

Capítulo 5: Diseño del jammer

El objetivo del *jammer* diseñado es bloquear la comunicación de equipos móviles en el mayor rango posible de la banda *PCS* (*Personal Communications Services*) y a una corta distancia. La Figura 5.1 muestra la asignación de frecuencias para la región 8 de México, es decir, Veracruz, Puebla, Oaxaca y Tlaxcala [20]. El apéndice B muestra una gráfica sobre la distribución de la banda *PCS* en nuestro país.

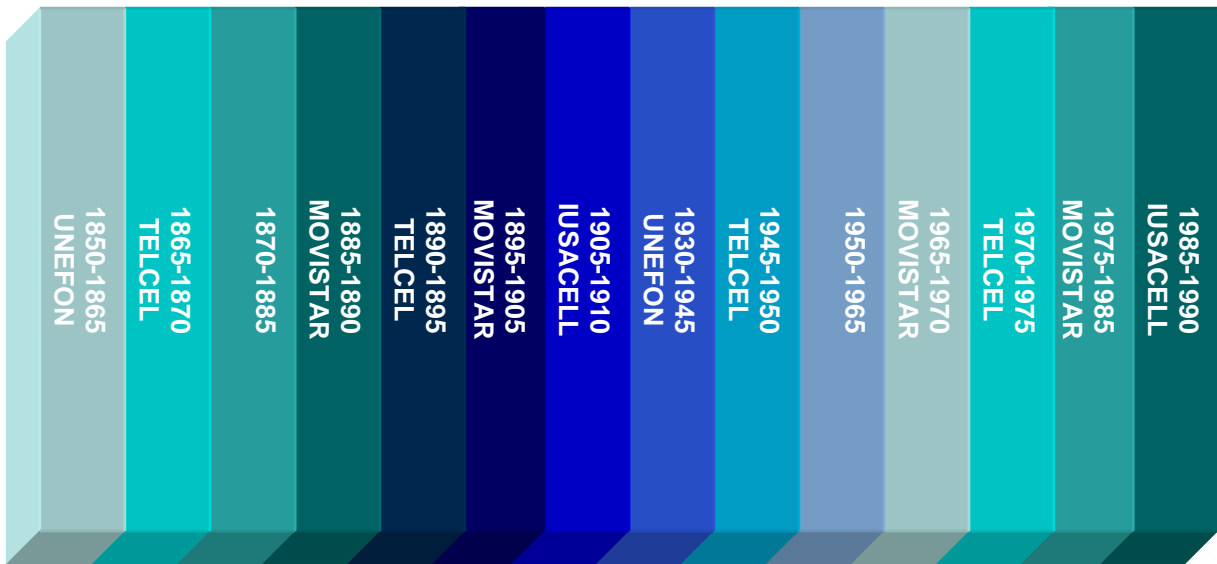


Figura 5.1 Asignación de la banda PCS para la región 8 de México. Las frecuencias están en MHz [20].

5.1 Elección de la técnica de *jamming* y tipo de *jammer*

Al analizar las distintas técnicas y estrategias de *jamming* presentadas en este trabajo de tesis mediante una comparación del factor complejidad-beneficio se ha llegado a la conclusión de que la estrategia de barrido es la ideal. Las demás se descartaron por las siguientes razones:

- ✓ Las de ruido debido a que:
 - La banda-ancha requiere mucha potencia y se tendrían que implementar numerosas etapas de ganancia para la antena. Además de incurrir en problemas legales.
 - La banda-parcial nos limitaría a cierta parte del espectro, entre 5 y 10MHz.

- La banda-angosta es fija y no nos ofrece el ancho de banda necesario.
- ✓ La estrategia de tonos no es efectiva ante sistemas que empleen *Frequency Hopping*.
- ✓ El *jamming* por pulsos no sería efectivo porque el *jammer* enciende y apaga y se requiere que esté encendido en todo momento. Esto para simplificar el diseño. En este caso el ahorro de potencia no es tan importante como si se tratase de un *jammer* portátil.
- ✓ El *jamming* por seguimiento no se eligió por la complejidad que representa su diseño. El tiempo no sería suficiente para depurar toda la implementación.

Se eligió el *jammer* por barrido porque se pretende utilizar toda la potencia disponible en cada parte del espectro y por momentos distintos. La potencia es importante pero no demasiado porque, como se ha dicho, no se trata de un *jammer* portátil. A pesar de que la velocidad tendrá que ser controlada por los saltos que maneja *GSM*, esto será posible mediante la definición de parámetros y pruebas constantes.

Respecto al tipo de *jammer* se ha elegido el de tipo constante. Una vez más el tema del *jammer* no portátil y la potencia surgen. Los demás no se eligieron porque el reactivo y el de engaño son muy complejos y se pretende sencillez, el aleatorio no se eligió porque se desea que el *jammer* trabaje en todo momento.

5.2 Descripción del circuito

Para que un *jammer* utilice como estrategia el barrido funcione se debe implementar el circuito de la Figura 5.2.

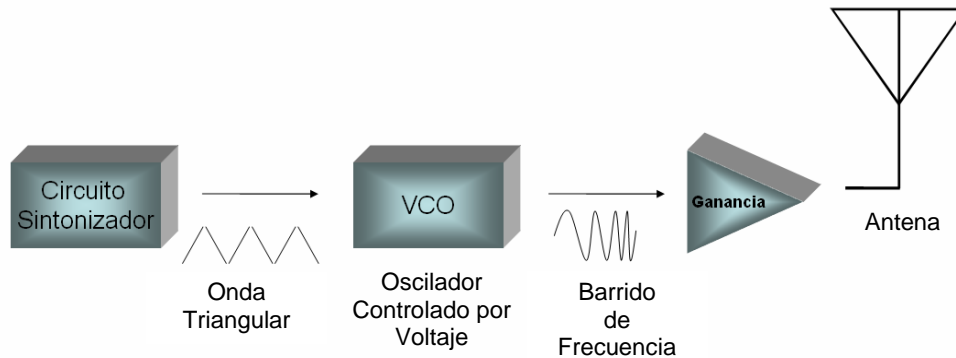


Figura 5.2 Diagrama a bloques del *jammer*

5.2.1 Oscilador controlado por voltaje

El centro medular del *jammer* es el oscilador controlado por voltaje. Al principio se tenían dos opciones, comprarlo o hacerlo. Debido a que las frecuencias a las que se va a trabajar son del orden de gigahertz, la fabricación del VCO es complicada. La dificultad radica en la depuración, ya que a esas frecuencias cualquier componente puede funcionar como antena. Es por eso que se optó por comprar el VCO. Se eligió el modelo JTOS-2000 de *Minicircuits*®. Teóricamente este VCO hace un barrido de 1370 a 2000MHz. Este rango incluye cualquier operadora de telefonía móvil que trabaje sobre la banda PCS. El voltaje que se debe suministrar para el barrido en frecuencia va de 1 a 22 V como se puede ver en la Tabla 6.1. En la misma tabla se puede ver que el barrido debe ser de 14V a 18V para garantizar la cobertura de la banda *PCS*.

Tabla 5.1 Relación entre el voltaje sintonizador y la frecuencia de salida para el JTOS-2000

Voltaje de entrada (V)	Frecuencia (MHz)
1.00	1266.03
3.00	1364.13
5.00	1446.30
7.00	1530.72
9.00	1621.98
11.00	1715.81
13.00	1807.46
15.00	1890.65
17.00	1958.16
19.00	2015.46
21.00	2060.55
22.00	2081.16

5.2.2 Sintonizador

El circuito sintonizador tiene la tarea de suministrar el voltaje de entrada al VCO. Esto se puede hacer mediante una onda de diente de sierra o una triangular. Para esta parte del *jammer* se ha optado por el XR-2206 de EXAR®. Este integrado es un generador de funciones del que se pueden obtener señales senoidales, cuadradas y triangulares con frecuencias superiores a 1MHz y voltajes máximos cercanos a los 20V. El aspecto de la frecuencia es muy importante debido a que GSM es un sistema que emplea SFH, y de esta forma puede ser que los saltos en frecuencias protejan a la comunicación de la interferencia generada por el *jammer*. Lo anterior presenta dos escenarios: Si la variación del voltaje sintonizador es muy lenta no se alcanzará a barrer una parte amplia del espectro de manera que se intercepten los saltos en frecuencia; si la variación es muy rápida no será suficiente el tiempo que la señal del *jammer* interfiera con la señal original para imposibilitar la comunicación. La Figura 5.3 muestra las conexiones para el XR2206 con sus componentes externos.

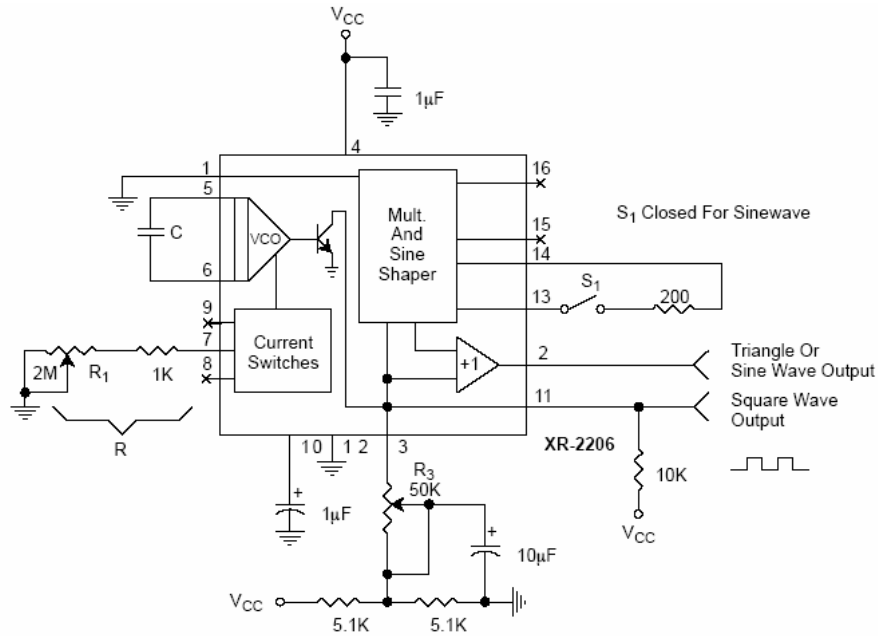


Figura 5.3 Conexiones para el generador XR-2206

La frecuencia se puede variar mediante el capacitor, C , en las terminales 5 y 6 y el potenciómetro conectado en serie con la resistencia de la terminal 7, R_1 , mediante la ecuación 5.1.

$$f = \frac{1}{RC} \quad \text{Ecuación 5.1}$$

El valor máximo del capacitor, C , es de $100\mu\text{F}$ y la resistencia, R_1 , puede llegar hasta $2\text{M}\Omega$. El valor de C para este jammer es de 100pF y la resistencia es variable. La amplitud varía por medio del potenciómetro R_3 , y aumenta a razón de $160\text{mV/k}\Omega$ para la onda triangular y de $60\text{mV/k}\Omega$ para la onda senoidal.

5.2.3 Acondicionamiento de la señal

El acondicionamiento de la señal referente al *offset* corre a cargo de un transistor BJT 2N2222 y de un conjunto de resistencias, una de las cuales es variable. Tanto la amplitud como la frecuencia pueden ser modificadas por medio de dispositivos externos al generador de funciones.

Es así que el circuito posee tres potenciómetros multivoltas con valores de $500\text{k}\Omega$ (frecuencia), $50\text{k}\Omega$ (amplitud) y 500Ω (offset). Los ajustes son necesarios porque la realidad difiere de la teoría, y al presentarse estas variaciones es necesario acondicionar la señal que alimenta al VCO. Además, al afectarse la frecuencia se altera la amplitud y el *offset* debido a características propias del integrado. La amplitud debe estar entre 14V y 18V, el *offset* debe tener el valor requerido para que el voltaje mínimo sea de 14V y la frecuencia un valor entre 1.5 GHz y 1.8GHz para garantizar la interrupción de la comunicación entre radiobase y unidad móvil. El valor exacto y óptimo se obtiene mediante prueba y error debido a la inexistencia de un método.

5.2.4 Línea de transmisión y antena

La línea de transmisión es de tipo coplanar porque el JTOS-2000 es de montaje superficial y gran número de sus terminales van conectadas al plano de tierra. Las dimensiones de la línea para lograr un acoplamiento a 50Ω se muestran en la Figura 5.4.

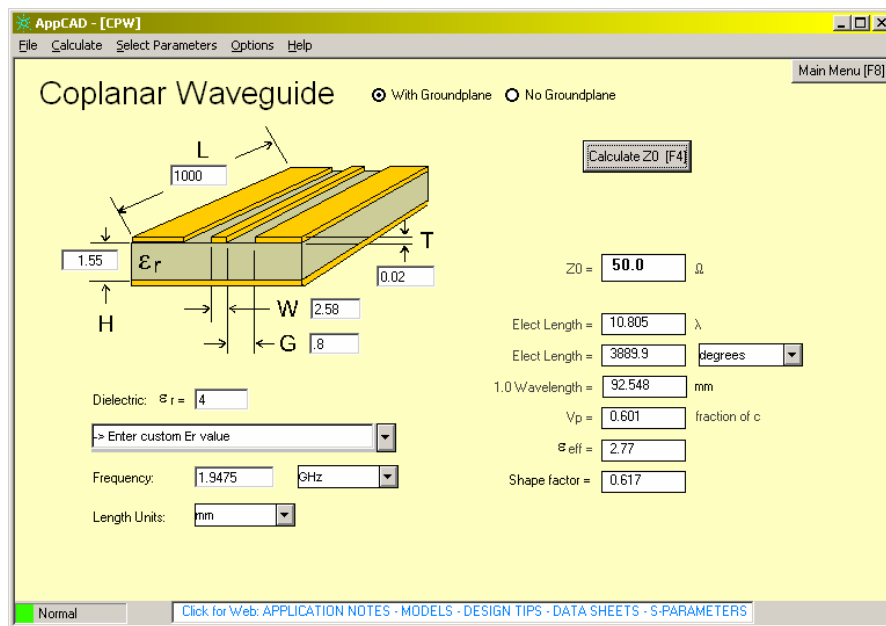


Figura 5.4 Dimensiones de la línea coplanar [23]

El dieléctrico empleado para la placa del circuito es fibra de vidrio fabricada en México. Se eligió este material por su disponibilidad y precio. La caracterización de este material fue realizada en el INAOE y arrojó los siguientes resultados [22]:

- Permitividad relativa de 4
- Pérdida tangente de 0.026
- Altura de 1.55mm.
- Impedancia característica de 50 Ω.

En la Figura 5.4 se puede ver que la frecuencia, la constante dieléctrica y las alturas del dieléctrico y del metal son parámetros importantes para obtener las dimensiones que garanticen la transferencia de energía.

Por último, la antena con la que trabaja el *jammer* es una *OMA* de 7 segmentos desarrollada en la Universidad de las Américas Puebla [22]. Se eligió esta antena porque presenta un ancho de banda ideal para este proyecto y porque tiene una buena ganancia, es decir, no presenta pérdidas considerables entre la señal con que se alimenta y la radiación que produce. Sus características se pueden ver en la tabla 6.2. La conexión entre la antena y la línea de transmisión se hace por medio de conectores *SMA* (*SubMiniature version A*). Este tipo de conectores están acoplados a 50Ω y garantizan la transferencia de energía a frecuencias hasta de 18GHz.

Tabla 5.2 Características de la antena OMA de 7 segmentos [22]

Punto mínimo de S11	-14.007 dB a 1.948 GHz
Ancho de banda (-8dB)	1.5535 – 2.016 GHz: 23.742 %
Ancho de banda (-10dB)	1.6235 – 1.9944 GHz 19.04%
Potencia transmitida	5dBm
Potencia recibida (pol. dir.)	-27dBm
Potencia recibida (pol. cruz.)	-35 dBm
Ganancia	5dBd = 7.15 dBi

La ganancia proporcionada por la antena es suficiente para cubrir un área de aproximadamente 4 metros a la redonda. No es el propósito de este prototipo cubrir zonas más grandes porque, como se ha explicado en el capítulo sobre el marco legal, se estaría incurriendo en una falta.

5.2.5 Alimentación

La alimentación del circuito se toma de la línea de 120. Para rectificar esta señal se usa un transformador a 18V, un puente rectificador de diodos AM154 y un capacitor de 470uF para garantizar la eliminación del rizo. Una vez rectificada la línea se obtienen las salidas necesarias para alimentar al generador, al BJT y al VCO. Los dos primeros requieren voltajes de alimentación de 24V, mientras que el VCO requiere 8V para su funcionamiento. Estas salidas se logran por medio de reguladores de voltaje MA7824, con 24V de salida, y MA7808 con 8 V de salida. Para evitar ruido por parte de la fuente de alimentación, la impresión de esa parte del circuito está en otra placa impresa. Con el mismo fin, se colocan capacitores de acoplamiento. En este caso se utilizaron juegos de 3, 1 de 1 μ F y 2 de 0.47 μ F, para los voltajes de 24 V y 8 V. Para los integrados XR-2206 y JTOS-2000 se emplearon capacitores de 1 μ F para cada uno.

El apéndice D muestra los diagramas para el *jammer* y para la fuente de alimentación; la fabricación del *jammer* se muestra en el apéndice E.