

LABORATORIO DE ANTENAS Y CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS

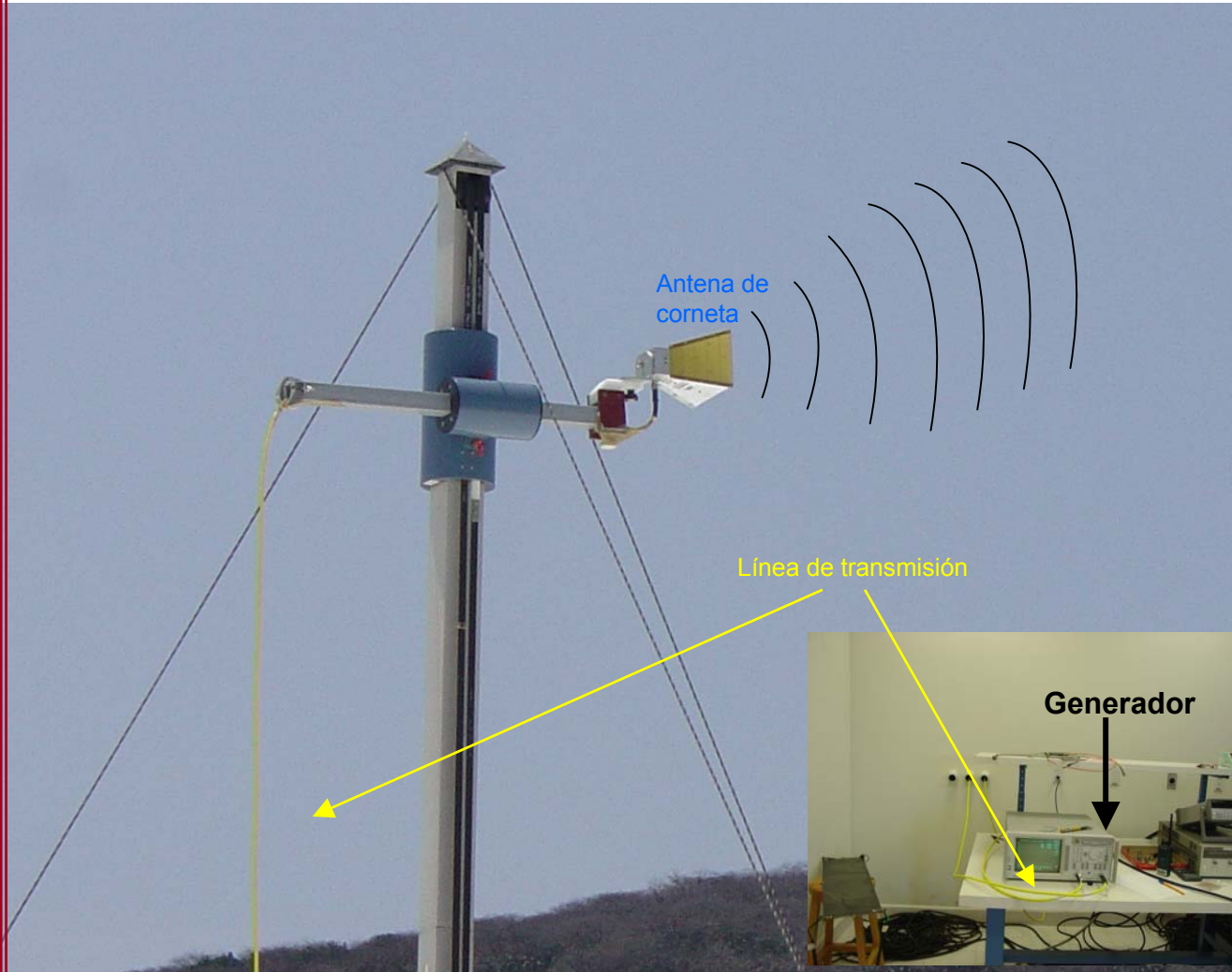


Personal de los Laboratorios:

Responsables: Israel García Ruiz, Victoria Molina López

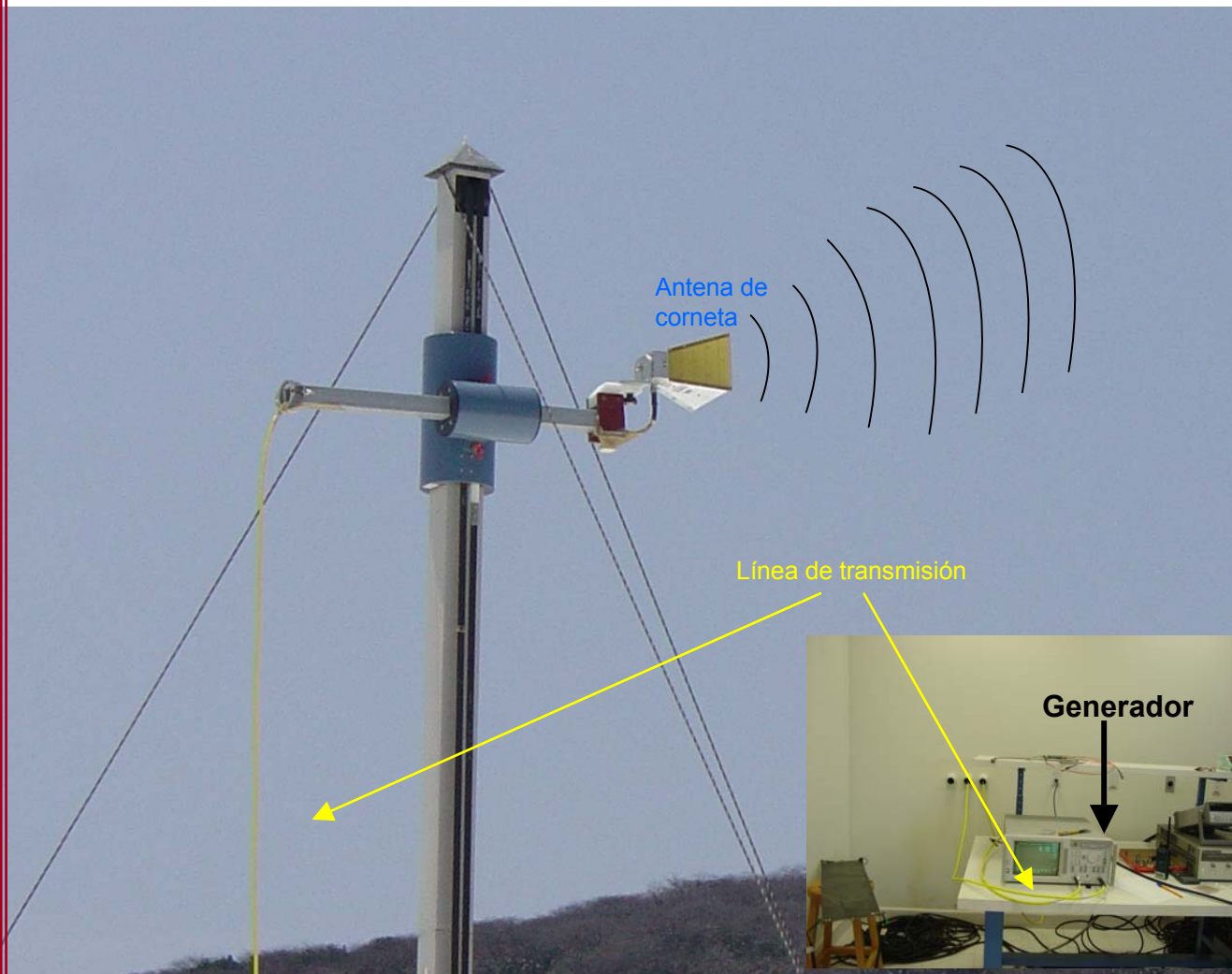
E-mail: vmolina@cenam.mx; igarcia@cenam.mx;

INTRODUCCIÓN



Una antena es un dispositivo que constituye la interfaz entre campos electromagnéticos guiados en una línea de transmisión y campos electromagnéticos radiados en el espacio.

CARACTERÍSTICAS QUE DEBEN MEDIRSE



Ancho de banda

Coefficiente de Reflexión

Directividad

Ganancia

Factor de antena

Diagrama de radiación

El diseño de una antena en particular depende del campo de aplicación.

Criterios de diseño:

Ancho de banda

Es el intervalo de frecuencias en el que la antena funciona de acuerdo a una serie de características preestablecidas.

Coefficiente de reflexión

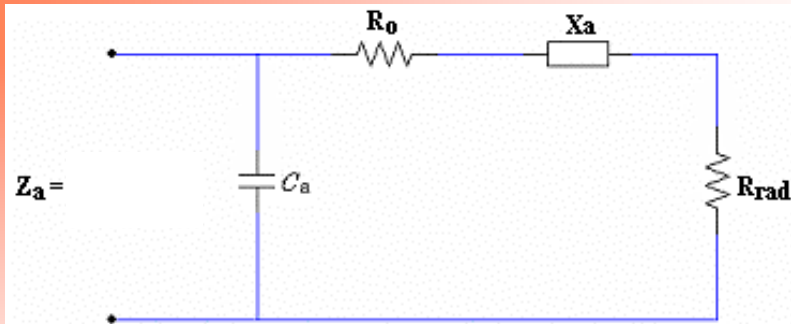
Medida del acoplamiento de la impedancia de la antena y la impedancia característica de la línea de transmisión

Cuando es cero: toda la energía entregada a la antena se transfiere al espacio

El diseño de una antena en particular depende del campo de aplicación.

Criterios de diseño:

Resistencia de radiación



R_0 - pérdidas por calentamiento

X_a - inductancia del alambre y otros efectos (impedancia mutua)

C_a - capacitancia parásita entre las terminales de salida de la antena

R_{rad} - no es una componente física pero sirve para calcular la potencia total recibida o transmitida

Z_a - impedancia total de la antena, la cual debe acoplarse a la línea de transmisión.

CARACTERÍSTICAS QUE DEBEN MEDIRSE

El diseño de una antena en particular depende del campo de aplicación.

Criterios de diseño:

Directividad

$$= \frac{\text{Intensidad de radiación en una dirección dada}}{\text{Intensidad de radiación promediada en todas direcciones.}}$$

Ganancia

$$G = (\text{Directividad})(\text{Eficiencia})$$

Peor caso: $G=0$
Caso deseable: $G=D$

Factor de Antena

$$FA = \frac{\text{Campo eléctrico captado por la antena}}{\text{Tensión medida en el receptor}}$$

El diseño de una antena en particular depende del campo de aplicación.

Criterios de diseño:

Apertura

$$\text{Apertura} = \frac{\text{Potencia máxima disponible en las terminales de una antena receptora}}{\text{Densidad de potencia de una onda plana incidente}}$$

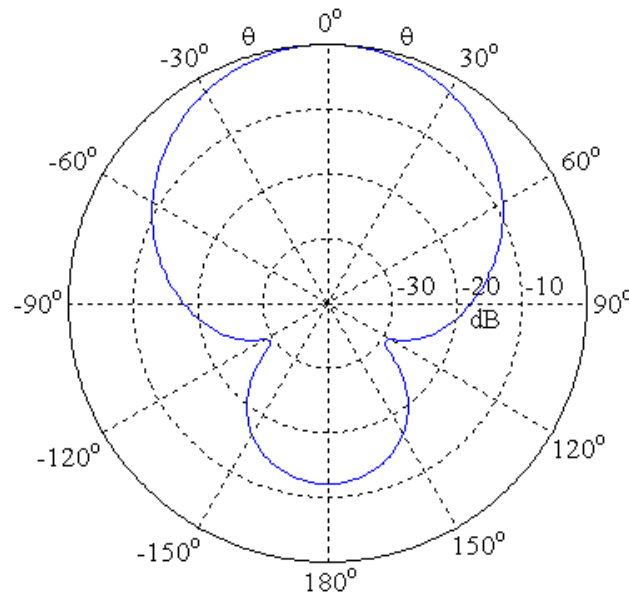
Puede ser mayor o menor que el área física de la antena. Cuanto mayor sea, mejor será la recepción.

Polarización

Se dice que una antena está polarizada verticalmente cuando las líneas de campo eléctrico de la antena están perpendiculares a la superficie de la tierra. Cuando las líneas de campo eléctrico están paralelas a la superficie de la tierra, se tiene polarización horizontal.

Diagrama de radiación

El diagrama de radiación es una representación grafica en tres dimensiones de la distribución de energía de un radiador en función de la dirección.



Se mide a una distancia constante en la región de campo lejano de la antena y comúnmente se gráfica en términos de una potencia relativa, es decir la potencia radiada se gráfica como un valor normalizado con respecto a la potencia en la dirección de radiación máxima. La potencia en la posición de radiación máxima se refiere como 0 dB, entonces la potencia en todas las demás direcciones resulta un valor negativo.

El sitio de calibración a campo abierto del CENAM, de aquí en adelante denotado como CALTS-CENAM (por sus siglas en inglés, *Calibration Test Site*), es una de las instalaciones más importantes con las que se cuenta en el CENAM.

Este CALTS-CENAM también puede emplearse como sitio de pruebas a campo abierto (OATS, *Open Area Test Site*) para mediciones de perturbaciones radiadas en el área de Compatibilidad Electromagnética (EMC, *Electromagnetic Compatibility*).

Con un presupuesto aproximado de 5 millones de pesos y en un tiempo estimado de 5 años, el CALTS-CENAM se construyó en el lado sudoeste de las instalaciones del CENAM, en el municipio del Marqués en el estado de Querétaro.

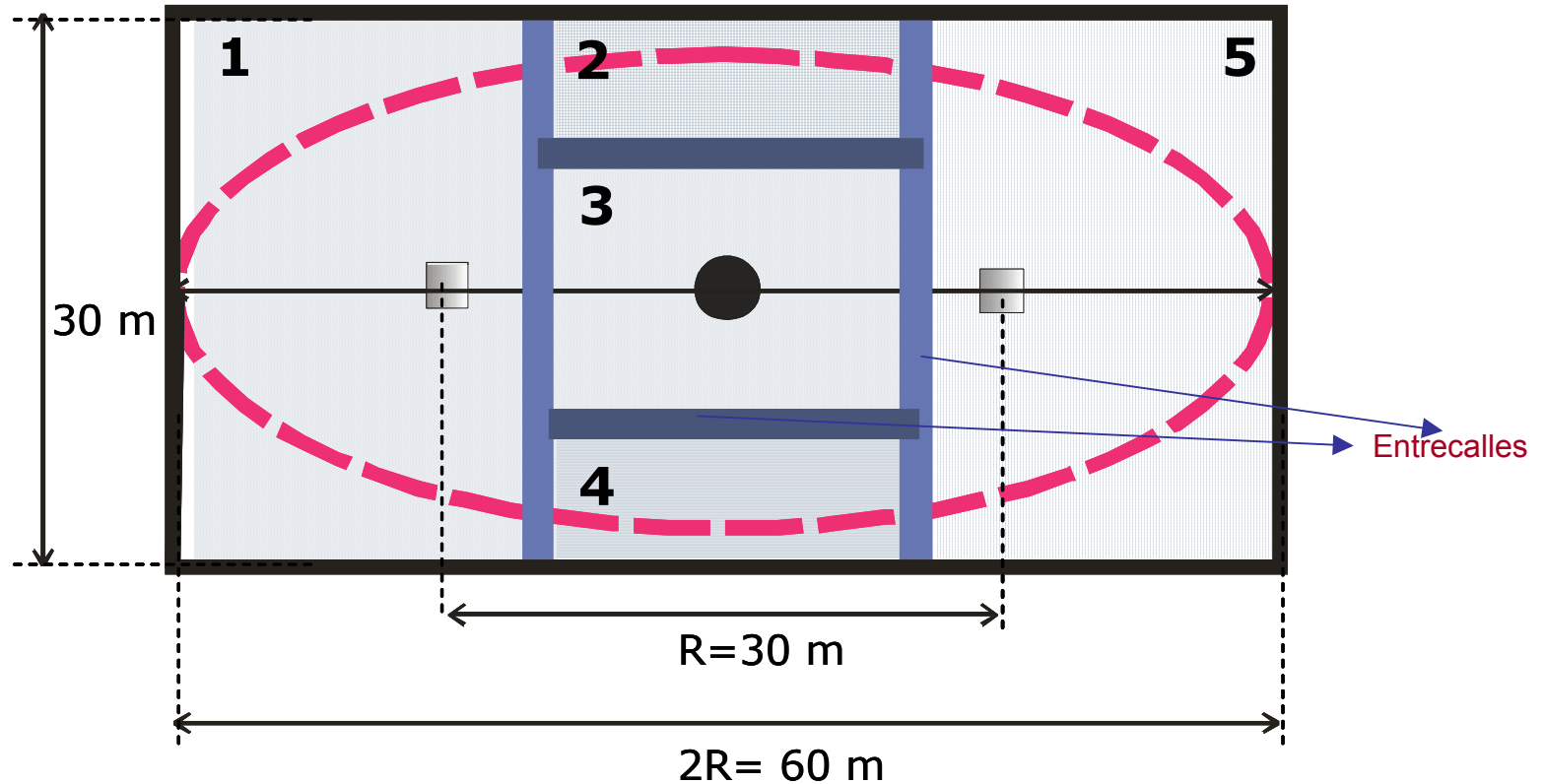
Las características de diseño y construcción del CALTS-CENAM están basadas en las recomendaciones de la norma internacional CISPR16-1. El CALTS-CENAM se diseñó y construyó para tener 60 m de longitud y 30 m de anchura, esto es una superficie de 1800 m² de láminas de acero negro soldadas entre sí formando 5 secciones principales y separadas por secciones llamadas entrecalles (véase la siguiente diapositiva), las cuales sirven para considerar los efectos de dilatación y contracción del metal.

A lo largo del eje central se instalaron registros que permiten hacer conexiones subterráneas para realizar mediciones en distancias de prueba desde 1 m hasta 30 m. En la parte central se aloja un tornamesa de 1,20 m de diámetro cuyo propósito es poder girar un equipo bajo calibración (EBC). El barrido angular se puede realizar de 0° a 360°, según cada caso, para medir en cada punto el campo eléctrico que radie un EBC.

SITIO DE CALIBRACIÓN DE ANTENAS A CAMPO ABIERTO

1. Plano de tierra: 1800 m² de acero negro

2. El CALTS-CENAM está formado por 5 secciones principales



En la siguiente diapositiva se muestra el CALTS-CENAM sobre el cual se han representado los diversos efectos en la propagación de una señal electromagnética cuando alrededor del emisor se tienen objetos dispersores y reflectores.

Así mismo, en la diapositiva siguiente se pueden observar los diferentes mecanismos de propagación de una onda electromagnética dependiendo del intervalo de frecuencias de operación.

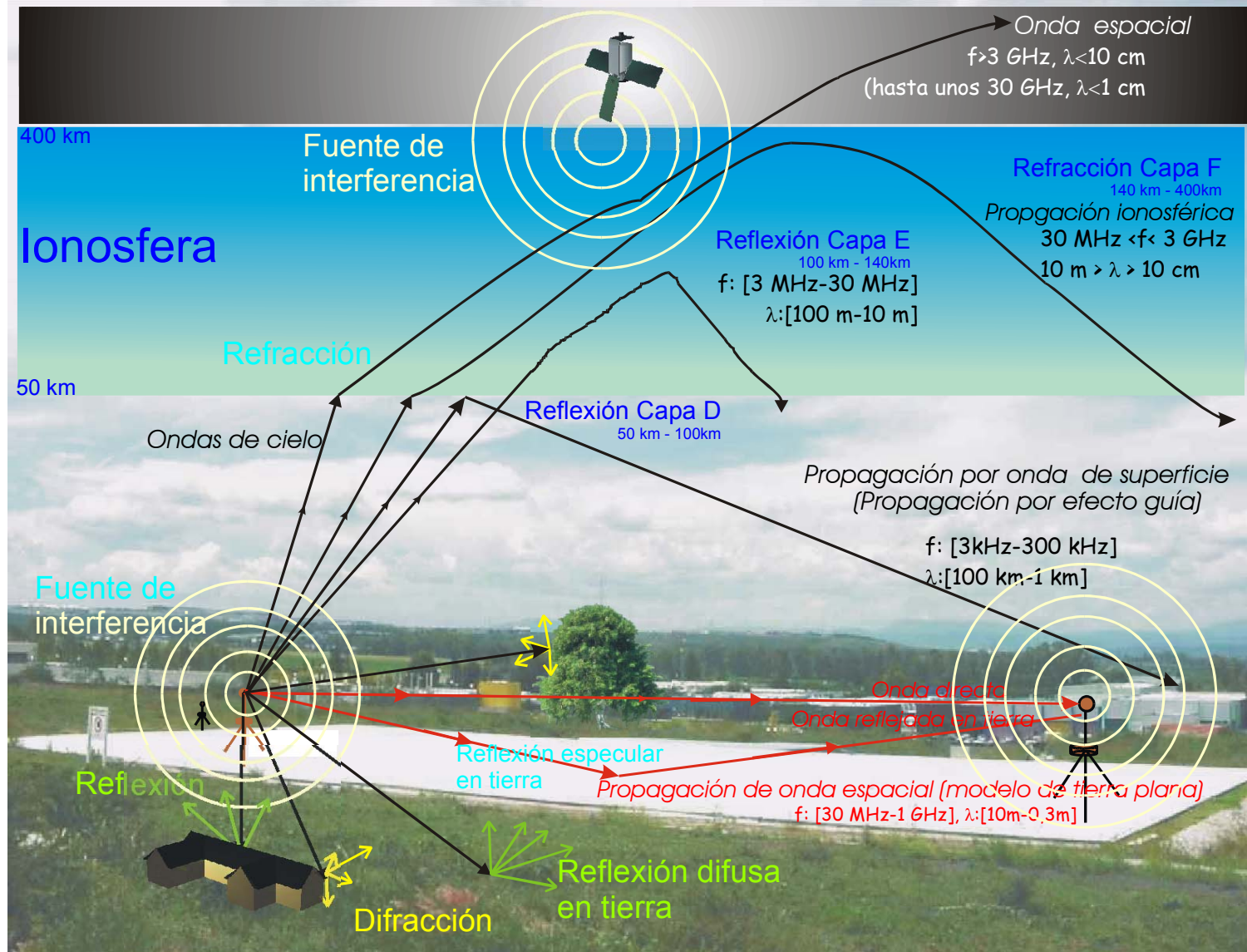
Sobre el CALTS-CENAM, en el intervalo de 30 MHz a 1 GHz, el mecanismo de propagación de onda espacial se obtiene cuando en el plano de tierra se consigue reflexión especular. Este mecanismo de propagación permite la calibración de antenas de alambre tipo dipolo (*wire antennas*) y medición de campos electromagnéticos en dicho intervalo de frecuencia.

Pruebas preliminares sobre la rugosidad del CALTS-CENAM mostraron que la diferencia máxima de la altura entre dos puntos del campo de antenas es del orden de $7 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$ en un área central de $30 \text{ m} \times 15 \text{ m}$; y del orden de $10,1 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$ entre dos puntos en el resto del plano.

El CALTS-CENAM cumple con el criterio de Rayleigh para la realización de pruebas (y también para la calibración de antenas):

Distancia de Pruebas [m]	CISPR 16-1: Máximo valor RMS de rugosidad a 1 GHz [cm]	Máximo valor RMS de rugosidad Logrado en el CALTS-CENAM) [cm]
3	4,5	$0,7 \pm 0,2^*$
10	8,4	$0,7 \pm 0,2^*$
30	14,7	$1,1 \pm 0,2^*$

SITIO DE CALIBRACIÓN DE ANTENAS A CAMPO ABIERTO



SERVICIOS DE CALIBRACIÓN

La clasificación de los servicios de calibración se puede hacer como sigue:

1. Intervalo de 10 kHz a 1300 MHz. Para servicios de calibración de antenas de alambre y medidores de intensidad campo, así como en medición de **emisiones radiadas y conducidas**. La distancia de prueba podrá estar en el intervalo de 1 m a 30 m.

En el caso de mediciones de emisiones electromagnéticas radiadas por equipos que usualmente se emplean sobre el piso o sobre escritorios, la única limitación será que el tornamesa pueda soportar el EBC.

2. Intervalo de 1 GHz a 20 GHz. Para servicios de calibración de antenas de telecomunicaciones altamente directivas y dimensionalmente pequeñas.

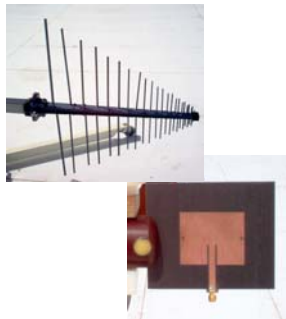
Las magnitudes más importantes comprendidas dentro de los alcances de medición de este laboratorio son las siguientes: factor de antena; ganancia y patrón de radiación de antenas; intensidad de campo eléctrico; y funciones de transferencia de transductores de campo tales como sondas, redes artificiales de alimentación y abrazaderas absorbentes.

SERVICIOS DE CALIBRACIÓN

SITIO DE CALIBRACIÓN DE ANTENAS A CAMPO ABIERTO (CALTS-CENAM)



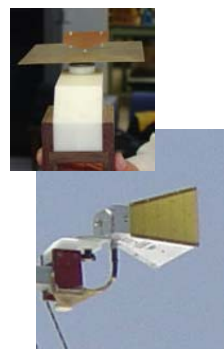
100 kHz a 1,3 GHz



- i. **Calibración de antenas de alambre:**
monopolos, dipolos, antenas de lazo, y todas sus variantes como por ejemplo: bicónicas, dipolos doblados, arreglos de dipolos, etc.

Método: Plano de tierra reflector con Atenuación de Sitio Normalizada (ASN) conocida.

1GHz a 18 GHz

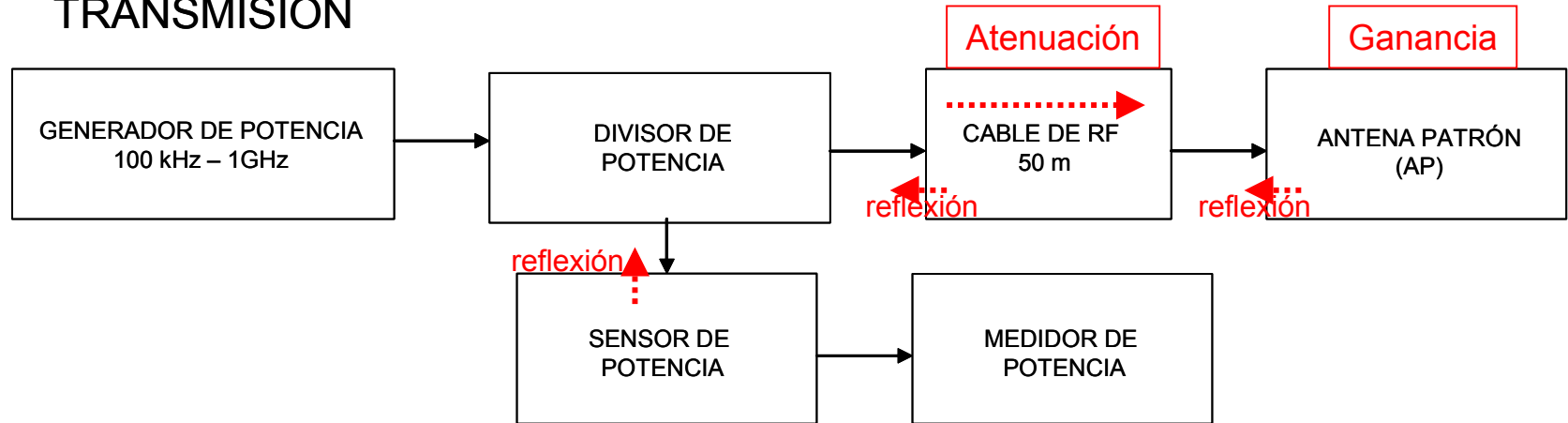


- ii. **Calibración de antenas de microondas:**

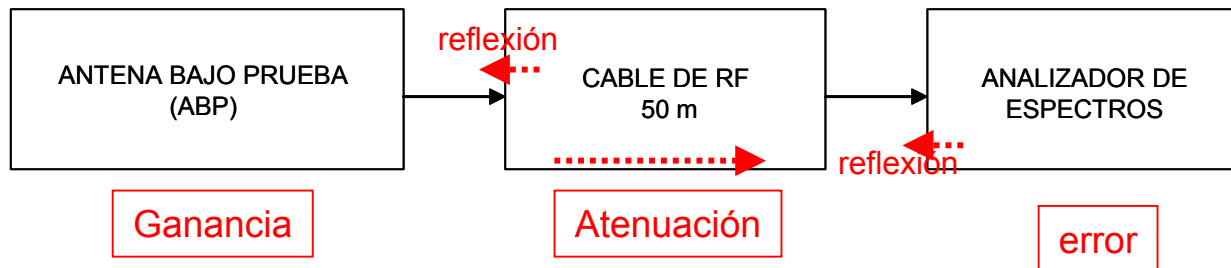
pequeños dipolos, arreglos logarítmicos, antenas de corneta y sus variantes, antenas de parche, etc.

Método: Empleo de una antena patrón en espacio libre de reflexión

TRANSMISIÓN

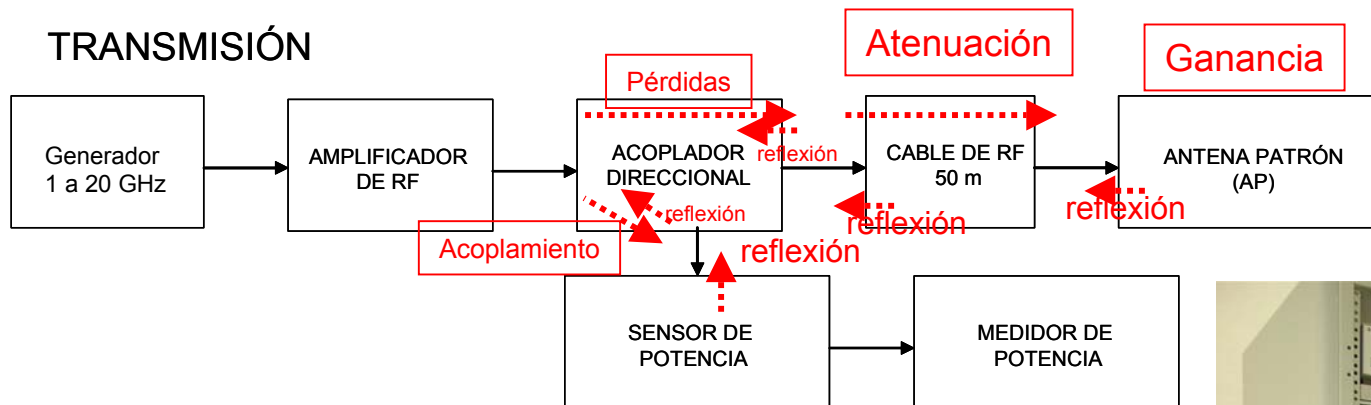


RECEPCIÓN

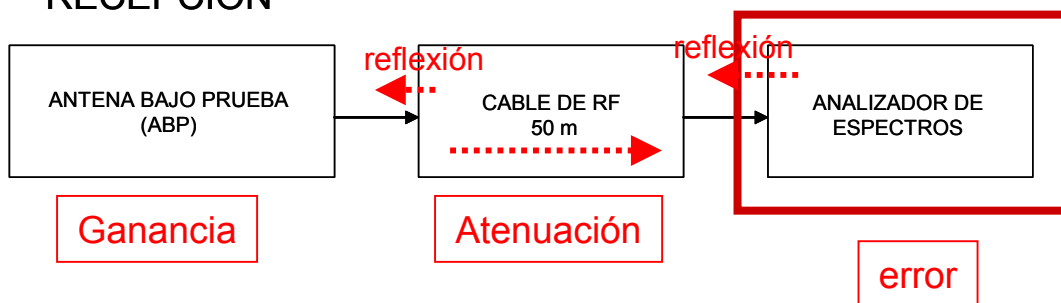


■ Efectos a considerar durante la caracterización del sistema de medición

TRANSMISIÓN

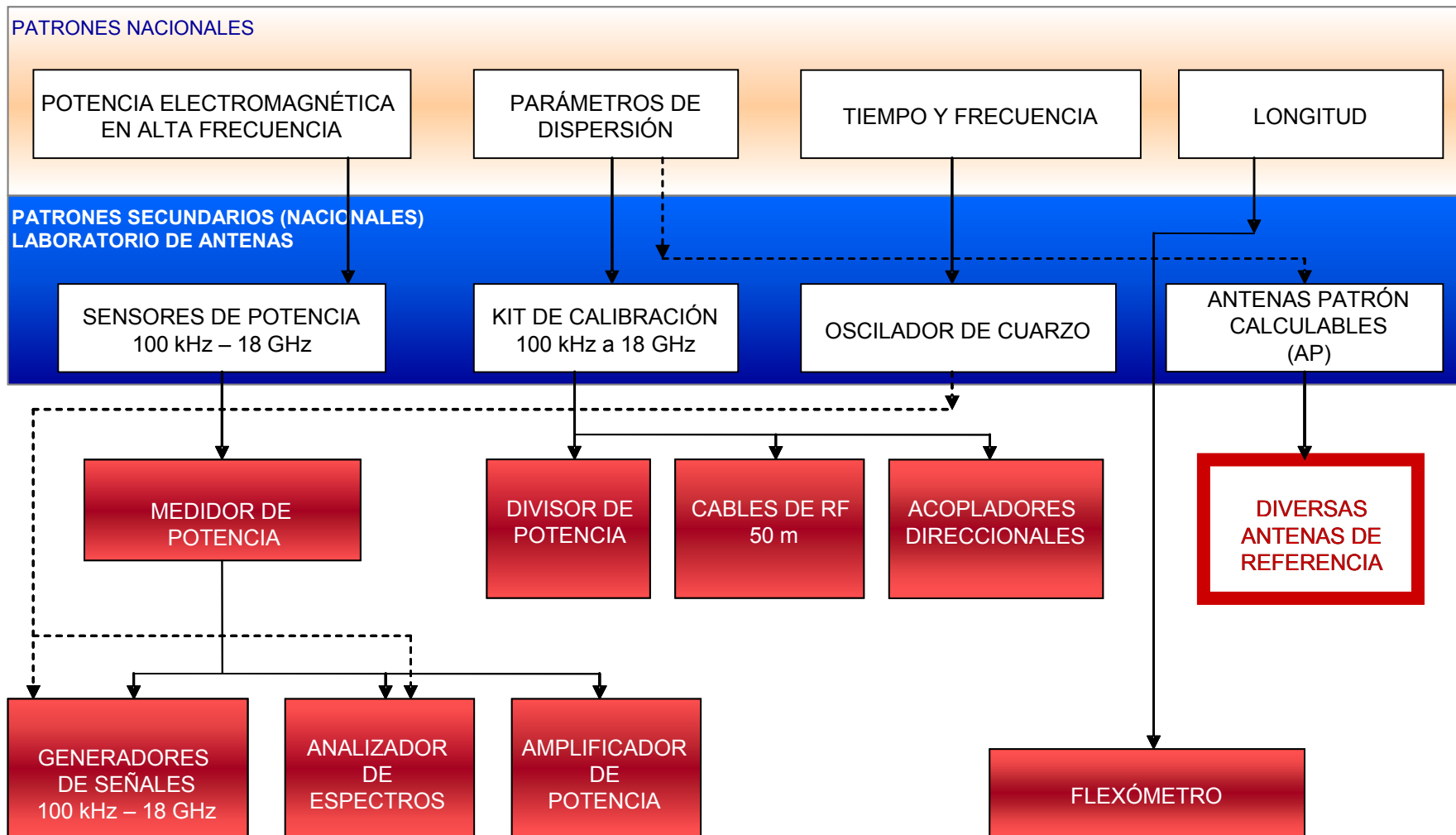


RECEPCIÓN



■ Efectos a considerar durante la caracterización del sistema de medición

TRAZABILIDAD





Incertidumbre estándar combinada en la medición del Coeficiente de Reflexión

f [GHz]	u(x) [V/V]
de 1 a 2	0,0010
2,1 a 7,8	0,0015
7,9 a 18	0,0020

MEDICIÓN DEL DIAGRAMA DE RADIACIÓN



$$P_{rel} = \frac{P_r}{P_{rmax}}$$

donde:

P_{rel} es la potencia relativa

P_r es la potencia recibida por la AP

P_{rmax} es la potencia recibida en el *boresight* por la ABP

GANANCIA

$$P_r = P_d A_r = \frac{P_t G_t}{4\pi R^2} \frac{G_r \lambda^2}{4\pi}$$

$$P_r = P_t G_t G_r \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2$$

$$G_r = \frac{P_r}{P_t G_t \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2 A_1 A_2}$$

donde:

P_r es la potencia recibida por la ABP

P_t es la potencia transmitida por la AP

G_r es la ganancia lineal de la ABP

G_t es la ganancia lineal de la AP

λ es la longitud de onda a la frecuencia de prueba

R es la distancia de prueba entre la AP y la ABP

A_1, A_2 son las atenuaciones de los cables de RF en la transmisión y recepción respectivamente.



FACTOR DE ANTENA

$$AF = \frac{9.73}{\lambda \sqrt{G_r}}$$

donde:

AF es el factor de antena

G_r es la ganancia lineal de la antena receptora y está dada por la ecuación (3).



Calibración de una antena de corneta de doble cresta en el intervalo de 1 GHz a 20 GHz en el CALTS-CENAM a una distancia de prueba de 3 m.



Automatización de los sistemas de medición en el interior del Lab. de Antenas y Campos Electromagnéticos.



Calibración de una antena para comunicaciones personales (PCS) a 2.5 GHz en el CALTS-CENAM. A la izquierda: vista de los mástiles que sostienen la antena patrón y la antena bajo calibración. A la derecha: vista de la operación de los instrumentos al interior del laboratorio.



Calibración de una antena de ultra banda ancha en el intervalo de 2 GHz a 18 GHz en el CALTS-CENAM a una distancia de prueba de 30 m. A la izquierda: vista de los mástiles que sostienen la antena patrón y la antena bajo calibración. A la derecha: vista de la operación de los instrumentos al interior del laboratorio.



Calibración de una antena para comunicaciones móviles a 900 MHz en el CALTS-CENAM a una distancia de prueba de 10 m.