

23
Zej



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

DETERMINACION DE PRODUCTOS PASIVOS DE
INTERMODULACION SUPERIOR AL QUINTO
ORDEN

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
P R E S E N T A ;
MA. DEL ROSARIO BARRAGAN PAZ



DIRECTOR DE TESIS:
ING. VICTOR D. PINILLA MORAN

MEXICO, D. F.

JUNIO 1996

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**DETERMINACION DE PRODUCTOS PASIVOS DE
INTERMODULACION
SUPERIOR AL QUINTO ORDEN**

"Nunca consideres tu estudio como un deber, sino como una envidiable oportunidad para aprender a conocer la liberadora influencia de la belleza en el reino del espíritu, para tu alegría personal y para el provecho de la comunidad a la cual pertenece tu trabajo"

Albert Einstein.

AGRADECIMIENTOS

A mi padre Dios, mi estrella favorita. (Por ser la luz y el camino, sólo en ti se puede confiar).

A mi amigo Antonio, por estar aquí. (*"Per Antonium ad Jesum"*, fue un encuentro genial, que permanecerá toda la vida).

A Luis Barragán, papá no existen palabras para expresarte todos mis sentimientos en su real desempeño.

A Reyna María, J. Luis y Shalom bien saben cuanto los amo y admiro (*Amarnos y estar unidos es lo que nos hace fuertes*).

Al Ing. José Roselló por su valiosa aportación al desarrollo de este trabajo.

Al Ing. Victor D. Pinilla Morán, por su gran apoyo y comprensión a lo largo de este trabajo. (*Gracias por tu ayuda*).

Al Ing. Eduardo Alvarez Guzmán, por su invaluable cooperación y amistad. (*Realmente eres fantástico*).

Al Ing. Javier Gómez Castellanos por su desinteresada aportación a la realización de esta tesis. (*La distancia jamás es un obstáculo*).

A todo el equipo de los satelites Solidaridad, en forma muy especial el Ing. Eugenio Mendez, Ing. Roberto Betancurt, Ing. Francisco Viveros (Paco pim).

Con gran admiración para la M.en C. Amanda O. Gómez

A Ana Ma., Eduardo, Fernando, Gilberto, Gerardo, Itha, Javier, Julia y Victor por permitirme conocerlos en su justa dimensión y porque en su momento fuimos un muy buen grupo.

IN MEMORIAM

A mis abuelitos Mimi, Tita y Pancho, me hubiese gustado que estuvieran conmigo. *(Por su amor, alegría, valor y entrega a la vida).*

Dr. Leonardo Duque Toussend, siempre puedes volver, *(Cuidaré bien de mis rosas).*

Eng. Robert S't John D. Mkeamfert, la vida siempre tiene el color al través del diamante que se mire. *(Vivir es sueño, dichoso aquel que vive y comparte sus sueños).*

Requiem por MASA *(Porque tuvo sus momentos de gloria)*

Airé porque valió la pena, aunque sólo fuera un instante. *(¡Tan breve cual rosa al deshojarse!).*

190413 *(Porque aun creo que el amor es para siempre).*

Chary.

I

**DETERMINACION DE PRODUCTOS PASIVOS DE INTERMODULACION
SUPERIOR AL QUINTO ORDEN**

INDICE

	Pag.
Introducción.	
1.-Ruido e intermodulación	3
Ruido eléctrico.	3
Relación señal a ruido.	8
Relación portadora a ruido.	9
Relación portadora a intermodulación	11
2.-Importancia de los productos pasivos de intermodulación para comunicaciones satelitales.	13
3.-Factores que contribuyen a la generación de PIM'S.	21
Definición de AIM'S.	22
Definición de PIM'S.	24
Factores que generan PIM'S.	26
Contactos metal-metal.	29
4.-Análisis y cálculo de PIM'S.	31
Problema de PIM'S.	32
Método de predicción de orden y tipo.	35

II

Análisis de orden y tipo para guías de onda de banda L y KU.	41
5.-Esquemas de pruebas para detección de PIM'S.	49
Pruebas de determinacion de PIM's para antena DBS de un satélite Europeo.	50
Descripción del sistema de pruebas	55
Procedimiento de pruebas.	56
Resultados.	58
Pruebas para medición de PIM'S en un satélite americano para banda L y Ku.	
Diagrama de medición para banda L.	59
Diagrama de medición para banda Ku.	61
Resultados.	61
Prueba básica para medición de PIM'S sugerida por la Universidad de Kent	62
6.-Recomendaciones y sugerencias para minimizar PIM'S.	65
Minimización de PIM'S.	72
7.-Resultados	77
Conclusiones	79

III

Bibliografia. 81

Apendice A 83

INTRODUCCION

Con el desarrollo de las comunicaciones, los satélites desempeñan un papel preponderante. Desde que se planteó la idea de enlazar a la tierra con estos repetidores espaciales, hemos obtenido grandes beneficios aportados por la tecnología satelital como son eficacia, rapidez y viabilidad en las comunicaciones; sin embargo aunado a este avance, se nos presentan inconvenientes, no siendo estos mayores a los beneficios, los problemas inherentes de la puesta en órbita, la atenuación de las transmisiones, los productos de factor múltiple y además el ruido en sus diversas modalidades.

En cuanto a las clases de ruido que se presentan en comunicaciones satelitales, los productos de intermodulación es una de ellas, que se deben a la mezcla de dos ó más portadoras al propagarse en un medio no lineal, ocasionando interferencias; se observó, por primera ocasión, en la década de los 60's en Londres en los laboratorios satelitales Lincoln que en elementos pasivos como las antenas y los filtros se generaban productos de intermodulación [8], siendo que hasta estos se les había catalogado como interferencia de tipo activo (como de los TWT').

Estudios recientes han demostrado que en dispositivos lineales también se presentan productos de intermodulación, como los observados en los laboratorios Lincoln, sólo que debido a las características pasivas de los dispositivos, a este fenómeno se

le denomina PRODUCTOS PASIVOS DE INTERMODULACION (PIM'S)¹[4]

El interés de realizar un estudio sobre los productos pasivos de intermodulación en redes de distribución de potencia satelital --específicamente en guías de onda para la banda L y banda Ku -, se debe a la necesidad de describir la importancia de los PIM'S en las comunicaciones vía satélite y evaluar los efectos perjudiciales que presentan en la recepción [11].

En este trabajo analizaremos las causas y los factores que producen los PIM'S, así mismo estudiaremos y propondremos formas para cuantificarlos, revisaremos los métodos para predecir dónde aparecerán (si es que existen), las técnicas para disminuirlos, revisaremos los diversos métodos de medición y pruebas de PIM'S para circuitería espacial (específicamente el guías de onda) [7], así como recomendaciones y sugerencias para evitar la presencia de PIM'S cumpliendo con las normas internacionales, para niveles de ruido de fondo e intermodulación, [1] para que los PIM'S no dañen el desempeño del receptor.

¹A lo largo de este estudio llamaremos a los productos de intermodulación pasiva simplemente PIM'S.

CAPITULO 1

RUIDO E INTERMODULACION

Para poder adentrarnos al estudio de los productos pasivos de intermodulación (PIM'S), es necesario comprender los parámetros y las relaciones básicas bajo la que se rige la intermodulación; por lo cual explicaremos dichas relaciones. **En esencia la intermodulación es ruido.**

Ahora bien existen diversas clases de ruido, como el ruido eléctrico que se define como cualquier señal de energía eléctrica no deseable presente en una banda útil, en un circuito de comunicaciones.

" Por ejemplo en una grabación de audio todas las señales que se encuentren de los 0 a 15KHz son audibles¹, e interferirán con la información de audio. Consecuentemente, para los circuitos de audio cualquier energía eléctrica indeseable presente en la banda de los 0 a 15KHz se considera ruido." [13]

Esencialmente, el ruido se divide en dos categorías :

-Correlacionados

¹ El rango audible por el ser humano es 20 Hz a 20 KHz, sin embargo las señales por debajo de 20 Hz son audibles pero no captadas por el ser humano.

-No correlacionados

La correlación implica una relación entre la señal y el ruido.

El ruido no correlacionado es aquél que está presente en la ausencia de cualquier señal.

El ruido correlacionado es la energía eléctrica no deseable que se hace presente como resultado de una señal, como son las distorsiones de armónicas y la intermodulación, dos formas no lineales de distorsión no lineal que se producen debido a una amplificación no lineal.

El ruido correlacionado no puede estar presente en un circuito a menos que exista una señal de entrada.

" Es sencillo, si no hay señal no hay ruido" [13]

La distorsión armónica y la intermodulación cambian la forma de la onda en el dominio del tiempo, y el contenido espectral en el dominio de la frecuencia.

La **distorsión armónica** es la generación de señales múltiples (armónicas) indeseables de una señal senoidal sencilla cuando se amplifica en un dispositivo no lineal como puede ser un LNA.

También se le conoce como "distorsión de amplitud" cuando se analiza la señal en el dominio del tiempo.

El término distorsión de armónicas se emplea en el análisis en el dominio de la frecuencia.

La frecuencia original de entrada es la primera armónica y se denomina frecuencia fundamental es decir la frecuencia que se transmite.

Hay varios grados u órdenes de distorsión de armónicas. Las distorsiones en la segunda armónica son las relaciones entre la amplitud de la segunda armónica y la amplitud de la fundamental, la distorsión en la armónica de tercer orden es la relación entre la amplitud de la armónica de 3 orden y la frecuencia de la fundamental, y así sucesivamente.

La relación entre las amplitudes combinadas de las armónicas más altas y la amplitud de la fundamental se conoce como distorsión armónica total (THD, *Total Harmonic Distortion*).

$$\% THD = \frac{V_{MAYOR}}{V_{Fundamental}} \times 100 \quad (1)$$

La **distorsión de intermodulación** se origina por el producto cruz (sea suma o diferencia de frecuencias), no deseable, que se generan cuando dos o más frecuencias se amplifican en un dispositivo no lineal.

Al igual que la distorsión armónica existen varios grados de distorsión por intermodulación.

Sería difícil querer medir todas las componentes producidas

cuando dos o más frecuencias se mezclan en un dispositivo no lineal, por tanto, para fines de comparación, un método utilizado para la medición de la distorsión de intermodulación, es el del porcentaje de distorsión de intermodulación de segundo orden, siendo este la razón entre la amplitud total de los productos cruz de segundo orden y la amplitud combinada de las frecuencias originales de entrada, ecuación (2).

Generalmente para realizar la medición de la distorsión de intermodulación se usan cuatro frecuencias de prueba; dos se designaron banda A (FA1 y FA2) y dos a banda B (FB1 y FB2).

Los productos cruz de segundo orden (2A-B) antes mencionados los definimos por las siguientes expresiones matemáticas [13]:

2FA1-FB1

2FA1-FB2

2FA2-FB1

2FA2-FB2

(FA1+FA2)-FB1 y

(FA1+FA2)-FB2

Matemáticamente, el porcentaje de segundo orden de distorsión de intermodulación (IMD, *Intermodulation Distortion*) es:

$$\% \text{ IMD } 2^{\circ} \text{ Orden} = \frac{V_{\text{productos cruz de 2}^{\circ} \text{ orden}}}{V_{\text{original}}} \times 100 \quad (2)$$

donde :

$V_{2o.orden}$: suma cuadrática de las amplitudes de los productos
cruz de segundo orden

$V_{original}$: suma cuadrática de la amplitud de frecuencias de
entrada

La causa principal de la distorsión armónica y intermodulación es la misma.

La única diferencia entre ambas es que la distorsión armónica se origina con una sola frecuencia de entrada y la distorsión de intermodulación puede generarse cuando hay dos o más frecuencias de entrada.

RELACION SEÑAL A RUIDO.

Dado que los PIM'S son interferencias, estas afectan a la relación señal a ruido del sistema en el que se presenten, por lo cual es indispensable conocer dicha relación.

La relación señal-a-ruido (S/N) es una relación matemática entre el nivel de la señal y el nivel del ruido en un punto dado de un circuito, amplificador o sistema. La señal-a-ruido puede expresarse como una razón de voltaje o una de potencia.

Matemáticamente, S/N es:

Como una razón de voltaje:

$$\frac{S}{N} = \frac{\text{Voltaje de la señal}}{\text{voltaje del ruido}} = \frac{V_S}{V_N} \quad (3)$$

Como una razón de potencia:

$$\frac{S}{N} = \frac{\text{Potencia de la Señal}}{\text{Potencia del Ruido}} = \frac{P_S}{P_N} \quad (4)$$

La relación de señal-a-ruido se expresa comúnmente con una función logarítmica, usando dB (decibeles):

Para razones de potencia:

$$\frac{S}{N} (\text{dB}) = 10 \log \frac{P_S}{P_N} \quad (5)$$

Para razones de voltaje:

$$\frac{S}{N} \text{ (dB)} = 20 \log \frac{V_S}{V_N} \quad (6)$$

La razón señal-a-ruido es probablemente el parámetro más utilizado para evaluar el desempeño de un sistema de comunicaciones. Entre mayor sea la razón señal-a-ruido, el desempeño es mejor. Por lo general se puede determinar la calidad general de un sistema mediante ésta relación.

La razón señal-a-ruido permite establecer la magnitud relativa de la señal recibida con respecto al nivel de ruido en la entrada del receptor, existen varias relaciones para medir la magnitud relativa:

La relación de la potencia de la señal con respecto a la potencia del ruido, siendo esta aproximación la más natural, ya que comparamos dos magnitudes de igual tipo, la potencia de la portadora modulada la designamos como "C" y potencia de ruido "N" [W], la relación se escribe C/N.

La relación de la potencia de la señal con respecto a la densidad espectral del ruido, ésta se escribe C/N₀ [Hz], esta relación tiene la ventaja con respecto a C/N de no suponer el ancho de banda utilizado, lo que nos implica que en la relación C/N₀ el conocimiento del ancho de banda del ruido B_n del receptor que se ajusta al ancho de banda B

ocupado por la portadora modulada.

En el curso del diseño, se puede requerir el evaluar la calidad del enlace antes de especificar la naturaleza de las señales transmitidas, siendo entonces desconocido el ancho de banda ocupado por la portadora modulada y esto proviene de un análisis profundo del valor de C/N .

Consideramos que la relación portadora a ruido es, probablemente, el parámetro más importante cuando evaluamos el desempeño de un sistema para comunicaciones en microondas.

Para un enlace completo la relación de la potencia de la señal con respecto a la densidad espectral del ruido, se expresa de la siguiente forma:

$$(C/N_0)_T = (C/N_0)_U + (C/N_0)_D \quad (7)$$

Como hemos visto la intermodulación es ruido de tipo correlacionado y como tal podemos inferir en el ruido de intermodulación como la densidad de potencia de ruido de intermodulación $(N_0)_{IM}$, y haciendo un símil con las relaciones de portadora a densidad de potencia de ruido, definimos una relación portadora con respecto a la densidad de potencia de ruido de intermodulación, $(C/N_0)_{IM}$ [8]. Su valor depende del tipo de intermodulación (Los cuales explicaremos en el capítulo 2) y de la función de transferencia del dispositivo en donde se presenta dicha intermodulación (Los cuales explicaremos en el capítulo 3).

El ruido de intermodulación se suma a las otras fuentes de ruido involucradas en la relación portadora a densidad de potencia de ruido y para un enlace completo la ecuación (7) se modifica de la siguiente forma [8]:

$$(C/N)_T^{-1} = (C/N_o)_V^{-1} + (C/N_o)_D^{-1} + (C/N_o)_I^{-1} + (C/N)_{IH}^{-1} [Hz^{-1}] \quad (8)$$

Aprovechando la característica de la relación señal a ruido, podemos hacer un símil con el análisis de señal a producto de intermodulación el cual denominaremos C/I [12].

$$\frac{C}{I} = \frac{C}{N_{oi}(0.9B/N)} \quad (9)$$

Donde:

N_{oi} = densidad de potencia de ruido de intermodulación.

B = ancho de banda del transpondedor.

N = número de portadoras en el transpondedor.

0.9 = coeficiente del 10% de banda de guarda.

Si la expresión la consideramos en logaritmos será:

$$\frac{C}{I} = \frac{C}{N_{oi}} + 10 \log_{10} N - 10 \log_{10} B + 0.45 \quad (10)$$

Los PIM'S son interferencias, que ocasionan problemas en la

recepción de un sistema de comunicaciones vía satélite como los analizaremos posteriormente en el capítulo 2.

CAPITULO 2

IMPORTANCIA DE LOS IMP'S PARA LAS COMUNICACIONES SATELITALES

Los efectos nocivos de la intermodulación (IM) provocan interferencias sobretodo en forma preponderante en las comunicaciones satelitales donde existen fuentes de no linealidad como lo son los amplificadores y recientemente fuentes lineales (antenas, guias de onda, junturas y más) [5].

Cuando dos o más portadoras se transmiten simultáneamente en un satélite de comunicaciones, se generan **productos de intermodulación (IMP'S)**, estos IMP'S se localizan en los transpondedores de comunicación operando en FDMA ó TDMA, donde múltiples portadoras se transmiten a través de amplificadores en saturación o cerca de ella (normalmente *Traveling Wave Tube Amplifier (TWTA'S)*, o *Solid-State Power Amplifier (SSPA'S)*) este proceso se denomina **Intermodulación activa (AIM)**, y la interferencia debida a la **intermodulación (IM)** es predominantemente: productos de intermodulación del tercer orden presentes en el ancho de banda de transmisión.

Este problema puede ser aliviado por la multicanalización de TDMA, sin embargo, los altos niveles de potencia de transmisión permitidas por la tecnología satelital provoca un nuevo problema.

Consideremos el ejemplo simple pero realista de la figura 1,

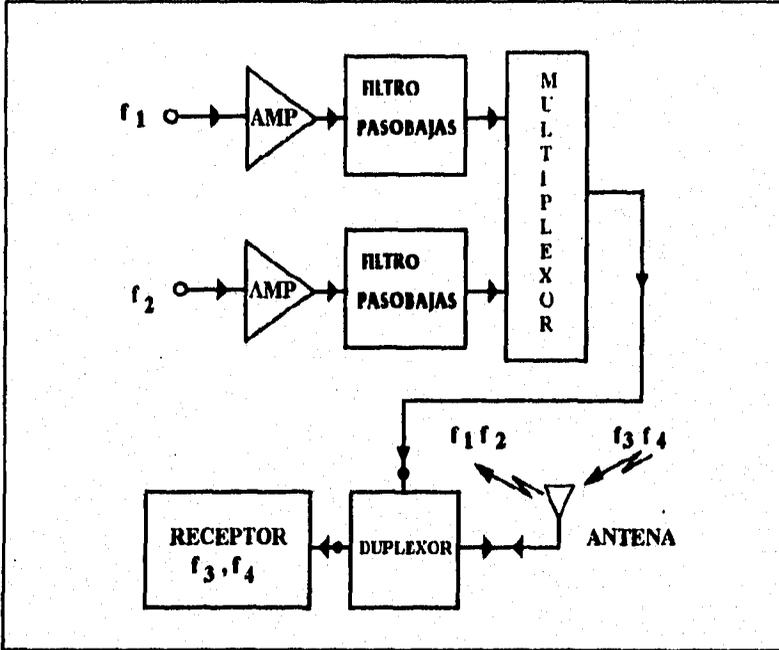


Figura 1.1 Diagrama a bloques del problema de intermodulación pasiva (PIM).

donde dos portadoras se transmiten a través de dos canales cerradamente espaciados, estas son sumadas en un multiplexor después de la transmisión. [4]

Suponemos que una antena se utiliza para transmisión y recepción y que sólo se utiliza un duplexor para separar las señales de transmisión y de recepción.

En éste subsistema de comunicación, todos los componentes entre los puntos A y B como: el multiplexor, el diplexor, la antena ó el receptor además de los elementos utilizados para interconectarlos (junturas de guías de onda, que inherentemente poseen uniones metal-metal), son componentes pasivos y comúnmente considerados lineales; se ha encontrado que pueden ser lo suficientemente no lineales para crear IMP'S de magnitudes significativas, provocando pérdida de sensibilidad en el receptor. Al igual que dispositivos que contengan materiales ferromagnéticos.

A este proceso se llama **INTERMODULACION PASIVA (PIM)** y es causa fundamental de la interferencia en los receptores de alta sensibilidad abordo de los satélites de comunicación.

Analícemos el problema de PIM'S propuesto en la ilustración anterior, suponiendo que f_1 y f_2 se transmiten cada una a 10 watts, (40dBm) y los IMP's de tercer orden formados por ellos caen en f_3 , siendo :

$$f_3 = 2f_1 - f_2$$

adicionalmente suponemos que la sensibilidad del receptor en f_3 es de -120dBm (es decir que es capaz de recibir f_3 con un nivel de potencia de -120 dBm); así la linealidad requerida de relación portadora-intermodulación de tercer orden (C/I_3) (la cual definimos en el capítulo 1) entre los puntos A y B debe ser superior a 160 dB, de modo que los IMP de tercer orden debidos a f_1 y f_2 no degraden el desempeño del receptor en f_3 .

Debido a éstos requisitos de linealidad no nos sorprende que componentes conocidos como lineales, se tornen no lineales.

El problema se agrava para comunicaciones satelitales de transmisiones multiportadoras con potencias superiores a decenas de watts y receptores con sensibilidades mayores a -120dBm. [5]

El proceso AIM se ha estudiado más que el de PIM, aunque en las últimas 3 décadas se ha incrementado la atención hacia el último y las referencias respecto a tema son mas accesibles.

De hecho, previendo que los transpondedores para comunicaciones satelitales en el futuro deberán tener niveles de potencia pico en el orden de cientos de watts,

En ambos casos, tanto en información o análisis de datos es mucho más accesible para productos de orden pequeño, que para los de orden superior. Sin embargo los IMP's de orden superior suelen ser interesantes para problemas de PIM. Esto se debe a que las bandas de recepción de en los satélites tienen mayor espaciamiento que en el ejemplo de anterior, y los PIM'S de ordenes superiores son los que provocan interferencias en la recepción.

De hecho, en algunas misiones espaciales, los órdenes de PIM's que provocan problemas de interferencia se encuentran en el orden de 27 o 41^{avo} orden.

En el caso de los AIM el manejo de la información experimental y la literatura existente, es de fácil acceso, y puede considerarse como válida para transmisores que llevan diversas señales, y en algunos casos, el control de los productos resultantes se realizará por medio de filtros diseñados específicamente para tal efecto.

En el caso de los PIM, sin embargo, tanto conseguir información como controlar los productos de alto nivel es difícil.

Los niveles absolutos de productos de orden par alto y bajo son poco medibles. Incluso, éstos productos pueden generarse en lugares donde ya no es posible efectuar un control por medio de filtros.

En los estudios sobre productos de intermodulación han hecho avances importantes relacionando los IMP's a efectos no lineales.

La mayoría de estos análisis se dieron por un proceso AIM y, concentrados en las técnicas de cálculo de productos de nivel bajo que contribuyen a la interferencia en la banda de entrada.

No obstante, ninguno de estos esfuerzos estudió analíticamente las propiedades de los IMP con relación a los diferentes tipos de no linealidad, especialmente el comportamiento de los órdenes superiores.

Más aún se ha observado que los IMP se dispersan en frecuencia debido a dos efectos:

- 1.-Por la suma de ruido a una ó más de las portadoras de entrada.
- 2.-Por la desviación de fase de las portadoras transmisoras.

Estos efectos de ruido y modulación son relativamente poco conocidos, aunque puedan ayudar a corregir el problema de interferencia de PIM.

La llave para el estudio de estas propiedades analíticas es por supuesto, la capacidad de calcular el nivel de IMP y su localización en el espectro al rededor de algunas bandas arbitrarias de nuestro interés, así como las magnitudes de los productos para cuantificar que tanto dañan la calidad de la recepción.

Pero dentro de todas las técnicas de análisis, una parte importante es -el orden y tipo de IMP- que provoca la interferencia de modo tal que se pueda escribir una expresión en función de las condiciones de potencia de alimentación y la no linealidad asociada, éste problema específico de predicción del orden y tipo de IMP que provoca interferencia es, fundamental para todo estudio PIM.

Sin embargo, parte de un análisis por prueba y error, aún no existen las herramientas para calcular o predecir los tipos y ordenes que causarán problemas. Dado que ésta, al parecer inevitable ocurrencia de interferencia debida a ordenes elevados de PIM requiere un estudio del problema de IMP en mayor detalle, creemos que una solución para la predicción del orden y tipo de IMP que causan interferencia es indispensable.

Aún cuando éste problema es sólo una parte del amplio estudio de IM, se demostrará que es equivalente a problemas matemáticos de optimización que involucra.

En resumen, hemos descrito las razones y la importancia para el estudio y análisis del problema de PIM'S.

Es innegable que un estudio completo de PIM'S consistirá en modelos analíticos de computación para IMP utilizando modelos no lineales, experimentos de caracterización de componentes de microondas, experimentos en circuitería (hardware) de satélites para efectos de PIM, investigación en diseño y materiales, consideración de interacciones mutuas entre la estructura del satélite y las configuraciones de la antena.

Se reconoce que no podemos trabajar con todas estas áreas en nuestro estudio. Por lo tanto nos concentraremos en el estudio analítico del problema, poniendo énfasis particular en la predicción de orden y tipo, y la localización de los PIM'S en la banda de recepción arbitrarias de nuestro interes, la cual es de impor-

tancia fundamental para la mayoría de de los análisis de IM y merece especial énfasis en la tesis.

CAPITULO 3

FACTORES QUE CONTRIBUYEN A LA GENERACIÓN DE PIM'S

Antes de hablar de los factores que provocan los PIM'S es necesario definir qué son los productos pasivos de intermodulación.

En principio definiremos a los productos de intermodulación activos, porque son básicos para comprender los lineamientos de los productos de intermodulación pasivos, definiremos también los productos pasivos de intermodulación, y una vez definidos revisaremos los factores que se consideran generadores de PIM'S.

PRODUCTOS DE INTERMODULACION

Los productos de intermodulación son señales generadas a partir de la mezcla de dos señales en un medio determinado, ahora bien dependiendo de las características del medio, los productos de intermodulación se clasificaran de acuerdo a tales características, es decir, productos de intermodulación activos y productos de intermodulación pasivos.

PRODUCTOS DE INTERMODULACION (ACTIVOS)

Cuando varias portadoras se transmiten a través de un medio o elemento con comportamiento no lineal se generan productos de intermodulación a la salida, esto comúnmente ocurre en comunicaciones satelitales, cuando la fuente no lineal es un amplificador de potencia (TWTA) que opera cerca del margen de saturación.

Cuando N señales sinusoidales con frecuencias f_1, f_2, \dots, f_N pasan a través de un dispositivo no lineal la salida contiene no solo N señales originales sino señales indeseables que se llaman productos de intermodulación. Estas aparecen en frecuencias f_{IM} las cuales son combinaciones lineales de las frecuencias de entrada que por definición cumple con la siguiente expresión matemática [9] :

$$f_{IM} = m_1 f_1 + m_2 f_2 + \dots + m_N f_N \text{ (HZ)} \quad (1)$$

donde m_1, m_2, \dots, m_N son enteros positivos o negativos.

Ahora bien el valor "C" la denominamos orden del producto de intermodulación y será la suma de: [8]

$$C = |m_1| + |m_2| + \dots + |m_N| \quad (2)$$

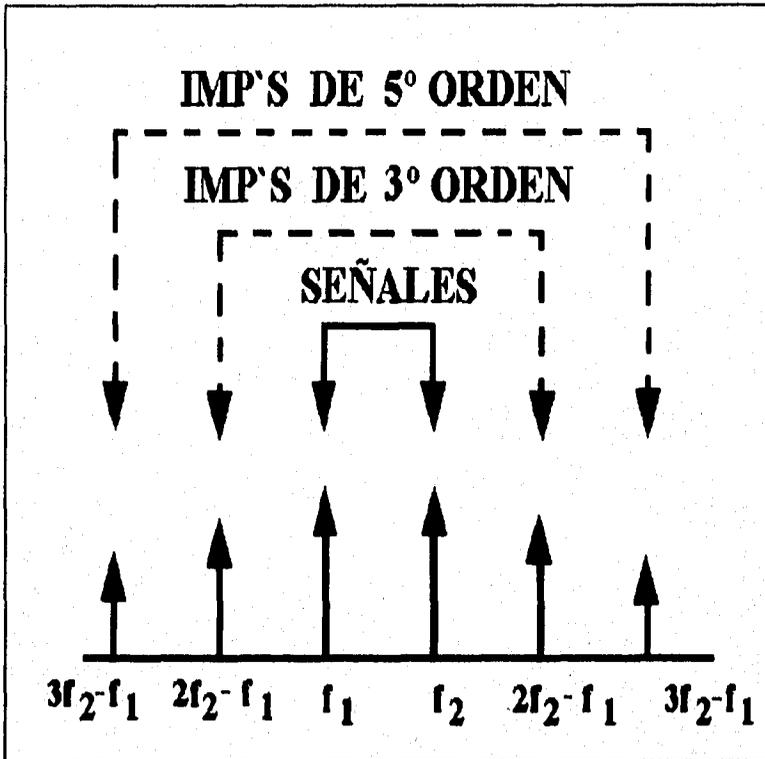


Figura 3.1 Productos de intermodulación activa (AIM).

Cuando la frecuencia central del amplificador de banda de paso es más grande comparada con el ancho de banda, lo cual es el caso de los canales repetidores de los satélites, solamente los productos de intermodulación impares caen en el ancho de banda del canal.

Sin embargo las amplitudes van decreciendo con el orden del IMP, para este tipo de productos de intermodulación en la

práctica sólo los productos de tercer orden y algunos de quinto orden son significativos tal como se muestra en la figura 3.1.

PRODUCTOS DE INTERMODULACION PASIVOS

Cuando dos ó más señales se combinan en un componente pasivo -lineal- se generan productos de intermodulación, que por tratarse de componentes ó elementos lineales se denominan PIM'S.

Los PIM'S se nombran por su orden, y este se define como:

$$C = \sum_{i=1}^N m_i \quad (3)$$

y las frecuencias de PIM'S son :

$$f_{PIM} = m_1 f_1 - m_2 f_2 \quad (4)$$

siendo m_1, m_2 enteros, f_1 y f_2 frecuencias de las señales se combinan. (Para el caso de específico de dos portadoras)

Los niveles de potencia de los productos de intermodulación pasiva son bajos en general, pero pueden ser un problema mayor en sistemas satelitales si no se toman las consideraciones adecuadas en el diseño de las guías de onda, acoplamientos y toda la circuitería involucrada en los sistemas satelitales, donde hay una deferencia sustancial entre los niveles de transmisión y

recepción (130db); por ejemplo, si los PIM'S que se transmiten caen dentro de la banda de recepción, y poseen un nivel similar a la señal recibida, entonces, se genera interferencia y pérdida de sensibilidad del receptor.

FACTORES QUE CONTRIBUYEN A LA GENERACIÓN DE PIM'S

Los elementos que requieren mayor atención en el estudio de los productos de intermodulación son las guías de onda, acoplamientos, pestañas de las guías, juntas, los cables coaxiales, conectores, uniones metal-oxido-metal, contactos metálicos, los reflectores de antenas, así como los componentes de las estructuras como pueden ser los pedestales, ó postes, todos estos elementos poseen dentro de su composición metales, y por tanto propensos a oxidarse.

Los investigadores Rawlins y Foord reportaron en su estudio [9] que tanto los metales como el acero inoxidable, el oro, el aluminio, el níquel, el latón, el cobre, el berilio, el cadmio, la plata y los óxidos que de ellos pudiesen formarse, demostraron y mostraron que son causantes de PIM'S.

Ahora bien los factores que contribuyen al problema de PIM'S dentro del sistema son [6] :

- 1.-Las altas densidades de potencia de transmisión, en antenas de dimensiones reducidas, en estaciones terrenas.
- 2.-Las antenas mismas.
- 3.-Gran sensibilidad del receptor y baja potencia de recepción.
- 4.-Líneas de transmisión y recepción comunes en las transmisiones en antenas.
- 5.-Distancias muy reducidas entre las antenas de recepción y transmisión.
- 6.-Las portadoras múltiples.

Los mayores causantes de la presencia de los PIM'S son :

- 1.- Las bajas presiones o diferencias entre los contactos metal-metal, causados por efectos electrostáticos debidos a desiguales en contactos metal-metal
- 2.- El uso de cables coaxiales y conectores.
- 3.- La presencia de superficies contaminadas, soldaduras, capas de oxidos,
- 4.- El uso de materiales dieléctricos y ferromagnéticos
- 5.- Variaciones térmicas y de esfuerzos.
- 6.- La existencias de áreas con altas densidades de corrientes.

El panorama limitado para elegir las frecuencias de transmisión y recepción para evitar PIM'S, todos estos factores no solo afectan las comunicaciones vía satélites sino también a las terrestres.

Los problemas de PIM'S en el soporte físico (hardware) de satélites, no tienen una solución trivial, ni se presta por si mismos a un análisis teórico exacto.

Sin embargo, para minimizar la generación de PIM'S tenemos que considerar no sólo una adecuada selección del material sino incluir un estricto proceso de manufactura y el control de las condiciones ambientales, para lograr un diseño aceptable (como lo veremos en el capítulo 6) y consistente. [9]

Todos estos factores y condiciones de PIM'S fueron determinados en forma experimental por los laboratorios de algunas de las agencias espaciales (NASA, ESA, CASA, etc.), por requerimientos reales *in situ*.

CONTACTOS METAL-METAL

Cuando nos referimos a los problemas de PIM'S por uniones no podemos dejar de lado los contactos metal-metal, estos fueron estudiados profundamente en nivel de corriente directa (d.c.) y a bajas frecuencias, todos los metales presentan una capa de oxido y otros contaminantes, la composición química de las capas de contaminantes son variables, el contacto mecánico real solamente ocurre en porciones microscópicas que llamamos rugosidades o asperezas de aproximadamente de 10 a 20 micrómetros de diámetro.

Un contacto real metal-metal se requiere que existan interrupciones en la capa superficial del metal, y sólo puede ocurrir en áreas muy pequeñas.

El contacto eléctrico ocurre en áreas pequeñas denominadas "a spots", estas están asociadas con las asperezas que no son necesariamente de mismo tamaño.

El flujo de corriente de estos contactos ocurre directamente de metal a metal o a través de superficies de material conductor en capas delgadas de aislante.

La resistencia de uno de estos puntos de contacto se considera como la suma de dos componentes, una resistencia de compresión o de estrangulamiento debida a su área limitada y a una resistencia de cinta o plana.

La resistencia de compresión origina altas temperaturas locales. Un potencial de 100 mv a través del contacto ocasiona un incremento de temperatura de alrededor de 300 grados centígrados, originando cambios en las superficies de los materiales cambiando las condiciones de contacto metálico, ocasionando un mal contacto y por consecuencia mayores niveles de PIM'S [6].

El flujo de una corriente eléctrica puede ocasionar que los puntos de contactos aumenten de tamaño, y perderla posibilidad de que en los "a spots", se presente un buen contacto.

Lo más común para la separación de mecanismos es dividirlos en los que ocurren en los materiales y los asociados con los contactos, aun no ha quedado muy claro si los altos niveles de PIM'S en los contactos son debidos o están asociados a los efectos -completamente distintos a los de los materiales- debidos a las altas densidades de corriente locales.

También Rawlins y Foord muestran que la generación de PIM'S, en materiales en bruto (materiales sin aleaciones) son el resultado de los efectos de un mal contacto ocasionados por contaminantes en la superficie [9].

CAPITULO 4

COMPORTAMIENTO GENERAL DE LOS IMP'S

Una vez explicado el concepto del mecanismo, detrás de nuestro problema de interferencia, discutiremos la naturaleza del comportamiento los IMP'S que es relevante para el problema de interferencia.

En primera instancia definiremos el problema básico de PIM'S y el problema de predicción de orden y tipo, que causan interferencia en una banda de recepción determinada, posteriormente definiremos matemáticamente estos problemas, siendo el de orden y tipo equivalente a reducir el orden de los IMP'S forzándolos a que se encuentren dentro en la banda de recepción específica, además de que los IMP'S se localicen en la primera zona.

Posteriormente analizaremos el problema para nuestro caso específico, es decir cuantificaremos los PIM'S que se presentan en una guía de onda para banda L y banda Ku, cuales son sus ordenes y su tipo, además cuales de estos PIM'S caen dentro de la banda de recepción de trabajo.

PROBLEMA DE PIM'S

Al transmitirse múltiples portadoras a través de un dispositivo no-lineal se generan productos de intermodulación y armónicos en la salida, como puede observarse en la figura 4.2, normalmente en sistemas de comunicación satelitales, las fuentes no lineales, son amplificadores de onda viajera, TWTA ó SSPA cuando trabajan cercanos ó en el margen de saturación.

Sin embargo en estudios recientes se encontró que en componentes pasivos, (que generalmente son catalogados como lineales) se generan productos de intermodulación, ocasionando así un nuevo problema de interferencia.

En el caso de componentes pasivos, la fuente de no linealidad se produce debido por las uniones metal-metal, (como lo expusimos en el capítulo 3) a las juntas de dispositivos en microondas como las guías de onda, los filtros, los duplexores y el sistema de antenas y todos aquellos elementos que contengan materiales ferrosos.

En la figura 4.1 se muestra un problema básico de productos de intermodulación pasiva.

Note que si f_2 y f_1 generan imp's en la vecindad de las frecuencias de recepción, entonces el receptor pierde sensibilidad. Tratemos de cuantificar el problema interferencia si f_2 y f_1 se transmiten con una potencia de 10W (40 dBm) y la sensibilidad del receptor es de -120 dBm, entonces nuestra relación por-

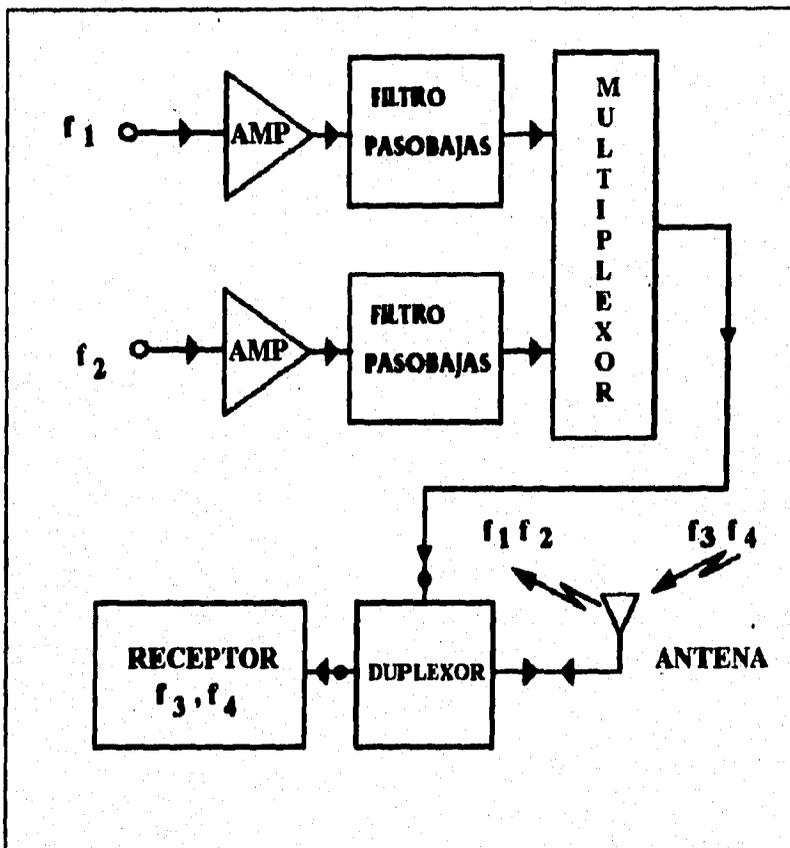


Figura 4.1 Problema básico de PIM'S

tadora contra imp's (C/I_s) debe de exceder de 160 dB para proteger de la interferencia al receptor, debiéndose esto a la combinación de alta potencia de transmisión y baja potencia de recepción.

Los imp's en este caso no se pueden controlar por filtros, y el separar los caminos de transmisión y recepción no es viable, en este trabajo consideramos importante la predicción del orden y tipo de los IMP'S como parte fundamental para el estudio de los PIM'S, ya que el nivel relativo de imp depende del orden de PIM'S ($C = E | m_i |$), y el tipo (m_i) (definido en el capítulo 3) el orden y tipo lo explicaremos posteriormente, además de ser directamente proporcional a la potencia de la i-ésima portadora elevada a la potencia m_i , la predicción del orden y tipo mínimo resulta útil en la determinación de la potencia que llega al receptor, para confirmar que este se encuentre protegido adecuadamente.

El nivel real de predicción depende de la aproximación del modelo, del dispositivo no lineal involucrado.

Existen diversos métodos de predicción del orden y tipo de PIM'S, nos basaremos en el desarrollado por el Dr. Kai Yin en la Universidad de Columbia, no sólo por la simplicidad del mismo sino por ser uno de los pocos métodos accesibles en la literatura especializada.

MÉTODO DE PREDICCIÓN DEL ORDEN Y TIPO

El problema se establece de la siguiente manera:

Dadas N portadoras que están cerca una de otra, se denominan como f_1 a f_N en orden ascendente, la salida consiste de portadoras de transmisión y además IMP'S y armónicas. Los IMP'S a la salida ocurren en frecuencias dadas por la siguiente expresión matemática:

$$f_I = \sum_{i=1}^N m_i f_i \quad (1)$$

donde m_i son enteros y el tipo del PIM [5]. Para aquellos IMP's que ocurren en la vecindad de las portadoras de salida se les conoce como **productos de la primera zona**, sus frecuencias deben también satisfacer la siguiente restricción de manera que todos los ordenes de PIM'S sean impares :

$$\sum_{i=1}^N m_i = 1 \quad (2)$$

Si se asume que una banda particular de recepción cae en la primera zona, y se limita con una frecuencia inferior f_L y una frecuencia superior f_U . Estamos interesados en el orden y tipo de IMP'S que satisfaciendo (1) y (2) se localicen entre el rango de la banda de recepción (f_L, f_U) como se puede apreciar en la figura 4.2.

Suponemos que $f_L < f_U$, aunque la teoría subsecuente no se restringe con esta hipótesis.

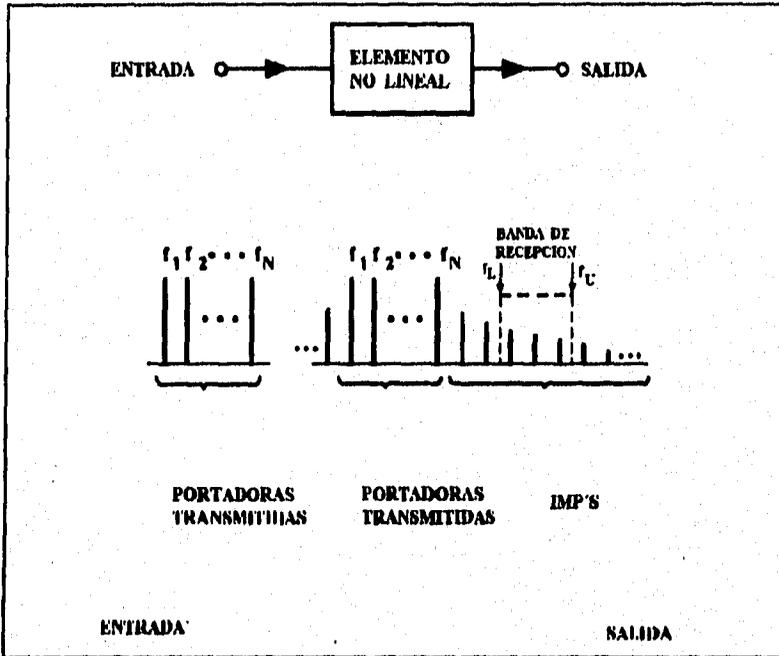


Figura 4.2 PROBLEMA DE PREDICIÓN DE ORDEN Y TIPO

Es necesario notar que en cada frecuencia de intermodulación, pueden ocurrir simultáneamente múltiples IMP'S, pero la potencia total de intermodulación (IM) para una frecuencia fija de intermodulación se asume dominada por el IMP de más bajo orden, puesto que presenta mayor magnitud.

El orden de un IMP se define convencionalmente por[4]:

$$C = \sum_{i=1}^N |m_i| \quad (3)$$

donde el orden (C) es impar para los productos de la primera zona; El tipo del IMP'S se determina por su combinación específica de valores de los tipos m_i .

El problema inmediato es encontrar conjuntos de valores de m_i tales que el orden C en (3) sea el mínimo, sujeto a las siguientes restricciones:

$$f_L \leq \sum_{i=1}^K m_i f_i \leq f_U \quad (4.1)$$

$$\sum_{i=1}^K m_i = 1 \quad (4.2)$$

garantizando la localización de los PIM'S en la primera zona y que sean de orden impar.

Ahora bien definimos una **solución mínima** como una combinación de tipos (m_i) mínimos para un orden determinado, es evidente que pueden darse muchas soluciones del mismo orden mínimo.

Si las frecuencias de entrada f_i son discretas, entonces las frecuencias de intermodulación también son discretas, como es evidente en (1). Se observa entonces que un conjunto finito de frecuencias de intermodulación puede identificarse en la banda de recepción.

Además, las posiciones de las frecuencias de intermodulación, dependen únicamente del espacio existente entre las portadoras de transmisión. Si todas las frecuencias de transmisión pueden expresarse como números racionales (¡excelente para un mundo real!), la representamos por:

$$f_i = f_1 + n_i \Delta f \quad (5)$$

donde $i = 1, 2, \dots, N$, siendo n_i es un entero, y Δf se escoge siempre como un máximo valor posible.

Consideremos un caso con espacios iguales, Δf es simplemente el espacio entre dos portadoras consecutivas. Considerando la siguiente transformación $f \rightarrow F$:

$$F = \frac{f - f_1}{\Delta f} + 1 \quad (6)$$

donde f denota una frecuencia real, y F es su representación entera. Utilizando la transformación, cada frecuencia de portadora se numera por:

$$F_i = \frac{f_i - f_1}{\Delta f} + 1 = n_i + 1 \quad (7)$$

Por tanto, lo que se hizo fue transformar frecuencias reales f_i en sus representaciones enteras F_i .

Combinamos (1), (5) y (2) obtenemos:

$$F_I = f_1 + \left(\sum_{i=1}^N m_i n_i \right) \Delta f \quad (8)$$

en donde $\sum m_i n_i$ la expresamos, siempre, mediante el uso de la teoría de números, como :

$$\sum_{i=1}^N m_i n_i = \text{gcd}(n_i) \cdot q = q \quad (9)$$

donde gcd denota el máximo común divisor; $\text{gcd}(n_i) = 1$ obviamente, y "q" es un entero. De (8) y (9) resulta evidente que el espacio existente entre cualquier portadora de salida y cualquier IMP es siempre un múltiplo entero de Δf .

Conociendo la ocurrencia exacta de cada frecuencia de IM, podemos ahora determinar claramente el conjunto de frecuencias de IM dentro de la banda de recepción, pero el problema se reduce a minimizar el valor de C como se define en (3) sujeto a las restricciones siguientes:

$$\sum_{i=1}^N m_i F_i = F_I \quad (10)$$

$$\sum_{i=1}^N m_i = 1 \quad (11)$$

donde m_i, F_i todos son enteros y F_i siendo todos enteros, y F_i es la representación entera de una frecuencia de IM específica, dentro de la banda de recepción.

Las ecuaciones (10) y (11) se les conocen como ecuaciones diofantinas, en teoría de números [5].

El teorema fundamental es la condición suficiente y necesaria para la existencia de la solución de la ecuación (10) es:

$$\text{gcd}(F_i) \text{ divide a } F_i$$

Este teorema lo involucramos en (9). [5]

Un punto sensible que surge inmediatamente es la validación de la representación entera de las frecuencias reales de las portadoras.

ANÁLISIS DE ORDEN Y TIPO PARA UNA GUÍA DE ONDA

Veamos el siguiente ejemplo, para analizar el funcionamiento del método de predicción orden y tipo de PIM'S.

Consideremos tres portadoras igualmente espaciadas :

$$f_1=11.0$$

$$f_2=13.0$$

$$f_3=15.0$$

y la frecuencia de recepción $f_r= 18.0$,

las frecuencias de intermodulación están dadas por:

$$f_i=11.0+j\Delta f \quad (a)$$

siendo $\Delta f=2.0$ y lo existen productos de intermodulación en la recepción. El IMP más cercano está en 17.0 y en 19.0 ambos de orden 3°. Ahora supongamos que f_1 cambia de 11.0 a 11.1 y utilizando la representación entera, obtenemos

$$111m_1+130m_2+150m_3=180$$

sustituyendo m_3 por $1-m_1-m_2$ obtenemos :

$$(-39)m_1+(-20)m_2=30$$

Los coeficientes de m_1 y m_2 son importantes para encontrar los imp's para $f_r=18.0$ y una solución particular para f_r es:
 $m_1=-10$, $m_2=18$ y $m_3=-7$, con un orden definido según (3)

$$C = \sum_{i=1}^K |m_i| = |-10| + |18| + |7| \quad (16)$$

siendo el orden $C=35$

Como puede apreciarse en el ejemplo una ligera variación en las portadoras pueden significar un cambio dramático en el orden, esto es importante para saber de que orden serán los PIM'S que se localizaran en la banda de recepción de interés.

Para este trabajo consideraremos específicamente guías de onda para banda KU y banda L, a través de las cuales transmitimos dos portadoras igualmente espaciadas, es decir con Δf igual.

PARA UNA GUÍA DE ONDA DE UNA RED DISTRIBUIDORA DE POTENCIA EN BANDA KU

Consideramos dos portadoras con frecuencias de transmisión:

$f_{Tx_1}=11.70$ GHz

$f_{Tx_2}=11.45$ GHz

y la banda de recepción de 14.2-14.25 GHz

Siguiendo el análisis anterior, haciendo la representación entera:

$$1170 m_1 + 1145 m_2 = 1420$$

$$m_2 = 1 - m_1;$$

siendo la solución $m_2 = -10$ y $m_1 = 11$

de modo que el orden será $C=21$,

Haciendo ahora el cálculo para el límite superior de la banda de recepción, los valores de los tipos son:

$$m_2 = 10 \text{ y } m_1 = 11 \text{ y el orden } C=21$$

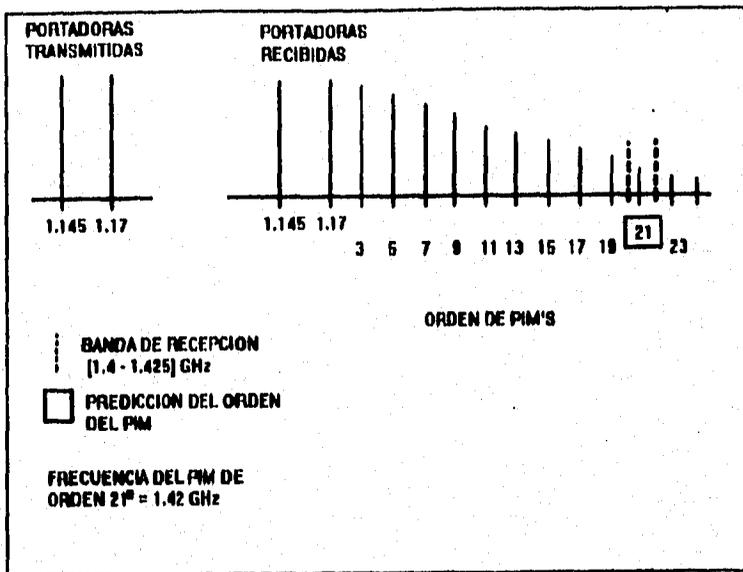
siendo $C=21$

siendo la frecuencia del orden 21° donde caiga el PIM en la banda del receptor.

Esto significa que puedo esperar que para dichas frecuencias de transmisión el PIM de menor orden, que caerá dentro de la nuestra banda de recepción (Rx [1.4 - 14.25] GHz), es 21°.

Para las guías de onda de banda L y Ku generamos unas tablas donde calculamos las frecuencias de los PIM'S, el tipo, el orden que se presentan para en tales bandas, señalando cuales son los que caen dentro de la banda de recepción y por consiguiente afectan a nuestro receptor. (apéndice A)

Como puede apreciarse el orden y la frecuencia donde caen los PIM'S, son los de la predicción.



Productos de intermodulación pasiva generados en una guía de onda para banda ku (banda de transmisión de 1145 - 1170 MHz y banda de recepción de 1400 - 1425 MHz)

m1	m2	fTx1	fTx2	m2*fTx1	m1*fTx2	C	fPIM'S
1	2	1170	1145	2340	1145	3	1195 NCBR
2	3			3510	2290	5	1220 NCBR
3	4			4680	3435	7	1245 NCBR
4	5			5850	4580	9	1270 NCBR
5	6			7020	5725	11	1295 NCBR
6	7			8190	6870	13	1320 NCBR
7	8			9360	8015	15	1345 NCBR
8	9			10530	9160	17	1370 NCBR
9	10			11700	10305	19	1395 NCBR
10	11			12870	11450	21	1420 PIM
11	12			14040	12595	23	1445 NCBR

fTx1, fTx2. Frecuencias de las portadoras [MHz]

m1, m2 Tipo de PIM

C Orden del PIM

f PIM Frecuencia de PIM [MHz]

NCBR No Caen el PIM en la Banda de Recepción

**PARA UNA GUÍA DE ONDA DE UNA RED DISTRIBUIDORA DE POTENCIA EN
BANDA L**

Consideramos dos portadoras con frecuencias de transmisión:

$$f_{Tx_1} = 1.559 \text{ GHz}$$

$$f_{Tx_2} = 1.545 \text{ GHz}$$

y la banda de recepción de 1.61- 1.6605 GHz.

Siguiendo el análisis anteriormente utilizado, haciendo la representación entera:

$$1559 m_1 + 1545 m_2 = 1610$$

$$m_2 = 1 - m_1;$$

siendo la solución $m_2 = -4$ y $m_1 = 5$

de modo que el orden será $C = 9$,

Haciendo ahora el cálculo para el límite superior de la banda de recepción, los valores de los tipos son:

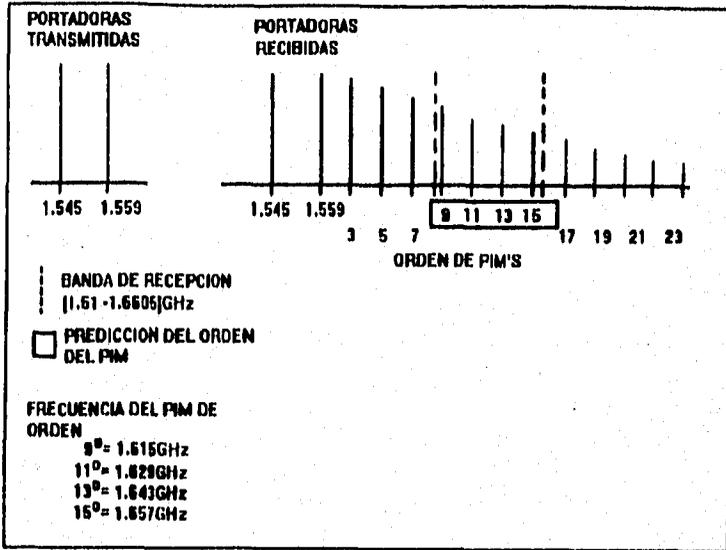
$$m_2 = 7$$

$$m_1 = 8$$

y el orden $C = 15$

Estos cálculos nos muestran de que orden serán los PIM'S que caigan en la banda de recepción.

Esto significa que puedo esperar que para dichas frecuencias de transmisión, el PIM de menor orden, que caerá dentro de la nuestra banda de recepción (Rx [1.61- 1.6605 GHz], es 9°.



Productos de Intermodulación pasiva generados en una guía de onda para banda L (banda de transmisión de 1145 - 1170 MHz y banda de recepción de 1610 - 1660.5 MHz)

m1	m2	fTx1	fTx2	m2*fTx1	m1*fTx2	C	fPIM's
1	2	1559	1545	3118	1545	3	1573 NCBR
2	3			4677	3090	5	1587 NCBR
3	4			6236	4635	7	1601 NCBR
4	5			7795	6180	9	1616 PIM
5	6			9354	7725	11	1629 PIM
6	7			10913	9270	13	1643 PIM
7	8			12472	10815	15	1657 PIM
8	9			14031	12360	17	1671 NCBR
9	10			15590	13905	19	1685 NCBR
10	11			17149	15450	21	1699 NCBR

fTx1, fTx2 Frecuencias de las portadoras [MHz]
 m1, m2 Tipo de PIM
 C Orden del PIM
 f PIM Frecuencia de PIM [MHz]
 NCBR No Cae el PIM en la Banda de Recepcion

Para las guías de onda de banda L y Ku generamos unas tablas donde calculamos las frecuencias de los PIM'S, el tipo, el orden que se presentan en tales bandas, señalando cuales son los que caen dentro de la banda de recepción y por consiguiente afectan a nuestro receptor. (Apéndice A).

CAPITULO 5

ESQUEMAS DE PRUEBAS PARA DETECCIÓN DE PIM'S

Existen diversos tipos de pruebas para la medición de PIM'S, dentro de los cuales revisaremos algunos de los métodos de pruebas, tanto para satélites europeos como americanos.

Las pruebas más comunes para esta medición se desarrollan en condiciones ambientales, en vacío y con ciclos térmicos, es decir, a partir de temperatura ambiente se disminuye paulatinamente la temperatura hasta llegar a condiciones extremas ($-86^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}$) permanece bajo esta condición un tiempo determinado, para posteriormente regresar a temperatura ambiente y acender gradualmente a condiciones extremas ($114^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}$) [9]

Las pruebas se realizan específicamente para antenas, redes de distribución de potencia constituidas por guías de onda, para circuitería clasificada como de vuelo como lo son los cables coaxiales, para juntas de guías de onda ó para acoplamientos.

**PRUEBAS DE DETERMINACIÓN DE PIM'S PARA ANTENA DBS DE UN
SATÉLITE EUROPEO (HISPASAT)**

Las siguientes pruebas se realizaron en los laboratorios XRI de las instalaciones de ESTEC, para las antenas en banda K del satélite Hispasat.

La antena DBS opera en recepción y transmisión con cinco canales en cada banda, tres de los cuales están operando activamente en 120 watts por portadora, con un ancho de banda por canal de 27 Mhz .

La alimentación de la transmisión esta constituida por una red divisora de potencia compacta (PDN) con 15 salidas, alimentando a 15 cornetas, dos de las cuales incluyen transductores ortomodales (OMT) y polarizadores que operan en transmisión y recepción.

La red de alimentación posee una configuración offset radiando a un reflector parabólico de fibra de carbono plástico reforzado (CFRP).

La red divisora de potencia esta construida de tal modo que presenta dos divisiones que consisten ramas de acopladores variables de fase y diversas placas con material epóxico.

Para la evaluación de posibles componentes que causen PIM'S se realizó un análisis inicial de los productos de intermodulación pasiva, los cuales caen en canales de subida debidos a un par de canales de transmisiones que pueden generar PIM'S hasta de orden centésimo, los productos de menor orden y las frecuencias de sus canales se condensaron en la siguiente tabla:

BANDA DE TRANSMISIÓN 1	BANDA DE TRANSMISIÓN	BANDA DE RECEPCIÓN	RANGO DE INTERMODULACION
12136 - 12163	12443-12470	17316 - 17339	31 - 52
12136 - 12163	12443-12470	17390 - 17418	31 - 50
12136 - 12163	12443-12470	17465 - 17497	31 - 50
12136 - 12163	12443-12470	17540 - 17575	33 - 50
12136 - 12163	12443-12470	17614 - 17654	33 - 48

Los PIM'S de menor orden generado, el 31, se generaron al combinar las frecuencias de transmisión de 12136 MHz y 12470 MHz con una frecuencia de 17480 MHz.

Con éste primer análisis en mente se evaluaron posteriormente algunas de las probables fuentes de PIM'S.

El reflector parabólico de fibra de carbono (CFRP) no se considera como causante de problemas de PIM'S por dos razones:

- 1.-La incidencia de densidad de flujo de potencia en el

reflector será considerada lo suficientemente baja como para no estimular PIM'S de un nivel significativo.

2.-La red de alimentación se diseño de tipo offset con el fin de que los PIM'S que se generen en el reflector puedan ser aislados de las cornetas del receptor.

Las regiones donde los PIM'S se identifican con mayor incidencia son las siguientes:

1.-Las juntas de entradas de guías de onda en la red divisora de potencia.

2.-Las pestañas de las juntas en guías de onda circular entre el transductor ortomodal, las cornetas y los polarizadores.

En las juntas y pestañas de los últimos dispositivos es donde se centra el análisis de prueba, como vimos en el capítulo 3, las uniones metal-metal son causantes de PIM'S; los amarres que sostienen las guías de onda, las cornetas y los polarizadores se diseñaron de modo tal, que por razones mecánicas y de espacio fué necesario ponerle sólo dos amarres a las juntas, desde el punto de vista de los PIM'S, no es la solución ideal, ya que una vez situadas las juntas de las guías de onda de los polarizadores, o cornetas pueden desplazarse de su ubicación, debido a cambios térmicos, vibraciones o fuerzas externas, dando lugar a PIM'S.

Sin embargo una solución de respaldo, para evitar los posibles PIM'S es colocar cuatro amarres en las juntas que van al polarizador de los puertos comunes a la transmisión-recepción siendo estos los más sensibles a PIM'S.

Debido a las especificaciones de la antena el nivel de potencia de los PIM'S debe estar por debajo de -135 dBm [1].

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA PARA PRUEBAS DE PIM'S

El la figura 5.1 podemos apreciar la disposición del sistema para las pruebas de los PIM'S, en la sección de transmisión se utilizó un arreglo de diplexores híbridos que combinan las fuentes de frecuencia y la transmisión de máxima disponibilidad de potencia en un dispositivo de prueba (DUT *Device Under Test*), el cual debe de mantener un buen nivel de aislamiento entre los dos amplificadores.

Además se empleó un atenuador adicional en el canal donde se utiliza un filtro paso banda, especificado para mejorar el ancho de banda del amplificador de salida (la concordancia de la salida del otro amplificador se determina principalmente en combinación con la carga del duplexor híbrido y la banda de operación del primer híbrido).

El nivel de potencia de cada portadora esta en la salida del arreglo de duplexores que serán detectadas y colocadas por operación de cada fuente.

Los filtros paso bajas (LPF2) atenúan algunos de los productos de intermodulación que se generaron en el inicio de la transmisión que estén por lo menos a 130dB en la banda de 17 GHz, los filtros actúan de modo que las señales que lleguen al DUT sean muy limpias con un nivel de PIM'S por debajo del nivel para el que fue diseñada la medición (-147dBm).

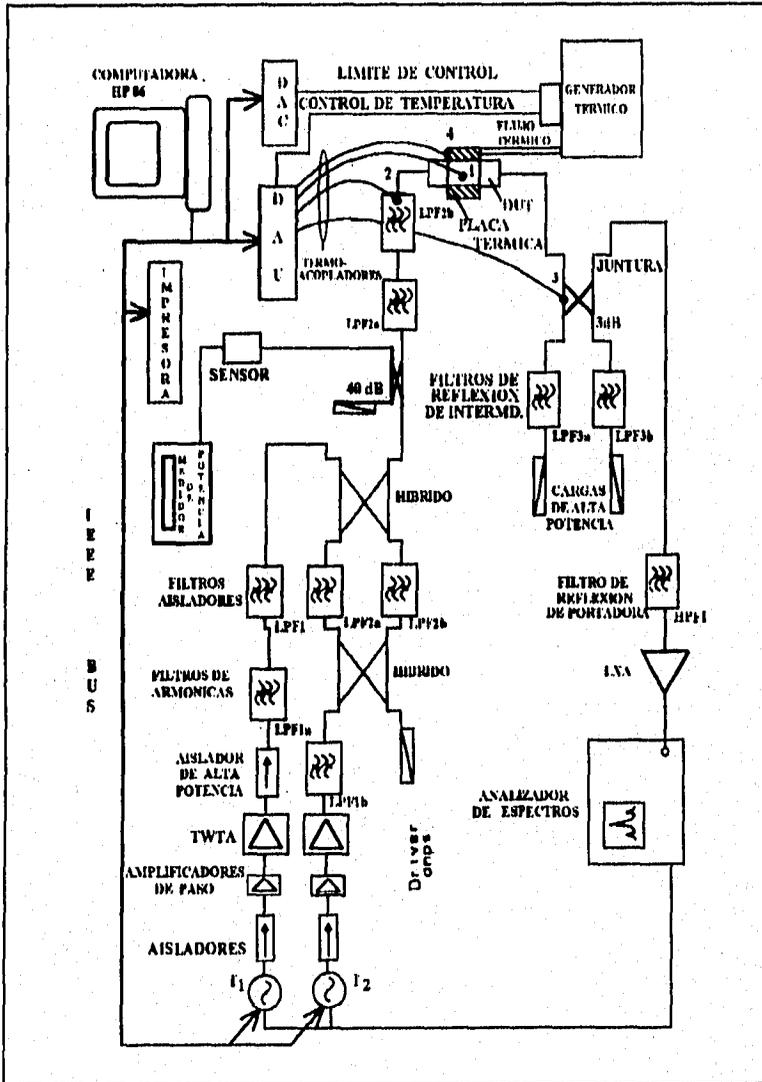


Figura 5.1 Esquema de pruebas para medición de PIM'S bajo normas Europeas

El nivel de potencia de cada portadora en el DUT fué determinado por el nivel medido en el medidor de potencia menos las pérdidas en los filtros paso bajas (LPF2).

PROCEDIMIENTO DE PRUEBAS

Los parámetros básicos de las secciones de transmisión y recepción de la prueba fueron medidos y reportados en correcta operación. La sensibilidad del receptor la determinaron con la siguiente relación:

$$\text{Sensibilidad [dBm]} = \text{Ruido de fondo del sistema} - \text{La ganancia del LNA} + \text{pérdidas en la recepción}$$

El ruido de fondo del sistema se determinó mediante el analizador de espectros y los LNA en operación simultánea en la salida de no RF, al aplicar una señal en la entrada de los LNA's. El analizador de espectro fue puesto en una frecuencia central de 17.480 GHz (siendo la frecuencia del PIM de orden 31) con 100 Hz de resolución de ancho de banda, la ganancia de los LNA's se midió en 17.480 GHz utilizando una baja potencia de entrada (-60dBm).

Bajo las mismas consideraciones revisamos los reportes hechos para pruebas de guías de onda y acoplamientos, el esquema de pruebas es el mismo, como podemos apreciar en la figura 5.2, salvo que en la de las antenas se contó con una cámara térmica de vacío.

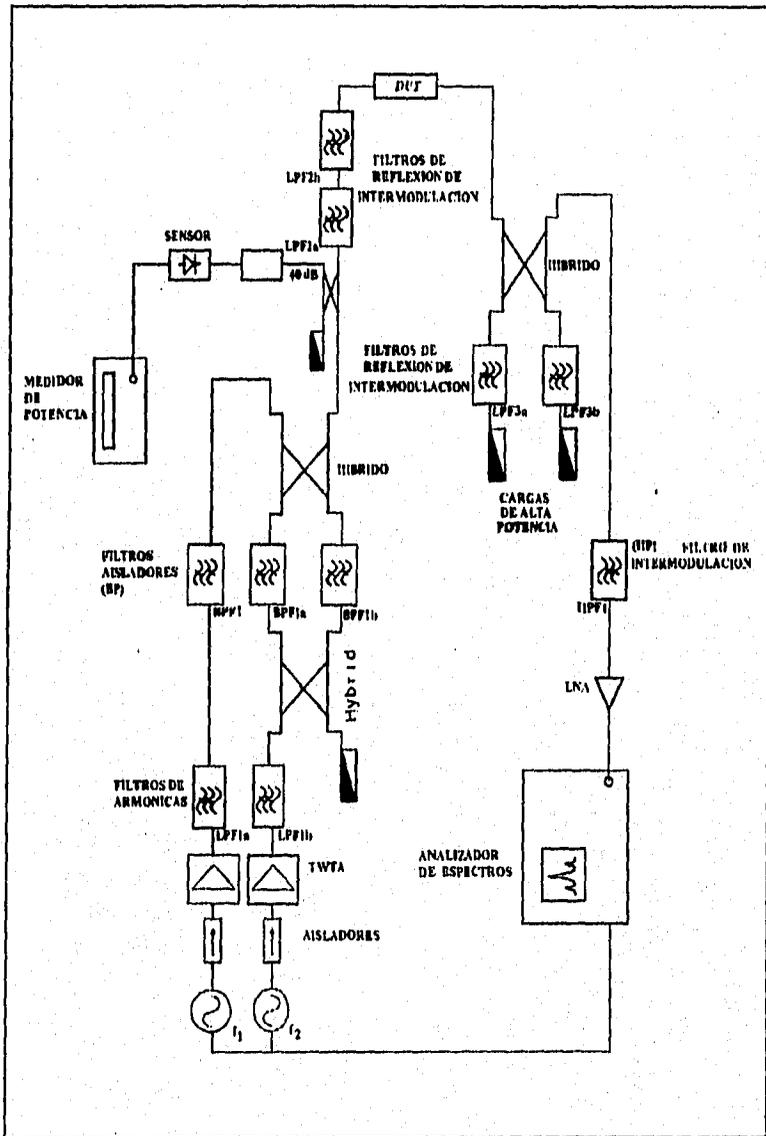


Figura 5.2 Diagrama para pruebas de medición de PIM'S para guías de onda y acoplamientos

**RESULTADOS OBTENIDOS POR LAS PRUEBAS DE MEDICIÓN DE PIM'S PARA
UN SATÉLITE EUROPEO**

El desarrollo interno de la prueba fue clasificado como no accesible a personal no autorizado, por lo que solamente reportaron los siguientes resultados:

Los siguientes parámetros fueron medidos en relación con la determinación de la sensibilidad del receptor:

Ruido de fondo del sistema: -95 dBm a 17.480 GHz, resolución a 100Hz de ancho de banda (BW).

Ganancia del LNA's: 52.0 dB a 17.480 GHz.

Pérdidas del receptor: 0.4 dB a 17.480 GHz.

donde

La sensibilidad del receptor : -147dBm a 100Hz de ancho de banda (BW)

La sensibilidad del receptor fue suficiente para detectar cualquier PIM'S que se produjese o que estuviera por debajo de los niveles requeridos para la prueba -135dBm[1].

PRUEBAS DE DETERMINACIÓN DE PIM'S PARA REDES DE DISTRIBUCIÓN DE POTENCIA EN UN SATÉLITE AMERICANO PARA BANDAS L Y Ku

El diagrama a bloques de la figura 5.3 nos muestra las pruebas para medición de PIM'S planteadas por M. Kunes y M. Connor[7].

Diagrama de medición de PIM'S para banda L

Los dos generadores de señales tienen la misma referencia, al transmitir por los dos amplificadores de alta potencia, los filtros están diseñados para descartar las armónicas no deseadas y reducir la potencia del nivel de ruido.

Las señales de alta potencia transmitidas se combinan en un elemento híbrido, la combinación de estas señales (106 watts) se alimentan al puerto de entrada del diplexor y el puerto de recepción se monitorea para detectar PIM'S, dos LNA's se requieren antes del analizador de espectros con el fin de obtener el nivel requerido de ruido de fondo de (-150 dBm) con una resolución de 100Hz de ancho de banda.

Las frecuencias de las portadoras que se variaron por los diferentes ordenes de PIM'S y que caen en la banda de recepción fueron medidas.

Para verificar el funcionamiento del sistema, se insertó con un conector especial un diodo (es un generador de PIM'S), la medida de PIM'S resultante fueron un nivel de -96 dBm de 9º orden bajo prueba de ciclo térmico de -25º y +75º C.

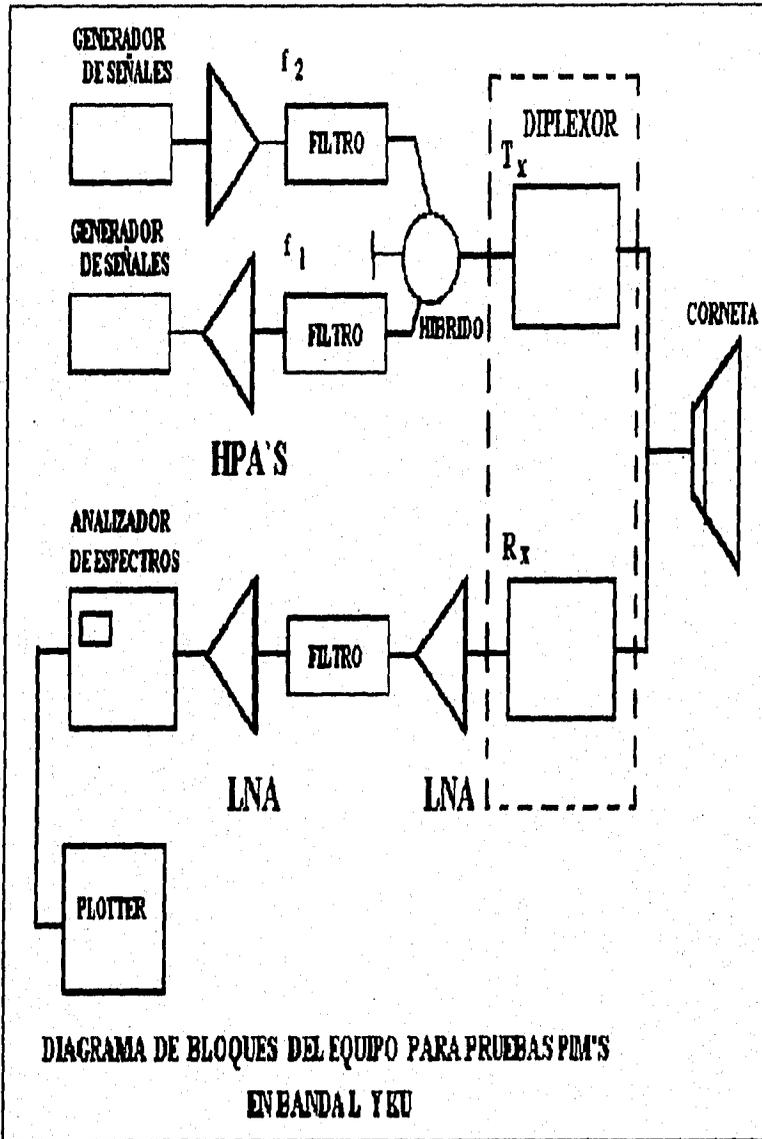


Figura 5.3 Diagrama de pruebas para medición de PIM's en banda L y Ku

Para realizar las mediciones de los PIM'S en banda Ku, el diagrama es similar para la prueba de banda L, solo que en éste caso el ruido de fondo será de -145 dBm, y la prueba térmica de -40° a +117 °C con portadoras de 120 watts(por requerimientos específicos de la agencia espacial que realizó la prueba[7].

La prueba del funcionamiento del sistema se realizó con un desarmador con la capa de plata deteriorada deliberadamente, para que generara PIM'S los cuales fueron de -120 dBm para 21° orden.

RESULTADOS DE LA PRUEBA

Para las redes de guías de onda medidas, los ordenes de PIM'S encontrados fueron para banda L de 9° a 21° y para banda Ku de 21° a 33° con niveles por debajo de ruido de fondo -150 dBm y -145 dBm respectivamente.

Ambas redes de distribución fueron sometidas a abruptos ciclos térmicos y altas potencias de entrada y con lo cual comprobó que los PIM'S que caían en la banda de recepción, se tenían un nivel similar al ruido de fondo.

**PRUEBA BÁSICA PARA MEDICIÓN DE PIM'S SUGERIDA POR LA
UNIVERSIDAD DE KENT**

Los laboratorios de Ingeniería en electrónica de la Universidad [9] proponen, para toda prueba básica de PIM'S, el programa siguiente.

El programa consta de tres fases:

1.- En ésta lo que se realiza es el planeamiento y construcción de las mediciones de PIM'S en condiciones de vacío (aprox. 10^{-4} torr).

En esta fase se incluyen las pruebas de muestras de sustratos y accesorios que no pudiesen garantizar que el funcionamiento de los PIM'S y no estén en un factor límite (-160dBm).

2.- La segunda fase abarca una prueba de diversos materiales en ausencia de contactos, llevándose a cabo un análisis de los niveles de PIM'S en función de la densidad de corriente, siendo estos datos base para la prueba en contactos metal-metal.

Al variar la resistividad, la temperatura y el ambiente magnético de las muestras, se determinarán efectos térmicos, ferromagnéticos, magnético-resistivos y no-ohmicos en los materiales, también se podrán determinar los acabados superficiales de las muestras.

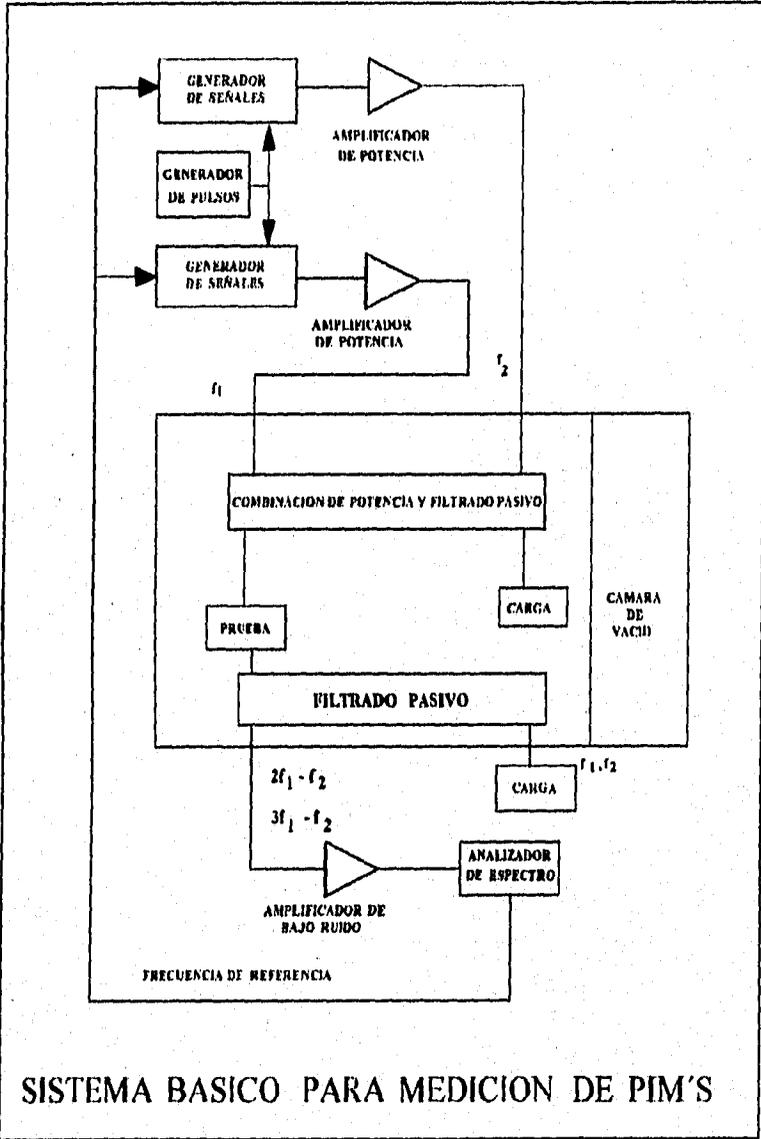


Figura 5.4 Prueba básica para medición de PIM'S

3.-La tercera fase consiste en realizar la prueba en los contactos metal-metal y la naturaleza de esta dependerá en buena medida de los resultados arrojados por la fase dos, he aquí que los contactos metal-metal sean factores determinantes en las pruebas de PIM'S, como lo proponen los investigadores de la Universidad de Kent.

CAPITULO 6

RECOMENDACIONES PARA LA MINIMIZACION DE PRODUCTOS PASIVOS DE INTERMODULACION

La interferencia de RF causada por los productos de intermodulación pasiva se tornan una verdadera amenaza para los sistemas de comunicación satelitales. Los sistemas de alta potencia con receptores de baja figura de ruido sufren PIM'S capaces de influir negativamente en el desempeño del sistema.

Las redes pasivas que contengan dispositivos no linealidades (tales como que hemos mencionados anteriormente: contactos metálicos, materiales ferromagnéticos y más) capaces de generar PIM'S en el ancho de banda de recepción.

Normalmente los diseñadores de equipo y sistemas olvidan que se pueden generar PIM'S en conectores coaxiales, circuladores y uniones de guías de onda, por lo que es importante tomar precauciones adicionales en cuanto a la asignación de frecuencias para los trasmisores de alta potencia y las antenas con sistema de alimentación común.

Como vimos en el capítulo 3, las principales causas de la generación de PIM'S son: la presencia de contaminantes en las superficies como son el humo, los aceites, los óxidos y algunos

limpiadores, la densidad de corriente, las variaciones térmicas que provocan cambios dimensionales en conductores y dieléctricos, y la humedad (provocando posibles corrosiones).

Los contactos usados en conectores que no son permanentes, en las guías de onda de redes distribuidoras de potencia, aumentan la posibilidad de PIM'S en los contactos meta-metal, y deben considerarse cuando se diseñan y eligen los componentes.

Los diseñadores deben considerar los contactos a presión y la composición de los materiales de contacto, la geometría y el acabado de las superficies, así como la posibilidad de corrosión, porque el contacto real se realiza en los "a spot" (como lo explicamos en el capítulo 3), y cualquier sustancia externa o diferencias de acabado en las superficies modifica este contacto.

Además los conectores usados en ambiente espacial se deben de diseñar contra ruptura por factores múltiples (multipactions), además se deben tomar precauciones para evitar la ruptura por factores múltiples en las estructuras de alimentación donde existe alta potencia. [2].

El uso de metales duros en los contactos, permiten desarrollar mayores presiones entre superficies unidas, antes de que se presente deformación del material, esta condición permite la penetración de óxidos en las superficies, pero puede obtenerse en cambio un área de contacto menor de las que permiten los materiales blandos. Las áreas de contacto pequeñas se ven en la necesidad de conducir mayores densidades de corriente, lo cual

puede provocar la generación de más PIM'S, pero se tiene un contacto mas real.

Deben evitarse los materiales de contacto ya oxidados como cobre o el aluminio, los materiales más adecuados para diseño de contactos, para evitar PIM'S, son el oro, la plata, el rhodio, el latón y el beriliocúprico.

El cobre y el aluminio son materiales muy blandos y para proporcionar fuerza y resistencia mecánica, se requieren de partes conectoras basadas en metales más duros, el uso de placas de latón recubiertas de oro en las uniones para disminuir los PIM'S, sin embargo estos recubrimientos deben realizarse con gran cuidado en la cubierta del conductor exterior para evitar efectos no linealidades, y PIM'S.

Se deben evitar especialmente sellos herméticos que contengan kovar (Aleación de 54% Fe, 29% Ni y 17% Co), los conectores sin lavado metálico son preferibles, materiales ferromagnéticos y de acero inoxidable se deben excluir en el diseño de conectores [6].

Los puntos de contacto desarrollan mayor presión superficial entre superficies de unión, sin embargo, las superficies de área grandes de contacto esférico o plano, permiten menores densidades de corriente, lo cual implica menor generación de PIM'S. Dado que uniones débiles entre secciones de conexión producen niveles erráticos de PIM'S todas las partes de conductores se deben

soldar entre sí, esto se puede lograr maquinando el contacto del conductor externo en una sola pieza que incluya el cuerpo del conductor.

En cuanto a los conectores tipo N son preferibles los de tipo estándar que los de precisión, ya que se pueden alcanzar mayores presiones de contacto, ejercidas por el diseño del conector externo de los conductores tipo macho. El conductor externo tipo macho de precisión es sólido y no permite deformaciones, lo cual provoca una mala conexión.

Cuando se considera el uso de cables coaxiales, intervienen cuatro factores:

- 1.-Los IMP aumentan junto con la longitud de los cables.
- 2.-La composición del tejido del cable es muy importante. Materiales como el aluminio, acero inoxidable y el níquel-plata, generan niveles elevados de PIM'S, los cables de cobre con una tensión interna de tejido adecuada disminuye la posibilidad de PIM'S, la mejor de todas para evitar PIM'S es el cable tejido de acero bañado en plata o de cobre recubierto.
- 3.-Eliminando la cubierta de los cables para reducir la presión, aumentará la generación de PIM'S.

4.-Por último los niveles de PIM'S generados por el tejido del cable se ven afectados por las variaciones de la temperatura que cambian el volumen dieléctrico, aunque se considera normalmente de poca importancia, los diseñadores deben evitar estos PIM'S en sus diseños.

Para evitar la generación de PIM'S por el tejido (en referencia a la estructura interna del cable para permitir mayor o menor rigidez como podría ser un cable de cobre con núcleo de acero) en los cables, se recomienda utilizar cables coaxiales semirígidos en las líneas de transmisión de sistemas espaciales.

Las expansiones y las contracciones dieléctricas con variaciones térmicas pueden aumentar los niveles de esfuerzos o provocar movimientos en el conductor central de contacto de los conectores.

Esto finalmente puede provocar un aumento mayor en la generación de PIM'S.

En condiciones severas la expansión dieléctrica provoca la ruptura del conductor externo, el uso de cables flexibles podría evitar el problema, pero el costo es mucho mayor al de los cables rígidos.

Los cambios de volumen provocan una independencia cuadrática de permitividad sobre el campo eléctrico. Las variaciones de permitividad generan señales en las frecuencias fundamentales, la señal de entrada modula los campos primarios, provocando PIM'S.

Las potencias de intermodulación generadas por este mecanismo varían en función inversa del cuadrado del módulo básico del dieléctrico.

El módulo básico del dieléctrico K se relaciona con el módulo elástico y la razón de Poisson de la siguiente forma:

$$K = \frac{E}{3(1-2u)} \quad (1)$$

donde E es el módulo básico de elasticidad plástica y u la razón de Poisson [6].

La intermodulación de tercer orden producida por electrosticción aumenta con la longitud de los cables. Es importante notar que los PIM'S deben ser mucho menor para longitudes cortas y para dieléctricos con módulo de básico elevado.

Desde el punto de vista del diseño de sistemas, utilizando antenas de recepción y transmisión separadas para comunicaciones simultáneas bidireccionales en lugar de antenas de configuración duplex, disminuye PIM'S. Si se utilizan muchos cables para crear secciones flexibles de peso ligero, es necesario soldar cada contacto de cables o utilizar una placas metálica agujerada como alternativa.

De la misma manera, las uniones rotables, o líneas de alimentación móviles como las que se utilizan para antenas giratorias (por elementos metálicos) o plataformas de antenas

móviles, casi con seguridad tendrán un alto nivel de intermodulaciones, siendo el movimiento por cambio electrónico de fase, con antenas fijas es una buena alternativa.

En filtros, la amenaza de PIM'S por calentamiento de conductores aumentan con la presencia de campos de alta intensidad.

Cuando existen resonadores con relleno dieléctricos, provocan electrostricción (La electrostricción es el cambio de volumen debido a la variación de densidad de energética de en un dieléctrico bajo una excitación de RF) y elementos dieléctricos no lineales nuevamente se convierten en fuentes importantes de PIM'S.

MINIMIZACION DE PIM'S

Para la disminuir la generación de PIM'S en diseños de componentes y sistemas de RF deben tomarse en cuenta las recomendaciones siguientes:

1.- Mantener niveles bajos de las densidades de corriente donde se espera la intermodulación, mantener altas presiones en los contactos metálicos para asegurar mayor área de contacto de conducción de corriente y bajas densidades de corriente.

Las altas presiones en los puntos de contacto rompe también sólidos en las superficies, donde se puede producir una conducción de corriente no lineal.

Utilice conductores con secciones transversales grandes, cuando se sospecha la presencia de elementos ferromagnéticos en el material.

Ajuste el relación de onda estacionaria (VSWR) y la longitud de las líneas de transmisión, de manera que los máximos de corriente de la onda estacionaria se encuentren lejos de los conectores y otros puntos críticos del sistema.

Los PIM'S aumentan con la longitud de los cables.

2.-Disminuya el impacto de conexiones metal-metal, utilice cables coaxiales semirígidos en lugar de cables coaxiales flexibles.

Examine los conectores para asegurar que se da una conexión adecuada.

Asegure las líneas de transmisión a posiciones fijas y aisle los conductores externos de las estructuras de soporte. Igualmente los dispositivos de semiconductores utilizados para control y monitoreo deben de ser aislados de RF (blindados contra interferencias de RF).

Aplique cintas metálicas conductoras en uniones de hojas metálicas (como reflectores de las antenas o el cuerpo de la nave) para disminuir el flujo de en los puntos de interconexión metálica.

Fije o solde las uniones metálicas en las estructuras de soporte si no se requiere que sean móviles. La calidad de estas uniones es crítica. La soldadura no debe tener materiales ferromagnéticos. La oxidación provocada por el flujo de corriente se debe evitar; los diseñadores recomiendan que las uniones soldadas con gas argón asegura la mínima formación de óxidos[6].

Es recomendable apretar los tornillos de unión hasta una presión de aproximadamente 100psi, para obtener un buen contacto metal-metal.

3.- Excluya el uso de componentes con materiales ferromagnéticos en circuitería de multifrecuencia de RF en la

etapa de diseño. Por ejemplo muchos tipos de circuladores, aisladores, acopladores direccionales, terminaciones, sellos magnéticos, pinturas, y epóxicos, así como miembros estructurales contienen materiales ferromagnéticos.

Los tornillos, ribetes y apresadores en todas partes del sistema no deben ser ferromagnéticos. Las líneas de transmisión y conectores comprados deben probarse para descartarlos si cuentan en su composición con materiales ferromagnéticos, trabaje con herramientas no ferromagnéticas incluyendo navajas y desarmadores.

Mantenga su mesa de trabajo libre de polvo magnético esquivelas metálicos. El polvo magnético se ve atraído a regiones de alta densidad de campo y pueden alojarse en componentes de RF durante las pruebas del sistema.

En general cuando corte rellene o fabrique, hágalo lejos de áreas de ensamblado.

Materiales como el aluminio y el magnesio se deben utilizar con aleaciones de metales no ferromagnéticos.

4.-Tome precauciones para evitar la corrosión en cualquier parte del sistema.

Disminuya la manipulación de componentes, corte varias pulgadas en los extremos de los cables coaxiales antes de utilizarlos y limpie los contactos de los conectores

después de cada uso. No sumerja los conectores en líquidos limpiadores dado que los contaminantes se pueden alojar en áreas inaccesibles.

Elimine irregularidades en las superficies expuestas en un rango de 0.21 a 0.42 micrometros (8 a 20 micropulgadas).

5.-Utilice métodos de pruebas efectivos. Normalmente cada agencia espacial considera que sólo sus métodos de prueba son efectivos.

Cambie las frecuencias de transmisión para observar los resultados de movimiento en frecuencia de señales espúreas. El identificar señales espúreas por observación de la respuesta en potencia no es confiable.

Rastree los puntos donde se generan PIM'S agregando atenuadores en diferentes puntos del circuito. Los niveles se verán afectados más por la atenuación agregada entre el transmisor y las fuentes de PIM'S.

Identifique las señales de PIM'S generadas por fuentes ferromagnéticas a través de las influencias de los campos magnéticos aplicados externamente. Las señales de PIM'S generadas por otros mecanismos no deben afectar otros campos.

En resumen la minimización de PIM'S depende del cuidado con el que se elijan los materiales de diseño, los componentes y la precaución al efectuar el maquinado y ensablado del sistema en cuestión.

CAPITULO 7

RESULTADOS

Después del análisis para encontrar los posibles PIM'S en guías de onda en banda L y banda Ku llegamos a los siguientes resultados:

Supusimos para una guía de onda en banda Ku, de una red de distribución de potencia de un satélite, manejando dos portadoras de 1.145 GHz y 1.17 GHz respectivamente y teniendo una banda de recepción de 1.4 a 1.425 GHz.

Hicimos la predicción del orden y del tipo de PIM'S que caen dentro de la banda de recepción, bajo las condiciones anteriores:

Predicción:

Para el nivel inferior de la banda de recepción ($f_L=1.4\text{GHz}$)

Orden 21°

Tipo $m_1= 11$ $m_2= -10$

Para el nivel superior de la banda de recepción ($f_U=1.425\text{GHz}$)

Orden 21°

Tipo $m_1= 11$ $m_2= 10$

Posteriormente generamos tablas donde calculamos las frecuencias para los primeros 80 PIM'S, y confirmamos que el orden del PIM predicho es el calculado.

Siendo la frecuencia de PIM de orden 21° , $f_{\text{PIM}}= 1.42\text{GHz}$.

Siguiendo un procedimiento similar al anterior, supusimos para una gufa de onda en banda L, de una red de distribución de potencia de un satélite, manejando dos portadoras de 1.559 GHz y 1.545 GHz respectivamente y teniendo una banda de recepción de 1.61 a 1.16605 GHz.

Hicimos la predicción tanto del orden como del tipo de PIM'S que caen dentro de la banda de recepción, bajo las condiciones anteriores :

Predicción:

Para el nivel inferior de la banda de recepción ($f_L=1.610\text{GHz}$)

Orden 9°

Tipo $m_1= 5$ $m_2= -4$

Para el nivel superior de la banda de recepción ($f_H=1.6605\text{GHz}$)

Orden 15°

Tipo $m_1= 8$ $m_2= -7$

De igual manera que para la banda L, generamos unas tablas calculando las frecuencias para los primeros PIM'S, y confirmamos que el orden del PIM predicho es el calculado.

Siendo las frecuencias de PIM'S de orden 9° , $f_{\text{PIM}}= 1.615\text{MHz}$,

de orden 11° , $f_{\text{PIM}}= 1.629\text{GHz}$, orden 13° , $f_{\text{PIM}}= 1.643\text{GHz}$.

y de orden 15° , $f_{\text{PIM}}= 1.657\text{GHz}$

CONCLUSIONES

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

Podemos concluir durante este trabajo se realizó un estudio sobre productos de intermodulación pasiva (PIM'S) para redes de distribución de potencia de antenas para satélite específicamente en guías de onda en banda L y banda Ku, en las cuales transmiten dos portadoras.

Se analizaron los principales factores que provocan la generación de PIM'S, los métodos para predicción de orden y tipo,

Sugerimos la predicción de orden y tipo de PIM'S que se presentaran en la banda de recepción, para guías de onda en banda L y Ku, siendo esta predicción comparada contra el orden calculado de PIM'S.

Se concluye que se presentan PIM'S superiores al 5° orden en la banda de recepción, en guías de onda para las bandas analizadas.

Además se revisaron los esquemas de pruebas para medición de PIM'S europeo y americano respectivamente. Observando la similitud de esquemas, sólo presentando disparidad en el nivel de ruido de fondo.

Presentamos una serie de recomendaciones y sugerencias para prevenir o en su caso minimizar la generación de PIM'S.

Es importante en el futuro desarrollar estudios sobre técnicas para optimizar y cuantificar los niveles perjudiciales de PIM'S.

BIBLIOGRAFIA

- [1] **PIMP analysis and test DBS antenna**, CASA Construcciones Aeronauticas, S.A., Division Espacio feb. 1991
- [2] **E.ALVAREZ, Separación entre placas para guía de onda rectangular en banda Ka contra el fenómeno de factores múltiples**, Tesis de licenciatura Facultad de Ingeniería, UNAM, noviembre 1993.
- [3] **J.L.COOK, Conversion Factors**, Oxford Science Publications, 1991.
- [4] **Y.KAI, Mathematical problem arising from passive intermodulation interference in communications satellite**, DH dissertation Columbia University 1976
- [5] **Y.KAI, O.C.YUE, High-Order intermodulation effects in digital satellite channels**, IEEE transactions on aerospace and electronics systems, vol.17 No.3, May 1981 pp 438-444.
- [6] **A KUMAR, Pasive intermodulations products threaten high-power satcom system** Microwave &RF Dec 1987.
- [7] **M.KUNES, M.GIBSON, G.CONNOR, Low PIM Feedchain design techniques for satellite transmit/recv antenna at L and**

Ku band. British aerospace (Space and communications)
Ltd. Argyle Way, Stevenage, Hertfordshire, U.K.

- [8] G. MARAL, M. BOUSQUET, **Sattellite communicatios systems**, Willey, 1994.

- [9] RAWLINS, T.FOORD, **Study of passive intermodulation interference in space RF hardware**, Noise measurment group Electronic Engineering Laboratories, University of Kent at Canterbury, March 1992.

- [10] G.R.STETTE, **Calculation of intermodulation from a single carrier amplitude characteristic**, IEEE transsactions on communications, March 1974, pp 319-323.

- [11] W.C.TANG, C.KUDSIA, **Multipactor breakdown and passive intermodulation in microwave equipment for satellite applications**, Cambridge, Ontario, Canada, 1990.

- [12] S.TIRRO, **Satellite Communication System Design**. Plenum Press, London, jun 1993.

- [13] W.TOMASI, **Electronic Communications System Fundamental Through Advanced**, Prentice Hall, 1988.

APÉNDICE A

TABLAS DE CALCULO DE PIM'S PARA GUÍAS DE ONDA EN BANDA L Y Ku

Productos de intermodulación pasiva generados en una guía de onda para banda ku (banda de transmisión de 1145 - 1170 MHz y banda de recepción de 1400 - 1425 MHz)

Productos de intermodulación pasivos de tipo **m2f1-m1f1**

m1	m2	fTx 1	fTx 2	m2*fTx 1	m1*fTx 2	C	f PIM'S
1	2	1170	1145	2340	1145	3	1195 NCBR
2	3			3510	2290	5	1220 NCBR
3	4			4680	3435	7	1245 NCBR
4	5			5850	4580	9	1270 NCBR
5	6			7020	5725	11	1295 NCBR
6	7			8190	6870	13	1320 NCBR
7	8			9360	8015	15	1345 NCBR
8	9			10530	9180	17	1370 NCBR
9	10			11700	10305	19	1395 NCBR
10	11			12870	11450	21	1420 PIM
11	12			14040	12595	23	1445 NCBR
12	13			15210	13740	25	1470 NCBR
13	14			16380	14885	27	1495 NCBR
14	15			17550	16030	29	1520 NCBR
15	16			18720	17175	31	1545 NCBR
16	17			19890	18320	33	1570 NCBR
17	18			21060	19465	35	1595 NCBR
18	19			22230	20610	37	1820 NCBR
19	20			23400	21755	39	1845 NCBR
20	21			24570	22900	41	1870 NCBR
21	22			25740	24045	43	1895 NCBR
22	23			26910	25190	45	1720 NCBR
23	24			28080	26335	47	1745 NCBR
24	25			29250	27480	49	1770 NCBR
25	26			30420	28625	51	1795 NCBR
26	27			31590	29770	53	1820 NCBR
27	28			32760	30915	55	1845 NCBR
28	29			33930	32060	57	1870 NCBR
29	30			35100	33205	59	1895 NCBR
30	31			36270	34350	61	1920 NCBR
31	32			37440	35495	63	1945 NCBR
32	33			38610	36640	65	1970 NCBR
33	34			39780	37785	67	1995 NCBR
34	35			40950	38930	69	2020 NCBR
35	36			42120	40075	71	2045 NCBR
36	37			43290	41220	73	2070 NCBR
37	38			44460	42365	75	2095 NCBR

fTx1, fTx2 Frecuencias de las portadoras [MHz]
m1, m2 Tipo de PIM
C Orden del PIM
f PIM Frecuencia de PIM [MHz]
NCBR No Caen el PIM en la Banda de Recepción

m1	m2	fTx 1	fTx 2	m2*fTx 1	m1*fTx 2	C	f PIM'S
1	-2	1170	1145	-2340	1145	3	-3485 NCBR
2	-3			-3510	2290	5	-5800 NCBR
3	-4			-4680	3435	7	-8115 NCBR
4	-5			-5850	4580	9	-10430 NCBR
5	-6			-7020	5725	11	-12745 NCBR
6	-7			-8190	6870	13	-15060 NCBR
7	-8			-9360	8015	15	-17375 NCBR
8	-9			-10530	9160	17	-19690 NCBR
9	-10			-11700	10305	19	-22005 NCBR
10	-11			-12870	11450	21	-24320 NCBR
11	-12			-14040	12595	23	-26635 NCBR
12	-13			-15210	13740	25	-28950 NCBR
13	-14			-16380	14885	27	-31265 NCBR
14	-15			-17550	16030	29	-33580 NCBR
15	-16			-18720	17175	31	-35895 NCBR
16	-17			-19890	18320	33	-38210 NCBR
17	-18			-21060	19465	35	-40525 NCBR
18	-19			-22230	20610	37	-42840 NCBR
19	-20			-23400	21755	39	-45155 NCBR
20	-21			-24570	22900	41	-47470 NCBR
21	-22			-25740	24045	43	-49785 NCBR
22	-23			-26910	25190	45	-52100 NCBR
23	-24			-28080	26335	47	-54415 NCBR
24	-25			-29250	27480	49	-56730 NCBR
25	-26			-30420	28625	51	-59045 NCBR
26	-27			-31590	29770	53	-61360 NCBR
27	-28			-32760	30915	55	-63675 NCBR
28	-29			-33930	32060	57	-65990 NCBR
29	-30			-35100	33205	59	-68305 NCBR
30	-31			-36270	34350	61	-70620 NCBR
31	-32			-37440	35495	63	-72935 NCBR
32	-33			-38610	36640	65	-75250 NCBR
33	-34			-39780	37785	67	-77565 NCBR
34	-35			-40950	38930	69	-79880 NCBR
35	-36			-42120	40075	71	-82195 NCBR
36	-37			-43290	41220	73	-84510 NCBR
37	-38			-44460	42365	75	-86825 NCBR

fTx1, fTx2 Frecuencias de las portadoras [MHz]
m1, m2 Tipo de PIM
C Orden del PIM
f PIM Frecuencia de PIM [MHz]
NCBR No Cae el PIM en la Banda de Recepcion

m1	m2	fTx 1	fTx 2	m2*fTx 1	m1*fTx 2	f PIM'S
-1	2	1170	1145	2340	-1145	3 3485 NCBR
-2	3			3510	-2290	5 5800 NCBR
-3	4			4680	-3435	7 8115 NCBR
-4	5			5850	-4580	9 10430 NCBR
-5	6			7020	-5725	11 12745 NCBR
-6	7			8190	-6870	13 15060 NCBR
-7	8			9360	-8015	15 17375 NCBR
-8	9			10530	-9160	17 19690 NCBR
-9	10			11700	-10305	19 22005 NCBR
-10	11			12870	-11450	21 24320 NCBR
-11	12			14040	-12595	23 26635 NCBR
-12	13			15210	-13740	25 28950 NCBR
-13	14			16380	-14885	27 31265 NCBR
-14	15			17550	-16030	29 33580 NCBR
-15	16			18720	-17175	31 35895 NCBR
-16	17			19890	-18320	33 38210 NCBR
-17	18			21060	-19465	35 40525 NCBR
-18	19			22230	-20610	37 42840 NCBR
-19	20			23400	-21755	39 45155 NCBR
-20	21			24570	-22900	41 47470 NCBR
-21	22			25740	-24045	43 49785 NCBR
-22	23			26910	-25190	45 52100 NCBR
-23	24			28080	-26335	47 54415 NCBR
-24	25			29250	-27480	49 56730 NCBR
-25	26			30420	-28625	51 59045 NCBR
-26	27			31590	-29770	53 61360 NCBR
-27	28			32760	-30915	55 63675 NCBR
-28	29			33930	-32060	57 65990 NCBR
-29	30			35100	-33205	59 68305 NCBR
-30	31			36270	-34350	61 70620 NCBR
-31	32			37440	-35495	63 72935 NCBR
-32	33			38610	-36640	65 75250 NCBR
-33	34			39780	-37785	67 77565 NCBR
-34	35			40950	-38930	69 79880 NCBR
-35	36			42120	-40075	71 82195 NCBR
-36	37			43290	-41220	73 84510 NCBR
-37	38			44460	-42365	75 86825 NCBR

fTx1, fTx2 Frecuencias de las portadoras (MHz)

m1, m2 Tipo de PIM

C Orden del PIM

f PIM Frecuencia de PIM (MHz)

NCBR No Cae el PIM en la Banda de Recepcion

m1	m2	fTx 1	fTx 2	m2'fTx 1	m1'fTx 2	C	fPIM'S
-1	-2	1170	1145	-2340	-1145	3	-1195 NCBR
-2	-3			-3510	-2290	5	-1220 NCBR
-3	-4			-4680	-3435	7	-1245 NCBR
-4	-5			-5850	-4580	9	-1270 NCBR
-5	-6			-7020	-5725	11	-1295 NCBR
-6	-7			-8190	-6870	13	-1320 NCBR
-7	-8			-9360	-8015	15	-1345 NCBR
-8	-9			-10530	-9160	17	-1370 NCBR
-9	-10			-11700	-10305	19	-1395 NCBR
-10	-11			-12870	-11450	21	-1420 PIM
-11	-12			-14040	-12595	23	-1445 NCBR
-12	-13			-15210	-13740	25	-1470 NCBR
-13	-14			-16380	-14885	27	-1495 NCBR
-14	-15			-17550	-16030	29	-1520 NCBR
-15	-16			-18720	-17175	31	-1545 NCBR
-16	-17			-19890	-18320	33	-1570 NCBR
-17	-18			-21060	-19465	35	-1595 NCBR
-18	-19			-22230	-20610	37	-1620 NCBR
-19	-20			-23400	-21755	39	-1645 NCBR
-20	-21			-24570	-22900	41	-1670 NCBR
-21	-22			-25740	-24045	43	-1695 NCBR
-22	-23			-26910	-25190	45	-1720 NCBR
-23	-24			-28080	-26335	47	-1745 NCBR
-24	-25			-29250	-27480	49	-1770 NCBR
-25	-26			-30420	-28625	51	-1795 NCBR
-26	-27			-31590	-29770	53	-1820 NCBR
-27	-28			-32760	-30915	55	-1845 NCBR
-28	-29			-33930	-32060	57	-1870 NCBR
-29	-30			-35100	-33205	59	-1895 NCBR
-30	-31			-36270	-34350	61	-1920 NCBR
-31	-32			-37440	-35495	63	-1945 NCBR
-32	-33			-38610	-36640	65	-1970 NCBR
-33	-34			-39780	-37785	67	-1995 NCBR
-34	-35			-40950	-38930	69	-2020 NCBR
-35	-36			-42120	-40075	71	-2045 NCBR
-36	-37			-43290	-41220	73	-2070 NCBR
-37	-38			-44460	-42365	75	-2095 NCBR

fTx1, fTx2 Frecuencias de las portadoras [MHz]
m1, m2 Tipo de PIM
C Orden del PIM
fPIM Frecuencia de PIM [MHz]
NCBR No Caen el PIM en la Banda de Recepcion

m1	m2	fTx1	fTx2	m2*fTx1	m1*fTx2	C	fPIM'S
2	1	1170	1145	1170	2290	3	-1120 NCBR
3	2			2340	3435	6	-1095 NCBR
4	3			3510	4580	7	-1070 NCBR
5	4			4680	5725	9	-1045 NCBR
6	5			5850	6870	11	-1020 NCBR
7	6			7020	8015	13	-995 NCBR
8	7			8190	9160	15	-970 NCBR
9	8			9360	10305	17	-945 NCBR
10	9			10530	11450	19	-920 NCBR
11	10			11700	12595	21	-895 NCBR
12	11			12870	13740	23	-870 NCBR
13	12			14040	14885	25	-845 NCBR
14	13			15210	16030	27	-820 NCBR
15	14			16380	17175	29	-795 NCBR
16	15			17550	18320	31	-770 NCBR
17	16			18720	19465	33	-745 NCBR
18	17			19890	20610	35	-720 NCBR
19	18			21060	21755	37	-695 NCBR
20	19			22230	22900	39	-670 NCBR
21	20			23400	24045	41	-645 NCBR
22	21			24570	25190	43	-620 NCBR
23	22			25740	26335	45	-595 NCBR
24	23			26910	27480	47	-570 NCBR
25	24			28080	28625	49	-545 NCBR
26	25			29250	29770	51	-520 NCBR
27	26			30420	30915	53	-495 NCBR
28	27			31590	32060	55	-470 NCBR
29	28			32760	33205	57	-445 NCBR
30	29			33930	34350	59	-420 NCBR
31	30			35100	35495	61	-395 NCBR
32	31			36270	36640	63	-370 NCBR
33	32			37440	37785	65	-345 NCBR
34	33			38610	38930	67	-320 NCBR
35	34			39780	40075	69	-295 NCBR
36	35			40950	41220	71	-270 NCBR
37	36			42120	42365	73	-245 NCBR
38	37			43290	43510	75	-220 NCBR

fTx1, fTx2 Frecuencias de las portadoras [MHz]

m1, m2 Tipo de PIM

C Orden del PIM

f PIM Frecuencia de PIM [MHz]

NCBR No Cae el PIM en la Banda de Recepcion

m1	m2	fTx 1	fTx 2	m2*fTx 1	m1*fTx 2	C	f PIM'S
2	-1	1170	1145	-1170	2290	3	-3460 NCBR
3	-2			-2340	3435	5	-5775 NCBR
4	-3			-3510	4580	7	-8090 NCBR
5	-4			-4680	5725	9	-10405 NCBR
6	-5			-5850	6870	11	-12720 NCBR
7	-6			-7020	8015	13	-15035 NCBR
8	-7			-8190	9160	15	-17350 NCBR
9	-8			-9360	10305	17	-19665 NCBR
10	-9			-10530	11450	19	-21980 NCBR
11	-10			-11700	12595	21	-24295 NCBR
12	-11			-12870	13740	23	-26610 NCBR
13	-12			-14040	14885	25	-28925 NCBR
14	-13			-15210	16030	27	-31240 NCBR
15	-14			-16380	17175	29	-33555 NCBR
16	-15			-17550	18320	31	-35870 NCBR
17	-16			-18720	19465	33	-38185 NCBR
18	-17			-19890	20610	35	-40500 NCBR
19	-18			-21060	21755	37	-42815 NCBR
20	-19			-22230	22900	39	-45130 NCBR
21	-20			-23400	24045	41	-47445 NCBR
22	-21			-24570	25190	43	-49760 NCBR
23	-22			-25740	26335	45	-52075 NCBR
24	-23			-26910	27480	47	-54390 NCBR
25	-24			-28080	28625	49	-56705 NCBR
26	-25			-29250	29770	51	-59020 NCBR
27	-26			-30420	30915	53	-61335 NCBR
28	-27			-31590	32060	55	-63650 NCBR
29	-28			-32760	33205	57	-65965 NCBR
30	-29			-33930	34350	59	-68280 NCBR
31	-30			-35100	35495	61	-70595 NCBR
32	-31			-36270	36640	63	-72910 NCBR
33	-32			-37440	37785	65	-75225 NCBR
34	-33			-38610	38930	67	-77540 NCBR
35	-34			-39780	40075	69	-79855 NCBR
36	-35			-40950	41220	71	-82170 NCBR
37	-36			-42120	42365	73	-84485 NCBR
38	-37			-43290	43510	75	-86800 NCBR

fTx1, fTx2 Frecuencias de las portadoras [MHz]

m1, m2 Tipo de PIM

C Orden del PIM

f PIM Frecuencia de PIM [MHz]

NCBR No Cae el PIM en la Banda de Recepcion

m1	m2	fTx 1	fTx 2	m2*fTx 1	m1*fTx 2	f PIM'S
-2	1	1170	1145	1170	-2290	3 3460 NCBR
-3	2			2340	-3435	5 5775 NCBR
-4	3			3510	-4580	7 8090 NCBR
-5	4			4680	-5725	9 10405 NCBR
-6	5			5850	-6870	11 12720 NCBR
-7	6			7020	-8015	13 15035 NCBR
-8	7			8190	-9160	15 17350 NCBR
-9	8			9360	-10305	17 19665 NCBR
-10	9			10530	-11450	19 21980 NCBR
-11	10			11700	-12595	21 24295 NCBR
-12	11			12870	-13740	23 26610 NCBR
-13	12			14040	-14885	25 28925 NCBR
-14	13			15210	-16030	27 31240 NCBR
-15	14			16380	-17175	29 33555 NCBR
-16	15			17550	-18320	31 35870 NCBR
-17	16			18720	-19465	33 38185 NCBR
-18	17			19890	-20610	35 40500 NCBR
-19	18			21060	-21755	37 42815 NCBR
-20	19			22230	-22900	39 45130 NCBR
-21	20			23400	-24045	41 47445 NCBR
-22	21			24570	-25190	43 49760 NCBR
-23	22			25740	-26335	45 52075 NCBR
-24	23			26910	-27480	47 54390 NCBR
-25	24			28080	-28625	49 56705 NCBR
-26	25			29250	-29770	51 59020 NCBR
-27	26			30420	-30915	53 61335 NCBR
-28	27			31590	-32060	55 63650 NCBR
-29	28			32760	-33205	57 65965 NCBR
-30	29			33930	-34350	59 68280 NCBR
-31	30			35100	-35495	61 70595 NCBR
-32	31			36270	-36640	63 72910 NCBR
-33	32			37440	-37785	65 75225 NCBR
-34	33			38610	-38930	67 77540 NCBR
-35	34			39780	-40075	69 79855 NCBR
-36	35			40950	-41220	71 82170 NCBR
-37	36			42120	-42365	73 84485 NCBR
-38	37			43290	-43510	75 86800 NCBR

fTx1, fTx2 Frecuencias de las portadoras [MHz]
m1, m2 Tipo de PIM
C Orden del PIM
f PIM Frecuencia de PIM [MHz]
NCBR No Cae el PIM en la Banda de Recepcion

m1	m2	fTx 1	fTx 2	m2*fTx 1	m1*fTx 2	C	f PIM'S
-2	-1	1170	1145	-1170	-2290	3	1120 NCBR
-3	-2			-2340	-3435	5	1095 NCBR
-4	-3			-3510	-4580	7	1070 NCBR
-5	-4			-4680	-5725	9	1045 NCBR
-6	-5			-5850	-6870	11	1020 NCBR
-7	-6			-7020	-8015	13	995 NCBR
-8	-7			-8190	-9160	15	970 NCBR
-9	-8			-9360	-10305	17	945 NCBR
-10	-9			-10530	-11450	19	920 NCBR
-11	-10			-11700	-12595	21	895 NCBR
-12	-11			-12870	-13740	23	870 NCBR
-13	-12			-14040	-14885	25	845 NCBR
-14	-13			-15210	-16030	27	820 NCBR
-15	-14			-16380	-17175	29	795 NCBR
-16	-15			-17550	-18320	31	770 NCBR
-17	-16			-18720	-19465	33	745 NCBR
-18	-17			-19890	-20610	35	720 NCBR
-19	-18			-21060	-21755	37	695 NCBR
-20	-19			-22230	-22900	39	670 NCBR
-21	-20			-23400	-24045	41	645 NCBR
-22	-21			-24570	-25190	43	620 NCBR
-23	-22			-25740	-26335	45	595 NCBR
-24	-23			-26910	-27480	47	570 NCBR
-25	-24			-28080	-28625	49	545 NCBR
-26	-25			-29250	-29770	51	520 NCBR
-27	-26			-30420	-30915	53	495 NCBR
-28	-27			-31590	-32060	55	470 NCBR
-29	-28			-32760	-33205	57	445 NCBR
-30	-29			-33930	-34350	59	420 NCBR
-31	-30			-35100	-35495	61	395 NCBR
-32	-31			-36270	-36640	63	370 NCBR
-33	-32			-37440	-37785	65	345 NCBR
-34	-33			-38610	-38930	67	320 NCBR
-35	-34			-39780	-40075	69	295 NCBR
-36	-35			-40950	-41220	71	270 NCBR
-37	-36			-42120	-42365	73	245 NCBR
-36	-37			-43290	-43510	75	220 NCBR

fTx1, fTx2 Frecuencias de las portadoras [MHz]

m1, m2 Tipo de PIM

C Orden del PIM

f PIM Frecuencia de PIM [MHz]

NCBR No Cae el PIM en la Banda de Recepcion

Productos de Intermodulación pasiva generados en una guía de onda para banda ku (banda de transmisión de 1145 - 1170 MHz y banda de recepción de 1400 - 1425 MHz)

Productos de intermodulación pasivos de tipo $m2f1+m1f1$

m1	m2	fTx 1	fTx 2	m2*fTx 1	m1*fTx 2	C	fPIM'S
1	2	1170	1145	2340	1145	3	3485 NCBR
2	3			3510	2290	5	6800 NCBR
3	4			4680	3435	7	8115 NCBR
4	5			5850	4580	9	10430 NCBR
5	6			7020	5725	11	12745 NCBR
6	7			8190	6870	13	15060 NCBR
7	8			9360	8015	15	17375 NCBR
8	9			10530	9160	17	19690 NCBR
9	10			11700	10305	19	22005 NCBR
10	11			12870	11450	21	24320 NCBR
11	12			14040	12595	23	26635 NCBR
12	13			15210	13740	25	28950 NCBR
13	14			16380	14885	27	31265 NCBR
14	15			17550	16030	29	33580 NCBR
15	16			18720	17175	31	35895 NCBR
16	17			19890	18320	33	38210 NCBR
17	18			21060	19465	35	40525 NCBR
18	19			22230	20610	37	42840 NCBR
19	20			23400	21755	39	45155 NCBR
20	21			24570	22900	41	47470 NCBR
21	22			25740	24045	43	49785 NCBR
22	23			26910	25190	45	52100 NCBR
23	24			28080	26335	47	54415 NCBR
24	25			29250	27480	49	56730 NCBR
25	26			30420	28625	51	59045 NCBR
28	27			31590	29770	53	61360 NCBR
27	28			32760	30915	55	63675 NCBR
28	29			33930	32060	57	65990 NCBR
29	30			35100	33205	59	68305 NCBR
30	31			36270	34350	61	70620 NCBR
31	32			37440	35495	63	72935 NCBR
32	33			38610	36640	65	75250 NCBR
33	34			39780	37785	67	77565 NCBR
34	35			40950	38930	69	79880 NCBR
35	36			42120	40075	71	82195 NCBR
36	37			43290	41220	73	84510 NCBR
37	38			44460	42365	75	86825 NCBR

fTx1, fTx2 Frecuencias de las portadoras [MHz]

m1, m2 Tipo de PIM

C Orden del PIM

f PIM Frecuencia de PIM [MHz]

NCBR No Cae el PIM en la Banda de Recepción

m1	m2	fTx 1	fTx 2	m2'fTx 1	m1'fTx 2	C	fPIM'S
1	-2	1170	1145	-2340	1145	3	-1195 NCBR
2	-3			-3510	2290	5	-1220 NCBR
3	-4			-4680	3435	7	-1245 NCBR
4	-5			-5850	4580	9	-1270 NCBR
5	-6			-7020	5725	11	-1295 NCBR
6	-7			-8190	6870	13	-1320 NCBR
7	-8			-9360	8015	15	-1345 NCBR
8	-9			-10530	9160	17	-1370 NCBR
9	-10			-11700	10305	19	-1395 NCBR
10	-11			-12870	11450	21	-1420 PIM
11	-12			-14040	12595	23	-1445 NCBR
12	-13			-15210	13740	25	-1470 NCBR
13	-14			-16380	14885	27	-1495 NCBR
14	-15			-17550	16030	29	-1520 NCBR
15	-16			-18720	17175	31	-1545 NCBR
16	-17			-19890	18320	33	-1570 NCBR
17	-18			-21060	19465	35	-1595 NCBR
18	-19			-22230	20610	37	-1620 NCBR
19	-20			-23400	21755	39	-1645 NCBR
20	-21			-24570	22900	41	-1670 NCBR
21	-22			-25740	24045	43	-1695 NCBR
22	-23			-26910	25190	45	-1720 NCBR
23	-24			-28080	26335	47	-1745 NCBR
24	-25			-29250	27480	49	-1770 NCBR
25	-26			-30420	28625	51	-1795 NCBR
26	-27			-31590	29770	53	-1820 NCBR
27	-28			-32760	30915	55	-1845 NCBR
28	-29			-33930	32060	57	-1870 NCBR
29	-30			-35100	33205	59	-1895 NCBR
30	-31			-36270	34350	61	-1920 NCBR
31	-32			-37440	35495	63	-1945 NCBR
32	-33			-38610	36640	65	-1970 NCBR
33	-34			-39780	37785	67	-1995 NCBR
34	-35			-40950	38930	69	-2020 NCBR
35	-36			-42120	40075	71	-2045 NCBR
36	-37			-43290	41220	73	-2070 NCBR
37	-38			-44460	42365	75	-2095 NCBR

fTx1, fTx2 Frecuencias de las portadoras [MHz]

m1, m2 Tipo de PIM

C Orden del PIM

f PIM Frecuencia de PIM [MHz]

NCBR No Cae el PIM en la Banda de Recepcion

m1	m2	fTx 1	fTx 2	m2'/fTx 1	m1'/fTx 2	C	fPIM'S
-1	2	1170	1145	2340	-1145	3	1195 NCBR
-2	3			3510	-2290	5	1220 NCBR
-3	4			4680	-3435	7	1245 NCBR
-4	5			5850	-4580	9	1270 NCBR
-5	6			7020	-5725	11	1295 NCBR
-6	7			8190	-6870	13	1320 NCBR
-7	8			9360	-8015	15	1345 NCBR
-8	9			10530	-9160	17	1370 NCBR
-9	10			11700	-10305	19	1395 NCBR
-10	11			12870	-11450	21	1420 PIM
-11	12			14040	-12595	23	1445 NCBR
-12	13			15210	-13740	25	1470 NCBR
-13	14			16380	-14885	27	1495 NCBR
-14	15			17550	-16030	29	1520 NCBR
-15	16			18720	-17175	31	1545 NCBR
-16	17			19890	-18320	33	1570 NCBR
-17	18			21060	-19465	35	1595 NCBR
-18	19			22230	-20610	37	1620 NCBR
-19	20			23400	-21755	39	1645 NCBR
-20	21			24570	-22900	41	1670 NCBR
-21	22			25740	-24045	43	1695 NCBR
-22	23			26910	-25190	45	1720 NCBR
-23	24			28080	-26335	47	1745 NCBR
-24	25			29250	-27480	49	1770 NCBR
-25	26			30420	-28625	51	1795 NCBR
-26	27			31590	-29770	53	1820 NCBR
-27	28			32760	-30915	55	1845 NCBR
-28	29			33930	-32060	57	1870 NCBR
-29	30			35100	-33205	59	1895 NCBR
-30	31			36270	-34350	61	1920 NCBR
-31	32			37440	-35495	63	1945 NCBR
-32	33			38610	-36640	65	1970 NCBR
-33	34			39780	-37785	67	1995 NCBR
-34	35			40950	-38930	69	2020 NCBR
-35	36			42120	-40075	71	2045 NCBR
-36	37			43290	-41220	73	2070 NCBR
-37	38			44460	-42365	75	2095 NCBR

fTx1, fTx2 Frecuencias de las portadoras [MHz]
m1, m2 Tipo de PIM
C Orden del PIM
f PIM Frecuencia de PIM [MHz]
NCBR No Caer el PIM en la Banda de Recepcion

m1	m2	fTx1	fTx2	m2*fTx1	m1*fTx2	C	fPIM'S
-1	-2	1170	1145	-2340	-1145	3	-3485 NCBR
-2	-3			-3510	-2290	5	-5800 NCBR
-3	-4			-4680	-3435	7	-8115 NCBR
-4	-5			-5850	-4580	9	-10430 NCBR
-5	-6			-7020	-5725	11	-12745 NCBR
-6	-7			-8190	-6870	13	-15060 NCBR
-7	-8			-9360	-8015	15	-17375 NCBR
-8	-9			-10530	-9160	17	-19690 NCBR
-9	-10			-11700	-10305	19	-22005 NCBR
-10	-11			-12870	-11450	21	-24320 NCBR
-11	-12			-14040	-12595	23	-26635 NCBR
-12	-13			-15210	-13740	25	-28950 NCBR
-13	-14			-16380	-14885	27	-31265 NCBR
-14	-15			-17550	-16030	29	-33580 NCBR
-15	-16			-18720	-17175	31	-35895 NCBR
-16	-17			-19890	-18320	33	-38210 NCBR
-17	-18			-21060	-19465	35	-40525 NCBR
-18	-19			-22230	-20610	37	-42840 NCBR
-19	-20			-23400	-21755	39	-45155 NCBR
-20	-21			-24570	-22900	41	-47470 NCBR
-21	-22			-25740	-24045	43	-49785 NCBR
-22	-23			-26910	-25190	45	-52100 NCBR
-23	-24			-28080	-26335	47	-54415 NCBR
-24	-25			-29250	-27480	49	-56730 NCBR
-25	-26			-30420	-28625	51	-59045 NCBR
-26	-27			-31590	-29770	53	-61360 NCBR
-27	-28			-32760	-30915	55	-63675 NCBR
-28	-29			-33930	-32060	57	-65990 NCBR
-29	-30			-35100	-33205	59	-68305 NCBR
-30	-31			-36270	-34350	61	-70620 NCBR
-31	-32			-37440	-35495	63	-72935 NCBR
-32	-33			-38610	-36640	65	-75250 NCBR
-33	-34			-39780	-37785	67	-77565 NCBR
-34	-35			-40950	-38930	69	-79880 NCBR
-35	-36			-42120	-40075	71	-82195 NCBR
-36	-37			-43290	-41220	73	-84510 NCBR
-37	-38			-44460	-42365	75	-86825 NCBR

fTx1, fTx2 Frecuencias de las portadoras [MHz]

m1, m2 Tipo de PIM

C Orden del PIM

f PIM Frecuencia de PIM [MHz]

NCBR No Cae el PIM en la Banda de Recepcion

m1	m2	fTx 1	fTx 2	m2*fTx 1	m1*fTx 2	C	fPIM'S
2	1	1170	1145	1170	2290	3	3460 NCBR
3	2			2340	3435	5	5775 NCBR
4	3			3510	4580	7	8090 NCBR
5	4			4680	5725	9	10405 NCBR
6	5			5850	6870	11	12720 NCBR
7	6			7020	8015	13	15035 NCBR
8	7			8190	9160	15	17350 NCBR
9	8			9360	10305	17	19665 NCBR
10	9			10530	11450	19	21980 NCBR
11	10			11700	12595	21	24295 NCBR
12	11			12870	13740	23	26610 NCBR
13	12			14040	14885	25	28925 NCBR
14	13			15210	16030	27	31240 NCBR
15	14			16380	17175	29	33555 NCBR
16	15			17550	18320	31	35870 NCBR
17	16			18720	19465	33	38185 NCBR
18	17			19890	20610	35	40500 NCBR
19	18			21060	21755	37	42815 NCBR
20	19			22230	22900	39	45130 NCBR
21	20			23400	24045	41	47445 NCBR
22	21			24570	25190	43	49760 NCBR
23	22			25740	26335	45	52075 NCBR
24	23			26910	27480	47	54390 NCBR
25	24			28080	28625	49	56705 NCBR
26	25			29250	29770	51	59020 NCBR
27	26			30420	30915	53	61335 NCBR
28	27			31590	32060	55	63650 NCBR
29	28			32760	33205	57	65965 NCBR
30	29			33930	34350	59	68280 NCBR
31	30			35100	35495	61	70595 NCBR
32	31			36270	36640	63	72910 NCBR
33	32			37440	37785	65	75225 NCBR
34	33			38610	38930	67	77540 NCBR
35	34			39780	40075	69	79855 NCBR
36	35			40950	41220	71	82170 NCBR
37	36			42120	42365	73	84485 NCBR
38	37			43290	43510	75	86800 NCBR

fTx1, fTx2 Frecuencias de las portadoras [MHz]

m1, m2 Tipo de PIM

C Orden del PIM

fPIM Frecuencia de PIM [MHz]

NCBR No Cae el PIM en la Banda de Recepcion

m1	m2	fTx1	fTx2	m2*fTx1	m1*fTx2	C	fPIM'S
2	-1	1170	1145	-1170	2290	3	1120 NCBR
3	-2			-2340	3435	5	1095 NCBR
4	-3			-3510	4580	7	1070 NCBR
5	-4			-4680	5725	9	1045 NCBR
6	-5			-5850	6870	11	1020 NCBR
7	-6			-7020	8015	13	995 NCBR
8	-7			-8190	9160	15	970 NCBR
9	-8			-9360	10305	17	945 NCBR
10	-9			-10530	11450	19	920 NCBR
11	-10			-11700	12595	21	895 NCBR
12	-11			-12870	13740	23	870 NCBR
13	-12			-14040	14885	25	845 NCBR
14	-13			-15210	16030	27	820 NCBR
15	-14			-16380	17175	29	795 NCBR
16	-15			-17550	18320	31	770 NCBR
17	-18			-18720	19465	33	745 NCBR
18	-17			-19890	20610	35	720 NCBR
19	-18			-21060	21755	37	695 NCBR
20	-19			-22230	22900	39	670 NCBR
21	-20			-23400	24045	41	645 NCBR
22	-21			-24570	25190	43	620 NCBR
23	-22			-25740	26335	45	595 NCBR
24	-23			-26910	27480	47	570 NCBR
25	-24			-28080	28625	49	545 NCBR
26	-25			-29250	29770	51	520 NCBR
27	-26			-30420	30915	53	495 NCBR
28	-27			-31590	32060	55	470 NCBR
29	-28			-32760	33205	57	445 NCBR
30	-29			-33930	34350	59	420 NCBR
31	-30			-35100	35495	81	395 NCBR
32	-31			-36270	36640	63	370 NCBR
33	-32			-37440	37785	65	345 NCBR
34	-33			-38610	38930	87	320 NCBR
35	-34			-39780	40075	69	295 NCBR
36	-35			-40950	41220	71	270 NCBR
37	-36			-42120	42365	73	245 NCBR
38	-37			-43290	43510	75	220 NCBR

fTx1, fTx2 Frecuencias de las portadoras [MHz]

m1, m2 Tipo de PIM

C Orden del PIM

f PIM Frecuencia de PIM [MHz]

NCBR No Cae el PIM en la Banda de Recepcion

m1	m2	fTx 1	fTx 2	m2*fTx 1	m1*fTx 2	C	fPIM'S
-2	1	1170	1145	1170	-2290	3	-1120 NCBR
-3	2			2340	-3435	5	-1095 NCBR
-4	3			3510	-4580	7	-1070 NCBR
-5	4			4680	-5725	9	-1045 NCBR
-6	5			5850	-6870	11	-1020 NCBR
-7	6			7020	-8015	13	-995 NCBR
-8	7			8190	-9160	15	-970 NCBR
-9	8			9360	-10305	17	-945 NCBR
-10	9			10530	-11450	19	-920 NCBR
-11	10			11700	-12595	21	-895 NCBR
-12	11			12870	-13740	23	-870 NCBR
-13	12			14040	-14885	25	-845 NCBR
-14	13			15210	-16030	27	-820 NCBR
-15	14			16380	-17175	29	-795 NCBR
-16	15			17550	-18320	31	-770 NCBR
-17	16			18720	-19465	33	-745 NCBR
-18	17			19890	-20610	35	-720 NCBR
-19	18			21060	-21755	37	-695 NCBR
-20	19			22230	-22900	39	-670 NCBR
-21	20			23400	-24045	41	-645 NCBR
-22	21			24570	-25190	43	-620 NCBR
-23	22			25740	-26335	45	-595 NCBR
-24	23			26910	-27480	47	-570 NCBR
-25	24			28080	-28625	49	-545 NCBR
-26	25			29250	-29770	51	-520 NCBR
-27	26			30420	-30915	53	-495 NCBR
-28	27			31590	-32060	55	-470 NCBR
-29	28			32760	-33205	57	-445 NCBR
-30	29			33930	-34350	59	-420 NCBR
-31	30			35100	-35495	61	-395 NCBR
-32	31			36270	-36640	63	-370 NCBR
-33	32			37440	-37785	65	-345 NCBR
-34	33			38610	-38930	67	-320 NCBR
-35	34			39780	-40075	69	-295 NCBR
-36	35			40950	-41220	71	-270 NCBR
-37	36			42120	-42365	73	-245 NCBR
-38	37			43290	-43510	75	-220 NCBR

fTx1, fTx2 Frecuencias de las portadoras [MHz]

m1, m2 Tipo de PIM

C Orden del PIM

f PIM Frecuencia de PIM [MHz]

NCBR No Cae el PIM en la Banda de Recepcion

m1	m2	fTx 1	fTx 2	m2*fTx 1	m1*fTx 2	C	fPIM'S
-2	-1	1170	1145	-1170	-2290	3	-3460 NCBR
-3	-2			-2340	-3435	5	-5775 NCBR
-4	-3			-3510	-4580	7	-8090 NCBR
-5	-4			-4680	-5725	9	-10405 NCBR
-6	-5			-5850	-6870	11	-12720 NCBR
-7	-6			-7020	-8015	13	-15035 NCBR
-8	-7			-8190	-9160	15	-17350 NCBR
-9	-8			-9360	-10305	17	-19665 NCBR
-10	-9			-10530	-11450	19	-21980 NCBR
-11	-10			-11700	-12595	21	-24295 NCBR
-12	-11			-12870	-13740	23	-26610 NCBR
-13	-12			-14040	-14885	25	-28925 NCBR
-14	-13			-15210	-16030	27	-31240 NCBR
-15	-14			-16380	-17175	29	-33555 NCBR
-16	-15			-17550	-18320	31	-35870 NCBR
-17	-16			-18720	-19465	33	-36185 NCBR
-18	-17			-19890	-20610	35	-40500 NCBR
-19	-18			-21060	-21755	37	-42815 NCBR
-20	-19			-22230	-22900	39	-45130 NCBR
-21	-20			-23400	-24045	41	-47445 NCBR
-22	-21			-24570	-25190	43	-49760 NCBR
-23	-22			-25740	-26335	45	-52075 NCBR
-24	-23			-26910	-27480	47	-54390 NCBR
-25	-24			-28080	-28625	49	-56705 NCBR
-26	-25			-29250	-29770	51	-59020 NCBR
-27	-26			-30420	-30915	53	-61335 NCBR
-28	-27			-31590	-32060	55	-63650 NCBR
-29	-28			-32760	-33205	57	-65965 NCBR
-30	-29			-33930	-34350	59	-68280 NCBR
-31	-30			-35100	-35495	61	-70595 NCBR
-32	-31			-36270	-36640	63	-72910 NCBR
-33	-32			-37440	-37785	65	-75225 NCBR
-34	-33			-38610	-38930	67	-77540 NCBR
-35	-34			-39780	-40075	69	-79855 NCBR
-36	-35			-40950	-41220	71	-62170 NCBR
-37	-36			-42120	-42365	73	-84485 NCBR
-38	-37			-43290	-43510	75	-86800 NCBR

fTx1, fTx2 Frecuencias de las portadoras [MHz]

m1, m2 Tipo de PIM

C Orden del PIM

f PIM Frecuencia de PIM [MHz]

NCBR No Cae el PIM en la Banda de Recepcion

Productos de intermodulación pasiva generados en una guía de onda
para banda L (banda de transmisión de 1145 - 1170 MHz y banda de
recepción de 1610 - 1660.5 MHz)

Productos de intermodulación pasivos
de tipo $m2f1-m1f1$

m1	m2	fTx 1	fTx 2	m2*fTx 1	m1*fTx 2	C	f PIM'S
1	2	1559	1545	3118	1545	3	1573 NCBR
2	3			4677	3090	5	1587 NCBR
3	4			6236	4635	7	1601 NCBR
4	5			7795	6180	9	1615 PIM
5	6			9354	7725	11	1629 PIM
6	7			10913	9270	13	1643 PIM
7	8			12472	10815	15	1657 PIM
8	9			14031	12360	17	1671 NCBR
9	10			15590	13905	19	1685 NCBR
10	11			17149	15450	21	1699 NCBR
11	12			18708	16995	23	1713 NCBR
12	13			20267	18540	25	1727 NCBR
13	14			21826	20085	27	1741 NCBR
14	15			23385	21630	29	1755 NCBR
15	16			24944	23175	31	1769 NCBR
16	17			26503	24720	33	1783 NCBR
17	18			28062	26265	35	1797 NCBR
18	19			29621	27810	37	1811 NCBR
19	20			31180	29355	39	1826 NCBR
20	21			32739	30900	41	1839 NCBR
21	22			34298	32445	43	1853 NCBR
22	23			35857	33990	45	1867 NCBR
23	24			37416	35535	47	1881 NCBR
24	25			38975	37080	49	1895 NCBR
25	26			40534	38625	51	1909 NCBR
26	27			42093	40170	53	1923 NCBR
27	28			43652	41715	55	1937 NCBR
28	29			45211	43260	57	1951 NCBR
29	30			46770	44805	59	1965 NCBR
30	31			48329	46350	61	1979 NCBR
31	32			49888	47895	63	1993 NCBR
32	33			51447	49440	65	2007 NCBR
33	34			53006	50985	67	2021 NCBR
34	35			54565	52530	69	2035 NCBR
35	36			56124	54075	71	2049 NCBR
36	37			57683	55620	73	2063 NCBR
37	38			59242	57165	75	2077 NCBR

fTx1, fTx2 Frecuencias de las portadoras [MHz]

m1, m2 Tipo de PIM

C Orden del PIM

f PIM Frecuencia de PIM [MHz]

NCBR No Caee el PIM en la Banda de Recepcion

m1	m2	fTx 1	fTx 2	m2*fTx 1	m1*fTx 2	C	fPIM'S
1	-2	1559	1545	-3118	1545	3	-4663 NCBR
2	-3			-4677	3090	5	-7767 NCBR
3	-4			-6236	4635	7	-10871 NCBR
4	-5			-7795	6180	9	-13975 NCBR
5	-6			-9354	7725	11	-17079 NCBR
6	-7			-10913	9270	13	-20183 NCBR
7	-8			-12472	10815	15	-23287 NCBR
8	-9			-14031	12360	17	-26391 NCBR
9	-10			-15590	13905	19	-29495 NCBR
10	-11			-17149	15450	21	-32599 NCBR
11	-12			-18708	16995	23	-35703 NCBR
12	-13			-20267	18540	25	-38807 NCBR
13	-14			-21826	20085	27	-41911 NCBR
14	-15			-23385	21630	29	-45015 NCBR
15	-16			-24944	23175	31	-48119 NCBR
16	-17			-26503	24720	33	-51223 NCBR
17	-18			-28062	26265	35	-54327 NCBR
18	-19			-29621	27810	37	-57431 NCBR
19	-20			-31180	29355	39	-60535 NCBR
20	-21			-32739	30900	41	-63639 NCBR
21	-22			-34298	32445	43	-66743 NCBR
22	-23			-35857	33990	45	-69847 NCBR
23	-24			-37416	35535	47	-72951 NCBR
24	-25			-38975	37080	49	-76055 NCBR
25	-26			-40534	38625	51	-79159 NCBR
26	-27			-42093	40170	53	-82263 NCBR
27	-28			-43652	41715	55	-85367 NCBR
28	-29			-45211	43260	57	-88471 NCBR
29	-30			-46770	44805	59	-91575 NCBR
30	-31			-48329	46350	61	-94679 NCBR
31	-32			-49888	47895	63	-97783 NCBR
32	-33			-51447	49440	65	-1E+05 NCBR
33	-34			-53006	50985	67	-1E+05 NCBR
34	-35			-54565	52530	69	-1E+05 NCBR
35	-36			-56124	54075	71	-1E+05 NCBR
36	-37			-57683	55620	73	-1E+05 NCBR
37	-38			-59242	57165	75	-1E+05 NCBR

fTx1, fTx2 Frecuencias de las portadoras [MHz]

m1, m2 Tipo de PIM

C Orden del PIM

f PIM Frecuencia de PIM [MHz]

NCBR No Cae el PIM en la Banda de Recepcion

m1	m2	fTx 1	fTx 2	m2*fTx 1	m1*fTx 2	C	fPIM'S
-1	2	1559	1545	3118	-1545	3	4663 NCBR
-2	3			4677	-3090	5	7767 NCBR
-3	4			6236	-4635	7	10871 NCBR
-4	5			7795	-6180	9	13975 NCBR
-5	6			9354	-7725	11	17079 NCBR
-6	7			10913	-9270	13	20163 NCBR
-7	8			12472	-10815	15	23287 NCBR
-8	9			14031	-12360	17	26391 NCBR
-9	10			15590	-13905	19	29495 NCBR
-10	11			17149	-15450	21	32599 NCBR
-11	12			16708	-16995	23	35703 NCBR
-12	13			20267	-18540	25	38807 NCBR
-13	14			21626	-20085	27	41911 NCBR
-14	15			23385	-21630	29	45015 NCBR
-15	16			24944	-23175	31	48119 NCBR
-16	17			26503	-24720	33	51223 NCBR
-17	18			28062	-26265	35	54327 NCBR
-18	19			29621	-27810	37	57431 NCBR
-19	20			31180	-29355	39	60535 NCBR
-20	21			32739	-30900	41	63639 NCBR
-21	22			34298	-32445	43	66743 NCBR
-22	23			35857	-33990	45	69847 NCBR
-23	24			37416	-35535	47	72951 NCBR
-24	25			38975	-37080	49	76055 NCBR
-25	26			40534	-38625	51	79159 NCBR
-26	27			42093	-40170	53	82263 NCBR
-27	28			43652	-41715	55	85367 NCBR
-28	29			45211	-43260	57	88471 NCBR
-29	30			46770	-44805	59	91575 NCBR
-30	31			48329	-46350	61	94679 NCBR
-31	32			49888	-47895	63	97783 NCBR
-32	33			51447	-49440	65	100887 NCBR
-33	34			53006	-50985	67	103991 NCBR
-34	35			54565	-52530	69	107095 NCBR
-35	36			56124	-54075	71	110199 NCBR
-36	37			57683	-55620	73	113303 NCBR
-37	38			59242	-57165	75	116407 NCBR

fTx1, fTx2 Frecuencias de las portadoras [MHz]

m1, m2 Tipo de PIM

C Orden del PIM

f PIM Frecuencia de PIM [MHz]

NCBR No Cae el PIM en la Banda de Recepcion

m1	m2	fTx 1	fTx 2	m2*fTx 1	m1*fTx 2	C	fPIM'S
-1	-2	1559	1545	-3118	-1545	3	-1573 NCBR
-2	-3			-4677	-3090	5	-1587 NCBR
-3	-4			-6236	-4635	7	-1601 NCBR
-4	-5			-7795	-6180	9	-1615 PIM
-5	-6			-9354	-7725	11	-1629 PIM
-6	-7			-10913	-9270	13	-1643 PIM
-7	-8			-12472	-10815	15	-1657 PIM
-8	-9			-14031	-12360	17	-1671 NCBR
-9	-10			-15590	-13905	19	-1685 NCBR
-10	-11			-17149	-15450	21	-1699 NCBR
-11	-12			-18708	-16995	23	-1713 NCBR
-12	-13			-20267	-18540	25	-1727 NCBR
-13	-14			-21826	-20085	27	-1741 NCBR
-14	-15			-23385	-21630	29	-1755 NCBR
-15	-16			-24944	-23175	31	-1769 NCBR
-16	-17			-26503	-24720	33	-1783 NCBR
-17	-18			-28062	-26265	35	-1797 NCBR
-18	-19			-29621	-27810	37	-1811 NCBR
-19	-20			-31180	-29355	39	-1825 NCBR
-20	-21			-32739	-30900	41	-1839 NCBR
-21	-22			-34298	-32445	43	-1853 NCBR
-22	-23			-35857	-33990	45	-1867 NCBR
-23	-24			-37416	-35535	47	-1881 NCBR
-24	-25			-38975	-37080	49	-1895 NCBR
-25	-26			-40534	-38625	51	-1909 NCBR
-26	-27			-42093	-40170	53	-1923 NCBR
-27	-28			-43652	-41715	55	-1937 NCBR
-28	-29			-45211	-43260	57	-1951 NCBR
-29	-30			-46770	-44805	59	-1965 NCBR
-30	-31			-48329	-46350	61	-1979 NCBR
-31	-32			-49888	-47895	63	-1993 NCBR
-32	-33			-51447	-49440	65	-2007 NCBR
-33	-34			-53006	-50985	67	-2021 NCBR
-34	-35			-54565	-52530	69	-2035 NCBR
-35	-36			-56124	-54075	71	-2049 NCBR
-36	-37			-57683	-55620	73	-2063 NCBR
-37	-38			-59242	-57165	75	-2077 NCBR

fTx1, fTx2 Frecuencias de las portadoras [MHz]

m1, m2 Tipo de PIM

C Orden del PIM

f PIM Frecuencia de PIM [MHz]

NCBR No Cae el PIM en la Banda de Recepcion

m1	m2	fTx1	fTx2	m2*fTx1	m1*fTx2	C	fPIM'S
2	1	1559	1545	1559	3090	3	-1531 NCBR
3	2			3118	4635	5	-1517 NCBR
4	3			4677	6180	7	-1503 NCBR
5	4			6236	7725	9	-1489 NCBR
6	5			7795	9270	11	-1475 NCBR
7	6			9354	10815	13	-1481 NCBR
8	7			10913	12360	15	-1447 NCBR
9	8			12472	13905	17	-1433 NCBR
10	9			14031	15450	19	-1419 NCBR
11	10			15590	16995	21	-1405 NCBR
12	11			17149	18540	23	-1391 NCBR
13	12			18708	20085	25	-1377 NCBR
14	13			20267	21630	27	-1363 NCBR
15	14			21826	23175	29	-1349 NCBR
16	15			23385	24720	31	-1335 NCBR
17	16			24944	26265	33	-1321 NCBR
18	17			26503	27810	35	-1307 NCBR
19	18			28062	29355	37	-1293 NCBR
20	19			29621	30900	39	-1279 NCBR
21	20			31180	32445	41	-1265 NCBR
22	21			32739	33990	43	-1251 NCBR
23	22			34298	35535	45	-1237 NCBR
24	23			35857	37080	47	-1223 NCBR
25	24			37416	38625	49	-1209 NCBR
26	25			38975	40170	51	-1195 NCBR
27	26			40534	41715	53	-1181 NCBR
28	27			42093	43260	55	-1167 NCBR
29	28			43652	44805	57	-1153 NCBR
30	29			45211	46350	59	-1139 NCBR
31	30			46770	47895	61	-1125 NCBR
32	31			48329	49440	63	-1111 NCBR
33	32			49888	50985	65	-1097 NCBR
34	33			51447	52530	67	-1083 NCBR
35	34			53006	54075	69	-1069 NCBR
36	35			54565	55620	71	-1055 NCBR
37	36			56124	57165	73	-1041 NCBR
38	37			57683	58710	75	-1027 NCBR

fTx1, fTx2 Frecuencias de las portadoras [MHz]

m1, m2 Tipo de PIM

C Orden del PIM

f PIM Frecuencia de PIM [MHz]

NCBR No Cae el PIM en la Banda de Recepcion

m1	m2	fTx 1	fTx 2	m2*fTx 1	m1*fTx 2	C	(PIM'S
2	-1	1559	1545	-1559	3090	3	-4649 NCBR
3	-2			-3118	4635	5	-7753 NCBR
4	-3			-4677	6180	7	-10857 NCBR
5	-4			-6236	7725	9	-13961 NCBR
6	-5			-7795	9270	11	-17065 NCBR
7	-6			-9354	10815	13	-20169 NCBR
8	-7			-10913	12360	15	-23273 NCBR
9	-8			-12472	13905	17	-26377 NCBR
10	-9			-14031	15450	19	-29481 NCBR
11	-10			-15590	16995	21	-32585 NCBR
12	-11			-17149	18540	23	-35689 NCBR
13	-12			-18708	20085	25	-38793 NCBR
14	-13			-20267	21630	27	-41897 NCBR
15	-14			-21826	23175	29	-45001 NCBR
16	-15			-23385	24720	31	-48105 NCBR
17	-16			-24944	26265	33	-51209 NCBR
18	-17			-26503	27810	35	-54313 NCBR
19	-18			-28062	29355	37	-57417 NCBR
20	-19			-29621	30900	39	-60521 NCBR
21	-20			-31180	32445	41	-63625 NCBR
22	-21			-32739	33990	43	-66729 NCBR
23	-22			-34298	35535	45	-69833 NCBR
24	-23			-35857	37080	47	-72937 NCBR
25	-24			-37416	38625	49	-76041 NCBR
26	-25			-38975	40170	51	-79145 NCBR
27	-26			-40534	41715	53	-82249 NCBR
28	-27			-42093	43260	55	-85353 NCBR
29	-28			-43652	44805	57	-88457 NCBR
30	-29			-45211	46350	59	-91561 NCBR
31	-30			-46770	47895	61	-94665 NCBR
32	-31			-48329	49440	63	-97769 NCBR
33	-32			-49888	50985	65	-1E+05 NCBR
34	-33			-51447	52530	67	-1E+05 NCBR
35	-34			-53006	54075	69	-1E+05 NCBR
36	-35			-54565	55620	71	-1E+05 NCBR
37	-36			-56124	57165	73	-1E+05 NCBR
38	-37			-57683	58710	75	-1E+05 NCBR

fTx1, fTx2 Frecuencias de las portadoras [MHz]

m1, m2 Tipo de PIM

C Orden del PIM

f PIM Frecuencia de PIM [MHz]

NCBR No Cae el PIM en la Banda de Recepcion

m1	m2	fTx 1	fTx 2	m2*fTx 1	m1*fTx 2	C	fPIM'S
-2	-1	1559	1545	-1559	-3090	3	-4649 NCBR
-3	-2			-3118	-4635	6	-7753 NCBR
-4	-3			-4677	-6180	7	-10857 NCBR
-5	-4			-6236	-7725	9	-13961 NCBR
-6	-5			-7795	-9270	11	-17065 NCBR
-7	-6			-9354	-10815	13	-20169 NCBR
-8	-7			-10913	-12360	15	-23273 NCBR
-9	-8			-12472	-13905	17	-26377 NCBR
-10	-9			-14031	-15450	19	-29481 NCBR
-11	-10			-15590	-16995	21	-32585 NCBR
-12	-11			-17149	-18540	23	-35689 NCBR
-13	-12			-18708	-20085	25	-38793 NCBR
-14	-13			-20267	-21630	27	-41897 NCBR
-15	-14			-21826	-23175	29	-45001 NCBR
-16	-15			-23385	-24720	31	-48105 NCBR
-17	-16			-24944	-26265	33	-51209 NCBR
-18	-17			-26503	-27810	35	-54313 NCBR
-19	-18			-28062	-29355	37	-57417 NCBR
-20	-19			-29621	-30900	39	-60521 NCBR
-21	-20			-31180	-32445	41	-63625 NCBR
-22	-21			-32739	-33990	43	-66729 NCBR
-23	-22			-34298	-35535	45	-69833 NCBR
-24	-23			-35857	-37080	47	-72937 NCBR
-25	-24			-37416	-38625	49	-76041 NCBR
-26	-25			-38975	-40170	51	-79145 NCBR
-27	-26			-40534	-41715	53	-82249 NCBR
-28	-27			-42093	-43260	55	-85353 NCBR
-29	-28			-43652	-44805	57	-88457 NCBR
-30	-29			-45211	-46350	59	-91561 NCBR
-31	-30			-46770	-47895	61	-94665 NCBR
-32	-31			-48329	-49440	63	-97769 NCBR
-33	-32			-49888	-50985	65	-1E+05 NCBR
-34	-33			-51447	-52530	67	-1E+05 NCBR
-35	-34			-53006	-54075	69	-1E+05 NCBR
-36	-35			-54565	-55620	71	-1E+05 NCBR
-37	-36			-56124	-57165	73	-1E+05 NCBR
-38	-37			-57683	-58710	75	-1E+05 NCBR

fTx1, fTx2 Frecuencias de las portadoras [MHz]
m1, m2 Tipo de PIM
C Orden del PIM
f PIM Frecuencia de PIM [MHz]
NCBR No Cae el PIM en la Banda de Recepcion

m1	m2	fTx 1	fTx 2	m2*fTx 1	m1*fTx 2	C	fPIM'S
-2	-1	1559	1545	-1659	-3090	3	1531 NCBR
-3	-2			-3118	-4635	5	1517 NCBR
-4	-3			-4677	-6180	7	1503 NCBR
-5	-4			-6236	-7725	9	1489 NCBR
-6	-5			-7795	-9270	11	1475 NCBR
-7	-6			-9354	-10815	13	1461 NCBR
-8	-7			-10913	-12360	15	1447 NCBR
-9	-8			-12472	-13905	17	1433 NCBR
-10	-9			-14031	-15450	19	1419 NCBR
-11	-10			-15590	-16995	21	1405 NCBR
-12	-11			-17149	-18540	23	1391 NCBR
-13	-12			-18708	-20085	25	1377 NCBR
-14	-13			-20267	-21630	27	1363 NCBR
-15	-14			-21826	-23175	29	1349 NCBR
-16	-15			-23385	-24720	31	1335 NCBR
-17	-16			-24944	-26265	33	1321 NCBR
-18	-17			-26503	-27810	35	1307 NCBR
-19	-18			-28062	-29355	37	1293 NCBR
-20	-19			-29621	-30900	39	1279 NCBR
-21	-20			-31180	-32445	41	1265 NCBR
-22	-21			-32739	-33990	43	1251 NCBR
-23	-22			-34298	-35535	45	1237 NCBR
-24	-23			-35857	-37080	47	1223 NCBR
-25	-24			-37416	-38625	49	1209 NCBR
-28	-25			-38975	-40170	51	1195 NCBR
-27	-26			-40534	-41715	53	1181 NCBR
-28	-27			-42093	-43260	55	1167 NCBR
-29	-28			-43652	-44805	57	1153 NCBR
-30	-29			-45211	-46350	59	1139 NCBR
-31	-30			-46770	-47895	61	1125 NCBR
-32	-31			-48329	-49440	63	1111 NCBR
-33	-32			-49888	-50985	65	1097 NCBR
-34	-33			-51447	-52530	67	1083 NCBR
-35	-34			-53006	-54075	69	1069 NCBR
-36	-35			-54565	-55620	71	1055 NCBR
-37	-36			-56124	-57165	73	1041 NCBR
-38	-37			-57683	-58710	75	1027 NCBR

fTx1, fTx2 Frecuencias de las portadoras [MHz]

m1, m2 Tipo de PIM

C Orden del PIM

f PIM Frecuencia de PIM [MHz]

NCBR No Cae el PIM en la Banda de Recepcion

Productos de intermodulación pasiva generados en una guía de onda
para banda L (banda de transmisión de 1145 - 1170 MHz y banda de
recepción de 1610 - 1660.5 MHz)

Productos de intermodulación pasivos
de tipo $m2f1+m1f1$

m1	m2	fTx 1	fTx 2	m2*fTx 1	m1*fTx 2	C	fPIM'S
1	2	1559	1545	3118	1545	3	4663 NCBR
2	3			4677	3090	5	7767 NCBR
3	4			6236	4635	7	10871 NCBR
4	5			7795	6180	9	13975 NCBR
5	6			9354	7725	11	17079 NCBR
6	7			10913	9270	13	20183 NCBR
7	8			12472	10815	15	23287 NCBR
8	9			14031	12360	17	26391 NCBR
9	10			15590	13905	19	29495 NCBR
10	11			17149	15450	21	32599 NCBR
11	12			18708	16995	23	35703 NCBR
12	13			20267	18540	25	38807 NCBR
13	14			21826	20085	27	41911 NCBR
14	15			23385	21630	29	45015 NCBR
15	16			24944	23175	31	48119 NCBR
16	17			26503	24720	33	51223 NCBR
17	18			28062	26265	35	54327 NCBR
18	19			29621	27810	37	57431 NCBR
19	20			31180	29355	39	60535 NCBR
20	21			32739	30900	41	63639 NCBR
21	22			34298	32445	43	66743 NCBR
22	23			35857	33990	45	69847 NCBR
23	24			37416	35535	47	72951 NCBR
24	25			38975	37080	49	76055 NCBR
25	26			40534	38625	51	79159 NCBR
26	27			42093	40170	53	82263 NCBR
27	28			43652	41715	55	85367 NCBR
28	29			45211	43260	57	88471 NCBR
29	30			46770	44805	59	91575 NCBR
30	31			48329	46350	61	94679 NCBR
31	32			49888	47895	63	97783 NCBR
32	33			51447	49440	65	100887 NCBR
33	34			53006	50985	67	103991 NCBR
34	35			54565	52530	69	107095 NCBR
35	36			56124	54075	71	110199 NCBR
36	37			57683	55620	73	113303 NCBR
37	38			59242	57165	75	116407 NCBR

fTx1, fTx2 Frecuencias de las portadoras [MHz]

m1, m2 Tipo de PIM

C Orden del PIM

f PIM Frecuencia de PIM [MHz]

NCBR No Caen en la Banda de Recepción

m1	m2	fTx 1	fTx 2	m2*fTx 1	m1*fTx 2	C	
1	-2	1559	1545	-3118	1545	3	-1573 NCBR
2	-3			-4577	3090	5	-1587 NCBR
3	-4			-6236	4635	7	-1601 NCBR
4	-5			-7795	6180	9	-1615 PIM
5	-6			-9354	7725	11	-1629 PIM
6	-7			-10913	9270	13	-1643 PIM
7	-8			-12472	10815	15	-1657 PIM
8	-9			-14031	12380	17	-1671 NCBR
9	-10			-15590	13905	19	-1685 NCBR
10	-11			-17149	15450	21	-1699 NCBR
11	-12			-18708	16995	23	-1713 NCBR
12	-13			-20287	18540	25	-1727 NCBR
13	-14			-21826	20085	27	-1741 NCBR
14	-15			-23385	21830	29	-1755 NCBR
15	-16			-24944	23175	31	-1769 NCBR
16	-17			-26503	24720	33	-1783 NCBR
17	-18			-28062	26265	35	-1797 NCBR
18	-19			-29621	27810	37	-1811 NCBR
19	-20			-31180	29355	39	-1825 NCBR
20	-21			-32739	30900	41	-1839 NCBR
21	-22			-34298	32445	43	-1853 NCBR
22	-23			-35857	33990	45	-1867 NCBR
23	-24			-37416	35535	47	-1881 NCBR
24	-25			-38975	37080	49	-1895 NCBR
25	-26			-40534	38625	51	-1909 NCBR
26	-27			-42093	40170	53	-1923 NCBR
27	-28			-43652	41715	55	-1937 NCBR
28	-29			-45211	43260	57	-1951 NCBR
29	-30			-46770	44805	59	-1965 NCBR
30	-31			-48329	46350	61	-1979 NCBR
31	-32			-49888	47895	63	-1993 NCBR
32	-33			-51447	49440	65	-2007 NCBR
33	-34			-53006	50985	67	-2021 NCBR
34	-35			-54565	52530	69	-2035 NCBR
35	-36			-56124	54075	71	-2049 NCBR
36	-37			-57683	55620	73	-2063 NCBR
37	-38			-59242	57165	75	-2077 NCBR

fTx1, fTx2 Frecuencias de las portadoras [MHz]

m1, m2 Tipo de PIM

C Orden del PIM

f PIM Frecuencia de PIM [MHz]

NCBR No Cae el PIM en la Banda de Recepcion

m1	m2	fTx 1	fTx 2	m2*fTx 1	m1*fTx 2		
-1	2	1559	1545	3118	-1545	3	1573 NCBR
-2	3			4677	-3090	5	1587 NCBR
-3	4			6236	-4635	7	1601 NCBR
-4	5			7795	-6180	9	1615 PIM
-5	6			9354	-7725	11	1629 PIM
-6	7			10913	-9270	13	1643 PIM
-7	8			12472	-10815	15	1657 PIM
-8	9			14031	-12360	17	1671 NCBR
-9	10			15590	-13905	19	1685 NCBR
-10	11			17149	-15450	21	1699 NCBR
-11	12			18708	-16995	23	1713 NCBR
-12	13			20267	-18540	25	1727 NCBR
-13	14			21826	-20085	27	1741 NCBR
-14	15			23385	-21630	29	1755 NCBR
-15	16			24944	-23175	31	1769 NCBR
-16	17			26503	-24720	33	1783 NCBR
-17	18			28062	-26265	35	1797 NCBR
-18	19			29621	-27810	37	1811 NCBR
-19	20			31180	-29355	39	1825 NCBR
-20	21			32739	-30900	41	1839 NCBR
-21	22			34298	-32445	43	1853 NCBR
-22	23			35857	-33990	45	1867 NCBR
-23	24			37416	-35535	47	1881 NCBR
-24	25			38975	-37080	49	1895 NCBR
-25	26			40534	-38625	51	1909 NCBR
-26	27			42093	-40170	53	1923 NCBR
-27	28			43652	-41715	55	1937 NCBR
-28	29			45211	-43260	57	1951 NCBR
-29	30			46770	-44805	59	1965 NCBR
-30	31			48329	-46350	61	1979 NCBR
-31	32			49888	-47895	63	1993 NCBR
-32	33			51447	-49440	65	2007 NCBR
-33	34			53006	-50985	67	2021 NCBR
-34	35			54565	-52530	69	2035 NCBR
-35	36			56124	-54075	71	2049 NCBR
-36	37			57683	-55620	73	2063 NCBR
-37	38			59242	-57165	75	2077 NCBR

fTx1, fTx2 Frecuencias de las portadoras [MHz]
m1, m2 Tipo de PIM
C Orden del PIM
f PIM Frecuencia de PIM [MHz]
NCBR No Cae el PIM en la Banda de Recepcion

m1	m2	fTx 1	fTx 2	m2*fTx 1	m1*fTx 2	C	fPIM'S
-1	-2	1559	1545	-3118	-1545	3	-4663 NCBR
-2	-3			-4677	-3090	5	-7767 NCBR
-3	-4			-6236	-4635	7	-10871 NCBR
-4	-5			-7795	-6180	9	-13975 NCBR
-5	-6			-9354	-7725	11	-17079 NCBR
-6	-7			-10913	-9270	13	-20183 NCBR
-7	-8			-12472	-10815	15	-23287 NCBR
-8	-9			-14031	-12360	17	-26391 NCBR
-9	-10			-15590	-13905	19	-29495 NCBR
-10	-11			-17149	-15450	21	-32599 NCBR
-11	-12			-18708	-16995	23	-35703 NCBR
-12	-13			-20267	-18540	25	-38807 NCBR
-13	-14			-21826	-20085	27	-41911 NCBR
-14	-15			-23385	-21830	29	-45015 NCBR
-15	-16			-24944	-23175	31	-48119 NCBR
-16	-17			-26503	-24720	33	-51223 NCBR
-17	-18			-28062	-26265	35	-54327 NCBR
-18	-19			-29621	-27810	37	-57431 NCBR
-19	-20			-31180	-29355	39	-60535 NCBR
-20	-21			-32739	-30900	41	-63639 NCBR
-21	-22			-34298	-32445	43	-66743 NCBR
-22	-23			-35857	-33990	45	-69847 NCBR
-23	-24			-37416	-35535	47	-72951 NCBR
-24	-25			-38975	-37080	49	-76055 NCBR
-25	-26			-40534	-38625	51	-79159 NCBR
-26	-27			-42093	-40170	53	-82263 NCBR
-27	-28			-43652	-41715	55	-85367 NCBR
-28	-29			-45211	-43260	57	-88471 NCBR
-29	-30			-46770	-44805	59	-91575 NCBR
-30	-31			-48329	-46350	61	-94679 NCBR
-31	-32			-49888	-47895	63	-97783 NCBR
-32	-33			-51447	-49440	65	-1E+05 NCBR
-33	-34			-53006	-50985	67	-1E+05 NCBR
-34	-35			-54565	-52530	69	-1E+05 NCBR
-35	-36			-56124	-54075	71	-1E+05 NCBR
-36	-37			-57683	-55620	73	-1E+05 NCBR
-37	-38			-59242	-57165	75	-1E+05 NCBR

fTx1, fTx2 Frecuencias de las portadoras [MHz]

m1, m2 Tipo de PIM

C Orden del PIM

f PIM Frecuencia de PIM [MHz]

NCBR No Cae el PIM en la Banda de Recepcion

m1	m2	f Tx 1	f Tx 2	m2*fTx 1	m1*f Tx 2	C
2	1	1559	1545	1559	3090	3 4649 NCBR
3	2			3118	4635	5 7753 NCBR
4	3			4677	6180	7 10857 NCBR
5	4			6236	7725	9 13961 NCBR
6	5			7795	9270	11 17065 NCBR
7	6			9354	10815	13 20169 NCBR
8	7			10913	12360	15 23273 NCBR
9	8			12472	13905	17 26377 NCBR
10	9			14031	15450	19 29481 NCBR
11	10			15590	16995	21 32585 NCBR
12	11			17149	18540	23 35689 NCBR
13	12			18708	20085	25 38793 NCBR
14	13			20267	21630	27 41897 NCBR
15	14			21826	23175	29 45001 NCBR
16	15			23385	24720	31 48105 NCBR
17	16			24944	26265	33 51209 NCBR
18	17			26503	27810	35 54313 NCBR
19	18			28062	29355	37 57417 NCBR
20	19			29621	30900	39 60521 NCBR
21	20			31180	32445	41 63625 NCBR
22	21			32739	33990	43 66729 NCBR
23	22			34298	35535	45 69833 NCBR
24	23			35857	37080	47 72937 NCBR
25	24			37416	38625	49 76041 NCBR
26	25			38975	40170	51 79145 NCBR
27	26			40534	41715	53 82249 NCBR
28	27			42093	43260	55 85353 NCBR
29	28			43652	44805	57 88457 NCBR
30	29			45211	46350	59 91561 NCBR
31	30			46770	47895	61 94665 NCBR
32	31			48329	49440	63 97769 NCBR
33	32			49888	50985	65 100873 NCBR
34	33			51447	52530	67 103977 NCBR
35	34			53006	54075	69 107081 NCBR
36	35			54565	55620	71 110185 NCBR
37	36			56124	57165	73 113289 NCBR
38	37			57683	58710	75 116393 NCBR

fTx1, fTx2 Frecuencias de las portadoras [MHz]

m1, m2 Tipo de PIM

C Orden del PIM

f PIM Frecuencia de PIM [MHz]

NCBR No Cae el PIM en la Banda de Recepcion

m1	m2	fTx1	fTx2	m2*fTx1	m1*fTx2	C	fPIM'S
2	-1	1559	1545	-1559	3090	3	1531 NCBR
3	-2			-3118	4835	5	1517 NCBR
4	-3			-4677	6180	7	1503 NCBR
5	-4			-6236	7725	9	1489 NCBR
6	-5			-7795	9270	11	1475 NCBR
7	-6			-9354	10815	13	1461 NCBR
8	-7			-10913	12360	15	1447 NCBR
9	-8			-12472	13905	17	1433 NCBR
10	-9			-14031	15450	19	1419 NCBR
11	-10			-15590	16995	21	1405 NCBR
12	-11			-17149	18540	23	1391 NCBR
13	-12			-18708	20085	25	1377 NCBR
14	-13			-20267	21630	27	1363 NCBR
15	-14			-21826	23175	29	1349 NCBR
16	-15			-23385	24720	31	1335 NCBR
17	-16			-24944	26265	33	1321 NCBR
18	-17			-26503	27810	35	1307 NCBR
19	-18			-28062	29355	37	1293 NCBR
20	-19			-29621	30900	39	1279 NCBR
21	-20			-31180	32445	41	1265 NCBR
22	-21			-32739	33990	43	1251 NCBR
23	-22			-34298	35535	45	1237 NCBR
24	-23			-35857	37080	47	1223 NCBR
25	-24			-37416	38625	49	1209 NCBR
26	-25			-38975	40170	51	1195 NCBR
27	-26			-40534	41715	53	1181 NCBR
28	-27			-42093	43260	55	1167 NCBR
29	-28			-43652	44805	57	1153 NCBR
30	-29			-45211	46350	59	1139 NCBR
31	-30			-46770	47895	61	1125 NCBR
32	-31			-48329	49440	63	1111 NCBR
33	-32			-49888	50985	65	1097 NCBR
34	-33			-51447	52530	67	1083 NCBR
35	-34			-53006	54075	69	1069 NCBR
36	-35			-54565	55620	71	1055 NCBR
37	-36			-56124	57165	73	1041 NCBR
38	-37			-57683	58710	75	1027 NCBR

fTx1, fTx2 Frecuencias de las portadoras [MHz]

m1, m2 Tipo de PIM

C Orden del PIM

f PIM Frecuencia de PIM [MHz]

NCBR No Caee el PIM en la Banda de Recepcion

m1	m2	fTx 1	fTx 2	m2'fTx 1	m1'fTx 2	C	fPIM'S
-2	1	1559	1545	1559	-3090	3	-1531 NCBR
-3	2			3118	-4635	5	-1517 NCBR
-4	3			4677	-6180	7	-1503 NCBR
-5	4			6236	-7725	9	-1489 NCBR
-6	5			7795	-9270	11	-1475 NCBR
-7	6			9354	-10815	13	-1461 NCBR
-8	7			10913	-12360	15	-1447 NCBR
-9	8			12472	-13905	17	-1433 NCBR
-10	9			14031	-15450	19	-1419 NCBR
-11	10			15590	-16995	21	-1405 NCBR
-12	11			17149	-18540	23	-1391 NCBR
-13	12			18708	-20085	25	-1377 NCBR
-14	13			20267	-21630	27	-1363 NCBR
-15	14			21826	-23175	29	-1349 NCBR
-16	15			23385	-24720	31	-1335 NCBR
-17	16			24944	-26265	33	-1321 NCBR
-18	17			26503	-27810	35	-1307 NCBR
-19	18			28062	-29355	37	-1293 NCBR
-20	19			29621	-30900	39	-1279 NCBR
-21	20			31180	-32445	41	-1265 NCBR
-22	21			32739	-33990	43	-1251 NCBR
-23	22			34298	-35535	45	-1237 NCBR
-24	23			35857	-37080	47	-1223 NCBR
-25	24			37416	-38625	49	-1209 NCBR
-28	25			38975	-40170	51	-1195 NCBR
-27	26			40534	-41715	53	-1181 NCBR
-28	27			42093	-43260	55	-1167 NCBR
-29	28			43652	-44805	57	-1153 NCBR
-30	29			45211	-46350	59	-1139 NCBR
-31	30			46770	-47895	61	-1125 NCBR
-32	31			48329	-49440	63	-1111 NCBR
-33	32			49888	-50985	65	-1097 NCBR
-34	33			51447	-52530	67	-1083 NCBR
-35	34			53006	-54075	69	-1069 NCBR
-36	35			54565	-55620	71	-1055 NCBR
-37	36			56124	-57165	73	-1041 NCBR
-38	37			57683	-58710	75	-1027 NCBR

fTx1, fTx2 Frecuencias de las portadoras [MHz]

m1, m2 Tipo de PIM

C Orden del PIM

f PIM Frecuencia de PIM [MHz]

NCBR No Caen el PIM en la Banda de Recepcion

m1	m2	fTx 1	fTx 2	m2*fTx 1	m1*fTx 2	C	f PIM'S
-2	-1	1659	1645	-1559	-3090	3	-4649 NCBR
-3	-2			-3118	-4636	5	-7753 NCBR
-4	-3			-4677	-6180	7	-10857 NCBR
-5	-4			-6236	-7725	9	-13961 NCBR
-6	-5			-7795	-9270	11	-17065 NCBR
-7	-6			-9354	-10815	13	-20189 NCBR
-8	-7			-10913	-12360	15	-23273 NCBR
-9	-8			-12472	-13905	17	-26377 NCBR
-10	-9			-14031	-15450	19	-29481 NCBR
-11	-10			-15590	-16995	21	-32585 NCBR
-12	-11			-17149	-18540	23	-35689 NCBR
-13	-12			-18708	-20085	25	-38793 NCBR
-14	-13			-20267	-21630	27	-41897 NCBR
-15	-14			-21826	-23175	29	-45001 NCBR
-16	-15			-23385	-24720	31	-48105 NCBR
-17	-16			-24944	-26265	33	-51209 NCBR
-18	-17			-26503	-27810	35	-54313 NCBR
-19	-18			-28062	-29355	37	-57417 NCBR
-20	-19			-29621	-30900	39	-60521 NCBR
-21	-20			-31180	-32445	41	-63625 NCBR
-22	-21			-32739	-33990	43	-66729 NCBR
-23	-22			-34298	-35535	45	-69833 NCBR
-24	-23			-35857	-37080	47	-72937 NCBR
-25	-24			-37416	-38625	49	-76041 NCBR
-26	-25			-38975	-40170	51	-79145 NCBR
-27	-26			-40534	-41715	53	-82249 NCBR
-28	-27			-42093	-43260	55	-85353 NCBR
-29	-28			-43652	-44805	57	-88457 NCBR
-30	-29			-45211	-46350	59	-91561 NCBR
-31	-30			-46770	-47895	61	-94665 NCBR
-32	-31			-48329	-49440	63	-97769 NCBR
-33	-32			-49888	-50985	65	-1E+05 NCBR
-34	-33			-51447	-52530	67	-1E+05 NCBR
-35	-34			-53006	-54075	69	-1E+05 NCBR
-36	-35			-54565	-55620	71	-1E+05 NCBR
-37	-36			-56124	-57165	73	-1E+05 NCBR
-38	-37			-57683	-58710	75	-1E+05 NCBR

fTx1, fTx2 Frecuencias de las portadoras [MHz]
m1, m2 Tipo de PIM
C Orden del PIM
f PIM Frecuencia de PIM [MHz]
NCBR No Caer el PIM en la Banda de Recepcion

PIN... PIMS

Amiga, tengo la impresión
que Ud.
tiene pesadillas
día y noche
con los Pims.

Creo que Pims de todos
colores, tamaños y sabores,
sin mencionar la diversidad
de frecuencias,
le revolotean
y no le dejan dormir.

Ya no se preocupe
amiga Isabel
que hoy han dicho
en la radio
que ya han tomado
presos,
a todos
y cada uno
de los
Pims.

Y que además
por eso de que
no te entumas
(por si algún pin... pim
se escapa).
también han inventado
un matamoscas
matapims.

P.S. Amiga Isabel espero que después
de leer este poema, ya pueda dormir.

Su amigo

Paco Pim.

octubre, 1992

nota:

Pims es un apodo para no cansarse, de los
productos de intermodulación, y se deben a
la combinación de dos o más señales
cualesquiera. (definición que me dio mi
amiga Isabel).

* Pin...pims según versión original del autor (pinches pims)