



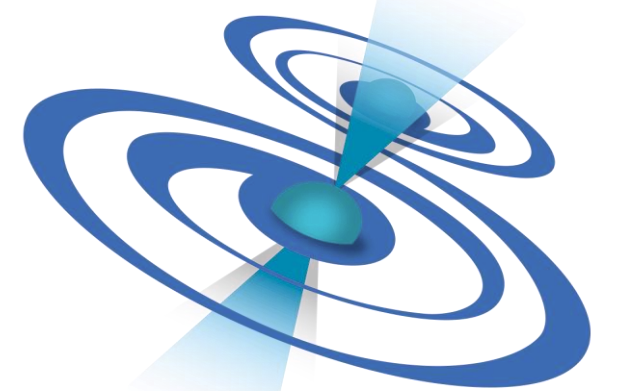
XXV MEETING OF PHYSICS

Caracterización electromagnética de una antena Yagi a 2.4 GHz mediante modelado XGBoost

Antonella Loayza¹, Angie Sabrera¹, Miguel Castillo²

¹ Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica, Lima, Perú

² Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ciencias Físicas, Lima, Perú



Meeting of
PHYSICS

Resumen

Se diseñó, construyó y caracterizó experimentalmente una antena Yagi-Uda de bajo costo para la banda de 2.4 GHz, compuesta por 16 directores, un elemento activo tipo lazo y un reflector, montados sobre un tubo de PVC de media pulgada y alimentados mediante cable coaxial RG-58 hacia un módulo ESP32 WROOM-32U. El sistema de adquisición registró el indicador de intensidad de señal recibida (RSSI) en barridos angulares de 0° a 360° (pasos de 10°), a tres distancias (1.5, 3.0 y 5.0 m), en presencia de obstáculos de madera y metal, y en entornos abierto y cerrado, generando un total de 666 mediciones. Los resultados muestran una atenuación con la distancia consistente con la fórmula de Friis (diferencias inferiores a 0.34 dB respecto al valor teórico), una relación frente-espalda de 11.8 a 14.7 dB y atenuaciones promedio de aproximadamente 3.4 dB para madera y 13.9 dB para metal. A partir de este conjunto de datos se entrenó un modelo de regresión XGBoost para predecir el RSSI, en el cual el ángulo de orientación resultó ser la variable más relevante, seguida de la desviación del RSSI, alcanzando un error cuadrático medio (RMSE) de 1.33 dBm en el conjunto de prueba.

Prototipo de la Antena Yagi-Uda



Se construyó una antena Yagi-Uda de 18 elementos para 2.4 GHz, empleando un tubo de PVC de 1/2", alambre de cobre y cable coaxial RG-58. El arreglo incorpora 16 directores, un elemento activo tipo lazo y un reflector, con una separación de 2.5 cm entre elementos. La antena fue conectada a un ESP32 WROOM-32U para la adquisición de RSSI.

Introducción

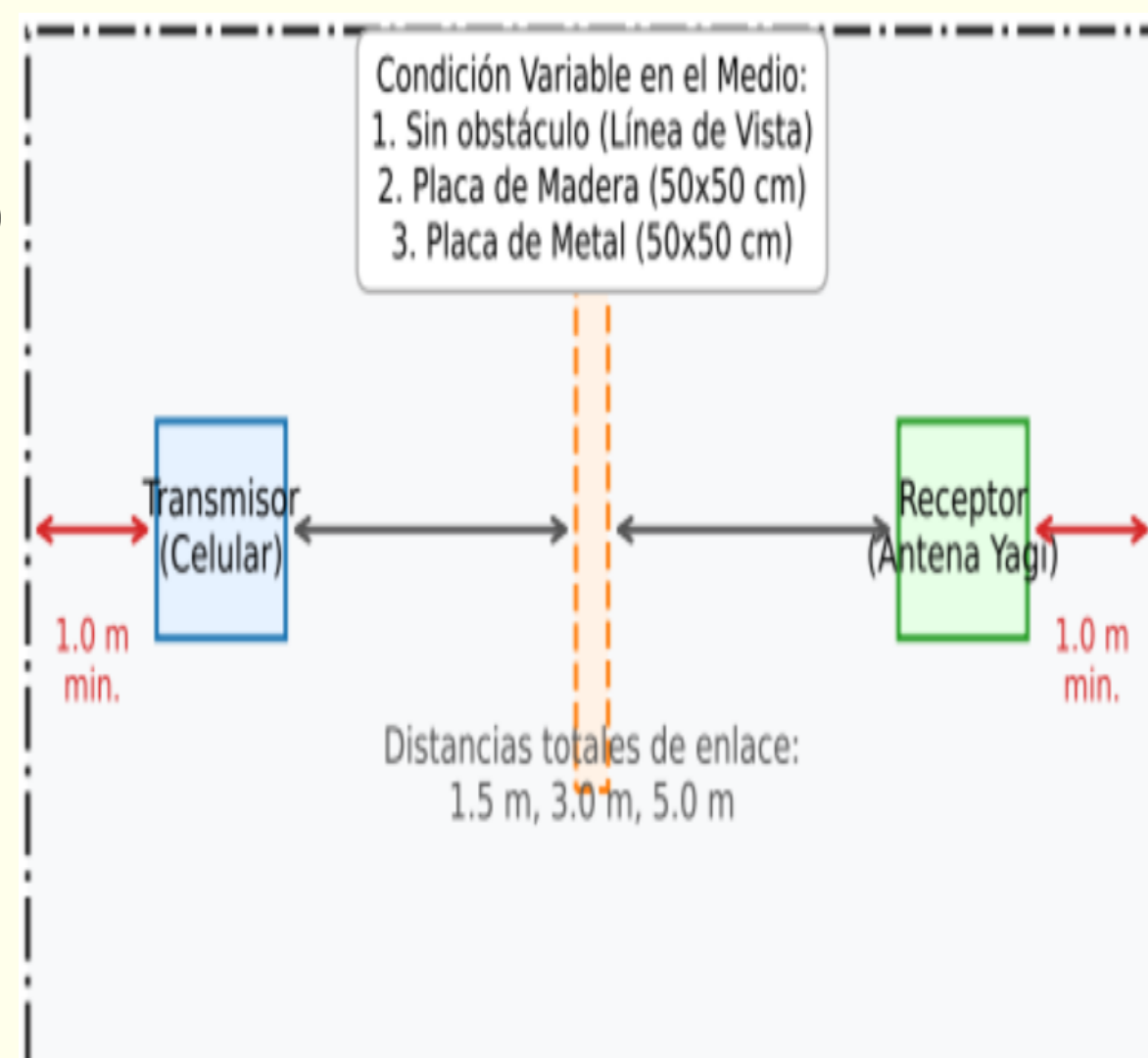
Las antenas direccionales de bajo costo representan una alternativa para ampliar la cobertura de redes Wi-Fi en entornos domésticos, rurales y educativos. Entre ellas, la antena Yagi-Uda destaca por su relación costo-desempeño, ya que permite concentrar la energía radiada en una dirección mediante un arreglo de elementos.

La caracterización de estas antenas puede realizarse mediante el RSSI (Received Signal Strength Indicator), disponible en dispositivos como el ESP32. En condiciones de espacio libre, la potencia recibida disminuye con la distancia de acuerdo con la ecuación de transmisión de Friis.

Algoritmos de aprendizaje automático como XGBoost permiten modelar el comportamiento del RSSI considerando variables ambientales y geométricas. Por ello, este trabajo combina la caracterización experimental de una antena Yagi de bajo costo con el modelado predictivo mediante XGBoost, utilizando mediciones sistemáticas de RSSI para evaluar su comportamiento y capacidad de predicción.

Desarrollo Experimental

Las mediciones se realizaron mediante un barrido angular de 0° a 360°, cada 10°, con tres distancias de separación: 1.5, 3.0 y 5.0 m. Se evaluaron dos ambientes (abierto y cerrado) y tres condiciones de obstáculo, obteniéndose 18 escenarios experimentales y 666 registros. Para cada posición, el ESP32 realizó una ráfaga de 50 mediciones de RSSI, a partir de las cuales se calcularon el RSSI promedio y su desviación estándar. Los datos obtenidos se utilizaron para entrenar un modelo de regresión XGBoost, empleando el entorno, ángulo, distancia, obstáculo y desviación estándar del RSSI, con el objetivo de predecir el RSSI promedio.



Recursos Digitales

- Dataset experimental
- Modelo XGBoost
- Artículo científico

ESCANEA PARA ACCEDER AL PROYECTO



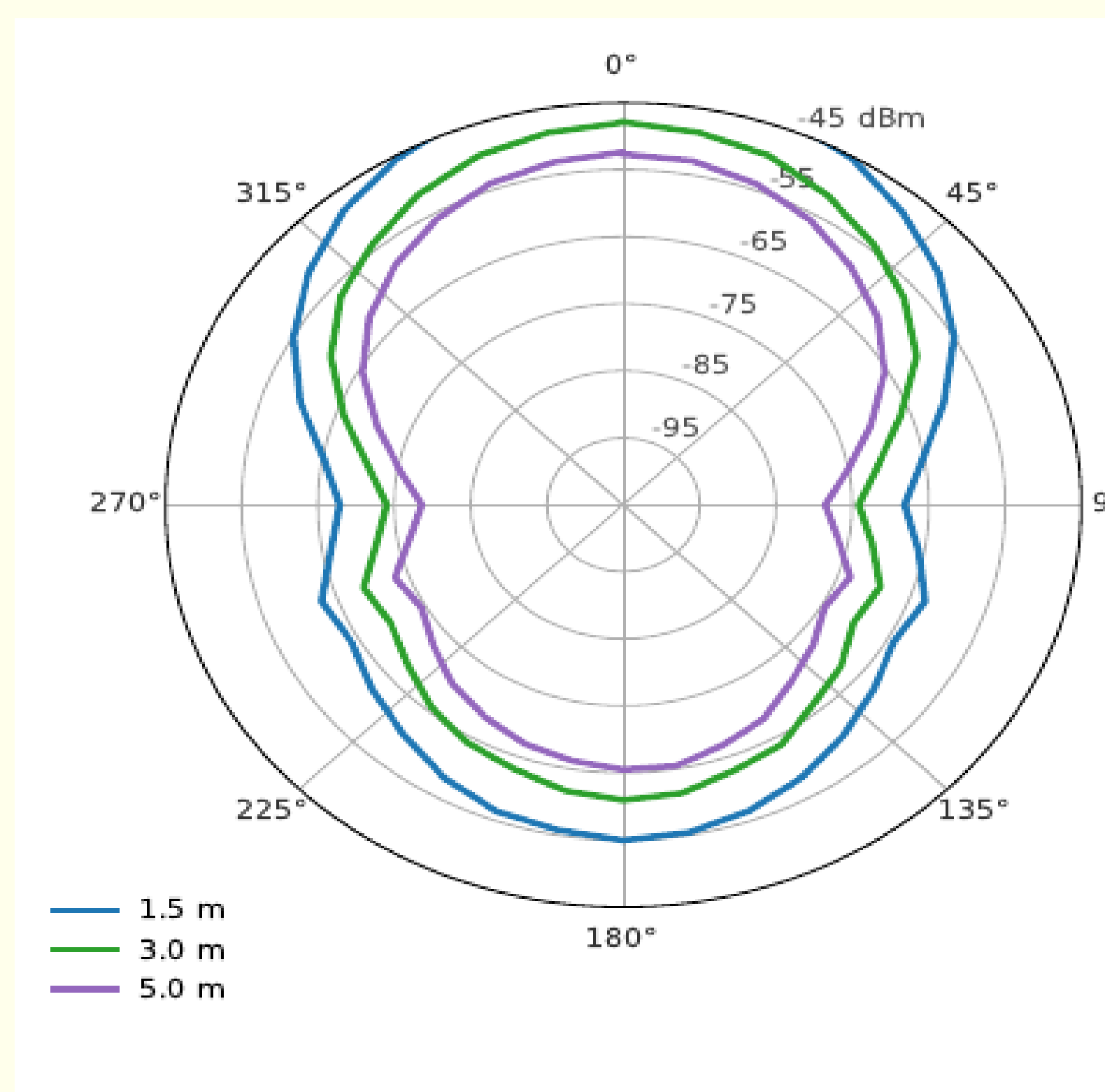
Resultados Obtenidos

666
mediciones

11.8 –14.7 dB
relación frente–espalda

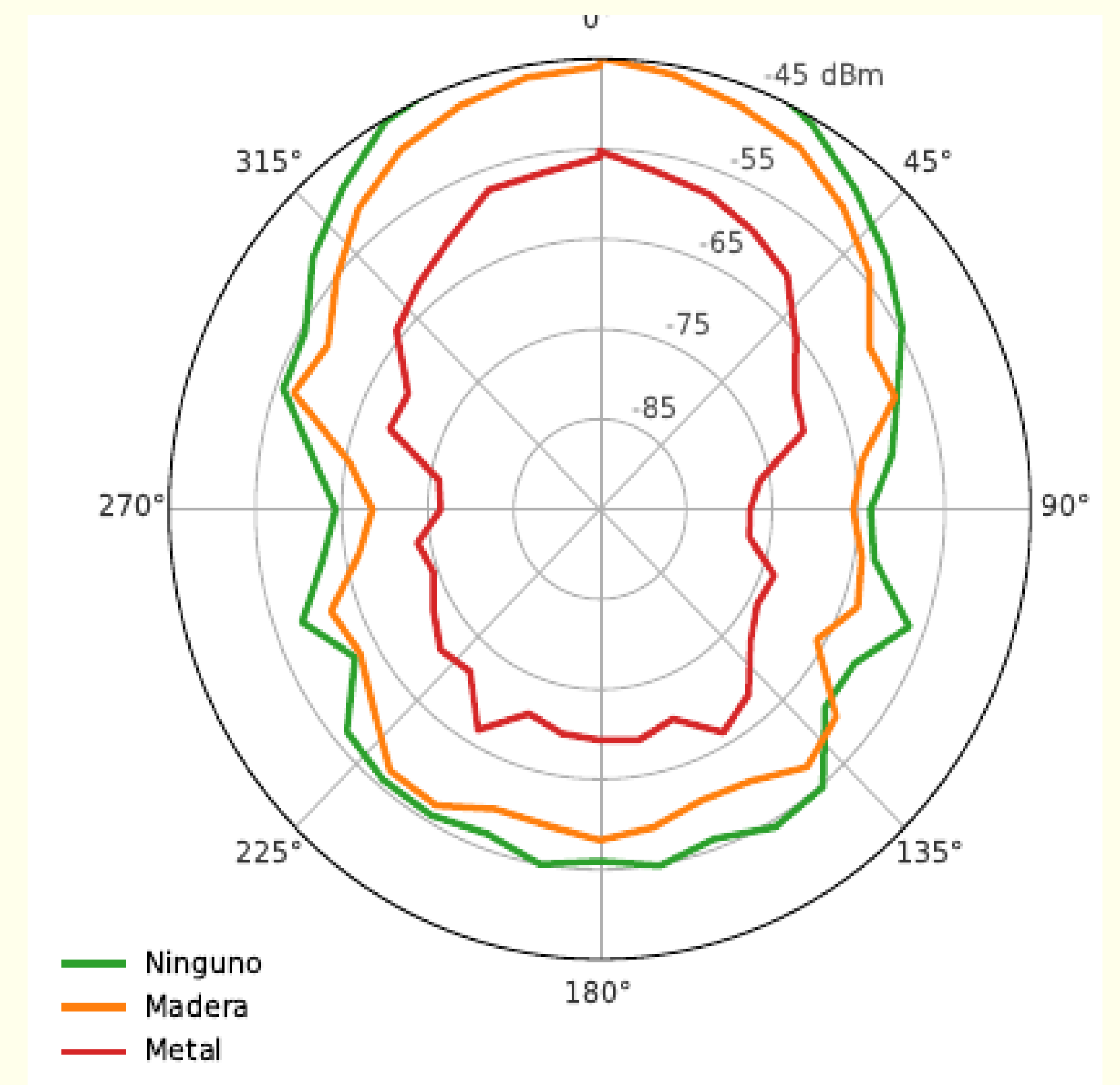
RMSE = 1.33 dBm
predicción XGBoost

Patrón de radiación en espacio abierto



La antena Yagi-Uda presentó un lóbulo principal orientado hacia 0°/360°, con una relación frente-espalda entre 11.8 y 14.7 dB, evidenciando un comportamiento altamente direccional.

Efecto de los obstáculos



La presencia de materiales produjo una disminución del RSSI, registrándose una atenuación promedio de aproximadamente 3.4 dB para madera y 13.9 dB para metal, siendo este último el material de mayor impacto sobre la propagación de la señal.

Importancia de variables (F-score)

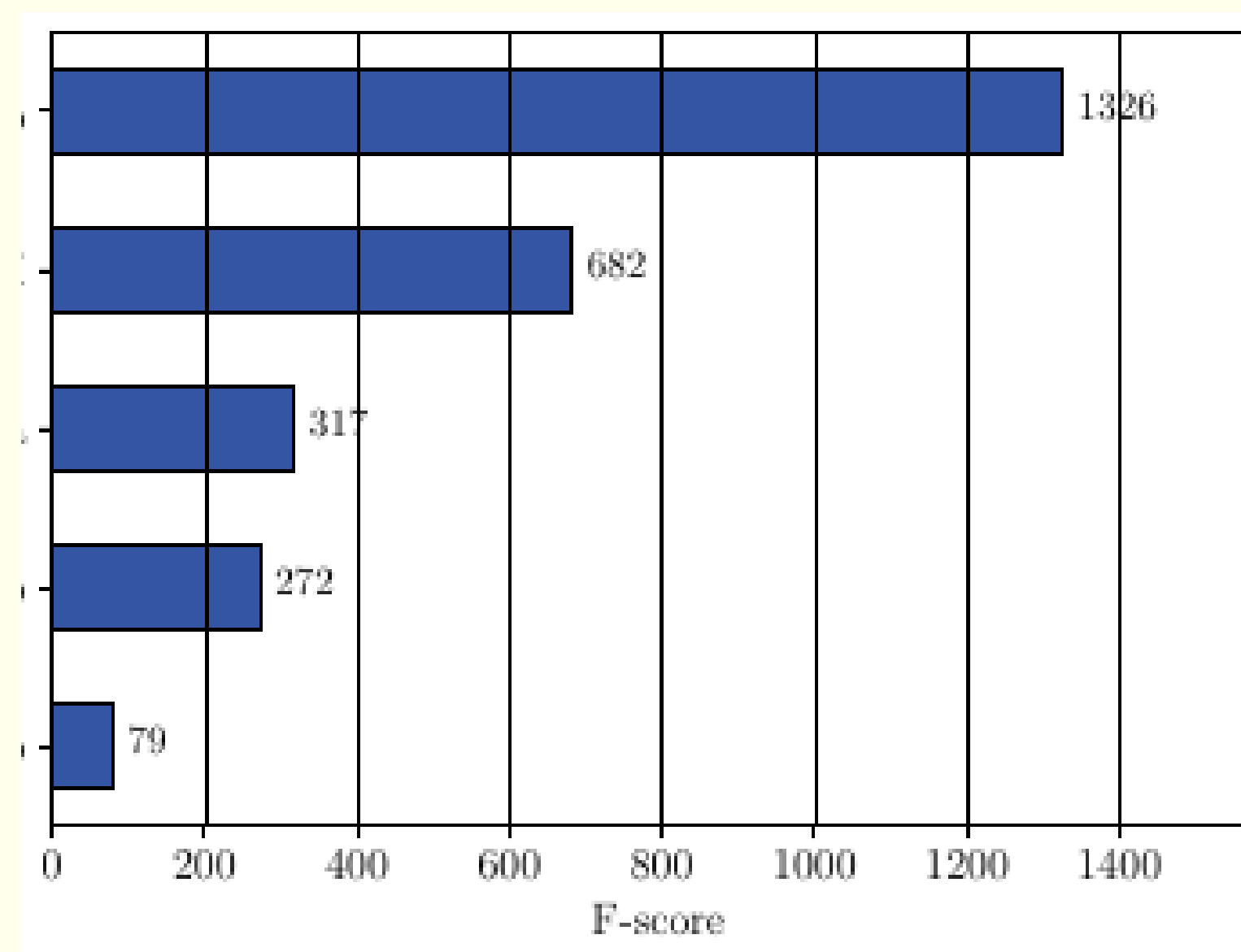
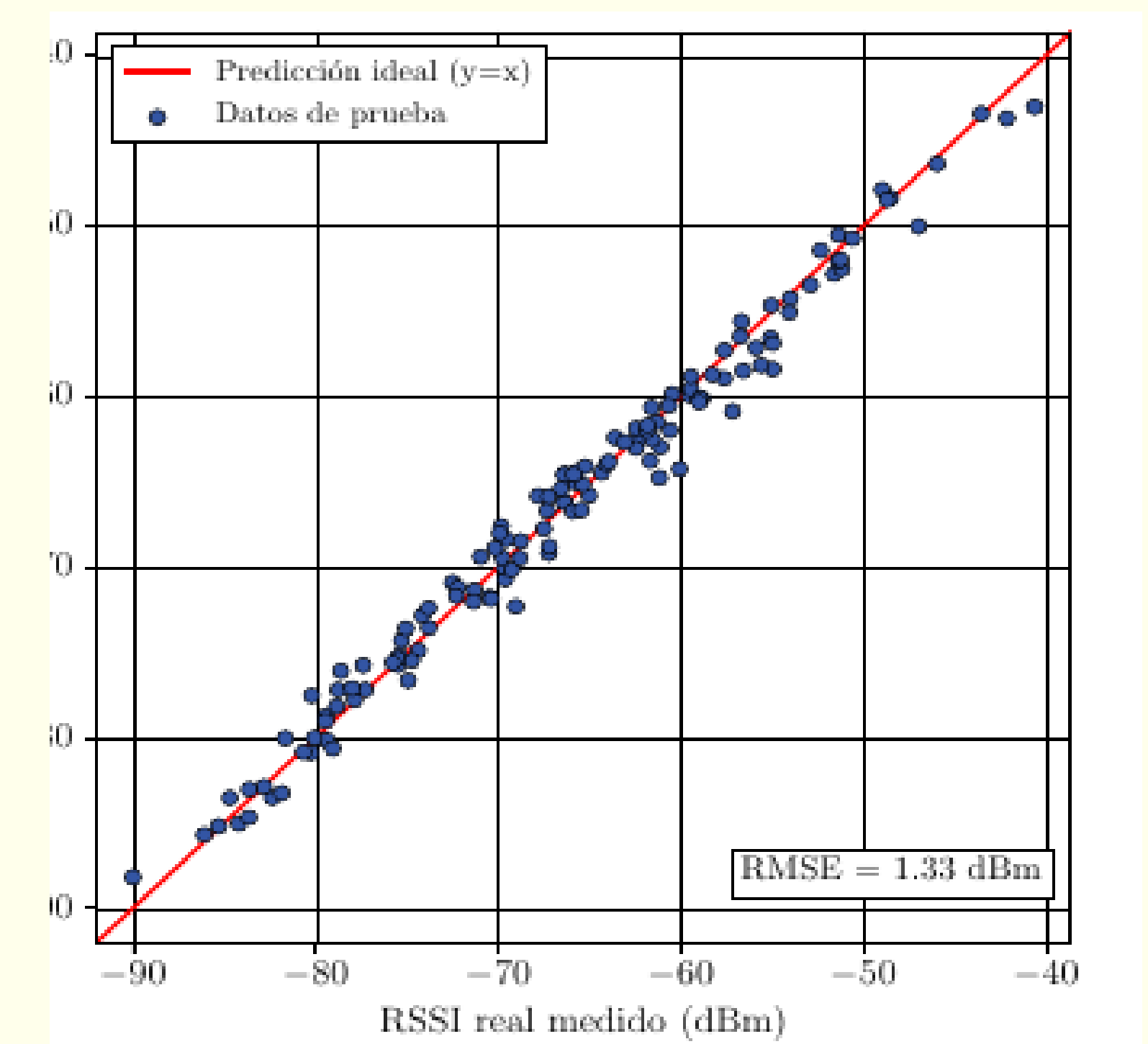


Gráfico real vs. predicho



El modelo identificó al ángulo de orientación como la variable de mayor influencia en la predicción del RSSI, seguido de la desviación estándar de la señal, alcanzando un RMSE de 1.33 dBm en el conjunto de prueba.

Conclusiones

- La antena Yagi-Uda de 18 elementos mostró un patrón direccional estable, con relación frente-espalda de 11.8–14.7 dB.
- La atenuación por distancia en espacio abierto reprodujo la ley de Friis con una diferencia máxima de 0.34 dB.
- Los obstáculos siguieron la jerarquía esperada: metal > madera > ninguno; el entorno cerrado presentó mayor dispersión del RSSI.
- XGBoost identificó el ángulo como el predictor más influyente y alcanzó un RMSE de 1.33 dBm.
- El sistema constituye una alternativa de bajo costo para caracterización y predicción de enlaces a 2.4 GHz.

Referencias

- Yagi, H. (1928). Beam Transmission of Ultra Short Waves. Proc. IRE, 16(6), 715–740.
- Friis, H. T. (1946). A Note on a Simple Transmission Formula. Proc. IRE, 34(5), 254–256.
- Balanis, C. A. (2016). Antenna Theory: Analysis and Design (4th ed.). Wiley.
- Chen, T. & Guestrin, C. (2016). XGBoost: A Scalable Tree Boosting System. KDD.
- Singh, N. et al. (2022). XGBLoc: XGBoost-Based Indoor Localization. Sensors, 22(17), 6629.
- Ben Ameer, M. et al. (2025). Machine learning for improved path loss prediction. Front. Artif. Intell., 8, 1597981.