

PRÁCTICA 2

CW-Radar. Sección Radar

Javier Gismero Menoyo, Alberto Asensio López

Grupo de Microondas y Radar

Dpto. de Señales, Sistemas y Radiocomunicaciones

E. T. S. I. de Telecomunicación. Universidad Politécnica de Madrid

Tercera Edición. Septiembre 2017

Contenido

1. Introducción. Entrenador radar Lab-Volt.....	3
1.1. Módulo Transmisor	3
1.2. Módulo Receptor	4
1.3. Sincronizador RADAR y Controlador de Antena.....	6
1.4. Antena parabólica y Pedestal de Antena	6
1.5. Sistema de posicionamiento de blancos.....	8
2. Descripción de la práctica. Montajes y medidas en el laboratorio.....	9
3. Medidas de la velocidad radial	11
4. Sección radar de blancos simples	13
5. Canales I-Q.....	15
6. Diagrama de radiación vs tiempo de iluminación.....	16

1. Introducción. Entrenador radar Lab-Volt

Este sistema dispone de un conjunto de módulos didácticos que pueden interconectarse y configurarse de distintas formas a fin de posibilitar la comprensión de los fundamentos de sistemas RADAR CW, RADAR pulsado y RADAR CW-LFM. Adicionalmente cuenta con un sistema posicionador de blancos pasivos. En los siguientes apartados se detallan los bloques más importantes del sistema.

1.1. Módulo Transmisor

El transmisor del sistema RADAR Lab-Volt genera la señal de RF y la forma de onda deseada que se envía a la antena transmisora para su radiación. La figura 1.1 muestra el diagrama de bloques del transmisor y la 1.2 el panel frontal del módulo. En modo VAR el oscilador de RF permite seleccionar la frecuencia entre 8 y 10 GHz. En modo CAL la salida se fija a un valor calibrado de 9,4 GHz. En modo MOD el oscilador funciona como oscilador controlado en tensión y controlado por una señal triangular procedente de otro generador interno de forma que se produce una señal LFM-CW. En modo LFM, la frecuencia del oscilador es de 9.4 GHz y la frecuencia moduladora puede seleccionarse entre 0.1 y 2.5 KHz. La desviación de frecuencia puede seleccionarse entre 0 y 600 MHz.

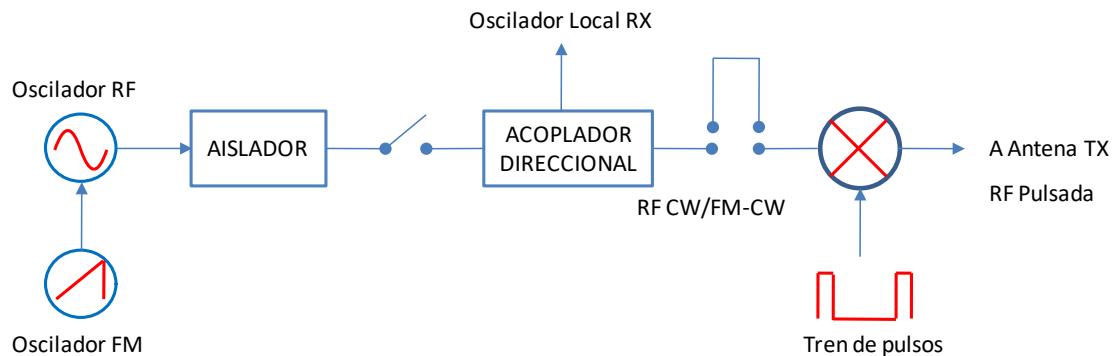


Figura 1.1. Diagrama de bloques del transmisor

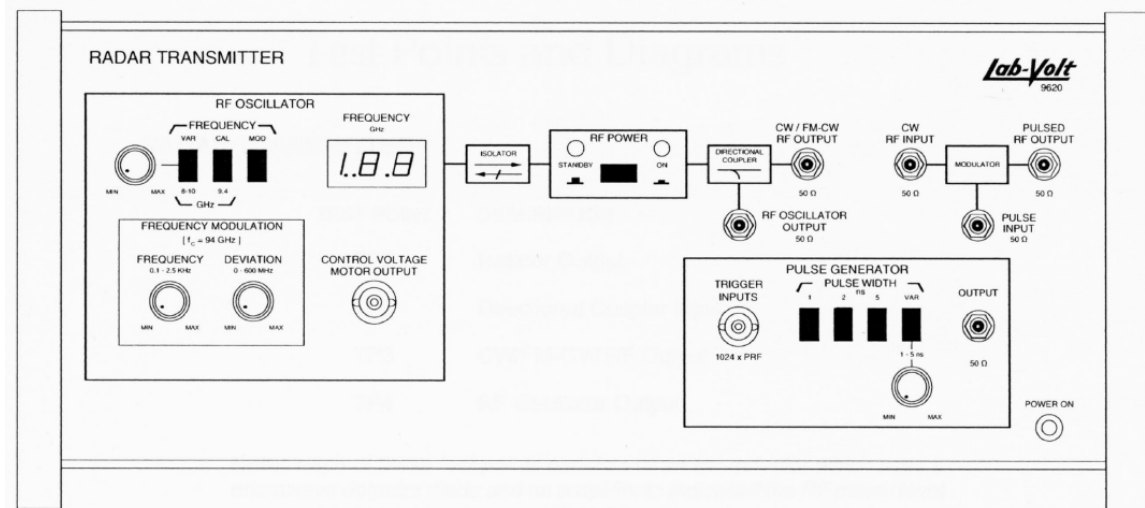


Figura 1.2. Frontal del módulo transmisor [1]

El oscilador de RF está seguido de un aislador que evita una eventual reflexión de potencia que lo dañe. Este dispositivo, basado en ferrita, permite la transmisión en un solo sentido. El aislador está seguido de un conmutador que controla que la señal se transmita o no. Según esta disposición, el oscilador de RF no se apaga con el conmutador RF POWER, simplemente se impide el paso de la señal a los bloques siguientes.

A continuación se tiene un acoplador direccional que permite obtener una muestra de la señal de salida del oscilador para ser utilizada como oscilador local en el subsistema receptor. La otra salida del acoplador es la señal que se enviará a la antena en el caso de trabajar en modo CW o LFM-CW. En el caso del RADAR pulsado esta señal debe pasar por el modulador de pulsos. El nivel de señal en este punto está entre -1.5 dBm y 2.5 dBm.

Para modular la señal CW a fin de conseguir la señal PAM (pulse amplitude modulation), se utiliza un modulador y la señal de salida del generador de pulsos: pulsos de anchura entre 1 ns y 5 ns. El generador de pulsos recibe un pulso de sincronismo a ritmo de PRF procedente del módulo sincronizador.

El oscilador de RF puede ser sustituido fácilmente por un generador de RF de instrumentación seguido de un acoplador direccional para obtener la señal de oscilador local para el receptor. Esto permite ampliar las posibilidades del sistema.

1.2. Módulo Receptor

La estructura del receptor del sistema Lab-Volt es **homodina** ya que la señal de RF recibida se convierte directamente a banda base sin pasar por una frecuencia intermedia auxiliar. El oscilador local (LO) se obtiene del módulo transmisor (señal CW o CW-LFM) lo que hace, junto con el demodulador I&Q utilizado (conjunto de dos mezcladores excitados en cuadratura por la señal de oscilador local), que el sistema RADAR sea **coherente**. Esta estructura permite determinar cambios de fase entre la señal transmitida y la señal recibida (debidos a la dinámica del blanco). La figura 1.3 muestra un diagrama de bloques del receptor y la 1.4 el frontal del módulo.

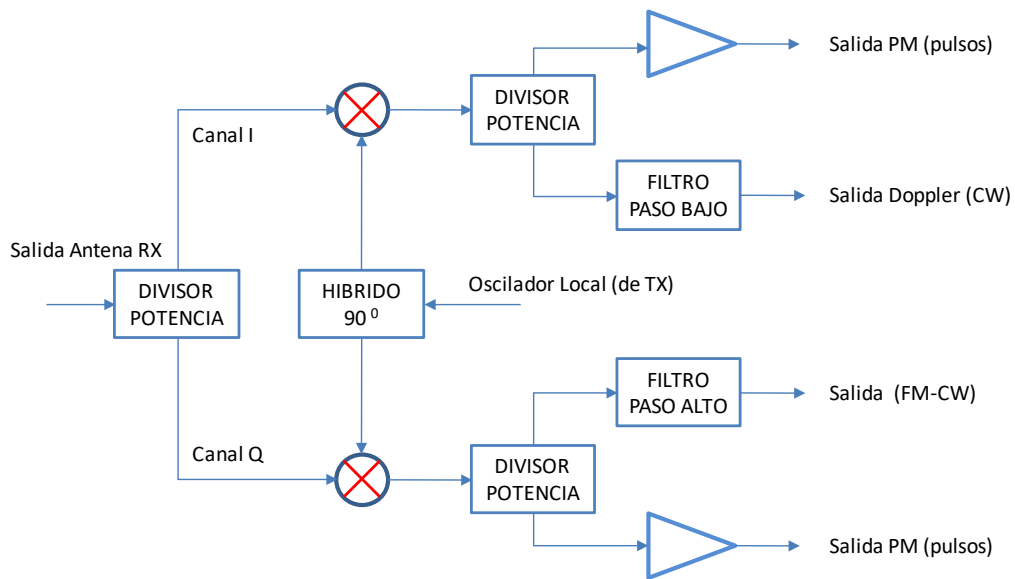


Figura 1.3. Diagrama de bloques del módulo receptor

El primer divisor de potencia divide la señal en dos partes iguales que alimentan a los canales I&Q. La señal de oscilador local también se divide en dos partes iguales y desfasadas en este caso 90 grados antes de mezclarse con las señales de RF en sendos mezcladores. Las señales de salida de los mezcladores son las componentes I y Q en banda base. Estas componentes se denominan habitualmente componentes en fase y en cuadratura de la señal y entre ambas se puede recuperar tanto la información de amplitud como la información de fase de la señal recibida.

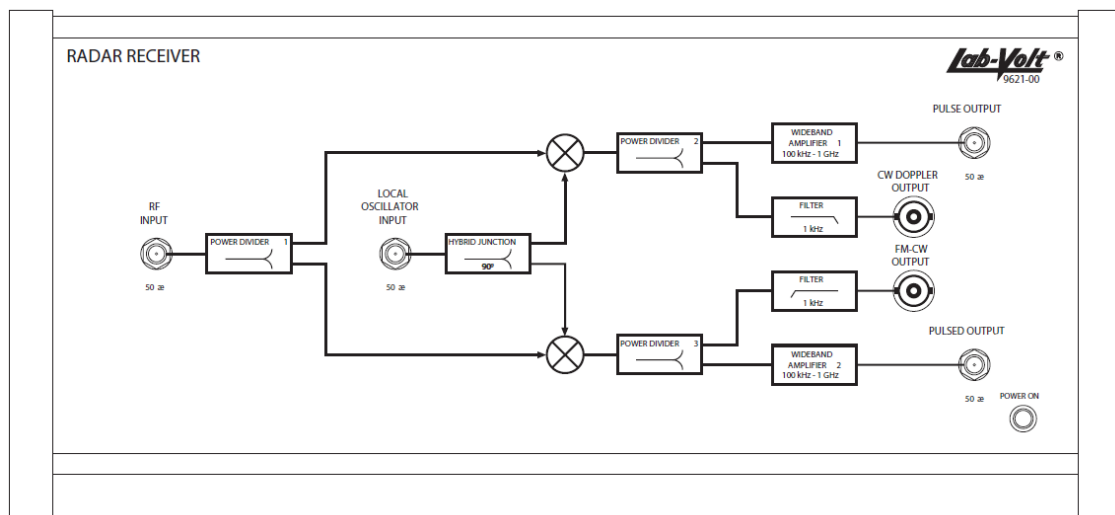


Figura 1.4. Frontal del módulo receptor [1].

Los divisores de potencia que siguen a los mezcladores anteriores permiten diferentes procesos:

Para el sistema PAM, las señales I&Q son amplificadas por un amplificador de banda ancha (recuérdese que los pulsos transmitidos podían ser de 1 ns de anchura, $B_t=1\text{GHz}$) y 45 dB de ganancia.

Para el sistema CW la señal I pasa por un filtro paso bajo de 1 kHz de anchura de banda. El filtrado paso bajo preserva las componentes de frecuencia Doppler mientras rechaza otros términos producidos en la mezcla.

Para el sistema LFM-CW la señal Q pasa por un filtro paso alto de frecuencia de corte 1 KHz. Al eliminar las componentes de baja frecuencia la señal resultante es de amplitud más uniforme y resulta más sencilla la medida de su frecuencia que debe ser lo suficientemente precisa para una buena determinación de la distancia del blanco. Elimina los ecos cercanos, en este caso del propio sistema entrenador.

1.3. Sincronizador RADAR y Controlador de Antena

Como el nombre sugiere, son en realidad dos módulos. El sincronizador Radar genera la señal PRF. El botón PRF MODE permite la selección de PRF's simples o entrelazadas. La PRF puede seleccionarse a 12, 18, 144, 216, o 288-Hz. Para permitir la medida en osciloscopios comunes (de ancho de banda reducido) la PRF actual es en realidad 1024 veces mayor que la cantidad que refleja el visor. Las diferentes PRF se corresponden con rangos no ambiguos máximos de 12.5-km, 8.3-km, 1.04-km, 694.44-m, y 520.83-m respectivamente. En los set-up del sistema no se tendrán ecos secundarios. El modo entrelazado de PRF alterna entre la PRF seleccionada y $\frac{3}{4}$ de la misma.

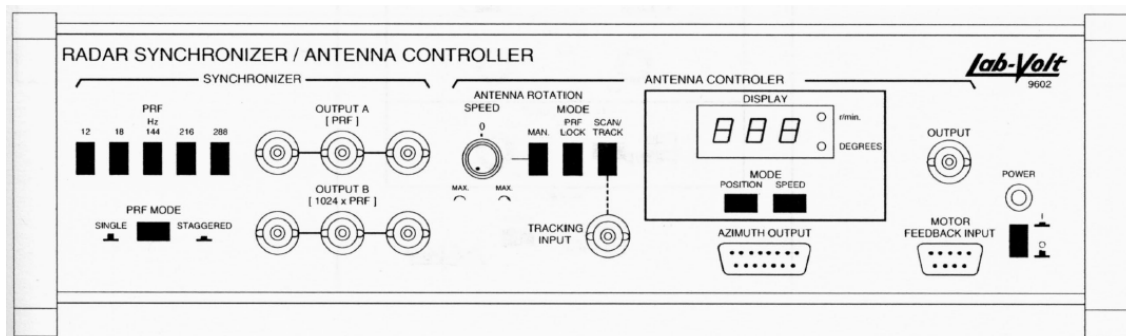


Figura 1.5. Sincronizador y controlador de antena [1]

El controlador de antena permite el control sobre la posición estática de la antena o su movimiento rotatorio. El Display muestra la posición acimutal de la misma y su velocidad.

1.4. Antena parabólica y Pedestal de Antena

El conjunto de antena está formado por una antena de bocina y un reflector parabólico. Este conjunto se conecta a un pedestal a través de una junta rotatoria. La antena de bocina

transmite la señal de microondas hacia el reflector que, debido a su curvatura, convierte en un frente plano de ondas de fase uniforme la señal transmitida desde la bocina.

Las flechas en la figura 1.6 muestran como el reflector parabólico convierte la energía de microondas en un frente plano. La antena parabólica tiene una ganancia de 27 dB y un ancho de haz de 6 grados en acimut y de 8 grados en elevación.

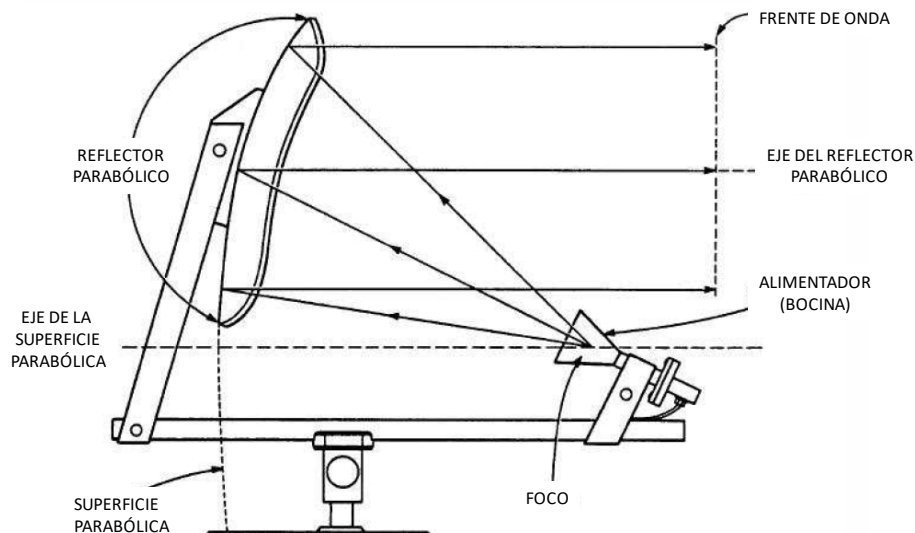


Figura 1.6. Conjunto de antena

Para permitir que la antena trabaje simultáneamente en transmisión y en recepción el sistema de Lab-Volt emplea un circulador (situado en el interior del pedestal) a diferencia de los duplexores normalmente empleados en radares pulsados reales de alta potencia. Este circulador encamina la señal del transmisor hacia la antena y la señal recibida por la antena hacia el receptor. El pedestal también contiene el motor usado para el giro de antena. La conexión de la señal de RF se hace a través de una junta rotatoria.

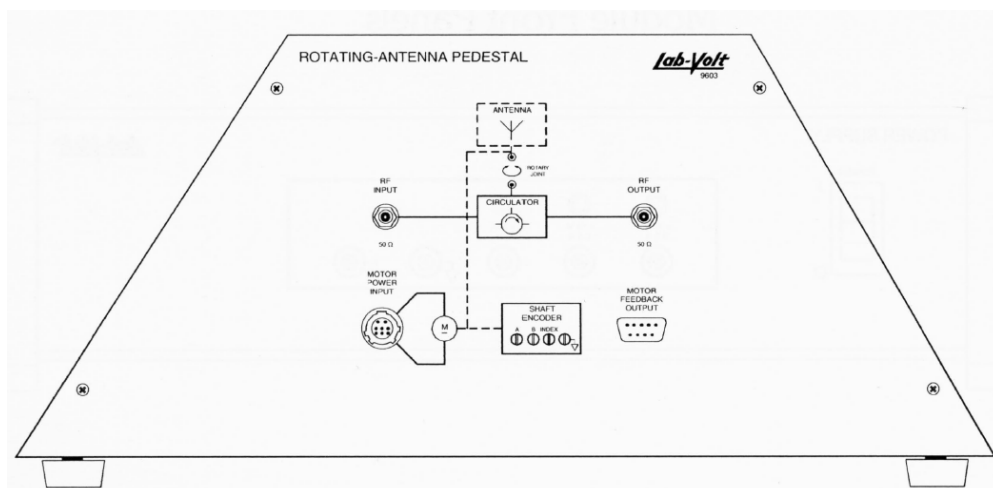


Figura 1.7. Pedestal de antena [1].

1.5. Sistema de posicionamiento de blancos

El sistema de Lab-Volt dispone de un posicionador de blancos pasivos que controla el movimiento de los mismos. El conjunto se compone de una mesa de blancos móviles, un módulo de control remoto y un juego de blancos pasivos.

La mesa de blancos móviles está montada sobre ruedas y su superficie útil es de $90 \times 90 \text{ cm}^2$. La cuadrícula es de divisiones de 1 cm. Dispone de un raíl móvil sobre el que se posicionan los blancos deseados. La posición y movimiento de los blancos se realiza a través del controlador remoto que tiene cuatro modos: posición, velocidad, trayectoria y externo.

El modo posición permite el posicionado eligiendo la posición en los ejes X e Y. En el modo velocidad, se puede ajustar la misma manualmente para cada uno de los ejes hasta 30 cm/s. El modo trayectoria permite que el blanco se mueva en una de cuatro trayectorias pre-programadas y también se puede controlar la velocidad de la misma.

El juego de seis blancos pasivos está compuesto por una esfera, un cilindro, un reflector de canto, una placa de metal grande, dos placas de metal pequeñas y una placa grande de material acrílico.

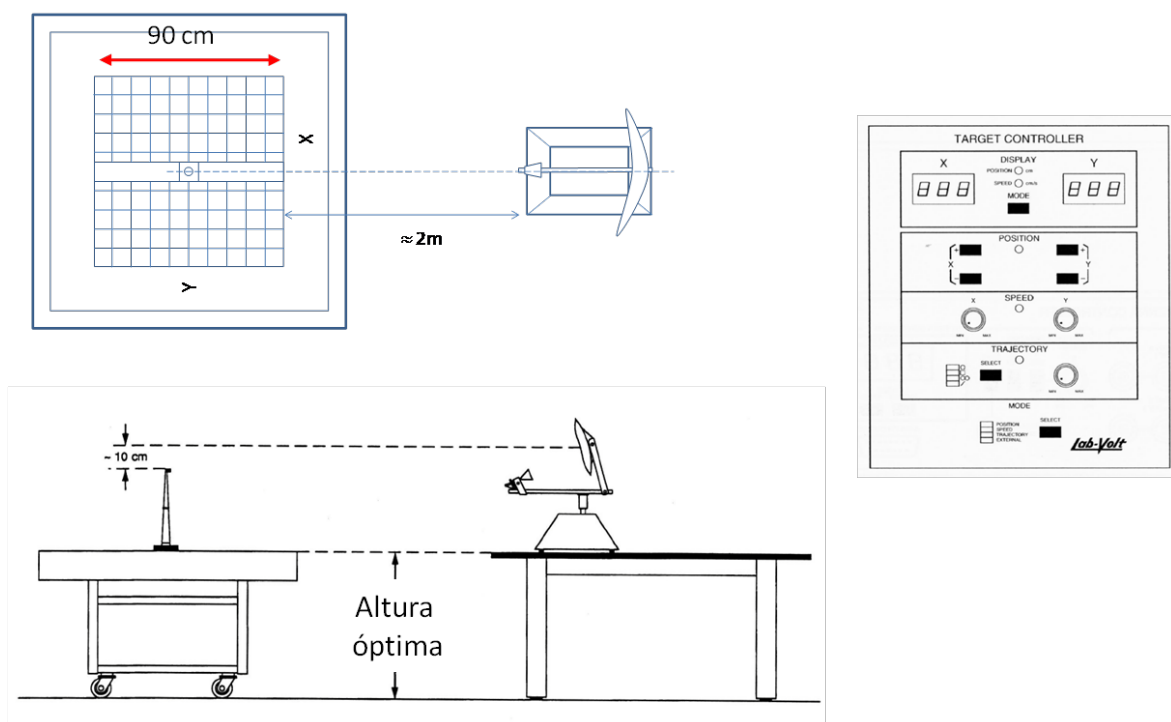


Figura 1.8. Mesa de blancos y controlador.

2. Descripción de la práctica. Montajes y medidas en el laboratorio

Al completar esta práctica, deberá estar familiarizado con los conceptos básicos de los radares de onda continua, y el efecto Doppler. Será capaz de observar y cuantificar las componentes de frecuencia asociadas al efecto Doppler. Además podrá experimentar con la variación de la sección radar de blancos de geometría simple y valores de sección radar conocidos. En el transcurso de la práctica irá grabando la señal de salida de un receptor de un CW-radar en diferentes situaciones.

Estos datos no tienen que ser utilizados para la realización de la memoria de la práctica. La memoria de la práctica consiste en rellenar con criterio los apartados de este guion de prácticas. Los datos tienen que ser utilizados en la realización del trabajo nº 2 (TB2). Puede serle de utilidad grabar un vídeo de las escenas de cuyos datos radar va a disponer.

La figura 2.1 muestra el montaje de un CW-radar usando los módulos del sistema Lab-Volt. El transmisor se ha sustituido por un generador externo de instrumentación, el modelo HP8350B.

No se debe actuar sobre la potencia de salida de ese generador, sólo sobre la frecuencia.

El montaje se ha calibrado para una Lectura del Generador de 13 dBm).

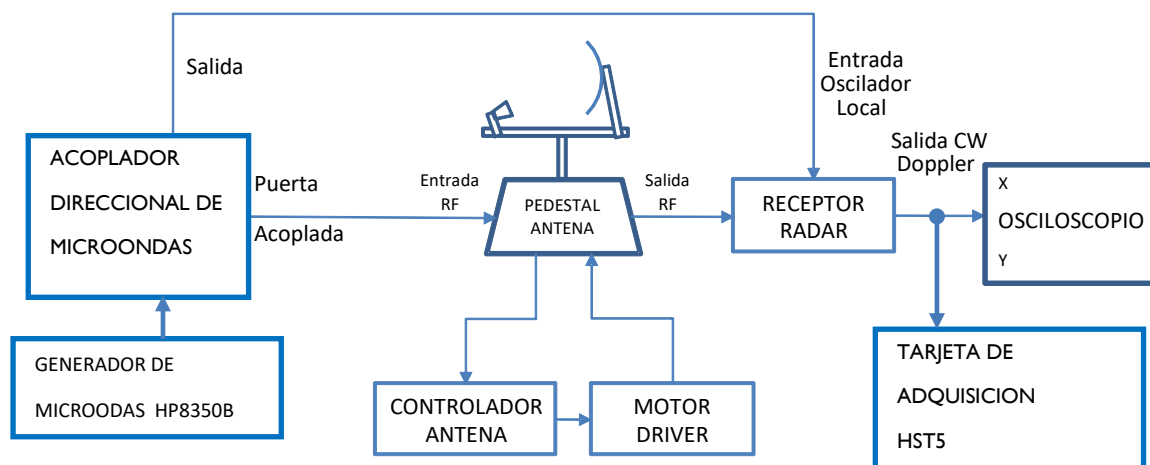


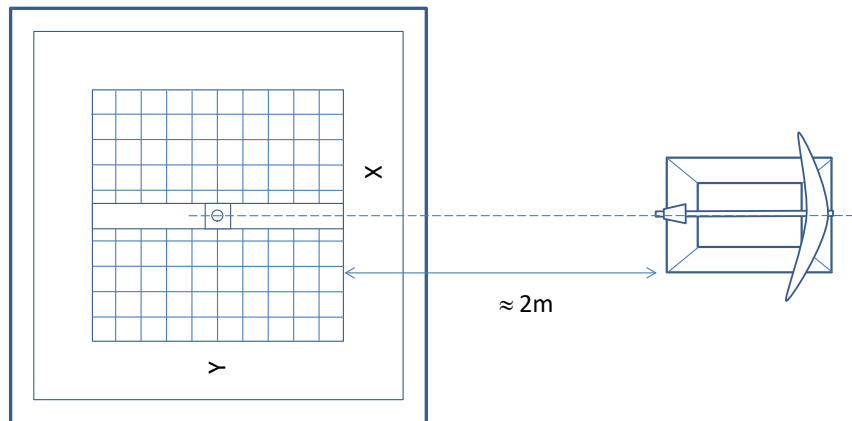
Figura 2.1. Montaje del radar CW.

MONTAJE:

Compruebe que el conexionado del banco responde al diagrama de bloques y asegúrese de que el botón RF POWER está en la posición STANDBY (módulo TRANSMISOR) puesto que se usará en principio el generador de señal HP8350B y un acoplador externo. La salida acoplada se utilizará como señal a transmitir y la salida principal como señal de oscilador local.

Compruebe que en el controlador de antena el botón activado para el modo de rotación sea MAN (manual) y el botón de SPEED a cero. Conecte la alimentación del módulo POWER SUPPLY y luego la del resto de módulos, también la mesa de posicionamiento de blancos.

Sitúe la mesa de blancos como indica la figura y ajuste en el posicionador el blanco: plato reflector grande.



≈2.4metros hasta el reflector

En el controlador de blancos, asegúrese de que el botón de velocidad del MODO TRAYECTORIA está en su mínimo (a la izquierda) y entonces haga los siguientes ajustes:

MODE:	TRAJECTORY
TRAJECTORY:	/
DISPLAY MODE:	SPEED

Aumente la velocidad de la trayectoria seleccionada con el botón del cuadro TRAYECTORIA. Observará un movimiento en diagonal respecto a la dirección de apuntamiento del radar cuya velocidad mínima es de 3 cm/s y la máxima de 10 cm/s (en ambos ejes). Obviamente, al llegar a los extremos de la trayectoria las velocidades anteriores son menores, hasta anularse. Para situar al blanco en el centro de la mesa seleccione:

MODE:	POSITION
-------	----------

El blanco se sitúa en el centro de la mesa.

A continuación, haga los siguientes ajustes:

MODE:	SPEED
X SPEED:	MÍNIMO
Y SPEED:	MÁXIMO (30 cm/s)

Observará que el movimiento del blanco es en la línea de apuntamiento del radar.

Fije de nuevo la posición del blanco en el centro de la mesa:

MODE:	POSITION
-------	----------

Conecte la salida del acoplador direccional a la entrada del oscilador local del receptor LOCAL OSCILLATOR INPUT.

En el puente de medida del laboratorio, la señal de salida del receptor CW RADAR OUTPUT se lleva a un osciloscopio y también a una tarjeta de adquisición de datos, HS5, controlada por un PC portátil a través del puerto USB. En ese PC, la aplicación “TiePieMultichannel” controla todas las actividades de la tarjeta.

Compruebe que la frecuencia de muestreo del módulo HS5 es de 500 Hz y que el número de muestras es 10000, y 14 bits. Eso supone una captura de datos de una escena de 20 s. El eje Y de la aplicación TiePieMultichannel en $\pm 200\text{mV}$ con acoplamiento en CC.

El primer fichero que se va a grabar es del ruido de salida del receptor. Para ello es necesario que no exista ningún blanco móvil en la escena, y que presione en botón POWER ON en el generador de RF, para que se entregue señal a la antena y el mezclador del receptor disponga de Oscilador Local. Realice la captura a la frecuencia de 9 GHz (en el generador active el modo CW y mediante el teclado numérico introduzca 9 GHz). Puede serle útil colocar absorbente en la bocina que alimenta a la parábola.

El fichero “mat” obtenido tiene la estructura de datos descrita en la documentación del curso. La varianza de los datos capturados le permitirá calcular la potencia de ruido, y un histograma representar su función densidad de probabilidad, una variable aleatoria gaussiana.

Observe el ruido en el osciloscopio ajustado de la siguiente manera:

CH1:	50mV/div (Acoplamiento CC)
Trigger:	CH1
Base de tiempos (M. Horizontal):	50 ms/div

Los movimientos que se realicen en el laboratorio por los alumnos y profesores producirán ecos con desplazamiento doppler a pesar de que la antena no esté orientada hacia los mismos. Por eso es necesario permanecer estáticos durante la grabación de ruido (y, en general, durante cualquier grabación). Puede ser de ayuda colocar material absorbente en la bocina de la antena.

Denomine al fichero grabado TB2_ruido_N.mat (N: Nº de grupo)

Con el eje Y de la aplicación TiePieMultichannel en $\pm 40\text{V}$, realice una segunda grabación de ruido del sistema.

Denomine al fichero grabado TB2_ruido_40_N.mat

3. Medidas de la velocidad radial

El blanco situado en la mesa debe ser el plato reflector grande. En el generador de RF, presione CW y seleccione una frecuencia de 8 GHz con el teclado.

Ajuste el osciloscopio de la siguiente manera:

CH1:	5 V/div (Acoplamiento CC)
------	---------------------------

Trigger: CH1

Base de tiempos (M. Horizontal): 25 ms/div

A continuación, haga los siguientes ajustes en mando de control del blanco:

MODE: SPEED

X SPEED: MÍNIMO

Y SPEED: MÁXIMO (30 cm/s)

Observe la salida CW DOPPLER OUTPUT del receptor radar en la pantalla del osciloscopio (juegue con la base de tiempos entre 25 y 1000 ms). Describa esta señal:

Calcule y mida la frecuencia Doppler para las diferentes combinaciones de velocidad del blanco y frecuencia transmitida de la siguiente tabla (modificando sólo la velocidad en el eje Y). La medida la puede realizar directamente con el osciloscopio (MENU MEDIDAS, CH1, frecuencia). Al realizar la medida tenga en cuenta que en los extremos de la trayectoria la velocidad del blanco se anula, por lo que ésta debe hacerse al llegar el blanco a la posición media (lectura máxima de la medida). Utilice una base de tiempos de 25 ms/div.

Frecuencia Transmitida F_T	Velocidad del blanco	Frecuencia Doppler Teórica	Frecuencia Doppler medida
GHz	cm/s	Hz	Hz
8	30		
9	30		
10	30		
8	20		
9	20		
10	20		

Sabiendo que la medida de la frecuencia la realiza el osciloscopio contando pasos por cero de la señal en el intervalo observado, tiempo de cuenta, argumente acerca del error de medida que se comete, y que implicación tendría mejorarlo:

Realice dos capturas de datos de la señal de vídeo del sistema con los mismos parámetros que utilizó con el ruido térmico, 500 Hz de frecuencia de muestreo y 10000 muestras. La primera captura a la frecuencia de 8 GHz, y la segunda a 9 GHz. Use en ambas una velocidad del blanco de 30 cm/s (eje Y). El eje Y de la aplicación TiePieMultichannel en ± 20 V.

Puede serle útil realizar un vídeo de la escena sincronizado con el inicio de la captura. También es útil que todas las capturas comiencen aproximadamente en la misma posición del recorrido del blanco (p.e. cuando comienza a avanzar hacia la antena).

Denomine los ficheros grabados: TB2_PRG_8_N.mat y TB2_PRG_9_N.mat

(N: nº de grupo) (TB2 Trabajo nº 2) (PRG Plato Reflector Grande).

A continuación, y con el generador de RF ajustado a 9 GHz, ajuste la velocidad en el eje Y a 0 y varíe la velocidad en el eje X hasta llevarla al máximo (juegue con la base de tiempos entre 25 y 1000 ms). Observe la señal en el osciloscopio y explique el resultado:

Fije la posición del blanco en el centro de la mesa:

MODE:

POSITION

4. Sección radar de blancos simples

En este apartado se va a observar el funcionamiento de diferentes blancos con la dinámica utilizada al principio de la práctica, $V_x = 0$ y $V_y = 30$ cm/s, y el sistema trabajando a 9 GHz. El resto de la práctica se realizará con el generador de RF ajustado a 9 GHz.

Dispone de cuatro tipos de blancos:

Plancha cuadrada de 20 cm de lado (PRG). Los datos de este blanco ya los ha capturado

Plancha cuadrada de 10 cm de lado (PRP). Usar ± 8 V en la TiePieMultichannel.

Cilindro de dimensiones 20 cm de altura y 14 cm de diámetro de la base. (cilindro vertical CILpie ± 4 V en la TiePieMultichannel- y cilindro tumbado CILtum ± 8 V en la TiePieMultichannel-)

Esfera de 10 cm de radio. (ESF). Usar ± 2 V en la TiePieMultichannel

Ante de proceder con los blancos, se va a calibrar y minimizar la influencia del soporte de los blancos sobre las medidas. Siga siempre la siguiente rutina para manipular el soporte:

MODE:

POSITION

Cambiar el blanco

MODE:

SPEED

Deje el soporte sin blanco y observe en el osciloscopio el eco que produce. Realice una captura de esta situación con el mismo set-up en el capturador que se ha utilizado anteriormente. Compruebe que la frecuencia de muestreo del módulo HS5 es de 500 Hz y que el número de muestras es 10000, y 14 bits. Eso supone una captura de datos de una escena de 20 s. El eje Y debe fijarlo para evitar la saturación de la señal, típicamente 800 mV.

Denomine el fichero grabado: TB2_soporte_9_N.mat

Utilice el tubo con absorbente para cubrir el soporte y realice otra grabación.

Denomine el fichero grabado: TB2_absorbente_9_N.mat

Comente grosso modo el comportamiento del soporte con y sin absorbente:

A continuación realice capturas de la misma escena con los diferentes blancos de los que dispone, manteniendo el absorbente sobre el soporte del blanco. Use los valores de fondo de escala detallados anteriormente en función del blanco usado.

Denomine los ficheros grabados: TB2_***_9_N.mat

Describa grosso modo el comportamiento de los diferentes blancos mediante la observación del comportamiento de la señal en el osciloscopio y en la HS5

Lleve el blanco al centro de la mesa

MODE:

POSITION

Vuelva a colocar la plancha grande como blanco en la mesa.

5. Canales I-Q

Se sigue con la misma dinámica que el apartado anterior con la antena estática apuntando a la trayectoria del blanco. El blanco a utilizar es la plancha grande "PRG".

A continuación lleve las sondas que están conectadas en el interior del módulo receptor a sendas T-BNC en la tarjeta HS5. Lleve la sonda marcada en verde al CH1 y la sonda marcada en amarillo al CH2. El CH1 de la tarjeta al osciloscopio, y el CH2 de la tarjeta HS5 al osciloscopio. Ajuste el osciloscopio de la siguiente manera:

CH1: 200 mV/div (Acoplamiento CA)

CH2: 200 mV/div (Acoplamiento CA)

Trigger: CH1

Base de tiempos (M. Horizontal): 25 ms/div

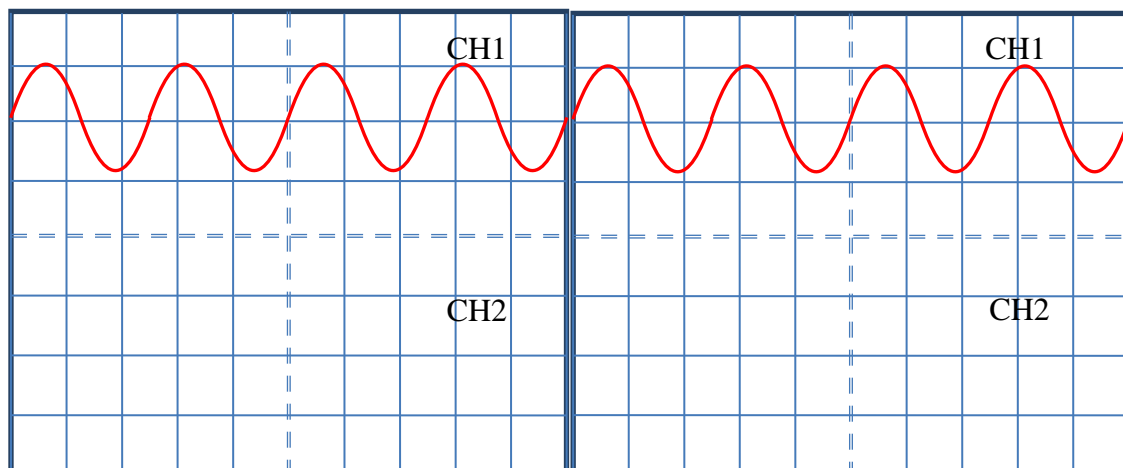
Posición vertical de los canales: de modo que el CH1 quede encima del CH2 y no se superpongan.

Las sondas están conectadas a las salidas de los mezcladores del demodulador I&Q. Ambas deben reflejar una frecuencia Doppler similar a la medida en el apartado 1 pero están desfasadas 90 grados entre sí.

Dibuje la señal del CH2 del osciloscopio para el blanco acercándose y alejándose del radar. Explique el resultado:

Blanco acercándose

Blanco alejándose



Realice una captura de esta escena. En este caso debe almacenar los dos canales de la HS5. Tiene que activar el segundo canal de la HS5 (basta arrastrar el ratón desde el símbolo Ch2 hacia el interior de la gráfica ya existente).

Realice una captura de esta escena utilizando como frecuencia de muestreo 500 Hz, y 10000 muestras. El eje Y de la aplicación TiePieMultichannel en ± 2 V (para ambos canales).

Denomine los ficheros grabados: TB2_PRG_9_I_N.mat y TB2_PRG_9_Q_N.mat

Con la información I&Q, a través de la evolución de la fase de la señal, es también posible medir la velocidad así como la trayectoria relativa del blanco.

Ponga ahora el osciloscopio en modo XY (Menú Display, Formato XY). El osciloscopio debiera representar un círculo (o elipse si las amplitudes de ambos canales no son iguales). Centre la imagen con los controles de posición de cada canal, y ajuste el osciloscopio con:

CH1: 100 mV/div (Acoplamiento CA)

CH2: 100 mV/div (Acoplamiento CA)

Describa el movimiento del círculo según el blanco se aleja o acerca al radar. Juegue con la velocidad del blanco, para que pueda observar sin aliasing el movimiento de la traza en el osciloscopio.

En el controlador de blancos ajuste el MODO POSICION.

6. Diagrama de radiación vs tiempo de iluminación

En los experimentos realizados hasta el momento el concepto de tiempo de iluminación no tiene sentido ya que el blanco siempre ha estado en el centro del haz de la antena.

Lleve ahora la velocidad del eje X a 0 y seleccione el modo trayectoria eligiendo la trayectoria diagonal. En este caso el movimiento del blanco es de 45 grados respecto a la dirección de apuntamiento. Lleve la velocidad de la trayectoria al máximo (10 cm/s en los ejes X e Y).

CH1: 100 mV/div (Acoplamiento CA)

CH2: 100 mV/div (Acoplamiento CA)

Trigger: CH1

Base de tiempos (M. Horizontal): 50 ms/div

Calcule y mida la frecuencia Doppler. Tenga en cuenta que sólo en la parte central de la trayectoria el blanco se sitúa en el ancho de haz del radar. Esta situación es equivalente a la de un radar de tráfico.

Frecuencia Transmitida F_T	Velocidad real del blanco	Velocidad radial del blanco	Frecuencia Doppler Teórica	Frecuencia Doppler Medida
GHz	cm/s	cm/s	Hz	Hz
9				

Realice una captura de esta escena pero utilice 500 Hz y 20 kmuestras. El blanco pasa varias veces por el haz en los 40 sg de grabación. Use $\pm 800\text{mV}$ en la TiepieMultichannel.

Denomine los ficheros grabados: TB2_PRG_9__DIA_I_N.mat y TB2_PRG_9__DIA_Q_N.mat

Conociendo la geometría de la escena, con estos datos puede determinar el ancho del haz del diagrama de radiación en el TB2.

Pase a modo SPEED con la Vx y Vy al máximo, 30cm/s, y realice otra captura (es de nuevo una trayectoria diagonal pero más rápida que la anterior).

Denomine los ficheros grabados: TB2_PRG_9__DIA30_I_N.mat y TB2_PRG_9__DIA30_Q_N.mat

A continuación, haga los siguientes ajustes:

MODE:	POSITION
X SPEED:	MÍNIMO
Y SPEED:	MÁXIMO (30 cm/s)
MODE:	SPEED

El blanco vuelve a estar siempre presente en el haz.

Encienda el controlador de antena. Ponga la antena a explorar a 3 rpm, 20 s por vuelta. Este parámetro, la velocidad de giro, lo podrá calcular con precisión con los datos grabados. Es posible que necesite la ayuda del profesor para ajustar la velocidad de exploración debido a un deficiente comportamiento del sistema.

Realice una captura de esta escena con los mismos parámetros (500 Hz, 20000 muestras). Si se sincroniza adecuadamente la grabación el blanco pasa 3 veces por el haz en los 40s de grabación.

Denomine los ficheros grabados:

TB2_PRG_9__I_scan3_N.mat y TB2_PRG_9__Q_scan3_N.mat

En este caso y con los parámetros conocidos puede determinar en el ancho del haz de la antena en el TB2.

Repita las capturas para 2 y 5 rpm. La velocidad la podrá calcular con precisión con el fichero de datos.

Por último, y con la antena, el blanco, el profesor y los alumnos estáticos, capture el ruido de los dos canales: I y Q. Acople en CC los canales de la HST-5, y utilice (5 KHz, 20000 muestras).

Denomine los ficheros grabados:

TB2_ruido_I_N.mat y TB2_ruido_Q_N.mat