

Instituto Politécnico Nacional
Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica
MÉXICO



Análisis de interferencia entre satélites con polarizaciones circulares ortogonales

Dr. Jorge Roberto Sosa Pedroza

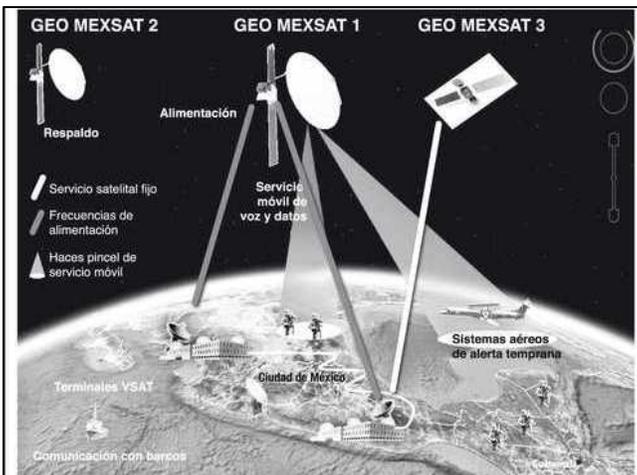
M. en C. Fabiola Martínez Zúñiga



INTRODUCCIÓN

Muchos de los sistemas satelitales actuales re-usan las bandas de frecuencia disponibles empleando diversidad de polarización. Sin embargo es un requisito fundamental mantener niveles tolerables de interferencia entre las señales con polarización ortogonal.

La interferencia se caracteriza por medio del aislamiento por polarización cruzada (XPI) y por la discriminación de polarización cruzada (XPD), tanto en el segmento espacial como en el terrestre



Teóricamente una antena diseñada para transmitir o recibir una determinada polarización no puede transmitir ni recibir la polarización ortogonal haciendo posible el reuso de frecuencia por polarización ortogonal.

Sin embargo las imperfecciones de las antenas y la posible despolarización del campo por el medio de transmisión, puede generar una interferencia mutua de ambos enlaces.



INTRODUCCIÓN

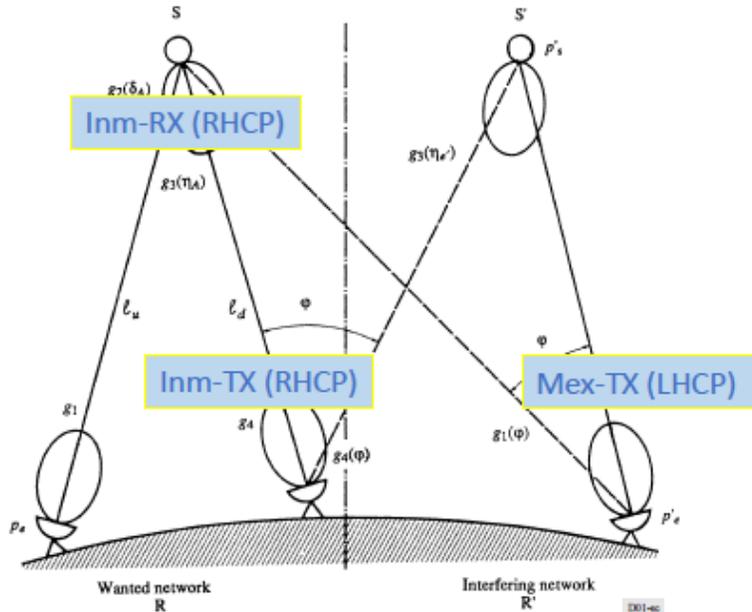


- Este trabajo presenta la metodología y los resultados obtenidos del análisis y los experimentos realizados para determinar la interferencia entre el Sistema Satelital Inglés INMARSAT (con Polarización Circular Derecha) y el Mexicano MEXSAT (con Polarización Circular Izquierda)
- Se aclara que cuando este procedimiento y las mediciones relacionadas se hicieron, el Satélite MEXSAT 1 no estaba en órbita, (de hecho el cohete que lo transportaba explotó durante el lanzamiento) y el Satélite Morelos 3 con comunicaciones en Banda L, empezó su operación en Marzo de 2016.
- Considerando lo anterior, los experimentos se enfocaron en la medición de polarización cruzada, en las antenas que se usarán en tierra, tanto en laboratorio como en campo, usando los satélites disponibles.
- Esta presentación describe primeramente los conceptos teóricos en que se basan los experimentos. Posteriormente los procedimientos de medición de antenas en Banda L, para terminar con los experimentos de campo usando el Satélite Mexicano Solidaridad II y varios satélites de Inmarsat.



EL PROBLEMA

FIGURE 1a
Geometry - Case I - Wanted and interfering networks sharing the same frequency band in the same direction of transmission



Uplink interference from MEXSAT MES into INMARSAT Satellite in the frequency band 1626.5-1660.5 MHz

C/I at satellite receiver =
Wanted power received in RHCP
- [(interference received in RHCP
+ Interference received in LHCP)]

interference power in RHCP at Inmarsat satellite receiver
= Mexsat MES TX eirp towards Inmarsat satellite (LHCP)
- A1 dB MEXSAT MES terminal XPD
- FSPL + Inmarsat satellite gain

interference power in LHCP at Inmarsat satellite
= Mexsat MESTX eirp (LHCP) towards Inmarsat satellite
- A2 dB Inmarsat satellite antenna XPD
- FSPL + Inmarsat satellite gain

C/I at the Inmarsat satellite receiver will improve by $10 \cdot \log_{10}(10^{-0.1 \cdot A1} + 10^{-0.1 \cdot A2})$ dB due to polarisation isolation/discrimination advantage of MEXSAT MES terminal and INMARSAT satellite receive antenna respectively



POLARIZACIÓN CRUZADA



Considérese el caso de dos polarizaciones ortogonales lineales (aunque la ilustración es igualmente válida para dos polarizaciones ortogonales cualesquiera). Sean a y b las amplitudes (iguales) del campo eléctrico de las dos ondas transmitidas simultáneamente con polarización ortogonal lineal, a_c y b_c son las amplitudes recibidas con la misma polarización y a_x y b_x las amplitudes recibidas con las polarizaciones ortogonales. De acuerdo con lo anterior se define el aislamiento:

$$XPI(dB) = 20 \log (a_c / b_x)$$

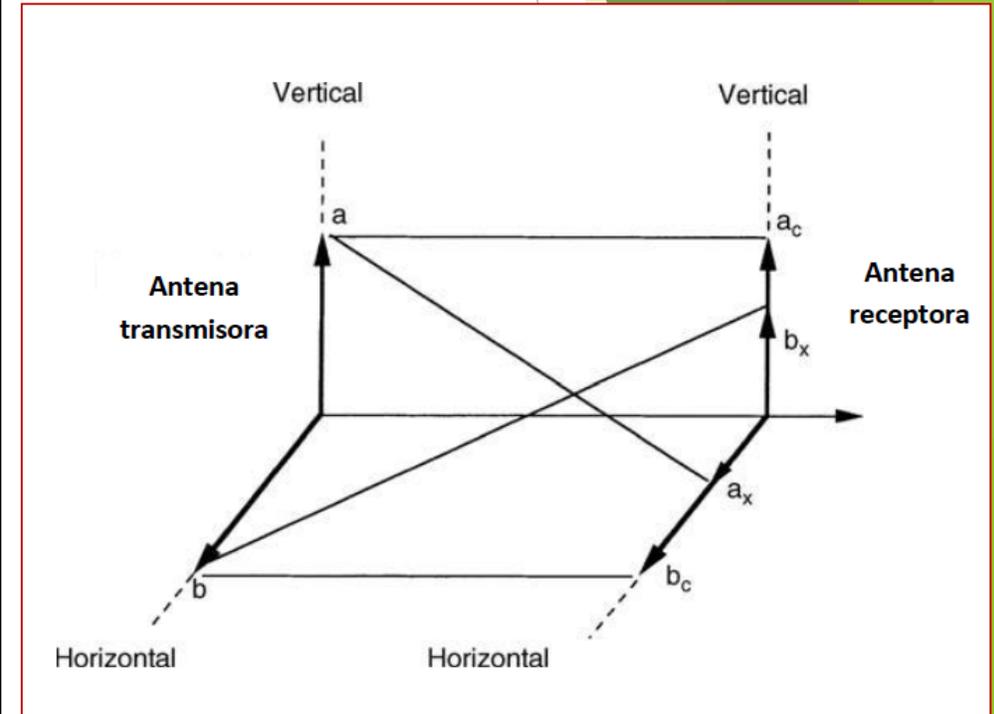
$$XPI(dB) = 20 \log (b_c / a_x)$$

Y la discriminación por polarización cruzada como:

$$XPD(dB) = 20 \log (a_c / a_x)$$

Si se conoce la relación axial de una antena con polarización circular, el aislamiento por polarización cruzada puede calcularse por:

$$XPI(dB) = 20 \log [(AR+1) / (AR-1)]$$

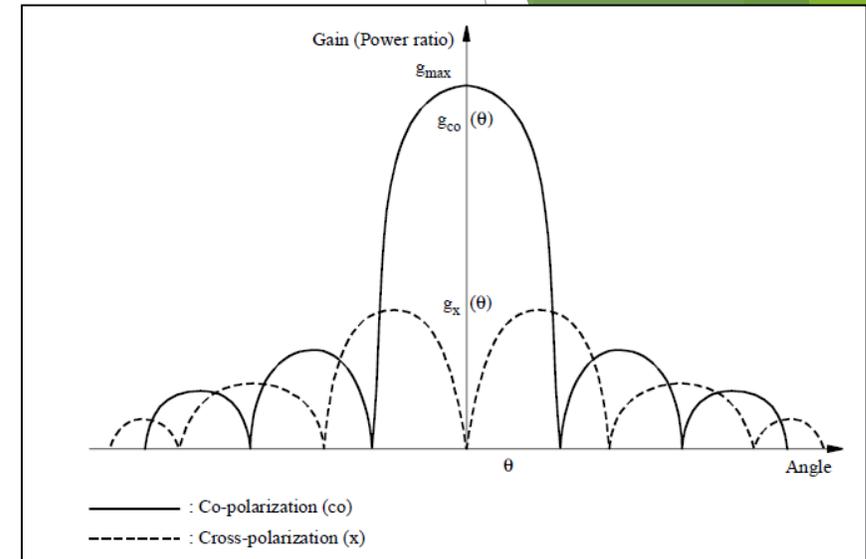




POLARIZACIÓN CRUZADA



- La discriminación por polarización cruzada es generalmente máxima en el eje de la antena y se degrada para otras direcciones donde no se tenga la ganancia máxima.
- La pureza de la polarización de una antena, tanto en la transmisión como recepción, se define generalmente por sus diagramas de co-polarización y polarización-cruzada.
- La antena se caracteriza por el aislamiento de polarización cruzada (XPI) obtenida por la relación, en una dirección dada, de las amplitudes de los campos de la antena co-polarizada y cross-polarizada. El valor XPI se obtiene midiendo las diferencias entre ambas, como muestra la figura [UIT]



$$XPI(dB) = 10 [\log G_{co}(\theta) - 10 \log G_x(\theta)]$$

Cuando $(AR) \leq 3dB$ una buena aproximación es:

$$(Aislamiento)dB = 24.8 - 20 \log(AR)$$

$$(AR)dB = 17.37 \times 10^{-(aislamiento)dB/20}$$



MEDICIÓN DE ANTENAS

- Las diapositivas que siguen muestran los resultados sobre antenas medidas que se usarán en las estaciones terrenas cuando el Sistema MEXSAT esté en operación (actualmente se realizan pruebas iniciales de funcionamiento).
- Las pruebas consistieron en medir patrones de radiación horizontal y vertical, que permitieron calcular la relación axial y a partir de ésta el Aislamiento por Polarización (XPI) y la Discriminación por Polarización.
- Aunque las mediciones sobre cuatro antenas, se hicieron en tres frecuencias de bajada y tres de subida, sólo se presentan algunos resultados para ilustración de los experimentos y ahorro de espacio.
- Como conclusión se muestran mediciones numéricas de una de las antenas y se hace un análisis de lo obtenido.



EXPERIMENTO DE MEDICIÓN DE ANTENAS

ANTENAS MEDIDAS

- ANTENA OMNIDIRECCIONAL
- ANTENA PORTABLE
- ANTENA SEMI-FIJA
- ALIMENTADOR HELICOIDAL PARA REFLECTOR PARABÓLICO

FRECUENCIAS DE MEDICIÓN

Enlace de Bajada

1527.5 MHz

1537.0 MHz

1550.0 MHz

Enlace de Subida

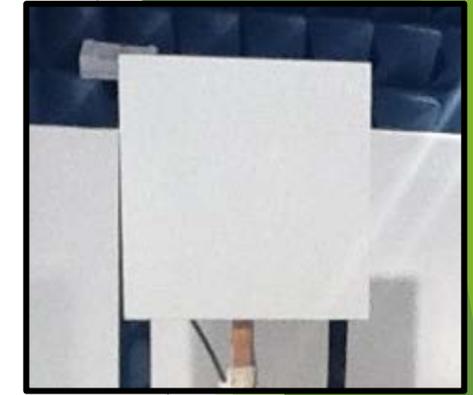
1625.5 MHz

1638.5 MHz

1651.5 MHz



ANTENA OMNIDIRECCIONAL



ANTENA SEMI-FIJA



ANTENA PORTABLE



ALIMENTADOR HELICOIDAL

NOTA: Por razones de confidencialidad no se especifican marcas ni modelos



MEDICIÓN EN LA CAMARA ANECOICA



Polarización Vertical



Polarización Horizontal

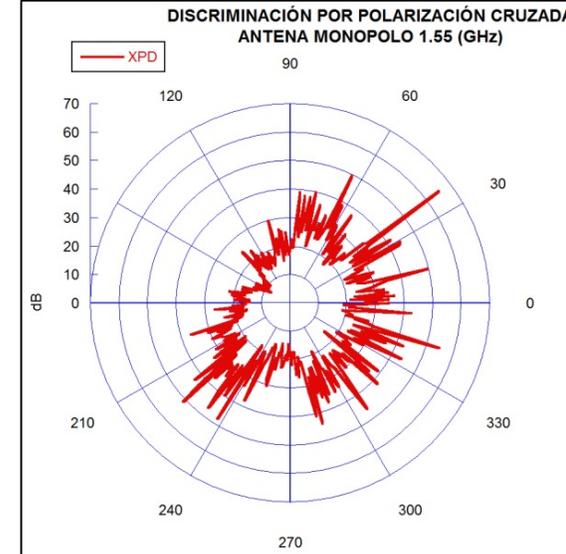
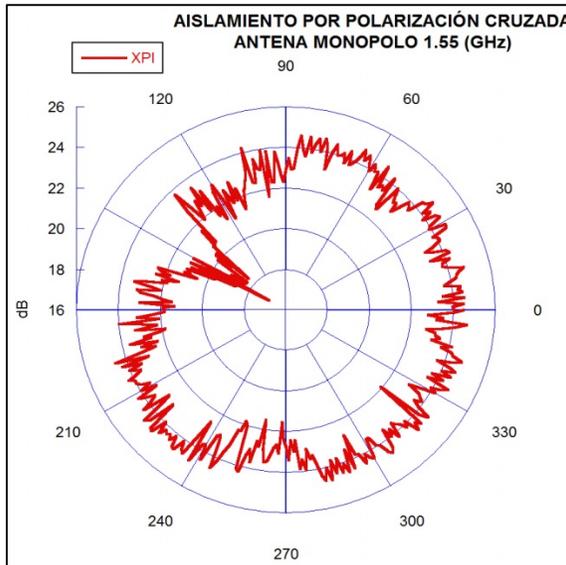
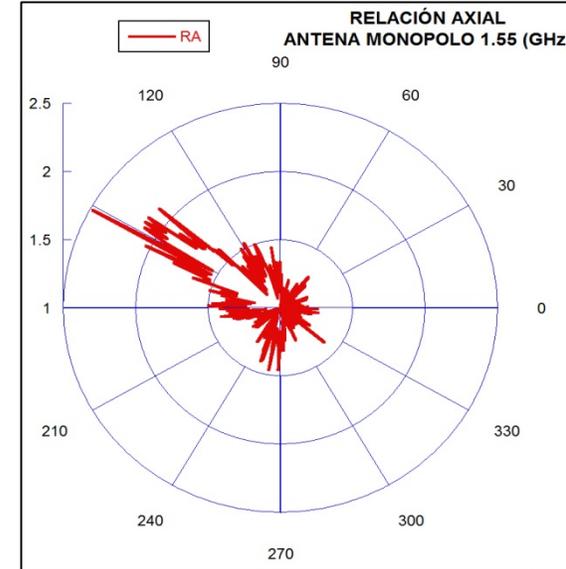
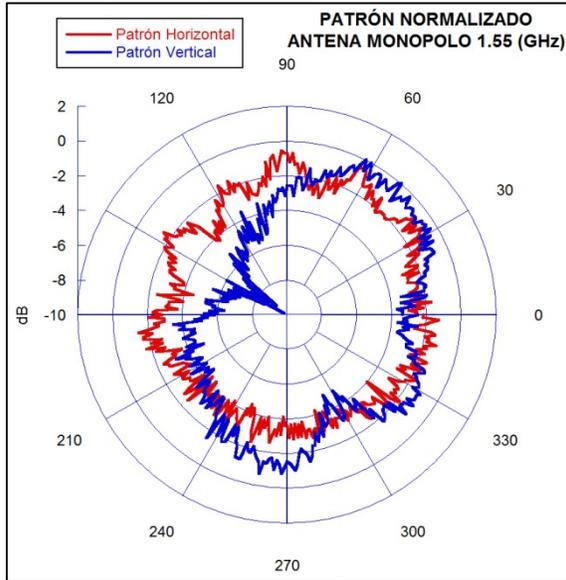


Polarización Horizontal



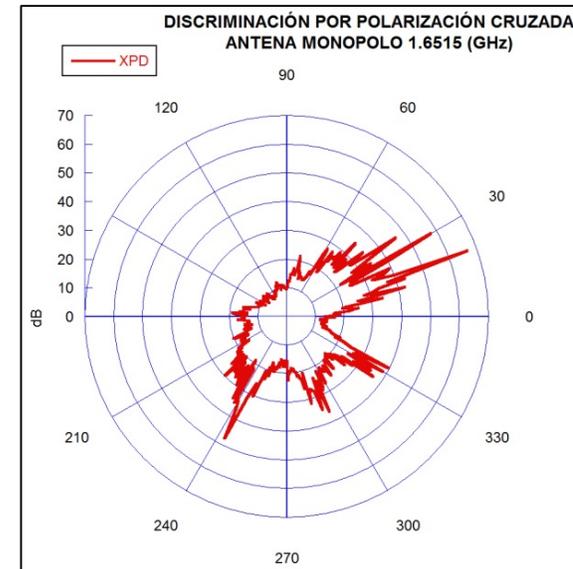
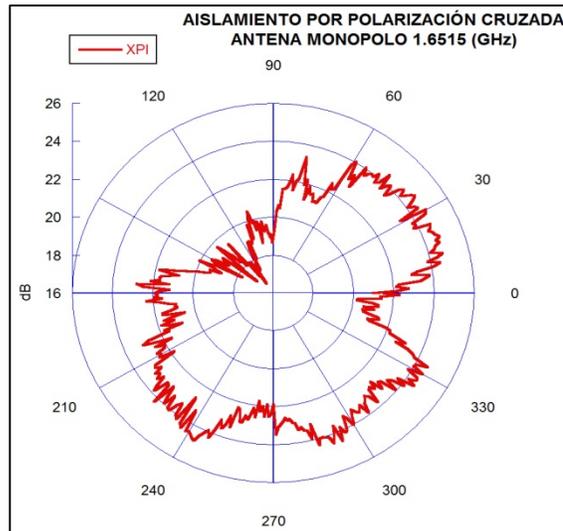
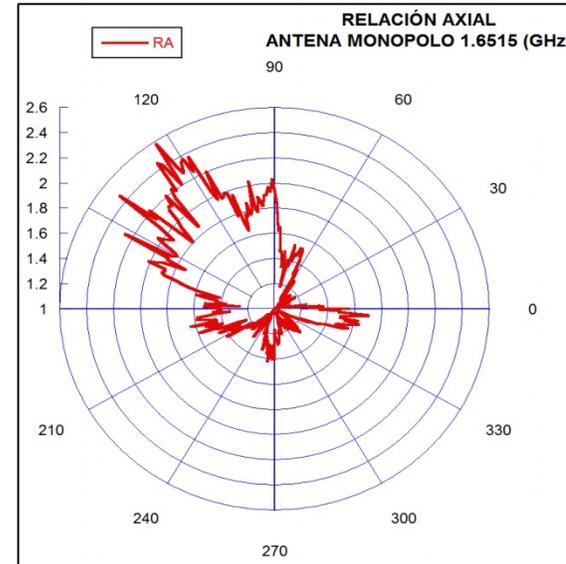
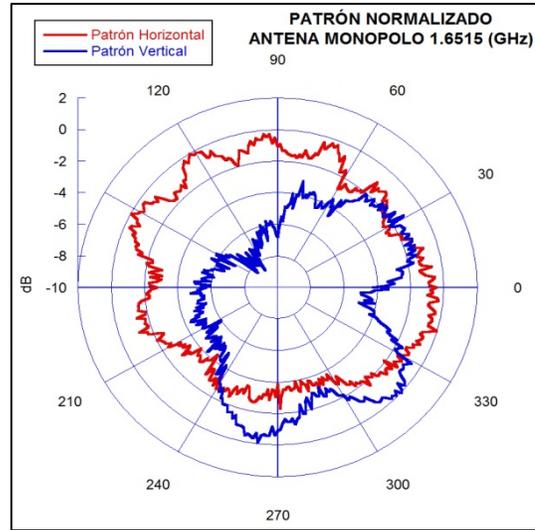


ANTENA MONOPOLO FRECUENCIA DE BAJADA 1.55 GHz



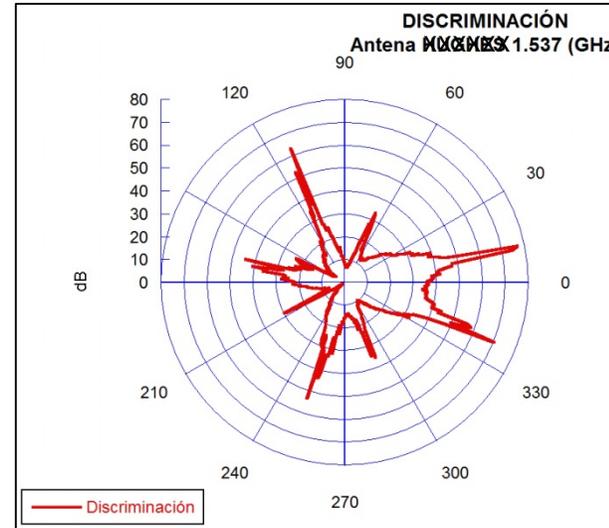
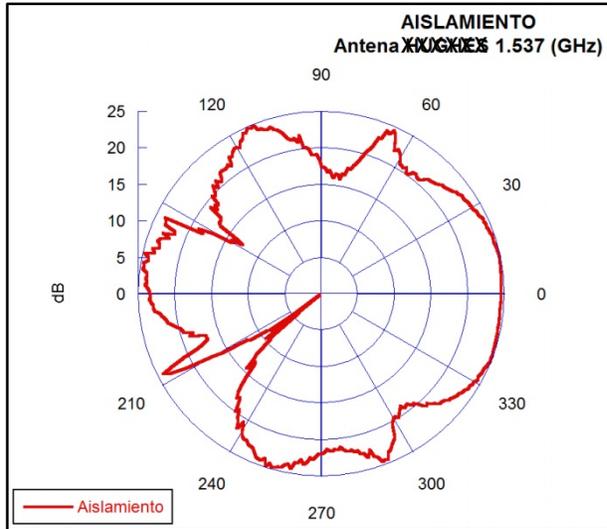
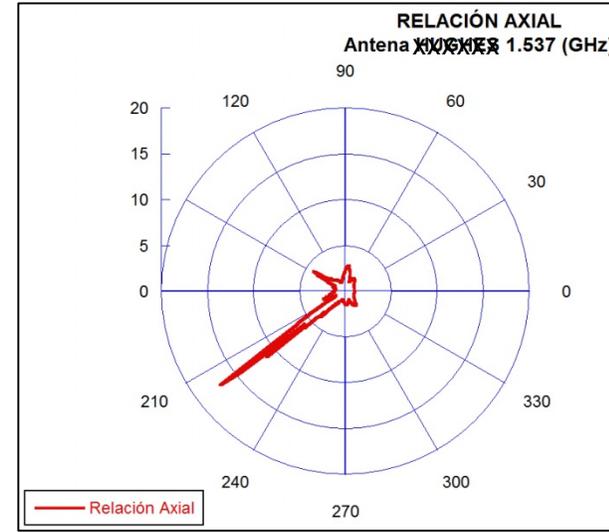
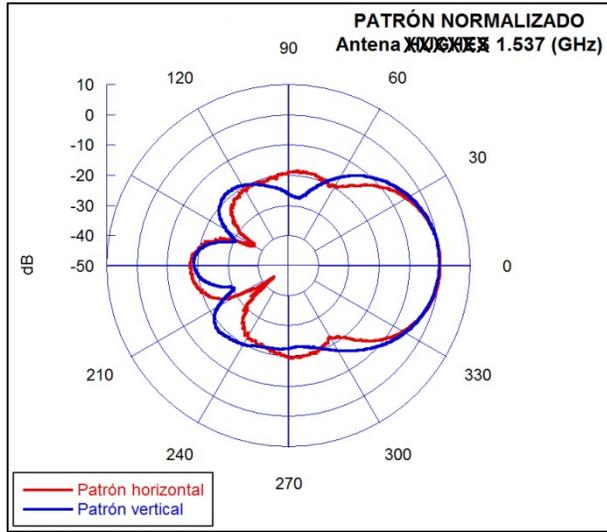


ANTENA MONOPOLO FRECUENCIA DE SUBIDA 1.6515 GHz



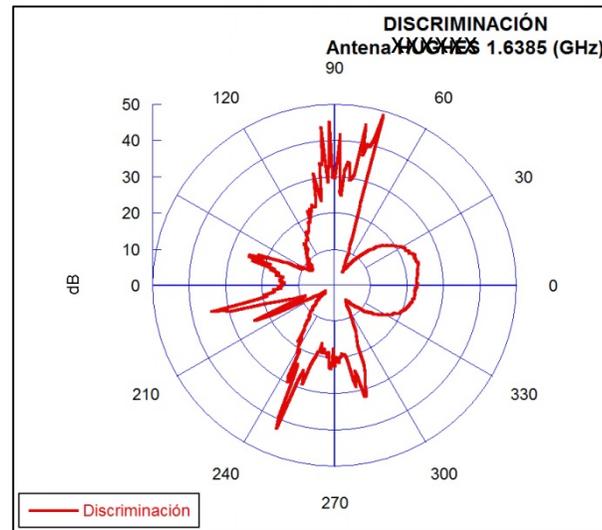
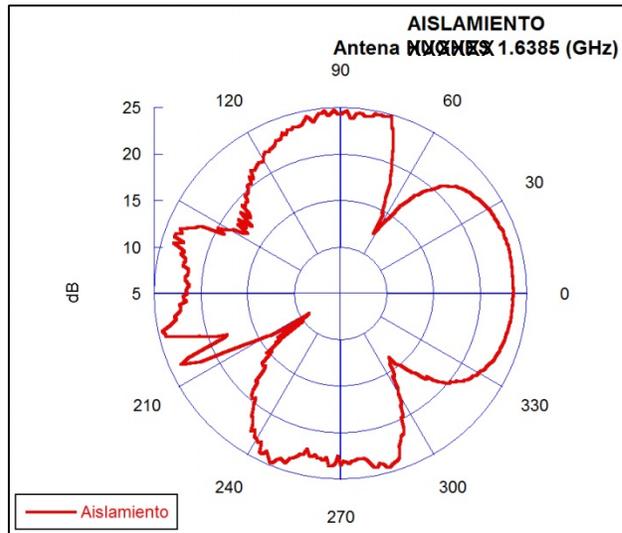
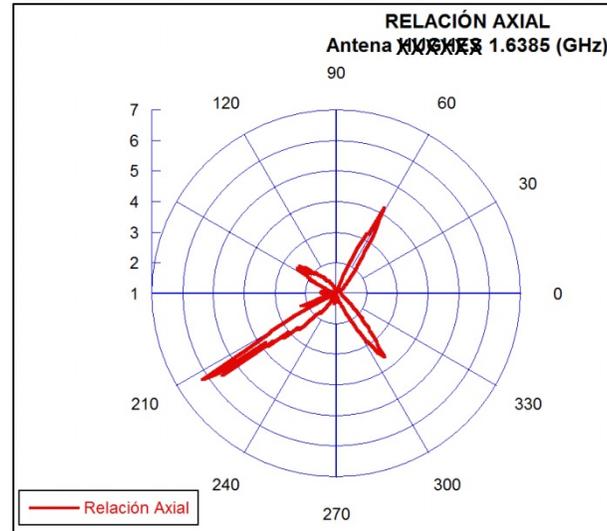
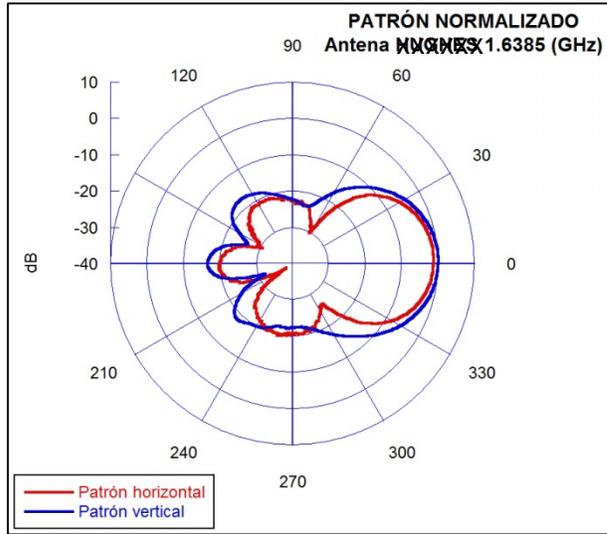


ANTENA PORTABLE FRECUENCIA DE BAJADA 1.537 GHz





ANTENA PORTABLE FRECUENCIA DE SUBIDA 1.6385 GHz





CONCLUSIONES SOBRE LA MEDICIÓN DE ANTENAS



En general las mediciones mostraron que las características de aislamiento son buenas, aunque en la portable el aislamiento es de 17 dB, en la frecuencia de subida de 1.6385 GHz en 60°, inferior a los valores en otros ángulos, lo que implica que suficiente potencia de transmisión podría generar problemas de interferencia en un satélite localizado en esa dirección. Sin embargo para ello todavía es necesario analizar los patrones de radiación de las antenas del satélite porque normalmente tienen antenas muy directivas y es poco probable que en esa dirección tenga una ganancia suficiente para ser afectada por la antena de tierra. Los experimentos con satélites reales mostraron, que el efecto es prácticamente despreciable.

La antena omnidireccional presenta aislamiento superior a 17 dB en todos los ángulos y presenta un comportamiento similar en 360°. Esta antena pudiera interferir un satélite angularmente cercano por lo que los operadores deberán acordar el aislamiento de frecuencia necesario.

Aunque los resultados de las otras dos antenas no se presentan, las mediciones muestran características similares.



EJEMPLO DE CÁLCULO DE AISLAMIENTO



La tabla que sigue es un ejemplo de las mediciones y resultados de los cálculos para obtener aislamiento y discriminación de polarización cruzada. Se construyeron tablas similares para todas las antenas

Grados	Patrón H	Patrón V	Patrón H Normalizado	Patrón V Normalizado	Relación Axial(dB)	RA	XPD dB	XPI dB
0	-35.62	-35.31	0.00	-0.31	0.31	1.04	34.85	24.49
1	-35.62	-35.30	0.00	-0.31	0.31	1.04	34.83	24.49
2	-35.62	-35.31	-0.01	-0.31	0.31	1.04	35.10	24.50
3	-35.61	-35.33	-0.02	-0.30	0.28	1.03	35.86	24.52
4	-35.62	-35.46	-0.15	-0.31	0.16	1.02	40.54	24.64
5	-35.63	-35.48	-0.17	-0.32	0.15	1.02	41.37	24.65
6	-35.65	-35.49	-0.18	-0.34	0.16	1.02	40.58	24.64
7	-35.68	-35.51	-0.20	-0.37	0.17	1.02	40.18	24.63



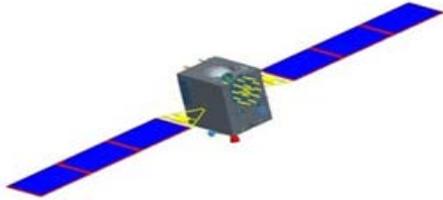
EL EXPERIMENTO

- El experimento consistió en medir la atenuación por ángulo de apuntamiento y polarización cruzada. Las mediciones se realizaron en Acapulco Guerrero, un lugar adecuado para medir interferencia con INMARSAT, debido a las aplicaciones inherentes a ese sistema.
- se usó una antena con polarización circular derecha como referencia, para comparar con las antenas de Banda L con polarización izquierda medidas en laboratorio: una Portable y una Semi-Fija.
- La antena de referencia y cada una de las otras se apuntaron para tomar mediciones de Solidaridad 113°W y de tres satélites INMARSAT: 53°W , 98°W Y 142°W
- Las mediciones determinan la atenuación por polarización y ángulo de apuntamiento que permite calcular C/I del sistema en tierra. C representa la señal deseada de INMARSAT e I la señal interferente de Solidaridad. La tabla siguiente muestra los resultados obtenidos.



ESQUEMA DE MEDICIÓN

SATÉLITE INMARSAT



Señal INMARSAT

SATÉLITE SOLIDARIDAD



Señal Solidaridad
en Banda L

Polarización
circular derecha



Antenas
Bajo prueba

Polarización
circular izquierda



Tx en banda
Ku

Analizador de
Espectro





MEDICIONES C/I EN ACAPULCO



INTERFERENCIA INMARSAT CONTRA SOLIDARIDAD				
SATÉLITE INMARSAT	APUNTANDO A INMARSAT CON SEMIFIJA	C/I (dB)	APUNTANDO A INMARSAT CON PORTABLE	C/I (dB)
142°	-131.30 -(-149.86)	18.56	-131.30-(-156)	MAYORA 24.7
98°	-131.30 -(-156)	MAYOR A 24.5	-131.30-(-156)	MAYOR A 24.7

- El piso de ruido del analizador de espectro usado en la prueba es de -156 dBmW, el término “MAYOR A” en la tabla, indica que la medición no fue detectada por ser inferior a ese valor.
- La relación **C/I** real del sistema que incluye tanto la atenuación debida a la dirección de apuntamiento como al cambio de polarización se obtiene restando la potencia deseada (INMARSAT), recibida por la antena de referencia en la misma polarización derecha, de la recibida en las antenas de polarización izquierda, en la dirección de la señal interferente (Solidaridad).
- Se observa de los resultados que el nivel mínimo de **C/I** medido es **18.56 dB**,



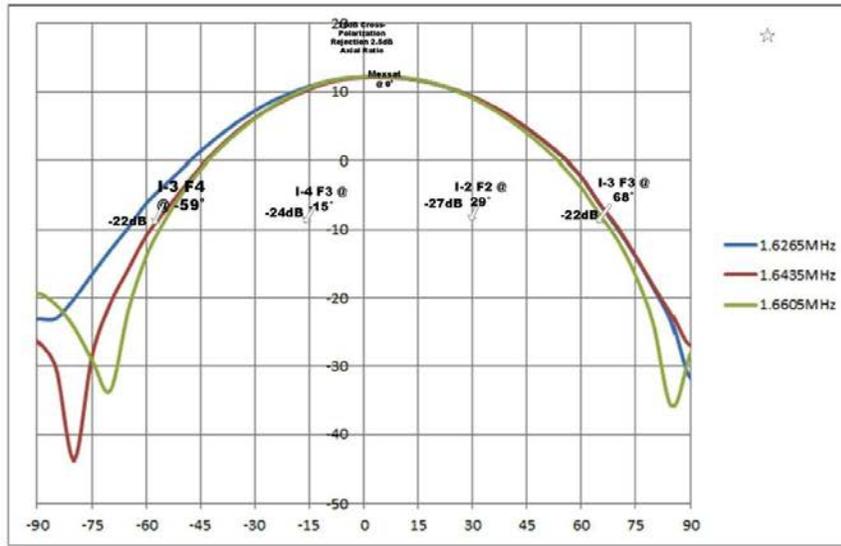
COMPARACIÓN DE MEDICIONES CON SIMULACIÓN



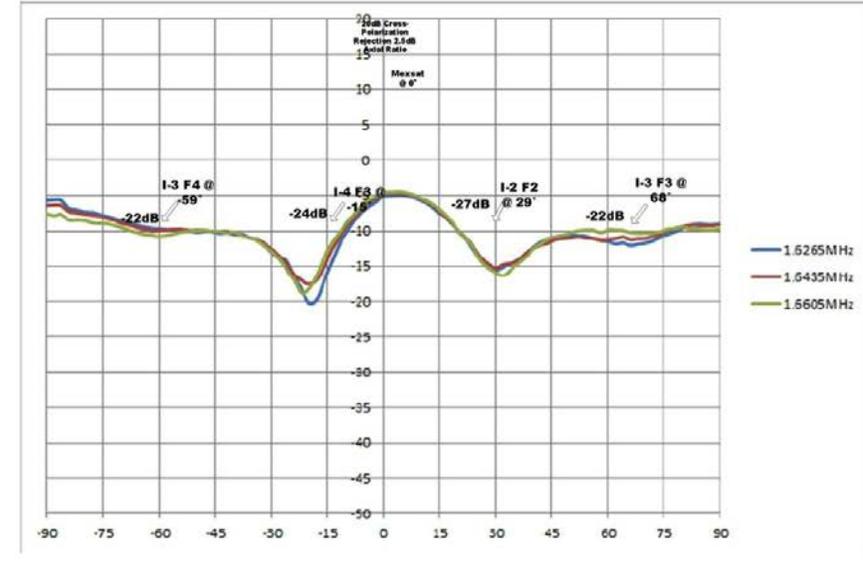
- Para efectos de comparación se presentan a continuación resultados de simulación en computadora.
- Las gráficas muestran patrones de radiación simulados sobre antenas similares a las usadas en los experimentos de Acapulco, cuando son iluminadas con señales de polarización circular izquierda y derecha.
- Las gráficas muestran los efectos de discriminación por polarización y posición, comparando las mediciones en la posición de MEXSAT (sobre el eje) y las posiciones de los satélites INMARSAT 53°W , 98°W y 142°W (fuera del eje).
- Los ángulos indicados en las gráficas 68° , 29° y -59° se refieren a la posición relativa de los satélites INMARSAT respecto de MEXSAT.



SIMULACIÓN DE INTERFERENCIA DE LA ANTENA PORTABLE



a. Polarización izquierda

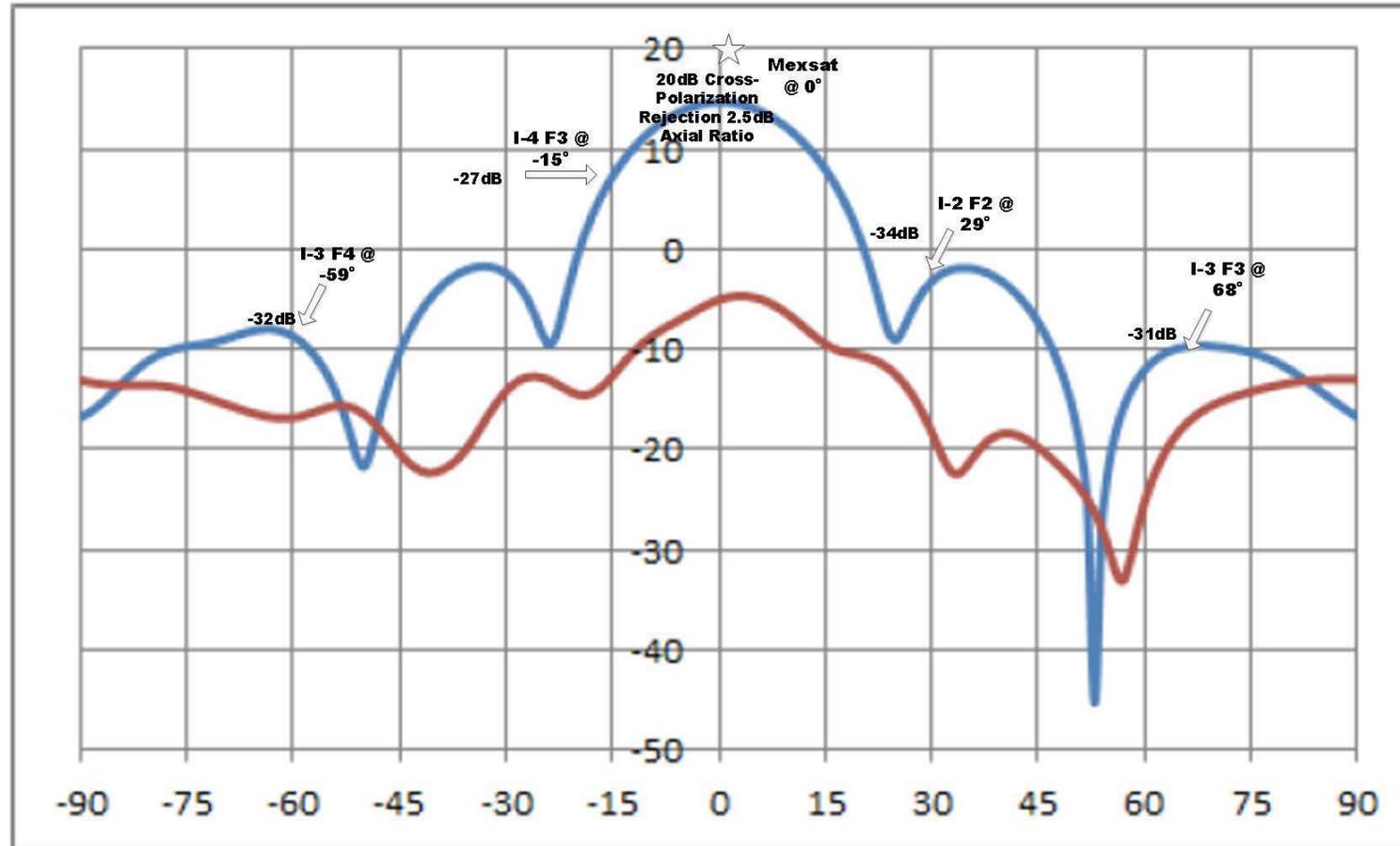


b. Polarización derecha

Si se supone que la antena está apuntando a MEXSAT, los ángulos fuera de eje definen la posición de los satélites INMARSAT, tanto en polarización izquierda (gráfica a.) como de polarización derecha (gráfica b.). La diferencia b-a es la atenuación por polarización y posición angular de INMARSAT. La diferencia b-a es la C/I en cada posición.



SIMULACIÓN DE INTERFERENCIA DE LA ANTENA SEMI-FIJA



Polarización izquierda azul
Polarización derecha rojo



COMPARACIÓN DE RESULTADOS



SATÉLITES INMARSAT	ANTENA	C/I (dB) TELECOMM	C/I (dB) SIMULACIÓN
142 °	Portable	18.56	22
	Semifija	MAYOR A 24	32
98°	Portable	MAYOR A 24	27
	Semifija	MAYOR A 24	34



CONCLUSIONES FINALES



- De los resultados de las mediciones tanto en laboratorio como las del experimento en Acapulco, se concluye:
- Las coincidencias entre las simulaciones y las mediciones en Acapulco, corroboran la validez del experimento y refuerzan la metodología usada.
- La medición representa la C/I real entre los dos sistemas en operación.
- Para las antenas genéricas usadas en los experimentos, la menor C/I detectada es de 18.56 dB.
- Es evidente que el cambio de Polarización Circular Derecha a Izquierda, incluyendo la atenuación por ángulo de apuntamiento, genera suficiente atenuación en las estaciones terrenas, para asegurar la convivencia entre MEXSAT e INMARSAT.
- Estos resultados permitieron fundamentar a MEXSAT su posición en defensa de la factibilidad de operación de sus satélites en Banda L.