son propensos a presentar degradación de precisión debido a deriva y variaciones térmicas, mientras que los protocolos de sincronización basados en red (como NTP) pueden verse afectados por la inestabilidad de la conectividad IP. Por su parte, los sistemas **GNSS** proporcionan referencias de alta precisión mediante la combinación de la señal **1PPS** y mensajes **NMEA**; sin embargo, su desempeño depende de las condiciones de recepción, y los receptores de bajo costo pueden introducir fluctuaciones temporales (jitter). En el presente trabajo se aborda una arquitectura híbrida que combina el RTC local con la referencia del GNSS para lograr una sincronización robusta, precisa y económica en sistemas embebidos.

METODOLOGÍA

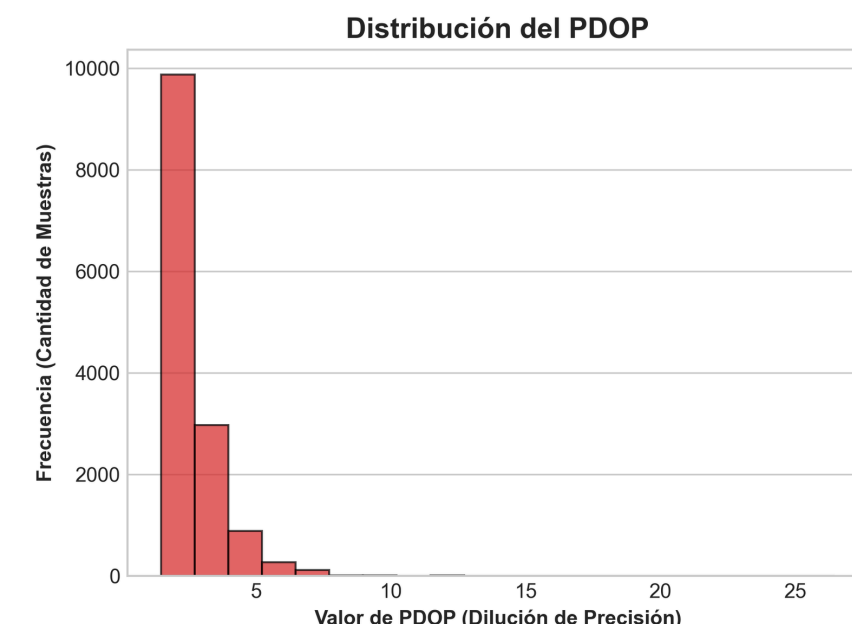
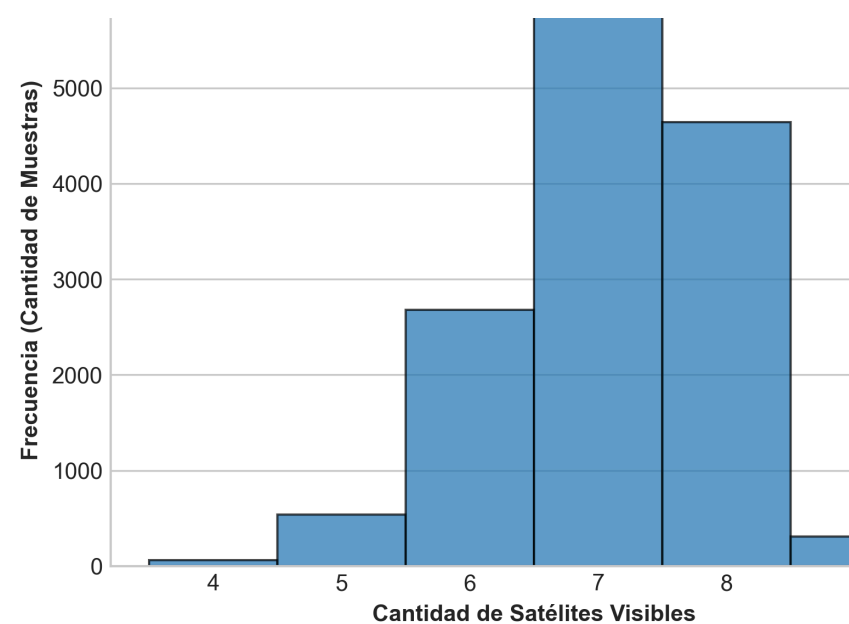
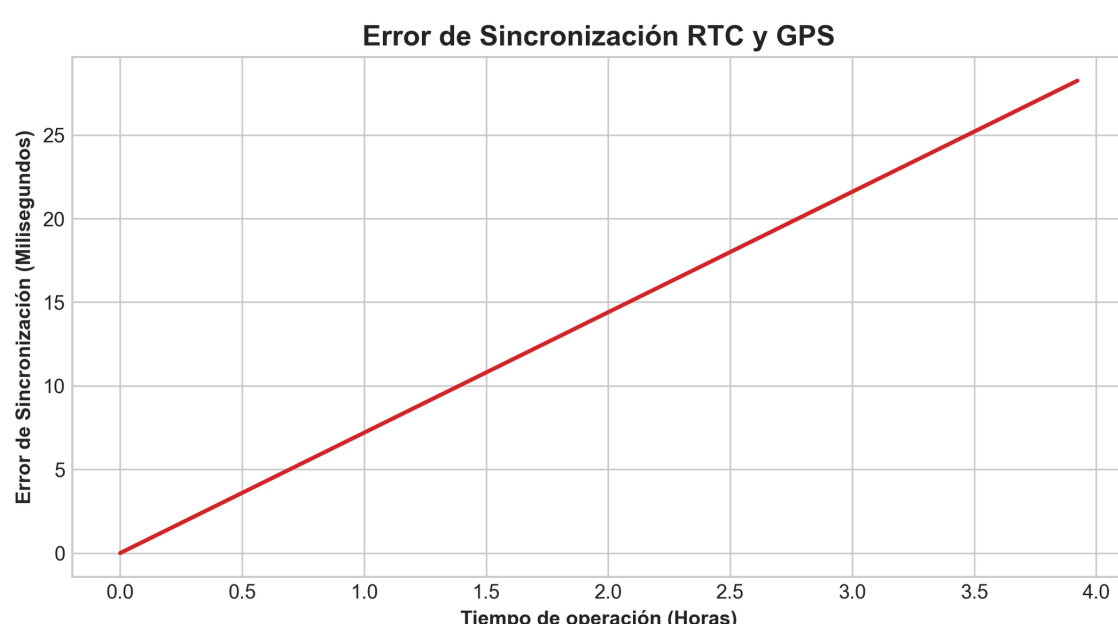
Se construyó un hardware prototipo basado en una placa de desarrollo ESP32 que combina GNSS y RTC.

Los periféricos se comunican con el procesador ESP32 mediante los protocolos I2C (RTC) y UART (GPS). La señal 1PPS y SQW se captura mediante rutinas de interrupción (ISR) mientras que el contador de pulsos incorporado del ESP32 captura la señal de clock de 32kHz del RTC. Los flancos de 1PPS se utilizan para contabilizar cuentas parciales de clock RTC, permitiendo estimar el error de sincronismo.

Se implementó un sistema de telemetría de diagnóstico que monitorea las variables de interés, incluyendo parámetros de calidad de recepción como cantidad de satélites visibles y la dilución de posición PDOP con el fin de correlacionar la calidad del entorno GNSS con la incertidumbre temporal del nodo.



RESULTADOS PRELIMINARES



Las pruebas sobre el hardware prototipo permitieron cuantificar el error de sincronización entre la señal de 32kHz del RTC y la señal 1PPS del GPS. Asimismo se registraron las condiciones de visibilidad de satélites y dilución de precisión durante la captura. Se manifestaron dificultades para realizar pruebas extendidas debido a falta de robustez en el conexionado del protoboard.

TRABAJO A FUTURO

Robustez de Hardware: Migración a placa experimental con conexiones soldadas y protección IP66 para uso continuo en exteriores. **Modelado de error:** Implementación de un esquema de modelado en tiempo real mediante filtro de Kalman para estimar el estado del reloj a partir de medición continua y rechazar fluctuaciones espurias. **Disciplinamiento:** a partir del modelo, implementar estrategias de corrección del RTC permitiendo acotar el error máximo. **Ensayos Prolongados:** Evaluar la evolución del error disciplinado en distintas condiciones de visibilidad y calidad de recepción GNSS durante períodos de tiempo extendidos.