

# INFORME

Medición Antenas Patrón de 1 GHz a 18 GHz

Medición Generador de Señal Radar en Banda S (3 GHz)

**Mg. Marcelo Bruno**

*mbruno@criba.edu.ar* ( DIEC-UNS / IIIE-CONICET )

**Ing. Marcelo Peruzzi**

*marcelo.peruzzi@uns.edu.ar*( DIEC-UNS / IIIE-CONICET )

**Dr. Juan Cousseau**

*jcousseau@uns.edu.ar*( DIEC-UNS / IIIE-CONICET )

BAHÍA BLANCA  
2017

# Índice

<b>1. Introducción</b>	<b>2</b>
<b>2. Mediciones en Antenas Horn patrón y Reflector parabólico</b>	<b>2</b>
2.0.1. Consideraciones de Campo Lejano . . . . .	4
2.0.2. Ecuaciones para medición de Ganancia . . . . .	4
2.1. Resultados Mediciones Antena Horn 1-2 GHz . . . . .	6
2.2. Resultados Mediciones Antena Horn 2-4 GHz . . . . .	9
2.3. Resultados Mediciones Antena Horn 4-8 GHz . . . . .	12
2.4. Resultados Mediciones Antena Horn 8-16 GHz . . . . .	15
2.5. Resultados Mediciones Antena Horn 12-18 GHz . . . . .	18
2.6. Medición Antena Iluminadora Log Periódica . . . . .	20
2.7. Medición Antena Parabólica . . . . .	21
2.8. Análisis y Conclusiones . . . . .	24
<b>3. Mediciones del Generador de Señal Radar</b>	<b>25</b>
3.1. Análisis y Conclusiones . . . . .	25
<b>4. Conclusiones Finales y Recomendaciones</b>	<b>26</b>
<b>5. Acción Correctiva Implementada</b>	<b>26</b>
<b>6. Análisis del Enlace</b>	<b>29</b>
6.1. Análisis de la distancia de enlace para receptores heterodino con la potencia final medida en generador reparado . . . . .	29
6.2. Análisis de la distancia de enlace para receptor a cristal con la potencia final medida en generador reparado . . . . .	30
6.3. Conclusiones de los análisis de enlace . . . . .	30
<b>Referencias</b>	<b>30</b>

## 1. Introducción

El presente informe describe los resultados de medición y análisis realizados en el conjunto de antenas horn patrón y el equipo generador de señales radar en 3GHz desarrollados por CITEDEF [1]. Estas tareas fueron encomendadas por el Servicio de Análisis Operativos, Armas y Guerra Electrónica (SIAG) con la finalidad de validar el cumplimiento de las especificaciones, el correcto funcionamiento de los equipos y obtener mediciones faltantes en [1].

El documento se divide en dos partes, en primer lugar se detallan los trabajos en las antenas tanto horn como las que componen el generador radar, luego se detallan las mediciones de potencia y espectrales del modulo generador de señales radar de +20dBm. En ambos casos se presentan los gráficos y resultados obtenidos juntos con los análisis y conclusiones particulares.

A continuación se incluye un análisis de enlace para el uso del equipo en función de la sensibilidad de dos tipos de receptores posibles en un buque de guerra, a) el receptor super heterodino con ancho de banda IF igual al de la señal transmitida y b) el receptor de alerta radar cuyo ancho de banda es mucho mayor a la señal transmitida. Para ambos casos se calculan los rangos de distancias factibles utilizando la potencia medida en el transmisor e incluyendo los problemas detectados en el equipo en la revisión. Finalmente se presentan las conclusiones generales y recomendaciones.

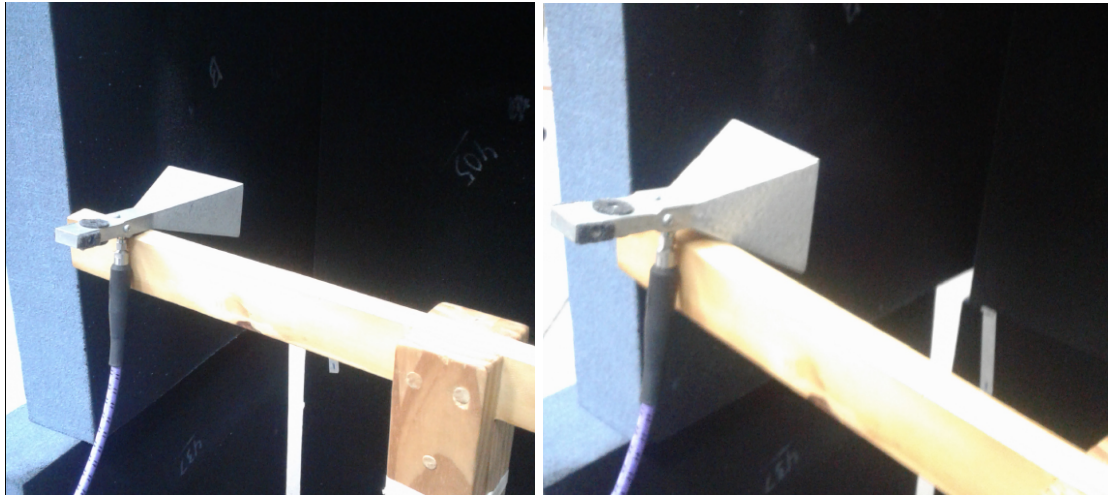
## 2. Mediciones en Antenas Horn patrón y Reflector parabólico

Se midieron los comportamientos de ganancia y de la relación de onda estacionaria (ROE o SWR en inglés). En ambos casos se utilizaron paneles absorbentes (AEL 0.75 marca [2] ) para evitar reflexiones indeseadas.

En primer lugar se midió el ROE con el analizador vectorial de redes (VNA) modelo ZVA 24 GHz marca Rohde & Schwarz colocando las antenas dentro de una cámara hecha con los paneles absorbentes (fig 1) y las antenas transmitiendo mas allá del borde del campo lejano respecto del panel absorbente opuesto. Para mayor precisión en la medición previo a ellas el instrumento se calibró con la unidad de calibración automática ZV-Z52 Rohde & Schwarz (figura 2). Las mediciones, y por ende las calibraciones, se realizaron en el mismo rango que el informe [1]. Para mayor precisión, y dado que la calibración es mas efectiva a medida que el ancho de banda disminuye, para cada antena se subdividió el rango en cuatro regiones de medición individuales y se obtuvieron estas mediciones con sus respectivas calibraciones individuales. Los resultados de las mediciones en los anchos de banda original se muestran respectivamente en las figuras 3, 6, 9, 12 y 15. Los resultados de mediciones para cada rango se muestran en las figuras 4, 7, 10, 13 y 16. Los valores de los graficos mencionados serán entregados también junto con el presente informe en archivos del tipo \*.dat y \*.csv para su posterior uso en simulación y análisis.

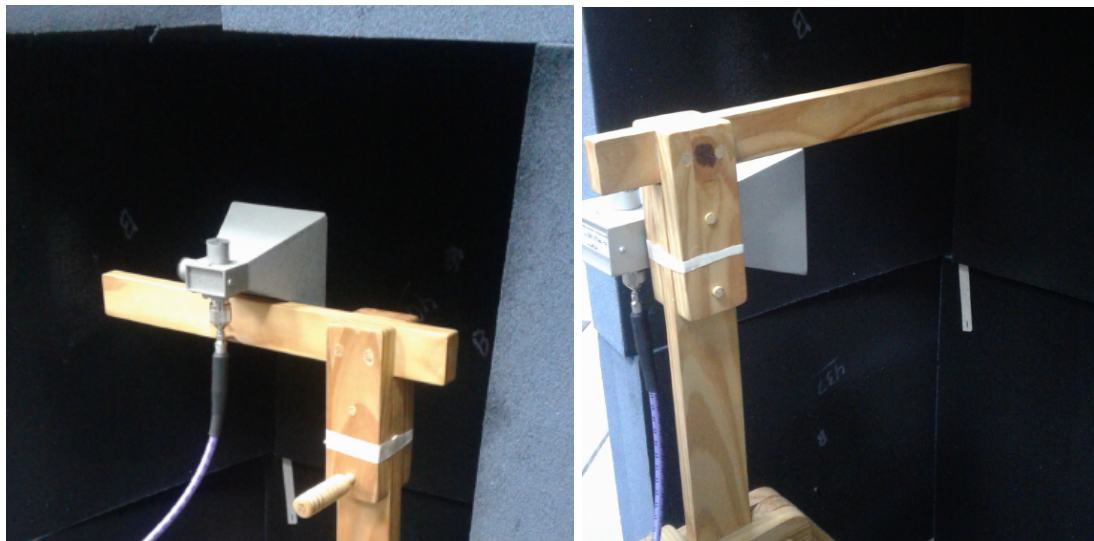
Las ganancias se midieron utilizando como generador de señal el analizador vectorial de redes ZVA 24GHz marca Rohde& Schwarz, el medidor de potencia de la misma marca NRP2 y su sensor asociado NRP Z81 y la antena de referencia HF07 R&S. El método para el cálculo de ganancia es el definido en [3] y en todos valores se tuvieron en cuenta las pérdidas por retorno de ambas antenas, la ganancia de la antena

de referencia, y la máxima incertidumbre de medición de potencia causada por el sensor bolo-métrico [4]. Los valores de ganancia fueron calculados con la planilla de cálculo '*Antenas – Measures.xls*' que se entrega con el presente informe. A su vez dichos valores se presentan en las figuras que se incluyen a continuación.



(a)

(b)



(c)

(d)

Figura 1: Medición SWR Antenas Horn

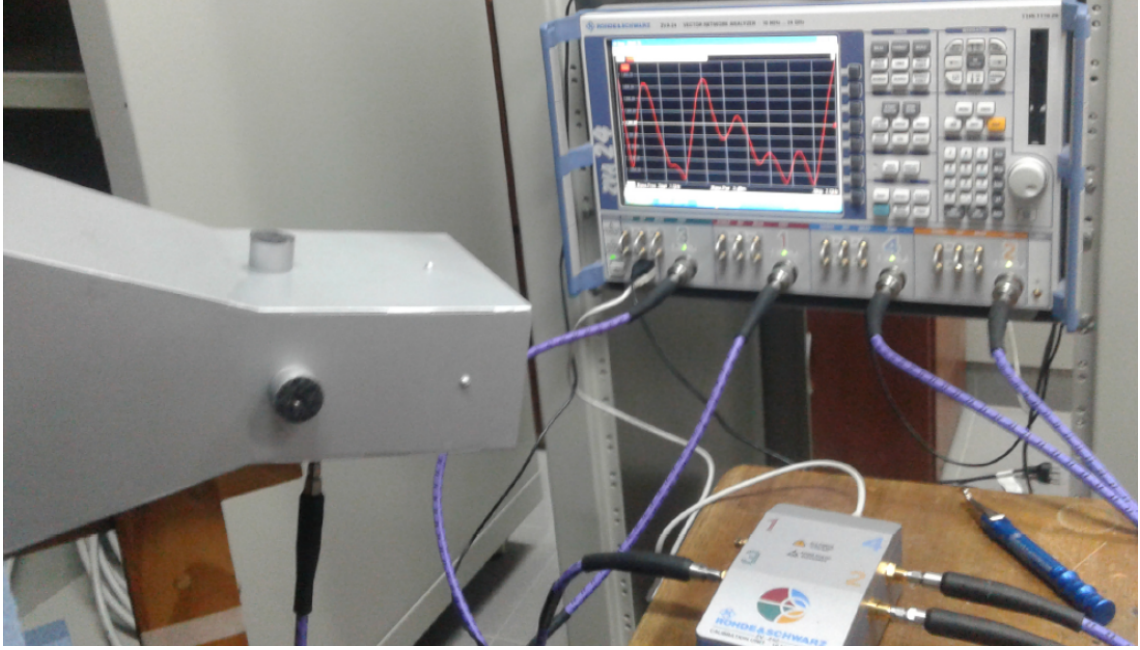


Figura 2: Kit de Calibración VNA

### 2.0.1. Consideraciones de Campo Lejano

Para la medición de potencia, y el posterior cálculo de ganancia, se estimaron las distancia del borde de campo lejano para los peores casos de frecuencia de cada antena como detallan las ecuaciones a continuación. Para la antena parabólica se utilizó una distancia mínima de 20 mts. En el caso de la antena de referencia HF07 *R&S*, cuya dimensión máxima  $D_{Max}$  de 305 mm. y para el rango superior frecuencias se estima la máxima dimensión  $D_{Max}$  en 5 longitudes de onda en función del elemento Vivaldi. De todos modos, en todas las mediciones se variaron las distancias para verificar que no existieran cambios abruptos de ganancia que indicaran que las antenas estuvieran en la región de campo cercano (zona de Fresnel) y que de este modo se pudieran tomar mediciones erróneas. La distancia seleccionada para medición de ganancia de las antenas horn fue 1.45 mts. Los cálculos de distancia para campo lejano ' $r = \frac{2D^2}{\lambda_{min}}$ ', que se muestran a continuación en la Tabla 1 confirman que esos valores son los adecuados.

### 2.0.2. Ecuaciones para medición de Ganancia

$$P_{Rx} = P_{Tx} G_{Tx} G_{Rx} \left( \frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2 \quad (1)$$

donde  $P_{Rx}$  es la potencia medida en la antena receptora (antena desconocida),  $P_{Tx}$  es la potencia transmitida por la antena de referencia,  $G_{Tx}$  es la ganancia de la antena transmisora y  $G_{Rx}$  es la ganancia de la antena receptora. Conociendo los valores de la ecuación anterior la  $G_{Rx}$  se calcula como se indica a continuación,

$$G_{Rx}(dB) = 20 \cdot \log_{10} \left( \frac{4\pi R}{\lambda} \right) - 10 \log_{10} \left( \frac{P_{Tx}}{P_{Rx}} \right) - G_{Tx}(dB) \quad (2)$$

Cuadro 1: Distancia mínimas que satisface condición de campo lejano

Antena	Frecuencia (GHz)	$D_{max}$ (mm)	r (mts)
Parabola	3	950	18.05
Horn	12-18	74	0.66
Horn	8-16	74	0.58
Horn	4-8	105	0.59
Horn	2-4	146	0.57
Horn	1-2	210	0.59

el término  $20 \cdot \log_{10} \left( \frac{4\pi R}{\lambda} \right)$  es la pérdida en espacio libre en función de la distancia entre antenas  $R$ . El cálculo de  $G_{Rx}$  se obtendrá entonces con la ecuación 2 y teniendo en cuenta los siguientes factores.

- Ajuste de potencia transmitida en función del coeficiente de reflexión, la potencia reflejada es  $100 \cdot \Gamma^2$  donde  $\Gamma = \frac{V_{SWR}-1}{V_{SWR}+1}$  y la pérdida en dB por esa reflexión es  $10 \log_{10}(1 - \Gamma^2)$ .
- Incertidumbre de medición de potencia por  $\Gamma$ . El sensor de potencia NRP Z81 presenta un valor de  $SWR < 1,16$ ,  $\Gamma = 0,074$  hasta los 2.4GHz,  $SWR < 1,20$ ,  $\Gamma = 0,091$  en el rango 2,4 – 8,0GHz y  $SWR < 1,25$ ,  $\Gamma = 0,111$  en el rango de 8,0GHz a 18,0GHz por lo que la incertidumbre en medición de potencia está acotada a  $\pm 0,13dB$  y  $\pm 0,15dB$  respectivamente [4].

## 2.1. Resultados Mediciones Antena Horn 1-2 GHz

- Medición SWR

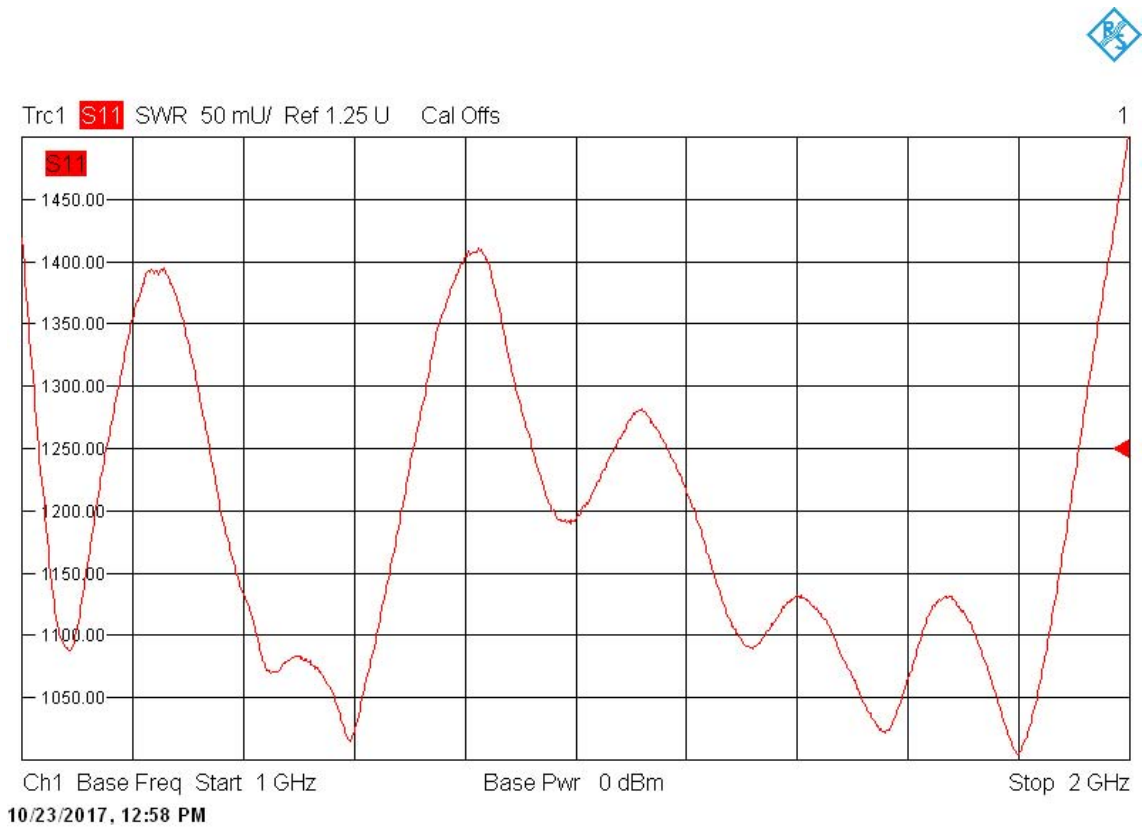
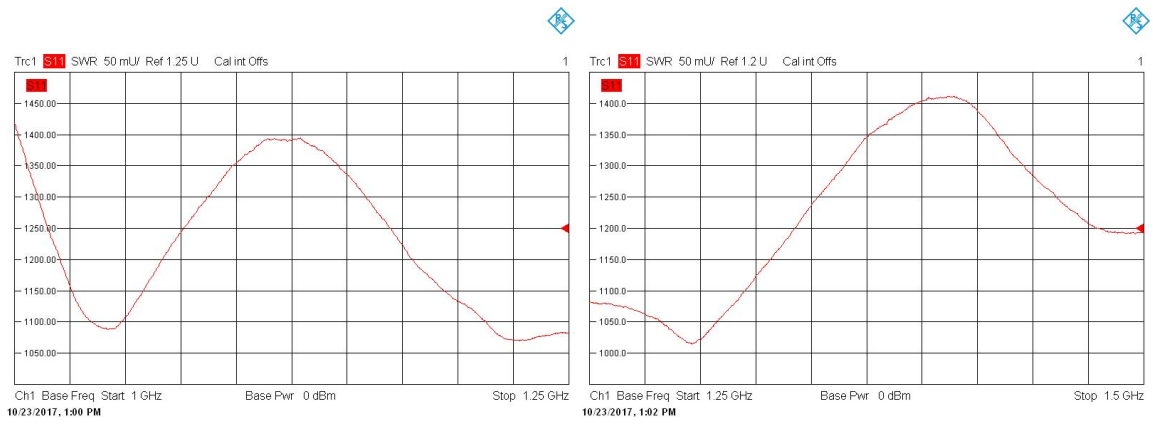
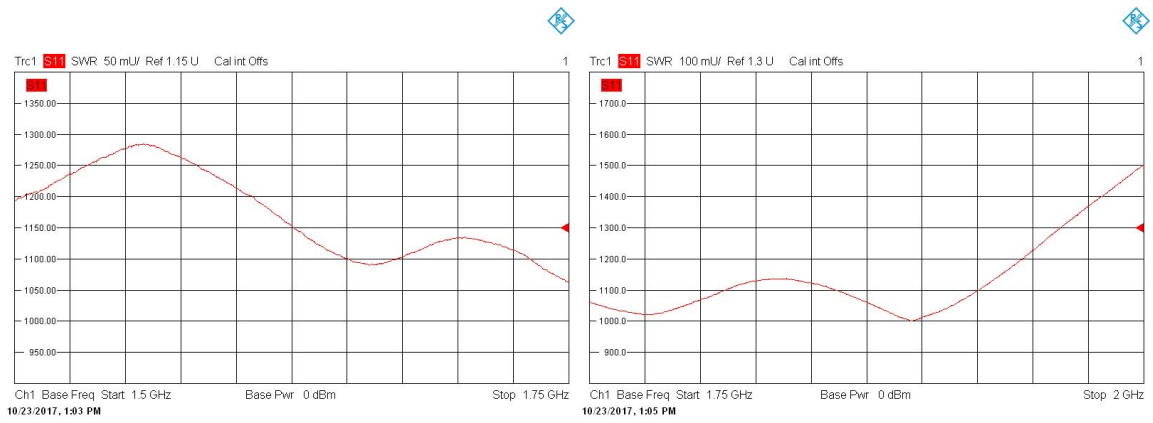


Figura 3: SWR Antena Horn 1GHz - 2GHz



(a)

(b)



(c)

(d)

Figura 4: Zoom SWR Antena Horn 1GHz - 2GHz, a) 1.0-1.25GHz. b) 1.25-1.5 GHz. c) 1.50-1.75 GHz. d) 1.75-2.0 GHz

■ Medición Ganancia

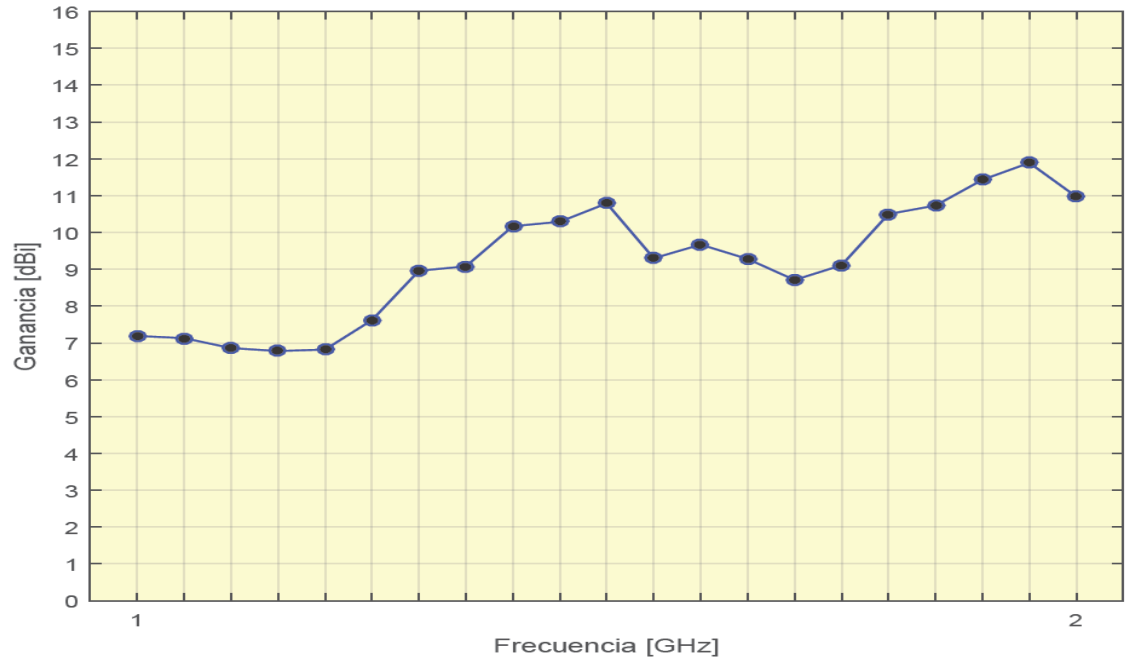


Figura 5: Ganancia Antena Horn 1GHz - 2GHz

## 2.2. Resultados Mediciones Antena Horn 2-4 GHz

- Medición ROE

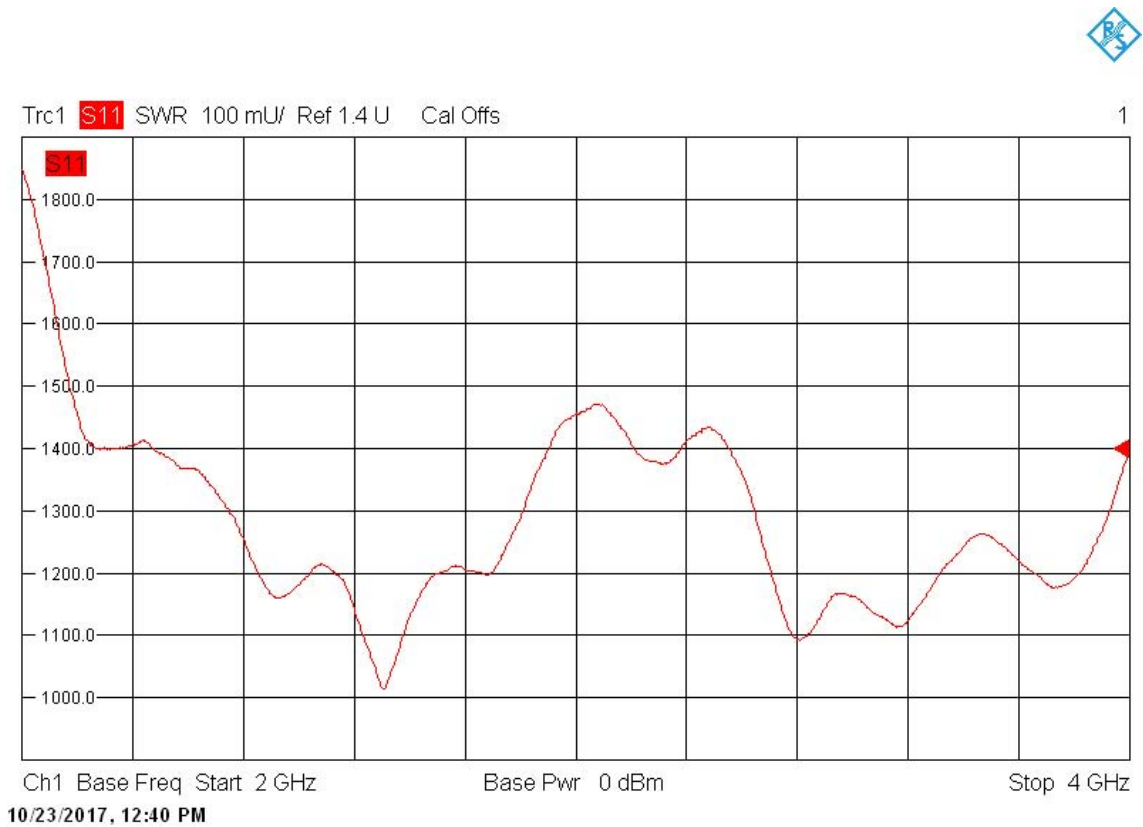
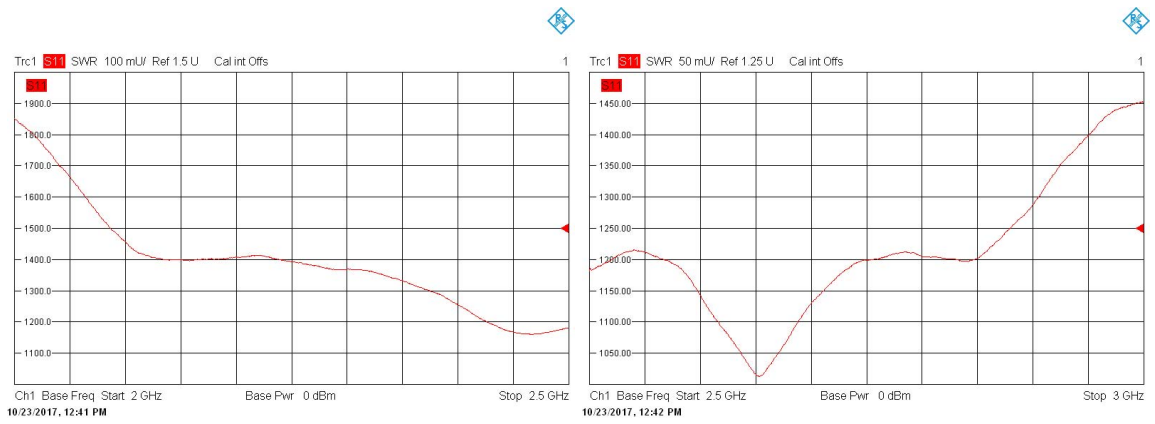
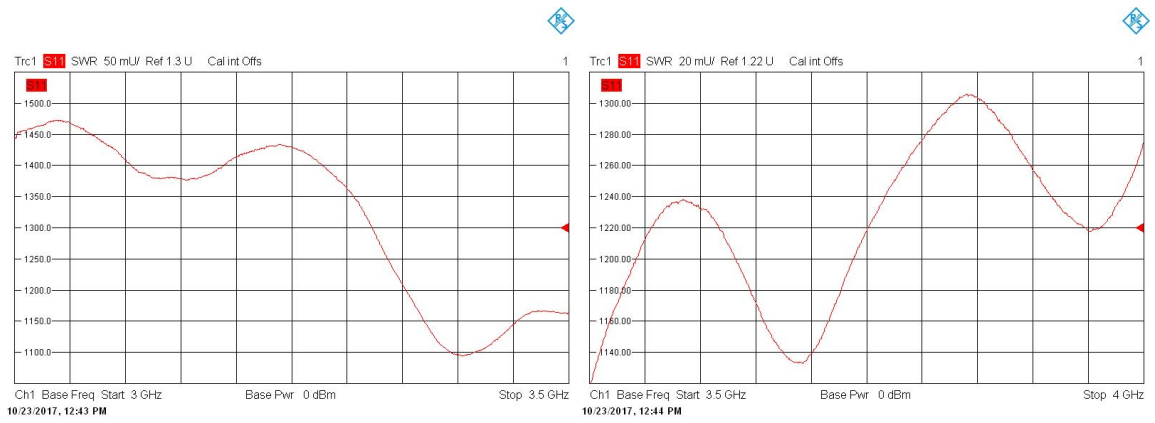


Figura 6: SWR Antena Horn 2GHz - 4GHz



(a)

(b)



(c)

(d)

Figura 7: Zoom SWR Antena Horn 2GHz - 4GHz, a) 2.0-2.5 GHz. b) 2.5-3.0 GHz. c) 3.0-3.5 GHz. d) 3.5-4.0 GHz

■ Medición Ganancia

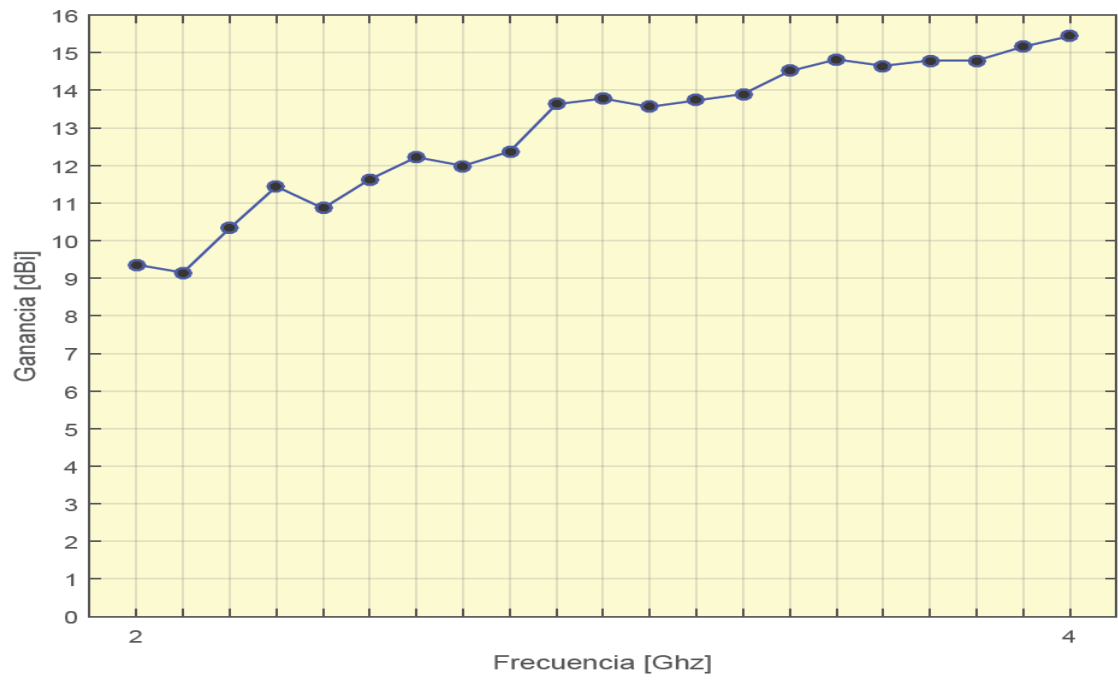


Figura 8: Ganancia Antena Horn 2GHz - 4GHz

### 2.3. Resultados Mediciones Antena Horn 4-8 GHz

- Medición SWR

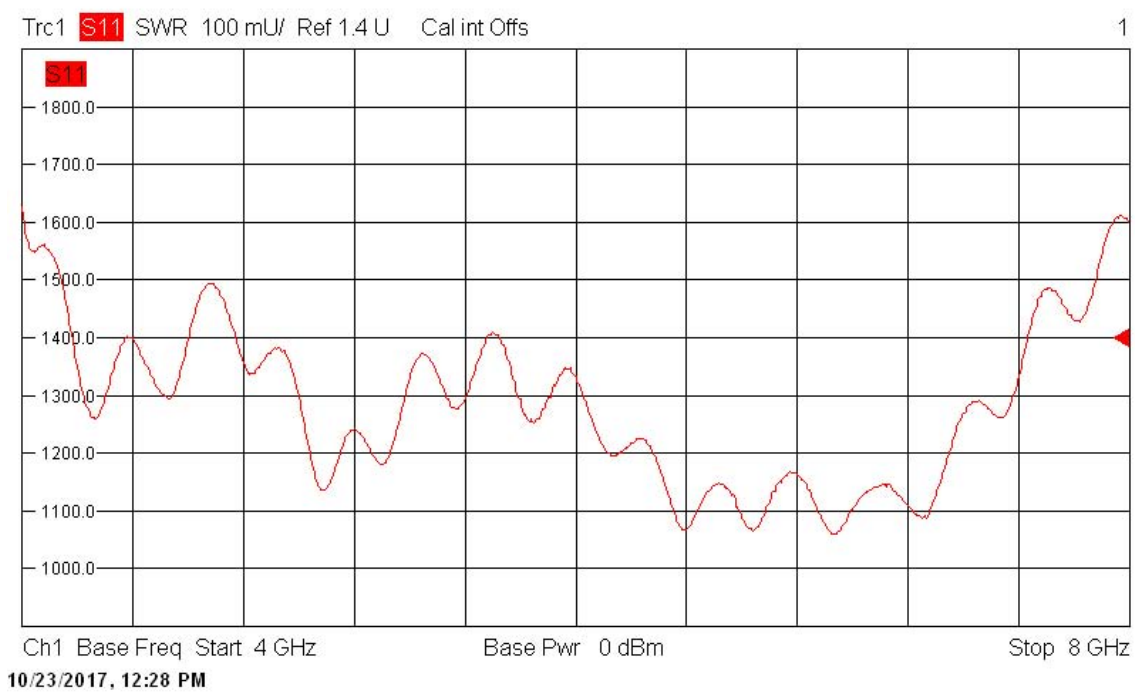
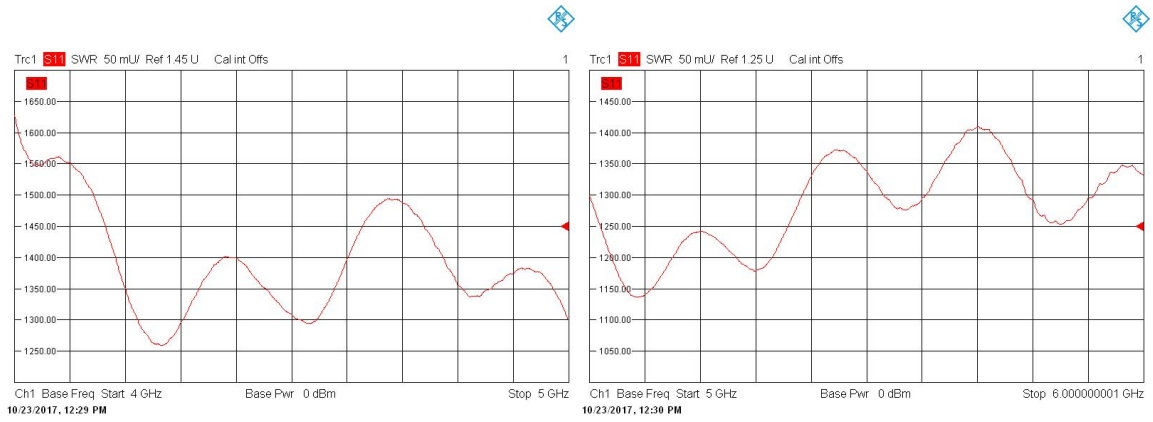
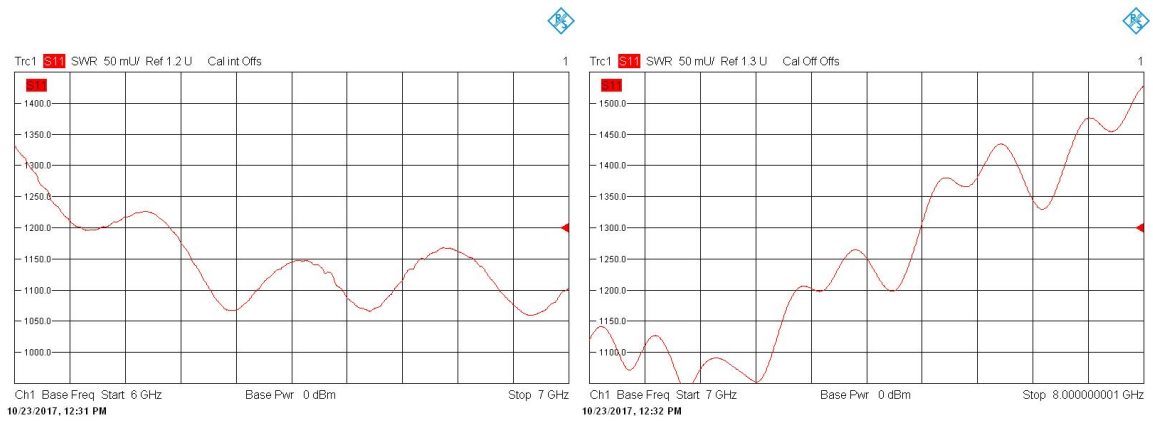


Figura 9: SWR Antena Horn 4GHz - 6GHz



(a)

(b)



(c)

(d)

Figura 10: Zoom SWR Antena Horn 4GHz - 6GHz, a) 4.0-5.0 GHz. b)5.0- 6.0 GHz. c) 6.0- 7.0 GHz. d) 7.0-8.0 GHz

■ Medición Ganancia

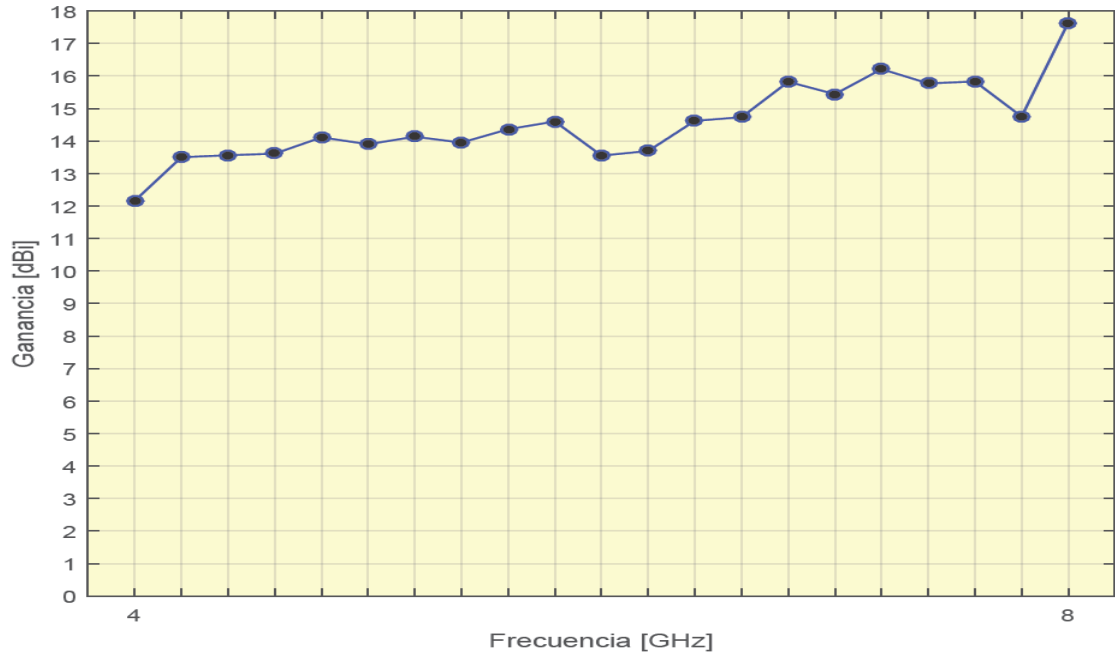


Figura 11: Ganancia Antena Horn 4GHz - 8GHz

## 2.4. Resultados Mediciones Antena Horn 8-16 GHz

- Medición ROE

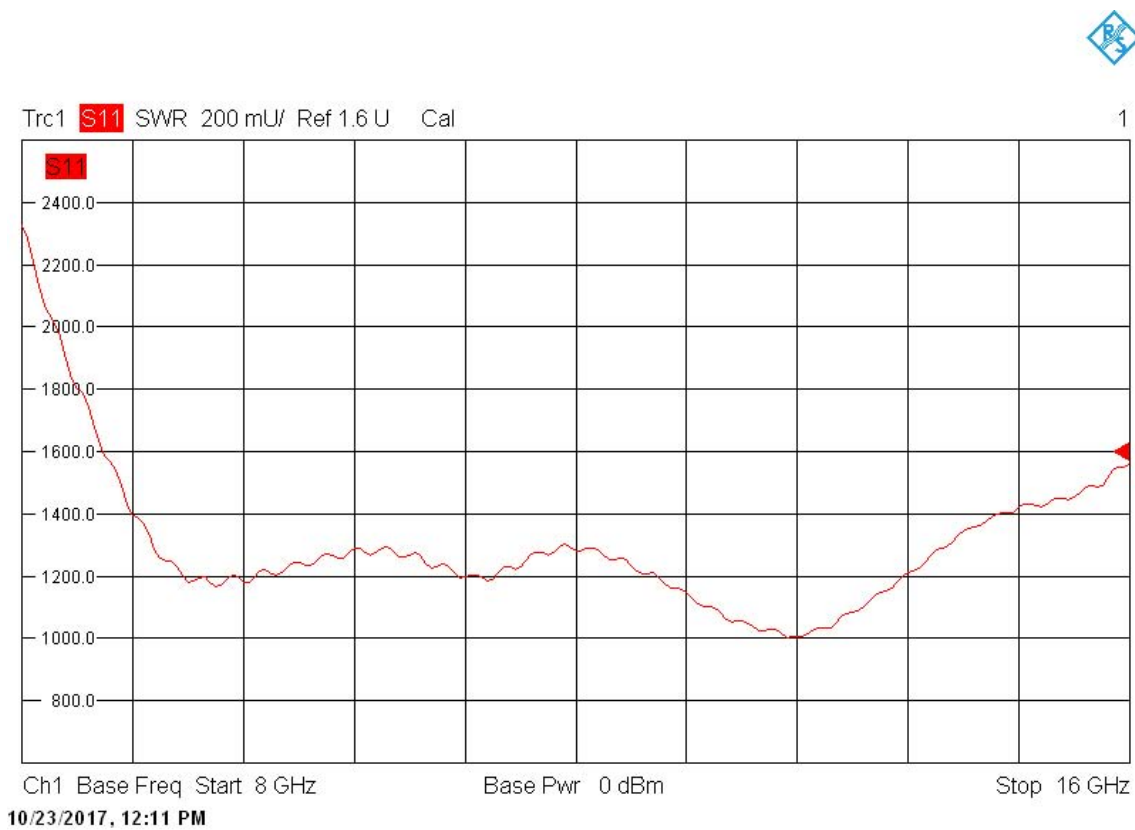
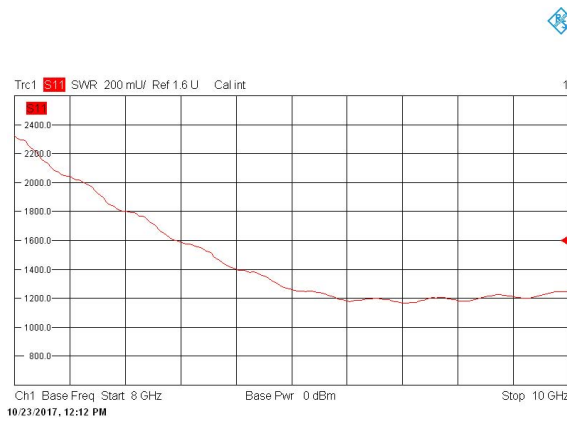
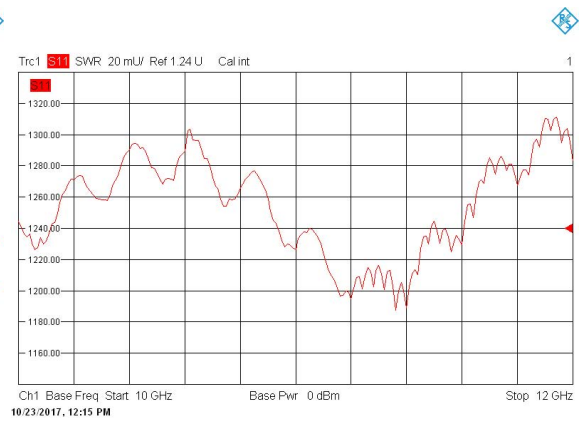


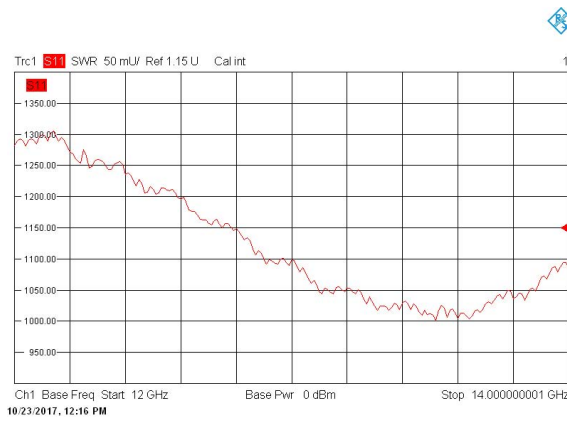
Figura 12: SWR Antena Horn 8GHz - 16GHz



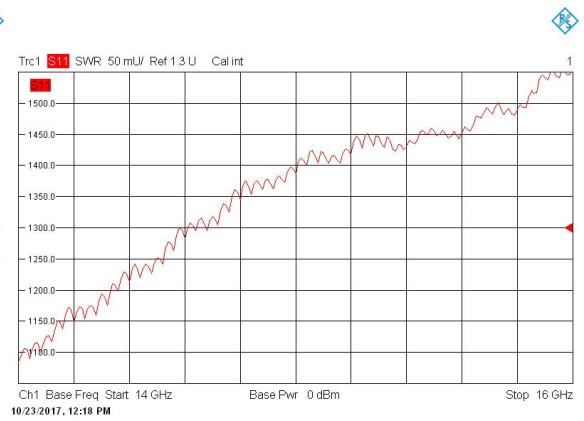
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 13: Zoom SWR Antena Horn 8GHz - 16GHz, a) 8.0-10.0 GHz. b) 10.0-12.0 GHz. c) 12.0-14.0 GHz. d) 14.0-16.0 GHz

■ Medición Ganancia

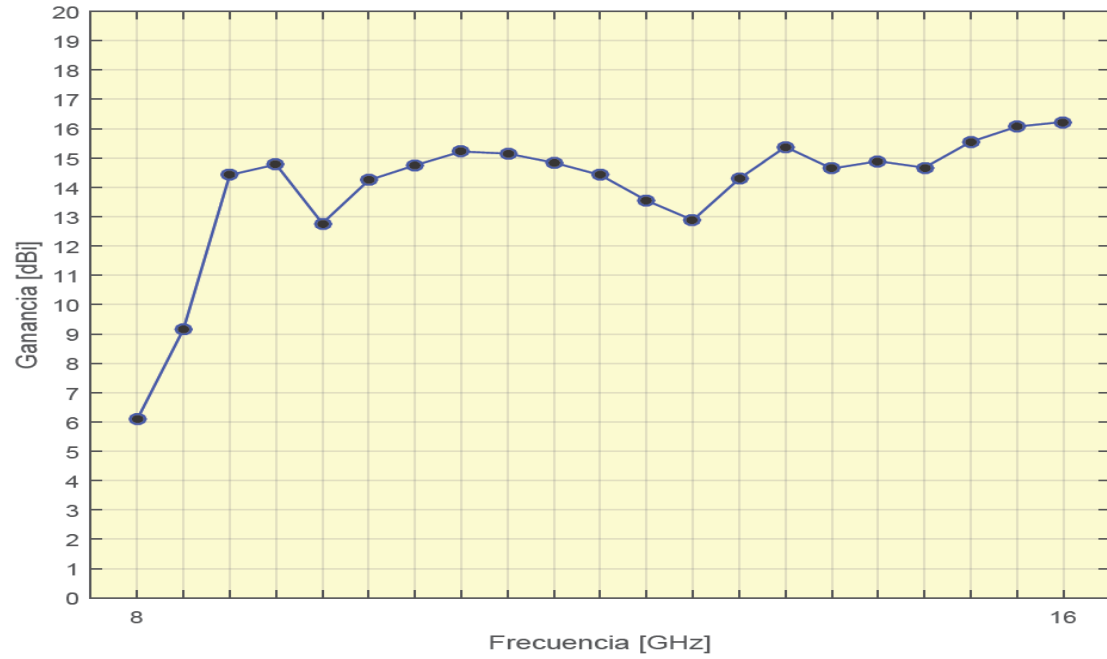


Figura 14: Ganancia Antena Horn 8GHz - 16GHz

## 2.5. Resultados Mediciones Antena Horn 12-18 GHz

- Medición SWR

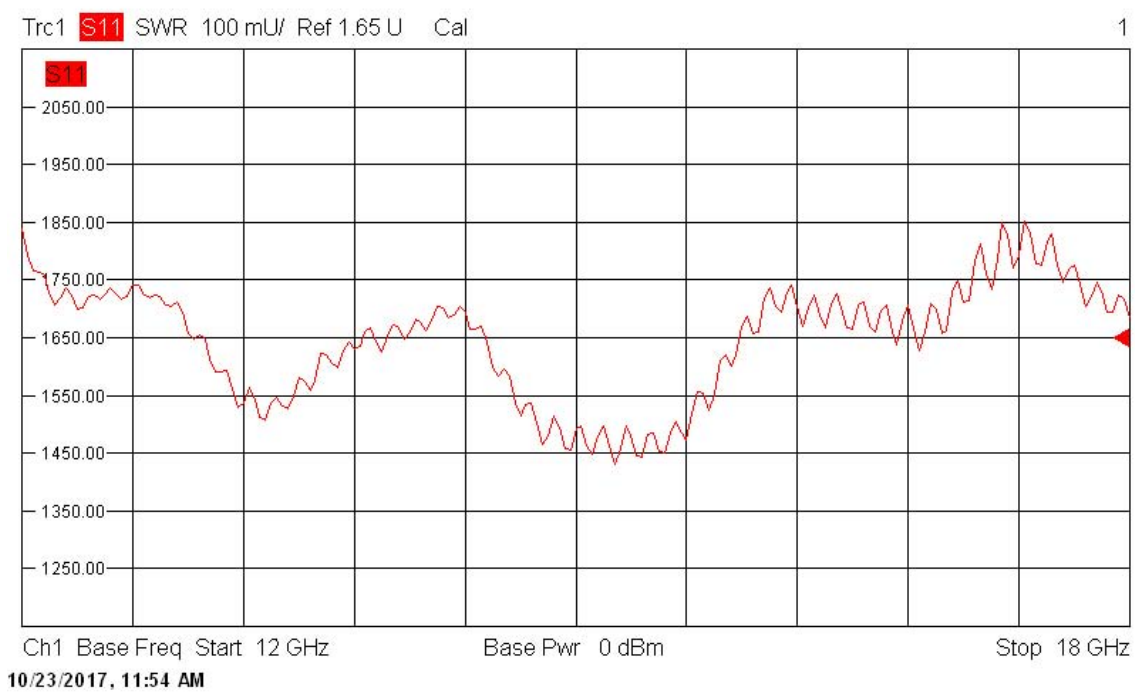
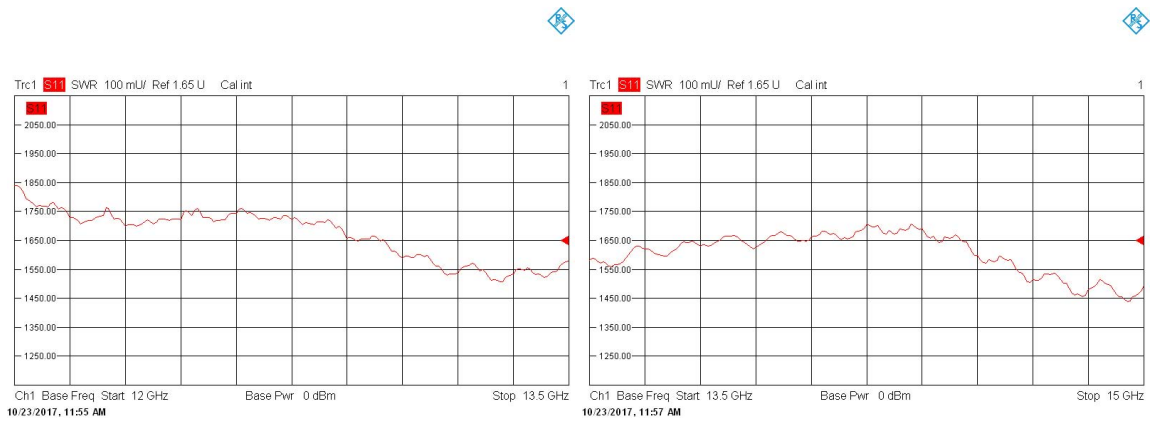
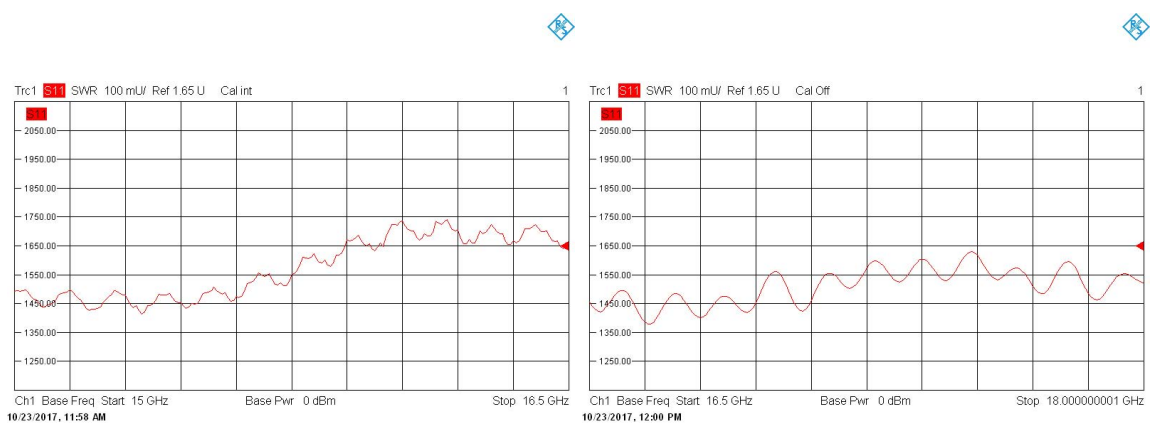


Figura 15: SWR Antena Horn 12GHz - 18GHz



(a)

(b)



(c)

(d)

Figura 16: Zoom SWR Antena Horn 12GHz - 18GHz a) 12.0-13.5 GHz. b)13.5-15.0 GHz. c) 15.0-16.5 GHz. d) 16.5-18.0 GHz

■ Medición Ganancia

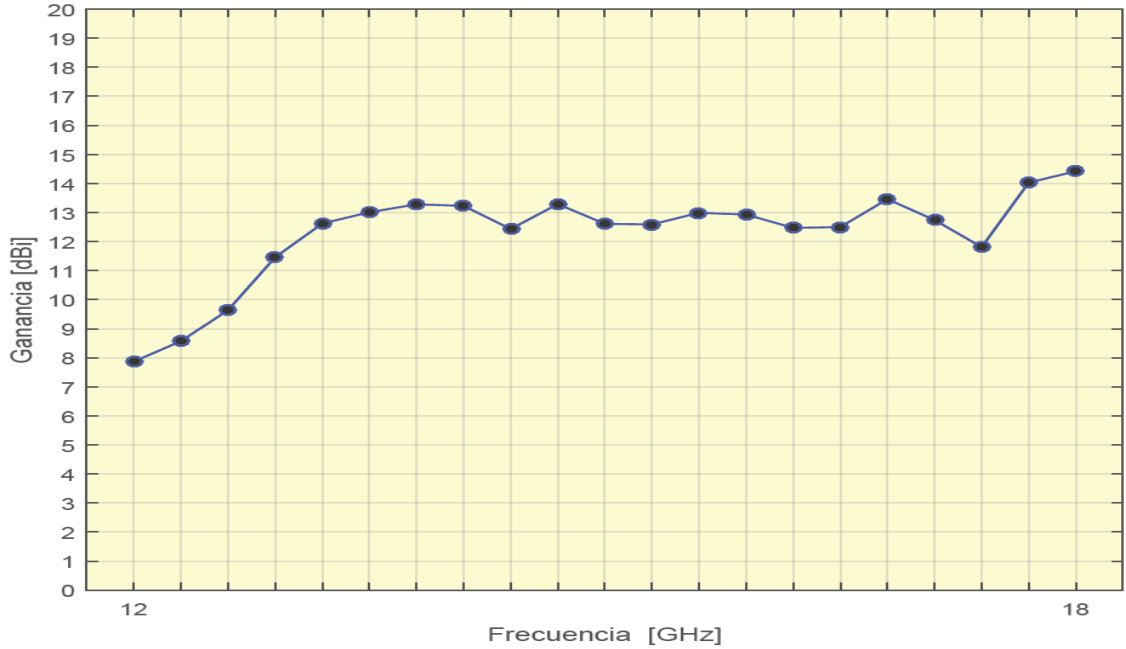


Figura 17: Ganancia Antena Horn 12GHz - 18GHz

## 2.6. Medición Antena Iluminadora Log Periódica

La medición de SWR se realizó en las mismas condiciones descritas para las antenas horn. La medición de SWR se muestra en la figura 18, los valores de dichas mediciones también se adjunta en formato \*.dat y \*.csv para ser utilizados en simulación.

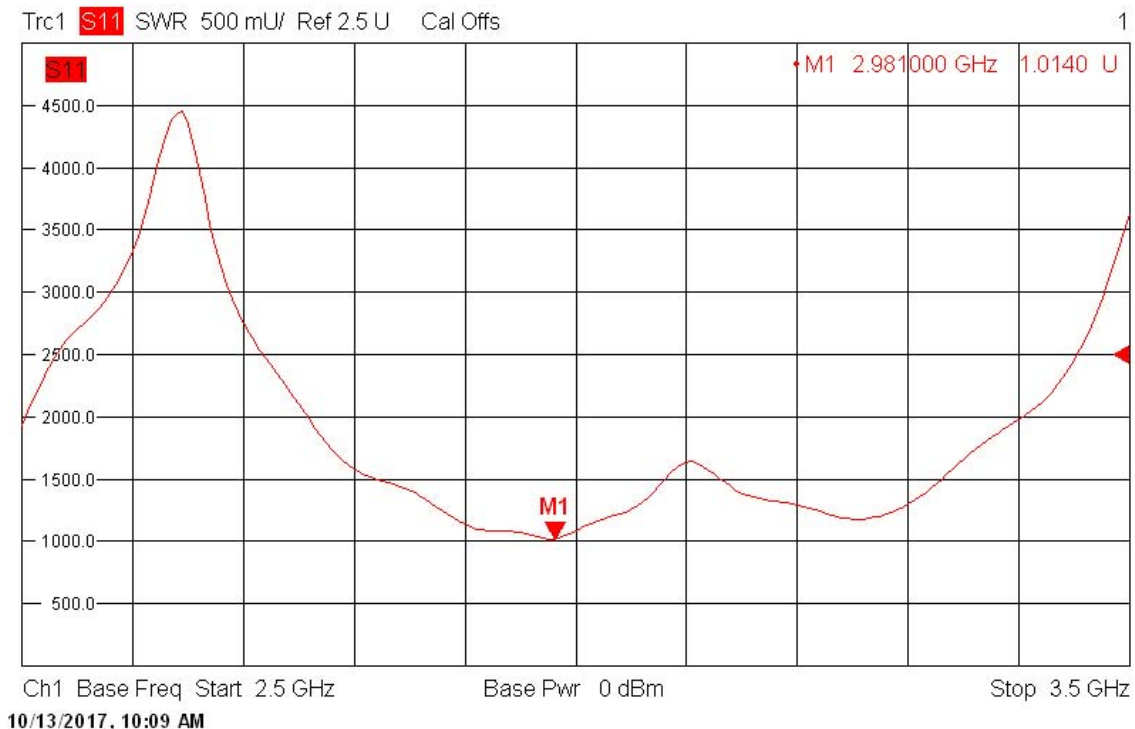


Figura 18: SWR Antena Iluminadora Log Periódica

Para esta antena fabricada en FR4 es esperable en teoría una ganancia de aproximadamente 5dB a 6dB [5], [6]. El valor de ganancia obtenido a partir de las mediciones resultó 5.8 dB. Los valores y detalles de los cálculos de ganancia se adjuntan en el archivo '*Antenas\_Measures.xls*', al igual que en los casos anteriores se incluyeron los efectos de las pérdidas por retornos de ambas antenas y la incertidumbre en la medición de potencia.

## 2.7. Medición Antena Parabólica

La ganancia teórica de una antena parabólica es ([7] 9.6.6):

$$G_{Max}(dB) = 10 * \log_{10}(\pi^2 \frac{D^2}{\lambda^2} \eta_{rad}) \quad (3)$$

donde  $D$  es el diámetro de la parábola y  $\lambda$  la longitud de onda. La ganancia teórica resulta para este caso es 29.45 dB y contemplando una eficiencia total  $\eta_{rad}$  de 50% como valor conservador, la ganancia es

$$G_{Max}(dB) = 10 * \log_{10}(\pi^2 \frac{0,95^2}{0,1^2} 0,5) = 26,5dB \quad (4)$$

El ancho del lóbulo de transmisión teórico está relacionado a la frecuencia y los parámetros constructivos de la siguiente manera:

$$\theta_{Deg} = \frac{70\lambda}{D} = \frac{70 * 0,1m}{0,95m} = 7^\circ \quad (5)$$

es decir que en teoría los puntos de -3dB se encuentran a  $\pm 3,5^\circ$  del eje axial de la parábola. El foco de la antena se calcula como,

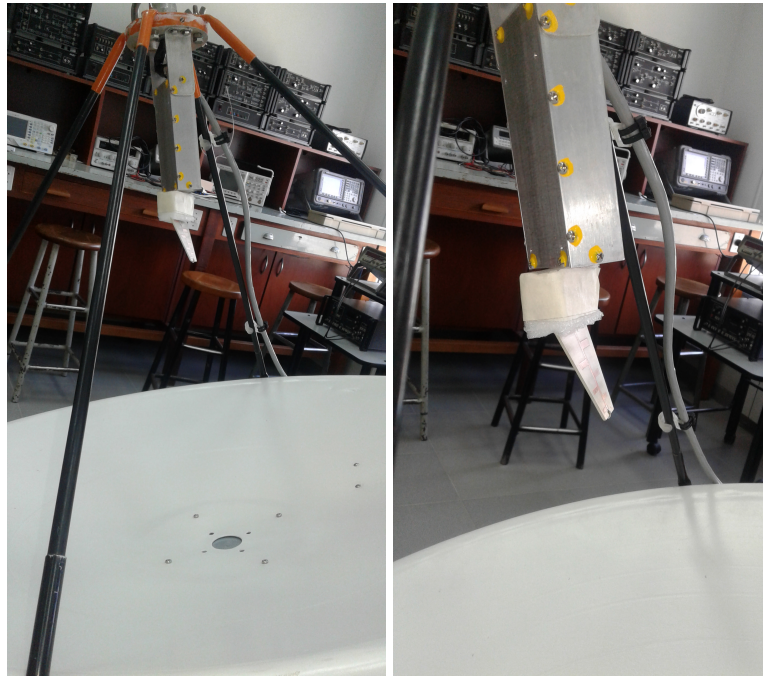
$$f = \frac{D^2}{16.d} \quad (6)$$

donde  $D$  es el diámetro de la parábola y  $d$  es la profundidad de la misma que para el caso son  $D = 950mm$  y  $d = 131mm$  respectivamente, entonces

$$f = \frac{950^2mm}{16,131mm} = 430mm \quad (7)$$

y el valor  $f/D = 0,45$ .

Como muestra la figura 19 la antena iluminadora estaba desplazada respecto del centro de la parábola en aproximadamente 105 mm. Teniendo en cuenta la distancia al foco se calcula un error de aproximadamente 14 grados en el ángulo de enfoque.



(a)

(b)



(c)

Figura 19: a) b) y c), Corrimiento de foco de la antena Iluminadora Log. Periódica

- Ganancia Campo Lejano: La medición de ganancia se realizó en tres distancias diferentes, 20 mts, 100 mts y 178 mts (figura 20). Las dos últimas con un despeje en altura de la parábola de 5.5 mts. Para la medición de 20 mts se reemplazo el generador radar por un generador senoidal de 3GHz y se

obtuvo una ganancia de 25.1 dB con polarización de la antena receptora a 45 grados, para los casos de polarización vertical y horizontal de la receptora las ganancias respectivas medidas fueron 20.9 dB y 23.25 dB. La ganancia máxima se logró ajustando el foco axial (posición de la log periódica) obteniéndose una mejora de 0.5 dB respecto de la posición original.

Para las mediciones de 100 mts y 178 mts se utilizó el generador de pulsos radar con polarización a 45 grados en ambas antenas y la medición de potencia se realizó con analizador espectral siguiendo la selección de filtros recomendadas en [8]. Las ganancias dieron un valor ligeramente mayor al caso de corta distancia. Los valores y detalles de medición se adjuntan en el archivo '*Antenas – Measures.xls*'.

- Medición de lóbulo: La medición de lóbulo se realizó junto con las medición a 178 mts. Se pudo verificar el ancho de haz aunque con ciertas restricciones debido a cuestiones de apuntamiento. Concretamente una atenuación de 3 dB en distancias mayores al equivalente en ángulo de 4 grados



Figura 20: Medición de Ganancia de la parábola en espacio libre

## 2.8. Análisis y Conclusiones

Las mediciones de SWR en la mayoría de los casos mostraron resultados similares al informe original [1] a excepción de los de la antena 4-8 GHz en la que se observa una diferencia notoria en 8GHz donde se midió un valor de SWR=1.6 respecto del SWR 1.2 original. Para el caso de las mediciones de ganancias se detalla a continuación

- 1-2 GHz, los valores de ganancia al inicio y al final de la banda coinciden con [1] aunque diferencias de aproximadamente 1 dB observadas dentro de la banda.
- 2-4 GHz, los valores de ganancia al inicio y al final de la banda coinciden con [1]. Diferencias de aproximadamente 0.5 dB se observan dentro de la banda.
- 4-8 GHz, los valores de ganancia al inicio y al final de la banda coinciden con [1]. Diferencias de aproximadamente hasta 1.5 dB se observan dentro de la banda.

- 8-16 GHz, se observa una ganancia menor en aproximadamente 7 dB al inicio de la banda y sobre el final de la banda la ganancia lograda es menor en 2dB respecto de [1].
- 12-18 GHz, los datos de ganancia no fueron presentados en [1] y no se puede realizar comparación. Los valores dan dentro de lo previsto por la teoría.
- 3 GHz, Log Periódica: La medición de SWR es muy similar a las presentadas en [1] y el valor de ganancia medido es concordante con el valor teórico esperable, este valor de ganancia no fue presentado en [1].
- 3GHz, Parábola: en [1] se describe el valor de ganancia de 27.3dB obtenido por simulación. El valor medido del conjunto parábola e iluminador es concordante con los cálculos teóricos realizados en este informe y cercado al valor simulado en [1].

### 3. Mediciones del Generador de Señal Radar

El generador consta de un oscilador y cuatro etapas de amplificación. Las últimas dos se implementan con el dispositivo PHA-1+ y funcionan correctamente. Las dos etapas pre amplificadoras fueron implementadas con el 3SWA OG4 MCL (no fue posible encontrar datos técnicos específicos) Estos a su vez son conmutados por el circuito generador de pulsos. En estas dos primeras etapas se verificó ganancia de potencia negativa (medido en potencia con bolómetro). El circuito generador de señales radar genera correctamente los pulsos 1 useg a velocidad de repetición de 1 KHz.

La potencia de salida se midió con analizador espectral al 99 % de la banda siguiendo las recomendaciones en [8] y también con bolómetro con ancho de banda 30MHz. En ambos caso se midió una potencia de salida cuyos valores oscilaron de 3dBm y -7dBm. cuando se observó el valor mas bajo se pudo verificar falta de señal pulsada a la salida. Luego de varias pruebas se comprobó que el equipo dejó de pulsar totalmente y se pudo comprobar que la falla se originó en las dos primeras etapas donde se aplica el pulsado.

#### 3.1. Análisis y Conclusiones

La potencia de salida del generador de pulsos medida no pudo comprobarse del orden mencionado en [1]. Se verificó mal funcionamiento de las etapas pre amplificadoras. Primero baja ganancia y pulsado intermitente y luego dejaron de funcionar completamente. Se concluye que este problema está relacionado con el esquema de diseño donde las etapas pre amplificadoras son conmutadas con una señal de control que no está preparada para conmutación continua. Se sugiere reemplazar esta etapa pre amplificadora por un mezclador al que ingresen los pulsos y el oscilador además de agregar un amplificador externo si el valor de ganancia final lo requiriese.

## 4. Conclusiones Finales y Recomendaciones

Se concluye que las antenas horn patrón funcionan dentro de los valores presentados en [1] a excepción de la antena 4-8 GHz quien muestra diferencias considerables de ganancia en la parte de las frecuencias bajas que a nuestro entender deberán ser tenidas en cuenta a la hora de ser utilizadas en alguna aplicación concreta.

Respecto al generador, la medición de la parte irradiante demostró que el diseño es correcto tanto la ganancia de log periódica como la parábola coinciden con los diseños. Se encontró un inconveniente importante derivado de un mal montaje de la antena log periódica la cual no apuntaba al centro de la parábola. La polarización de dicha antena es cruzada y esta configuración está en línea con el tipo de antenas disponibles en el barco. Cierta valor de polarización cruzada se pudo verificar pero es indistinto para los objetivos del equipo

Respecto al generador y amplificador de pulsos, el valor original de potencia de pulso propuesto se verificó apropiado. Se midió una potencia de transmisión menor a la especificada en [1] y con funcionamiento errático en el pulsado de la portadora que a posteriori dejó de funcionar. Se sugiere reemplazar la etapa de amplificación post oscilador por un mezclador pasivo. Si de esta forma no se obtuviera la potencia de salida suficiente se puede resolver con un amplificador externo.

El equipo queda funcionando en onda continua en 3 GHz con un amplificador externo que permite transmitir 17.5 dBm y con los ajustes de de la antena log periódica para que apunte al foco de la parábola.

## 5. Acción Correctiva Implementada

Luego de la aprobación por parte de las autoridades del SIAG se procedió a reemplazar las dos etapa de amplificación-pulsado post oscilador por un mezclador pasivo modelo ZX05-73L-S+ (fig. 21 fig. 22 ) de marca Minicircuits.



Figura 21: Mezclador pasivo Minicircuits

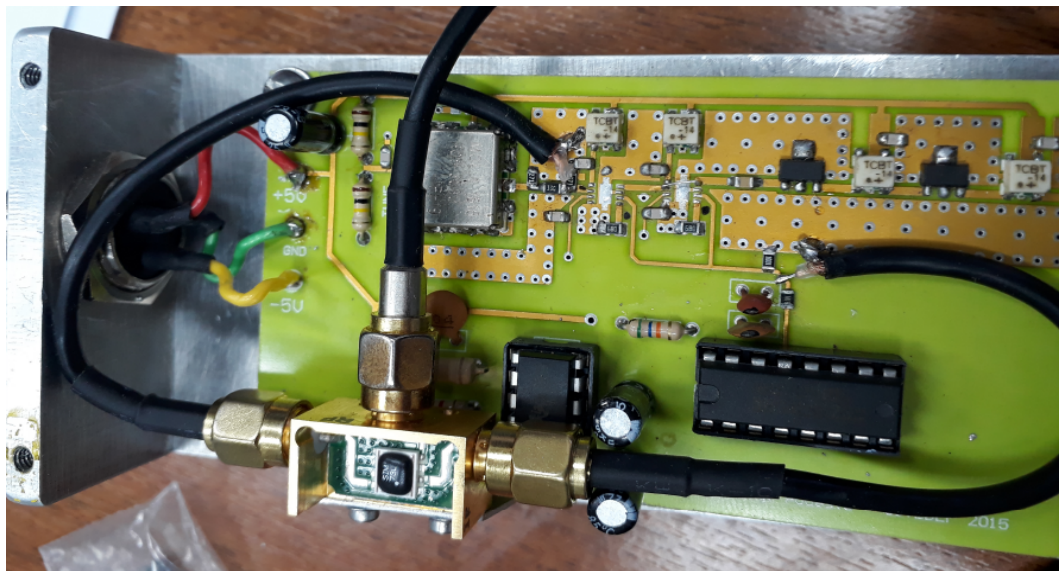


Figura 22: Reemplazo de etapa con mal funcionamiento por mezclador pasivo Minicircuits

Con esta modificación se recuperó el espectro pulsado a la salida del generador. Los valores de potencia medidos en el conector de salida del generador resultaron en 16.4 dBm. Las figuras 23 y 24 muestran los espectros medidos en el conector del generador y el espectro recibido a 35 mts de distancia transmitiendo con el generador radar completo respectivamente.

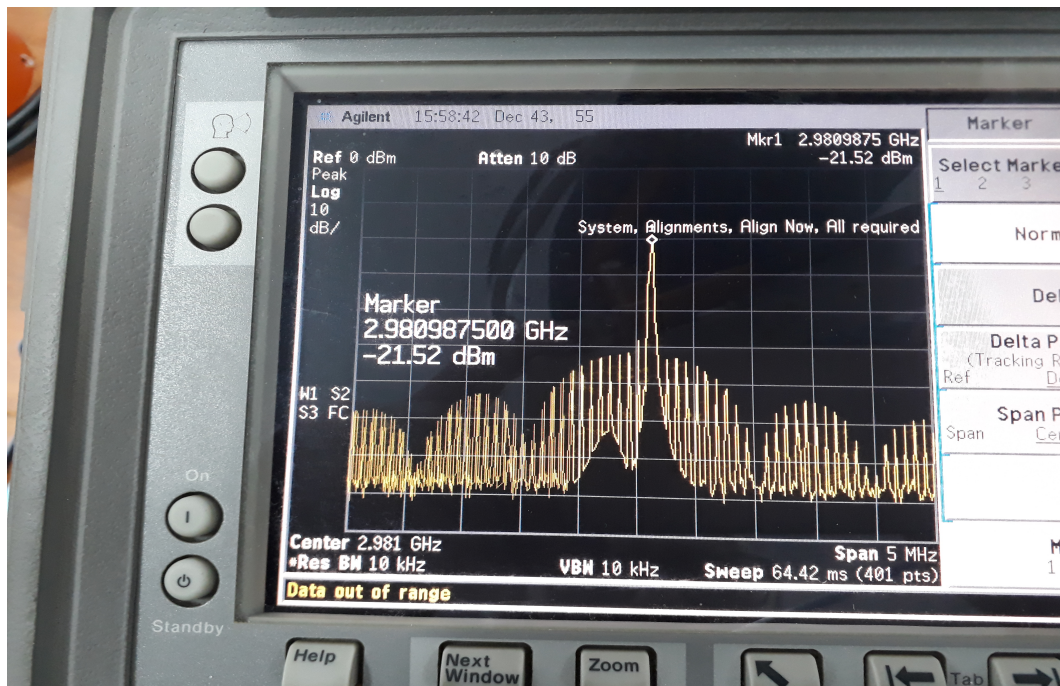


Figura 23: Medición en el conector de salida generador radar

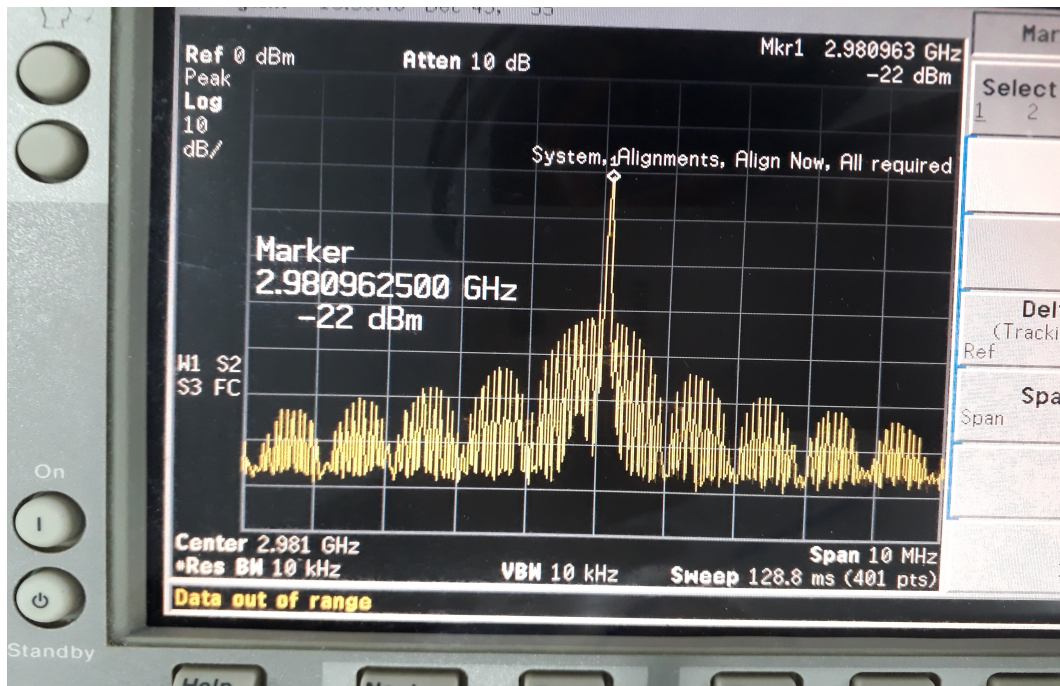


Figura 24: Medición de campo del generador radar

## 6. Análisis del Enlace

En esta sección se describen aspectos del cálculo del enlace de comunicación que se debe establecer con el equipamiento de recepción radar bajo prueba a partir de los valores obtenidos luego de la acción correctiva.

Para el análisis de enlace se contemplan los receptores super-heterodino y a cristal.

- *Ruido Térmico:*

El ruido térmico (AWGN) tiene densidad de potencia espectral  $\frac{N_0}{2} = 1,38J/^{\circ}K$  donde  $^{\circ}K = 273 + ^{\circ}C$ . A temperatura ambiente,  $290^{\circ}K(17^{\circ}C)$ , la densidad de potencia espectral es  $\frac{N_0}{2} = 4 * 10^{-23},290 = 4 * 10^{-21}W/Hz$  o  $-174dBm/Hz$ . La potencia del ruido que depende del ancho de banda de transmisión  $B_T$  es  $P_{N_{AWGN}} = \frac{N_0}{2} B_T$ .

- *Potencia de recepción:*

La potencia recibida  $P_{Rx}$  en un enlace es descrita por

$$P_{Rx}(dBm) = P_{Tx}(dBm) + G_{Tx}(dB) + G_{Rx}(dB) - FSPL(dB) \quad (8)$$

$P_{Tx}$  es la potencia transmitida,  $G_{Tx}$  es la ganancia de antena transmisora,  $G_{Rx}$  es la ganancia de antena receptora y FPSL es el término de pérdidas de espacio libre.

- *Sensibilidad del Receptor:*

La sensibilidad del receptor es la mínima potencia de señal recibida  $P_{Rx,min}$  necesaria para producir una relación señal a ruido SNR mínima aceptable. En sistemas radar de detección automática los requerimientos de SNR van de 10dB a 14dB [9]. La ecuación 9 describe el cálculo de la sensibilidad,

$$P_{Rx,min} = PisoRuido(dBm) + SNR_{Min}(dB) \quad (9)$$

donde

$$PisoRuido(dB) = NF(dB) - 174dBm + 10.log_{10}[B_T](dB) \quad (10)$$

en la ec. 10  $10.log_{10}[B_T](dB)$  es el factor de incremento de ruido por ancho de banda  $B_T$  respecto del ruido de 1 Hz = -174 dBm, NF es la figura de ruido del receptor y se expresa como

$$NF(dB) = 10.log_{10} \left( \frac{P_{S_i}/P_{N_i}}{P_{S_o}/P_{N_o}} \right) \quad (11)$$

donde  $P_{S_i}/P_{N_i}$  es la  $SNR_i$  a la entrada del receptor (filtro de antena) y  $P_{S_o}/P_{N_o}$  es la  $SNR_o$  a la salida del receptor (detección). En el rango de UHF un receptor heterodino puede exhibir una NF de 8 dB a 15 dB [10]. Un receptor de radar pulsado típico con ancho de banda de 1 MHz logra una sensibilidad de -94 dBm asumiendo  $NF = 10dB$  y  $SNR_{Min} = 10dB$  [9].

### 6.1. Análisis de la distancia de enlace para receptores heterodino con la potencia final medida en generador reparado

Tomando como valor típico a -94 dBm calcularemos la distancia máxima, en función de las pérdidas de espacio libre, a la cual puede operarse el equipo generador de señal radar para que el receptor detecte

apropiadamente la señal. Utilizamos para ellos la ecuación 8, que re escribimos con los valores a continuación utilizando el valor de ganancia de la antena receptora de un sector de azimut del equipo MAE. El valor de sensibilidad tangencial por manual en la octava correspondiente es -77 dBm considerando figuras de ruido y SNR típicas es apropiado utilizar el valor de -94 dBm como sensibilidad del receptor.

$$P_{R_x}(dBm) = -94(dBm) = 16,4(dBm) + 26(dB) + 4(dB) - FSPL(dB) \quad (12)$$

$$FSPL(dB) = 16,4(dBm) + 26(dB) + 4(dB) + 94dBm \quad (13)$$

$$FSPL(dB) = 140,4dB$$

El valor de FSPL a la frecuencia de trabajo implica que la señal emitida por el generador será suficiente para las distancias de trabajo en muelle. En teoría se podrían verificar los receptores, con el debido apuntamiento, hasta donde se pueda establecer la línea de vista.

## 6.2. Análisis de la distancia de enlace para receptor a cristal con la potencia final medida en generador reparado

Para un receptor a cristal con banda de recepción en 2 GHz-4 GHz la sensibilidad de recepción es de aproximadamente -60 dBm a -65 dBm. Para calcular la distancia utilizamos la ecuación 8, que re escribimos con los valores a continuación utilizando el valor de ganancia de la antena receptora de un sector de azimut del equipo MAE. El valor de sensibilidad tangencial por manual en la octava correspondiente es -45 dBm considerando figuras de ruido y SNR típicas es apropiado utilizar el valor de -60 dBm como sensibilidad del receptor.

$$P_{R_x}(dBm) = -60(dBm) = 16,4(dBm) + 26(dB) + 4(dB) - FSPL(dB) \quad (14)$$

$$FSPL(dB) = 16,4(dBm) + 26(dB) + 4(dB) + 60(dBm) \quad (15)$$

$$FSPL(dB) = 106,4dB$$

El valor de FSPL a la frecuencia de trabajo implica que la señal emitida por el generador será suficiente para las distancias de trabajo en muelle. En teoría se podrían verificar los receptores, con el debido apuntamiento, hasta donde se pueda establecer la línea de vista.

## 6.3. Conclusiones de los análisis de enlace

En función de la potencia final medida en el generador de señales luego de la modificación y para equipamiento en buque con sensibilidad típica para receptores de radar heterodino y a cristal (radar warning) se pudo determinar que la potencia efectiva irradiada es mas que suficiente para las pruebas en el muelle. El límite del alcance finalmente estará acotado por la linea de vista debido a la frecuencia de operación. Para apuntamiento a larga distancia (menor a la linea de vista) se sugiere modificar el generador para que este tenga la opción de transmitir la señal sin pulsar para como ayuda de apuntamiento.

## Referencias

- [1] D. D. A. y Propagación, “Antenas patrón de 1 ghz - 18 ghz,” *Instituto de Investigaciones Científicas y Técnicas para la Defensa*.
- [2] C. *www.mvgworld.com*, “*www.mvg – world.com*.”
- [3] S. IEEE, “Ieee standard test procedures for antennas.” 2008.
- [4] A. Castro, “Rf/uw measurement uncertainty: Calculate,characterize, minimize,” *Agilent Technologies*.
- [5] S. Pawar, “Parametric evaluation of microstrip log periodic dipole array antenna using transmission line equivalent circuit,” 2017.
- [6] S. Orfanidis, *Electromagnetic Waves and Antenas*, 2016.
- [7] W. Stutzman, *Antenna Theory and Design 3rd Ed.*, 2012.
- [8] R. . Schwarz, “Pulsed rf calculator application note,” *Rohde & Schwarz*.
- [9] N. Air-Warfare-Center-Weapons-Division, *Electronic Warfare Handbook and Radar Systems. Engineering Handbook 4th Edition*. Naval Air-Warfare-Center-Weapons-Division, 2013.
- [10] doc. NASA, “Receiver dynamics,” *NASA Report DOCID:3928940*, 1995.