

94 20j



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

“ APLICACION DE LA TEORIA DE LA PELICULA DELGADA EN EL DISEÑO Y CONSTRUCCION DE REFLECTORES PARABOLICOS ”

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

PRESENTAN:

JORGE ANTONIO MERINO ROJAS
CARLOS ARTURO GARZA MENDEZ

DIRECTOR DE TESIS :

M. EN C. AMANDA GOMEZ G.

MEXICO, D. F.

1990



TESIS CON FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



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 está 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.

CONTENIDO

PREFACIO.....	1
---------------	---

CAPITULO I

PLASTICOS Y MATERIALES COMPUESTOS PARA ANTENAS

INTRODUCCION.....	3
1.1 PROPIEDADES Y SELECCION DE LOS MATERIALES.....	5
1.1.1 FIBRA DE VIDRIO.....	5
1.1.2 ACRILICOS.....	19
1.1.3 POLIESTIRENO.....	32
1.1.4 ALUMINIO.....	38
1.1.5 ACERO.....	41
1.2 METALIZADO DE MATERIALES NO-CONDUCTORES.....	43
1.2.1 PROCESOS DE METALIZADO.....	44
1.3 REQUERIMIENTOS DE BAJO PESO.....	47
1.4 APLICACIONES DE FIBRA COMPUESTA EN TECNOLOGIA.. DE ANTENAS.	48
1.5 CONCLUSIONES DEL CAPITULO.....	49

CAPITULO II

PRUEBAS DE LABORATORIO

2.1	LAS LEYES DE LA GEOMETRIA OPTICA.....	50
2.2	INTRODUCCION A LOS METODOS DE MEDICION.....	53
2.3	METODO DE MEDICION DE REFLEXION ELECTROMAGNETICA	54
2.4	METODO DE MEDICION DE LA CONSTANTE DIELECTRICA..	61
2.5	CONCLUSIONES DEL CAPITULO.....	80

CAPITULO III

MODELOS EXPERIMENTALES

3.1	REQUERIMIENTOS MECANICOS Y ELECTROMAGNETICOS..	81
3.2	TECNICAS DE CONSTRUCCION.....	86
3.3	PRUEBAS DE RADIACION.....	96
3.3.1	PATRONES DE RADIACION.....	98
3.4	GANANCIA DE UNA CORNETA.....	101
3.5	METODO PARA LA MEDICION DE LA GANANCIA Y.....	109
	OBTENCION DE LA EFICIENCIA DE UN REFLECTOR PARABOLICO.	
3.6	CONCLUSIONES DEL CAPITULO.....	113

CAPITULO IV

CALCULO DEL REFLECTOR

4.1	SELECCION DEL TAMARO DEL REFLECTOR.....	115
4.2	CALCULO DEL DIAMETRO MINIMO DEL REFLECTOR.....	116
4.3	CALCULO DEL DIAMETRO MINIMO DEL REFLECTOR..... PARA RECEPCION DE BANDA C.	122
4.4	CALCULO DEL DIAMETRO MINIMO DEL REFLECTOR..... PARA RECEPCION DE BANDA KU.	125
4.5	RELACION f/D	129
4.6	CONCLUSIONES DEL CAPITULO.....	132

CAPITULO V

DISEÑO Y CONSTRUCCION DEL REFLECTOR PROTOTIPO

5.1	GEOMETRIA BASICA DE LA PARABOLA.....	134
5.2	FUNDAMENTACION TEORICA DE LA PARABOLA..... COMO REFLECTOR.	139
5.3	DETENCION DE LA PARABOLA DEL PROTOTIPO.....	141
5.4	CALCULO DE LA SUPERFICIE REFLECTORA.....	144
5.5	MONTAJES DE REFLECTORES PARABOLICOS.....	147
5.6	DISEÑO MECANICO DEL REFLECTOR PARABOLICO..... PROTOTIPO.	150
	CONCLUSIONES.....	163

A COMPONENTES BASICOS DE UN SISTEMA DE RECEPCION
DE TELEVISION VIA SATELITE.

A 1 REFLECTORES PARABOLICOS.

A 1.1 CARACTERISTICAS

A 1.2 RELACION f/D

A 1.3 MATERIALES

A 2 POSICIONADORES

A 3 ALIMENTADORES

A 4 DISPOSITIVOS DE POLARIZACION

A 5 LNB's

A 5.1 TEMPERATURA DE RUIDO DE UN LNB

A 5.2 GANANCIA DE UN LNB

A 6 RECEPTORES

A 7 IRD's

B ESPECIFICACIONES DEL REFLECTOR PROTOTIPO

C NOTACION EXPONENCIAL

D TABLA DE PERDIDAS POR TRANSMISION EN CABLE COAXIAL

E	CALCULO DE ANGULO DE DECLINACION
F	CALCULO DE ANGULOS DE ACIMUT Y ELEVACION
G	GLOSARIO DE TERMINOS

BIBLIOGRAFIA	191
---------------------------	------------

PREFACIO.

Los materiales típicamente usados en el diseño y construcción de reflectores parabólicos han sido durante las últimas dos décadas básicamente compuestos metálicos mediante técnicas de construcción de alto costo.

Este proyecto pretende encontrar alternativas innovadoras para el uso de nuevos materiales en el diseño y construcción de reflectores parabólicos que mantengan los mismos niveles de eficiencia y ganancia que los reflectores metálicos.

El diseño persigue la optimización de las dimensiones del reflector y tendrá características geométricas diferentes a las empleadas en la actualidad tanto en la conceptualización como en la construcción, que nos llevarán a obtener mejores niveles de recepción o transmisión disminuyendo pérdidas por área efectiva, efecto de borde, y colimación solar. En cuanto a las características mecánicas el proyecto persigue mediante el uso de una geometría innovadora un alto nivel de resistencia contra cargas de viento para antenas sólidas.

El prototipo contemplará amplias facilidades para su orientación contando con dos tipos diferentes de montajes incluidos en uno solo, manejará el tipo polar que es el montaje típico para estaciones terrenas de TVRO (Recepción de televisión únicamente) las cuales en la mayoría de los casos no requieren de un ajuste fino. Este montaje aunque complicado en cuanto a su

conceptualización es sencillo en su operación. El montaje acimut/elevación contempla amplias facilidades en su visualización, manejo y ajustes finos con alta precisión mediante el cálculo matemático de los ángulos de acimut y elevación. [APENDICE F]

El reflector tendrá características importantes en cuanto a su manejo para orientación que le permitirá ser fácilmente removido cuando exista peligro de destrucción por condiciones climáticas adversas.

Este proyecto es una consecuencia de la investigación científica que en los últimos años se reorienta hacia el uso de plásticos y materiales compuestos para la manufactura de reflectores parabólicos.

CAPITULO I

PLASTICOS Y MATERIALES COMPUESTOS PARA ANTENAS.

INTRODUCCION

Los plásticos y los materiales compuestos tienden a incrementarse comunmente en el uso de diseños avanzados de antenas en los cuales se requiere poco peso, estabilidad térmica y un alto funcionamiento de la antena. Además, esta tecnología nos da la posibilidad de realizar estructuras integrales de antenas a un costo efectivo.

Para antenas de microondas existe una gran variedad de materiales tanto polímeros como metales que pueden ser usados. Puesto que hay una necesidad de reflexión, conducción y electromagnetismo.

Algunas veces los materiales polímeros son combinados con metales, un ejemplo de esto se encuentra en reflectores de bajo peso hechos de fibra de vidrio y plástico reforzado, donde la malla de alambre provee una superficie reflectora. Esto es posible para integrar estructuras de metal acabando con la discriminación para cada polarización o frecuencia, en alambres polarizados o reflectores dicróicos para antenas de multifrecuencia. Nuevos materiales complejos semejantes a compuestos con fibras de carbón o fibras kevlar, introducen nuevas posibilidades para la luz y temperatura estable.

El desarrollo de procesos de metalización para plásticos y materiales compuestos, ha hecho posible manufacturar guía de onda de ranura y arreglo de antenas con una sustancial reducción de peso comparada con diseños de aluminio, otra área donde es utilizado, es en soportes de estructuras para alimentadores y reflectores, donde se requieren un bajo peso, alta rigidez y estabilidad de temperatura.

Los elementos radiadores (cornetas, etc.) asociados con componentes de microondas pueden ser hechos con plásticos de alta tecnología.

Previo al estudio que a continuación presentamos, se realizó una preselección de materiales basándonos en sus características mecánicas y electromagnéticas, bajo costo, existencia en el mercado nacional y posibilidades de manejo a nivel experimental, que lo hicieran elegible para tomarse en cuenta como posible opción en el desarrollo de modelos experimentales y prototipos.

Materiales como el acero y el aluminio fueron considerados debido a la infranqueable necesidad de contemplarlos dentro del diseño de la estructura de soporte, y como material base en los procesos de metalización de polímeros, respectivamente.

1.1 PROPIEDADES Y SELECCION DE LOS MATERIALES.

1.1.1 FIBRA DE VIDRIO

Los materiales reforzados más comunmente usados son fibra de vidrio y fibras de carbón. La fibra puede ser continua, unidireccional y reforzada, pero hay también algunas clases de fibras combinadas. La proporción de las fibras en compuestos plásticos es para soportar carga mecánica. Ciertas propiedades como, módulos de alta tensión y alta resistencia para deflexión, son altamente deseables en estas fibras.

La matriz es el componente de plástico en el material compuesto y acciona un distribuidor para soportar el esfuerzo mecánico en las fibras. Los requerimientos de la matriz son los siguientes: buena adhesión de las fibras; buenas propiedades ambientales y procesables. La matriz más comun de materiales compuestos usados para antenas es térmica, las más usadas son poliéster y resinas epóxicas. Para temperaturas extremas son usadas resinas polimido o bien termoplásticos como el poliestireno keton. La selección de materiales es un compromiso entre propiedades mecánicas, electromagnéticas y ambientales. Datos típicos de materiales compuestos comunmente más usados están dados en la tabla 1.

Este material ha sido uno de los más usados en la fabricación de reflectores parabólicos para antenas de microondas, comunmente conocido como "fibra de vidrio" es en realidad un compuesto formado por una combinación de filamentos flexibles de vidrio (fibra de vidrio) y un polímero generalmente del tipo termoestable. La combinación más popular es la de fibra de vidrio y resina poliéster E.

TABLA 1

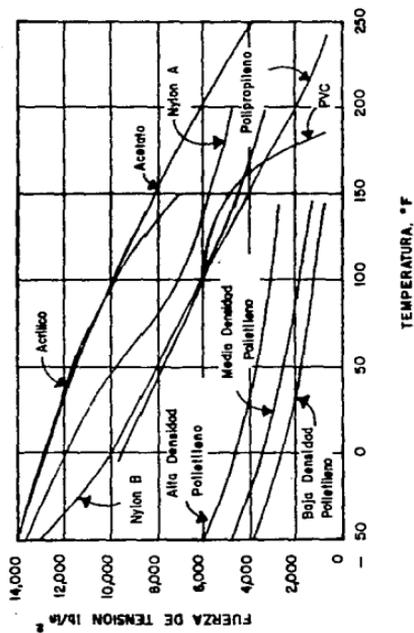
MATERIAL	MÓDULO DE TENSION $\text{lb/in}^2 \times 10^3$	ELONGACION %	FUERZA PARA DOBLARSE $\text{lb/in}^2 \times 10^2$	FUERZA DE COMPRESION $\text{lb/in}^2 \times 10^2$	MÓDULO DE COMPRESION	RESISTENCIA AL CALOR CONTINUO 9f
ACRILICO	350 - 450	3 - 6	14 - 17	14 - 17	350 - 430	130 - 195
ACRILICO ALTO IMPACTO	225 - 330	23 - 38	8.5 - 12	7 - 12	250 - 360	140 - 195
POLIETILENO BAJA DENSIDAD	14 - 38	20 - 800	-----	-----	-----	140 - 175
POLIETILENO MEDIA DENSIDAD	50 - 80	80 - 600	-----	-----	-----	150 - 180
POLIETILENO ALTA DENSIDAD	75 - 200	10 - 800	1.4	0.8 - 3.6	50 - 110	180 - 225
POLIETILENO ALTO PESO MOLECULAR	102	525 - 600	3.5	2.4	110	180 - 225
POLIPROPILENO	150 - 650	3 - 700	4.5 - 8	6 - 10	-----	250
POLIESTIRENO	400 - 500	1.5 - 2.5	9.15	11.5 - 16	300 - 560	150 - 190
POLIESTIRENO ALTO IMPACTO	200 - 430	10 - 75	5.5 - 12.5	8 - 16	-----	130 - 180

T A B L A 1

(continuación)

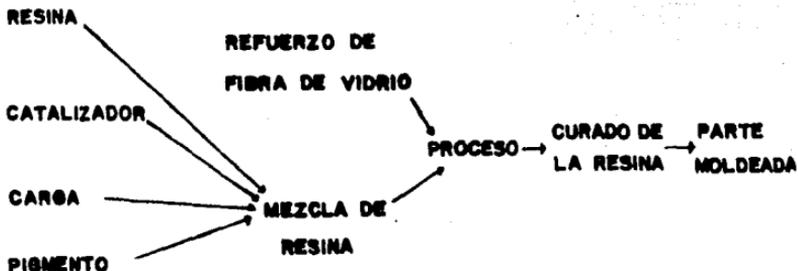
MATERIAL	COEFICIENTE DE EXPANSION TERMI-CA MICA in/in(°C x 10 ⁻⁵)	CONDUCTIVIDAD TERMICA (cal)/(cm ² (s) (°C) (cm) x 10 ⁻⁴)	ABSORCION DE AGUA 24 HRS. %	DUREZA	CONTRACCION in/in	FUERZA AL IMPACTO CORTE IZOD ft. - lb/in 1/2 - inbar	FUERZA A LA TENSION lb/in ² x 10 ³
ACRILICO	-----	1.4	0.3	M84 - 97	0.002 - 0.006	0.3 - 0.4	8.7 - 11.0
ACRILICO ALTO IMPACTO	6.5 - 10.5	4.0	0.2 - 0.3	M20 - 67	0.004 - 0.008	0.5 - 2.3	5.5 - 8
POLIETILENO BAJA DENSIDAD	10 - 20	8	0.05	R10	0.01 - 0.03	NO ROMPE	1 - 2.4
POLIETILENO MEDIA DENSIDAD	10 - 20	8	0.05	R15	0.01 - 0.035	NO ROMPE	1.7 - 2.8
POLIETILENO ALTA DENSIDAD	10 - 20	1.9 - 3.3	0.01	R30 - R50	0.01 - 0.04	0.5 - 23	2.8 - 5
POLIETILENO ALTO PESO MOLECULAR	13	8	0.01	R55	0.03	20	2.3 - 5.4
POLIPROPILENO	3.8 - 9	2.8 - 4	0.01	R45 - 99	0.008 - 0.025	0.5 - 1.5	3.2 - 5
POLIESTIRENO	6 - 8	8	0.03 - 0.05	M65 - 80	0.002 - 0.006	0.25 - 0.40	6 - 8.1
POLIESTIRENO ALTO IMPACTO	6.5 - 8.5	1 - 3	0.05 - 0.10	M25 - 69	0.003 - 0.005	0.7 - 3.5	1.9 - 4

TABLA No. (F)



La fibra de vidrio es un aglomerado de filamentos del tipo textil que al incorporarse a un polímero incrementa ciertas propiedades de éste, como son la resistencia a esfuerzos mecánicos y al impacto, además de incrementar su estabilidad dimensional dándole un amplio rango de temperatura de operación. La fibra de vidrio refuerza al polímero de la misma manera que el acero refuerza al concreto. Los filamentos de vidrio pueden ser colocados direccionalmente para resistir cargas específicas.

A continuación se muestra un diagrama de flujo donde se observa el procedimiento de fabricación de partes con fibra de vidrio.



TIPOS DE REFUERZOS DE FIBRA DE VIDRIO

Existen diferentes tipos de presentación comercial de fibra de vidrio disponibles en el mercado. El tipo usado depende del método de moldeo y del producto que se fabrique. Entre los diferentes tipos de fibra de vidrio mencionaremos los más usuales dentro de la industria, describiendo brevemente algunas de sus características.

FIBRA DE VIDRIO DE FILAMENTOS CORTOS

Este tipo se caracteriza por estar formado de filamentos muy cortos del orden de 1/2 a 2 pulgadas de longitud. Su apariencia es la de un aglomerado semejante al algodón, sus principales aplicaciones son en los procesos de preformado de piezas y la fabricación de moldes.

FIBRA DE VIDRIO TIPO CORDEL

Es uno de los tipos de fibra de vidrio de menor costo, está formado por grupos de filamentos continuos enrollados en un cilindro de cartón de manera similar a un carrete de hilo, se usa en los procesos de preformado, para refuerzo unidireccional o lineal en diseños complicados de moldeo, algunos fabricantes la usan para manufacturar fibra de vidrio de filamentos cortos.

FIBRA DE VIDRIO TIPO COLCHONETA DE REFUERZO

Este es el tipo de fibra de vidrio más conocido debido a su gran versatilidad en aplicaciones. Está fabricada con filamentos cortos aglomerados aleatoriamente para formar una "colchoneta". El aglomerado de los filamentos se logra mediante el uso de resinas empastadoras. Las "colchonetas" están disponibles en diferentes pesos, que van desde 3/4 hasta 10 onzas por pie cuadrado. La

selección del peso adecuado depende del proceso de moldeado y del tipo de pieza que se desee fabricar. Las aplicaciones de este tipo de fibra de vidrio son extensas por lo que podemos clasificarla como de uso general.

FIBRA DE VIDRIO TIPO HILO

Es un tipo de fibra de vidrio semejante a un hilo textil, que tiene su principal aplicación en la fabricación de varillas y cañas de pesca, estos hilos son limpiados minuciosamente para obtener una máxima adherencia con la resina.

FIBRA DE VIDRIO TIPO TELA TEJIDA

A este tipo se le conoce comúnmente como "petatillo", ya que su apariencia semeja la de un petate tejido de fibra vegetal. Existen diferentes variedades en peso, rugosidad, tipo de tejido, tipo de "hilo" y diámetro del filamento. Sus aplicaciones son generalmente en el terminado de piezas, ya que produce un acabado menos rugoso que la "colchoneta", también es usada para aumentar la resistencia a esfuerzos direccionales.

TIPOS DE RESINAS

Las resinas pueden clasificarse en dos grandes grupos : Termoestables y Termoplásticas.

Los materiales termoestables son aquellos que sufren una reacción química de polimerización (comúnmente conocida como "curado") cuando son calentados, sin embargo el recalentamiento no invierte el proceso. Los materiales termoplásticos normalmente no sufren reacciones químicas durante procesos de moldeado bajo temperatura.

Estos materiales se vuelven blandos cuando se les calienta y endurecen de nuevo al enfriarse no importando cuantas veces se repita el proceso

RESINAS POLIÉSTER

El moldeado de partes de fibra de vidrio a altas presiones tiende a romper la pieza, el moldeado a bajas presiones es relativamente simple y de bajo costo, es por esta razón que las resinas que pueden utilizarse a bajas presiones se han vuelto populares.

Las resinas poliéster, como resultado se convirtieron en inseparables de los refuerzos de fibra de vidrio en los últimos 30 años. Las resinas comerciales de este tipo son generalmente álkidos en el monómero de cadena cruzada. El "curado" de la resina es la reacción de un monómero como el estireno y el álkido para formar la estructura de cadena cruzada.

La temperatura aumenta durante el "curado", presentándose las siguientes fases transitorias en la resina.

De un líquido meloso a
Un líquido delgado a
Un gel suave a
Un gel espeso a
Un sólido rígido

Las resinas de este tipo pueden formarse de una gran variedad de alcoholes ácidos y diferentes monómeros, sin embargo la más conocida es la llamada resina poliéster "uso general".

RESINAS EPOXICAS

Existe un nuevo grupo de resinas, obtenidas de la reacción del epíclorohidrin con el bis-fenol A. Estos son polímeros lineales que tienen cadenas cruzadas para formar resinas termoestables y se caracterizan por un bajo porcentaje de contracción de polimerización (menos del 3 %). Las resinas epoxicas tienen una gran resistencia a esfuerzos mecánicos, propiedades eléctricas y gran resistencia química, con un bajo índice de absorción de agua, lo que las hace superiores a las resinas poliésteres, aunque su costo es superior. Sus características físicas son similares a las de poliéster, comúnmente son líquidos espesos y son "curados" por la acción de agentes endurecedores, de igual manera que las de poliéster, cargas minerales pueden ser incorporadas para reducir los costos del material.

RESINAS FENOLICAS

Las resinas fenolicas constituyen el tipo más común de resinas termoestables. La mayoría de ellas son de color ámbar oscuro, poseen buena resistencia química (especialmente a los ácidos), buenas propiedades eléctricas (excepto resistencia al arco) y tienen muy buenas propiedades mecánicas. Su resistencia al calor es excelente en comparación con otros plásticos.

Químicamente, son derivados de fenoles y de aldehídos, durante la "cura", la resina pasa por tres etapas; éstas son generalmente designadas como A, B, y C. En la etapa A la resina es fusionable y soluble, en la etapa B la resina se convierte en sólido fundible de una solubilidad limitada. En la etapa C la resina es dura, fuerte, insoluble, químicamente resistente, e infundible.

Debido a que la "cura" puede ser detenida después de la etapa B, las resinas fenolicas se adaptan mejor para "pre-cargarlos" (adición de algún tipo de material generalmente en polvo), que las poliésteres en las cuales la "cura" no puede detenerse.

RESINAS MELAMÍNICAS

Son producidas por condensación y reacción entre melaminas y formoldehidos. Poseen propiedades eléctricas excepcionalmente buenas, particularmente su resistencia al arco. Su resistencia al calor también es excelente.

Las resinas melamínicas pueden ser pigmentadas para lograr una gran variedad de colores. Sus propiedades mecánicas son buenas con gran resistencia al impacto. Se requiere de grandes presiones para moldearlas, su precio es más elevado con respecto a las fenólicas y a la mayoría de las poliéster.

RESINAS DE SILICON

Son las resinas más resistentes al calor, también poseen buenas propiedades mecánicas y eléctricas. Los silicones están disponibles como soluciones en solventes orgánicos y deben ser usados con técnicas de "pre-cargado". Los ciclos de curado son usualmente largos. El costo de las resinas de silicón es alto por lo que su uso es limitado.

RESINAS TERMOPLÁSTICAS

Debido a que estas resinas no pasan por ninguna "cura" química durante su moldeado, las resinas termoplásticas presentan un concepto diferente de plásticos reforzados con fibra de vidrio. La técnica de fabricación es básicamente un calentado del material de tal manera que este se vuelva suave y formable y después se enfria cuando se ha moldeado en la forma deseada.

Los termoplásticos son cadenas fuertes de polímeros no tienen eslabones cruzados, tienen una estructura tridimensional. Se fabrican en grandes volúmenes.

PROCESOS DE MOLDEADO

Este trabajo no pretende ser un tratado sobre técnicas de fabricación de partes en fibra de vidrio, solo trata de introducirnos en forma básica en el contexto general.

A continuación se mencionan en forma general algunos de los métodos más utilizados en el moldeado de partes de fibra de vidrio.

MOLDEADO POR CONTACTO O METODO DEL "PICADO"

Moldes de bajo costo son empleados en este método, es un método generalmente manual, donde la resina es impregnada con brocha o por aspersión sobre la fibra de vidrio sin ninguna clase de aplicación de temperatura externa o presión. Es la técnica más conocida y empleada en la manufactura de esta clase de partes.

MOLDEADO EN BOLSA DE VACIO

Esta técnica involucra un método similar al anterior, excepto que cuando la impregnación es terminada, una hoja flexible se coloca sobre el material y un vacío es provocado entre la hoja y el molde, presiones de alrededor de 12 psi son requeridas; esta presión hace posible mayores concentraciones de vidrio en el material.

MOLDEADO EN BOLSA DE PRESION

Este método sigue los mismos pasos que el anterior, solamente que una bolsa de presión es colocada contra la hoja y la presión es aplicada dentro de la bolsa para expandirla contra el refuerzo (fibra de vidrio). Presiones de aproximadamente 50 psi son empleadas.

MOLDEADO POR INYECCION DE VACIO

Este método involucra el uso de 2 moldes generalmente hechos de fibra de vidrio. El refuerzo (fibra de vidrio) es colocado entre los 2 moldes y la resina es esparcida en el fondo de uno de los moldes, entonces la resina es succionada por vacío hacia arriba a través del refuerzo. Esto tiende a proporcionar partes libres de burbujas de aire. Este método es usado principalmente en la fabricación de partes grandes, usualmente el contenido de vidrio en el material es bajo.

CARACTERISTICAS

RESISTENCIA AL CALOR

Cuando los materiales de plástico reforzados con fibra de vidrio son expuestos a condiciones extremadamente frias, presentan mayor resistencia mecánica, son menos quebradizos que a temperaturas ambiente. el incremento de esta resistencia es función del refuerzo de vidrio. Mientras los materiales plásticos reforzados con fibra de vidrio se calientan, estos presentan pérdida de resistencia mecánica.

RESISTENCIA QUIMICA

La resistencia de los plásticos reforzados está basada en el tipo de resina utilizada.

El efecto de inmersión en agua caliente y en soluciones detergentes han sido estudiadas en combinaciones de poliéster y fibra de vidrio. Se ha encontrado que al secar después de la inmersión se reestablece mucho de la resistencia mecánica perdida, sin embargo después de la inmersión en agua por 30 días a temperatura ambiente no hay más pérdida de resistencia mecánica.

Se han hecho pruebas para determinar el efecto del agua de mar en la resistencia mecánica de combinaciones de poliéster y fibra de vidrio. Los resultados han demostrado que el agua de mar tiene menos efecto en la pérdida de resistencia que el agua dulce.

RESISTENCIA A LA INTEMPERIE

Estando expuestos a la intemperie, los poliésteres reforzados con fibra de vidrio incrementan su resistencia mecánica durante los primeros meses y después cae a un punto aproximadamente igual al que se presenta en la inmersión en agua.

El incremento de resistencia inicial se ha explicado como causado por el "curado" adicional de la resina. La luz ultravioleta y el calor del sol promueven que se continúe el proceso del "curado".

112 ACRILICOS

En forma general las propiedades de los acrilicos son presentadas en la tabla 1,

Los acrilicos están fabricados de Metacrilato de Metilo, teniendo como estructura química la siguiente:

Los acrilicos tienen excepcional calidad óptica y básicamente buena resistencia a altas temperaturas, con propiedades eléctricas y resistencia química. No se decolora o encoge después de su fabricación, tiene características de baja absorción de agua, un bajo porcentaje de combustión y no tiene flama alta. Pero algunas desventajas de los acrilicos es que son atacados por solventes muy fuertes, por ejemplo: Acetona, gasolina y otros fluidos similares.

Los acrilicos pueden ser moldeados por inyección, extrucción, fundición al vacío y formación por presión o mecánicamente, aunque partes moldeadas por carga tienen que ser cuidadosamente analizadas especialmente para largos periodos de prueba.

PROPIEDADES OPTICAS

Partes moldeadas de polvo de acrilico en su estado natural pueden ser cristales limpios y casi ópticamente perfectos. Las medidas de índice de refracción son de 1.486 a 1.496. Los polimeros de acrilico retienen sus propiedades ópticas aún después de larga exposición a la luz ultravioleta.

El total de luz transmitida es alta, de aproximadamente un 92%.

una aplicación dada es
ción lineal térmico del
drio cuyo tamaño es de 1
eto a una variación de
El espacio previsto en
no sigue: (asumiendo que
e la estructura).

1 cm.)

38 C)

= 0.033 pulgadas

5.

espacio de expansión de
(ms.) en cada dirección en
caso el de mayor longitud).

de depende de la humedad
ura 1 muestra el equilibrio
ontra la humedad relativa
temperatura.

cambia de un valor bajo a un
lo cual causa una leve

expansión dimensional. Dependiendo del espesor de la parte, el equilibrio del nivel de humedad puede extenderse en un par de semanas o meses, con una absorción de menos de 0.5 %

La figura 2 muestra los cambios dimensionales tomados en un lugar a una hoja de 1/8 de espesor (3.2 mm.) en función del tiempo y de la humedad relativa del medio ambiente en un cuarto con temperatura. El plano horizontal de las curvas corresponden a las condiciones de equilibrio de un medio ambiente específico de humedad relativa.

Los acrílicos están divididos dentro de 4 principales tipos de productos que son: hoja fundida, hojas de alto impacto, polvo para moldear y polvo para moldear de alto impacto. Además estos se pueden modificar para mejorar la resistencia al calor. Acrílicos modificados pueden ser 5 veces más fuertes al impacto que los grados standard.

Aleaciones de acrílico-Pvc, en hojas de diferentes espesores para termoformado son también comercialmente aprovechables. Estos se caracterizan por su resistencia al alto impacto.

Los acrílicos no tienen tendencia hacia el arco. La fuerza del dieléctrico es de 450 a 500 volts/mil. El acrílico es uno de los pocos plásticos que exhiben un decremento lineal en su constante dieléctrica y factor de disipación con incremento de frecuencia.

PROPIEDADES MECANICAS

Los plásticos de acrílico se componen de una larga familia de polímeros formados por el metacrilato de metilo (ver tabla 1 para propiedades). Los acrílicos tienen una magnífica resistencia al impacto, son resistentes a ácidos y alcaloides pero no a solventes orgánicos. Están sujetos a arrastre y resistencia a la abrasión.

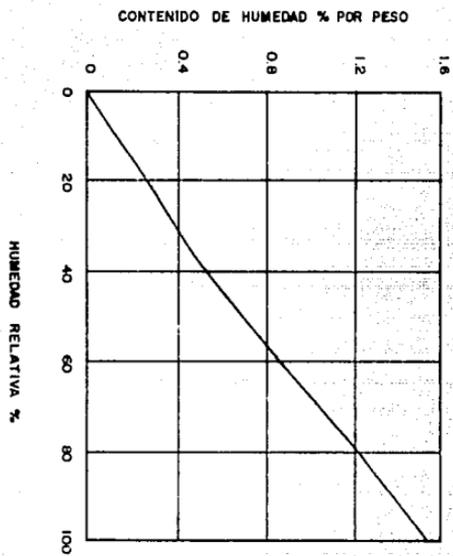


Fig. 1

La habilidad para actuar en un tubo de luz, cuenta para su uso en fibras ópticas.

El acrílico también puede ser combinado con cloruro de polivinil para producir un polímero combinado y flexible, con resistencia química y propiedades de apagarse solo. La aleación de acrílico con PVC tiene un alto impacto 15 ft/lb y una baja absorción de agua.

QUÍMICA Y COMPOSICIÓN DE LOS ACRÍLICOS

Los plásticos de acrílico y resinas no solamente incluyen derivados de ésteres de acrílico, sino también productos polimerizables para ambos acrílicos y ácidos metacrilatos, cloro, nitratos y almidón. Los acrílicos son combinados en algunos casos con elásticos y otros plásticos y resinas que producen aleaciones o sistemas multifases con propiedades específicas. Las modificaciones principales tienden a ser a través del uso de goma o cloro de polivinil. La mayoría de los acrílicos son ésteres obtenidas a través de la reacción de varios alcoholes con ácidos acrílicos, la principal modificación del plástico acrílico es conocida como poly (metacrilato de metilo).

RESISTENCIA TÉRMICA Y QUÍMICA

La resistencia química del poly (metacrilato de metilo), es un buen ejemplo de los efectos de diferentes medios ambientes sobre los acrílicos en general, es esencialmente no afectado por ácidos débiles, alcaloides débiles, soluciones orgánicas saladas, aceites y agua. No le afectan poluciones débiles de ácidos oxidantes, pero es deteriorado rápidamente por soluciones de alta concentración de ácidos oxidantes. Hidrocarburos aromáticos, fenal, cloro aromático, éter, ketones y ésteres de peso molecular bajo y ácidos alifáticos tienen efectos adversos de solventes encima de los acrílicos.

La habilidad para actuar en un tubo de luz; cuenta para su uso en fibras ópticas.

El acrílico también puede ser combinado con cloruro de polivinil para producir un polímero combinado y flexible, con resistencia química y propiedades de apagarse solo. La aleación de acrílico con PVC tiene un alto impacto 15 ft/lb y una baja absorción de agua.

QUÍMICA Y COMPOSICIÓN DE LOS ACRÍLICOS

Los plásticos de acrílico y resinas no solamente incluyen derivados de ésteres de acrílico, sino también productos polimerizables para ambos acrílicos y ácidos metacrilatos, cloro, nitratos y almidón. Los acrílicos son combinados en algunos casos con elásticos y otros plásticos y resinas que producen aleaciones o sistemas multifases con propiedades específicas. Las modificaciones principales tienden a ser a través del uso de goma o cloro de polivinil. La mayoría de los acrílicos son ésteres obtenidas a través de la reacción de varios alcoholes con ácidos acrílicos, la principal modificación del plástico acrílico es conocida como poly (metacrilato de metilo).

RESISTENCIA TÉRMICA Y QUÍMICA

La resistencia química del poly (metacrilato de metilo), es un buen ejemplo de los efectos de diferentes medios ambientes sobre los acrílicos en general, es esencialmente no afectado por ácidos débiles, alcaloides débiles, soluciones orgánicas saladas, aceites y agua. No le afectan poluciones débiles de ácidos oxidantes, pero es deteriorado rápidamente por soluciones de alta concentración de ácidos oxidantes. Hidrocarburos aromáticos, fenol, cloro aromático, éter, ketones y ésteres de peso molecular bajo y ácidos alifáticos tienen efectos adversos de solventes encima de los acrílicos.

Temperatura.- Las resinas acrílicas exhiben la mejor temperatura externa de cualquiera de los termoplásticos comerciales. En exposición externa, los acrílicos claros tienen una despreciable pérdida de cerca de 1% de su transmisión de luz en 5 años.

Exposición acelerada a radiación y calor de lámparas de vapor de mercurio y radiación ultravioleta de luz fluorescente parece tener solamente efectos moderados sobre los acrílicos.

Flamable.- Las resinas acrílicas se queman lentamente en un rango de 0.5 al 1.8 in/min.

TERMOFORMADO

El termoformado de plastiglas es probablemente la manera más simple de transformarlo. El costo de equipo y moldes es relativamente bajo. En el proceso de termoformado se deben observar las siguientes reglas básicas:

* El manejo del material y las características del producto terminado, están determinadas por el proceso escogido.

* El metacrilato de metilo (plastiglas) debe ser uniformemente calentada a su punto de revenido y formada totalmente antes de que se enfríe por debajo de su temperatura de moldeo (a menos de 120°C), o de lo contrario se producirán esfuerzos internos y aparecerán fisuras.

* Mientras el plastiglas este en el molde, debiera enfriarse lenta y uniformemente para eliminar esfuerzos internos.

* Punto de revenido 170°C a 190°C.

* La pieza formada debe enfriarse a temperatura ambiente antes de ser pintada.

* Deberan preverse las tolerancias adecuadas para el encogimiento que sufrirá la lámina cuando se someta a calentamiento. Este encogimiento es del 2% por lado y aumentara un 4% el espesor.

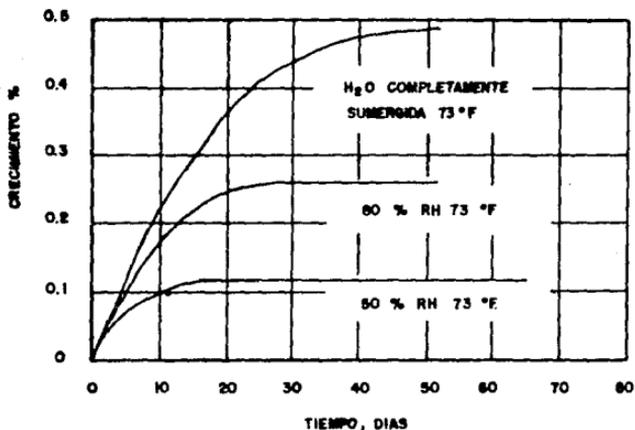


Fig. 2

TECNICAS DE FORMADO

FORMADO BIDIMENSIONAL

El formado bidimensional es un proceso de doblado que se puede conseguir por tres métodos:

A) DOBLADO POR CALENTAMIENTO LINEAL

Se coloca plastiglás (lámina de acrílico) a calentar sobre una resistencia lineal, doblando el ángulo deseado.

Puede usarse únicamente para formar dobleces en línea recta. Una resistencia eléctrica calienta únicamente el área a doblar.

B) FORMADO LIBRE POR CONTACTO

Se calienta la pieza de plastiglás (lámina de acrílico) y una vez reblandecida, se coloca sobre el molde. Las orillas del material pueden sujetarse al molde para evitar las ondulaciones que tienden a formarse durante el enfriamiento.

C) FORMADO EN FRIO

El plastiglás puede ser formado en frío en marcos curvos, siempre que el radio de la curvatura sea mayor de 180 veces el espesor del material utilizado.

FORMADO TRIDIMENSIONAL

Los procedimientos para formado tridimensional requieren en general el uso de equipo de vacío, aire a presión, mecánico o una combinación de ellas para moldear plastiglás a la forma deseada. A continuación se describen algunas de estas técnicas.

FORMADO LIBRE A VACIO O PRESION

El plastiglás se puede formar sin molde, restirándola por medio de vacío o presión de aire. La forma final de la pieza estará determinada por el tamaño y forma del arillo que fija el marco y por la altura que se da por vacío o presión. Sin embargo, se limitan a contornos esféricos o burbujas libremente formadas como domos, cabinas de helicópteros, etc.

FORMADO A PRESION

Este procedimiento permite formar plastiglás sobre moldes de precisión. Con este procedimiento, se obtienen piezas con buena definición de detalles y tolerancias dimensionales exactas. Para altas presiones los moldes deberán ser de metal, resinas epóxicas u otro material que soporte grandes presiones sin deformarse y con un acabado excelente.

FORMADO A VACIO CON AYUDA DE PISTON

El uso de vacío para formar plastiglás a un molde tiende a proporcionar piezas con las paredes más gruesas que el fondo; presionar la lámina con un pistón ayuda a dejar el fondo más grueso que las paredes; la combinación de ambos procesos permite mayor uniformidad en el espesor y hará posible obtener mayores profundidades.

FORMADO A PRESION CON RETORNO

Este método permite el formado de plastiglás en piezas de gran profundidad. Se debe tener un buen control de las presiones requeridas. Se puede usar vacío al retorno del material para acentuar la fidelidad de la pieza contra el molde.

FORMADO A VACIO CON RETORNO

Sirve para formar piezas de plastiglás que requieren espesor uniforme y un número menor de marcas de moldeo. La hoja revenida se estira en una caja de vacío para que la lámina regrese a su forma original encontrándose a su regreso el molde y conformándose a él, logrando con este proceso formas más definidas, si al regreso de la lámina se aplica vacío al molde.

EQUIPO DE FORMADO

El equipo de formado consiste en 4 elementos básicos:

1) Equipo para calentar plastiglás a la temperatura adecuada; horno que alcance los 200°C .

2) Equipo mecánico, de vacío y de presión para conformar plastiglás al molde:

*Prensa de 2000 kg. mínimo

*Aire 7 kg./cm² , tubos de 20 mm. mínimo de diámetro

*Vacío de 0.05 m³/min. , tubos de 25.5 mm mínimo de diámetro

3) Aditamentos para sujetar plastiglás a los marcos o arillos durante los procedimientos de calentamiento, formado y enfriado.

4) Bases adecuadas para sujetar el material.

PROCESOS DE MAQUINADO

El metacrilato de metilo (plastiglás) puede cortarse utilizando herramientas manuales o eléctricas.

Las láminas delgadas pueden ser cortadas en forma muy similar al vidrio, causando una incisión en el material con un objeto puntiagudo. (existen en el mercado cuchillas para plástico)

Cuando se corta plastiglás, quedaran asperesas en los bordes, lo que no es recomendable para unirla con otra lámina o para el acabado de la pieza, Es necesario enparejar estos bordes mediante lijado o raspado.

Cualquier tipo de taladro portátil o de pedestal puede ser usado para perforar Plastiglás.

Para un mejor acabado dentro de la perforación, use una broca con canales pulidos y de espiral lento, los cuales limpiarán la perforación de viruta sin maltratar o quemar las paredes. Si la broca está correctamente afilada y operada a una velocidad adecuada, dos virutas continuas de material emergerán de la perforación.

CARACTERISTICAS DEL LAMINADO DE ACRILICO

Información General.

La lámina de metacrilato de metilo es un material que reúne una combinación de propiedades que lo convierten en un plástico sumamente versátil y de características sobresalientes.

La lámina de metacrilato de metilo es un material termoplástico de la más alta calidad y reúne propiedades tales como:

- * RESISTENCIA AL LA INTERPERIE: Virtualmente no es afectado por el sol, lluvia, frío o calor extremos.
- * APARIENCIA: Brillantez, claridad y transparencia equivalentes a la del vidrio.
- * LIGEREZA: 50% mayor que el vidrio y 43% más que el aluminio.
- * RESISTENCIA AL IMPACTO: Resiste hasta 17 veces más que el vidrio ordinario en espesores de 3 a 6 mm.
- * RESISTENCIA AL CALOR: Es estable hasta 80° C.
- * AISLANTE TERMICO: 20% mayor que el vidrio.
- * RESISTENCIA A ESFUERZOS MECANICOS CONSIDERABLES: No se deforma, no se astilla ni se rompe.
- * EXPANSION Y CONTRACCION: Como la mayoría de los plásticos, el metacrilato de metilo responde a los cambios de temperatura, expandiéndose o contrayéndose en un rango mayor que el del vidrio.
- * FLEXIBILIDAD: Mucho mayor que la del vidrio.

- * RESISTENCIA QUIMICA: Resiste al ataque de una variedad de productos químicos, afectandola sustancias tales como el thinner, alcohol metilico o etilico, benceno, tolueno, los ésteres y cetonas. Los productos alimenticios no afectan ni son afectados por el metacrilato de metilo.

- * TRANSMISION DE LUZ: El metacrilato de metilo (plastiglas) cristal tiene un 92% de transmitancia de luz y no se amarillea. Las láminas de acrílico translúcido dispersan la luz, por lo que se emplean para difusores de iluminación. El metacrilato de metilo (plastiglas) se encuentra disponible en una gran variedad de colores translúcidos y opacos.

- * PROPIEDADES ELECTRICAS: Plastiglas (lámina de acrílico) es un excelente aislante. La resistencia superficial es más alta que la de la mayoría de los plásticos y esta se mantiene a pesar de su exposición continua a la interperie.

- * MATERIAL TERMOPLASTICO: Debido a esta propiedad es fácil de termoformar, siendo esta una de las más importantes características del metacrilato de metilo (plastiglas), recomendando se realice a una temperatura de 170 C a 190 C. Cuando es calentado puede ser cortado, perforado, suajado y maquinado tal como se hace con la madera o los metales blandos como el aluminio y el bronce.

11.3 POLESTIRENO

La unidad básica del polímero poliestireno está basada en la cadena del etileno, mostrada en la figura 3.

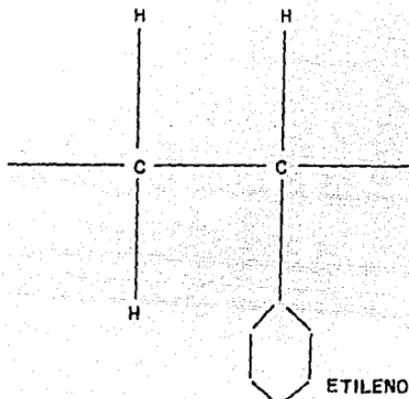


Fig.3

El poliestireno comercial, es producido en volúmen continuo, por suspensión y solución de técnicas de polimerización, o por la combinación de ambas.

La polimerización es altamente exotérmica, es una reacción radical libre. El homopolímero es caracterizado por su rigidez, claridad centellante y facilidad de proceso. Sin embargo el polímero cristal tiende a ser mejorado por colipolimerización o invirtiendo las cadenas del poliestireno para no saturarlo de hule como el polibutano.

Los niveles de hule están cercanos al 12% comercialmente, la modificación del impacto del poliestireno no es transparente como en los homopolímeros, pero tiene un marcado incremento en dureza.

La flexibilidad del estireno durante el proceso de polimerización, se genera para producir un gran variedad de propiedades por variación de peso molecular, aditivos, contenido de plástico y niveles de hule. La resistencia al calor está entre los 170^o y los 200^oF. El poliestireno tiene elongaciones de 0 a 50%, así como una gran variedad de viscosidad fundida.

Estas propiedades pueden ser diferentes de acuerdo a su extensividad, el poliestireno es usado en hojas y extrusión de perfil, termoformado, inyección y moldeo por extrusión, moldeo por inyección y moldeo rotacional. El poliestireno puede ser impreso, pintado, metalizado al vacío y estampado en calor; puede ser soldado o pegado con adhesivo, asimismo puede ser atornillado, clavado o engrapado.

El poliestireno es más atractivo cuando se considera su costo, ya que en comparación con otros termoplásticos es más económico.

Las limitaciones del poliestireno es su baja resistencia al mal tiempo, así como la pérdida de claridad con el impacto, y su limitada resistencia al calor y el ser inflamable.

Algunas de sus propiedades son mostradas en la tabla 1, por lo que se refiere a las propiedades físicas y eléctricas son discutidas a continuación:

El poliestireno representa una importante clase de material termoplástico en la industria electrónica, porque tiene muy bajas pérdidas eléctricas. Sus propiedades mecánicas son adecuadas operando de acuerdo a su temperatura límite, la cual está abajo de los 200^oF, sin embargo puede ser aleado para producir un material de alta temperatura.

Las aleaciones del poliestireno resultan ser materiales térmicos y por consiguiente, son suaves. El aprovechamiento de sus propiedades térmicas unido con sus propiedades eléctricas internas y su dureza, asociados con su estabilidad dimensional, hace que

las aleaciones de poliestireno sean utilizadas como dieléctricos para frecuencias altas y aplicaciones en banda de radar.

El poliestireno convencional es esencialmente monómero de estireno polimerizado, pero variando sus condiciones de fabricación o por la adición de pequeñas cantidades de lubricación externa e interna, es posible variar muchas propiedades como son la fluidez, velocidad de postura, fuerza física y resistencia al calor.

Los poliestirenos convencionales son de tres tipos: normal, regular y poliestireno estandar, por lo que algunos poliestirenos convencionales son duros y brillantes y tienen baja fuerza al impacto, por lo que hay que modificarlos.

Los poliestirenos modificados son materiales en donde las propiedades de elongación y resistencia al choque tienen que ser incorporados dentro de su composición, por diferentes porcentajes de elastómeros, por lo que son utilizados para alto impacto y alta elongación. Existen otros que son del tipo de super alto impacto los cuales son verdaderamente ahulados. Las propiedades eléctricas son usualmente derogadas por estas modificaciones.

El poliestireno tiene generalmente buena estabilidad dimensional, baja contracción y es fabricado a bajo costo.

PROPIEDADES FISICAS

Las propiedades físicas del poliestireno son mostradas en la tabla 1, donde se puede observar que existen muchos poliestirenos que pueden ser aprovechables, hay algunos que difieren en su estructura molecular y aditivos, algunos son duros, brillantes y tienen buen pulimento y alta claridad.

La resistencia al impacto del poliestireno es baja, es afectado por algunos solventes que causan agrietamiento, por lo que se debe

tener cuidado al seleccionar el poliestireno cuando son utilizados solventes, por otra parte su resistencia a la intemperie es muy baja, se estropea rápidamente con impactos o baja tensión, asimismo tiene limitada resistencia al calor, reacciona al contacto con muchos químicos y es flammable.

PREPARACION Y COMPOSICION

La producción del monómero de estireno consta esencialmente de dos pasos .

La primera reacción es la producción del etilbenzeno en la presencia de un catalizador semejante al cloruro de aluminio.

El etilbenzeno es seprado por destilación fraccional del residuo de benzeno y polietiloberinzeno.

El estireno es producio por deshidrogenación del etilbenzeno.

El poliestireno es aprovechable en un número de grados como el siguiente:

- 1.- Tipos para propósitos generales.
- 2.- Grados de impacto, consiste de poliestirenio y hule.
- 3.- Grados de resistencia química, copolímeros de estireno y acrilonitrato.
- 4.- Grados especiales, estireno de luz estabilizada copolímeros de metacrilato de metilo para intemperie y poliestirenos de vidrio reforzado.

PROPIEDADES MECANICAS

La apariencia del poliestireno es dura, rígida y transparente, es de bajo olor y bajo sabor, tiene buenas propiedades físicas y mecánicas, variando el peso molecular.

Una de sus propiedades principales es su transmisión de todas las longitudes de onda de la luz visible y un alto índice de refracción (1.592), el cual le da la particularidad de la brillantez. Su principal limitación mecánica es que es frágil a menos que se reforzado por un agente.

Si bien el poliestireno es excelente eléctricamente, es duro y frágil en un cuarto con temperatura ambiente y su relatividad es baja, tiende a suavizarse en el punto de 85° C.

RESISTENCIA QUIMICA

La resistencia química del poliestireno es baja, es disuelto por hidrocarburos como el benceno, tolueno y etilobenceno y por hidrocarburos de cloro y también por el cloroformo, cloro-benceno, cloruro de metilo, es atacado por ketones (con la excepción de la acetona) y ésteres. Ciertamente otros materiales como ácidos, alcoholes, aceites, cremas cosméticas y comestibles ocasionan agrietamientos y roturas.

El poliestireno tiene buena resistencia a muchos químicos ordinarios como ácidos débiles, todas las concentraciones de alcaloides y soluciones de muchas sales. Es fácilmente atacado por agentes oxidantes.

El poliestireno tiene una baja absorción de humedad, también tiene una buena resistencia a la transmisión de vapor de agua.

RESISTENCIA A LA INTEMPERIE

El poliestireno no estabilizado se vuelve amarillo y recupera su brillantez cuando es expuesto a la luz ultravioleta.

El poliestireno se quema fácilmente y en forma horizontal de 0.5 a 2.5 pulgadas/min.

Se le considera uno de los materiales sintéticos y de bajas pérdidas eléctricas, más viejos conocidos actualmente, es un dieléctrico que estuvo en estudio durante muchos años, pero acerca del cual mucho de su comportamiento aún no ha sido descubierto, este polímero, de alto peso molecular derivado del vinilo de benceno ($C_6H_5CHCH_2$), puede ser usado en una gran cantidad de aplicaciones en equipo electrónico donde rigidez y habilidad para aislar miembros conductores al nivel de altas frecuencias es requisito previo.

114 ALUMINO

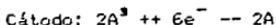
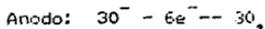
El Aluminio es el metal más abundante y tercero de los elementos en nuestro planeta. Se halla combinado con el silicio en el feldespato, mica y caolín; con el oxígeno en el esmeril. También forma parte de piedras preciosas como el aguamarina y la esmeralda.

Los compuestos más importante son: la Bauxita ($Al_2O_3 \cdot 2H_2O$) y la Criolita (Na_3AlF_6) usada como disolvente en metalurgia.

El Aluminio funde a $659^\circ C$, es el metal más ligero después del magnesio con una densidad de 2.73 gr/cm^3 , sus principales características son la ductilidad y maleabilidad, puede ser laminado y forjado entre 100° y $150^\circ C$, alrededor de su punto de fusión se vuelve quebradizo.

OBTENCION

La metalurgia del aluminio se fundamenta en la reducción del Al^{+++} [$Al^{+++} + 3e^- \rightarrow Al$], que se encuentra en la bauxita en forma de óxido, mediante un proceso electrolítico que se lleva a cabo en una cuba de hierro revestida de carbón, que actúa como cátodo; a ella se añade la criolita, que se funde introduciendo barras de carbono que actúa como ánodo. A continuación se eleva el ánodo y se introduce la bauxita, la criolita actúa como medio ionizante permitiendo la separación: $Al_2O_3 \rightarrow 2Al^{+++} + 3O^{2-}$ y la descarga del Al^{+++} en cátodo de acuerdo con:



El aluminio líquido (a 900-1000° C) es menos denso que la criolita fundida y se retira por el fondo de la cuba. El oxígeno desprendido oxida los ánodos del carbón, por lo que es necesario reemplazarlos frecuentemente. La bauxita utilizada se separa previamente del óxido de hierro que contiene por disolución con hidróxido sódico y filtración.

AFINADO

Se utiliza el método Hoopes, se realiza en una cuba electrolítica, en las que se forman 3 capas líquidas: una inferior compuesta de aluminio impuro; una media formada por fluoruros fundidos de aluminio, bario y saturada de óxido de aluminio y la superior integrada por el aluminio fundido y puro que va depositándose. El aluminio impuro se añade en forma de barras que atraviezan las capas hasta llegar a la inferior.

ALEACIONES

El aluminio es utilizado para formar aleaciones ligeras. El cobre aumenta la dureza del aluminio. Aleaciones de aluminio con un 16% de cobre son utilizadas en émbolos de motores de combustión interna. El duraluminio, posiblemente la aleación más conocida, está compuesta por 3% de cobre, 1% de manganeso y 0.5 % de magnesio. El magnesio mejora las propiedades mecánicas y la facilidad de trabajo del aluminio. Otra aleación importante es el hidronacio, compuesto por 90% de aluminio y 10% de magnesio, es ligero y muy resistente a la corrosión. El silicio es probablemente el mejor elemento para alearse con el aluminio. El silumin consta de 12.5% a 13.5% de silicio.

APLICACIONES EN LA FABRICACION DE ANTENAS Y REFLECTORES

El aluminio ha sido un material tradicionalmente empleado en la fabricación de reflectores para antenas de microondas, debido a que posee un alto índice de reflexión y a su gran resistencia a la intemperie, que es mucho mayor a la de otros metales comúnmente empleados como conductores, su conductividad eléctrica es $2/3$ de la del cobre, pero al ser más ligero, en unidades de área es menos costoso.

En muchos casos el desarrollo de la tecnología de antenas implantó un patrón definido, en cuanto a materiales utilizados en la fabricación de todo tipo de antenas. El aluminio desde hace algunas décadas se estableció como el material idóneo para estas aplicaciones, ya que sus propiedades mecánicas y eléctricas son muy similares a las de aquellos materiales que típicamente se han destacado en estos campos, sin embargo su ligereza, maleabilidad y facilidad en el moldeado o maquinado lo hacen único en su clase.

La tecnología en el desarrollo de antenas ha tenido en los últimos años, pequeños pero importantes progresos, las aplicaciones se han vuelto más extensas y nuevos requerimientos emergieron, demandando de los diseñadores y fabricantes nuevos proyectos y técnicas; Esta tesis plantea precisamente esa necesidad de encontrar nuevos diseños y materiales de fabricación, que cumplan con las necesidades electromagnéticas y mecánicas que se requieren, es por esta razón que un material como el aluminio no puede dejarse fuera de un diseño de reflector para antenas de microondas.

1.15 ACERO

El acero es una aleación que posee entre el 0.5 y 1.5 % de riqueza en carbono y se caracteriza por una gran resistencia a esfuerzos mecánicos. Para la fabricación del acero se parte del hierro bruto obtenido en altos hornos, el hierro contiene una proporción elevada de carbono que va desde un 4% a un 5%, por lo que hay que lograr su descarbonación.

ESTRUCTURA

El acero está formado por disoluciones sólidas de mezclas de composición determinada.

Las tres principales son :

- 1) La Ferrita que contiene por menos de 0.025 % de carbono formada por cementita (carbono disuelto en hierro fundido de fórmula Fe_3C) y hierro.
- 2) La Temburita, que es un eutéctico formado por cementita y austenita.
- 3) La Perlita que contiene menos de 0.85 % de carbono, formada por la transformación de la austenita en mezcla de ferrita (forma de hierro duro, dúctil y magnético) y la cementita.

OBTENCION

Existen diferentes procesos para la obtención del acero entre los más comunes se encuentran los siguientes:

Proceso Bessemer
Proceso Martin-Siemens
Proceso de horno eléctrico
Proceso de colada continua
Proceso de colada de vacío

ALEACIONES

Los aceros especiales son aquellos a los cuales durante el proceso de fabricación se les agrega pequeñas cantidades de diversos elementos en estado de disolución sólida, formando una aleación para modificar ciertas propiedades. Entre los más comunes figuran: carbono, azufre, boro, circonio, cobalto, manganeso, molibdeno, niobio, níquel, plomo, selenio, silicio, tungsteno y vanadio, dependiendo de sus aplicaciones. Un estudio más completo de las descripciones de estos tipos de acero queda fuera de los objetivos de esta tesis, ya que solo se pretende dar un conocimiento general de los diferentes materiales que pueden ser utilizados en la fabricación de reflectores parabólicos para antenas de microondas.

Acero al carbón tipo cold rolled (10-30) con un proceso de galvanizado por medio del cual se le aplica al acero una capa exterior de zinc como medio de protección contra el medio ambiente, es generalmente usado en la fabricación de estructuras de soporte para reflectores parabólicos.

12 METALIZADO DE MATERIALES NO-CONDUCTORES

Las características de muchos materiales no-conductores pueden ser apropiadas para aplicaciones electromagnéticas en el área de las comunicaciones si son combinados con algunos metales, que agregen propiedades eléctricas de conductividad mediante métodos de metalización.

Algunos polímeros y compuestos de fibra de carbón tienen un cierto grado de conductibilidad eléctrica y son usados como materiales reflectores en muchas aplicaciones. Si la conductividad no es suficiente puede ser incrementada cubriendo la superficie de metal. Esto es requerido para guías de onda y reflectores para muy altas frecuencias. Hay diferentes métodos de metalizado para materiales no-conductores, todos ellos tienen sus ventajas y sus desventajas, y algunas veces es recomendable para su uso una combinación de estos métodos. La principal dificultad en metalizar materiales compuestos es conseguir la suficiente adhesión entre metal y el compuesto. Hay usualmente grandes diferencias en expansión térmica entre estos materiales y ocurren tensiones mecánicas que puede causar grietas o roturas en la interface. La adhesión tiene que ser particularmente buena si es necesario soldar.

A continuación describiremos dos de los métodos de metalización para materiales no-conductores, por ser estos los más apropiados para aplicaciones electromagnéticas en el área de las comunicaciones.

1.21 PROCESOS DE METALIZADO

A) PINTURAS CONDUCTIVAS

Este es uno de los métodos de metalización más sencillos y que requieren de un mínimo de equipo para su realización. Este método fue el seleccionado para la metalización de los modelos de reflectores parabólicos que expone esta tesis debido a la facilidad en el manejo de los materiales y los equipos.

El principio en el que se basa es simple; cubrir con una capa de pintura conductiva el material.

Esta pintura es generalmente una laca o barniz en la cual es suspendido un pigmento conductivo como grafito, cobre o aluminio, la capa que cubrirá el material puede ser aplicada con brocha aumentando el porcentaje de pigmento en la laca o con pistola de aire con lo que este porcentaje puede disminuirse, el pigmento conductivo se seleccionó como una combinación de cobre, grafito y aluminio pulverizados.

La pintura metalizante utilizada para la aplicación de una capa conductora consiste de una mezcla de los siguientes elementos:

Laca de nitrocelulosa.....	100 ml / litro
Thinner acrílico.....	900 ml / litro
Aluminio pulverizado.....	200 gr / litro
Grafito pulverizado.....	40 gr / litro
Cobre pulverizado.....	20 gr / litro

La adición de los pulverizados de aluminio, grafito y cobre debe de realizarse después de la mezcla de la laca de nitrocelulosa y el thinner acrílico. Los pulverizados han de ser limpiados de cualquier contaminante grasoso con thinner antes de usarse en la mezcla. Si la pintura metalizante es aplicada con pistola de aire

esta debe de ser aplicada a una distancia que permita que la película seque tan pronto como toque la superficie.

Un método de certificación de la conductividad de la película aplicada, es sumergir el material cubierto con la pintura en una solución de aproximadamente 1 oz/gal de cianuro de plata y 4 oz/gal de cianuro de sodio. La ausencia de depósitos de plata indica que la película conductora no ha sido correctamente aplicada. Los depósitos de plata proveen un mejor medio conductivo para un subsecuente electroplateado.

B) DEPOSITACION CATALITICA

NIQUEL

Otro de los métodos de aplicación de películas conductoras sobre materiales no-conductores es por deposición catalítica de níquel. Este método es aplicable a plásticos termoestables. Los termoplásticos pueden ser cubiertos con películas conductoras por este método, pero teniendo extremadas precauciones, debido a la inestabilidad térmica característica de este tipo de plásticos.

La publicación No 265 de la A.S.T.M. recomienda el siguiente procedimiento preparatorio:

1. Limpieza del material
2. Lijado del material para aumentar la aspereza de este
3. Empapar el material con cloruro de estaño a 80° F (70 gr/L de cloruro de estaño y 40 gr/L de ácido hidroclicorídrico)
4. Enjuagar
5. Sumergir a 200° F en la siguiente solución

Cloruro de níquel.....	30 gr
Hipofosfato de sodio.....	10 gr
Citrato de sodio.....	10 gr
Agua.....	1000 gr
pH.....	4 a 6
tasa de metalizado.....	0.2 mil por hora

ALUMINIO

El procedimiento para la depositación catalítica de aluminio ha sido descrita en la patente norteamericana 3,462,628. Un ejemplo típico es preparar una solución de hidruro de aluminio en una atmósfera de nitrógeno libre de humedad por mezcla de 49 ml al 1.0 molar de hidruro de aluminio-litio, 18.5 ml al 0.98 molar de cloruro de aluminio y 156 ml de éter dietílico. Después de mezclar la solución, ésta es decantada para producir 0.3 molar hidruro de aluminio en éter dietílico.

El material que será recubierto es primero sumergido en una solución al 0.046 molar de tetracloruro de titanio en éter dietílico, secado a 100° C, enfriado a temperatura ambiente y sumergido en la solución de hidruro de aluminio y secado nuevamente. La película de aluminio aparecerá en pocos minutos.

13 REQUERIMIENTOS DE BAJO PESO

Para aplicación de antenas en el espacio aéreo, donde el bajo peso es requerido, las estructuras emparedado son comunes. La estructura emparedado consiste de dos caras y un núcleo intermedio, las caras y núcleo son conectadas por lazo. El material más comunmente usado en el núcleo para antenas son panel y espuma plástica. En estructuras electromagnéticas transparentes son más comunmente usadas el papel nomex y vidrio o fabricaciones kevlar. Sin embargo se utilizan para estructuras emparedado de aluminio tipo panel no transparente. El poliuretano, clorido de polyvinil y polimetacrilato son usados en muchas aplicaciones de antenas.

Todos estos materiales tienen todas las celdas cerradas y son aprovechables en diferentes densidades, la principal ventaja de la espuma es el moldeado por compresión y maquinado simple, para ligadura de adhesivos de película en estructuras de antenas, pasta o tipo de líquido. Los adhesivos son principalmente rebajados con epóxicos y ambos son aprovechables en frío o en caliente. La siguiente alternativa de proceso de manufactura para antenas compuestas, puede ser moldeado por compresión, moldeado al vacío o en bolsa de presión, moldeado automático y moldeado por transferencia de resina.

14 APLICACIONES DE FIBRA COMPUESTA EN TECNOLOGIA DE ANTENAS.

Antenas de plástico y materiales compuestos han sido diseñados y manufacturados por los sistemas de radio Ericsson por más de dos décadas, consecuentemente muchas variedades y programas están en proceso.

Algunas antenas de alta tecnología recientemente desarrolladas son:

El sistema de antenas radiómetro aéreas Ericsson la cual trabaja en la banda Ka.

Los reflectores son de 30 cms de diámetro y el peso es mínimo.

El requerimiento consiste en una gran exactitud en la superficie y de alta rigidez, por lo que plásticos reforzados se prefieren.

Un reflector de antena de doble curvatura para la banda C se basa en el principio del radar y se ha desarrollado en bajo peso y lóbulos laterales extremadamente bajos. El reflector es de un plástico reforzado tipo emparedado.

15 CONCLUSIONES DEL CAPITULO

El uso de materiales compuestos de plástico ha hecho posible que avancen los diseños de antenas hacia una mayor demanda de aplicaciones, semejante a las antenas Cassegrain de multifrecuencia, un peso muy bajo, posibilidad de arreglos planares y antenas de reflector múltiple, esta tecnología abre una nueva posibilidad para arreglos de elementos múltiples para ser diseñados y encontrar de esta forma un mejor camino incrementando requerimientos para bajo peso, estabilidad térmica, alta dureza y rigidez mecánica.

CAPITULO II

PRUEBAS DE LABORATORIO

2.1 LAS LEYES DE LA GEOMETRIA OPTICA

Las 3 leyes de la geometría óptica están usualmente enunciadas en términos de rayos de luz.

1.-La Ley de la Propagación Rectilínea:

Los rayos de luz en medios homogéneos se propagan en línea recta.

2.-La Ley de la Reflexión:

En una interfase entre dos diferentes medios homogéneos, isotrópicos y ópticos, un disturbio incidente es (en parte) reflejado, y el rayo reflejado está en el plano de incidencia (el plano determinado por el rayo incidente y la normal a la superficie). El ángulo que se forma con la normal (ángulo de reflexión θ_r) es igual al ángulo formado por el rayo incidente con la normal (ángulo de incidencia θ_i). [Fig. 1]

3.-La Ley de la Refracción:

En una interfase entre 2 medios dieléctricos, hay también un rayo refractado en el segundo medio, situado en el plano de incidencia, formando un ángulo con la normal y obteniendo la ley de Snell. [Fig. 2]

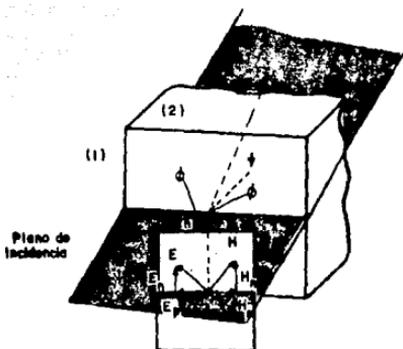


Fig. 1

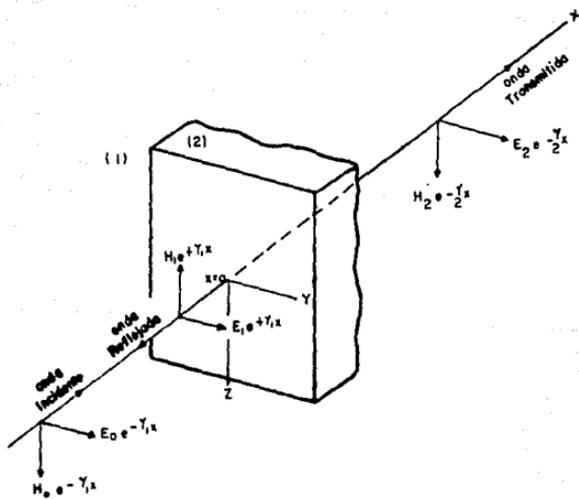


Fig. 2

$$\frac{\text{sen } \theta}{\text{sen } \theta_1} = \frac{\eta_2}{\eta_1} = \frac{v_1}{v_2}$$

donde v_1 y v_2 son las velocidades de propagación en los dos medios $\eta_1 = c/v_1$, $\eta_2 = c/v_2$ son los índices de refracción, y c es la velocidad de la luz en el vacío, una constante universal de la velocidad de la luz $C = 3 \times 10^8$ m/seg

2.2 INTRODUCCION A LOS METODOS DE MEDICION

La aplicación de la teoría electromagnética al diseño de reflectores parabólicos ha alcanzado en los últimos años un nivel primordial pues, las necesidades de alta eficiencia y bajo costo así como los requerimientos de bajo peso y facilidad de transporte se hacen imprescindibles hoy en día.

En diversas partes del mundo se desarrollan actualmente modelos de reflectores con características diferentes a los que las antecedieron utilizando técnicas de fabricación y materiales novedosos que abaten los costos aumentando su eficiencia con nuevas y mejores características mecánicas y electromagnéticas.

Este capítulo presenta dos pruebas de laboratorio basadas en las leyes de la geometría óptica, que fueron diseñadas para evaluar el comportamiento electromagnético de la película delgada conductora sobre un material plástico o presindiendo de éste, mediante un análisis comparativo, de acuerdo con la teoría de la profundidad de piel.

Estas pruebas darán como resultado el diseño de un reflector parabólico cuya superficie reflectora sea un laminado plástico con recubrimiento de película delgada conductora o bien un laminado metálico de espesor menor a 0.5 mm reduciéndose así el peso total del reflector y por lo tanto su costo.

2.3 METODO DE MEDICION DE REFLEXION ELECTROMAGNETICA

PLANTEAMIENTO

En la construcción de reflectores para antenas de microondas, se emplean materiales que tienen una alta reflexión, debido a que se requiere que el área que cubre el reflector funcione como un colimador de ondas con muy alta eficiencia. Es común utilizar las superficies de aluminio sólido ó perforado, malla de acero de diversas cuadrículas ó fibra de vidrio con malla de acero de medio, en todos los casos se presentan inconvenientes ligados a costo/eficiencia. Con este panorama el presente capítulo muestra los resultados obtenidos en laboratorio al manejar para la superficie un material plástico agregándole una película delgada conductora de espesor controlado de acuerdo a la "profundidad de piel" calculada en base de las características electromagnéticas de los materiales, por lo que realmente estaremos manejando superficies reflectoras metálicas de espesores super delgados del orden de unas cuantas micras.

FUNDAMENTACION TEORICA

Una onda electromagnética que viaja por un medio cualquiera se comporta de la siguiente manera : [Jonk, 1981]

Intensidad de campo eléctrico

$$1) E_x(z, t) = E_m^+ e^{-\alpha z} \cos(\omega t - \beta z + \phi^+) + E_m^- e^{-\alpha z} \cos(\omega t + \beta z + \phi^-)$$

Intensidad de campo magnético

$$2) H_y(z, t) = \frac{E_m^+}{\eta} e^{-\alpha z} \cos(\omega t - \beta z + \phi^+) - \frac{E_m^-}{\eta} e^{-\alpha z} \cos(\omega t + \beta z + \phi^-)$$

Donde se supone que la dirección de viaje de la onda es z .

$$\omega = 2\pi f \text{ (Velocidad angular de trabajo)}$$

E_m^+ = Condiciones iniciales de campo eléctrico en la dirección z positiva

E_m^- = Condiciones iniciales del campo eléctrico en la dirección negativa

ϕ = fase inicial de campo eléctrico

α , β y η dependen directamente de las características eléctrica y magnéticas de los materiales.

Para un buen conductor tenemos que: [Jonk, 1981]

$$\alpha = \sqrt{\mu\omega\sigma/2} \text{ atenuación de la onda} \dots\dots\dots(3.a)$$

$$\beta = \sqrt{\mu\omega\sigma/2} \text{ factor de fase espacial} \dots\dots\dots(3.b)$$

$$\eta = \sqrt{\mu/\epsilon} \text{ impedancia intrínseca del medio} \dots\dots\dots(3.c)$$

μ es la permeabilidad magnética del material = $\mu_r \mu_0$

Donde:

μ_r = permeabilidad relativa del material y depende si es paramagnético, diamagnético o ferromagnético.

μ_0 = permeabilidad del espacio libre = $4\pi \times 10^{-7}$ H/m

ϵ = permitividad eléctrica del material = $\epsilon_r \epsilon_0$

ϵ_r = permitividad relativa del material y depende de su naturaleza conductora ó dieléctrica para un buen conductor tiende a 1 [Rammo,84]

ϵ_0 = permitividad eléctrica en el espacio libre = 8.85×10^{-12} F/m.

PROFUNDIDAD DE PIEL : se define como la distancia en que la onda incidente en un material decae desde su nivel original de referencia, (cuando $z = 0$) hasta un valor e^{-1} lo que indica que de acuerdo a la ecuación (1) [Rammo,1984]

$$e^{-\alpha z} = e^{-1}$$

Donde:

$$\alpha z = 1 \quad \text{y} \quad z = 1/\alpha$$

Para la definición anterior, la onda ha decaído hasta un 35 % a esa distancia se le denomina δ , sin embargo para considerar que un material es reflector se requiere que la onda decaiga rápidamente hasta valores cercanos al 100%.

El comportamiento de una onda cuando incide normalmente en una superficie reflectora se puede ejemplificar en la figura 3.

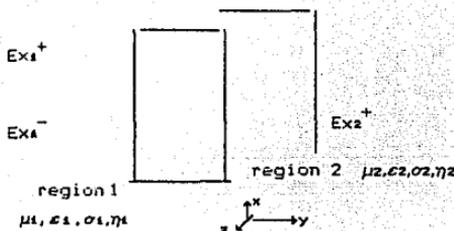


Fig. 3

Onda incidente y onda reflejada en un plano normal.

Donde la onda incidente se compone de :

$$E_{x1}^+ = E_{x1}^- + E_{x2}^+ \quad \dots\dots\dots(4.a)$$

E_{x1}^+ se denomina onda incidente

E_{x1}^- la onda reflejada

E_{x2}^+ onda incidente en el material 2

De acuerdo con la ecuación 1 y agrupando $\alpha + j\beta = \gamma$

$$E_{x1}^+ = E_{m1}^+ e^{-\gamma_1 x} \quad E_{x1}^- = E_{m1}^- e^{-\gamma_1 x} \quad E_{x2}^+ = E_{m2}^+ e^{-\gamma_2 x} \quad \dots(4.b)$$

$$H_{x1}^+ = E_{x1}^+ / \eta_1 \quad H_{x1}^- = E_{x1}^- / \eta_1 \quad H_{x2}^+ = E_{x2}^+ / \eta_2 \quad \dots(4.c)$$

Con la condición inicial en $z = 0$ y manejando las ecuaciones 4.b y 4.c como un juego de 2 ecuaciones con 2 incógnitas se puede encontrar el valor de la onda incidente y la onda reflejada quedando:

$$E_{m1}^- = E_{m1}^+ \frac{\hat{\eta}_2 - \hat{\eta}_1}{\hat{\eta}_2 + \hat{\eta}_1} \quad E_{m2}^+ = E_{m1}^+ \frac{2\hat{\eta}_2}{\hat{\eta}_2 + \hat{\eta}_1} \quad \dots (5)$$

El coeficiente de reflexión es la cantidad de campo eléctrico que se refleja en el material conductor y se calcula de acuerdo a la relación entre la onda incidente y la reflejada:

$$\Gamma(z) = (E_m^- / E_m^+) e^{2\gamma z} \quad \dots (6)$$

Para una condición inicial: $\Gamma(0) = E_m^- / E_m^+$

Se define como ROE, la relación entre los máximos y mínimos de una onda en un cierto lugar del eje z , cuando ROE es 1 significa que no existe onda reflejada y que $\Gamma(z) = 0$ y cuando la mayor parte de la onda se refleja, tenemos que:

ROE $\rightarrow \infty$ ya que $\Gamma(z) \rightarrow 1$ [Becker, 1964]

$$ROE = E_{max} / E_{min} = 1 + |\Gamma(z)| / 1 - |\Gamma(z)| \quad \dots (7)$$

PROCEDIMIENTO DE LA PRUEBA.

Con un banco de antenas de microondas para la banda X, se detectó la intensidad de campo con un medidor de relación de onda estacionaria inicialmente para cuando la apertura estaba vacía, considerando esta nuestra medida de referencia para el espacio libre, donde $\mu = \mu_0$, $\epsilon = \epsilon_0$, $\sigma = 0$ y $\eta = 120\pi$, ésta se fijó como ROE = 1 dado que $\Gamma = 0$, se realizaron 5 probetas de materiales que clásicamente se emplean para antenas de

microondas, de tamaño exacto del de la apertura de la guía de ondas del banco, se realizó una probeta especial de metacrilato de metilo con una película delgada conductora de 60% Al, 30% Cu y 10 % grafito, con un grueso mayor que una piel para dar un 99.99% de atenuación, el cálculo de esta piel, se realizó $e^{-\alpha b} = e^{-1}$ de donde el decaimiento del valor original fue hasta .0001 la piel mínima es ahora de $10/\alpha$, considerando el peor de los materiales del contenido de la película (grafito) se encontró que debía de ser $> 1.68 \times 10^{-4}$ metros. Se midió de cada una de las probetas el ROE a la salida del material, el valor real del ROE se define para el laboratorio como :[(Cross,77]

$$ROE = A \log_{10} \frac{(\text{dB adicionales para dar ROE}=1)}{20} \dots\dots (8)$$

$$\Gamma = \frac{ROE - 1}{ROE + 1} \dots\dots (9)$$

TABLA DE RESULTADOS

Material	dB	ROE	$\Gamma(z)$	% onda reflejada
Aluminio	-39.0	89.00	.9775	97.75
Aluminio perforado	-22.0	12.58	.8527	85.27
malla de criba	-22.0	12.58	.8527	85.27
malla aluminio estirada	-31.8	38.90	.9498	94.98
Zinco r [Torres 88]	-35.5	59.58	.9669	96.69
Metacrilato con película	-30.0	32.60	.9386	93.86

RESULTADOS DE LA PRUEBA.

Como se puede ver en la tabla de resultados, la diferencia entre materiales clásicamente utilizados para las superficies reflectoras y la de la película delgada es mínima siendo la reflexión mayor que las de la malla de criba y el aluminio perforado, por lo que si se aplica para diversas frecuencias de trabajo debe considerarse que cambia el tamaño de la piel. El material plástico no es importante electromagnéticamente, dado que lo que llega de la onda a él es mucho muy pequeña y se desprecia por lo que se puede emplear moldes de resinas epóxicas y fibra de vidrio de acuerdo a las condiciones climáticas en que estén expuestas, en costos comparando antenas sólidas de aluminio y antenas realizadas con la tecnología de película delgada, se reduce un 20%.

*Zinalco : Aleación de Zinc, Aluminio y Cobre creada en el Centro de Investigación de Materiales de la UNAM. [Torres ,1988]

2.4 METODO DE MEDICION DE LA CONSTANTE DIELECTRICA

PLANTEAMIENTO.

Para el propósito de las consideraciones electromagnéticas un medio no magnético se describe por tres constantes físicas, permeabilidad, conductividad y constante dieléctrica, esta prueba demostrará que un método de medición de la constante dieléctrica de probetas de materiales dieléctricos así como magnéticos en frecuencias de microondas.

PERMEABILIDAD.- Propuesta por Coulomb (1736-1806) que demostró que la fuerza entre dos polos magnéticos M_1 y M_2 es directamente proporcional a las fuerzas de los polos respectivos e inversamente proporcional a el cuadrado de la distancia entre los polos.

Si F es la fuerza cuando la separación es d .

$$F = \frac{\mu_1 \mu_2}{\mu d^2}$$

Donde μ es llamada la permeabilidad dependiendo del medio ambiente de separación entre los polos.

CONDUCTIVIDAD.- Es el recíproco de la resistencia (esta definida por la ley de Ohm) un metal por ejemplo tiene una gran conductividad por el gran número de electrones libres en la sustancia.

CONSTANTE DIELECTRICA.- Similarmente a la propuesta de Coulomb la ecuación para la fuerza F entre dos cargas eléctricas Q_1 y Q_2 separadas por una distancia d es:

$$F = \frac{Q_1 Q_2}{\epsilon d^2}$$

Donde ϵ es la constante dieléctrica y es una función del medio ambiente de separación entre las dos cargas. Por lo tanto μ es una medición de la eficiencia de transferencia de fuerza magnética; ϵ es la eficiencia de transferencia de fuerza eléctrica; σ la eficiencia de transferencia de carga eléctrica.

En esta prueba se escogieron como probetas sustancias como polietileno de alta densidad, metacrilato de metilo; sustancias magnéticas tales como aluminio sólido laminado, malla de acero; y como sustancia "combinada" una probeta de metacrilato de metilo con recubrimiento de película delgada de aluminio, cobre, grafito, en porcentajes de 60, 30 y 10% como habíamos mencionado anteriormente.

Como sabemos para un aislador σ es aproximadamente 0 por lo que no hay conducción y μ es aproximadamente 1 y la sustancia se comporta como un espacio libre para fuerzas magnéticas. Por lo tanto solo queda medir el efecto que es causado por la constante dieléctrica del medio ambiente. Nuestro objetivo al hacer pruebas tanto con sustancias aisladoras como con sustancias magnéticas es el demostrar que la sustancia que hemos llamado "combinada" se comporta más cercanamente a una sustancia magnética que a una sustancia aisladora. La constante dieléctrica es una función compleja y es usualmente expresada por:

$$\epsilon = \epsilon_0 (\epsilon' - j \epsilon'')$$

Donde ϵ' es una medición de la habilidad del dieléctrico para almacenar energía y ϵ'' una medición de la disipación de energía en el medio ambiente. ϵ_0 es la constante dieléctrica del vacío. En muchos casos la constante dieléctrica. Relativo a la constante dieléctrica del vacío tenemos:

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} = \epsilon' - j \epsilon''$$

Otra forma de expresar esta ecuación es:

$$\epsilon_r = \epsilon' (1 - j \tan \theta)$$

$$\text{Donde } \tan \theta = \epsilon'' / \epsilon'$$

Es llamada la tangente del dieléctrico. Esta nos da la relación de la potencia disipada a la potencia almacenada por ciclo y por lo tanto nos indica que tan dieléctrica es la sustancia. La constante dieléctrica cambia con la frecuencia. El cambio de ϵ' es gradual y por lo tanto puede ser considerado una constante sobre toda la banda de frecuencias. La variación de ϵ'' es usualmente mayor que la de ϵ' y por lo que debe ser medida cerca de la frecuencia requerida.

La constante dieléctrica puede ser calculada por medición de la magnitud de muchos efectos. La medición de la capacitancia de un condensador de placas paralelas.

$$\text{Capacitancia } C = \frac{100 \epsilon_r A}{36 S} \quad \text{microfarádios}$$

Donde S = Distancia entre las placas en metros

A = Area de las placas en metros cuadrados

ϵ_r = Constante dieléctrica del medio ambiente entre las placas

Este método mide el cambio de medio de una onda estacionaria producida por un corto circuito cuando una probeta es colocada en frente del corto circuito. El valor de la constante dieléctrica medida es críticamente relacionada con exactitud con que el movimiento de la onda puede ser determinado con un detector de

onda estacionaria la probeta será incertada dentro de la apertura de la guía de onda de un corto circuito variable. La posición de la onda estacionaria es entonces medida con o sin probeta. Si un valor aproximado de la constante dieléctrica es conocida una sola medición es necesaria sino varias mediciones con probetas de diferentes espesores serán necesarias o varias mediciones con diferentes rangos de frecuencia deberán usarse con la misma probeta.

FUNDAMENTACION TEORICA.

Si un dieléctrico de espesor "d" centímetros produce un cambio en el mínimo de la onda estacionaria de "L" centímetros entonces un valor "X" puede ser calculado.

$$X = \frac{xg}{d} \tan \left(\frac{2\pi(L + d)}{\lambda g} \right) \dots\dots\dots(1)$$

Donde λg = longitud de onda de la guía de onda

Una cantidad V (que será el número de longitudes de onda de la radiación de microondas a una distancia "d" del dieléctrico que ocupa la guía). Es definido por la ecuación.

$$X = \frac{\tan 2\pi V}{V} \dots\dots\dots(2)$$

La mejor manera para encontrar V es construir una gráfica de V contra X en papel gráfico Log/Lineal con 5 ciclos de escala logaritmica. (Una gráfica típica es mostrada en la figura 4). Hay diversos valores posibles de V por un valor de X pero siempre todos los casos prácticos pueden ser abarcados, si 4 gráficas separadas son dibujadas.

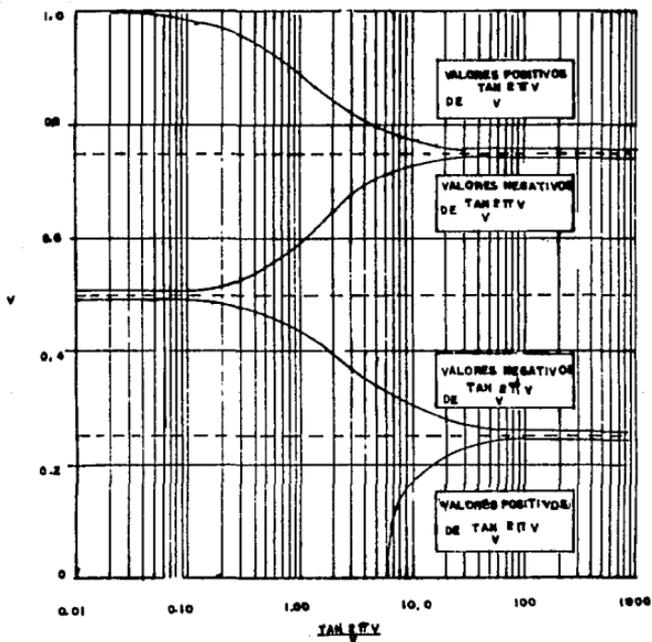


Fig. 4

Uno para V entre 0 y $1/2$; uno para $1/2$ y 1; uno para 1 y $1 \frac{1}{2}$ y otro para $1 \frac{1}{2}$ y 2. Para valores positivos de X , V por lo tanto debe estar situado entre 0 y $1/2$ o $1/2$ y $3/4$ etc. , los valores de X encontrados nos indica todos los posibles valores de V de la gráfica. Entonces calculando los valores correspondientes de la constante dieléctrica ϵ_r de la fórmula.

$$\epsilon_r = 1 - \left(\frac{\lambda_0}{g} \right)^2 + \left(\frac{\lambda_0 V}{d} \right)^2 \dots \dots \dots (3)$$

Donde λ_0 = Longitud de onda en el espacio libre.

Si no es inmediatamente obvio el valor correcto, entonces se repite el experimento con una muestra de diferente espesor o con una frecuencia un poco diferente con el mismo espesor del material.

Solamente un valor puede ser repetido en cada juego.

Esta es la correcta constante dieléctrica.

PROCEDIMIENTO DE LA PRUEBA.

- a) Coloque los aparatos como se muestra en la figura 5, lo cual consiste del equipo básico con un circuito corto conectado al detector de onda estacionaria.

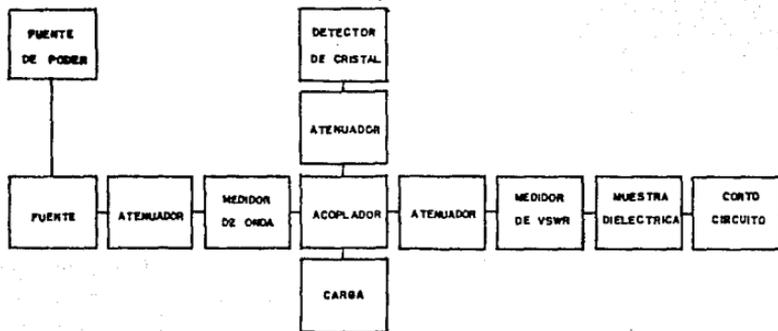


Fig.5

- b) Obtenga oscilaciones cercanas a los 9000 MHz
- c) Mida la exacta longitud de onda usando el medidor de onda, 6017/2 sintonizando para resonancia (bajando en el medidor de la entrada A) y leyendo el valor del micrómetro.
- d) Obtenga una pieza de material (digase polietileno, poliestireno o aluminio) corte a 0.900" x 0.400" en sección cruzada y cerca de 1 1/4 cms. de largo. Mida el espesor de este dieléctrico en centímetros lo más preciso posible usando un micrómetro.
- e) Coloque el micrómetro del circuito corto (6005/4) para que indique el mismo valor del espesor del dieléctrico, de tal manera que el circuito corto sea movido hacia atrás de su distancia.

- f) Anote la posición exacta del primer y segundo mínimo desde la derecha del detector de onda estacionaria.
- g) Remueva el circuito corto e inserte la muestra dieléctrica dentro de la apertura del circuito corto teniendo cuidado de no mover el circuito corto. La muestra dieléctrica debe ser convenientemente ajustada dentro de la guía de onda y la cara de enfrente debe ser al mismo nivel con la guía de onda. (Esto es porque el micrómetro del circuito corto puede ser movido hacia atrás una distancia equivalente a el espesor de la muestra). Si esto no es entonces repita los puntos D a G. Reemplace el dieléctrico ocupando el circuito corto 6005/4 sobre el detector de la onda estacionaria.
- h) El mínimo puede ahora ser movido hacia el circuito corto, midiendo la posición del primer mínimo desde el detector de onda estacionaria.
- i) Si este mínimo esta a la derecha del primer mínimo encontrado en la paso (f), entonces calcular "L", el cambio del primer mínimo.

Sin embargo, el primer mínimo del paso (f) (sin el dielectico) debe de ser movido tan lejos como este fuera del final del detector de onda estacionaria y entonces el aparente primer mínimo con el dieléctrico aparecerá a la izquierda del primer mínimo inicial.

En este caso "L" deberá ser tomando como la distancia entre el primer mínimo con el dieléctrico presente y el segundo mínimo del paso (f). "L" es el actual movimiento de un mínimo particular a la derecha.

- j) Habiendo encontrado "L" entonces seguimos las instrucciones de la teoría para el cálculo.

$$X = \frac{\lambda_g}{d} \tan \left[\frac{2\pi(L+d)}{\lambda_g} \right] \quad \text{donde el ángulo es en radianes}$$

$$X = \frac{\lambda_g}{d} \tan \left[\frac{360(L+d)}{\lambda_g} \right] \quad \text{donde el ángulo es en grados}$$

Leyendo los valores de V de la gráfica de :

$$\frac{\tan 2\pi / V = X}{V}$$

para calcular el valor de X.

Calcule los valores de la constante dieléctrica de:

$$\epsilon_r = 1 - \left(\frac{\lambda_0}{\lambda_g} \right)^2 + \left(\frac{\lambda_0 V}{\lambda_g} \right)^2$$

Si un valor aproximado de la constante dieléctrica ya ha sido dado entonces el valor exacto puede ser escogido de los resultados.

k) Si el valor de el constante dieléctrica es desconocido entonces se repite el experimento cercano a los 10,000 MHZ, y obtenga nuevamente un nuevo juego de resultados. Un resultado puede ser común para ambos juegos. Este es el valor de la constante dieléctrica.

La precisión de la medición puede ser incrementada si se manufactura una placa de corto circuito y se desliza el dieléctrico dentro de la apertura del detector de onda estacionaria. El corto circuito entonces es conocido y existe en la cara posterior del dieléctrico, a la vez que la posición eléctrica y mecánica del corto circuito son idénticos.

PROBETA DE ALUMINIO

OBSERVACIONES

Teniendo:

Frecuencia aproximada 9000 MHZ

$\lambda_g = 3.72$ cm Longitud de onda de la guía de onda

$\lambda_o = 3.33$ cm Longitud de onda en el espacio libre

$d = 0.50$ cm espesor de la probeta

Obtenemos los siguientes resultados :

Para la Primera medición.

Primer mínimo = 8.51 cm

Segundo mínimo = 10.42 cm

Para la segunda medición.

Primer mínimo = 8.64 cm

CALCULOS

$$L = 10.42 - 8.64 = 1.78 \text{ cm}$$

$$X = \frac{\lambda_g}{d} \tan \left[\frac{2\pi (L+d)}{\lambda_g} \right] = \frac{3.72}{0.5} \tan \left[2\pi \left(\frac{1.78+0.5}{3.72} \right) \right]$$

$$X = 6.39 \text{ Radianes}$$

Valores de V de la gráfica.

$$V_1 = 0.14$$

$$V_2 = 0.77$$

Para V_1 tenemos:

$$\epsilon_r = 1 - \left(\frac{\lambda_0}{\lambda_g} \right)^2 + \left(\frac{\lambda_0 V}{d} \right)^2 = 1 - \left(\frac{3.33}{3.72} \right)^2 + \left(\frac{3.33 (0.14)}{0.5} \right)^2$$

$$\epsilon_r = 1 - 0.80 + 0.86 = 1.06$$

Para V_2 tenemos:

$$\epsilon_r = 1 - \left(\frac{3.33}{3.72} \right)^2 + \left(\frac{3.33 (0.77)}{0.5} \right)^2$$

$$\epsilon_r = 1 - 0.80 + 26.29 = 26.49$$

Solamente un valor de los anteriores resultados coincide con el valor real de la constante dieléctrica del material; conociendo que el valor de la constante dieléctrica del aluminio es igual a 1 despreciamos el valor de 26.49. Por lo tanto el valor final es:

$$\epsilon_r = 1.06$$

PROBETA DE METACRILATO DE METILO

OBSERVACIONES

Teniendo:

Frecuencia aproximada 9000 MHZ

$\lambda_g = 3.72$ cm Longitud de onda de la guía de onda

$\lambda_0 = 3.33$ cm Longitud de onda en el espacio libre

$d = 0.50$ cm espesor de la probeta

Obtenemos los siguientes resultados :

Para la Primera medición.

Primer mínimo = 8.30 cm

Segundo mínimo = 10.20 cm

Para la segunda medición.

Primer mínimo = 9.46 cm

CALCULOS

$$L = 10.20 - 9.46 = 0.74 \text{ cm}$$

$$X = \frac{\lambda_g}{d} \tan \left[\frac{2\pi (L+d)}{\lambda_g} \right] = \frac{3.72}{0.5} \tan \left[\frac{2\pi (0.74 + 0.5)}{3.72} \right]$$

$$X = 7.44 \tan 2.09 = 12.89 \text{ Radianes}$$

Valores de V de la gráfica.

$$V_1 = 0.23$$

$$V_2 = 0.74$$

Para V_1 tenemos:

$$\epsilon_r = 1 - \left(\frac{\lambda_0}{\lambda_g} \right)^2 + \left(\frac{\lambda_0 V}{d} \right)^2 = 1 - \left(\frac{3.33}{3.72} \right)^2 + \left(\frac{3.33 (0.23)}{0.5} \right)^2$$

$$\epsilon_r = 1 - 0.8 + 2.35 = 2.55$$

Para V_2 tenemos:

$$\epsilon_r = 1 - \left(\frac{3.33}{3.72} \right)^2 + \left(\frac{3.33 (0.74)}{0.5} \right)^2$$

$$\epsilon_r = 1 - 0.8 + 24.29 = 24.49$$

Solamente un valor de los anteriores resultados coincide con el valor real de la constante dieléctrica del material; conociendo que el valor de la constante dieléctrica del Metacrilato de Metilo es igual a 2.33 despreciamos el valor de 24.49. Por lo tanto el valor final es :

$$\epsilon_r = 2.55$$

PROBETA DE POLIETILENO ALTA DENSIDAD

OBSERVACIONES

Teniendo:

Frecuencia aproximada 9000 MHZ

$\lambda_g = 3.72 \text{ cm}$ Longitud de onda de la guía de onda

$\lambda_0 = 3.33 \text{ cm}$ Longitud de onda en el espacio libre

$d = 0.50 \text{ cm}$ espesor de la probeta

Obtenemos los siguientes resultados :

Para la Primera medición.

Primer mínimo = 8.40 cm

Segundo mínimo = 9.34 cm

Para la segunda medición.

Primer mínimo = 9.18 cm

CALCULOS

$$L = 9.34 - 9.18 = 0.16 \text{ cm}$$

$$X = \frac{\lambda_g}{d} \tan \left[\frac{2\pi (L+d)}{\lambda_g} \right] = \frac{3.72}{0.5} \tan \left[\frac{2\pi (0.16 + 0.5)}{3.72} \right]$$

$$X = 7.44 \tan 0.163.54 = 15.16 \text{ Radianes}$$

Valores de V de la gráfica.

$$V_1 = 0.22$$

$$V_2 = 0.76$$

Para V_1 tenemos:

$$\epsilon_r = 1 - \left(\frac{\lambda_0}{\lambda_g} \right)^2 + \left(\frac{\lambda_0 V}{d} \right)^2 = 1 - \left(\frac{3.33}{3.72} \right)^2 + \left(\frac{3.33 (0.22)}{0.5} \right)^2$$

$$\epsilon_r = 1 - 0.8 + 2.14 = 2.34$$

Para V_2 tenemos:

$$\epsilon_r = 1 - \left(\frac{3.33}{3.72} \right)^2 + \left(\frac{3.33 (0.76)}{0.5} \right)^2$$

$$\epsilon_r = 1 - 0.8 + 25.62 = 25.82$$

Solamente un valor de los anteriores resultados coincide con el valor real de la constante dieléctrica del material; conociendo que el valor de la constante dieléctrica del Polietileno de alta densidad es igual a 2.34 despreciamos el valor de 25.82. Por lo tanto el valor final es :

$$\epsilon_r = 2.34$$

PROBETA DE FIBRA DE VIDRIO POLIESTER

OBSERVACIONES

Teniendo:

Frecuencia aproximada 9000 MHZ

$\lambda_g = 3.72$ cm Longitud de onda de la guía de onda

$\lambda_o = 3.33$ cm Longitud de onda en el espacio libre

$d = 0.50$ cm espesor de la probeta

Obtenemos los siguientes resultados :

Para la Primera medición.

Primer mínimo = 7.92 cm

Segundo mínimo = 9.96 cm

Para la segunda medición.

Primer mínimo = 6.67 cm

CALCULOS

$$L = 9.96 - 6.67 = 3.52 \text{ cm}$$

$$X = \frac{\lambda_g}{d} \tan \left[\frac{2\pi (L+d)}{\lambda_g} \right] = \frac{3.72}{0.5} \tan \left[2\pi \frac{(3.52+0.5)}{3.72} \right]$$

$$X = 7.44 \tan 6.78 = 4.03 \text{ Radianes}$$

Valores de V de la gráfica.

$$V_1 = 0.82$$

$$V_2 = 0.80$$

Para V_1 tenemos:

$$\epsilon_r = 1 - \left(\frac{\lambda_0}{\lambda_g} \right)^2 + \left(\frac{\lambda_0 V}{d} \right)^2 = 1 - \left(\frac{3.33}{3.72} \right)^2 + \left(\frac{3.33 (0.32)}{0.5} \right)^2$$

$$\epsilon_r = 1 - 0.8 + 4.54 = 4.74$$

Para V_2 tenemos:

$$\epsilon_r = 1 - \left(\frac{3.33}{3.72} \right)^2 + \left(\frac{3.33 (0.60)}{0.5} \right)^2$$

$$\epsilon_r = 1 - 0.8 + 28.38 = 28.58$$

Solamente un valor de los anteriores resultados coincide con el valor real de la constante dieléctrica del material; conociendo que el valor de la constante dieléctrica de la Fibra de Vidrio Polyester es igual a 5 despreciamos el valor de 28.58. Por lo tanto el valor final es:

$$\epsilon_r = 4.74$$

PROBETA DE METACRILATO DE METILO CON PELÍCULA DELGADA CONDUCTORA

OBSERVACIONES

Teniendo:

Frecuencia aproximada 3000 MHz

$\lambda_g = 3.72$ cm Longitud de onda de la guía de onda

$\lambda_o = 3.33$ cm Longitud de onda en el espacio libre

$d = 0.50$ cm espesor de la probeta

Obtenemos los siguientes resultados :

Para la Primera medición.

Primer mínimo = 8.42 cm

Segundo mínimo = 10.40 cm

Para la segunda medición.

Primer mínimo = 8.63 cm

CALCULOS

$$L = 10.40 - 8.63 = 1.77 \text{ cm}$$

$$X = \frac{\lambda_g}{d} \tan \left[\frac{2\pi (L+d)}{\lambda_g} \right] = \frac{3.72}{0.5} \tan \left[\frac{2\pi (1.77+0.5)}{3.72} \right]$$

$$X = 7.44 \tan 3.83 = 6.17 \text{ Radianes}$$

Valores de V de la gráfica.

$$V_1 = 0.15$$

$$V_2 = 0.76$$

Para V_1 tenemos:

$$\epsilon_r = 1 - \left(\frac{\lambda_0}{\lambda_g} \right)^2 + \left(\frac{\lambda_0 V}{d} \right)^2 = 1 - \left(\frac{3.33}{3.72} \right)^2 + \left(\frac{3.33 (0.15)}{0.5} \right)^2$$

$$\epsilon_r = 1 - 0.80 + 0.99 = 1.19$$

Para V_2 tenemos:

$$\epsilon_r = 1 - \left(\frac{3.33}{3.72} \right)^2 + \left(\frac{3.33 (0.76)}{0.5} \right)^2$$

$$\epsilon_r = 1 - 0.80 + 25.62 = 25.82$$

Para todos los materiales que analizamos anteriormente conocíamos un valor aproximado de su constante dieléctrica, ahora no tenemos referencia, pero observamos del resultado de la prueba que el valor experimental de la constante dieléctrica que obtuvimos es aproximadamente igual en uno de sus valores al de la probeta de aluminio, confirmando nuestra teoría. Por lo tanto el valor final es:

$$\epsilon_r = 1.19$$

NOTA: el espesor del recubrimiento fue de 20 micras

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

TABLA DE RESULTADOS

MATERIAL	ϵ_r	ϵ_r teórica
ALUMINIO	1.06	1.0
METACRILATO DE METILO	2.55	2.33
POLIETILENO ALTA DENSIDAD	2.34	2.26
FIBRA DE VIDRIO POLIESTER	4.74	5.0
METACRILATO DE METILO CON PELICULA DELGADA CONDUCTORA	1.19	--

2.5 CONCLUSIONES DEL CAPITULO.

La tabla de resultados muestra que la probeta de Metacrilato de Metilo con Pelicula delgada conductora posee una constante dieléctrica experimental similar a la probeta de aluminio por lo que deducimos que su comportamiento electromagnético es cercano al de un material conductor. La razón de este comportamiento es simple; la cara de la probeta que estuvo expuesta a la radiación electromagnética fue aquella que poseía el recubrimiento de película delgada conductora.

Esta prueba así como la anterior de Reflexión Electromagnética demuestra que el espesor de material conductor necesario para obtener resultados electromagnéticos satisfactorios puede ser bastante pequeño.

CAPITULO III

MODELOS EXPERIMENTALES

3.1 REQUERIMIENTOS MECANICOS Y ELECTROMAGNETICOS

El diseño de plásticos reforzados laminados para su uso como reflectores parabólicos requiere una detallada atención en cuanto a sus características mecánicas y calidad electromagnética.

El diseño mecánico afecta el acabado superficial del área de reflexión y las características de carga de viento.

Las consideraciones estéticas de la superficie exterior requieren una atención especial que provea una atractiva apariencia y una adecuada resistencia a las condiciones climatológicas. La tercera condición de diseño apunta al criterio electromagnético, donde el diseño debe satisfacer los mínimos requerimientos. Los resultados que arrojarán las diferentes pruebas que se llevarán a cabo nos proporcionarán los criterios de decisión en cuanto a los parámetros de diseño electromagnético.

El flujo de energía consta de dos elementos de campo que son perpendiculares entre sí llamados vector de campo eléctrico E y el vector de campo magnético H cuando la orientación de estos vectores de campo es ordenada con respecto a una dirección decimos que la onda está polarizada y la orientación en términos del campo E es definida.

Entonces si el vector E es vertical decimos que la onda está polarizada verticalmente del mismo modo una polarización horizontal tiene el vector E horizontal.

Una polarización circular significa que el vector E está rotando al mismo tiempo que avanza hacia la derecha o izquierda

dependiendo de la velocidad de rotación, una rotación completada en una longitud de onda. La figura 1 ilustra el concepto y muestra la relación entre E y H de una onda con polarización vertical. Un factor importante en el diseño de un reflector fabricado con un laminado plástico es que este preserve la polarización de la onda incidente. Una antena con polarización vertical es insensible a la energía polarizada horizontalmente, y contrariamente para una antena polarizada horizontalmente; una antena polarizada linealmente detecta solamente una porción de energía en una onda de polarización circular, y una antena polarizada circularmente a la izquierda es oculto para una onda polarizada circular a la derecha.

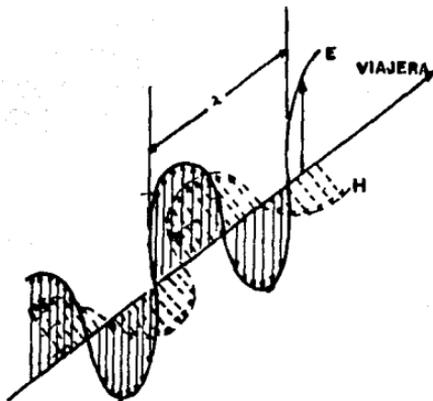


Fig. 1

Aquí nosotros trataremos en principio con la recepción de radiodifusión vía satélite, energía de corta longitud de onda del orden de 2.4 cm (12.59 GHz). Las estructuras laminadas presentan utilizaciones de reflectores o "discos" y esto requiere atención

directa de las propiedades ópticas del laminado para la longitud de onda de interés; una reflexión especular se requiere más que una difusa. Un reflector especular regresa toda la energía incidente en patrones de rayos geoméricamente predecibles

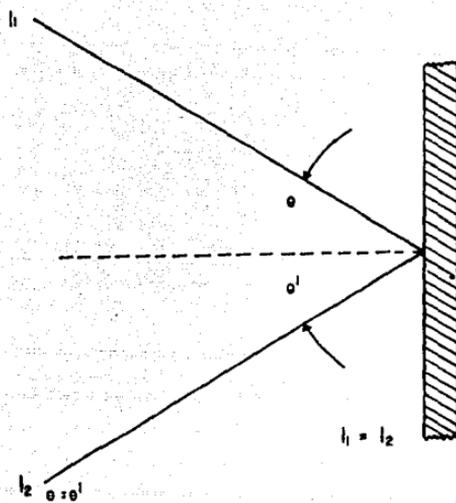
Esto significa que el ángulo de reflexión es equivalente al ángulo de incidencia. Por otra parte un reflector difuso rompe la energía incidente y la dispersa de regreso a la fuente. La clásica superficie difusora Lambertiana con un patrón coseno. La figura 2 ilustra estos conceptos.

Obviamente el laminado debe de ser tan especular como sea posible en la longitud de onda de operación.

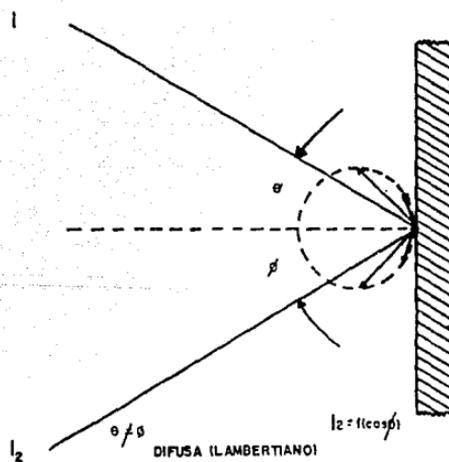
Los laminados de plástico reforzado son típicamente hechos de materiales no conductores los cuales son intrínsecamente malos reflectores de las longitudes de onda de interés, para las comunicaciones la práctica más común es añadir una capa de material semejante a metal combinado, los cuales tienen que ser cuidadosamente seleccionados para resolver este problema.

Sin embargo la reflexión ocurre sin la presencia de una hoja conductora, debido al cambio abrupto que el laminado introduce en las características eléctricas de la trayectoria de la onda electromagnética, esto es debido al cambio de velocidad de la onda cuando pasa desde el aire o espacio vacío hacia adentro del laminado. La frecuencia permanece sin cambio, pero la velocidad se reduce y la longitud de onda se acorta. La propiedad del material responsable de este fenómeno es la constante dieléctrica, la cual describe el comportamiento eléctrico del material comparado con el espacio libre.

La raíz cuadrada de la constante dieléctrica es el índice de refracción - La relación entre velocidad de la onda en el espacio y la velocidad de la onda en el medio -.



ESPECULAR



DIFUSA (LAMBERTIANO)

Fig. 2

En el paso a través de cualquier otro medio diferente al espacio vacío, la onda de propagación encuentra obstáculos, en el aire estos obstáculos consisten en moléculas de gas, moléculas de agua, polvo, gotas de agua o cristales de hielo. En un laminado sólido, las moléculas del laminado abastecen los obstáculos. Una porción de la onda se refleja aleatoriamente en todas direcciones mientras otra porción se convierte en calor .

Entre mayor sea la longitud de la trayectoria, mayor será la fracción perdida por calor o refracción aleatoria.

Este calor perdido se refiere a su absorción y se cuantifica como parte de la expresión de la constante dieléctrica.

El término propio es " factor de pérdida "

Es obvio que en cualquier porción del área del reflector, la energía recibida, debe viajar teniendo un bajo factor de pérdida práctico para minimizar la reducción de energía que llega a los elementos detectores.

En una discusión de la propiedad de la onda, es pertinente una definición acerca de la coherencia. La radiación coherente, la cual es única para fuentes de radiación hechas por el hombre. Esta es la propiedad monocromática en la cual la energía se emite en paquetes ajustadamente agrupados.

La coherencia espacial dará como resultado un orden en el uso de las ondas electromagnéticas y como consecuencia mayor eficiencia.
[CANFIELD, S. 1986]

3.2 TECNICAS DE CONSTRUCCION

La construcción de un modelo experimental es un elemento primordial en el diseño de un prototipo, su objetivo es el demostrar que las teorías hasta ahora expuestas en las pruebas de laboratorio del capítulo anterior son aplicables en el diseño de reflectores parabólicos.

Partiendo de los resultados obtenidos en dichas pruebas, que concluyeron que el comportamiento electromagnético de la película delgada conductora, es similar al de un material metálico sólido y por lo tanto suficiente como para ser usado como superficie reflectora de ondas electromagnéticas en frecuencias de microondas, usando como soporte algún laminado plástico o resinas termoestables reforzadas con fibras de vidrio, se desarrollaron modelos experimentales a escala para ser sometidos a pruebas de radiación en transmisión en un banco de microondas Marconi Instruments .

Se diseñaron tres tipos diferentes de modelos, construidos con técnicas distintas desarrollados bajo diferentes aplicaciones de la película delgada conductora.

El diseño de todos los modelos construidos contempla en su geometría estructural la forma de montaje necesaria para acoplarse al banco de microondas Marconi Instruments, que lo coloca en la posición requerida para realizar las pruebas de radiación. El diseño de estos modelos así como las técnicas de construcción empleadas se describen a continuación .

MODELO EX 1 - LPT

DESCRIPCION.

Este es el modelo experimental número uno por ser el primer diseño que se realizó, la superficie reflectora está construida de un laminado de Poliestireno de aproximadamente 0.5 milímetros de espesor conocido comercialmente como calibre 26, este modelo tiene una forma toroidal, lo que significa que es una sección rectangular de un paraboloides de revolución [Fig. 3], usando como soporte un bastidor de aluminio tubular para conformar el toroide.

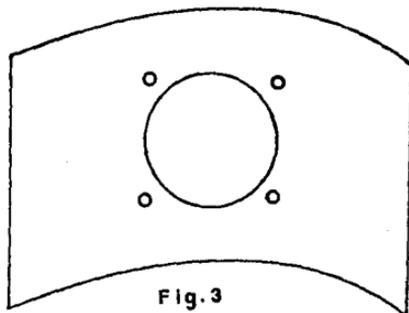


Fig. 3

TECNICA DE FABRICACION.

El laminado de poliestireno fué seleccionado de acuerdo a sus características mecánicas expuestas en el Capítulo I, un análisis profundo de estas, arrojó como sus principales características, su flexibilidad y facilidad para el moldeado, su bajo costo y gran variedad de espesores en los que se lamina, pero el parámetro que lo hizo elegible para la construcción de un modelo experimental fué que es posible metalizarlo por el método del pulverizado, ya que se disuelve superficialmente al contacto con un agente como thinner o acetona que usamos como solvente del compuesto metalizador, permitiendo que este se adhiera al laminado. Mediante este método se aplicó al laminado una película delgada conductora compuesta por aluminio pulverizado al 99% de pureza de espesor aproximadamente igual a 10 micras

Para lograr el moldeado y obtener la forma toroidal del reflector se utilizó como se mencionó anteriormente un bastidor, este se fabricó de aluminio tubular de 1/4 de pulgada de diámetro ranurándose longitudinalmente.

Se obtuvieron cuatro segmentos de tubular, dos de 25.0 cm y dos de 12.0 cm. Por ser el aluminio un material suave y dúctil se logró formar secciones de una parábola, dos en el plano horizontal y dos en el plano vertical, tomando como patrón un reflector parabólico de aluminio sólido que forma parte del equipo del banco de microondas Marconi Instruments. De este reflector se tomaron sus dimensiones físicas:

$$\text{diámetro} = 25.0 \text{ cm}$$

$$f/D = 0.284$$

$$\text{profundidad (d)} = 5.5 \text{ cm}$$

Estos parámetros nos llevaron a obtener la ecuación del reflector parabólico Marconi Instruments.

De la ecuación canónica de la parábola

$$y^2 = 4fX$$

despejando a X

$$X = \frac{1}{4f} y^2$$

Si hacemos que el primer término de la derecha sea igual a K entonces:

$$X = K y^2$$

La distancia focal puede ser obtenida por: (BAYLIN, Frank. 1986)

$$f = \frac{D^2}{16d}$$

sustituyendo valores

$$f = \frac{(25^2)}{16(5.5)} = 7.10 \text{ cm}$$

Por lo tanto

$$K = \frac{1}{4(7.10)} = 0.35$$

Finalmente la ecuación nos queda

$$X = 0.35 Y^2 \quad \dots\dots\dots(1)$$

Tabulando esta ecuación para X, Y ; desde Y = 0 hasta Y = 12.5, ya que la sección desde Y = 0 hasta Y = - 12.5 toma los mismos valores solo que de signo contrario

Y (cm)	X (cm)
1	0.35
2	0.14
3	0.31
4	0.56
5	0.87
6	1.26
7	1.71
8	2.24
9	2.83
10	3.50
11	4.23
12	5.04
12.5	5.46

Graficando los valores de la tabulación se obtiene la parábola que servirá de patrón en la construcción del modelo.

Como sabemos un reflector parabólico se forma al hacer girar una parábola alrededor de su eje, resulta ser que es la misma parábola en un plano que en otro, ya que esta no cambia al girar solo cambia de posición respecto a un plano.

Entonces tomamos la sección que va de $Y = -12.5$ a $Y = 12.5$ para formar los tubulares del plano horizontal y la sección que va de $Y = 0$ a $Y = 12.5$ para formar los tubulares del plano vertical.

Los tubulares se curvan mediante un doblado manual ya que el material es sumamente dúctil, siguiendo la curvatura de la gráfica de la EC. 1 como patrón.

El laminado es cortado en forma rectangular obteniendo sus dimensiones al presentar sobre un plano los cuatro segmentos que forman el bastidor, en el centroide del rectángulo se corta un círculo de 3.2 cm de diámetro y cuatro barrenos de 1/4 de pulgada circundantes simétricamente del círculo que servirá para acoplar el reflector al banco de microondas Marconi Instruments. [Fig. 4]

Una vez que se tienen las secciones que forman el bastidor y el laminado ya cortado y metalizado, se procede al ensamble final.

El laminado se desliza dentro de las ranuras de cada una de las secciones tubulares y debido a la flexibilidad del poliestireno, este toma la forma toroidal.

MOD EX2-FPP

DESCRIPCION.

Es el modelo experimental número 2, de Fibra de Vidrio y resina Poliester E. La superficie reflectora está compuesta de resina Poliester E, recubierta superficialmente con una película delgada conductora, compuesta por 70% de Aluminio, 20 % de Cobre, 10 % de Grafito. [Fig. 5]

TECNICA DE FABRICACION.

Para la fabricación de cualquier objeto en fibra de vidrio es necesario contar con un molde patrón, en este caso el molde fué el reflector parabólico, que forma parte del equipo del banco de microondas Marconi Instruments.

La fibra de Vidrio es solo un soporte que le agrega propiedades mecánicas a la resina Poliester E, un polímero termoestable. Este modelo fué fabricado manualmente, por el método conocido como "método del picado".

El molde patrón se impregna de una sustancia que comercialmente se le conoce como desmoldante, y como su nombre lo indica su función es permitir que el conformado se despreque del molde patrón una vez que esto se requiera.

Después que el desmoldante ha formado una película seca en el molde patrón, se prosigue a la aplicación de la Fibra de Vidrio y la resina Poliester E, sobre el molde. Cuando este compuesto haya secado completamente se separa el conformado del molde, obteniendo una superficie lisa en la parte del conformado que estaba en contacto con el molde.

Una vez que se obtuvo el modelo en Fibra de Vidrio solo fué necesario barrenar a 1/8 los cuatro orificios necesarios para acoplar el modelo al banco de microondas Marconi Instruments.

La película delgada conductora se le aplicó a la superficie por el método del pulverizado de un compuesto a base de polvo de aluminio (70 %), polvo de cobre (20 %), polvo de grafito (10 %) "disueltos" en acetona, y aplicado con pistola de aire. La acetona fué seleccionada como solvente ya que la resina Poliester se disuelve en ella superficialmente, y como analizamos anteriormente lo que buscamos con este método es precisamente la disolución del polímero para lograr la adherencia de la película delgada conductora en la superficie del modelo.

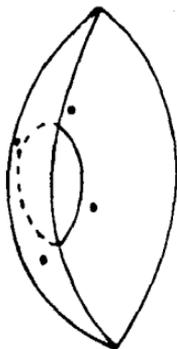


Fig. 5

MODELO EX3 FPAP

DESCRIPCION.

Este modelo experimental también se fabrica de Fibra de Vidrio y resina Poliester E, pero a diferencia del modelo EX2, la película delgada conductora es de papel de aluminio doméstico, que es en realidad un laminado sólido de aluminio de espesor de tan solo unas cuantas micras.

La película delgada conductora se coloca no en la superficie como en los modelos anteriores si no entre dos capas del compuesto de resina Poliester E y Fibra de Vidrio.

Este modelo es realmente un reflector de "papel aluminio" que usa a la Fibra de vidrio y a la resina Poliester E, como soporte mecánico.

Las pruebas de radiación confirmarán el planteamiento en el que se basa la teoría de la película delgada, acerca del espesor mínimo de la superficie reflectora, demostrando que las características electromagnéticas en estas pruebas son similares a las de un reflector metálico sólido.

TECNICAS DE FABRICACION.

En la fabricación de este modelo experimental se uso, de igual manera que para su antecesor el EX2, al reflector Marconi Instruments como molde patrón, por lo tanto las dimensiones físicas de estos dos modelos experimentales son idénticas. El método de aplicación de la Fibra de Vidrio y la resina Poliester E es similar, solo que en este modelo se realizó en dos fases.

La primera consiste en la aplicación de una capa delgada de resina Poliester E únicamente, sobre el desmoldante, antes que la resina

obtenga una completa rigidez con el secado, esto es cuando todavía se encuentre en la fase "gelatinosa", se aplicaron sobre ella 15 "pétalos" de papel aluminio, cortados previamente como secciones de un círculo de diámetro igual al del reflector Marconi Instruments, que usamos como molde patrón [Fig. 6], cuidando que ningún "pétalo" se sobreponga con otro. Así formamos el "reflector de papel".

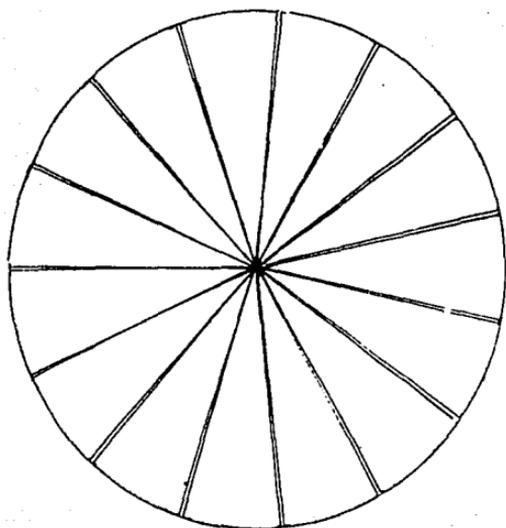


Fig. 6

La segunda fase consiste en aplicar sobre el papel aluminio la Fibra de Vidrio y la resina Poliester E, para conformar el modelo por el "método del picado", dándole rigidez mecánica al reflector de "papel".

Como la resina Poliester E es transparente, podremos observar al sacar el modelo del molde patrón los pétalos de papel aluminio formando el reflector.

En los primeros años de las comunicaciones vía satélite los reflectores parabólicos de Fibra de Vidrio fueron muy populares, estos se fabricaban de manera muy similar a la que aquí se describe, pero usaban una malla de criba en su interior como superficie reflectora, cuando las comunicaciones vía satélite pasaron de la banda C a la Ku y a frecuencias mayores, estos reflectores ya no fueron operativos. La malla de criba presenta rugosidad e imperfecciones superficiales muy significativas a estas frecuencias, dado que la longitud de onda es sumamente pequeña.

Este modelo retoma la aplicación de la Fibra de Vidrio como material de fabricación, sin embargo al usar un laminado super delgado de aluminio en lugar de una malla de criba, como superficie reflectora, elimina en gran parte el problema de la rugosidad y las imperfecciones superficiales, por ser un medio continuo, haciéndolo aplicable en la recepción y transmisión de señales a frecuencias altas, como es el caso de la banda Ku.

3.3 PRUEBAS DE RADIACION

El objetivo de estas pruebas es obtener los diagramas polares del Patrón de Radiación de los modelos experimentales que se diseñaron y fabricaron con las técnicas mencionadas anteriormente, basándose en los resultados obtenidos de las pruebas de laboratorio que comprobaron la teoría de película delgada en el Capítulo II de esta tesis.

Para las pruebas de radiación en el banco de microondas, son necesarios los siguientes instrumentos:

- (1) Fuente de poder
- (2) Diodo oscilador
- (3) Amplificador de VSWR

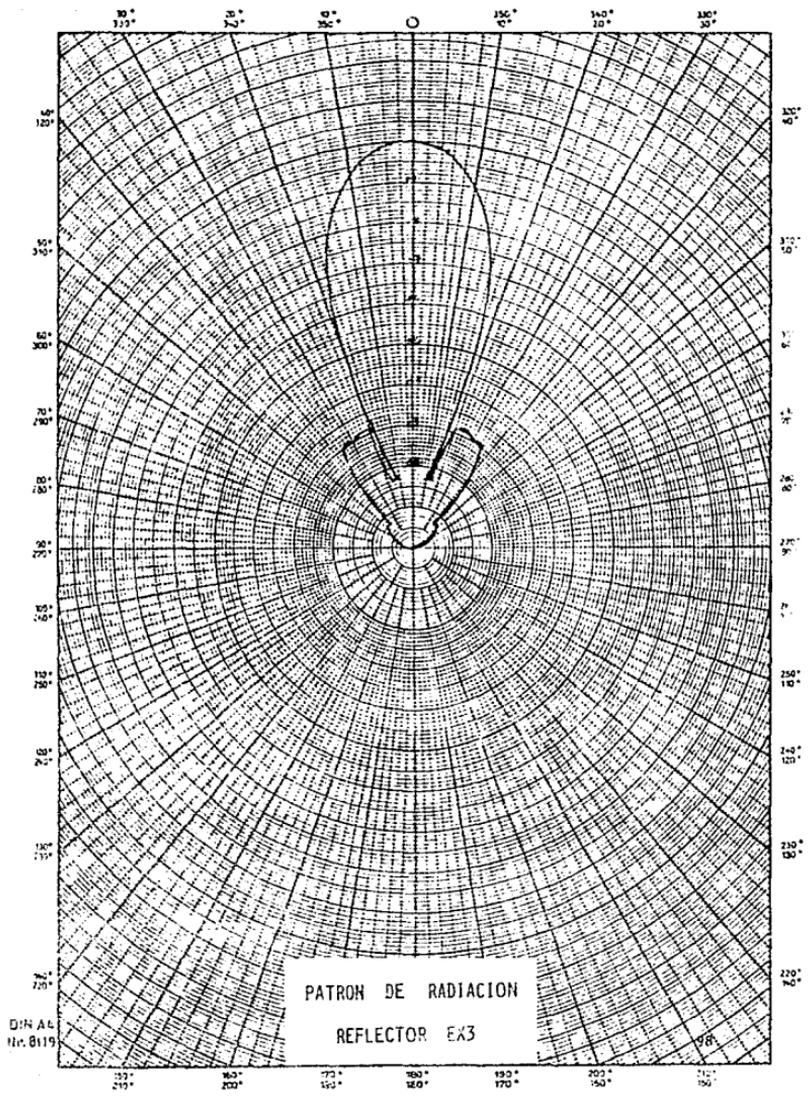
PROCEDIMIENTO

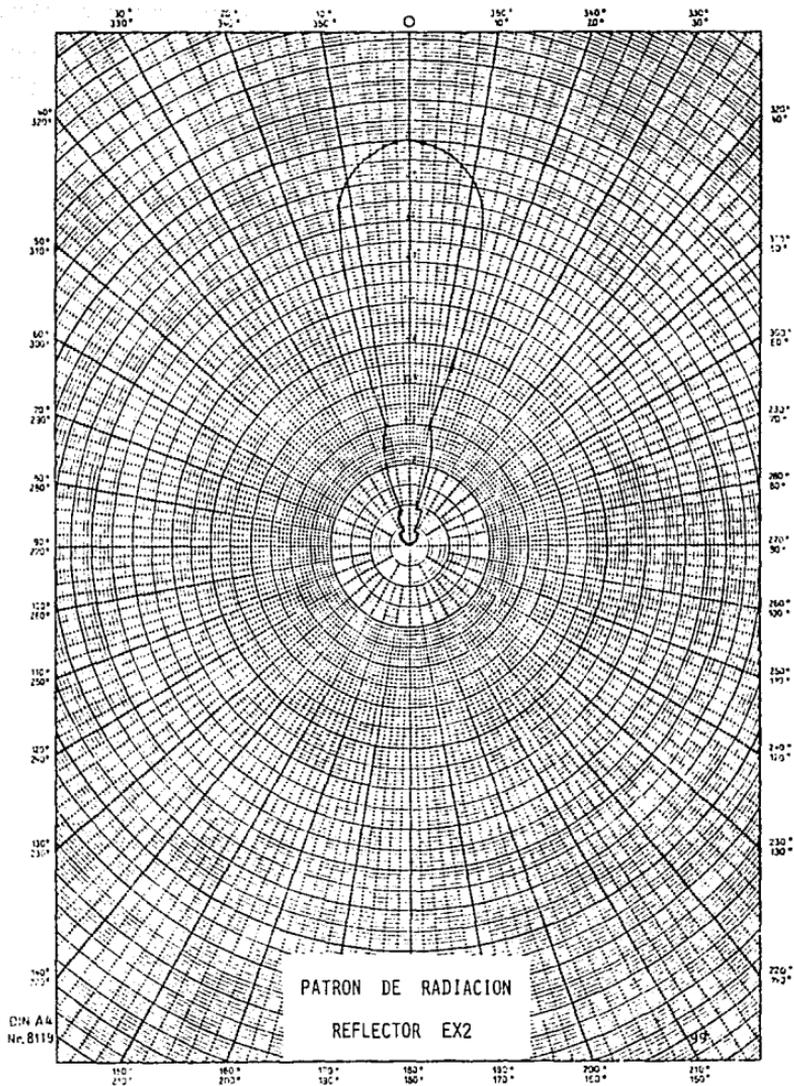
Los aparatos deben colocarse como lo indica el siguiente diagrama de bloques.

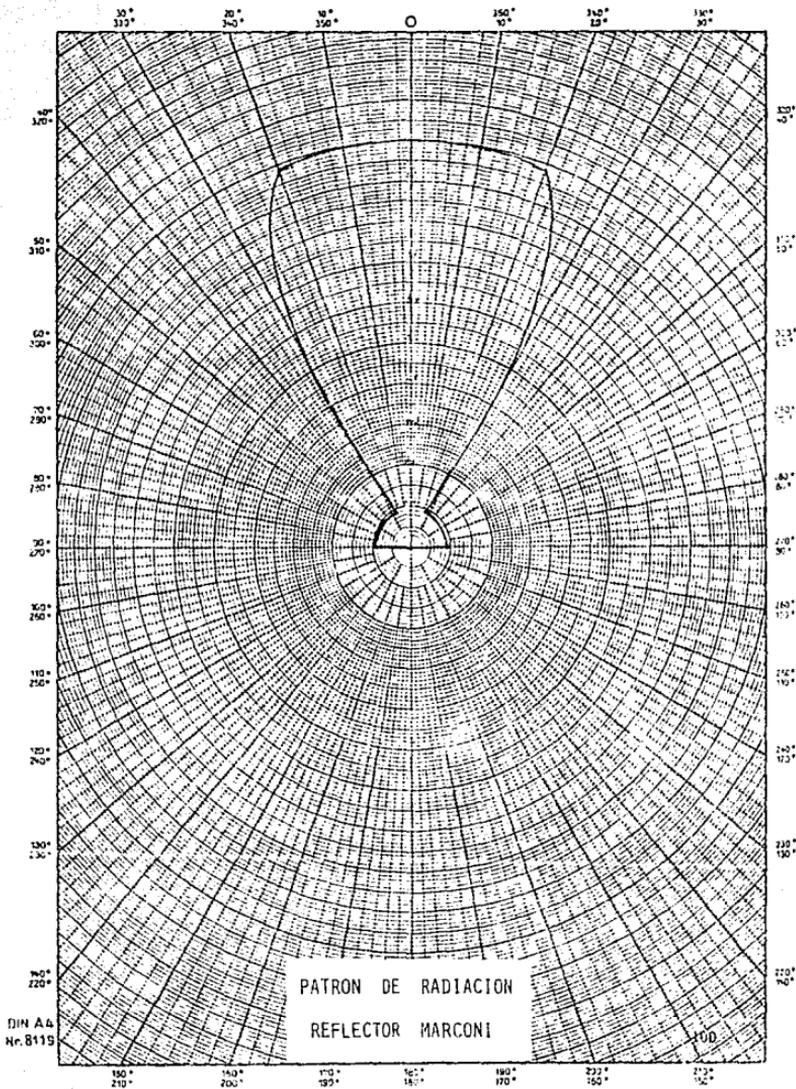


- a) Conecte la antena de prueba en serie con el atenuador calibrado a el generador.
- b) Agregue atenuación [dB] para saturar y aislar la antena y el generador.

- c) Ajuste la frecuencia de la fuente a 9 GHz por medio del micrómetro calibrado.
 - d) Conecte el detector de cristal coaxial dentro de la antena, usando la guía de onda para transformador coaxial.
 - e) Conecte el medidor de VSWR a el detector de cristal.
 - f) Mueva la corneta receptora a la posición de máxima salida encontrada en el medidor de VSWR (igual a 1 con la atenuación correspondiente). Mueva la corneta para localizar esta posición lo más lentamente posible. La lectura debe de empezar a leerse a partir de 0 grados para todas las antenas, excepto para arreglos lineales.
 - g) Inserte 30 dB en el atenuador calibrado e instale el medidor de VSWR para leer la escala.
 - h) Mueva la corneta 2 grados y anote el cambio de la atenuación en el atenuador calibrado requerida para leer en el medidor de VSWR.
 - i) Repita el inciso h, para 4, 6, 8, ... n grados.
 - j) Repita el inciso h para -4, -6, -8, ... -n grados.
 - k) Si se desca, un trazo lineal en potencia puede ser tomado.
 - l) Mueva la corneta receptora en incrementos de 2 grados, note el cambio de lectura de la escala del medidor de VSWR.
- [CROSS, A. W. , 1967]







PATRON DE RADIACION

REFLECTOR MARCONI

DIN A4
 Nr. 8119

3.4 GANANCIA DE UNA CORNETA

La acción de la corneta es dirigir la radiación de la guía dentro de un lóbulo angosto. La anchura en el lóbulo es función de las dimensiones en la corneta. Con la angostura del lóbulo la densidad de energía se incrementa en un punto de la corneta, este incremento en energía empieza a medir la ganancia de la corneta, esta expresa el incremento de potencia transmitida en una dimensión dada, sobre la potencia que presenta en esa misma dirección, si la corneta tiene un transmisor omnidireccional.

Hay diferentes métodos de medir la ganancia el más común es usar la ecuación del radar [CROSS, A. W. , 1967], la cual define la potencia recibida P_R por un receptor conectado a una antena de ganancia G cuando una potencia P_T es transmitida desde una antena de ganancia G_2 , el espacio entre las antenas es S y λ la longitud de onda en el espacio libre.

La ecuación es:

$$G_1 = G_2$$

$$\frac{P_R}{P_T} = \left(\frac{\lambda}{4\pi S} \right)^2 G_1 G_2$$

Para cornetas iguales :

$$\frac{P_R}{P_T} = \left(\frac{\lambda}{4\pi S} \right)^2 G^2$$

El patrón de transmisión de una antena es la superficie

$$r = \frac{G(\theta, \phi)}{G_m}$$

Esta es la función de ganancia superficial normalizada para una unidad de radio máximo. Una sección transversal de esta superficie en cualquier plano a través de la original se llama el diagrama polar de la antena en este plano. Cuando el patrón tiene un lóbulo principal simple, este se define como la antena emisora.

El patrón de recepción de una antena es definido como la superficie normalizada por unidad de radio máximo.

$$r = A_r (\theta, \phi)$$

Puede ser demostrado que como resultado del teorema de reciprocidad que las propiedades de recepción y transmisión de una antena son idénticas.

$$\frac{G(\theta, \phi)}{G_m} = \frac{A_r(\theta, \phi)}{A_{r\max}}$$

y el radio $\frac{A_{r\max}}{G_m}$ es constante y equivale a :

$$\frac{\lambda^2}{4\pi} \text{ por lo tanto } A_r(\theta, \phi) = \frac{\lambda^2 G(\theta, \phi)}{4\pi}$$

La teoría requiere que una onda plana sea incidente sobre la antena de recepción sin embargo en la práctica esto es con cierto grado de tolerancia. Si la separación es suficientemente grande que el frente de onda sobre una pequeña posición del rayo sea cercanamente a la onda plana. D es la dimensión de apertura de antena de recepción y S es la distancia del transmisor de apertura D . La diferencia en la longitud de trayectoria entre el filo externo de D y el centro es dado por:

$$dS = S' - S$$

y considerando el triángulo A B C. [Fig. 7]

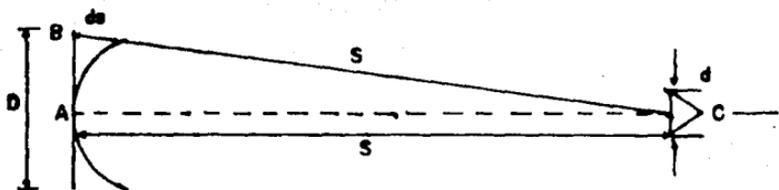


Fig. 7

$$S^2 = (D/2)^2 = (S + ds)^2$$

Y si ds es una pequeña fracción de una longitud de onda cuando $(ds)^2$ es muy pequeña.

$$S = D^2 / 8 ds$$

Para una trayectoria diferente de $ds = \lambda/16$

$$S = 2 D^2 / \lambda$$

Esto es usualmente tomado para ser el mínimo espacio semejante para que el frente de onda sea prácticamente una onda plana (empezando la región de Fraun Hoffer). En la práctica este criterio es empleado para validar o invalidar el campo de Fraun Hoffer (campo lejano). Las condiciones (las cuales son asumidas en derivación en la fórmula de ganancia) no existen hasta que una separación $2 D^2 / \lambda$ es alcanzada.

Ciertas correcciones pueden ser aplicadas para medir la ganancia las cuales son una función de la separación y corrección para el

espacio finito entre las antenas. Estas correcciones, para cornetas es el trazar el plano en la figura. Esta verdadera medición de ganancia de la corneta es por lo tanto la medición de la ganancia más la corrección de separación.

Finalmente la consideración puede ser dada por la mínima altura encima del terreno plano, esta pequeña interferencia entre el rayo directo y el rayo reflejado desde el terreno puede resultar en una mala distribución sobre la apertura estudiada al principio.

Para eliminar este efecto la altura de la antena puede ser escogida para que el primer mínimo sea directamente hacia abajo en semejanza a una dirección que la reflexión no altere el campo.

Se puede demostrar por la teoría elemental de la difracción que en el primer mínimo de una transmisión aérea de apertura d aparece un ángulo de aproximadamente λ/d desde el máximo.

De la figura 7 observamos que:

$$\frac{h}{S/2} = \tan \theta = \theta = \lambda/d \quad \text{si } \theta \text{ es pequeña}$$

por lo tanto

$$\frac{2h}{S} = \lambda/d \quad \text{o} \quad h = \frac{\lambda S}{2d}$$

Por lo tanto lo grande del transmisor, lo bajo de la altura requerida si S es igual a $2D^2 / \lambda$ donde D es la apertura.

Dimensión de la apertura de la antena de recepción cuando

$$h = D^2 / d$$

GANANCIA TEORICA DE UNA CORNETA

La ganancia teoría de una corneta puede ser calculada por el método descrito por E. H. Braun. [CROSS, A. W., 1967]

$$G = \frac{G_E G_H}{10.1859 \sqrt{50/E} \sqrt{50/H}}$$

Donde E y H son medidas en longitudes de onda.

G_E y G_H son dadas por la siguiente tabla para diferentes valores de A y B donde :

$$A = a \sqrt{50/I_E} \quad \text{y} \quad B = b \sqrt{50/I_H}$$

a y b son medidas en longitudes de onda .

A	G_H	B	G_E
6.0	60.286	7.0	67.630
6.1	61.232	7.1	68.385
6.2	62.176	7.2	69.123
6.3	63.115	7.3	69.847
6.4	64.075	7.4	70.555
6.5	65.096	7.5	71.249
6.6	66.810	7.6	71.923

para nuestro caso en particular con una corneta cuadrada

$$a = b = 7.62/\lambda_0$$

$$I_E = 16.56/\lambda \quad I_H = 20.32/\lambda$$

A una frecuencia de 9 GHz $\lambda = 3.33$ cm

$$a = b = 2.302$$

$$I_E = 5.003$$

$$I_H = 6.139$$

Todas las dimensiones en longitudes de onda

De la tabla $G_H = 65.62$ y $G_E = 69.703$

$$\text{por lo tanto } G = \frac{G_E \cdot G_H}{10.1859 \sqrt{50/I_E} \sqrt{50/I_H}}$$

$$G = 16.97 \text{ dB (ganancia teoría de una corneta)}$$

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

- a) Cheque que el sitio seleccionado tenga una relación de $2 D^2/\lambda$ y una altura por encima del terreno de $\lambda s/2D$.
- b) Obtenga en el banco de microondas oscilaciones de 9 GHZ.
- c) Ponga un espacio entre la antena para un mínimo valor de $2 D^2/d$ el cual equivale a :

$$\frac{2X (3)^2}{3.33/2.54} = 13.8 \text{ pulgadas}$$

- d) Remueva toda la atenuación calibrando el Atenuador
- e) Ajuste la ganancia del medidor de VSWR amplificando para producir una conveniente lectura.
- f) Mueva suavemente la corneta receptora hacia la izquierda y hacia la derecha para optimizar la salida del amplificador manteniendo esta posición, repita los movimientos verticalmente. Soporte la corneta rigidamente en esta posición.
- g) Reajuste la ganancia del amplificador para producir exactamente la deflexión en la escala.
- h) Remueva la corneta y ligue al detector de cristal directamente a la salida del atenuador calibrado.
- i) Agregue atenuación en el atenuador para reestablecer el contador de lectura de la escala.
- j) Repita el procedimiento anterior para incrementar la separación de la corneta en cada caso, anotando la atenuación contra la distancia entre cornetas.

[CROSS, A. W. , 1967]

RESULTADOS DEL PROCEDIMIENTO

$$\text{-Espacio} = 2D^2/\lambda = 13.8 \text{ pulgadas}$$

$$\begin{aligned} \text{-Atenuación insertada} &= 9.62 \text{ dB} \\ &(\text{equivalente a la relación } P_T/P_R \text{ en dB}) \\ &9.62 \text{ equivale a una relación de potencia de } 9.18 \end{aligned}$$

$$\text{-}P_R/P_T = 1/9.18$$

Ahora de la ecuación (1) de la teoría .

$$G = \frac{4 \pi S}{\lambda} \sqrt{P_R/P_T}$$

donde S es la separación de la corneta = 13.8 pulgadas

$$\text{por lo tanto } G = 43.9 = 16.43 \text{ dB}$$

3.5 METODO PARA MEDICION DE GANANCIA Y OBTENCION DE LA EFICIENCIA DE UN REFLECTOR PARABOLICO.

1. Se coloca la antena patrón en 1 se localiza la máxima intensidad de campo, se ajusta el medidor de VSWR a media escala (1.4) para poder detectar deflexiones de la aguja.
2. Se ve cuantos dB está atenuado y se considera ese valor como la referencia.
3. Se coloca la antena desconocida en el punto 1 sin variar la atenuación de referencia al hacer el cambio de antena.
4. Se ajusta el medidor de VSWR otra vez a 1.4 y se ve cuanto fué la atenuación ahora y la diferencia real de ambas atenuaciones, es el número de dB que ganó o perdió la ganancia de referencia por la nueva antena
5. Ganancia de antena desconocida es igual a :
Ganancia de antena patrón + o - dB ganados o perdidos en el medidor con la nueva antena.
6. La eficiencia = Ganancia real / Ganancia al 100%



CALCULO DE LA GANANCIA

REFLECTOR PARABOLICO DE ALUMINIO SOLIDO
MARCONI INSTRUMENTS.

G antena patrón = 16.94 dB (corneta rectangular
Marconi Instruments)

Medidor en 1.4 con - 25 dB

Medidor en 1.4 con parabólico con - 16 dB

G real (dB) = 16.94 + (25 - 16) = 25.94

G = 392.645

CALCULO DE LA EFICIENCIA

La ganancia de una parábola se define como:

$$G = \eta (\pi D / \lambda)^2$$

Con un diámetro de 26 cm una λ de 0.0333 m y $\eta = 100\%$

G = 600.4667

G (dB) = 10 log G = 27.785

$$\eta = \frac{392.645}{600.465} = 65.39 \%$$

CALCULO DE LA GANANCIA

REFLECTOR PARABOLICO EX2

G antena patrón = 16.94 dB (corneta rectangular
Marconi Instruments)

Medidor en 1.4 con - 25 dB

Medidor en 1.4 con parabólico con - 16.5 dB

G real (dB) = 16.94 + (25 - 16.5) = 25.44

G = 349.945

CALCULO DE LA EFICIENCIA

La ganancia de una parábola se define como:

$$G = \eta (\pi D / \lambda)^2$$

Con un diámetro de 25 cm una λ de 0.0333 m y $\eta = 100\%$

G = 600.4667

G (dB) = 10 log G = 27.785

$$\eta = \frac{349.945}{600.4667} = 58.27 \%$$

CALCULO DE LA GANANCIA

REFLECTOR PARABOLICO EX3

G antena patrón = 16.94 dB (corneta rectangular
Marconi Instruments)

Medidor en 1.4 con - 25 dB

Medidor en 1.4 con parabólico con - 16.2 dB

$$G \text{ real (dB)} = 16.94 + (25 - 16.2) = 25.74$$

$$G = 374.973$$

CALCULO DE LA EFICIENCIA

La ganancia de una parábola se define como:

$$G = \eta \left(\pi D / \lambda \right)^2$$

Con un diámetro de 26 cm una λ de 0.0333 m y $\eta = 100\%$

$$G = 600.4657$$

$$G \text{ (dB)} = 10 \log G = 27.785$$

$$\eta = \frac{374.973}{600.465} = 52.44 \%$$

3.6 CONCLUSIONES DEL CAPITULO

El realizar modelos experimentales aportó los fundamentos prácticos para la posterior fabricación de un prototipo. El primer modelo experimental el EX1, fué un modelo que solo sirvió para demostrar que la aplicación de una película delgada conductora, era posible sobre un polímero, su construcción fué sencilla y de bajo costo y sus objetivos no perseguían el convertirse en una opción de diseño.

El construir modelos de Fibra de Vidrio se basó en que este material tradicionalmente usado en la fabricación de reflectores parabólicos, posee características térmicas y de longevidad para su uso en exteriores, características mecánicas como su gran resistencia a esfuerzos a que un reflector es sometido como resultado de las fuerzas que el viento ejerce sobre él, pero con un bajo peso específico.

La aportación de los dos últimos modelos no es ciertamente la utilización de la Fibra de Vidrio, como material de construcción, sino la aplicación de la película delgada conductora en este material.

Las pruebas de radiación, se realizaron con el objeto de obtener los patrones de radiación de cada uno de los diferentes modelos en un diagrama polar, estos diagramas nos muestran claramente que solo los modelos EX2 Y EX3 pueden ser considerados dentro de la posibilidad de desarrollo de prototipos, esto se debe principalmente al tipo de película delgada conductora utilizada en su construcción.

Obtener la ganancia de una corneta en forma teórica y experimental, fué necesario para tener una referencia en la cual fundamentar los métodos que se diseñaron para obtener, tanto la ganancia como la eficiencia de cualquier tipo de antena de apertura experimental en el banco de microondas Marconi Instruments.

En primer lugar se obtuvo la ganancia y eficiencia del reflector parabólico de aluminio sólido Marconi Instruments, posteriormente se obtuvieron las ganancias y eficiencias de los modelos experimentales EX1 y EX2, al comparar los resultados obtenidos en estas pruebas se observa claramente que las ganancias y eficiencias de estos modelos son similares a los de un reflector de aluminio sólido como es el caso del reflector Marconi Instruments.

Los resultados de este capítulo concluyen contundentemente, que la construcción de un prototipo de reflector parabólico, basándose en la teoría de las películas delgadas conductoras es una alternativa real de diseño.

CAPITULO IV

CALCULO DEL REFLECTOR

4.1 SELECCION DEL TAMAÑO DEL REFLECTOR

La ecuación de enlace será la herramienta que se utilizará en esta sección para optimizar el tamaño del reflector y la temperatura de ruido del LNB, dado el PIRE de cualquier satélite de comunicaciones.

El factor que describe la calidad de recepción de cualquier estación terrena es la relación C/N (dB). Esta es simplemente la relación entre la potencia deseada de la señal y la potencia total del ruido en el ancho de banda usado, expresada en dB. La calidad de recepción del sistema es proporcional a la relación C/N(dB):

La siguiente tabla muestra tal relación.

C/N(dB)	CALIDAD DE RECEPCION
18	CALIDAD DE ESTUDIO
16	CALIDAD DE RADIODIFUSION LOCAL
14	CALIDAD DE RADIODIFUSION POR CABLE
12	CALIDAD DE SUSCRIPTOR CERCANO DE CABLE
10	CALIDAD DE SUSCRIPTOR LEJANO DE CABLE
8	CALIDAD DE RECEPCION DOMESTICA

$$C/N = \text{PIRE(dB)} + G/T(\text{dB}) - \text{PEL(dB)} - \text{PBW(dB)} + \text{CTE DE BOLTZMAN(dB)} \quad [\text{EC. 1}]$$

De la ecuación de enlace se asumirá el valor de C/N que corresponda a la calidad de recepción requerida dado el PIRE de cualquier satélite de comunicaciones teniendo en cuenta la localización exacta de la estación terrena, con lo cual se

obtendrá la figura de mérito de la estación [G/T] de donde se determinará la ganancia y por lo tanto el diámetro de antena requerido.

Este análisis en principio será realizado para la banda Ku y posteriormente para la banda C ya que el prototipo de antena que esta tesis desarrolla tiene como objetivo el obtener un reflector parabólico compatible con ambas bandas con una calidad de recepción óptima .

4.2 CALCULO DEL DIAMETRO MINIMO DEL REFLECTOR PARA LA RECEPCION DE LA BANDA KU.

Para obtener el diámetro mínimo de reflector que garantice una calidad de recepción de por lo menos 8 dB de C/N, se procederá como mencionamos anteriormente partiendo de la ecuación de enlace.

$$C/N(\text{dB}) = \text{PIRE}(\text{dB}) + G/T(\text{dB}) - \text{PEL}(\text{dB}) - \text{PBW}(\text{dB}) - \text{CTE DE BOLTZMAN}$$

Ordenando la ecuación de enlace en función de la figura de mérito G/T.

$$G/T(\text{dB}) = C/N(\text{dB}) - \text{PIRE}(\text{dB}) + \text{PEL}(\text{dB}) + \text{PBW}(\text{dB}) + \text{CTE DE BOLTZMAN}(\text{dB})$$

Donde:

C/N - relación portadora a ruido

PIRE - potencia isotrópica efectiva radiada

PEL - pérdidas del espacio libre

PBW - pérdidas por el uso de ancho de banda

CTE DE BOLTZMAN = - 228.6 dB

C/N = 8 dB

Ya que para el cálculo se desea al menos una calidad de recepción doméstica.

PIRE.- Es una medida de la potencia de la señal con que un satélite transmite hacia una estación terrena de acuerdo a su localización dentro del patrón de radiación del satélite, expresada en dBw. El PIRE es mayor en el centro del patrón y disminuye hacia los contornos. Para nuestro primer cálculo en banda Ku asumiremos un PIRE de 33 dBw que es aproximadamente el promedio de los que recibimos en México de la mayoría de los satélites de comunicaciones en banda Ku, en el peor de los casos.

El PIRE del satélite Morelos para la mayoría de la República Mexicana, es de 44 dBw y posteriormente se utilizará cuando, analisemos el caso particular de este satélite.

PEL.- Las pérdidas del espacio libre indican la atenuación de la potencia entre dos antenas que transmiten en el espacio libre, debido a la distancia entre ellas y a la elevación de la órbita geostacionaria, las ondas electromagnéticas deben viajar una distancia alrededor de 36000 km. La ecuación que cuantifica estas pérdidas es: [BAYLIN, Frank. 1986]

$$PEL(dB) = 22 + 20 \log (R/\lambda)$$

Donde:

$$R = 36000 \text{ KM}$$

$\lambda = 0.025$ que es la longitud de onda de la frecuencia de operación (12 GHz) en banda Ku para recepción.

sustituyendo valores

$$PEL = 22 + 20 \log (36000000/0.025)$$

$$PEL = 205.1 \text{ dB} \quad \text{para un día claro y despejado}$$

PBW.- Las pérdidas por uso de un determinado ancho de banda se incrementan al aumentar éste debido a el ruido blanco presente en el canal y podemos calcularlas mediante la siguiente ecuación.

$$PBW(dB) = 10 \log BW(\text{Hz}) \quad [\text{BAYLIN, Frank. 1986}]$$

Para el primer cálculo en la banda Ku(12GHz) con un ancho de banda de 27 MHz

$$PBW = 10 \log (27000000)$$

$$PBW = 74.31 \text{ dB}$$

Sustituyendo los valores anteriores en la ecuación de enlace se tiene:

$$G/T(\text{dB}) = C/N - \text{PIRE} + PBW + \text{PEL} + \text{CTE DE BOLTZMAN}$$

$$G/T(\text{dB}) = 8 - 33 + 74.31 + 205.1 + (- 228.6)$$

$$G/T(\text{dB}) = 25.81$$

Ahora es posible encontrar una combinación de antena/LNB que satisfaga el valor obtenido de G/T.

Si definimos a G/T como :

$$G/T = G - \log (T_a + T_s)$$

Donde:

G(dB) es la ganancia de la antena referida a la de una antena isotrópica [Fig. 1], la cual radia su potencia por igual en todas direcciones, teniendo una ganancia unitaria (numéricamente) o de 0 dB. Esta ganancia puede ser cuantificada de la siguiente manera:

$$G(\text{dB}) = 10 \log \eta (\pi D/\lambda)^2$$

Ta es la temperatura de ruido equivalente de la antena en grados Kelvin. La fuente más significativa de ruido es la tierra y Ta se incrementa cuando la elevación de la antena decrece. Si e es la elevación de la antena en grados, entonces aproximadamente. [Fig. 2]

$$T_a = 14 + (180/e) \text{ [GOMEZ G., Amanda. 1982]}$$

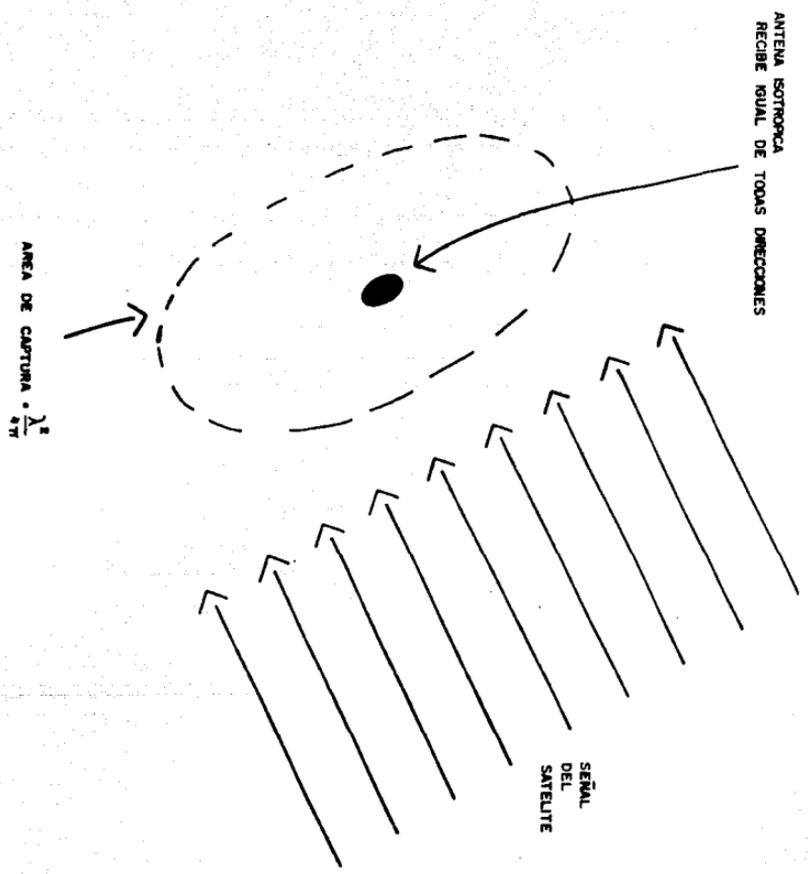


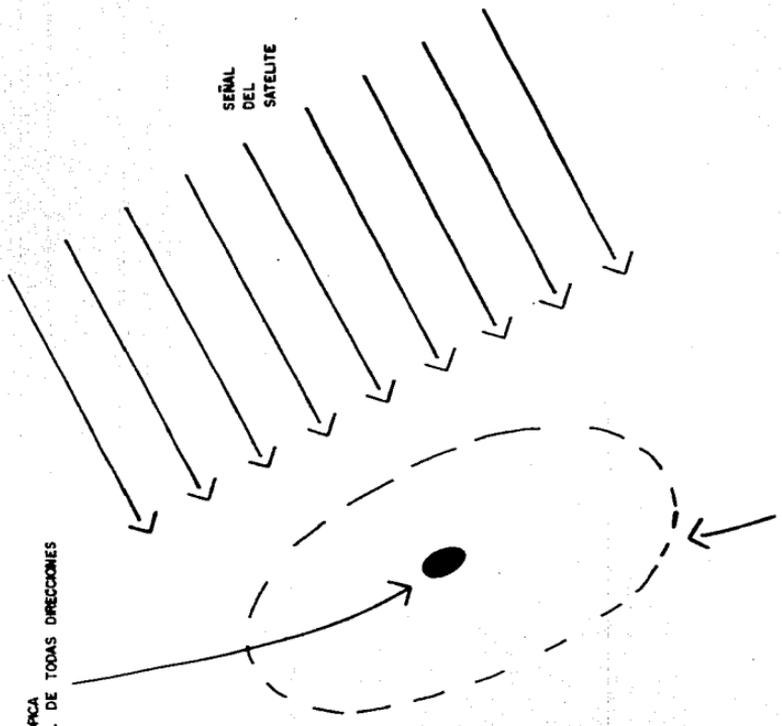
Fig.1

ANTENA ISOTROPICA
RECIBE IGUAL DE TODAS DIRECCIONES

SEÑAL
DEL
SATELITE

AREA DE CAPTURA = $\frac{\lambda^2}{4\pi}$

Fig. 1



Asumiendo un valor de 40 ° como un promedio de elevación que tiene una estación terrena instalada en la Ciudad de México para los satélites geoestacionarios de comunicaciones.

$$T_a = 14 + (180/40)$$

$$T_a = 18.5$$

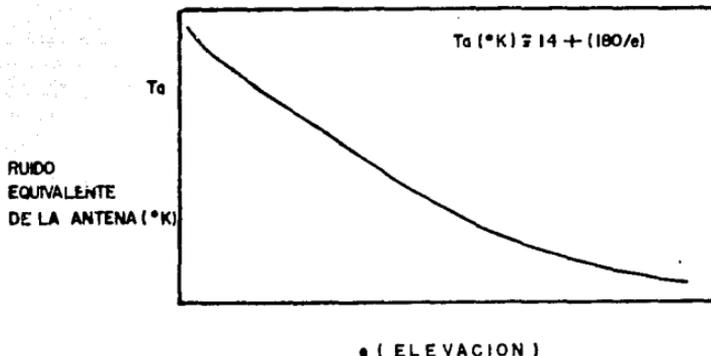


Fig.2

T_s es la temperatura de ruido equivalente del LNB, LNA o LNC en grados Kelvin, para este primer análisis T_s significará la temperatura de ruido de un LNB de banda Ku.

Los fabricantes de este tipo de equipos los ofrecen en un amplio rango de temperaturas de ruido, sin embargo entre más baja sea ésta, más alto es su costo. Para el caso de los LNB para banda Ku estos generalmente se clasifican según su figura de ruido.

A continuación se muestra una tabla de equivalencia entre figura de ruido y temperatura de ruido de los LNB de banda Ku.

LNB Ku DISPONIBLES (FIGURA DE RUIDO dB)	TEMPERATURA DE RUIDO EQUIVALENTE (K)
1.6	129
1.8	149
2.0	169
2.5	226

Siendo estas las temperaturas de ruido más comunes en los LNB disponibles en el mercado.

Por lo tanto al sustituir los valores calculados anteriormente en la ecuación de la figura de mérito y despejando la ganancia nos queda:

$$G/T(\text{dB}) = 25.8$$

$$G/T(\text{dB}) = G - 10 \text{ LOG } (T_a + T_s)$$

$$G/T(\text{dB}) = G - 10 \text{ LOG } (18.5 + 149)$$

$$G(\text{dB}) = 10 \text{ LOG } (18.5 + 149) + 25.8$$

$$G(\text{dB}) = 48.05$$

Una vez seleccionada la combinación de LNB y reflector conveniente que para nuestro diseño resultó ser de un LNB de 149° K con una ganancia de apertura de 48.05 dB podemos proceder a obtener el diámetro de este reflector. Ya que para la obtención del diámetro es necesario introducir un parámetro de eficiencia es conveniente mencionar que mediante pruebas realizadas en laboratorio (las cuales son explicadas con mayor detalle en el capítulo anterior) con modelos a escala fabricados con diferentes técnicas y materiales fué posible determinar con bastante exactitud la eficiencia de una antena de aluminio laminado super delgado, la cual resultó de un 65 %.

Por lo tanto despejando el diámetro de la ecuación se tiene:

$$D = [\sqrt{G/\eta}] \lambda / \pi$$

Donde:

$$G = \text{antilog } G(\text{dB})/10 = 63826.35$$

sustituyendo valores

$$D = \left[\sqrt{63826.35/85} \right] 0.025/\pi$$

$$D = 2.48 \text{ m}$$

Con esto se concluye que el mínimo diámetro de reflector es de 2.48 m para tener una calidad de recepción de por lo menos 8 dB de C/N con una combinación de LNB de 149°K. Es importante mencionar que con un diámetro menor al obtenido esta relación de C/N sería menor, lo que significaría una calidad de recepción inferior y probablemente deficiente.

4.3 CALCULO DEL DIAMETRO MINIMO DEL REFLECTOR PARA LA RECEPCION DE BANDA C

Una vez conociendo los diferentes parámetros que intervienen en la selección del diámetro mínimo requerido para la recepción de señales en la banda Ku, se pueden utilizar en el cálculo del diámetro mínimo para recepción en banda C, ya que la ecuación de enlace [EC.1] de la cual partimos es válida también para esta banda solamente bastará con sustituir los valores típicos de este rango de frecuencias.

$$G/T = C/N - \text{PIRE} + \text{PBW} + \text{PEL} + \text{CIE. DE BOLTZMAN}$$

Las variables que intervienen en la ecuación de enlace se verán modificadas de la siguiente manera:

PIRE: Para el cálculo en banda C se utilizó un PIRE de 31 dBw, el cual es un promedio de los PIRE que se reciben en la ciudad de México de los satélites de comunicaciones en la banda C, información que fue obtenida de los patrones de radiación de estos satélites [LONG, Mark. 1985]

PEL: Como se pudo observar anteriormente en el cálculo de estas pérdidas para banda Ku, éstas están relacionadas directamente con la longitud de onda de la frecuencia de operación, 4 GHz para este caso, como frecuencia de recepción de la banda C.

$$\begin{aligned} \text{PEL}(\text{dB}) &= 22 + 20 \log (36000000/\lambda) \\ \lambda &= 0.075 \text{ m para } 4 \text{ GHz} \\ \text{PEL}(\text{dB}) &= 22 + 20 \log (36000000/0.25) \\ \text{PEL}(\text{dB}) &= 195.57 \end{aligned}$$

PBW: Las pérdidas por el uso de un determinado ancho de banda también se modificarán con respecto a las de banda Ku dado que para la banda C el ancho de banda utilizado es de 36 MHz [LONG, Mark. 1986]

$$\begin{aligned} \text{PBW}(\text{dB}) &= 10 \log \text{BW} \\ \text{PBW}(\text{dB}) &= 10 \log 36000000 \\ \text{PBW}(\text{dB}) &= 75.56 \end{aligned}$$

Por último la relación C/N mínima recomendable para una calidad de recepción aceptable de igual manera que para banda Ku es de 8 dB sustituyendo los nuevos valores en la ecuación de enlace se tiene:

$$\begin{aligned} \text{G/T}(\text{dB}) &= \text{C/N} - \text{PIRE} + \text{PEL} + \text{PBW} - \text{CTE. DE BOLTZMAN} \\ \text{G/T}(\text{dB}) &= 8 - 31.5 + 195.57 + 75.56 + (-228.6) \\ \text{G/T}(\text{dB}) &= 19.03 \end{aligned}$$

Como:

$$G/T = G - 10 \text{ LOG } (T_a + T_s)$$

Y despejando la ganancia

$$G(\text{dB}) = 10 \text{ LOG } (T_a + T_s) + G/T$$

De igual manera que para banda Ku la temperatura de antena T_a sigue siendo la misma para este cálculo en banda C.

$$T_a = 18.5$$

Sin embargo, la temperatura del sistema T_s cambiará ya que los LNB o LNA para banda C tienen diferente temperatura de ruido, las cuales poseen un rango de temperaturas que van desde los 40°K hasta 120°K, para el cálculo se utilizará una temperatura de ruido de 40°K, por lo tanto la ecuación de la ganancia nos queda:

$$G(\text{dB}) = 10 \text{ LOG } (18.5 + 40) + 19.03$$

$$G(\text{dB}) = 36.70$$

Ahora solo resta encontrar el diámetro de reflector con el cual se obtenga esta ganancia con una eficiencia igual a la que se utilizó para el cálculo en banda Ku (65%) ya que como se recordará uno de los objetivos de esta tesis es el encontrar un receptor compatible con ambas bandas.

$$G(\text{dB}) = \eta (\pi D/\lambda)^2$$

$$\lambda = 0.075 \text{ m para } 4 \text{ GHz}$$

despejando el diámetro

$$D = [\sqrt{G/\eta}] \lambda/\pi$$

Donde:

$G = \text{antilog } G(\text{dB})/10$

$D = 2.02 \text{ m}$

Con lo cual se concluye que el diámetro de reflector mínimo para la recepción de banda C de la mayoría de los satélites geoestacionarios de comunicaciones es de 2.02 m para obtener una calidad de recepción de por lo menos 3 dB de relación C/N de igual manera que para banda Ku un diámetro menor significaría una calidad de recepción deficiente.

4.4 CALCULO DEL DIAMETRO MÍNIMO DE REFLECTOR PARA LA RECEPCION DE BANDA C Y KU DEL SISTEMA MORELOS DE SATELITES.

El Sistema Morelos de satélites de comunicaciones geoestacionarios puede transmitir y recibir tanto en banda C como en banda Ku, siendo el Morelos II respaldo del Morelos I.

Anteriormente se realizaron cálculos para la recepción de señales en banda C y Ku para cualquier satélite de comunicaciones "visible" en México. En esta sección se repetirán estos cálculos para el caso de nuestro satélite de comunicaciones el Morelos I, de igual manera que en los casos anteriores, se utilizará la ecuación de enlace en función de la figura de mérito de la estación terrena G/T, instalada en la ciudad de México.

$$G/T(\text{dB}) = C/N - \text{PIRE} + \text{PEL} + \text{PBW} - \text{CTE DE BOLTZMAN}$$

La relación C/N se seguirá manteniendo en 3 dB como el mínimo para una calidad de recepción aceptable.

El PIRE del satélite Morelos I es para banda C de 36 dB y para banda Ku 44 dB en la mayor parte del territorio nacional.

Las PEL para la banda C del satélite Morelos son :

$$PEL(\text{dB}) = 195.62$$

Y para banda Ku :

$$PEL(\text{dB}) = 205.1$$

Las pérdidas por ancho de banda para el caso del satélite Morelos en la banda C la cual tiene un ancho de banda de 36 MHz serán :

$$PBW(\text{dB}) = 75.56$$

Para la banda Ku considerando un ancho de banda de 27 MHz serán :

$$PBW(\text{dB}) = 205.1$$

Una vez que se ha obtenido los valores específicos de la ecuación de enlace para el satélite Morelos I se realizó en primera instancia el cálculo del diámetro del reflector para la banda C y posteriormente para la banda Ku.

PARA LA BANDA C TENEMOS :

$$G/T(\text{dB}) = C/N - PIRE + PEL + PBW + \text{CTE DE BOLTZMAN}$$

SUSTITUYENDO VALORES:

$$G/T(\text{dB}) = 3 - 36 + 195.62 + 75.56 + (-228.6)$$

$$G/T(\text{dB}) = 14.58$$

Utilizando un LNB de 40° K y con una $T_a = 14 + (180/e)$ siendo $e = 50^\circ$ como la máxima elevación que se puede tener para el satélite Morelos en nuestro país [ESCUBAR, Migue] FASTERLING, Guillermo. 1983]

$$T_a = 14 + (180/50)$$

$$T_a = 17.6$$

Como:

$$G/T = G - 10 \text{ LOG} (T_a + T_s)$$

Despejando G

$$G(\text{dB}) = 10 \log (17.6 + 40) + G/T$$

$$G(\text{dB}) = 32.18$$

$$G = \eta (\pi D/\lambda)^2$$

Donde:

$$G = \text{antilog } G(\text{dB})/10 = 1653.56$$

Despejando el diámetro

$$D = [\sqrt{G/\eta}] \lambda/\pi$$

$$D = 1.20 \text{ m}$$

PARA LA BANDA KU :

$$G/T(\text{dB}) = C/N - \text{PIRE} + \text{PEL} + \text{PBW} - \text{CTE DE BOLTZMAN}$$

Sustituyendo los valores típicos de la Banda Ku del satélite Morelos I

$$G/T(\text{dB}) = 8 - 44 + 205.1 + 74.31 + (-228.6)$$

$$G/T(\text{dB}) = 14.81$$

Utilizando un LNB para banda Ku con una figura de mérito de 1.3 dB equivalente a una temperatura de 149 K y con una temperatura de antena $T_a = 17.6$ similar a la utilizada en el cálculo para banda C ya que la elevación solo depende de la posición geográfica de la estación terrena y de la posición del satélite y estos parámetros han permanecido constantes.

$$G/T(\text{dB}) = G - 10 \text{ LOG}(T_a + T_s)$$

Despejando la Ganancia

$$G(\text{dB}) = 10 \text{ LOG}(17.6 + 149) + G/T$$

$$G(\text{dB}) = 37.02$$

$$G = \eta \left(\frac{\pi D}{\lambda}\right)^2$$

Donde:

$$G = \text{antilog } G(\text{dB})/10 = 5042.83$$

Despejando el diámetro

$$D = \left[\sqrt{G/\eta} \right] \lambda/\pi$$

$$D = 0.70 \text{ m}$$

4.5 RELACION F/D

Al hablar de la eficiencia del reflector en esta sección se hizo referencia a las pruebas de laboratorio efectuadas en modelos, sin embargo también se utilizó un prototipo de reflector con dimensiones reales para realizar pruebas experimentales donde se utilizó como alimentador una corneta corrugada circular, la cual está diseñada especialmente para trabajar con reflectores parabólicos circulares cuya relación foco-diámetro varíe entre 0.30 y 0.45. A diferencia de las cornetas rectangulares, su rango de ganancia plana en el patrón de radiación es muy ventajoso además sus corrugaciones a 90° eliminan hasta -30 dB la polarización cruzada. [Fig. 3]

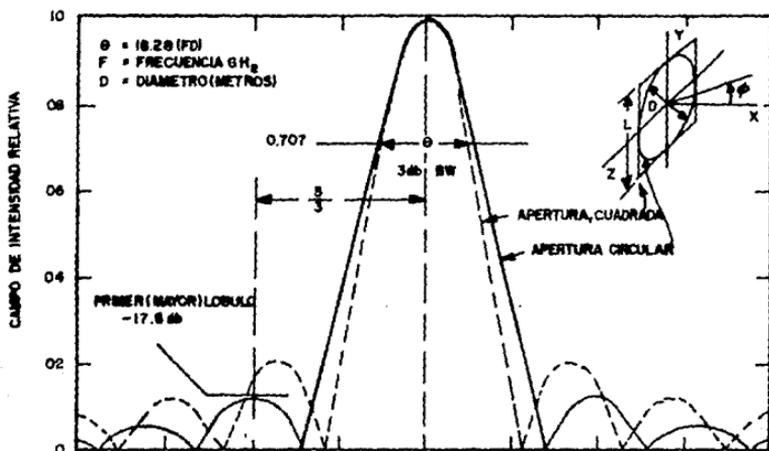


Fig.3

La siguiente ecuación muestra la variación entre la apertura del

reflector y la relación f/d.

$$B = \tan^{-1} \frac{1}{\left(\frac{2 f/D^{-1}}{8 f/D} \right)}$$

Donde :

B es el ángulo de apertura en grados.

f es la distancia focal.

D es el diámetro del reflector.

Sustituyendo en la ecuación diferentes valores de f/D obtenemos la siguiente tabla .

f/D	Angulo de apertura
0.5	53.13
0.45	58.10
0.4	64.00
0.35	71.00
0.3	79.61
0.28	90.00

Entre más plano sea el reflector, esto es, entre mayor sea su relación f/D, las pérdidas de señal en el alimentador serán menores, ya que las ondas electromagnéticas reflejadas incidirán con un ángulo más crítico. Este alimentador tiene el mismo punto focal para las polarizaciones vertical y horizontal, lo cual no sucede con los alimentadores convencionales que ven distintas impedancias de espacio libre para cada polarización. La separación que produce la iluminación del alimentador entre las polaridades es mayor a 30 dB, aunque en la mayoría de los casos se requiere

solo 15 dB, lo cual en niveles de señal bajos elimina los fantasmas de polaridad adyacente. Todo esto nos da como resultado que el alimentador sufre menos pérdidas al iluminar un reflector poco profundo.

Eligiendo una relación f/d de 0.40 se obtendrá la máxima ganancia de la corneta pues con este valor de f/d la corneta contribuye con muy pocas pérdidas. [ESCOBAR, Miguel. FASTERLING, Guillermo. 1983]

4.6 CONCLUSIONES DEL CAPITULO

Con estos cálculos concluye nuestro estudio acerca de los diámetros mínimos de reflector para recepción de banda C y Ku de los satélites de comunicaciones geostacionarios "visibles" en México incluyendo el satélite Morelos I.

Siendo nuestro objetivo el proponer un reflector compatible con ambas bandas y que proporcione, en el peor de los casos al menos una calidad de recepción de $c/n = 8$ dB cuyas características de tamaño, materiales utilizados y procesos de fabricación reduzcan los costos. Por lo que se decidió diseñar y construir un reflector con un diámetro de 2.10 m que como podemos observar de los cálculos realizados cumple en la mayoría de los casos con una calidad de recepción de por lo menos 8 dB de relación C/N excluyendo solamente el caso de la recepción de la banda Ku de los satélites de comunicaciones geostacionarios, sin embargo en la recepción de ambas bandas del satélite Morelos I este diámetro de reflector proporcionará una relación C/N mucho mayor a 8 dB.

A continuación se obtendrá directamente de la ecuación de enlace la relación C/N que nos proporcionara este diámetro de reflector conociendo la ganancia de este con una eficiencia de 65%.

Para la recepción de la banda C

$$C/N(\text{dB}) = \text{PIRE} + G/T - \text{PEL} - \text{PBW} - \text{CTE DE BOLTZMAN}$$

Donde:

$$\text{PIRE} = 36$$

$$\text{PEL} = 195.62$$

$$\text{PBW} = 75.56$$

$$G/T(\text{dB}) = G - 10 \text{ LOG } (T_a + T_s)$$

$$G(\text{dB}) = 10 \text{ LOG } [\eta (\pi D / \lambda)^2]$$

$$G(\text{dB}) = 37.01$$

$$G/T(\text{dB}) = 37.01 - 17.6$$

$$G/T(\text{dB}) = 19.41$$

Sustituyendo estos valores en la ecuación de enlace.

$$C/N(\text{dB}) = 12.88$$

Lo que nos proporciona una calidad de suscriptor cercano.

Para la recepción de la banda Ku.

$$C/N(\text{dB}) = \text{PIRE} + G/T - \text{PEL} - \text{PBW} - \text{CTE DE BOLTZMAN}$$

Donde:

$$\text{PIRE} = 44$$

$$\text{PEL} = 205.1$$

$$\text{PBW} = 74.31$$

$$G/T(\text{dB}) = G - 10 \text{ LOG } (T_a - T_s)$$

$$G(\text{dB}) = 10 \text{ LOG } [\eta (\pi D/\lambda)^2]$$

$$G(\text{dB}) = 46.55$$

$$G/T(\text{dB}) = 46.55 - 22.21$$

$$G/T(\text{dB}) = 24.33$$

Sustituyendo estos valores en la ecuación de enlace:

$$C/N(\text{dB}) = 17.52$$

Que es una calidad de estudio.

CAPITULO V

DISENO Y CONSTRUCCION DEL PROTOTIPO

5.1 GEOMETRIA BASICA DE LA PARABOLA

La ecuación de la parábola la deduciremos a partir de su definición como el lugar geométrico de un punto que se mueve de acuerdo con una ley específica.

DEFINICION

Una parábola es el lugar geométrico de un punto que se mueve en un plano de tal manera que su distancia de una recta fija, situada en el plano, es siempre igual a su distancia de un punto fijo del plano y que no pertenece a la recta. [SPIEGEL R., Murray. 1982]

El punto fijo se llama foco y la recta fija, directriz de la parábola.

La definición excluye el caso en que el foco está sobre la directriz, de una parábola respectivamente. La recta (a) que pasa por (F) y es perpendicular a (C) se llama eje de la parábola. Sea (A) el punto de intersección del eje y la directriz. El punto (V), punto medio del segmento (AF), está por definición, sobre la parábola, a este punto se llama vértice. El segmento de recta, tal como (EB'), que une dos puntos cualesquiera diferentes de la parábola se llama cuerda; en particular, una cuerda que pasa por el foco (CC'), se llama cuerda focal. La cuerda focal (LL') perpendicular al eje se llama lado recto. Si (P) es un punto cualquiera de la parábola, la recta (FP) que une el foco (F) con el punto (P) se llama radio focal de (P), o radio vector. [Fig. 1]

ECUACION DE LA PARABOLA DE VERTICE EN EL ORIGEN Y EJE COORDENADO

Veremos que la ecuación de una parábola toma su forma más simple cuando su vértice está en el origen y su eje coincide con uno de los ejes coordenados. De acuerdo con esto, consideremos la parábola cuyo vértice está en el origen [Fig. 2] y cuyo eje coincide con el eje x. Entonces el foco (F) está sobre el eje X; sean (P,0) sus coordenadas. Por la definición de parábola, la ecuación de la directriz (L) es $X = -P$.

Sea P (x,y) un punto cualquiera de la parábola. Por P tracemos el segmento (PA) perpendicular a (L). Entonces, por la definición de parábola, el punto (P) debe satisfacer la condición geométrica.

$$FP = PA \quad \dots\dots\dots(1)$$

Por el teorema de la distancia entre dos puntos tenemos:

$$|FP| = \sqrt{(x-p)^2 + y^2}$$

y por el teorema de la distancia de una recta tenemos:

$$|PA| = |x + p|$$

Por tanto, la condición geométrica (1) está expresada, analíticamente por la ecuación:

$$|(x - p)^2 + y^2| = |x + p|$$

Si elevamos al cuadrado ambos miembros de esta ecuación y simplificamos, obtendremos:

$$y^2 = 4px \quad \dots\dots\dots(2)$$

Recíprocamente, sea $P (X, Y)$ un punto cualquiera cuyas coordenadas satisfagan (2) tendremos:

$$y_1^2 = 4px_1$$

Si sumamos $(x - p)$ a ambos miembros de esta ecuación, y extraemos la raíz cuadrada, obtenemos, para la raíz positiva:

$$\sqrt{(x - p)^2 + y^2} = |x + p|$$

que es la expresión analítica de la condición geométrica (1) aplicada al punto P . Por tanto, P está sobre la parábola cuya ecuación está dada por (2).

Ahora discutiremos la ecuación (2) siguiendo el método de construcción de curvas. Evidentemente, la curva pasa por el origen y no tiene otra intersección con los ejes coordenados. La única simetría que posee el lugar geométrico de (2) es con respecto al eje x , despejando Y de la ecuación (2), tenemos:

$$y = + 2 \sqrt{Px} \dots \dots \dots (3)$$

Por tanto para valores de Y reales y diferentes de 0, P y X deben ser del mismo signo. Según esto, podemos considerar dos casos:

$$p > 0 \quad \text{y} \quad p < 0.$$

Si $p > 0$, deben excluirse todos los valores negativos de X , y todo el lugar geométrico se encuentra a la derecha del eje Y . Como no se excluye ningún valor positivo de X , Y como y puede tomar todos los valores reales, el lugar geométrico de (2) es una curva abierta que se extiende indefinidamente hacia la derecha del eje X y hacia arriba y abajo del eje Y . Esta posición es la indicada en la figura 2 y se dice que la parábola se abre hacia la derecha.

Análogamente si $p < 0$, todos los valores positivos de X deben excluirse en la ecuación 3 y todo el lugar geométrico aparece a la izquierda del eje Y . Esta posición está indicada en la figura 3 y en este caso se dice que la parábola se abre hacia la izquierda.

Es evidente que la curva correspondiente a la ecuación 2 no tiene asíntotas verticales ni horizontales.

Según la ecuación 3, hay dos puntos sobre la parábola que tiene abcisa igual a P ; uno de ellos tiene la ordenada $2P$ y el otro la ordenada $-2P$. Como la abcisa del foco es P se sabe que la longitud del lado recto es igual al valor absoluto de la cantidad $4p$.

Si el vértice de la parábola está en el origen y su eje coincide con el eje Y , se demuestra análogamente, que la ecuación de la parábola es:

$$x = 4py \dots \dots \dots (4)$$

En donde el foco es el punto $(0,p)$. Puede demostrarse fácilmente que si $p > 0$, la parábola se abre hacia arriba, [Fig. 4-a]; y si $p < 0$, la parábola se abre hacia abajo. [Fig. 4-b]

Las ecuaciones 2 y 4 ocasionalmente se conocen como la primera ecuación ordinaria de la parábola, nos referimos a ellas como las formascannócas [SPIEGEL R., Murray. 1982]

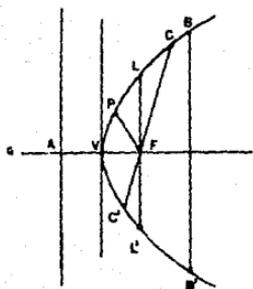


Fig. 1

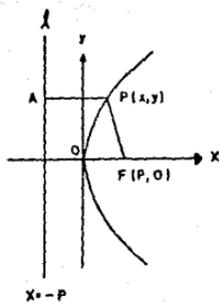


Fig. 2

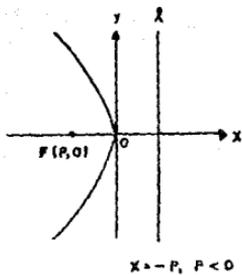


Fig. 3

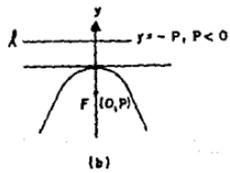
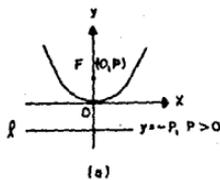


Fig. 4

5.2 FUNDAMENTACION TEORICA DE LA PARABOLA COMO REFLECTOR

La parábola tiene una propiedad muy interesante llamada de reflexión, que consiste en que cualquier onda de energía que viaje paralela al eje focal, se refleja al chocar con la parábola, en dirección al foco. Así, toda la energía que logre captar el paraboloide de revolución, se concentra en el foco, desde donde es enviada al aparato receptor. Por la misma razón, también los telescopios son espejos parabólicos. Inversamente, si la fuente radiante está en el foco, la energía se reflejará paralelamente al eje focal, disminuyendo su difusión y aumentando su alcance. Debido a ello los reflectores (p. ej. en las lámparas de mano, los faros de automóvil y de navegación) también son parabólicos.

La demostración de esta propiedad es muy sencilla: como es sabido, del principio de Fermat se deduce que el ángulo de incidencia debe ser igual al ángulo de reflexión; por consiguiente, en la figura 5 hay que probar que:

$$\angle SPN = \angle NPF$$

o sea

$$\angle SPT = \angle QPF$$

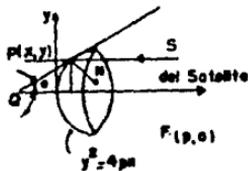


Fig. 5

El ángulo SPT es correspondiente con "α", ángulo que forma con la tangente con el eje "x", por lo tanto:

$$\operatorname{tg} \angle \text{SPT} = \operatorname{tg} \alpha = \frac{dv}{dx} = \frac{4p}{2y} = \frac{2p}{y}$$

Por otra parte, la pendiente de la recta \overline{PF} es :

$$m = \frac{y}{x - p}$$

y así

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \angle \text{QPF} &= \frac{\frac{y}{x - p} - \frac{2p}{y}}{1 + \frac{y}{x - p} \cdot \frac{2p}{y}} = \frac{\frac{y^2 - 2px + 2p^2}{y(x - p)}}{\frac{x - p + 2p}{(x - p)}} = \frac{2px + 2p^2}{y(x + p)} \\ &= \frac{2p(x + p)}{y(x + p)} = \frac{2p}{y} \end{aligned}$$

= > $\operatorname{tg} \angle \text{SPT} = \operatorname{tg} \angle \text{QPF}$ y como ambos son agudos:

$$\angle \text{SPT} = \angle \text{QPF} \quad (\text{Q.E.D.})$$

5.3 OBTENCION DE LA PARABOLA DEL PROTOTIPO.

Habiendo obtenido en la sección anterior el diámetro óptimo del reflector para una relación C/N mayor que 8 dB proporcionandonos una calidad de recepción de suscriptor cercano en la recepción de la banda C del satélite Morelos I plantearemos la ecuación de la parábola nuevamente para obtener las dimensiones reales del modelo experimental.

$$f/D = 0.40$$

$$D = 2.10 \text{ m}$$

despejando f

$$f = 0.84$$

La ecuación general de la parábola:

$$X = K Y^2$$

$$\text{donde } K = \frac{1}{4f}$$

$$K = \frac{1}{4(0.84)}$$

$$K = 0.29$$

sustituyendo este valor en la ecuación general:

$$X = 0.29 Y^2$$

Tabulando la ecuación anterior a intervalos de 5 cm para valores de $Y = 0$ a $Y = 1.05$ m, ya que la sección adicional que va de $Y = 0$ a $Y = -1.05$ m, es igual pero de signo contrario a la anterior, obtendremos la siguiente tabla que utilizaremos para la graficación de la parábola.

Y (m)	X (m)
0.00	0.000000
0.05	0.000725
0.10	0.0029
0.15	0.0065
0.20	0.0116
0.25	0.0181
0.30	0.0261
0.35	0.0355
0.40	0.0464
0.45	0.0587
0.50	0.0725
0.55	0.0877
0.60	0.1044
0.65	0.1225
0.70	0.1421
0.75	0.1631
0.80	0.1856
0.85	0.2095
0.90	0.2349
0.95	0.2617
1.00	0.2900
1.05	0.3197

Los valores de Y fueron tomados con intervalos de 5 cm para obtener una mayor aproximación al graficar la parábola real.

La parábola resultante es la que utilizaremos como patrón para todas las "costillas" de la antena.

El modelo experimental contará con 15 secciones, ya que a mayor número de secciones podremos aproximarnos más al sólido de revolución que se genera al rotar 360° la parábola resultante de la graficación alrededor de su vértice, produciéndose así el paraboloides de revolución que conocemos con el nombre de reflector parabólico.

Como material de la superficie reflectora se seleccionó un laminado excesivamente delgado de aluminio de acuerdo a los estudios y pruebas realizados en esta tesis sobre películas metálicas delgadas como, superficies reflectoras de ondas electromagnéticas.

El color del laminado es de color negro, para que el coeficiente de reflexión de luz y de calor sea mínimo, así mismo se elimina la posibilidad de tener una pequeña cantidad adicional de ruido por radiación solar.

5.4 CALCULO DE LA SUPERFICIE REFLECTORA

La cantidad de laminado que se requiere para una antena parabólica por unidad de superficie se puede obtener fácilmente a través de la ecuación vectorial del paraboloide: [SPIEGEL R., Murray, 1962]

$$\vec{r} = \frac{u^2}{4p} \hat{i} + u \cos \theta \hat{j} + u \sin \theta \hat{k}$$

$$S = 4 \int_R \int \sqrt{\mathbf{E}_0 - \mathbf{r}^2} \, du \, d\theta$$

$$\text{donde: } \mathbf{E} = \frac{\delta \vec{r}}{\delta \theta} = \left(\frac{u}{2p} \hat{i} + \cos \theta \hat{j} + \sin \theta \hat{k} \right)^2$$

$$= \frac{u^2}{4p} + 1$$

$$\mathbf{G} = \frac{\delta \vec{r}}{\delta \theta} = (-u \sin \theta \hat{j} + u \cos \theta \hat{k})^2 = u^2$$

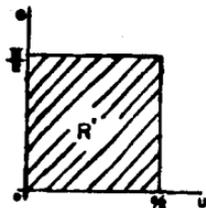
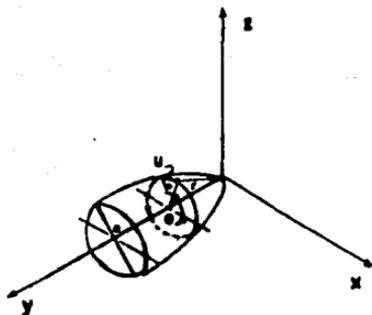
$$\mathbf{F} = \frac{\delta \vec{r}}{\delta u} = \frac{\delta \vec{r}}{\delta \theta}$$

y R es un cuarto del paraboloide limitado por los planos

$$z = \frac{u^2}{4p} ; \quad z = 0 ; \quad y = 0$$

que mapeados en el plano u, θ : dan, respectivamente las curvas:

$$u = a/2 ; \quad \theta = 0 ; \quad \theta = \pi/2$$



La cuarta frontera es el eje " θ " ($u = 0$) que resulta del vértice, que es un punto singular.

$$S = 4 \int_{R'} \int \sqrt{u^2(u^2/4p) + 1} \, du \, d\theta = 4 \int_{R'} \int u \sqrt{(u^2/4p) + 1} \, du \, d\theta$$

$$R' = \{(u, \theta) \mid 0 \leq \theta \leq \pi/2 ; \quad 0 \leq u \leq a/2\}$$

$$S = 4 \int_0^{\pi/2} \int_0^{a/2} u \sqrt{(u^2/4p) + 1} \, du \, d\theta$$

$$\begin{aligned} \int_0^{a/2} u \sqrt{(u^2/4p) + 1} \, du &= 2p \left[\left((u^2/4p) + 1 \right)^{3/4} \right]_0^{a/2} \\ &= 2p \left[\left((a^2/16p) + 1 \right)^{3/4} - 1 \right] \end{aligned}$$

y finalmente:

$$S = 8\rho \left[\left(\left(a^2/16\rho \right) + 1 \right)^{3/2} - 1 \right] \int_0^{\pi/2} d\theta$$
$$= 4\pi\rho \left[\left(\left(a^2/16\rho \right) + 1 \right)^{3/2} - 1 \right]$$

Así, una antena que tenga 2.10 m de diámetro y cuyo foco esté a 0.84 m del vértice requiere:

$$S = 4\pi(0.84) \left[\left(\left(2.10^2 \right) / 16(0.84) + 1 \right)^{3/2} - 1 \right]$$

$$S = 5.6 \text{ m}^2 \text{ de laminado.}$$

5.5 MONTAJES PARA REFLECTORES PARABOLICOS

En los párrafos anteriores optimizamos el diámetro del reflector escogiendo el material de la superficie reflectora, su acabado superficial y sugerimos el tipo de alimentador para el cual el reflector se comportaría con una mayor eficiencia, ahora es tiempo de proponer el tipo de montaje que usará el prototipo.

Un montaje es el mecanismo que permite dirigir en línea recta al reflector con un determinado satélite para poder así recibir señales de éste.

Existen básicamente dos tipos de montajes : El montaje polar y el acimut/elevación, aunque existe una variante de estos dos llamada horizonte a horizonte la cual trataremos posteriormente.

El montaje polar es el tipo más común, ha sido diseñado para cambiar la elevación del reflector automáticamente cuando se mueva de este a oeste, apuntando a cada satélite en el arco orbital.

Este montaje es muy preciso cuando se trata de enfocar satélites que transmiten en la banda C dado que el ancho de haz de estos satélites es mayor que el de los satélites que transmiten en banda Ku, por lo que si es usado para enfocarlos es necesario corregir los ángulos de declinación y polar (Apendices E y F). Este montaje tiene errores significativos de elevación en los extremos del arco orbital.

El montaje acimut/elevación (AZ/EL) alinea el reflector por medio de dos ajustes independientes, uno ajusta el reflector en el plano horizontal (acimut) y otro en el plano vertical (elevación).

Este montaje es el más preciso de todos ya que enfoca al satélite de acuerdo a su posición en longitud conociendo la posición geográfica exacta del lugar donde se encuentre la estación terrena, obteniendo así mediante cálculos matemáticos los ángulos de acimut y elevación que requiera el reflector. [Apendice E y F]

Por esta razón este tipo de montaje es el idóneo tratándose de enfocar satélites que transmiten en la banda Ku dado que como mencionamos, su ancho de haz es más estrecho requiriendo un alineamiento más preciso del reflector

Ambos tipos de montaje están comúnmente equipados con un brazo mecánico llamado actuador lineal el cual puede ser eléctrico o manual. Cabe señalar que para el caso del montaje polar el movimiento de este brazo es suficiente para alinear el reflector con un determinado satélite ya que le proporciona precisamente el movimiento este-oeste que este tipo de montaje necesita; no siendo así para el tipo acimut/elevación ya que el movimiento del actuador solo le proporciona el desplazamiento en la elevación, necesitando de otro mecanismo que le proporcione un giro de por lo menos 180° alrededor del eje normal al plano de tierra para así ajustar el acimut.

Existe como mencionamos anteriormente, una variante de estos dos montajes llamada horizonte a horizonte, la cual permite que el barrido que desarrolla el reflector en la elevación sea muy cercano a los 180°, esto permite enfocar el reflector hacia cualquiera de los satélites en el arco orbital visible desde una localización específica.

Ya conociendo las características de los montajes así como sus variantes, decidimos que nuestro prototipo debería contar con las facilidades que proporcionan cada uno de estos montajes por lo que se diseñó un tipo de montaje múltiple, esto es una combinación de los tres montajes en uno solo, basándose en un montaje Polar tipo

horizonte a horizonte que al hacer cero tanto su ángulo de declinación como su ángulo polar, se convierte en un montaje AZ/EL con la facilidad que le proporciona el poder girar 360° en acimut, manteniendo el mismo actuador lineal para el ajuste en elevación.

Este montaje múltiple es una de las principales aportaciones de esta tesis debido entre otras características a su bajo costo y concuerda con uno de los principales objetivos de diseño el cual propone un reflector parabólico compatible con ambas bandas (C y Ku).

5.6 DISEÑO MECÁNICO DEL REFLECTOR PARABÓLICO PROTOTIPO

En la introducción de esta tesis mencionamos los objetivos que persigue, uno de ellos es precisamente el alterar la geometría tradicional de los reflectores parabólicos, logrando un diseño innovador que dé como resultado un incremento de su eficiencia.

En párrafos anteriores comentamos que el diseño del prototipo sería un reflector del tipo sólido mediante laminados de aluminio super delgados, ya que los reflectores hechos a base de mallas de acero o aluminio no cumplen con los requerimientos para poder recibir la banda Ku, [Fig. 6a, 6b] debido a la rugosidad que estos presentan en la superficie reflectora debido al tamaño de la malla. Los reflectores sólidos no presentan estos problemas por presentar un medio continuo ante la onda electromagnética, pero presentan el inconveniente de ofrecer una gran resistencia al viento, esta resistencia puede ser cuantificada con gran aproximación mediante la siguiente ecuación [BAYLIN, Frank. 1986]:

$$F(\text{kg}) = (0.0101 V^2 A) \Delta$$

Donde:

V - Velocidad del viento/m/s

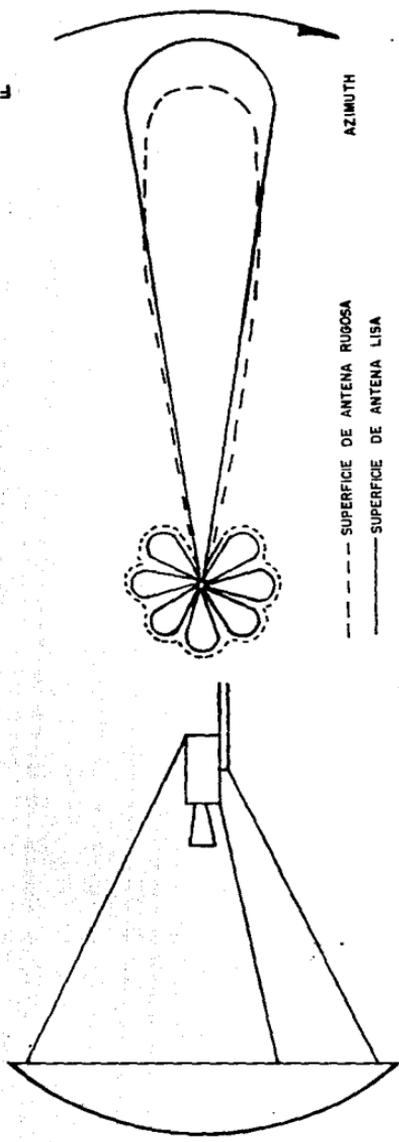
A - Área en m^2

Δ - Factor de captura del viento = 1 para una antena sólida

El observar la gran resistencia que un reflector sólido ofrece al viento creó la necesidad de encontrar la forma de disminuirla.

Recordando que el reflector se formaría de 15 secciones, la manera de disminuir la resistencia al viento fue espaciar una sección de la otra una pequeña distancia no mayor a $\lambda/10$ [COLLIN, Robert. 1987] que permitiera al viento pasar a través del reflector. Esta distancia resultó ser de 0.0025 m usando la longitud de onda de la banda Ku por ser esta menor que la de banda C, por lo tanto este valor satisface el requerimiento para ambas bandas. La figura 7 ilustra la forma de este espaciamiento.

Fig. 6a



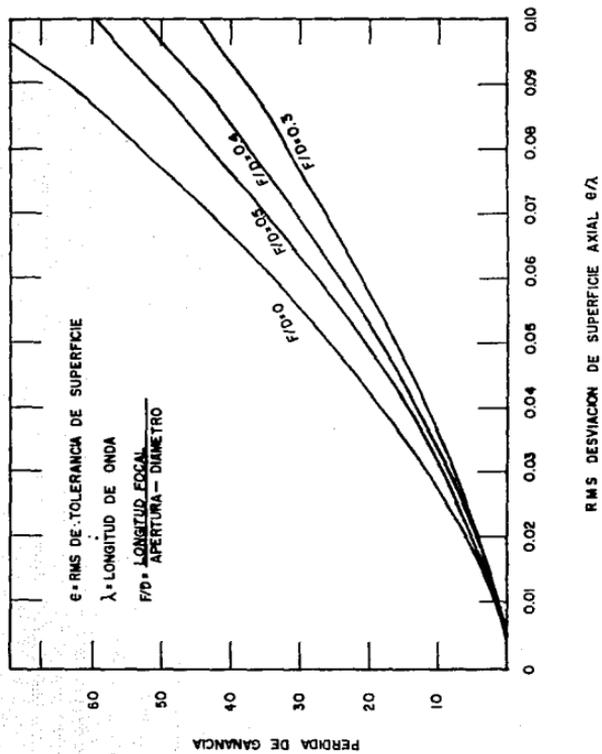


Fig. 6b

Al hablar de la eficiencia del reflector mencionamos haber utilizado un alimentador del tipo de corneta corrugada, el cual contribuye con muy pocas pérdidas al operar con un reflector cuya f/d fuera de 0.40 [ESCOBAR, FASTERLING, 1986], sin embargo, cualquier alimentador enfrenta el problema llamado efecto de borde [COLLIN, Robert. 1987], esto es cuando las ondas electromagnéticas inciden precisamente en el borde que circunda al reflector, produciendo pérdidas de señal, ya que estas ondas no incidirán al foco de la parábola y producirán ruido o interferencia. Por tanto se diseñó una geometría que minimizara este efecto evitando los bordes curvados y haciendo la circunferencia exterior del reflector un polígono de 15 lados. [Fig. 7]

En la siguiente sección se expondrán los procedimientos de fabricación de cada uno de los componentes del modelo prototipo.

Estos componentes y sus características generales son:

COMPONENTE	CARACTERISTICAS
BASE	PORTATIL Y ESTABLE.
MONTAJE	AZ/EL, POLAR, Y FACILIDAD DE ORIENTACION.
ESTRUCTURA DEL REFLECTOR	SECCIONES TUBULARES DOBLES, AJUSTE DE DISTANCIA FOCAL SIMPLE Y PRECISO Y SOSTEN DE ALIMENTADOR AJUSTABLE.
REFLECTOR	15 SECCIONES, RESISTENTE A FUERZAS DEL VIENTO Y LAMINADOS SUPERDELGADOS.

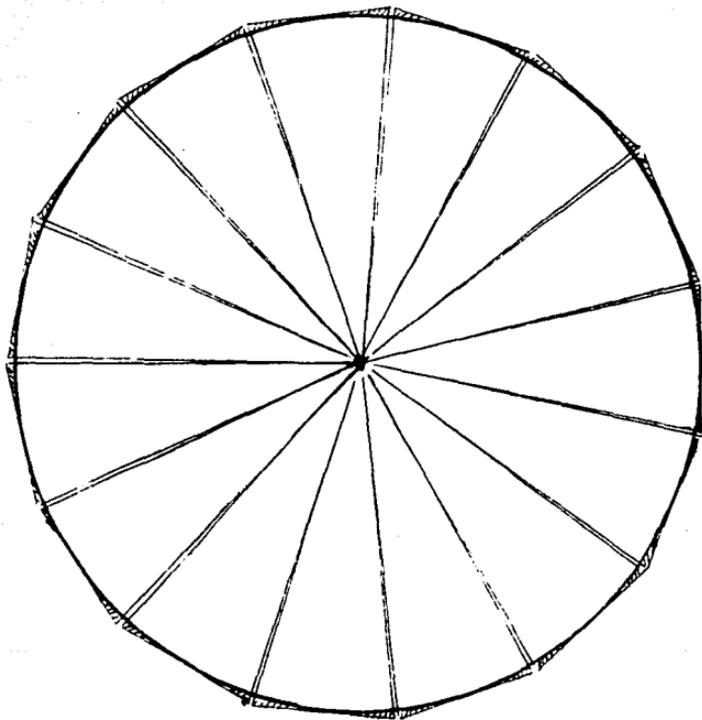


Fig. 7

PROCEDIMIENTOS DE FABRICACION DEL PROTOTIPO

En esta sección se describirá el proceso de fabricación del prototipo de acuerdo a los parámetros obtenidos anteriormente. La descripción del proceso contempla tres partes: La primera, se refiere a la base del reflector, la segunda al montaje y la tercera a la estructura de la superficie reflectora.

CONSTRUCCION DE LA BASE

La base es el elemento más sencillo conceptualmente, pero de gran importancia debido a sus funciones de soporte del conjunto ofreciéndole estabilidad y rigidez.

El diseño propuesto para la base en esta tesis es poco convencional, su objetivo es lograr estabilidad adecuada en el reflector, pero introduciendo el concepto móvil, lo que significa que la base no estará anclada, sino que tendrá la facilidad de desplazamiento.

En párrafos anteriores mencionamos los efectos destructivos que el viento puede llegar a ejercer sobre un reflector parabólico, cuando este es del tipo sólido, nuestro diseño plantea la posibilidad de poder desplazar todo el conjunto cuando se requiera, retirándolo de su posición para protegerlo de la fuerza del viento, evitando su eventual destrucción.

La base está formada por 2 secciones como lo ilustra la figura 8.

Un triángulo construido con barra ángulo de 1 pulgada forma el estabilizador, que hace también las veces de anclaje.

El soporte está construido de tubular redondo de 3/4 de pulgada, su función es la de dar la altura necesaria al plato reflector desde el nivel de tierra, para que éste pueda cubrir casi 360° del arco orbital en su desplazamiento de horizonte a horizonte, en su forma de montaje polar y 360° en elevación en su forma de AZ/EL.

El estabilizador y el soporte están acoplados mediante tornillos desmontables para darle al conjunto facilidad de manejo y transportación.

En conjunto las dos secciones ofrecen una excelente estabilidad con las facilidades de transportación requeridas.

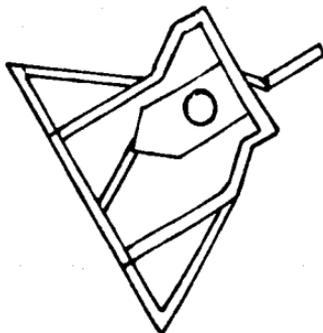


Fig. 8

CONSTRUCCION DEL MONTAJE

La segunda fase de la construcción del prototipo es la fabricación del montaje del reflector, que como se comentó anteriormente, es un diseño que combina 3 tipos diferentes de orientación: Polar, AZ/EL y horizonte a horizonte. El haber determinado usar este tipo de montaje en el reflector significó, al momento de su construcción, afrontar diversos obstáculos de tipo mecánico, sin embargo, se logró establecer un patrón definido de correlación entre los 3 tipos de orientación, que permitió combinarlos en uno solo.

Lograr que la antena tuviera un movimiento de horizonte a horizonte, significaría que el reflector pudiera rotar 360° , tanto en el plano vertical como en el horizontal, lo cual, para un montaje polar solo significó que tuviera 360° de rotación en elevación para poder cubrir completamente el arco orbital. Para un montaje AZ/EL significaría poder tener 360° de rotación tanto en acimut como en elevación.

Mediante las observaciones anteriores se logró encontrar la relación que se buscaba.

Partiendo de la conceptualización de un montaje polar convencional, se hicieron las modificaciones necesarias para que un montaje de este tipo tuviera un barrido de 360° en el arco orbital, teniendo así un montaje horizonte a horizonte, esto se logró al usar un actuador lineal de 25 pulgadas de longitud y un mecanismo de acoplamiento entre el actuador y el reflector que permitiera un desplazamiento angular al actuador además del movimiento lineal propio del actuador. [Fig. 9]

Las modificaciones realizadas al montaje polar básico para transformarlo en en montaje AZ/EL alteraron los componentes que fijan la elevación y la declinación en un montaje polar, rediseñándolos de tal manera que se pudieran lograr valores de 0° mediante tornillos de ajuste, estos tornillos se diseñaron para que no se requiriera de herramienta alguna para su manipulación.

El pedestal de soporte [Fig. 10] para el montaje polar, es a su vez el rotor de acimut para el montaje AZ/EL, esto se logró al ensamblar dentro del pedestal de soporte, que es un tubular circular, una flecha de 3/4 de pulgada con rodamientos en sus extremos [Fig. 10], al insertar la flecha dentro del pedestal de 4 pulgadas de diámetro interior, éste puede girar libremente 360° cuando la flecha se fija en su extremo inferior al soporte de la base [Fig. 10], el otro extremo está fijo a la terminación del pedestal.

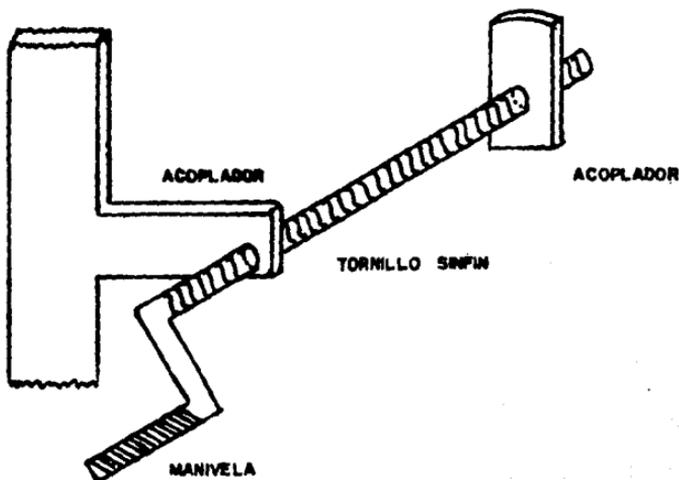


Fig. 9

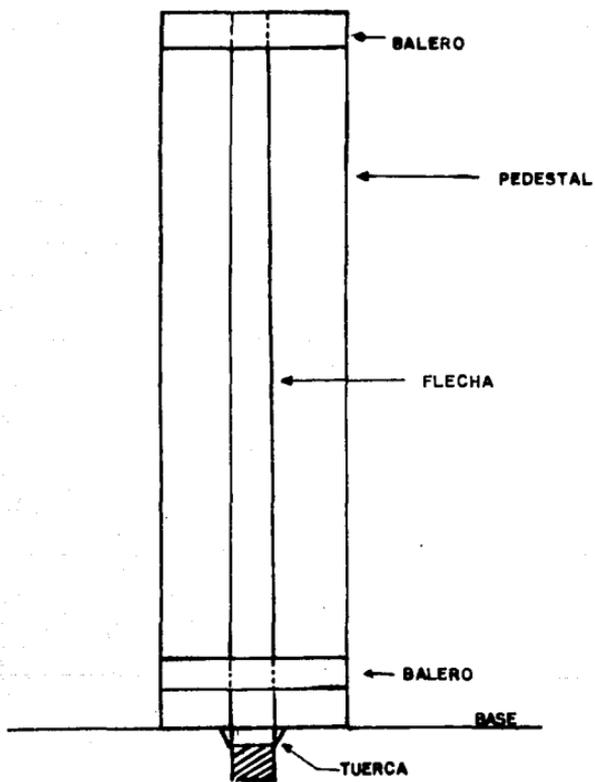


Fig. 10

En el extremo superior del pedestal se coloca el componente de elevación (Fig. 11), fabricada de tubular de acero cuadrado de 2 pulgadas en forma de "L", se ensambla al pedestal mediante un pivote que le permite tener un movimiento angular que proporciona la elevación requerida, en el extremo bajo se acopla un tornillo de ajuste acoplado en el otro extremo al pedestal que fija la elevación precisa, al avanzar el tornillo la elevación aumenta, al retroceder, la elevación disminuye hasta alcanzar 0° y darnos la facilidad de poder convertir el montaje polar en un montaje AZ/EL.

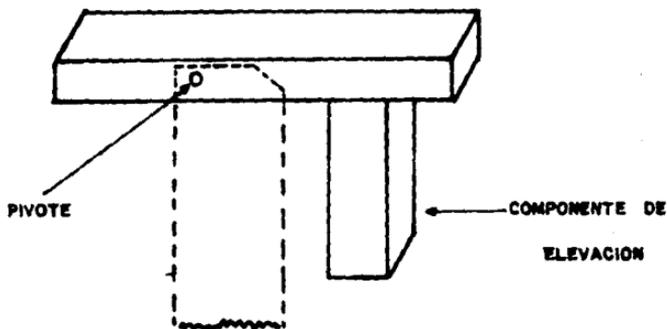


Fig.11

En el interior de la parte transversal del componente de declinación ("L") [Fig. 12] se encuentra una flecha con rodamientos en sus extremos; el elemento de declinación del montaje polar, que además cumple la función de acoplar la estructura del reflector al montaje, se ensambla en los extremos de la flecha y debido a los rodamientos proporciona con gran facilidad el desplazamiento angular del reflector de este a ceste, barriendo el arco orbital en el montaje polar, y el movimiento de elevación en el AZ/EL. Este componente lo hemos

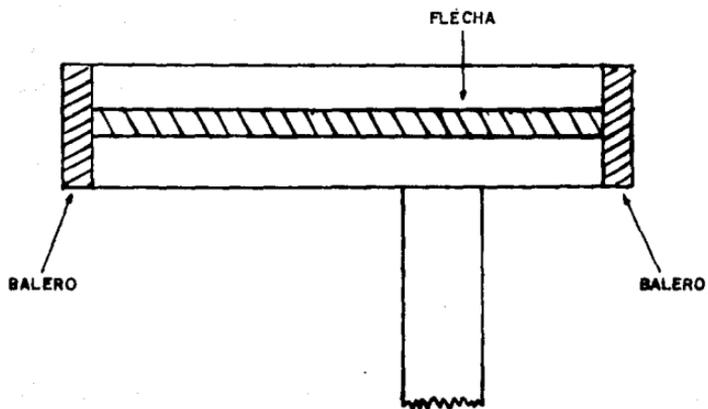


Fig.12

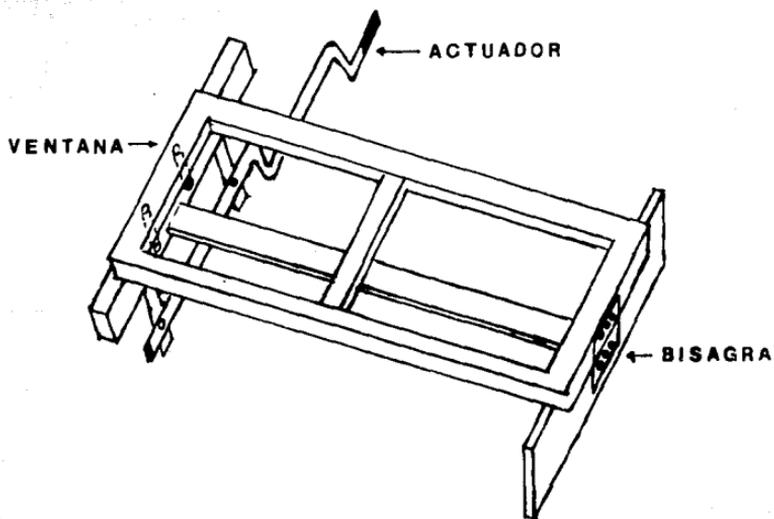


Fig.13

denominado "ventana" [Fig. 13] ya que además de su geometría rectangular, está formado por 2 secciones unidas por una bisagra que permite que la parte que no está unida al montaje se abra como una ventana proporcionando la declinación deseada, mediante 2 tornillos de ajuste que al avanzar o retroceder ajustan el valor del ángulo de declinación.

En el pedestal existe un soporte para sostener el actuador lineal, que en su extremo final se acopla al brazo de barrido de la ventana [Fig. 13]. Este actuador transmite el movimiento angular de elevación en su versión de montaje AZ/EL y de este a oeste en su versión polar.

CONSTRUCCION DEL REFLECTOR

Esta es la tercera y última fase en la construcción del prototipo, en el capítulo 4 se calcularon los diámetros mínimos de reflector para diferentes aplicaciones, concluyendo que se construiría un reflector de 2.10 m de diámetro que satisficaría los requerimientos de calidad de recepción para el satélite Morelos 1 y para algunos tanto en banda C como en KV. Otro parámetro de diseño que se seleccionó con anterioridad fue el de la relación f/D , que como mencionamos, nos describe la profundidad del reflector. Entre más profundo es un reflector, menor es su relación f/D , siendo menos susceptible a interferencias terrestres de otros medios de comunicación en frecuencias de microondas, si la relación f/D se incrementa, el reflector es menos profundo y más susceptible de ser afectado por interferencias terrestres.

La relación f/D en nuestro diseño se eligió de 0.40 como consecuencia de la selección de alimentador chaparral tipo corneta corrugada, cuyo patrón de radiación para un reflector de $f/D = 0.40$ es el óptimo.

Con estos parámetros básicos para el diseño ya especificados, calculamos anteriormente la ecuación de la parábola y la graficamos. La parte positiva de esta gráfica se reprodujo a escala natural, con el propósito de usarla como patrón de las costillas que formarían la estructura del reflector, ya que la parte negativa obviamente toma los mismos valores.

Para la fabricación de esta estructura se utilizó tubular cuadrado de acero de 1/2 pulgada, se fabricaron 30 secciones de parábola.

La estructura está formada por 15 costillas, cada una formada por 2 tubulares, separados entre sí una distancia de 1/8 de pulgada, doblados manualmente, lográndose una buena aproximación a la parábola graficada a escala natural.

Los tubulares se acoplan mediante tornillos a una placa de acero de 6 1/2 pulgadas de diámetro por 1/4 de pulgada de espesor, que forma un centro sólido, para formar la estructura del reflector. [Fig. 14]

Un anillo de 2.0 m de diámetro de tubular cuadrado de 1/2 pulgada, proporciona soporte mecánico a la estructura de los tubulares al unirlos todos en su circunferencia exterior.

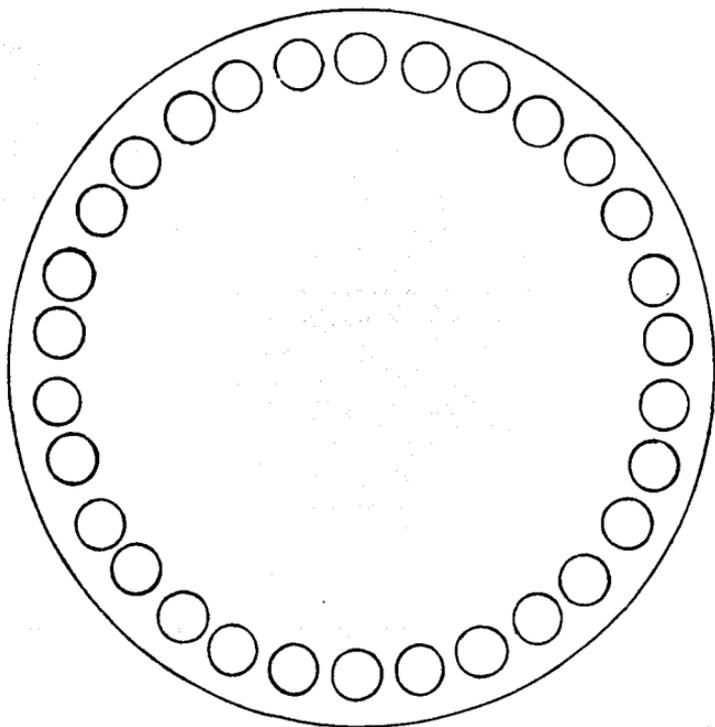


Fig. 14

El soporte del alimentador es del tipo "bastón" [Fig. 15] y se acopla al centro sólido de la estructura mediante un roscado exterior en el "bastón", y un roscado interior en el tubo soporte del centro de la estructura.

El ajuste de la distancia focal del alimentador se logra mediante el desplazamiento del bastón dentro del tubo soporte del centro de la estructura, fijándose con una contratuerca.

El acoplamiento del alimentador en la parte superior del "bastón", se hace por medio de un soporte en ángulo, que usando tornillos de rosca fina, fija el alimentador en tres puntos y permite ajustes finos de la distancia focal, al corregirla mediante contratuercas.



Fig. 15

El ensamble de la estructura del reflector al montaje, se logra uniendo el centro de ésta, el cual posee en su parte posterior 4 bujes simétricos entre sí y roscados interiormente a la "ventana" del montaje, mediante tornillos que atraviezan la "ventana" y se enroscan en los bujes del centro de la estructura.

El laminado metálico reflector es de aluminio sólido calibre 28 de aproximadamente 0.25 mm de espesor, éste es cortado tomando como

patrón las dimensiones físicas de un "pétalo" de la estructura del reflector. Los patrones se confeccionaron en cartón, presentándose sobre la estructura para hacer los ajustes dimensionales que fueran necesarios para un perfecto ensamble en cada una de las 15 secciones o "pétalos" del reflector.

Estos pétalos que formarán la superficie reflectora, se acoplan a la estructura mediante pijas de cabeza plana, tratando de presentar las menores irregularidades posibles a la superficie.

Cuando hablamos de la fabricación de las "costillas" de la estructura del reflector, se mencionó que cada una de éstas estaría formada por 2 tubulares, unidos entre sí por medio de soldadura, dejando una separación de aproximadamente $1/8$ de pulgada. Al ensamblar los "pétalos" de laminado, cada uno de éstos obtiene una separación de aproximadamente de $1/64$ de pulgada con respecto al pétalo contiguo.

Por lo tanto, existirán 15 ranuras en total en la superficie reflectora. El objetivo de este diseño es el de permitir que el viento pueda pasar a través de estas ranuras, para que nuestro reflector ofrezca una menor resistencia, ya que como mencionamos anteriormente, la resistencia ofrecida al viento por reflectores sólidos, es un factor de diseño importante que garantiza que no será destruido por efectos de las fuerzas del viento, sin embargo el haber diseñado un reflector de malla con mucho menor resistencia al viento no hubiera cubierto los objetivos de esta tesis: Un reflector compatible en la recepción de banda C y Ku.

Como podemos observar de la figura 7, la forma de los "pétalos" que forman el reflector es diferente a la convencional, ya que el extremo circunferencial es una recta y no un segmento de circunferencia.

La línea puntada muestra el segmento de circunferencia en un diseño convencional, pero como apuntamos anteriormente, los efectos llamados de borde, que sufre una señal al incidir en el

borde terminal de un reflector se minimizan al hacer una recta el extremo circunferencial del reflector. En este tipo de diseño solo un punto de la recta es tangente a la circunferencia convencional, por lo tanto solo tendremos 15 puntos en toda la circunferencia del reflector que sean susceptibles de ofrecer posibles efectos de borde a la señal incidente, ya que el reflector está "sobrado" en superficie reflectora (zona sombreada de la figura 7) de tal manera que minimize el efecto total en el reflector.

CONCLUSIONES

La tecnología en el diseño y fabricación de antenas, así como en cualquier campo de la ingeniería, no puede quedar estático, nuevos diseños y materiales son desarrollados en la actualidad.

Esta tesis demuestra experimentalmente con una gran fundamentación teórica, que el comportamiento electromagnético de películas delgadas conductoras, resulta similar al de materiales metálicos sólidos, comúnmente empleados en la fabricación de reflectores parabólicos para frecuencias de microondas.

Por otra parte plásticos como el Metacrilato de metilo y la Fibra de vidrio-poliéster, resultaron ser materiales adecuados para ser usados como soporte mecánico de la película conductora, debido a su excelente comportamiento en exteriores.

El análisis detallado de los parámetros de la ecuación de enlace y una correlación adecuada con las características propias de cada dispositivo involucrado, así como de las necesidades de los usuarios, concluyeron con el diseño de un prototipo de reflector parabólico que puede ser empleado para transmisión o para recepción de datos, voz o video en casi cualquier banda de frecuencias de microondas, ofreciendo una calidad excelente en nuestro país para la recepción y transmisión del sistema de satélites Morelos y suficientemente adecuada (en lo que a recepción de video se refiere) para la mayoría de los satélites de comunicaciones geostacionarios norteamericanos.

En términos generales esta tesis plantea la posibilidad de utilización de nuevos diseños y materiales cuya aplicación en el terreno de las telecomunicaciones dará como resultado un abatimiento en el costo de estos equipos, manteniendo y en algunos casos superando la calidad y eficiencia.

La utilización de materiales plásticos con recubrimientos metálico ya ha hecho su aparición en el ámbito internacional

Tecnologías de este tipo son empleadas en la actualidad por compañías fabricantes de equipos para telecomunicaciones, siendo aplicadas directamente en antenas para comunicaciones o radiometría a bordo de satélites comerciales o militares, sin embargo estas tecnologías no están aún a disposición pública, por ser tecnologías de vanguardia de uso restringido.

Esta tesis es solo el principio en cuanto a la aplicación de películas delgadas conductoras en telecomunicaciones en nuestro país y solo plantea la posibilidad y necesidad de utilización de esta tecnología, indicando algunas de las alternativas que se vislumbran, en lo que parece ser el ocaso de la utilización de materiales convencionales de alto costo.

Diferentes aplicaciones pueden emerger de esta nueva alternativa en telecomunicaciones, como pudieran ser la fabricación de guías de onda o arreglos planares, en resumen, la posibilidad de desarrollo y optimización de este primer intento de innovación tecnológica está abierta .

Es evidente que el desarrollo tecnológico no tiene fronteras y que todavía quedan muchos avances que lograr en el campo de las telecomunicaciones.

APENDICE A

COMPONENTES BASICOS DE UN SISTEMA DE RECEPCION DE TELEVISION VIA SATELITE.

A 1 REFLECTORES PARABOLICOS

El reflector es probablemente el componente más importante en un sistema de televisión vía satélite, su diámetro depende de la localización geográfica de la estación terrena dentro del patrón de radiación de un determinado satélite.

Básicamente un reflector colecta las señales enviadas a la estación terrena desde los satélites, estas señales son reflejadas de la superficie parabólica del reflector y enfocados a la corneta alimentadora. Si la superficie del reflector contiene protuberancias, la señal se dispersa preferentemente del foco dando como resultado una mala recepción.

CARACTERISTICAS

Algunos reflectores son más profundos que otros, en una antena profunda se tiene la corneta alimentadora montada relativamente cerca de la superficie, con esto se prevee que señales radiadas desde otra fuente no sean recibidas por el alimentador. Este tipo de reflectores son diseñados para áreas de recepción donde existan diferentes fuentes de radiación como pueden ser las torres de microondas.

RELACION f/D

Es la relación entre el radio de una antena y la longitud local (la distancia desde la corneta de alimentación a la superficie del disco). Este parámetro está íntimamente ligado con la profundidad de un reflector, entre más bajo sea el valor de f/D más profundo será el reflector.

MATERIALES

Los reflectores se fabrican con diferentes materiales, algunos son sólidos, otros son de malla perforados de aluminio, acero o fibra de vidrio, pudiendo tener cualquiera de estos una buena recepción ya que el principal parámetro que influye es la exactitud de la curvatura del reflector

A 2 POSICIONADORES

Posicionadores motorizados para reflectores tienden a ser populares los sistemas de televisión via satélite, éstos mueven automáticamente la orientación del reflector de un satélite a otro con solo presionar un botón en la caja de control, sin éstos se tienen que dirigir el reflector usando una manivela cada vez que se desee cambiar de satélite.

Muchos fabricantes construyen dentro del receptor el control del posicionador para que se pueda cambiar de satélite simplemente con la selección de la estación.

El actuador lineal (un brazo mecanizado agregado al montaje del reflector que permite mover este) es el tipo más común de posicionador, estos son esencialmente tornillos sinfín, un motor eléctrico mueve el tornillo para extender o retraer el brazo que provoca un movimiento al reflector por el arco vital.

La longitud del brazo depende del número de satélites en el arco vital que se deseen recibir.

A 3 ALIMENTADORES

La corneta de alimentación o alimentador toma las señales proyectadas por el reflector y las enruta mediante una guía de onda hacia el LNB. Muchas cornetas alimentadoras se caracterizan por alimentadores escalares, una serie de aros concéntricos que reciben las señales provocando una perfecta ortogonalidad entre los campos magnético y eléctrico de la señal, dirigiendoles exactamente al centro del alimentador que coincide con el punto focal del paraboloide de revolución.

Hay alimentadores que son diseñados especialmente para reflectores profundos y otros para poca profundidad, algunos son diseñados solamente para la banda C o para la banda Ku, también existen alimentadores de doble banda (C y Ku) que pueden recoger y procesar ambos tipos de señales.

A 4 DISPOSITIVOS DE POLARIZACION

Las polaridades más comunes de una señal de satélite son horizontal o vertical. Los alimentadores contienen un dispositivo que le permite recibir una u otra polaridad al cambiar la posición del elemento receptor. Existen dos tipos de dispositivos que realizan esta operación, el tipo Servo, el cual es mecánico y el electrónico tipo Pin-diode.

Algunos alimentadores incluyen un sistema de polaridad de ferrita el cual crea un campo magnético para "acomodar" tanto las señales verticales como horizontales. Algunos fabricantes también ofrecen alimentadores ortomodales los cuales ajustan señales horizontales y verticales simultáneamente.

A 5 LNB

(CONVERTIDOR DE BAJADA EN BLOQUE Y AMPLIFICADOR DE BAJO RUIDO)

Un LNB combina con el amplificador de bajo ruido estándar (LNA), un convertidor de bajada.

El LNB toma todas las señales que provienen de un satélite (todos los canales), y baja su frecuencia de GHz a MHz resultando una recepción de alta calidad.

El LNB tiene doce canales con la misma polaridad disponibles al mismo tiempo. Cualquier número de receptores puede ser conectado al mismo LNB. Algunos sistemas pueden usar dos LNB's, uno para cada polaridad obteniéndose veinticuatro canales para seleccionar.

TEMPERATURA DE RUIDO DE UN LNB

La temperatura de ruido de un LNB se expresa en grados Kelvin, indica la cantidad de temperatura eléctrica que produce el amplificador al procesar una señal.

El rango típico de un LNB es de 60 a 120 grados Kelvin, aunque recientemente al adoptar una nueva tecnología llamada HEMT (Transistor de Alta Movilidad de Electrones) se encuentran disponibles LNB's hasta de 40° K.

Para la banda KU los LNB's se caracterizan por su Figura de Ruido en vez de Temperatura de Ruido expresada en dB. Por ejemplo, una Figura de Ruido de 1.8 dB equivale a 149° K.

GANANCIA DE UN LNB

Se expresa en dB e indica la amplificación que le produce a una señal que proviene de un satélite.

A 6 RECEPTORES

El receptor de satélite es donde la señal es procesada antes de entrar al televisor. Su función es hacer compatible la señal del satélite con el televisor mediante un proceso de demodulación, es también la parte del sistema que permite seleccionar y cambiar los canales del satélite. Los receptores sofisticados incluyen un cambio de polaridad automática. Por convención, los canales pares tienen polaridad vertical y los canales nones tienen polaridad horizontal, estos receptores producen un cambio de polaridad al cambiar de un canal par a un non o viceversa.

A.7 IRD's

(Receptor/decodificador integrado)

En los primeros días de la televisión via satélite los usuarios de este servicio necesitaban tres tipos diferentes de componentes para recibir una señal: un receptor, un decodificador y un posicionador, en la actualidad la mayoría de los receptores integran estos componentes en una sola unidad. Los IRD's poseen el módulo de codificador Videocipher II integrado, es posible adquirir un IRD sin este módulo y adicionarlo más tarde.

APENDICE B

ESPECIFICACIONES DEL REFLECTOR PARABOLICO PROTOTIPO

DIAMETRO.....	D = 2.10 m
DISTANCIA FOCAL.....	f = 0.851529 m
RELACION FOCO-DIAMETRO.....	f/D = 0.40849
PROFUNDIDAD.....	p = 0.3343 m
TEMPERATURA TOTAL DE RUIDO.....	Ta = 17.46° K
ANCHO DE HAZ DE POTENCIA MEDIA.....	θ_{-3dB} = 10.22 grados
EFICIENCIA TOTAL.....	η = 65 %
GANANCIA DE LA ANTENA.....	G = 37.4 dB (4.2 CH2)
RESISTENCIA AL VIENTO.....	V = 95 Km/h aprox
ESTRUCTURA DE LA ANTENA.....	acero galvanizado
MONTAJE.....	polar y Az/E1
SECCIONES.....	15
COLOR.....	negro
PESO.....	42 Kg

APENDICE C

NOTACION EXPONENCIAL

Los decibeles se utilizan para expresar los valores relativos de dos señales. La escala logarítmica permite manejar con mayor facilidad valores con grandes diferencias. Los decibeles se definen por medio de la siguiente ecuación:

$$\text{diferencia en decibeles} = 10 \log (\text{señal A/señal B})$$

Por ejemplo, si la señal A es de 1000 W y la señal B es de 10 W, la señal A es 20 dB más potente que la señal B ya que:

$$\text{dBW} = 10 \log (1000/10)$$

$$\text{dBW} = 10 \times 2$$

$$\text{dBW} = 20 \text{ dB}$$

Por lo tanto, cuando se dice que la ganancia típica de un LNB es de 60 dB, quiere decir que la señal del satélite entregada por el amplificador es diez millones de veces más potente que la señal de ruido.

Los decibeles se utilizan para expresar niveles relativos de distintas unidades como son los Watts, los Volts, etc.

APENDICE D

TABLA DE PERDIDAS POR TRANSMISION EN CABLE COAXIAL

TIPO	MODELO	IMPEDANCIA	ATENUACION DE 900MHz(dB/100 ft)
RG-6	8228	75 ohms	6.9
RG-6	9248	75 ohms	6.9
RG-11	9230	75 ohms	5.2
RG-11	9292	75 ohms	5.2
RG-59	8241	75 ohms	10.9
RG-59	9275	75 ohms	8.4

APENDICE E

CALCULO DE ANGULO DE DECLINACION

El ángulo de declinación para un montaje polar se puede calcular por medio de la siguiente fórmula:

$$\theta = \text{ang tan } (3964 \text{ sen } L) / (22300 + 3964 (1 - \text{cos } L))$$

donde:

θ = Ángulo de declinación expresado en grados

L = latitud expresada en grados

Los dos números de la ecuación corresponden al radio de la Tierra (3964 millas) y a la distancia de la superficie terrestre a la órbita geostacionaria (22300 millas).

Una vez obtenido el valor en grados, se hace el ajuste en la antena. Este ajuste variara para cada antena dependiendo de la longitud de su eje.

APENDICE F

CALCULO DE ANGULOS DE AZIMUT Y ELEVACION

$$X = X_{sp} = -R \sin(\text{long}) \sin(\text{lat})$$

$$Y = Y_{sp} = d \sin(\text{pos}) - R \sin(\text{long}) \cos(\text{lat})$$

$$Z = Z_{sp} = d \cos(\text{pos}) - R \cos(\text{long})$$

$$D = \sqrt{(X^2 + Y^2 + Z^2)}$$

$$\text{Elevación } e = 90 - e'$$

$$e' = \text{ang sen} \left[(1/2RD) \sqrt{(d+D+R)(d+D-R)(d+R-D)(R+D-d)} \right]$$

$$\text{Azimut } \beta = 360^\circ - \beta'$$

$$\beta' = \text{ang tan} \left(\cot(\text{pos}-\text{long}/2) \cot(\text{lat}/2) + \text{ang tan} \left(\cot(\text{pos}-\text{long}/2) \tan(\text{lat}/2) \right) \right)$$

Lat = latitud norte de la estación terrena

Long = longitud oeste de la estación terrena

Pos = longitud oeste del satélite

R = radio terrestre (6789 Km)

r = radio de la DSG (35800 Km)

d = r + R

APENDICE G

GLOSARIO DE TERMINOS

- ACTUADOR** Un sistema de manejo agregado al montaje de la antena que automáticamente dirige la antena a cada satélite.
- ALIMENTADOR** Dispositivo que capta las microondas concentradas por una antena en el punto focal.
- ALIMENTACION ACTIVA** Un programa activo que transmite vía satélite antes de ser editado y mostrado al televidente de satélite.
- ALIMENTACION** Proceso de maximización de sensibilidad de una antena o de un receptor.
- AMPLIFICADOR DE BAJO RUIDO (LNA)** Dispositivo que amplifica las microondas reflejadas, contribuyendo con un nivel mínimo de ruido.
- AMPLIFICADOR DE BAJO RUIDO Y CONVERTIDOR DE BAJADA EN BLOQUE (LNB)** Es una combinación de amplificador de bajo ruido y convertidor de bajada en bloque que permite observar simultáneamente todos los canales de un satélite en múltiples televisores.

ANGULO DE VISTA	El ángulo en el cual una antena debe ser dirigida en orden para "ver" (recibir una señal desde) un satélite en particular. También llamado ángulo de posición.
ANCHO DE BANDA	Rango de frecuencia que pasa a través de un circuito.
ANCHO DE HAZ	Medida utilizada para describir el ancho de visibilidad de la antena. Se mide en ángulos, en el lugar donde la potencia alcanza su valor intermedio.
ANGULO DE ELEVACION	Angulo vertical, medido desde el horizonte hasta el satélite.
ANGULO DE AZIMUT	Angulo horizontal, medido en sentido horario a partir del norte geográfico.
ANTENA	Dispositivo que colecta energía electromagnética, lo cual resulta en una ganancia proporcional a la superficie de recepción.
BANDA BASE	Señal pura de audio o video sin onda portadora.
BANDA C	Rango del espectro electromagnético que abarca de los 3.7 a los 4.2 GHz.
BANDA KU	Rango del espectro electromagnético que abarca de los 11.7 a los 12.2 GHz.
CANAL	Segmento del ancho de banda que se emplea para un enlace de comunicaciones.

CATV	Abreviación utilizada para describir al sistema de televisión por cable.
CIFRA DE RUIDO	Relación entre la potencia que se genera a la entrada del amplificador y la que se generaría en un resistor.
CODIFICACION	Un método usado por algunos programadores de satélite, para modificar sus señales que solamente televidentes autorizados con decodificadores pueden ver.
CORNETA DE ALIMENTACION	El punto focal ensamblado sobre el disco que reúne la señal y envía al amplificador de bajo ruido (LNA).
CONTROL AUTOMATICO DE FRECUENCIA	Circuito que se emplea para fijar los canales en una frecuencia determinada.
DBS	Término que se utiliza para describir transmisiones de satélites dirigidas específicamente a usuarios particulares. Por lo general es en banda Ku.
DECIBEL	Término con que se expresa la relación de niveles de potencia y que indica la ganancia o pérdida de una señal.
ENLACE	Proceso de comunicaciones que considera los factores positivos y negativos que se presentan entre transmisor y receptor.

DECODIFICADOR	Un aparato diseñado para decodificar señales que son funcionalmente codificadas por algunos programadores.
ESTACION TERRENA	Sistema completo para la recepción o transmisión via satélite.
EXAMEN DEL SITIO	Una prueba para posibles orígenes de interferencia y obstrucciones en su hogar. Esto puede ser conducida por un negociante, previo a la instalación del sistema.
FRECUENCIA INTERMEDIA	Rango de frecuencia que se genera después de la conversión descendente en el receptor.
GANANCIA	La capacidad de amplificación de un aparato, expresado en la relación de potencia de salida a potencia de entrada medida en decibeles (dB).
G/T	La relación de ganancia entre temperatura de ruido el primer medio de expresión del desempeño de un sistema de recepción de satélite, expresado en dB.
GUIA DE ONDA	Línea de transmisión a través de la cual se propaga la onda electromagnética.
GRADOS KELVIN	Unidad de medición de temperatura por sobre el cero absoluto.
HUELLA	Área geográfica iluminada por la señal de un satélite. La medida de la potencia de esta señal es indicada por el término PIRE.

LATITUD Medida de un punto de la superficie de la Tierra al norte o al sur del ecuador, expresada en grados.

LOBULO LATERAL Esquema utilizado para describir la habilidad de una antena de recibir señales fuera de su eje principal. Mientras mayores sean estos lóbulos, más expuesta estará la antena a señales indeseables de interferencia y ruido.

LONGITUD Distancia al este o al oeste del primer meridiano medida en grados.

MONTAJE Estructura que soporta la antena. Existen dos tipos de montaje, el polar y el de acimut-elevación.

MONTAJE HORIZONTAL A-HORIZONTAL Un tipo de montaje del disco que permite a la antena trazar el arco del satélite de horizonte a horizonte.

MONTAJE POLAR Un tipo de montaje de antena que facilita al disco precisar el trazo del arco de la zona Clarke.

NTSC (National Television Standards Committee) Formato de video utilizado en México y Norteamérica.

ORBITA GEOSINCRÓNICA Órbita circular a 35,820 Km. sobre el ecuador. En ella los satélites viajan a la misma velocidad de rotación de la Tierra y parecen estar fijos con respecto a un punto en la superficie.

- PAL** (Phase Alternate Line) Formato de televisión de color utilizado en Europa.
- PARABOLICA** La figura curva de muchas antenas para satélite, las cuales reflejan sus señales en un punto focal.
- PIRE** (Potencia efectiva isotrópica radiada). Parámetro que indica la intensidad de señal en la superficie terrestre, radiada por un satélite.
- POLARIZACION** Característica de las ondas electromagnéticas que permite la reutilización de frecuencias.
- RELACION DE VOLTAJE DE ONDA ESTACIONARIA.**
(VSWR) (Voltaje Standing Wave Ratio) Medida del porcentaje de la potencia reflejada, con respecto a la potencia total que arriba al dispositivo.
- PUNTO FOCAL** El punto en el cual todas las señales son reflejadas por una antena parabólica o disco.
- RECEPTOR DE SATELITE** Un receptor igual a un receptor convencional de televisión el cual procesa la señal de satélite y permite sintonizar diferentes canales de videos y audio.
- RELACION PORTADORA A RUIDO**
(C/N) Relación entre la potencia de la portadora recibida y la potencia del ruido en un ancho de banda determinado.

RELACION SEÑAL

A RUIDO (S/N) Relación entre la potencia de la señal a la salida del receptor y la potencia del ruido en un ancho de banda determinado.

RUIDO DE LA TIERRA

Señales electromagnéticas perturbadoras generadas por el calor emitido por la Tierra.

RUIDO

TERMICO

Señales electromagnéticas perturbadoras generadas por la agitación molecular. Se conocen comúnmente como ruido.

SECAM

Formato de video utilizado en algunos países de Asia.

SUBPORTADORA

Onda portadora que transmite información de audio entre 5 y 8.5 MHz en un enlace vía satélite.

SUPERESTACION

Un local, estación de televisión semejante a WTBS Atlanta que gana una gran audiencia cuando es transmitida via satélite.

TEMPERATURA

DE RUIDO

Medida de la magnitud de ruido térmico presente en un sistema.

TRANSPONDEDOR

Receptor, repetidor y transmisor de microondas que se emplea en un satélite para amplificar y cambiar la frecuencia de una señal entre el enlace de subida y el de bajada.

TVRO

(Television Receive Only) Abreviación utilizada para describir a las estaciones terrenas que operan como receptoras de señales de televisión exclusivamente.

UMBRAL

Parámetro del receptor que indica la entrada mínima de señal requerida para el correcto procesamiento de imagen.

BIBLIOGRAFIA

BAYLIN Frank, GALE Brent. "KU-BAND SATELLITE TV THEORY, INSTALLATION AND REPAIR". THE ECHOSPHERE DEALER BOOK. ED. Baylin/Gale Productions, Boulder, Colorado, USA, 1986, PP 358

BECKER Richard. "ELECTROMAGNETIC FIELDS AND INTERACTIONS", ED. Dove Publications, Inc., New York, N.Y, USA, 1964.

CANFIELD S. "TESTING REINFORCED PLASTICS FOR K AND C BAND ANTENNAS", TVRO TECHNOLOGY, ED. Weisner Inc., Littleton, Colorado, USA, Enero, 1985, P36-P46.

CARLSON Bruce. "SISTEMAS DE COMUNICACION", ED. Mc Graw Hill, México, D.F., México, 1980, PP 507.

COLLIN Robert. "ANTENNAS AND RADIOWAVE PROPAGATION" ED. Mc Graw Hill, Singapore, 1987, PP 508.

CROSS A.W. . "EXPERIMENTAL MICROWAVES MARCONI INSTRUMENTS", ED. Limited Staveng Hertfordshire, Hertfordshire, England, 1967, PP 147 .

ESCOBAR Miguel, FASTERLING Guillermo. "SISTEMA RURAL DE RECEPCION DE TELEVISION PARA UN SATELITE DOMESTICO", Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F., México, 1989, PP 228.

GLANVILL Alan. "PLASTIC MATERIALS HAND BOOK", ED. The Machinery Publication, London, England, 1964, PP 545.

GOMEZ GONZALES Amanda. "DESARROLLO DE UN CONJUNTO DE PROGRAMAS PARA EL CALCULO DE PARAMETROS DE ENLACE PARA SATELITES DE COMUNICACION", Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE), Ensenada B.C., México, 1982, PP 148.

GOMEZ GONZALES Amanda. "MODELO DE TEMPERATURAS DE ANTENA DE RECEPCION DE SATELITE", Universidad de Guadalajara, Guadalajara, Jal., México, 1983, PP 42.

HAYT William. "TEORIA ELECTROMAGNETICA", ED. McGraw Hill México, D.F., México, 1979, PP 511.

JONK T. Carl. "TEORIA ELECTROMAGNETICA", ED. Limusa, México, D.F., México, 1981, PP 740.

KAUFMAN Milton. SELDMAN Arthur. "MANUAL PARA INGENIEROS Y TECNICOS" ED. Mc Graw Hill, México, D.F., México, 1982, PP 650.

KRAUSS, JOHN, CARVER. "ELECTROMAGNETISMO", ED. Mc Graw Hill, México, D.F., México, 1973, PP 852.

LONG Mark "WORLD SATELLITE ALMANAC 1985", ED Comtek Publishing Company, Pasadena, Cal., USA, 1985, PP 544.

RAMMO Simon , WHINNERY R. JOHN and VAN DUZEN Theodore. "FIELDS AND WAVES IN COMMUNICATIONS ELECTRONICS ", ED. John Wiley & Sons, New York, N.Y., USA, 1984, PP 817.

SATELLITE ORBIT. "SATELLITE BUYER'S GUIDE" Vol 1, NO 1, Boise, ID, USA, 1987, P23-P45.

SONNERBORN Ralph. "FIBERGLASS REINFORCED PLASTICS", ED. Reinhold Publishing Corporation, New York, N.Y., USA, 1954, PP 244.

SPIEGEL R. Murray. "ANALISIS VECTORIAL", ED. Mc Graw Hill, México, D.F., México, 1982, PP 222.

THE COMMONWEALTH AND INTERNATIONAL LIBRARY Plastic Division. "PLASTICOS PARA INGENIEROS UN CURSO INTRODUCTORIO", ED. Oxford Pergamon Press, England, 1967, PP 170.

TORRES Gabriel. Comunicación Privada en el Centro de Investigación de Materiales de la UNAM., 1988.

VON HIPPER Arthur. "MATERIALES DIELECTRICOS Y APLICACIONES", ED. The M.I.T. Press, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts, USA, PP 438.

ZIEMER R.E., TRANTER W.H. . "PRINCIPIOS DE COMUNICACIONES SISTEMAS, MODULACION Y RUIDO ", ED. Trillas S.A., México D.F., México, 1981 PP 636.