

## Anexo 1: Analizador de espectros Narda, escenarios de calibración y valores de mediciones

- **Analizador de espectros Narda SRM-3006**

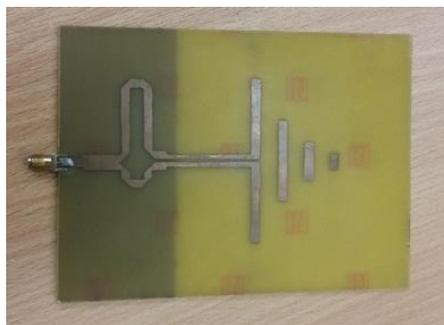
Medidor de campo eléctrico de alta frecuencia. Dispositivo portátil que también tiene función de analizador de espectros. Es un sistema de mediciones compacto selectivo en frecuencia. También es recomendado para usos en bandas de telefonía celular (UMTS, LTE).



**FIGURA A-1: EQUIPO NARDA SRM-3006.**

**FUENTE: [55]**

Con el dispositivo, se utilizó una antena tipo direccional quasi-yagi con una ganancia de 5.1dBi en 2.4GHz. El rango de frecuencia de la antena es de 1.7GHz a 2.84GHz. Esta herramienta e información fue extraída de la tesis “Antenas planares para *beamforming* utilizando elementos quasi yagis”, de la tesista Santos Estrada, Katherin [36].



**FIGURA A-2: IMAGEN DE ANTENA QUASI YAGI.**

**REFERENCIA: ELABORACIÓN PROPIA.**

Debido a que el adaptador USB Proxim es de tipo omnidireccional y sistema MIMO (aunque calibrada para una ganancia de 0dBi) [56], se optó por utilizar la antena quasi-yagi direccional y ganancia en la banda WiFi para recompensar la versatilidad que presenta el sistema MIMO frente a un sistema básico de recepción, en este caso el receptor con una sola antena.

Durante las pruebas de calibración con el Narda SRM-3006, se utilizó la aplicación *Iperf* en dos equipos diferentes (uno como cliente, enviando datos, y el otro como servidor, contando la cantidad de bytes recibidos) con el objetivo de saturar el canal de trabajo del AP del laboratorio. Se conoce que sobre cada slot de frecuencia medido por el Narda (ancho de banda de 2 KHz), no siempre existirá la señal en todos los instantes de barrido de mediciones; por lo cual, se asumirá un *duty cycle*, y dependiendo de ello, tomaremos un valor en nuestra ecuación de validación (para ver el análisis del *duty cycle*, ver anexo 2).

- **Escenarios de calibración**

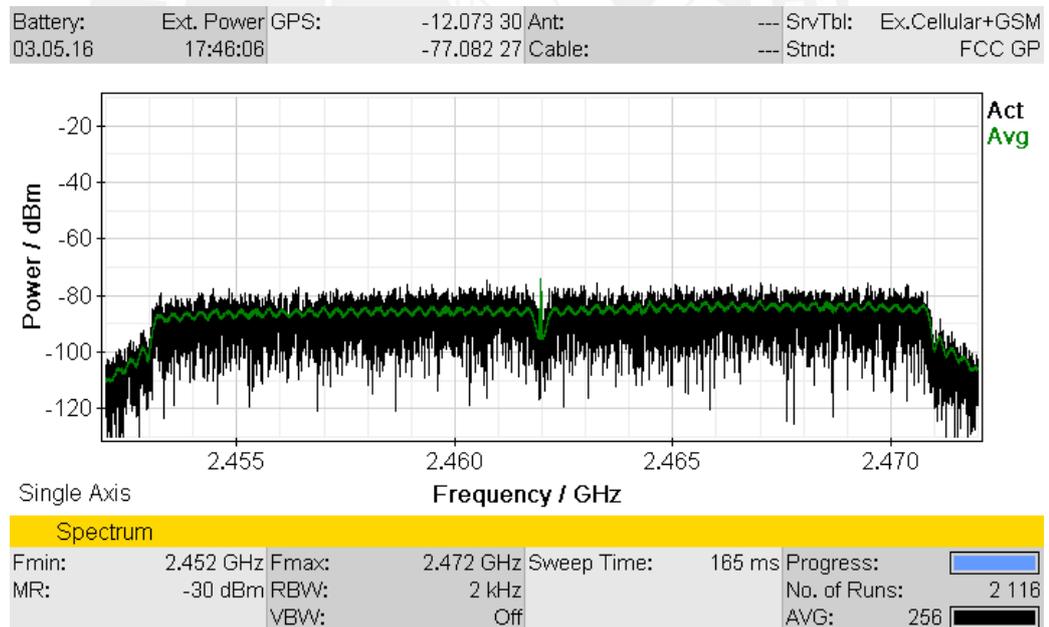
Para realizar las pruebas de calibración y validación de las herramientas utilizadas, se montaron dos escenarios, como se muestra en las figuras 5-1 y 5-2.

Ambos escenarios cuentan con un AP, un dispositivo que “escucha” el medio inalámbrico (el cual será alternativamente el analizador NARDA y Airmagnet Survey). El primer escenario, además, cuenta con un cliente y servidor *Iperf*, que saturarán el canal *downlink* cuando se utilice el analizador NARDA. El cliente envía datos al servidor usando la banda de 5GHz, y el servidor recibe los paquetes a través del AP sintonizado al canal 11 de la banda de 2,4GHz. Los equipos que sirvieron como cliente y servidor se ubicaron a aproximadamente 5 metros del AP y transmitieron a la misma velocidad (72,2Mbps, MCS7, short GI). Dichos equipos fueron dos *smartphones* con aplicación *Iperf*.

En el escenario de la figura 5-1, mientras que el servidor (Posición 2) recibe datos originados por el cliente *Iperf*, desde la Posición 1 el NARDA capturará la potencia de recepción proveniente del AP durante 5 minutos. Luego, en la Posición 1, se reemplazará el NARDA por el Airmagnet Survey, y éste también capturará la data de potencia de recepción durante 5 minutos (Figura 5-2), pero esta vez utilizando los *beacons* que el AP transmite, en forma omnidireccional (broadcast) cada 102.4ms.

- **Resultados del NARDA**

El analizador de espectros hace una barrido de toma de recolección de potencia cada 165ms entre cada slot de frecuencia. Dichos slots tienen un ancho de banda de 2KHz. Se le mantuvo activo por un tiempo aproximado de 5 minutos, por lo que por cada slot de frecuencia tendrá más de 1800 muestras. Es por ello que se ha trabajado con el promedio de cada componente de frecuencia. A continuación se muestra la captura de pantalla del resultado de la medición hecho por el Narda SRM-3006.



**FIGURA A-3: CAPTURA DE PANTALLA DEL NARDA SMR-306 EN LA POSICIÓN 1.**

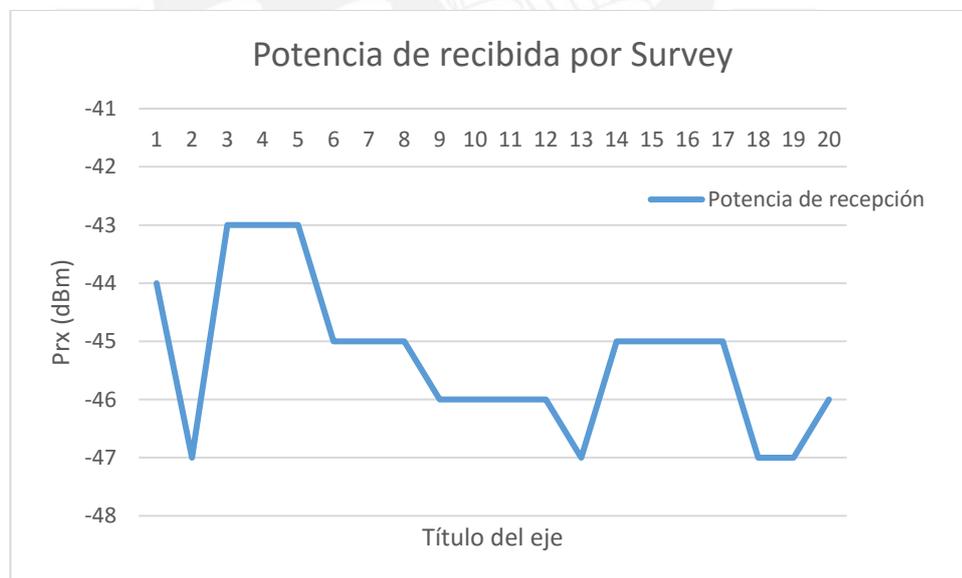
**FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.**

Si exportamos los valores del Narda, cada lectura por slot de la potencia recibida, y se calcula la integral de dichos valores, **se obtiene como resultado de lectura de potencia recibida por el Narda en la Posición 1 el valor de -42-41dBm.**

- **Resultados de Airmagnet Survey PRO y PROXIM Wireless 802.11a/b/g/n**

Se mostrara los resultados obtenidos por esta herramienta utilizada para la presente tesis. Los detalles técnicos de estas herramientas se han detallado en la sección 4.2.1.2.

Al igual que en el escenario anterior, se recolectó mediciones de potencia por 5 minutos, siendo el periodo de recolección de 15 segundos, resultando en 20 mediciones. En cada medición, el AirMagnet Survey Pro recopila 15 segundos de *beacons* -aproximadamente 150 *beacons*- promedia la potencia recibida (en Watts) de todos ellos, y al final reporta el valor promedio en dBs (redondeado a número entero). La figura A-4 muestra las mediciones de potencia recibida en el periodo de trabajo. **El promedio de las 20 mediciones es de -45.3dBm.**



**FIGURA A-4: MEDICIONES RECOLECTADAS DEL SURVEY PRO DURANTE 5 MINUTOS EN LA POSICIÓN 1**

**FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.**

## Anexo 2: Cálculo del Duty Cycle de la señal medida

### por el Narda en el Escenario de la Figura 5-1

En AP del laboratorio V304 es *dual band* y soporta los protocolos 802.11a/b/g/n en modo infraestructura (*Point Coordination Function*, o *PCF*). El cliente *Iperf* se conectó al AP usando el protocolo 802.11n en la banda de 5GHz a un *bitrate* de 72.2Mbps. El servidor *Iperf* se conectó al AP usando también el protocolo 802.11n pero en la banda de 2.4GHz.

Se debe tener en cuenta que para evitar colisiones se utiliza el método *Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance* (CSMA/CA). Este método consiste básicamente en prevenir colisiones de paquetes transmitidos, asegurando primero si el canal está libre. Para ser efectivo en la presencia de estaciones “*legacy*” (p.ej., 802.11b y 802.11g) el AP 802.11n trabaja en modo “*legacy*”, es decir, precede a su propio PHY *header* (20 useg, para transmisiones usando un solo “*stream*”) el (*short*) PHY *header* de 802.11b (96 useg a 2 Mbps). De esta manera, estaciones 802.11b y 802.11g reconocerán el inicio de una trama 802.11 y deferirán el acceso al medio.

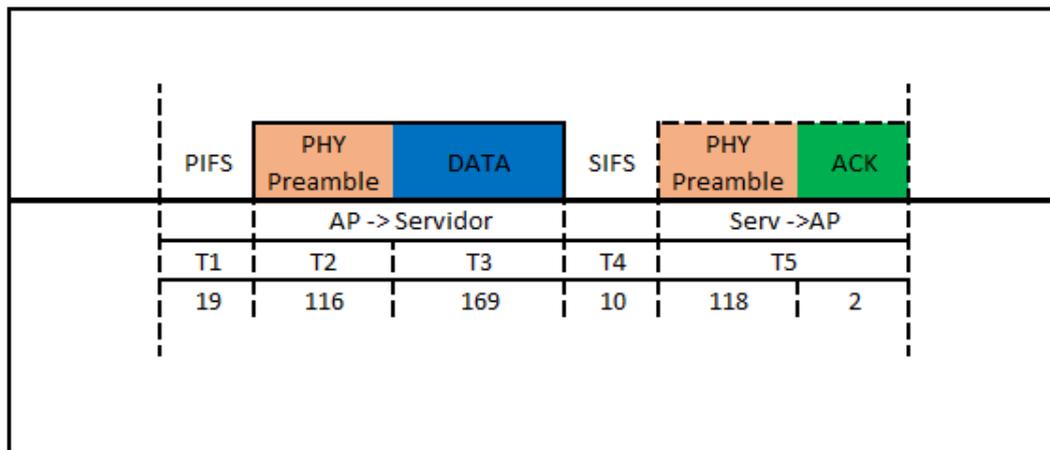
El modo PCF utiliza espacios de tiempo intertramas entre transmisiones para evitar las colisiones. Dichos espacios son los siguientes:

- *Distributed Inter Frame Space* (DIFS): mínimo retardo antes de empezar a transmitir un paquete después de que el canal esté supuestamente libre.
- *PCF Inter Frame Space* (PIFS): mínimo retardo antes de que el AP pueda empezar a transmitir un paquete después de que el canal esté supuestamente libre. PIFS es menor que el DIFS, lo que le da al AP prioridad de acceso al canal.
- *Short Inter Frame Space* (SIFS): tiempo entre la final de transmisión y el ACK.
- *Contention Window* (CW): tiempo que se espera luego de que se detecte que el canal está ocupado.

Para el estándar 802.11n usado en nuestras pruebas, los espacios intertramas y *time slot* (TS) tienen los siguientes valores:

	SIFS ( $\mu$ s)	PIFS ( $\mu$ s)	DIFS ( $\mu$ s)
802.11n	10	19	28

Debe notarse que en nuestra prueba (Escenario 1, Figura 5-1), solo el AP transmitía paquetes en el canal de observación (canal 11). Es decir, no había contención. Cada vez que el AP quería transmitir hallaba el canal libre. Entonces, asumiendo que el canal está saturado (el AP siempre tiene algo que transmitir) la secuencia de transmisión de un paquete es la mostrada en la Figura B-1.



**FIGURA B-1: SECUENCIA DE TRANSMISIÓN DE UN PAQUETE DEL AP AL SERVIDOR IPERF**

Como se aprecia en la Figura B-1, al empezar un ciclo de transmisión (luego de recibir el ACK de la transmisión anterior) el AP sensa el canal libre por PIFS segundos, luego de lo cual transmite un paquete: primero el PHY *header* y luego el “*payload*” (a un bitrate de 72,2Mbps). Ignorando los retardos de propagación del orden de nanosegundos, el receptor (el servidor Iperf en nuestro caso) espera SIFS segundos y luego transmite el ACK (nuevamente, primero el PHY *header* y luego el “*payload*”).

T1 es el periodo PIFS e igual a 19 useg.

T2 es la duración del PHY *preamble*, y en modo compatibilidad con 802.11b/g para un *spatial stream* es igual a 96useg + 20 useg = 116useg.

T3 es el tiempo que toma transmitir el *payload* a 72,2Mbps. Iperf por defecto genera datagramas UDP de longitud 1472 que generan paquetes de 1500bytes (el *Maximum Transmit Unit* o *MTU*), de una red Ethernet. Agregando la cabecera y cola de una trama 802.11n (24 y 4 bytes, respectivamente) tenemos una trama de 1528 bytes ó 12 224 bits, que son transmitidos @ 72,2Mbps en 169useg. Entonces, T3 = 169useg.

T4 es el SIFS time e igual a 10useg.

T5 es la suma del PHY *header* (116 useg) y el tiempo de transmisión del ACK *payload* (14 bytes) a un *bitrate* de 72,2Mbps. Entonces, T5 es igual a 118.

Dada la ubicación del equipo Narda, este recibirá las transmisiones de ACK del servidor *Iperf* con una potencia mucho menor, por lo que se puede decir que numéricamente es como si no las escuchara. Entonces, el *duty cycle* puede ser escrito como:

$$Duty\ Cycle = \frac{t_{busy}}{t_{periodo}} = \frac{T2 + T3}{T1 + T2 + T3 + T4 + T5} = \frac{116 + 169}{19 + 116 + 169 + 10 + 118}$$

$$Duty\ Cycle = \frac{285}{432} = 0.66$$

Entonces, si  $P_r$  es la potencia recibida cuando hay transmisiones, el promedio medido por la herramienta Narda será:

$$\overline{P_m} = P_r * 0.66 = P_r(dBm) - 1.81dB$$