

658.404
Bec

24/03/16
Inventariada

05 SEP 2018
Luzana U

Liliana O
15/12/2013

ARCHIVO

CENTRO DE INVESTIGACIONES
CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA

Informe Final
P.I. 310.02

Por: Carlos Becerra Escudero
Facultad de Ing. Eléctrica
ESPOL, Guayaquil, Ecuador.

6/3/03
Gronny Luján



CIB

D-21523

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería Eléctrica

PROYECTO DE INVESTIGACION CONUEP-ESPOL

CONTROL DE INSECTOS EN SILOS
MEDIANTE EL USO DE ENERGIA ELECTROMAGNETICA
DE ALTA FRECUENCIA

INFORME FINAL

Director del Proyecto:

CARLOS BECERRA ESCUDERO

Mayo, 1987

AGRADECIMIENTO

El autor desea expresar su enorme gratitud al Ing. Gómer Rubio R., por su valiosa colaboración en las pruebas de laboratorio y en la elaboración de este Informe Final, durante su participación como Asistente de Proyecto y luego en calidad de Ingeniero de Proyecto.

Es importante destacar también la cooperación de los entomólogos de INIAP, Ing. David Alava y Miriam Arias, quienes desinteresadamente aportaron con sus criterios en la evaluación de los resultados. A ellos se debe mucho.

Adicionalmente, el autor deja constancia de su agradecimiento por los comentarios verbales y escritos a los profesores Dr. William Pickard (de la Universidad Washington en St. Louis, Missouri), Dr. Prasad Kadaba (de la Universidad de Kentucky, en Lexington, KT), Dr. Frank Barnes (de la Universidad de Colorado, en Boulder), y a los Drs. John Brower y E. Wayne Tilton (del Servicio de Investigación en Agricultura del USDA en Savannah, Georgia).

INDICE

	<i>Pág.</i>
RESUMEN EJECUTIVO DEL PROYECTO	<i>i</i>
INDICE DE FIGURAS	<i>vi</i>
GLOSARIO DE TERMINOS	<i>xi</i>
INTRODUCCION	<i>1</i>
CAPITULO 1.- GENERALIDADES SOBRE EL CONTROL DE INSECTOS	<i>7</i>
1.1.- EL USO DE LOS PESTICIDAS Y SUS CONSECUENCIAS	<i>8</i>
1.2.- LAS FORMAS DE CONTROL DE PLAGAS	<i>16</i>
1.3.- EFECTOS BIOLÓGICOS DE LAS ALTAS FRECUENCIAS	<i>30</i>
CAPITULO 2.- ENSAMBLAJE DE LABORATORIO	<i>44</i>
2.1.- CONSIDERACIONES PREVIAS	<i>44</i>
2.2.- DESCRIPCION DE LOS CIRCUITOS DE MICROONDAS.....	<i>59</i>
CAPITULO 3.- PRUEBAS EXPERIMENTALES	<i>67</i>
3.1.- METODOLOGIA DE TRABAJO	<i>67</i>

3.2.-	TABULACION DE LOS RESULTADOS	81
CAPITULO 4.-		
	EVALUACION DE LOS RESULTADOS	112
4.1.-	CORRELACION CON OTROS REPORTES	112
4.2.-	PROBLEMAS ENCONTRADOS	121
4.3.-	PERSPECTIVAS PARA OTROS PROYECTOS	124
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		135
REFERENCIAS		139
APENDICES:		
A.-	Desarrollo y Estados Postembrionarios de los Insectos	146
B.-	Ecología de los Insectos	152
C.-	Los Insectos y El Hombre	157
D.-	Taxonomía de los Insectos	174
E.-	Modelo de la Interacción Electromagnética en un Grano Infestado	186
F.-	Modelo Simplificado de los Efectos No Térmicos en Tejidos Biológicos	192
G.-	Detalle de los Equipos de Laboratorio	200
H.-	Derivación de la Densidad de Potencia Irradiada	227

RESUMEN EJECUTIVO DEL PROYECTO 310.02

Este documento corresponde formalmente al Informe Final con que finaliza la ejecución del Proyecto de Investigación 310.02, cofinanciado por CONUEP y ESPOL. El monto asignado para este Proyecto ascendió a \$ 3'411.000.00, de los cuales la ESPOL aportó con \$ 1'200.000.00. Los objetivos del Proyecto fueron fundamentalmente: Encontrar mejores métodos para controlar los insectos que infestan los granos almacenados y minimizar los estragos; desarrollar un sistema experimental de irradiación en silo; y, entregar las recomendaciones pertinentes en base a los principales parámetros entomológicos y electromagnéticos.

Por las razones antedichas, la ejecución del Proyecto giró alrededor de experimentos de laboratorio sobre insectos en estado postembrionario (pupas y huevecillos), que fueron realizadas con el objeto exclusivo de examinar y evaluar la factibilidad de usar ondas electromagnéticas de alta frecuencia y bajo poder, como medio de control de insectos infestadores de productos agrícolas almacenados. El Proyecto nació como una necesidad de levantar un método no convencional de control de insectos que no provoque efectos

dañinos a la salud humana y al medio ambiente, tal como sucede con el método químico tradicional. La especialidad del Proyecto y sus ejecutores, es el bioelectromagnetismo, pero se contó con la valiosa asesoría de profesionales en entomología (del INIAP) y el comentario de especialistas extranjeros.

La metodología empleada fue eminentemente experimental, y las pruebas fueron hechas fundamentalmente sobre la especie *sitotroga cerealella* (del Orden de los Lepidópteros, Familia de los Geléquidos), conocida como *palomilla de maíz* o también como *palomilla dorada* (en otros países se la denomina como Palomilla Angoumois), en un laboratorio formal de microondas, irradiándola con frecuencias de 2 y 9 GHz, con dosis fijas de 1, 2 y 3 horas de duración. Para ello se utilizaron ensamblajes de guía hueca rectangular de banda-X de dimensiones transversales 2.29 cm X 1.02 cm (que es una guía adecuada para los 9 GHz) y de línea coaxial rígida de 50 ohmios de impedancia característica (para el tratamiento a 2 GHz).

Se definió la metodología de trabajar en total con cuatro tipo de pruebas en laboratorio: (1) con la especie dentro de guía; (2) con la especie irradiada en exterior; (3)

con la especie dentro de ensamblaje coaxial a 2 GHz; y, (4) con la palomilla estragando un minisilo de paredes de vidrio que simulaba geométricamente las características de un silo real con granos infestados. En las tres primeras se irradió tanto al insecto solo como al grano de maíz infestado.

Los experimentos a 9 GHz fueron hechos con muy bajo nivel de potencia electromagnética incidente (8 y 15 mW); mientras que en las pruebas a 2 GHz -en coaxial-, se usó potencia menos baja (50 y 100 mW). Estas alternativas, en ambos casos de **baja densidad de potencia**, surgieron por el tipo de equipo disponible en el laboratorio, y sirvieron positivamente para examinar el alcance de la aplicación específica de las microondas de bajo nivel de potencia en el control de insectos de productos almacenados. El empleo de baja potencia ciertamente sirve para desarrollar un paquete tecnológico de bajo costo, apto para una implantación práctica futura.

Los resultados de los experimentos demostraron básicamente: (1) cierta resistencia de la especie a la irradiación de 8 y 15 mW, a 9 GHz; (2) no obstante lo anterior, a esa misma frecuencia y potencia, se hallaron efectos sobre la reproducción que incidieron en la reducción de población en a-

proximadamente 20% de generación a generación; (3) A 2 GHz, y con potencias de 27 a 90 mW, se observaron con claridad efectos letales y teratológicos en la especie (especialmente estos últimos).

Estos resultados muestran la factibilidad de utilizar microondas de baja potencia para controlar palomillas de maíz en silos, empleando un equipo similar al usado en este Proyecto, pero con una fuente de potencia acorde con el tipo de implantación en particular. Los efectos (los teratológicos y en la reproducción) siguen siendo buenos a ese nivel de potencia; y por lo tanto parece que no es necesario usar potencias extremadamente grandes, ya que llevaría a utilizar en el campo equipos más costosos y tendería a la destrucción del grano anfitrión en el silo. La aplicación de un equipo completo de control por microondas de bajo nivel de densidad de potencia (de 2.45 GHz, 4 KW RF, con guía hueca de banda S), puede llegar referencialmente a unos US \$ 9.500.00 para el volumen equivalente a un silo de 5-6 m de altura y 2 m de radio (asumiendo sección transversal circular). Mas si se llegara a fabricar localmente algunas piezas de guía hueca, el costo puede bajar a cerca del millón de sucres (incluyendo antenas, tramos de guía, generador de microondas, accesorios e instalación). Estos números son referenciales y

corresponden al silo ejemplo asumido aquí.

De todas formas, si sería aconsejable llevar adelante posteriores proyectos que investiguen la factibilidad de los efectos térmicos y no térmicos sobre otras especies infestadoras de granos almacenados en el litoral ecuatoriano, y que proporcionen resultados usando otros valores de potencia y frecuencia. Será conveniente incluso determinar la incidencia de ciertos parámetros ambientales (como temperatura y humedad), para lograr un cuadro integral de criterios definitivos que permitan oficializar una aplicación práctica del control electromagnético de insectos estragadores de productos almacenados en el Ecuador. De todas maneras, en este Informe Final se dan algunas ideas básicas sobre la aplicación de esta nueva tecnología y de nuevos proyectos de investigación básica sobre este campo.

ESPOL - CICYT

Ing. Carlos Becerra
DIRECTOR DEL PROYECTO. P.I. 310.02
CONTROL DE INSECTOS

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Fig. 1.1 Espectro Electromagnético con las Bandas de Frecuencias Correspondientes	18
Fig. 1.2 Concepto Gráfico de Administración Integrada del Control de Pestes en Agricultura	19
Fig. 1.3 Concepto del Nivel de Daño Cero	32
Fig. 2.1 Ensamblaje para Irradiación dentro de una Guía de Onda Rectangular de Banda X	49
Fig. 2.2 Fotografía del Ensamblaje Experimental con una Guía Hueca Rectangular	50
Fig. 2.3 Ilustración del Ensamblaje empleado para Irradiación en Espacio Libre con Antena Bocina	52
Fig. 2.4 Fotografía del Circuito para Irradiación con Antena Bocina en Exterior	53
Fig. 2.5 Ensamblaje correspondiente a las Pruebas con un Minisilo Experimental	54

Fig. 2.6	Muestra fotográfica del Ensamblaje con un Mini-silo de Paredes de Vidrio	55
Fig. 2.7	Ilustración del Ensamblaje para Irradiación en una Línea Rígida Coaxial de 50 ohmios	57
Fig. 2.8	Fotografía de la Configuración Experimental con Línea Coaxial para Irradiación a 2 GHz	58
Fig. 2.9	Circuito de Microondas en Bloque para las Pruebas a 9 GHz en Guía Rectangular	60
Fig. 2.10	Diagrama de Bloques del Circuito para la Irradiación a 2 GHz en Línea Coaxial	65
Fig. 3.1	Fotografía de las pupas de palomilla, antes de irradiación	72
Fig. 3.2	Fotografía de una unión de guía hueca, con las pupas en su interior	75
Fig. 3.3	Toma cercana de la antena bocina apuntando a las pupas de <i>sitotroga cereallela</i>	77
Fig. 3.4	Foto del ensamblaje del minisilo experimental con paredes de vidrio	79
Fig. 3.5	Toma fotográfica cercana de la terminación coaxial con las pupas en su interior	80

Fig. 3.6	Resultado de las Pruebas con Pupas solas a 9 GHz, irradiadas dentro de una Guía Rectangular	88
Fig. 3.7	Información obtenida de las Pruebas de Irradia- ción a 9 GHz, sobre Pupas en Granos	89
Fig. 3.8	Resultado de las Pruebas a Espacio Libre, irradiando Pupas solas	90
Fig. 3.9	Información obtenida de las Pruebas de Irradia- ción a Espacio Libre, sobre Pupas en Granos	91
Fig. 3.10	Efectos Teratológicos y Letales, a 9 GHz, en función de p_0	97
Fig. 3.11	Resultado de la Observación del Porcentaje Poblacional en dos Generaciones	98
Fig. 3.12	Resultado de las Pruebas en Línea Coaxial, a 2 GHz, en Pupas solas	104
Fig. 3.13	Información obtenida de las Pruebas sobre Pupas en Granos, en una Línea Coaxial	105
Fig. 3.14	(a,b,c,d) Fotografías de los adultos mostrando los insectos normales, deformes y muertos	107
Fig. 3.15	Gráfico resumido de los efectos letales y tera- tológicos a 2 GHz, en función p_0	111

Fig. 4.1	Detalle gráfico de la implantación de un sistema de irradiación para un silo estándar	128
Fig. A.1	Metamorfosis Típica Holometabólica	150
Fig. D.1	Dibujo Representativo de la Especie "Sitotroga Cerealella" (Palomilla de Maíz)	182
Fig. D.2	Ubicación de las Zonas en el Mundo donde causa estrago la <i>Sitotroga Cerealella</i>	184
Fig. E.1	Modelo Esférico Simplificado de un Insecto en Estado de Pupa embebido en una Masa de Granos	187
Fig. E.2	Líneas de Flujo del Campo Eléctrico en el el Modelo Esférico de la Pupa	187
Fig. F.1	Función Característica Corriente vs Voltaje, en una Membrana Celular Típica	196
Fig. F.2	Circuito Equivalente de Líquido Extracelular y Membrana Celular	196
Fig. G.1	Tipos de Atenuadores Usados en Circuitos de Microondas (de Desplazamiento y de Aleta)	204
Fig. G.2	Tipo de Filtro Pasabajo	206

Fig. G.3	Filtros Pasabanda y de Bloqueo	207
Fig. G.4	Acoplador Direccional empleado en Laboratorio	209
Fig. G.5	Medidor de Potencia Modelo HP-432A	212
Fig. G.6	Terminaciones en una Guía de Onda	215
Fig. G.7	Esquema de una Antena Tipo Bocina ("Horn")	217
Fig. G.8	Ilustración de la Línea Ranurada de 30 omñios para las Pruebas a 2 GHz, en Línea Coaxial	224
Fig. H.1	Coordenadas Cartesianas empleadas para el Aná- lisis en Guía Rectangular	229
Fig. H.2	Distribución Transversal en Función de x , de la Densidad de Potencia en una Guía Rectangular	229
Fig. H.3	Coordenadas usadas en la Derivación de la Densidad de Potencia en una Línea Coaxial	233
Fig. H.4	Distribución de la Densidad de Potencia en Fun- ción del Radio, en una Línea Coaxial	233
Fig. H.5	Esquema de la Antena Bocina para la Derivación de la Densidad de Potencia Radiada	235

GLOSARIO DE TERMINOS

A	Amplitud de campo magnético axial en modo TE ₁₀ .
B	Constante de propagación en guía de onda.
c	Velocidad de la luz en el vacío.
c _m	Calor específico de una especie.
C ₀	Amplitud de campo eléctrico E _y en guía.
C ₁	Concentración iónica intracelular.
C ₂	Concentración iónica extracelular.
D	Dosis recibida por una especie (en mW/cm ² .h).
D	Vector de desplazamiento.
dB	Decibelios = 10 ln(P ₁ /P ₂).
d _m	Gravedad específica de una especie.
ds	Diferencial de área.
E	Vector de campo eléctrico.
E ₀	Campo presente en el grano anfitrión infestado.
E ₁	Campo dentro del insecto (pupa).
f	Frecuencia de oscilación.
φ	Angulo azimutal en coordenadas esféricas.
GHz	Gigahertz (10 ⁹ Hertz).
H	Vector de campo magnético.
H*	Conjugada del campo H.
I _m	Corriente a través de una membrana celular.
I _s	Corriente de saturación de una membrana.

k	Constante de Boltzmann (1.38×10^{-23} J/°K).
K'	Parte real de la constante dieléctrica.
K''	Parte imaginaria de la constante dieléctrica.
k_c	Constante de frecuencia de corte de guía de onda.
K_G	Constante dieléctrica del grano infestado.
K_I	Constante dieléctrica del insecto (pupa).
k_0	Número de onda en el vacío.
K_m	Constante dieléctrica de membrana celular.
K_x	Constante dieléctrica de líquido extracelular.
λ	Longitud de onda electromagnética.
MHz	Megahertz (10^6 Hertz).
μ	Permeabilidad magnética de un medio.
ω	Frecuencia angular de una onda electromagnética.
p	Densidad de potencia electromagnética.
\mathbf{p}	Vector de Poynting.
P_L	Potencia de carga en una guía.
P_m	Valor medido de potencia.
p_0	Máximo valor de densidad de potencia en una guía.
P_0	Potencia transmitida en una guía de onda.
$p(0,0)$	Densidad de potencia frente a la boca de antena.
$p(\theta, \phi)$	Densidad de potencia en función de θ y ϕ .
$p(r)$	Densidad de potencia en función del ancho radial.
$p(x)$	Densidad de potencia distribuida a lo ancho x .
q	Carga del electrón (1.6×10^{-19} coulombios).

R	Coeficiente de reflexión en una terminación.
r	Coordenada radial en una guía coaxial.
r	Distancia desde (0,0,0) en una antena bocina.
ρ_m	Resistividad de la membrana celular.
ρ_x	Resistividad del medio extracelular.
T	Temperatura absoluta en °K.
t	Tiempo de observación.
θ	Angulo cenital en coordenadas esféricas.
V_0	Potencial eléctrico dentro del grano infestado.
V_1	Potencial eléctrico en el insecto (pupa).
V_m	Potencial a través de la membrana celular.
V_T	Potencial de la energía térmica.
Y_0	Admitancia intrínseca de un medio.
Z_h	Impedancia de onda de modo TE en una guía hueca.
Z_m	Impedancia equivalente de la membrana celular.
Z_0	Impedancia intrínseca de un medio.
Z_x	Impedancia equivalente del medio extracelular.

INTRODUCCION

La presencia de una inmensa cantidad de especies de insectos infestadores del cultivo y almacenamiento de productos de la agricultura, ha sido motivo de bastante preocupación en el hombre desde hace muchísimos años. La plaga de los insectos en sí ha constituido un estrago notable de recursos cultivables y postcosechables que obligaron al hombre a buscar la forma más eficiente de eliminar dicha peste, y también a los hongos y malezas que molestan en la agricultura.

Para contrarrestar el perjuicio de los insectos en los productos cultivados y almacenados, la humanidad civilizada se ha conformado con el uso generalizado de productos químicos en variada forma, presentación y dosificación. Estos productos son los insecticidas, o más generalmente, pesticidas o plaguicidas. Estos al decir verdad, provocan efectos letales sobre la mayoría de las plagas estragadoras de granos, semillas, polvos almacenados y cultivos de campo abierto; y por lo tanto son generalmente considerados como aceptables controladores de insectos.

Lamentablemente, el mecanismo a veces irracional de comercializar y utilizar los plaguicidas -existen más de 60.000 productos en el mercado de todo el planeta-, y la falta de reflexión sobre las consecuencias futuras de su uso, ha generado ciertos importantes problemas técnicos y más que todo, sociales, que no han podido soslayarse a través del tiempo. La causa de este grupo importante de problemas reside en el hecho de que el insecticida al ser aplicado en la plantación o dentro del silo, con el objeto de eliminar a los insectos plagas, también impregna directa e indirectamente al producto alimenticio anfitrión o a otros productos, animales o cosas aledañas. Y dado que los insecticidas son materiales tóxicos -unos más que otros-, el resultado puede ser muy preocupante.

Los trastornos que pueden causar los plaguicidas en el escenario terrestre, se los recopila de la siguiente manera:

- 1.- Efectos perjudiciales a la salud del humano que ingiere el alimento derivado directamente de la cosecha del producto agrícola que fue contaminado con plaguicidas. Entre esos alimentos se cuenta a los cereales, frutas, tubérculos, hortalizas, legumbres, productos de panadería, dulces y condimentos [1.4.6].

- 2.- Efectos perjudiciales a los animales domésticos o productivos, que ingieren alimentos contaminados provenientes directamente del producto cosechado que fue tratado con insecticidas [47.48].
- 3.- Efectos dañinos a la salud del individuo que ingiere productos de mercado que provienen de animales que fueron alimentados con sustancias contaminadas. En esta contaminación indirecta intervienen productos de consumo diario tales como huevos, productos cárnicos, productos de mar, grasas y productos lácteos [5.6].
- 4.- Efectos tóxicos -a veces, letales- en hombres y animales que se contaminan interna o externamente con alimentos naturales o preparados que vienen de un producto agrícola impregnado con insecticidas cuyo uso ha sido prohibido o restringido. En esta situación, se han detectado casos de plaguicidas que estando prohibidos o restringidos en un país extranjero, son casualmente importados a nuestro país [2.3.4.6.45.48]. Existe una lista de unos 12 productos altamente tóxicos que fueron prohibidos durante 1985 en el Ecuador [5.6].
- 5.- Perjuicio sistemático y gradual a la vida silvestre y

al medio ambiente y ecosistema, como consecuencia del uso indiscriminado e incontrolado de algunos plaguicidas en el campo [6,44,45].

- 6.- Alteración de la relación existente entre los insectos y la contraparte plaguicida, como resultado de la aparición de una resistencia corporal de ciertas especies a un producto insecticida en particular. Esta alteración a menudo genera una modificación de la estrategia del agricultor y del suministrador del producto químico, creando obvios conflictos [43,45,49].

Todo este malestar ha creado corrientes de investigación para buscar una alternativa convincente que pueda en alguna forma sustituir al método convencional de los insecticidas químicos. Por supuesto esta tarea es muy compleja, y se han intentado algunos proyectos basados en ultrasonido, microondas, rayos gamma, vacío, genética y con control biológico [8,12,34,35,36,37,38,39,40,41,42]. En todos, la médula consiste en determinar un claro método no tradicional que una vez perfeccionado pueda cumplir el mismo papel controlador de los plaguicidas, a un costo parecido y que -por sobre todo- no deje residuos tóxicos ni produzca trastornos en la salud humana ni contamine al medio ambien-

te ni desequilibre el ecosistema. Hasta ahora, de todas maneras, el insecticida sigue conservando su hegemonía en lo referente a la efectividad de su poder controlador. El camino de las alternativas no tradicionales está todavía en etapa experimental, en unas más avanzada que en otras.

Este Proyecto intenta presentar una alternativa preliminar que consiste en emplear la energía electromagnética de las microondas en vez del producto químico. Usa una experimentación sistemática de laboratorio, como base de su esquema científico, utilizando los efectos de las microondas (los teratológicos y reproductivos) a frecuencias de 2 y 9 GHz, y con bajo nivel de potencia. A manera de especie piloto se empleó la palomilla de maíz *-sitotroga cerealella (Oliv.)-* en todas las pruebas.

La generación intelectual del Proyecto ^[14] y la labor experimental en el banco del laboratorio, fueron realizadas en la Facultad de Ing. Eléctrica de la ESPOL, y aunque sus ejecutores no dominaban la ciencia entomológica, se contó con la ayuda complementaria de científicos de ese campo para efectuar la evaluación de los resultados en su alcance entomológico.

El capítulo 1 de este documento suministra la justificación de la alternativa del control electromagnético, analizando la problemática del uso de los pesticidas e introduciendo una explicación fenomenológica sobre los efectos biológicos de las microondas; los Apéndices A, B, C y D complementan conceptos entomológicos y ecológicos. La presentación del ensamblaje de laboratorio y las especificaciones de los equipos y elementos de los circuitos de microondas usados, se realiza en el capítulo 2. Sin embargo, el Apéndice G agrega más información.

La descripción de la metodología experimental y la forma de tabulación y clasificación de los resultados, se lo hace en el capítulo 3, y con el complemento de los Apéndices E, F y H, que ayudan a modelar la interacción de la potencia electromagnética y su correlación con los experimentos. La evaluación de los resultados se la hace en el capítulo 4, en donde también se señalan los problemas técnicos y científicos encontrados a lo largo del proyecto, indicándose las perspectivas de utilización científica y tecnológica, de los resultados del mismo. Al final de este documento se presenta también las Conclusiones respectivas y las Recomendaciones que hacen relación con la incidencia a corto y largo plazo de los resultados del Proyecto.

CAPITULO UNO

GENERALIDADES SOBRE EL CONTROL DE INSECTOS

Este primer capítulo proporciona una ilustración, mayormente descriptiva, de los criterios más importantes sobre el significado social y justificación del proyecto 310.02. Aquí se señala los aspectos relevantes sobre el uso de los pesticidas y su repercusión en el ámbito científico, técnico, comercial y social. Así mismo se suministra la información básica sobre los tipos de control que existen a nivel mundial y especialmente en el Ecuador.

Finalmente, el capítulo formalmente contiene los conceptos científicos relevantes sobre cómo y por qué funciona el control electromagnético de plagas en la agricultura. Para este efecto el capítulo se encarga de presentar una descripción de los efectos de las ondas electromagnéticas en los tejidos biológicos.

Para complemento del contenido del capítulo, será conveniente relacionarlo con el contenido de los Apéndices A, B, C y D, los cuales tratan con más detalles el desarrollo postembrionario de los insectos, la ecología de éstos, la

vinculación de los insectos con el hombre en lo útil y en lo perjudicial, y la clasificación (o taxonomía) de los Insectos. Vale señalar que el proyecto 310.02 no es especializado en entomología ni ecología; mas si se creyó conveniente suministrar cierta información básica al respecto.

1.1.- EL USO DE LOS PESTICIDAS Y SUS CONSECUENCIAS

La primera obvia impresión que causa la presentación integral de un proyecto que utiliza una forma no convencional y fuera de lo común de controlar insectos infestadores de productos de postcosechas, es que debe existir alguna incomodidad o ineffectividad del método convencional de control. Tal parece que esta impresión es válida, por cuanto el uso del método tradicional para controlar insectos, hongos y malezas en agroproductos cultivados o almacenados, adolece de ciertos problemas que se han mantenido latentes y notablemente enclaustrados en el seno de la comunidad científica y que no han sido transmitidos coherente y frontalmente a la comunidad en general.

Precisamente el uso de los insecticidas y otros pesticidas -productos químicos ellos-, tiene sus consecuencias

para la salud de los seres humanos, y para la conservación del equilibrio de la fauna, flora y el medio ambiente. Esta sección intenta analizar esta problemática.

Cada año, las compañías extranjeras fabricantes de productos químicos, exportan una enorme cantidad de dólares en pesticidas. Podemos decir que unos 1000 millones de dólares corresponden a productos químicos de uso restringido, prohibido o simplemente no registrado en el país de origen. En algunos casos, el uso de estos pesticidas por agricultores del tercer mundo -muchos de ellos ignorantes del peligro latente de algunos productos-, ha sido catastrófico [1]. En latinoamérica en verdad suelen utilizarse ciertos pesticidas que en países de Norteamérica y Europa están totalmente prohibidos porque vienen originando accidentes y muertes en el trabajador agrícola y en ciertas ocasiones en el consumidor terminal del producto alimenticio tratado. Sin embargo por acá se ha llegado a expender libremente manifestándose un claro irrespeto a la vida humana [2].

El Apéndice C ilustra algunos detalles ampliados e informantes sobre el problema tecnosocial que representa el uso de los insecticidas, dentro del escenario de la relación fundamental de los insectos y el hombre.

En el litoral ecuatoriano, centenares de campesinos han sido víctimas de consecuencias (leves y graves) por no tener el conocimiento del uso y manejo de estos peligrosos productos químicos. El empleo de pesticidas está generalizado en el habitante ecuatoriano y ya constituye un "modus operandi" propio de la sociedad contemporánea ecuatoriana. Los productos llegan importados del exterior y son puestos al consumo del control de plagas animales y vegetales de los productos precosechados y postcosechados. Durante 1985, por ejemplo, algunas firmas correspondientes a la Cámara de Agricultura de la II Zona realizó una importación que superó el medio millón de dólares en herbicidas ^[3]. No existe en el país un real control de los plaguicidas. Se dio el caso de que alguna vez fue necesario que un gobierno extranjero detecte que el cacao y sus preparados comprados al Ecuador contenía un exceso de DDT, lo cual obligó a nuestro gobierno a darse cuenta de la anomalía ^[4].

Del lado de los importadores ecuatorianos vale decir que también hay un quemeimportismo por parte de algunos de ellos. Tan sólo una empresa ^[4] ha acostumbrado a enterrar o destruir los envases que han contenido sustancias peligrosas. Con excepción de una empresa -que los vuelve a utilizar-, el resto vende los envases sin ningún control ni

autoseguimiento.

La Fundación Natura es una institución valerosa que se ha dedicado a orientar y promover acciones tendientes a la preservación de la ecología y del habitat. Por esta razón, bajo la dirección de R. Sevilla y P. P. de Sevilla, se llevaron adelante estudios que mostraron una alarmante contaminación en los productos agrícolas, pecuarios y bioacuáticos, y en los alimentos de consumo humano [4.5.6].

Vale la pena transcribir algunos de los resultados de estos estudios, ya que ellos ponen de manifiesto cuánto falta por recorrer en materia de precauciones agrícolas y especialmente, en materia de conservación de la vida y el ambiente en el Ecuador.

Por ejemplo, la Fundación Natura detectó que nuestro país importó entre 1978 y 1982, un número de productos de los cuales un total de 23 de ellos han sido cancelados o son de uso restringido en el extranjero. Estos productos eran: Carfoburán C.A.; Paraquat; DBCP; Fenaniphos; Endrin; BHC; Lindano; Chloropicrin; Monocrotofos; Methamidofos; Parathión; Methyl; Dieldrin; Chlorobenzilato; Mirex; Captán, Chlorodano; etc. [5.6].

Es evidente que el extensivo uso de plaguicidas altamente tóxicos en el Ecuador, tiende a causar la destrucción de los enemigos naturales de las plagas, debido a la fumigación sistemática. Mientras los enemigos naturales de la plaga tardan mucho en reponer su población, la plaga diezmada se recupera rápidamente porque el plaguicida además de eliminar a su predador natural le deja intacta su fuente de alimentos que es el cultivo.

Vale mencionar que los plaguicidas se mantienen por mucho tiempo en los sitios donde se los emplea, causando con sus residuos perjuicios a la salud de los pobladores. Cuando se arroja el producto químico desde el aire (aerofumigación), los resultados pueden ser peores, puesto que además de afectar a las plagas en sí, también puede contaminar el agua, aire y habitaciones del campesino [3.4].

En esos estudios de la Fundación Natura, realizados en 1985 (titulados "El Mal Uso y Abuso de los Plaguicidas en el Ecuador" y "Los Plaguicidas en el Ecuador: Más Allá de una Simple Advertencia"), se detectó que existe contaminación de las aguas en un gran sector del río Babahoyo [6]. Se percibió la presencia de *heptacloro*, *aldrin*, *dieldrin*, *lindano* y *DDT*, todos por encima de lo tolerable por normas inter-

nacionales. Del estudio sobre la contaminación del tomate riñón, con tamarón (insecticida fosforado altamente tóxico), se concluyó que el tomate contenía residuos hasta ocho veces mayor que los máximos tolerables. Un resultado similar arrojó el examen de clorinadón en la lechuga. De forma parecida fue el resultado trabajando con el banano y el café ⁵³. El malathión, un plaguicida muy usado, produjo evidencias de un alto índice de mortandad en aves alimentadas con maíz duro tratado con dicho químico. Este fue un resultado encontrado por el Programa Nacional de Sanidad Vegetal (PNSV).

De los antecedentes mencionados se desprende que en los mercados, el consumidor está expuesto a grandes peligros. Está comprobado que el daño no solamente puede ser intoxicación sino que el mal podría extenderse, ocasionando cáncer, alteraciones en el sistema nervioso y hasta daños cerebrales, que podrían llevar a la muerte del individuo ingeridor del residuo químico en su alimento ⁵⁴.

El peligro del uso de insecticidas, para la humanidad, es proporcional al producto de la toxicidad por la forma de exposición. La toxicidad -que es una propiedad fija de un compuesto químico- es la habilidad original del producto

químico para causar daño o la muerte. El peligro o riesgo es la probabilidad que el uso de un producto químico cause daño o la muerte. Obviamente, el peligro no es una propiedad fija, sino que varía con las condiciones de uso del insecticida. El grado de peligro depende de: La toxicidad original del compuesto; la concentración y formulación del producto; su método y rapidez de aplicación; su propiedad de penetración y persistencia después de la aplicación; el tamaño del organismo afectado; el tiempo y la intensidad de la exposición.

El envenenamiento de un producto químico puede ser letal o subletal. El envenenamiento subletal puede expresarse como: irritaciones de la piel u ojos (alergias); desórdenes en el sistema nervioso; desórdenes al sistema reproductivo; daños a otros sistemas orgánicos; defectos en el nacimiento (teratogenicidad); mutaciones (mutagenicidad) o cáncer (carcinogenicidad) [6.45.48].

Está claro que la problemática de la utilización irracional de productos pesticidas está presente y debe ser analizada con detenimiento. Este tratamiento se escapa del alcance del proyecto 310.02; aquí simplemente se ha intentado pintar qué problemas acarrea el uso indiscriminado de los

pesticidas, sin que esto signifique un ataque a los plaguicidas y quienes lo producen y expenden. Tampoco este proyecto intenta dar una solución circunscrita al manejo de los productos químicos de control de plagas en la agricultura, ya que no es su especialidad.

No obstante lo anterior, se deduce inmediatamente que si sería necesario entrar a examinar las perspectivas de empleo de otras técnicas no tradicionales -diferentes al control químico- en el Ecuador. Nuestra estirpe de país agrícola así lo exigiría.

1.2.- LAS FORMAS DE CONTROL DE PLAGAS

Hay algunas formas de controlar insectos en la agricultura -además del método químico convencional-, especialmente si se trata de controlar la presencia de plagas infectantes de productos postcosechados en almacenamiento en silos.

En el Ecuador, la entidad que se encarga de orientar al sector agrícola entre otras cosas, en el aspecto de la regulación y asesoría del control de plagas, es el INIAP (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias), particularmente a través de sus Estaciones Experimentales. En la zona cercana a Guayaquil, el INIAP mantiene operando la Estación Experimental de Boliche, en el Km 26 de la vía a Bucay, brindando constante asistencia al sector agrícola sobre las diversas variedades de cultivo y las formas de optimización de la producción agrícola ecuatoriana. El INIAP ha sido la institución que se constituyó en un valioso soporte para la ESPOL en la ejecución del Proyecto.

El control de las pestes en la agricultura es todo una ciencia. En algunos casos, la técnica ya está dominada, y en otros está en pleno estado de investigación. En el

control y en su aplicación, incide no solamente el mecanismo en sí sino también la parte económica, social y entomológica. La figura 1.1 muestra el diagrama de bloques del concepto de administración del control de insectos y su consideración económica. El control de la peste consiste en la disminución substancial de la población; esta disminución puede producirse por medio de la eliminación (muerte) de un porcentaje de los insectos o también por disminución de la capacidad reproductora de los insectos.

Es importante anotar que en la temática del control de peste, es esencial en la argumentación del nivel de daño económico de la peste, lo que se llama nivel de daño cero. Para cada peste existe un nivel límite de población que no provocará un impacto en la cosecha, en la calidad del cultivo o en la eficiencia de un proceso de almacenamiento. Cuando la población de la plaga es igual o mayor a ese nivel crítico, su status ya no se constituye en el de una peste; de tal manera que las consideraciones que tienen que ver con el nivel de daño ya no son relevantes. Este concepto, desafortunadamente, no es conocido por muchos agricultores (de alto, mediano y bajo nivel de producción) y por lo tanto tienen costos innecesarios por cuanto buscar por sobre todas las cosas eliminar la plaga. La figura 1.2 ilustra en tér-

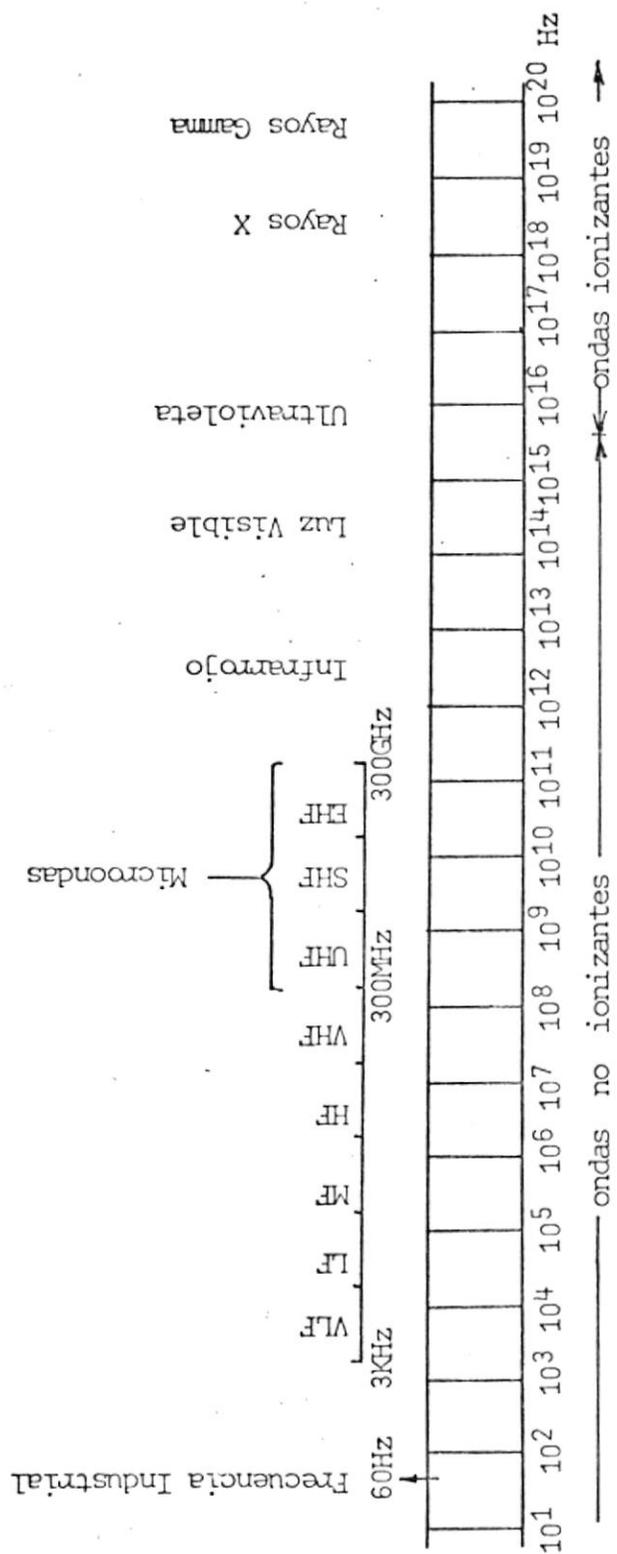


Fig. 1.1.- Espectro Electromagnético con las Bancías de Frecuencia Correspondientes.

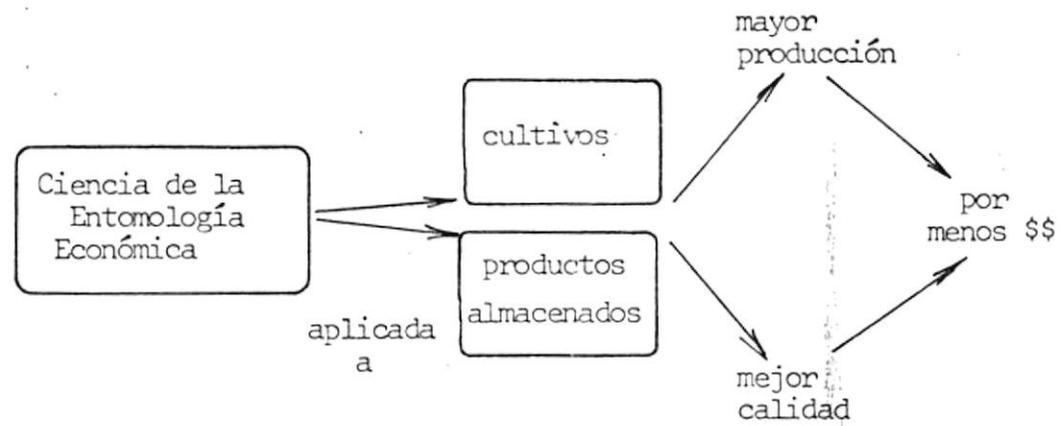


Fig. 1.2.- Concepto Gráfico de Administración Integrada de Control de Peste.

minos generales el concepto del nivel de daño cero, en un gráfico de la producción (en toneladas por hectárea) versus la cantidad de larvas o pupas por metro cúbico de grano almacenado.

El CONTROL DE INSECTOS puede dividirse en dos amplias categorías: **Natural** y **Artificial** (también llamado **Aplicado**). La primera ocurre cuando las fuerzas de la naturaleza reducen la población de una determinada especie, y puede ser por factores **Físicos** (como la temperatura y humedad ambiental), **Biológicos** (como los enemigos naturales de una cierta especie), **Topográficos** (tales como montañas y lagos, que sirven de barrera natural a la traslación o migración de los insectos), y **Climáticos** (cuando los cambios estacionales de clima provocan migración de especies).

El control artificial o aplicado se refiere a cualquier método usado por el hombre para reducir la población de insectos hasta niveles de mínimo daño. Los mecanismos dan lugar al nombre de cada control: **LEGISLATIVO**, **FÍSICO**, **MECANICO**, **CULTURAL**, **BIOLOGICO**, **RESISTENCIA ANFITRIONICA**, **GENETICO** y **QUIMICO**.

El control legislativo involucra la acción del gobier-

no nacional, regional o local, a través de regulaciones e inspecciones en la entrada o salida de plantas o cuerpos que una determinada especie puede infestar. Así mismo hay leyes que propugnan la aplicación de determinados mecanismos de control y regulan la aplicación de un insecticida.

~~El control físico~~ El control físico tiene que ver con el uso de factores físicos tales como temperatura, humedad, luz y sonido. Este método es usado cuando el ambiente puede ser controlado, de otra forma es muy difícil su aplicación. Por ejemplo, bajas temperaturas son usadas frecuentemente para controlar insectos en granos almacenados y en pestes de frutas en silo. La humedad, por otro lado, es esencial para la supervivencia de los insectos; en silos, los insectos se minimizan almacenando granos secos o con bajo contenido de humedad.

El control mecánico involucra el uso de un aparato mecánico que impide la infestación. Este método está en desuso actualmente.

El control cultural utiliza prácticas de agricultura para alterar el ambiente convirtiéndolo en desfavorable para la plaga. Estas prácticas incluyen la sanitación, rota-

ción del cultivo, semillamiento, fertilización del cultivo, control de la cosechación, selección del sitio de cultivación, etc.

El control biológico técnicamente incluye cualquier factor biológico que reduzca la población de la peste. Implica la manipulación de parásitos, predadores y patógenos para controlar la densidad de insectos. La administración de estos enemigos naturales ofrece un buen método de controlar pestes de grano almacenado: Los Parásitos son insectos que depositan sus huevos en un insecto anfitrión, y luego la larva emergida se alimenta del anfitrión terminándolo por eliminar cuando completa su desarrollo a adulto. Los Predadores, que pueden ser insectos, pájaros, mamíferos o reptiles, consumen sus anfitriones y pueden vivir en muchos individuos. Los Patógenos -tales como bacterias, hongos, virus y micoplasmas-, eliminan a los insectos por infección y producen enfermedad en el insecto anfitrión.

La resistencia anfitriónica puede ser a través de tres mecanismos: Por Antibiosis, que es una característica hereditaria en una planta que la hace adversa a la biología de una determinada especie de insecto (debido a la química del vegetal o a su característica morfológica) pudiendo causar

su mortalidad, reducción de fecundidad, tamaño o peso, u otra anomalía fisiológica. Por Antixenosis, o sea por la no atractividad que halla el insecto en una variedad vegetal. Y por Tolerancia, que es la habilidad de una planta para soportar un daño o recobrase a pesar del ataque de la peste.

El control genético—denominado a veces control varietal—, involucra la manipulación de algunos de los componentes genéticos del insecto u otro mecanismo hereditario. En este aspecto calza la alteración de la fortaleza del insecto al medio ambiente (introduciendo genes letales que alteran el desarrollo teratológico del insecto, a través de cruces de especies). El control autocidal, por otro lado, es la manipulación genética para producir esterilidad. En este aspecto, vale informar el experimento exitoso con el gusano *Cochliomyia hominivorax*, que fue irradiado con Cobalto 60, y cuando las hembras estériles fueron soltadas en masa, sólo se gestaban huevos no viables.

El control electromagnético puede ser por medio de ondas ionizantes (como las de la radiación gamma o rayos X) o por medio de las ondas no ionizantes (como HF, VHF, UHF o microondas, que son las que se emplean en los experimentos aquí reportados). Los efectos de la radiación electromagné-

tica no ionizante se explica en la sección 1.3.

El control químico, es actualmente la más importante práctica de control de plagas en la agricultura. Los productos químicos deben ser usados cuando otros mecanismos fallan. Con algunas especies la única alternativa es el uso de los insecticidas, ya que la respuesta controladora a ellos es rápida y eficiente.

El control químico está clasificado de acuerdo al modo de acción sobre el insecto: Venenos Estomacales; Venenos de Contacto; Fumigantes (que son en estado gaseoso y matan al penetrar por la traquea del insecto); Atractantes, tales como feromonas, alleloquímicos y kairomonas (que son en general, productos químicos usados para atraer insectos a sitios donde son destruidos o para desviar insectos en su búsqueda de machos o para desviar la orientación del insecto); Repelentes; Reguladores de Crecimiento; y Químicos esterilizadores.

En resumen el uso de los químicos como medio tradicional de controlar plagas, se debe básicamente a los siguientes factores:

I) Los insecticidas han demostrado ser efectivos en el tratamiento de insectos, malezas y hongos, tanto para nivel de productos cultivados, postcosechados, y para aplicaciones domésticas (en interior y en exterior)

II) El efecto de los pesticidas es en general inmediato y esto ha hecho que en la mayoría de los casos el usuario lo acepte.

III) El alcance físico de los plaguicidas puede ser variable y si es del caso, pueden usarse para controlar con rapidez grandes poblaciones de insectos. Sólo basta con disponer de un mecanismo apropiado, v.gr., aerofumigación.

IV) Los plaguicidas pueden emplearse conforme se los necesita, de acuerdo al tipo de insecto, su población, su ubicación, etc. La dosis y periodicidad del tratamiento está sujeta a la aplicación en particular.

Es bastante difícil para los métodos no tradicionales, es decir aquellos que son diferentes al químico, superar es-

tas características de los plaguicidas químicos. Esto ha hecho, hasta la fecha, casi imposible batir la utilización de los productos químicos como arma tradicional contra los insecto y reemplazarlos por otro tipo de mecanismo. A esto se agrega que el sistema comercializante está bastante establecido y resulta costoso para el fabricante y el usuario cambiar a un método novedoso.

Sin embargo, tal como se describió en la sección 1.1 de este capítulo, los plaguicidas cuentan con una gran mancha en su contra: la contaminación. Este problema ha sido analizado ampliamente en la literatura [1,2,3,4,5,6]. El Apéndice C señala algunos adicionales sobre este tema.

Los insectos infestadores comúnmente tratados en este control corresponden a los órdenes de los *coleópteros* (escarabajos y gorgojos) *dipthiópteros* (cucarachas) y *lepidópteros* (palomillas). Este último orden es al que pertenece la *sitotroga cerealella* que es la especie utilizada en las pruebas experimentales del proyecto 310.02. Sobre esta plaga vale indicar que es una de las que el INIAP trata en sus experimentaciones y aplicaciones, ya que infesta los granos almacenados de maíz, trigo y arroz en el litoral ecuatoriano.

Dentro de los tres órdenes arriba nombrados, en consideración de la clasificación mostrada en el Apéndice D, las especies que más se tratan en el control de plagas en el Ecuador, son:

COLEOPTEROS:

Sitophilus Oryzae (gorgojo del arroz)

Tribolium confusum (gorgojo de la harina de arroz)

Gnathocerus cormitus (escarabajo de los cereales)

Orizaephilus surinamensis (carcoma de los granos)

Araecerus fasciculatus (gorgojo del café)

Lasiderma serricorne (carcoma del tabaco)

DIPHTHOPTEROS:

Blatella germánica (cucaracha germánica)

Periplaneta americana (cucaracha americana)

Blata orientalis (cucaracha oriental)

LEPIDOPTEROS:

Ephestia huehmella (polilla de la harina)

Ephestia cautella (palomilla de las frutas secas)

Ephestia elutella (palomilla del tabaco)

sitotroga cerealella (palomilla del maíz)

La tabla 1.I muestra un resumen de los lugares en donde se realiza investigación -de una forma u otra- sobre los diferentes mecanismos de control químicos y no químicos. La tabla sólo se concentra a enumerar los centros de investigación de los Estados Unidos, España y Ecuador [44,46].

En dicha tabla se aprecia el control denominado IPM (Administración Integrada de Pestes). Esta es una innovación -todavía en etapa de parcial investigación- que utiliza aquellos métodos disponibles de control de insecto y que son ambientalmente aceptables en un sistema de multicomponentes que puede involucrar agentes biológicos tales como parásitos y predadores, variedades anfitrionicas resistentes y prácticas de cultivo, en combinación con pesticidas. Esta combinación de mecanismos resulta eficaz para maximizar los beneficios de todos y cada uno de los mecanismos integrados, tomando previamente en cuenta que: (1) el IPM debe ser parte del programa total de cosecha; (2) debe ser económico; (3) debe entenderse que las acciones de control de peste, pueden provocar efectos indeseables tales como la contaminación del agua o la destrucción de especies vecinas; y, (4) El IPM abarca todas las pestes, es decir, malezas, patógenos, insectos, nematodos y animales vertebrados (como ratones).

TABLA 1.1

SUMARIO DE INVESTIGACIONES SOBRE CONTROLES DE INSECTO

CENTRO	PROGRAMAS DE INVESTIGACION (**)
Beaumont, Texas	B, E, F, L
Fresno, California	A, E, H, L
Gainesville, Florida	B, E, D, F, K, L
Madison, Wisconsin	C, E, L
Manhattan, Kansas	A, B, E, F, G, H, L
Richmond, Virginia	A, C, E, F, G, H, J, K, L
Savannah, Georgia	A, B, C, E, F, G, H, I, J, K, L
UPM, Madrid	A, D, E, I
UPB, Barcelona	E, K
ESPOL, Guayaquil	D
INIAP, Guayaquil/Quito	A, K, E
EPN, Quito	A
Univ. Central, Quito	E

(**) Programas con químicos: A (Fumigantes); B (Protectantes); C (Repelentes).

(**) Programas con no químicos: D (Radiación electromagnética no ionizante); E (Biológico); F (Resistencia Anfitrónica); G (Manipulación de Temperatura); H (Modificación y Control de Atmósfera); I (Radiación ionizante); J (Barreras Físicas); K (Genético); L (Sistemas IPM).

1.3.- EFECTOS BIOLÓGICOS DE LAS ALTAS FRECUENCIAS

Las ondas electromagnéticas, contadas desde las frecuencias industriales (que son bajas como 50 y 60 Hz) hasta los rayos cósmicos de muy alta frecuencia, están clasificadas, desde el punto de vista del efecto en organismos animales y vegetales, en dos tipos de ondas: ondas ionizantes y ondas no ionizantes.

Las ondas primeras son aquellas que producen la ionización al incidir sobre un material, es decir provocan el rompimiento de enlaces interatómicos y por consiguiente el deterioro de la materia viviente, en su metabolismo y constitución. Este efecto ionizante ha sido temido por la humanidad especialmente desde la presentación de los estragos de artefactos atómicos de destrucción. Las frecuencias que producen estos efectos dañinos e irreversibles corresponden a las de las ondas de luz ultravioleta, rayos X, rayos cósmicos, etc. (**)

(**) *El rompimiento de enlace se basa en la incidencia de cuantos de energía de la onda electromagnética. Cada cuanto de energía es proporcional a la frecuencia y por lo tanto, para frecuencias iguales o mayores a las del ultravioleta esta energía es suficiente para arrancar los electrones del enlace, deteriorar la molécula y producir la ionización.*

Las ondas no ionizantes no producen rompimiento de enlaces; sin embargo, la experimentación real de los efectos de estas ondas se empezó a sentir durante la II Guerra Mundial en el momento en que la energía emitida por los radares de microondas producían efectos evidentes sobre la salud de los humanos que permanecían cerca a los radares.

Desde 1920 ya se conocía el poder letal de las ondas electromagnéticas de alta frecuencia y alta potencia; pero los efectos de las ondas electromagnéticas no ionizantes, no son iguales a los efectos a veces aberrantes de las ondas ionizantes. Vale decir que por ondas no ionizantes se entiende a aquellas oscilaciones electromagnéticas que van desde la luz visible para abajo (infrarrojo, microondas, radiofrecuencias, audiofrecuencia y frecuencias industriales). Para aclaración, la figura 1.3. muestra el espectro electromagnético, con los diferentes valores de frecuencias en hertz (Hz) ilustrándose las bandas existentes.

La clase de efecto biológico de las ondas no ionizantes depende del rango de frecuencia de operación. Una cosa son los efectos de las ondas de 60 Hz (ó ELF, ondas de frecuencias extremadamente bajas) y otros son los efectos de las microondas (desde 300 MHz hasta los 30 GHz). En esta sección solamente nos vamos a referir a los efectos biológi-

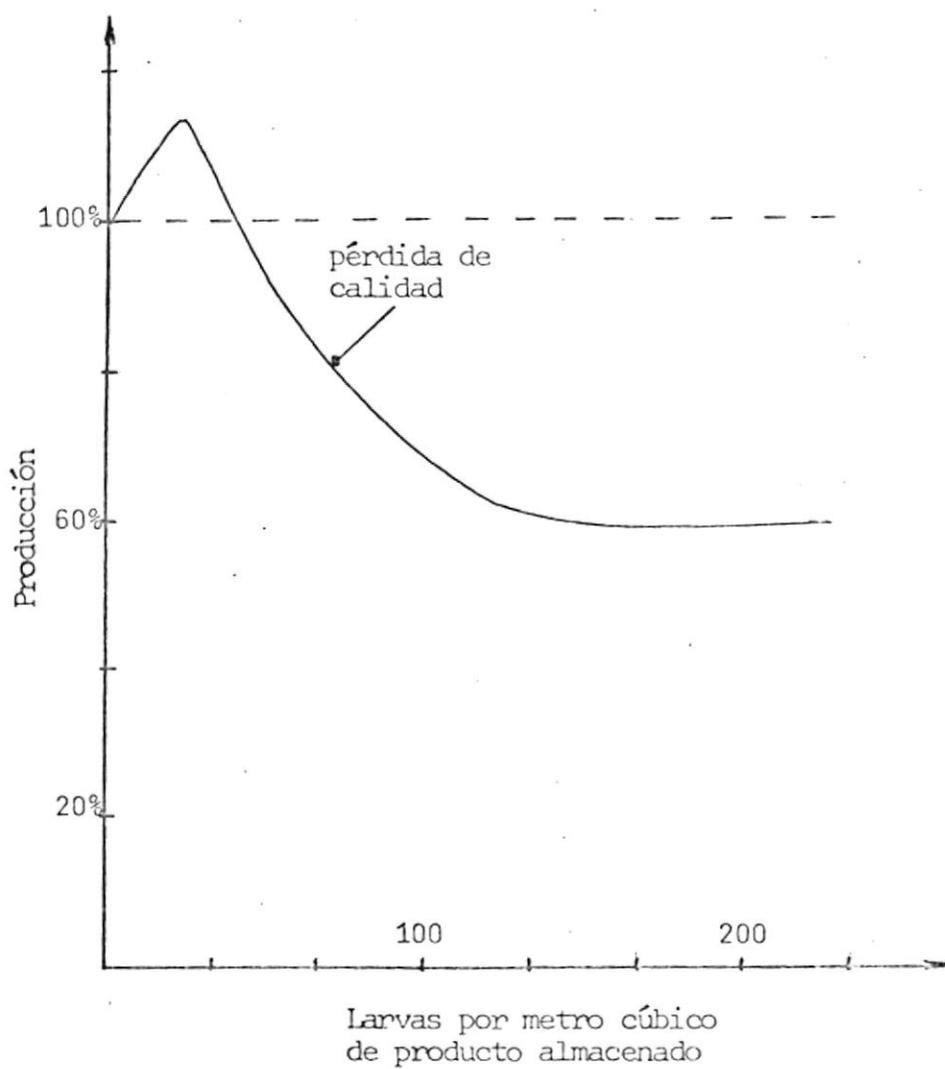


Fig. 1.3.- Concepto del Nivel de Daño Cero, aplicado a productos almacenados. Escalas aproximadas.

cos de las altas frecuencias, que es lo que compete.

Los efectos de las ondas de alta frecuencia -específicamente de las microondas y altas radiofrecuencias-, se los puede clasificar desde un punto de vista general en dos familias: efectos térmicos y efectos no térmicos [17].

a) Los Efectos Térmicos:

Son aquellos que existen específicamente por causa de la disipación de calor que producen los campos electromagnéticos al inundar un material. La disipación de calor conocida como calentamiento dieléctrico (**) puede ser contrarrestada parcial o totalmente por la evacuación del calor sea por convección o por conducción.

En todo caso, la elevación de temperatura está sujeta a la ponderación entre la rapidez con que se genera calor dentro del cuerpo y la rapidez con que se desaloja. Este meca-

(**) *El calentamiento dieléctrico se produce por dos mecanismos: 1) El arrastre de electrones libres o iones libres que en minúscula cantidad pueden estar presente en el dieléctrico (a lo que se denomina efecto Joule). 2) La pérdida de energía electromagnética y fricción durante la oscilación física de las moléculas que son dirigidas por el torque alterno que ejerce el campo interno sobre ellas. Este segundo mecanismo es más importante en los dieléctricos.*

nismo es controlado por la termorregulación del insecto [10].

La temperatura que alcanzará el cuerpo del insecto puede ser calculada a partir de

$$dT/dt = 0.239 \times 10^{-6} p/C_e d_e \quad [1.1]$$

donde T está expresada en grados centígrados, p es la densidad volumétrica de potencia electromagnética disipada (en W/m³), C_e es el calor específico, y d_e es la gravedad específica del cuerpo del insecto. La ecuación 1.1 no considera las pérdidas del calor del bioeléctrico durante la irradiación, y no es válida si hay energía gastada en la volatilización del agua u otro líquido del cuerpo de la especie.

La muerte del insecto se consigue con una dosis que depende de la capacidad tanto del insecto como del medio, para desalojar el calor degenerado. Los dos parámetros más importantes para determinar la capacidad letal de las microondas son la masa del insecto y las características físicas del entorno (o sea, temperatura, humedad y conductividad térmica) [10], tal como enseña la ecuación 1.2.

La destrucción del tejido se produce por la elevación de la temperatura corporal del insecto. Por norma, el efecto térmico se produce verdaderamente por la incidencia de potencias RF de alto nivel que llegan a arrojar densidades de potencia de campo interno del orden de 10 a 20 W/cm², para lo cual los efectos suelen ser letales y la muerte de los insectos aparece por el calentamiento excesivo [10,17].

En el caso de los insectos infectadores de granos almacenados u otros productos de almacenamiento, tales como madera, cereales y semillas, el poder de la radifrecuencia incidente también puede ocasionar daño al producto anfitrión. La solución para impedir esto y seleccionar el tratamiento consiste en buscar la frecuencia conveniente que selectivamente permita un calentamiento del dieléctrico insecto y no produzca un efecto mayor sobre el grano anfitrión. Todo depende que el insecto absorba energía electromagnética a una rapidez mayor que el material anfitrión [15].

El cálculo básico del calentamiento dieléctrico parte de la potencia promedio disipada por unidad de volumen en el dieléctrico, dada por

$$p = 55.6 f E^2 K'' \times 10^{-12} \quad \text{W/m}^3 \quad [1.2]$$

donde E es el valor rms del campo eléctrico interno (en V/m) f es la frecuencia de operación (en Hz), K'' es la parte imaginaria de la constante dieléctrica compleja. El Apéndice E explica los detalles de la modelación del efecto térmico conforme a una simplificación del sistema insecto vs grano anfitrión.

Dado que los experimentos a que hace referencia este proyecto no emplearon potencias elevadas (sólo 8, 15, 50 y 100 mW/cm²), no hubo efectos térmicos de importancia que observar.

b) Efectos No Térmicos:

Primeramente hay que manifestar que este tipo de efecto no se produce por ninguna forma de calentamiento dieléctrico. Es decir que estos efectos corresponden a todos en los que no interviene el efecto letal del calor en el cuerpo del insecto. La naturaleza de este fenómeno, que puede ocurrir para bajos niveles de potencia, ha sido explicado y experimentado por algunos autores [9,11,13,14,17,18], pero aún no existe una modelación consistente.

En lo que compete al proyecto 310.02, la mayor parte de los resultados demostraron la presencia de efectos no térmicos ya que se empleó irradiación con muy bajo nivel de potencia (8, 15, 50 y 100 mW/cm²).

Para explicar el fenómeno no térmico vamos a dividirlo, por motivo de exposición, en dos clases aplicadas al caso del tratamiento de insectos en particular, y que son los EFECTOS TERATOGENICOS y LOS EFECTOS SOBRE LA REPRODUCCION. Explicaremos a continuación cada situación:

EFECTOS TERATOGENICOS: (**)

En términos generales, estos efectos son aquellos que se pueden observar visualmente en el insecto y que conciernen específicamente a su aspecto morfológico, es decir a deformaciones externas que se producen en el cuerpo del insecto observadas tras la culminación de su evolución postembrionaria. Básicamente estos efectos agrupa a la metamorfosis incompleta, falta de apéndices, élitros perforados, etc.

(**) La palabra *teratogénico* es empleada por diversos autores. El diccionario la define como un adjetivo relativo al estudio de las condiciones de desarrollo de las monstruosidades; proviene del griego *teras* (que significa monstruo) y *génesis* (nacimiento). Otros pocos científicos utilizan mejor el vocablo *teratológico*. En este documento se emplean ambos vocablos.

La visualización de estos efectos puede hacerse -como es el caso de las pruebas realizadas en este proyecto- con la simple observación la evolución de un huevecillo, una larva o una pupa, desde el momento en que es irradiado con RF hasta que alcanza la edad adulta.

Para la aparición del teratogenismo no es necesario la incidencia de altos niveles de potencia RF, ya que suele ocurrir a bajos niveles. Los efectos teratogénicos fueron evidenciados recién a inicios de los setenta [9], y a pesar de no existir explicaciones completas y concretas sobre el fenómeno, han habido posteriores evidencias experimentales que lo asientan como un fenómeno importante si se trata de utilizar potencias RF de bajo nivel para controlar insectos infectadores de productos agrícolas. Las pruebas han sido hechas sobre *Tenebrio molitor* especialmente [10, 11, 13, 19] y sobre *Sitotroga cerealella* [23].

La serie de pruebas realizadas hasta la fecha y que conciernen a los efectos teratológicos sobre efectos irradiados, pueden resumirse, en términos de sus resultados, a las siguientes conclusiones:

- I) Se han observado efectos teratogénicos con dosis

tan bajas como 8.5 mW/cm^2 durante 2 horas [9] en el *tenebrio molitor*, o cerca de 50 mW/cm^2 durante 2 horas también, en *sitotroga cerealella* [23].

II) Parece haber una proporcionalidad entre la intensidad del efecto teratológico y la dosis recibida por el insecto, y no de cómo tenga lugar la irradiación. Para potencias por encima de los 55 W/cm^2 , en el caso particularísimo del *tenebrio molitor*, esta ley deja de cumplirse [10].

III) Parece ser que ciertos insectos como el *tenebrio molitor*, son afectados teratológicamente más a frecuencias bajas (como 27 MHz y 2 GHz) que a frecuencias más altas (como 4, 10 ó 35 GHz) [10]. Tal como se demuestra aquí, esta norma se aplica también a la *sitotroga cerealella*.

IV) Hay pruebas sobre otras especies como la *drozophila melanogaster* a frecuencias de 17 y 73 GHz, con densidades de 60 y 100 mW/cm^2 , en donde no se han registrado resultados teratológicos [10].

V) Hasta aquí no hay marcadamente una dependencia de

los efectos si la irradiación es continua o pulsada, en los experimentos realizados hasta la fecha.

- VI) Aunque está demostrado mediante modelos [24] que los efectos de una onda electromagnética plana sobre el potencial transmembránico de una célula biológica, depende de la orientación de la célula en comparación con la dirección del campo, no se ha percibido experimentalmente -en el caso de los insectos- una relación poderosa entre la alineación del eje principal del insecto y el campo RF incidente [10].
- VII) Arriba de los 9 GHz, hasta los 18 GHz, la teratología es similar.
- VIII) La respuesta a irradiaciones de bajo nivel de potencia (de 10 hasta unos 100 mW/cm²) está en función de las condiciones fisiológicas de las células y de los tejidos irradiados [11].

Estos resultados indican que los niveles de irradiación necesarios para inducir efectos teratológicos apreciables dependen en gran parte de la especie tratada. El otro factor

puede ser definitivamente la condición ambiental en que reside el insecto.

EFFECTOS SOBRE LA REPRODUCCION:

Este es otro tipo de efecto no térmico importante, y corresponde a una de las observaciones experimentales hechas en el proyecto 310.02. La incidencia en la reproductividad de las especies puede hacer interesante el empleo de las microondas en aplicaciones agrícolas, sea para aumentar la productividad de ciertas especies o para la lucha contra las plagas de productos cultivados o postcosechados.

Entre los efectos observados anteriormente sobre el sistema reproductivo de diferentes especies tratadas con energía RF, podemos mencionar abreviadamente los siguientes:

- I) A 39 GHZ, se ha observado una reducción en la fecundidad del *tenebrio molitor*. En las hembras adultas procedentes de larvas tratadas, se pudo observar una disminución del tamaño de los ovarios; mientras que en los machos adultos, una inactivación de los espermatozoides [10].

- II) Se ha observado reducción de la capacidad reproductora de algunas especies tratadas con frecuencias de 2.4 GHz [25]. Estos efectos se debieron a daños en los órganos sexuales externos y a perturbaciones del balance de agua en el organismo.
- III) Se produjo un aumento significativo en el número de huevos puestos de *drosophila melanogaster*, con irradiación de insectos adultos a 17 GHz y 60 mW/cm², durante 16 horas. Un 30% del incremento si la especie irradiada era hembra y un 20% si era macho. Se ha sugerido, según esto que la radiación RF puede interferir en el metabolismo de las hormonas.
- IV) Hay una elevación del potencial reproductor del *tenebrio molitor* en las irradiaciones sobre insectos adultos a 27 MHz, 2, 4, 10 y 35 GHz. Además de esto se han observado los mismos efectos en adultos que provienen de larvas irradiadas.
- V) En pruebas sobre *sitotroga cerealella* [25], se ha encontrado reducción en un 20% de reproductividad

de generación a generación, trabajando con 8 y 15 mW/cm², durante 2 horas.

- VI) Existen otros tipos de pruebas experimentales de buenos resultados, que combinan las microondas con otras técnicas, con el fin de buscar una optimización del tratamiento en la especie o enriquecer el efecto de las ondas electromagnéticas. Unas combinan las microondas con el secado de la especie al vacío [12,35,36,39,41]. Otras pruebas han sido efectuadas con infrarrojo [36,39]; y otras con rayos gamma [37,38,39,40,42].

De estos resultados se extrae, a pesar de la aparente contradicción, que los efectos sobre la reproducción son muy dependientes de la frecuencia de tratamiento, en una forma aún no clarificada.

CAPITULO II

ENSAMBLAJE DE LABORATORIO

Es necesario establecer a la altura de este capítulo, cuáles fueron los criterios para utilizar el tipo de ensamble en el laboratorio. En este sentido, este capítulo se encargará de proporcionar la información técnica correspondiente al circuito de microondas de 2 y 9 gigahertz que se empleó. También se brindará información sobre los ensamblajes de componentes de microondas usados en irradiación en espacio libre y en un misil experimental de paredes de vidrio.

2.1.- . CONSIDERACIONES PREVIAS

El bosquejo experimental que se planteó para llevar a cabo este trabajo investigativo, tuvo como referencias los métodos de irradiación empleados por otros investigadores, sus formas de tabular y evaluar resultados, el equipo de microondas existente en la ESPOL, las sugerencias del personal del Laboratorio de Entomología del INIAP respecto a las plagas a tratarse, y el punto

de vista de aplicar este trabajo a granos almacenados en silos.

Todos estos términos de referencia proporcionaron en en una u otra forma los argumentos necesarios para tomar las decisiones trascendentales en el levantamiento físico experimental del Proyecto 310.02. Esos argumentos -entre los más destacados-, podemos desglosarlos resumidamente así:

I -De los datos obtenidos por G.A. Lindauer ^[9], se consideró conveniente utilizar un arreglo de circuito de microondas similar. Mediante este método de trabajo para irradiación de las pupas, se procedió a colocar la especie a irradiarse en cápsulas de polietileno (del tipo denominado comúnmente "plumaform"). Estas cápsulas acomodaban a manera de "cama" a un grupo de pupas (10 por lo general). Estas cápsulas se las ubicaba a su vez en el interior del ensamblaje de guía de onda hueca rectangular operable en la banda X. A esta forma de tratamiento se la denomina aquí como Irradiación en Guía, ya que se lo ejecuta con las pupas en el interior de la guía rectangular.

II -Del trabajo realizado por H.S. Whitney y M.M. Kharadly

se consideró ^[13] que era muy útil y práctico, la forma en que habían irradiado las pupas, tanto en guía de onda hueca como en espacio libre (utilizando para esto último una antena tipo bocina). Además de esto se consideró de importancia la forma en que se habían tabulado y evaluados los resultados, esto es clasificándolos en adultos "normales", "deformes" y "pupas muertas".

III -Tomando en consideración el equipo disponible de microondas existente en el laboratorio de Radiofrecuencia de la ESPOL, más lo que limitadamente se pudo adquirir para complementarlo, se acordó que las pruebas de irradiación debían llevarse a cabo utilizando una señal de bajo nivel de potencia, a un valor fijo de 9 GHz. Se seleccionó entonces dos niveles de irradiación (8mW y 15 mW). Además en lo que respecta a las pruebas a menor frecuencia (2 GHz), se utilizó el equipo rígido coaxial de 50 ohmios de impedancia característica, el cual estaba apto para probar el tratamiento electromagnético a mayores niveles de potencia (hasta 100 mW).

IV -De las charlas preliminares dictadas por el personal

del Laboratorio de Entomología de la Estación Experimental de Boliche (Km. 26 de la vía Durán-Tambo) perteneciente al INIAP (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias) y de la asesoría brindada por ellos, el Proyecto 310.02 estimó conveniente que la investigaciones experimentales en la ejecución del Proyecto sean realizadas básicamente con la especie *sitotroga cerealella*. Esta especie, a más de constituir una de las mayores plagas que infesta los cereales almacenados de nuestro país, era factible ser sistemáticamente suministrada (en forma de pupas o huevecillos) desde las facilidades de la Estación Experimental de Boliche hasta la ESPOL. Más adelante se explica la metodología de selección de dicha especie.

V -Vale resaltar como resultado del argumento III en particular, que el Proyecto optó por concentrar sus esfuerzos en investigar los efectos de la microondas de Muy Bajo Nivel de Potencia (de 8 a 15 mW, en los 9 GHz; y de 50 a 100 mW, en los 2 GHz). En esta forma, una posible utilización práctica en el futuro, de los resultados del Proyecto, serían a un costo relativamente menor, tomando en cuenta que el costo de los equipos de alta potencia es mucho mayor que los de

baja potencia.

Tomando como base lo expuesto anteriormente, las pruebas experimentales llevadas a cabo se lograron realizar en las siguientes formas:

- a.- **IRRADIACION EN GUIA RECTANGULAR:** Esto es, usando el circuito de microondas que aparece en la figura 2.1. Mediante este método, se colocaron los huevecillos, pupas o conjuntos anfitrión-pupas (o sea, un conjunto de granos infestados de pupas de *sitotroga cerealella* en su interior), dentro de la guía rectangular aprovechando una unión de sección de guía, tal como lo muestra las fotografías de la figura 2.2 y tal como se justificó anteriormente.

- b.- **IRRADIACION EN ESPACIO LIBRE :** Aquí se usó como base el mismo circuito de microondas que se empleó para el caso anterior, con la diferencia de que en lugar de la terminación, se usó una antena bocina (antena "horn") mediante la cual se irradiaba las pupas en exterior con energía RF. Las pupas ya no iban colocadas dentro de la guía hueca sino que se las acomodaba a unos pocos centímetros de la boca de la antena, recibiendo menos

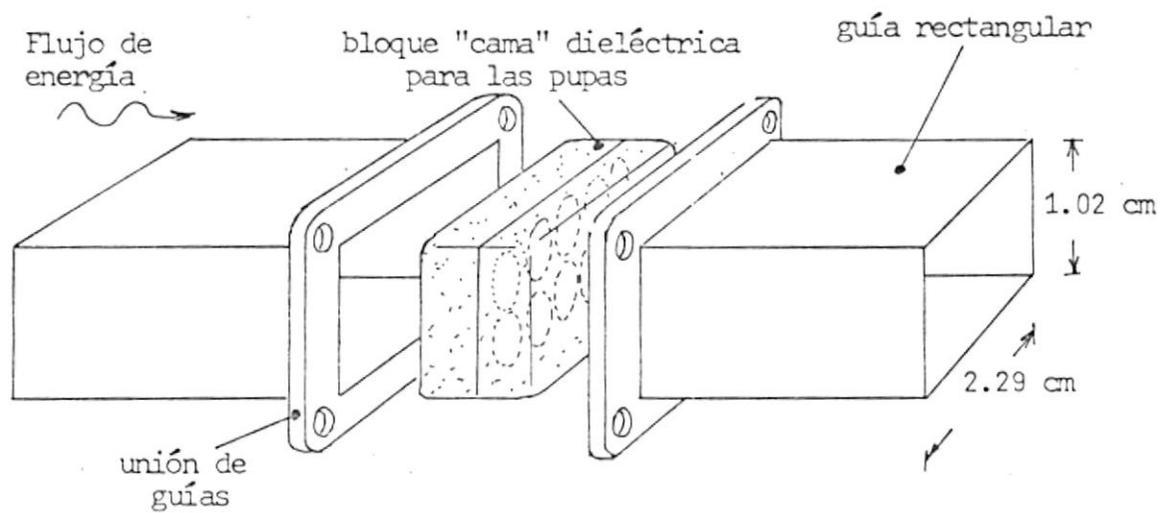
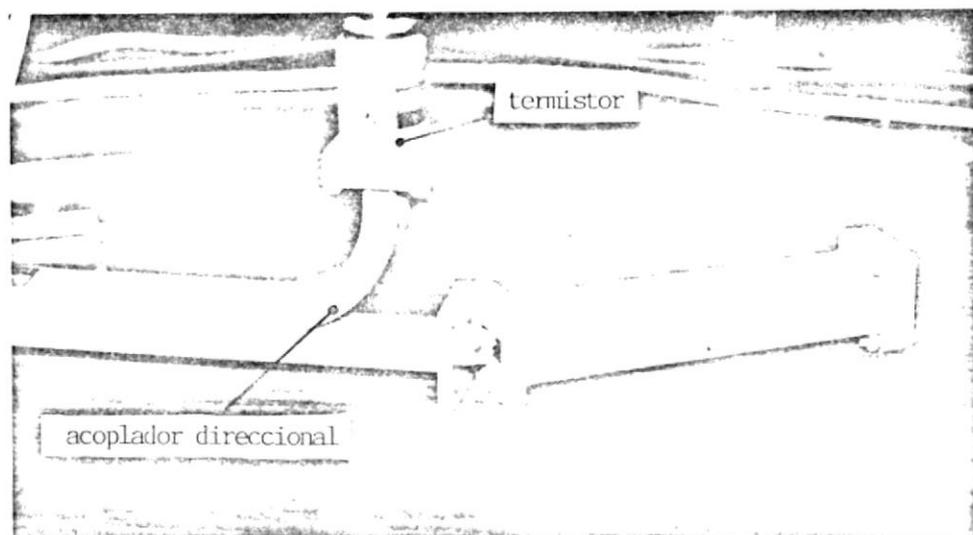
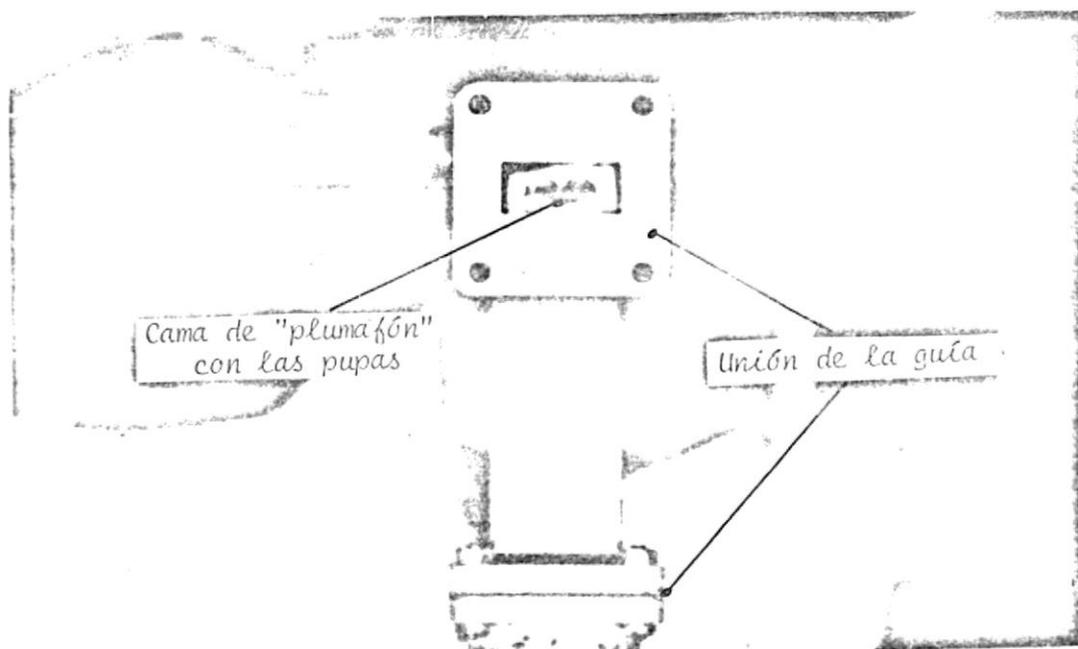


Fig. 2.1.- Ensamblaje para Irradiación dentro de una Guía Rectangular
($f = 9$ GHz).



(a)



(b)

Fig. 2.2.- Fotografía del ensamble experimental con una guía hueca rectangular.

densidad de potencia que en las pruebas (a). Para esta irradiación fue necesario, tal como lo dictamina las normas de seguridad de laboratorio, el empleo de un material resistor para que sirviera de absorbedor de las microondas, para evitar que la radiación se propague al medio ambiente e incida negativamente en la salud del operador. La figura 2.3 muestra el arreglo para irradiación en espacio libre, y la figura 2.4 enseña una fotografía del mismo.

c.- IRRADIACION EN UN MINISILO EXPERIMENTAL: En esta experimentación se usó el mismo ensamblaje de componentes de banda X de las anteriores formas de irradiación. La diferencia fue que en este caso la energía electromagnética de microondas incidió sobre los granos infestados que se encontraban almacenados en el interior de un minisilo de paredes de vidrio con dimensiones a escala de 1:20 aproximadamente comparándolo con un silo típico real. La figuras 2.5 y 2.6 ilustran esta clase de ensamblaje experimental, en dibujo y foto respectivamente. En ellas se aprecia la manera con se empleó el material absorbente colocado alrededor del minisilo, utilizado no solamente para proteger al experimentador, sino también para evitar reflexiones de la energía ema-

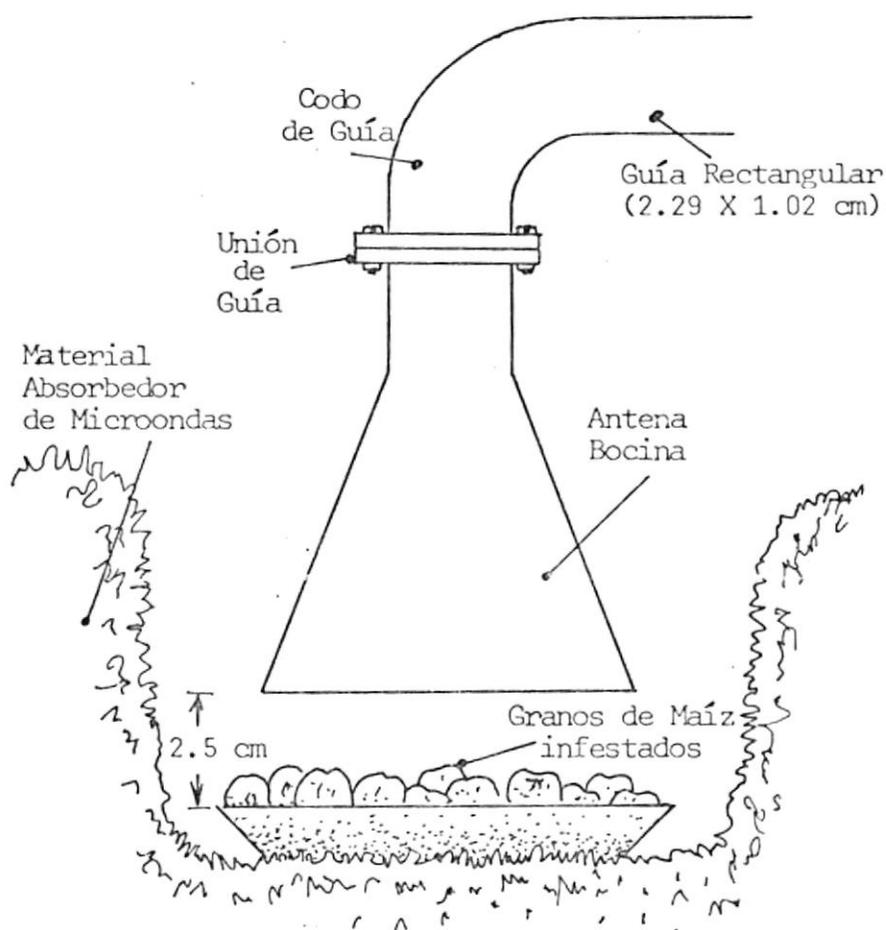


Fig. 2.3.- Ilustración del Ensamblaje empleado para la Irradiación en espacio libre con Antena Bocina.

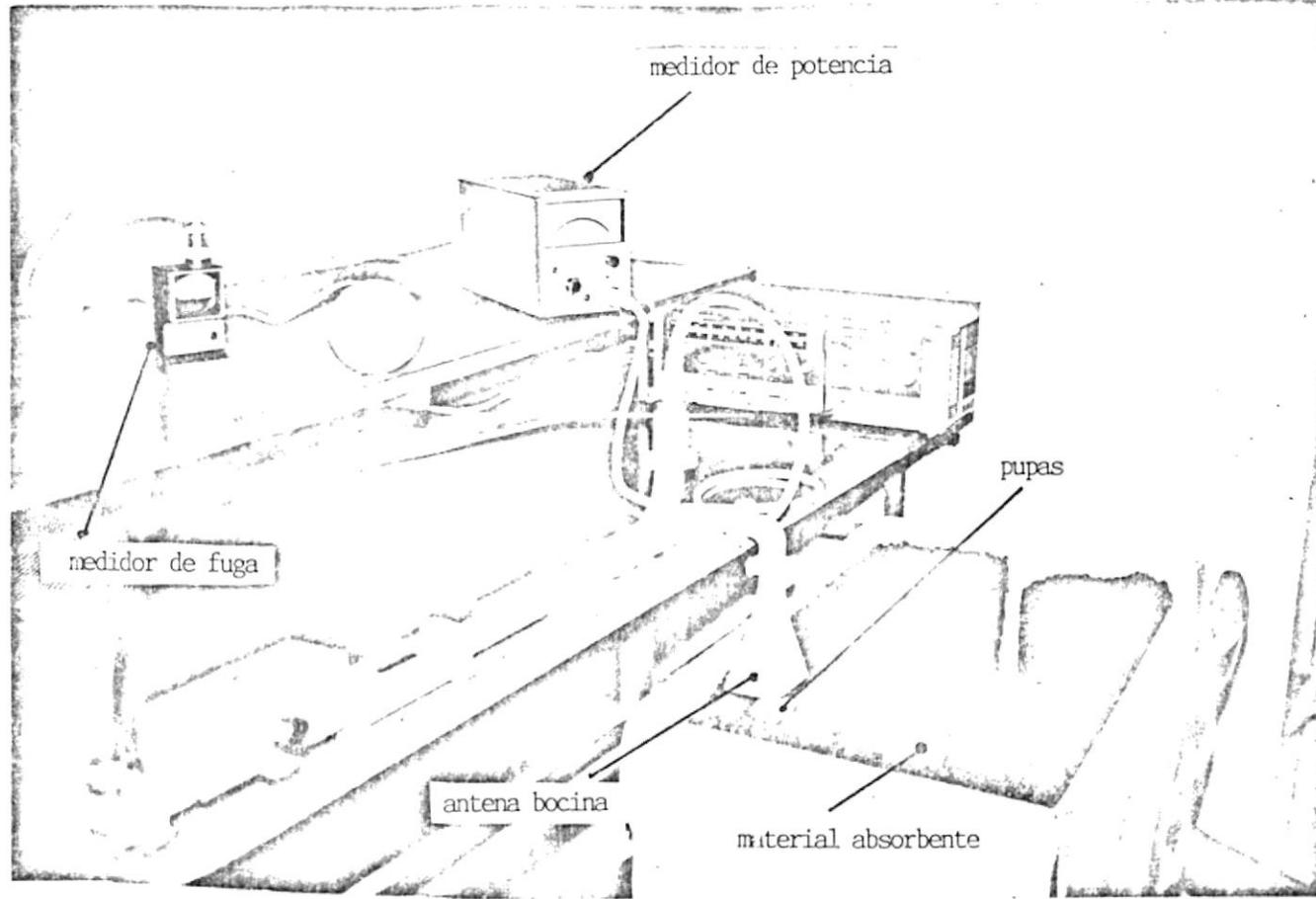


Fig. 2.4.- Fotografía del circuito para irradiación con antena bocina en exterior.

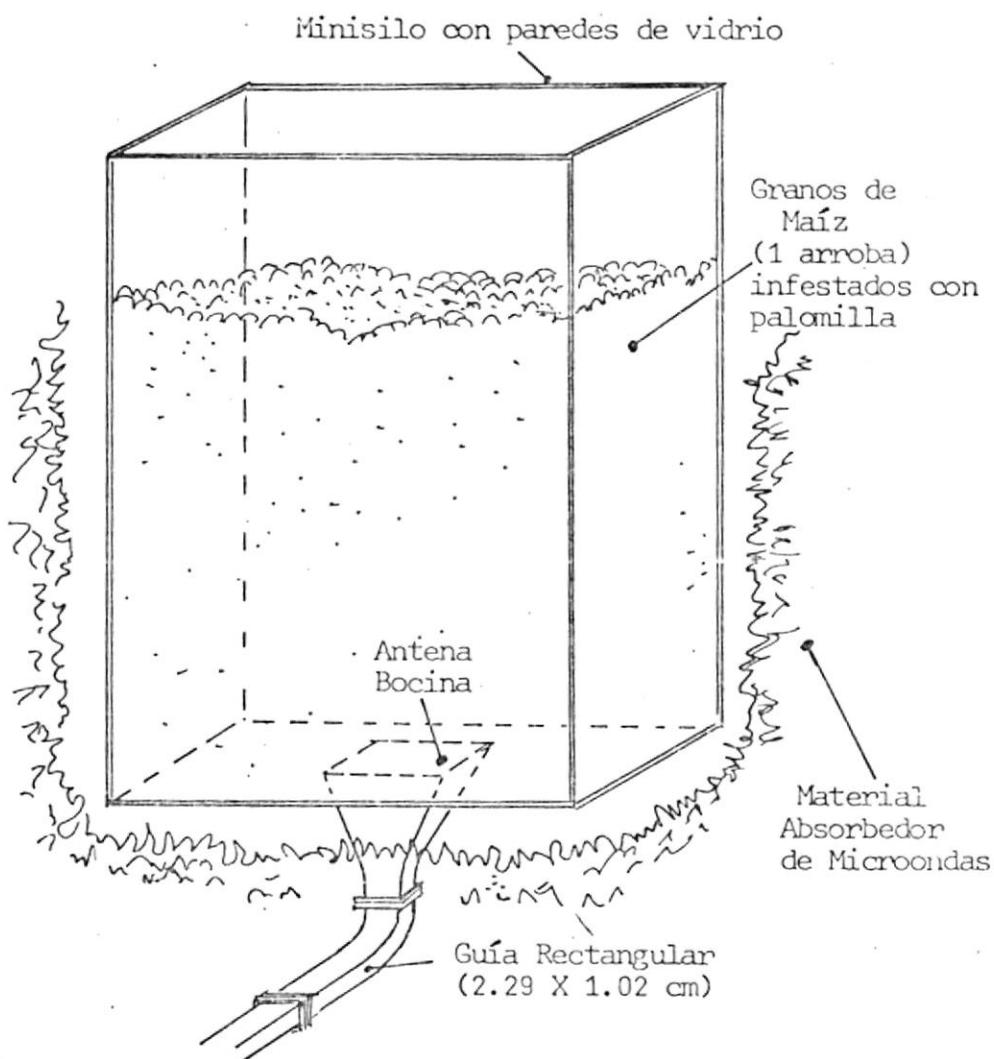


Fig. 2.5.- Ensamblaje correspondiente a las Pruebas con un Minisilo Experimental.

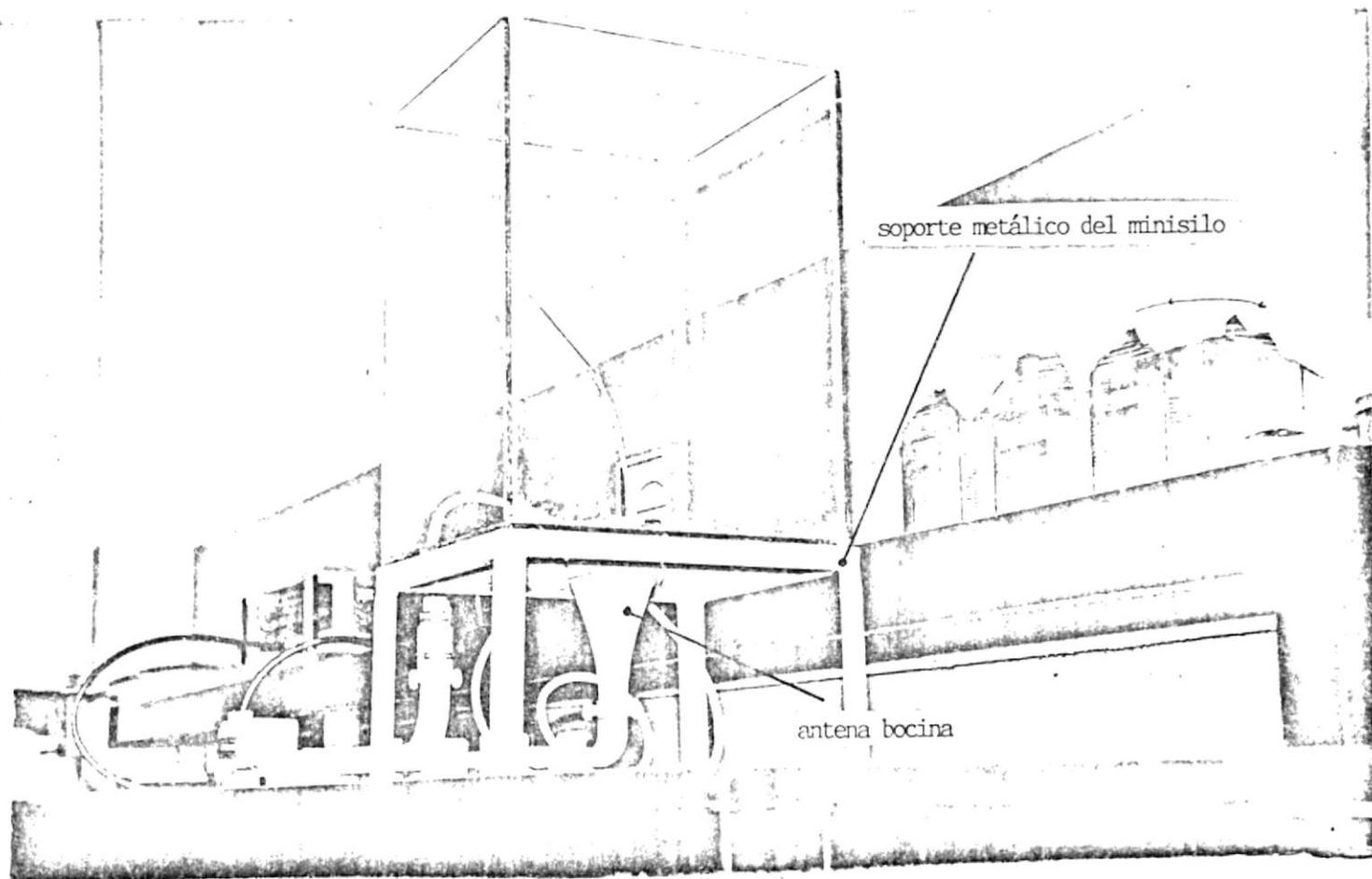


Fig. 2.6.- Muestra fotográfica del ensamblaje con un misil de paredes de vidrio.

nada de la antena bocina ubicada en la parte inferior externa del minisilo y simular en esa forma el resto del volumen de granos de un silo real. En otras palabras, el uso de dicho minisilo no fue con la finalidad de experimental los efectos "a escala", sino para estimar en una dimensión realista la acción de la energía radiante de microondas en el caso de aplicarse en un silo real lleno de granos infestados de *Sitotroga cerealella*. Cabe señalar que la densidad de potencia recibida por las pupas fue menor que en los experimentos del caso (a).

d.- **IRRADIACION EN LINEA COAXIAL:** Para este tipo de prueba se utilizó el ensamblaje coaxial mostrado en la figura 2.7 y en la fotografía de la figura 2.8. Las pupas se las colocó en el espacio interelectrónico ($a < r < b$) de una línea rígida coaxial de 50 ohmios de impedancia característica, y muy cerca al lugar de ubicación de la terminación de 50 ohm. La impedancia equivalente del conjunto pupa-terminación era aproximadamente 50 ohmios y por lo tanto se trabajó cerca del acoplamiento -con poca energía reflejada a la fuente-.

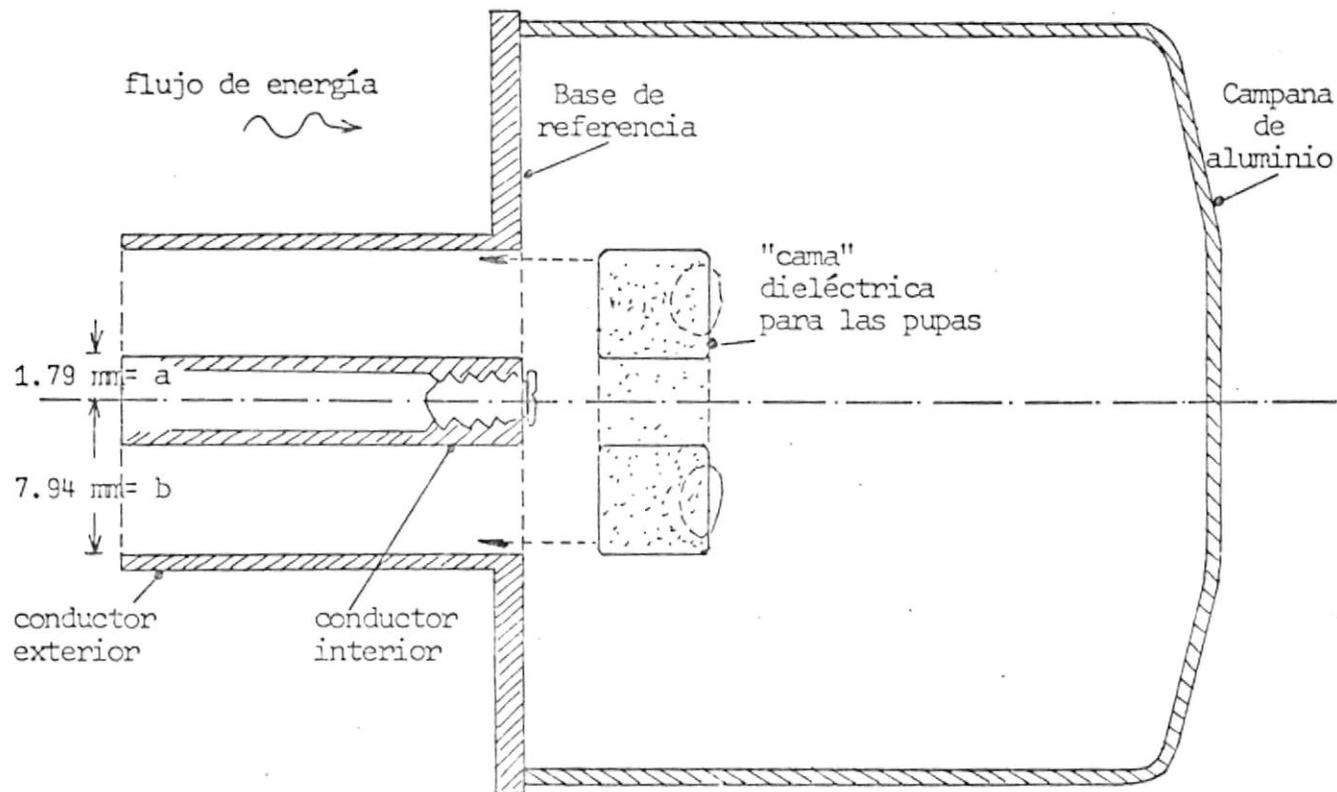


Fig. 2.7.- Ilustración del Ensamblaje para Irradiación en una Línea Rígida Coaxial de 50 ohmios ($f = 2$ GHz).

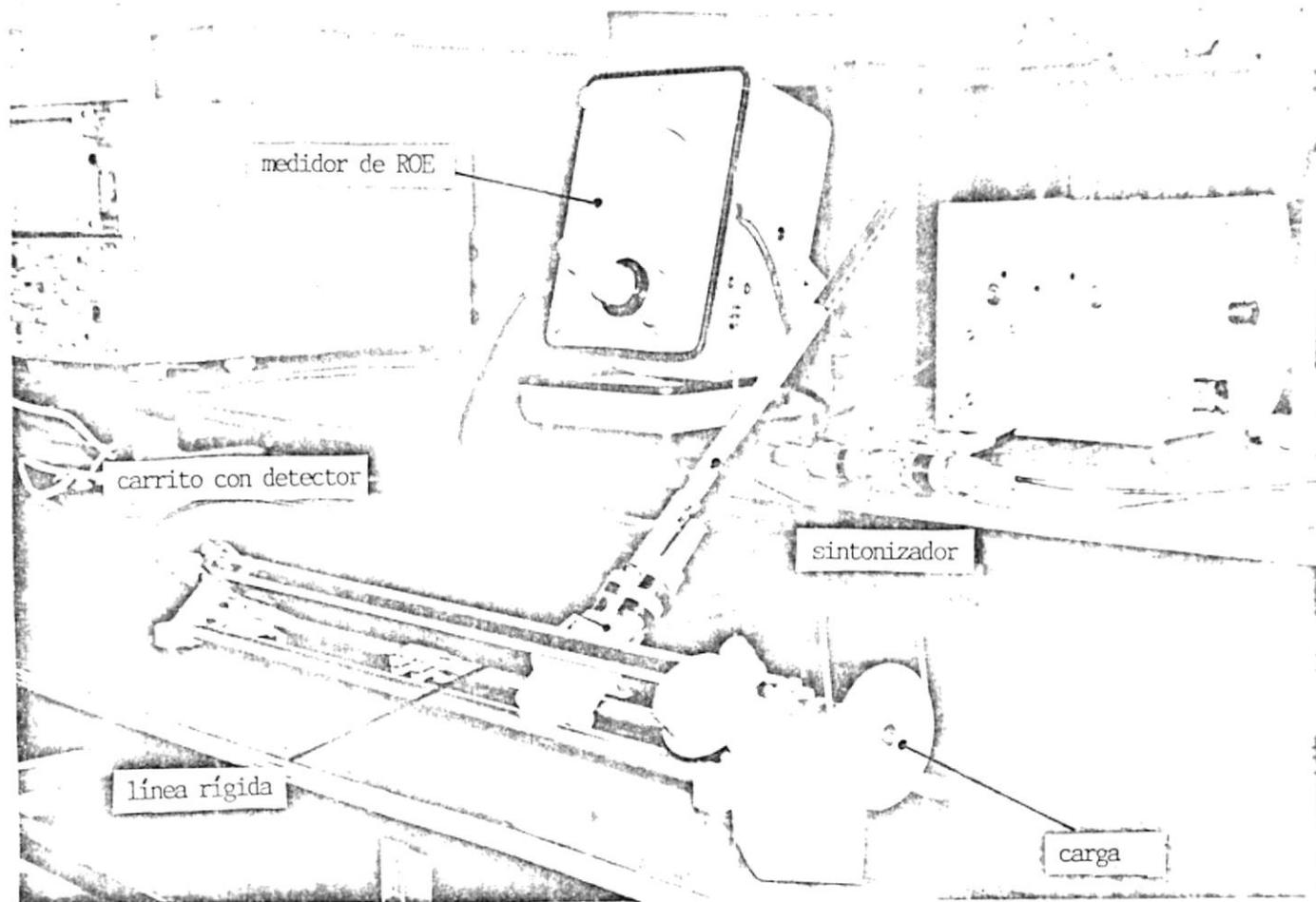


Fig. 2.8.- Fotografía de la configuración experimental con línea coaxial para irradiación a 2 GHz.

2.2.- DESCRIPCION DE LOS CIRCUITOS DE MICROONDAS.

En la sección anterior se hizo mención a los criterios básicos con los que se escogió el tipo de experimentos en el Proyecto de investigación, sin detallar la función que cada uno de los equipos ejecutó en los diversos circuitos empleados. Constituye éste uno de los motivos por el que, en esta sección se realiza una descripción la función que estos equipos cumplieron, por considerarse que es importante saber el funcionamiento de todas las partes físicas involucradas en la experimentación.

a.- Circuito para Irradiación en Guía Rectangular:

En la figura 2.9, el primer bloque que se tiene corresponde al generador de microondas, constituido por el Oscilador de Barrido y el Módulo RF, que tienen la función de proporcionar la señal de microondas. Mediante un cable coaxial este equipo es conectado a un Adaptador, el mismo que permite acopiar la señal que se transmite desde un sistema coaxial a un sistema de guía de onda. Una vez que la señal se encuentra en la guía de onda, ésta atraviesa un Atenuador, para que la señal que se aplique a los elementos tratados pueda ser variada en una forma fácil. Poste-

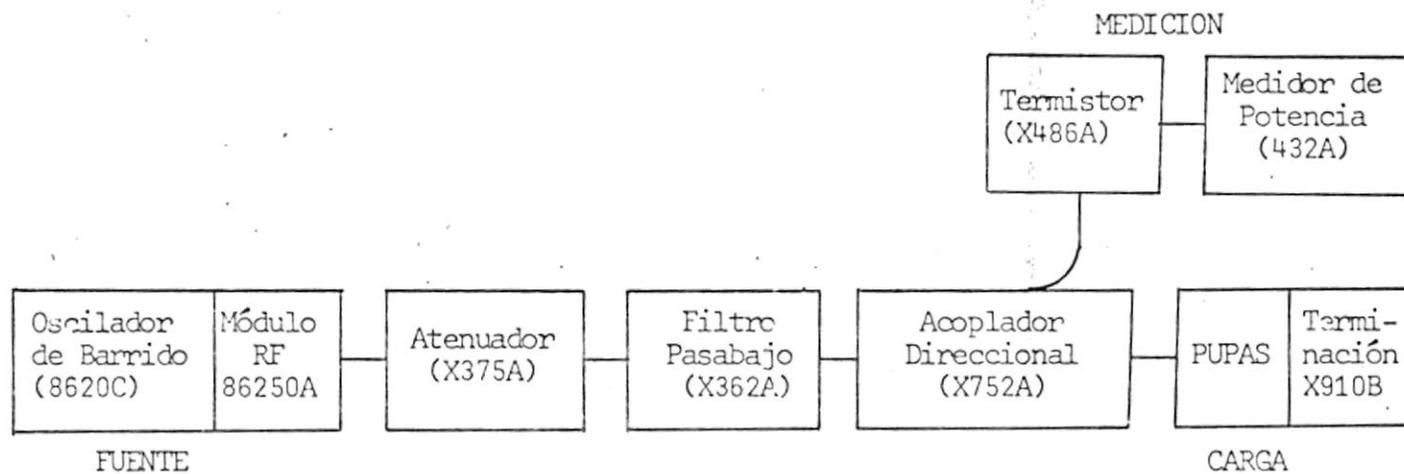


Fig. 2.9.- Circuito de Microondas, en Bloque, para las Pruebas a 9 GHz, en Guía Rectangular.

riormente, la señal se dirige a un Filtro Pasabajo, que cumple la función de eliminar los armónicos producidos en el oscilador. Al llegar la señal al Acoplador Direccional, ésta se ramifica, dirigiéndose una muestra al Medidor de Potencia a través del Termistor; y el resto a los elementos de prueba. Finalmente la señal llega a la Terminación en donde es absorbida por la carga de la misma.

La relación entre la potencia que llega a los elementos de prueba (P_L) y la potencia leída en el medidor de potencia (P_m) es:

$$P_m = P_L/10 \quad [2.11]$$

ya que el acoplador direccional utilizado en todas las pruebas tiene un factor de acoplamiento de 10 db.

Entre el acoplador direccional y la terminación, se coloca una cápsula de polietileno (cuya ubicación y forma está indicada en la figura 2.1). Esta cápsula dieléctrica (transparente a las microondas) puede variar ligeramente en su forma de una prueba a otra, dependiendo si en su interior se colocan las pupas solas o los granos infestados con la especie.

b.- Circuito para Irradiación en Espacio Libre:

En este tipo de pruebas experimentales, el circuito que se utilizó es básicamente el mismo que se usó en las pruebas en guía de onda. La diferencia estriba en que al final del circuito, en lugar de la terminación se utiliza una antena tipo bocina como carga para lograr de esta forma una mejor irradiación de los elementos de prueba. Esta antena se ilustra en la figura 2.3.

A una distancia de 2.5 cm de la antena bocina, se coloca una cama de polietileno conteniendo las especies de prueba. En el dibujo ilustrativo de la figura 2.3 se puede observar cómo la cama de polietileno descansa sobre un material **Absorbedor de Microondas** colocado con la finalidad de absorber la radiación directa o dispersa que emite la antena al espacio libre, y evita en esta forma que la energía de microondas, al propagarse al medio ambiente, conlleve algún peligro para la persona que está realizando las pruebas, aunque la densidad de potencia presente en este caso era menor que las pruebas en guía rectangular. Según las normas internacionales de seguridad [33] válidas en los E.U., para densidades de potencias de microondas mayores a 10 mW/cm^2 , se deben tomar las precaucio-

nes que se consideren necesarias. En el caso de las regulaciones en la U.R.S.S., este límite es menor (1 mW/cm^2) ya que son normas mucho más exigentes.

c.- Circuito para Irradiación con Minisilo:

Para la irradiación de huevecillos en el minisilo experimental, el circuito irradiador que se consideró conveniente emplear, fue el mismo que se utilizó para realizar las irradiaciones a espacio libre.

En este tipo de prueba la señal de microondas se aplica al interior del silo, en donde se encuentran almacenados los granos infestados con los huevecillos de la *sitotroga cerealella*, tal como se observa en las figuras 2.5 y 2.6. La señal de microondas emitida por la antena bocina se aplica desde el centro de la pared inferior del minisilo paralelepípedo. Este método fue adoptado en consideración de que las plagas que atacan los granos almacenados, lo hacen primordialmente desde el fondo del silo, donde la humedad es mayor que en otras partes del silo, avanzando en su recorrido infestador desde la región húmeda inferior hacia la superficie de la masa de grano.

d.- Circuito para Irradiación en Línea Coaxial:

La irradiación en línea coaxial se la realizó utilizando el circuito que se encuentra bosquejado en el diagrama de bloques ilustrado en la figura 2.10. En este circuito el bloque correspondiente al equipo generador de la señal de radiofrecuencia, se encuentra conformado por la Fuente de Poder de Amplitud Regulable y el Oscilador Local. La señal a la salida del oscilador es aplicada a un Filtro Pasabajo, que tiene la función de eliminar los armónicos producidos en el oscilador. De allí la señal se dirige hacia una Línea Ranurada, de la que se toma una muestra y se la aplica al Medidor de ROE (Relación de Onda Estacionaria). La línea ranurada es rígida y mantiene una ranura axial en la superficie superior que permite la introducción de una pequeña sonda detectora de campo eléctrico, que puede recorrer la línea a lo largo por medio de un "carrito" adaptado para el efecto. La línea tiene una impedancia característica de 50 ohmios.

El sintonizador variable en paralelo (o "Stub") utilizado en el "carrito" sirve únicamente para una mejor sintonización de la señal RF al acoplarse con la entrada del Medidor de ROE. Finalmente, la señal RF llega a una ter-

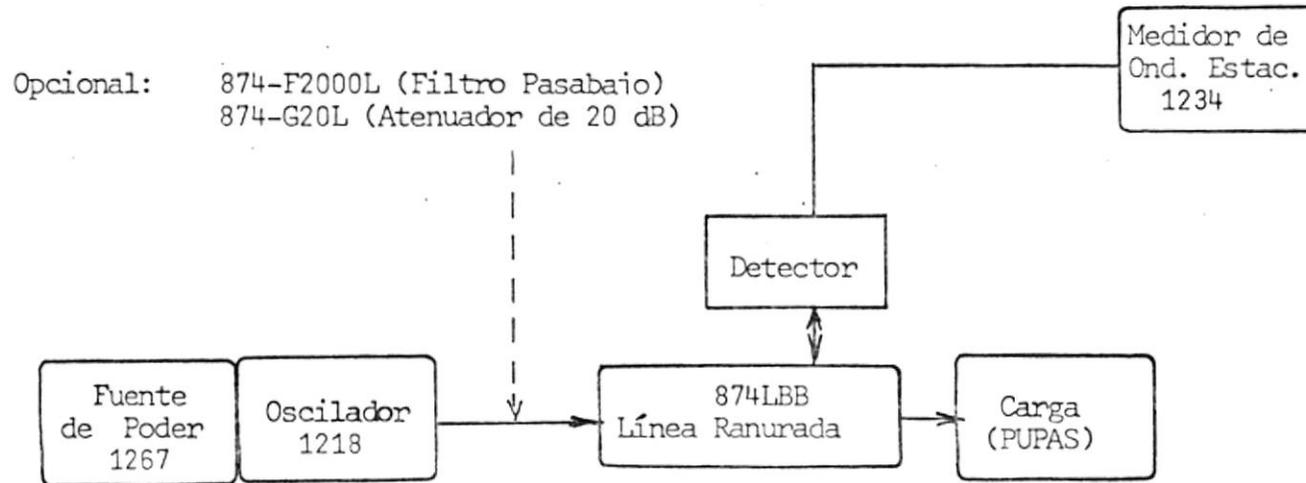


Fig. 2.10.- Diagrama de Bloques del Circuito para la Irradiación a 2 GHz en Coaxial.

minación de 50 ohmios que se encuentra acoplada al final de la línea ranurada.

En el espacio formado por el conductor interno y el conductor externo de la línea coaxial, se colocan las pupas a ser irradiadas. El grupo se lo ubica justo en la boca de circuito abierto de la línea rígida, que está protegida del ambiente mediante una pequeña bóveda de aluminio, frecuentemente empleada para medir impedancias desconocidas con la línea ranurada.

CAPITULO 3

PRUEBAS EXPERIMENTALES

En este capítulo se informa sobre los criterios que se usaron para implantar la metodología de trabajo especialmente en la parte experimental, explicando también la manera e selección de la *sitotroga cerealella* como la especie a irradiarse con microondas.. Adicionalmente, este capítulo se encarga de mostrar la tabulación de los resultados de las pruebas experimentales sobre la especie, los criterios de evaluación entomológica y la clasificación de los resultados obtenidos.

3.1.- METODOLOGIA DEL TRABAJO

Debido a la diversidad de irradiaciones que se llevaron a cabo, hubo necesidad de emplear diferentes tácticas de trabajo. Se mencionará a continuación la explicación y justificación de la metodología usada en los experimentos del Proyecto. Se indicará primeramente algunos de los pasos metodológicos que fueron comunes en todas las pruebas, y luego los criterios que fueron propios de cada una de las irradiaciones llevadas a cabo.

El primer gran paso, en los inicios del Proyecto, fue la selección de la (o de las) especie que se emplearía como piloto para ejecutar las pruebas experimentales. Para esto fue necesario la coordinación con entomólogos, todos ellos pertenecientes al Laboratorio de Entomología de INIAP (Estación Experimental de Boliche). Hay que anotar que la coordinación y asesoría de esos profesionales fue seguida a lo largo de los pasajes más importantes del Proyecto, en donde era necesario la opinión y evaluación entomológica.

Para la selección de la especie piloto se tomaron en cuenta dos factores indispensables: (1) Que la especie constituya uno de los principales infestadores de grano almacenado en el Ecuador, y en especial, en la región litoral. (2) Y que la producción de pupas de la especie sea fácilmente realizable en laboratorio y sea factible para INIAP proporcionarlas sistemáticamente desde Boliche hasta el Laboratorio de Radiofrecuencia de la ESPOL.

Luego del anterior análisis, se concluyó que sería conveniente trabajar con una de las dos especies: *sitotroga cerealella* (palomilla de maíz) ó *sitophilus oryzae* (gorgojo de arroz). Ambas reunieron los dos factores en un principio, pero en poco tiempo se determinó que el gorgojo de arroz no

reunía una de las dos condiciones selectivas impuestas anteriormente mencionadas (ya que su producción de pupas no iba a satisfacer el flujo, horario y época de pruebas en ESPOL).

Por lo tanto, el Proyecto decidió concentrar sus esfuerzos de laboratorio, en la especie *sitotroga cerealella* y dejar para posteriores proyectos de investigación el tratamiento con otras especies.

Una vez seleccionada la especie se procedió a seleccionar la (o las) frecuencia (s) de trabajo. Para ello se tomó en cuenta dos factores relevantes: (1) Que las frecuencias de trabajo sean aquellas que puedan obtenerse de los equipos principales disponibles en el Laboratorio de Radiofrecuencia de la ESPOL, y que a lo sumo sólo sea menester adquirir piezas adicionales para complementar las condiciones de operación de ellos. Y (2), que las frecuencias seleccionadas sean iguales o aproximadamente iguales a aquellas usadas en experimentos anteriores narradas en la literatura dentro de la temática del control de insectos.

Luego del análisis pertinente, el Proyecto decidió utilizar las frecuencias de 2 GHz y 9 GHz para las irradiacio-

nes. La primera era obtenible del equipo GenRad de ensamblaje coaxial de 50 ohmios (banda S); y la otra era obtenible del equipo generador de barrido Hewlett-Packard de banda X.

La metodología de trabajo experimental con las pruebas que realizaron con la especie y frecuencias seleccionadas, fue la siguiente:

a.- Se realizó un tratamiento de los granos de maíz y de arroz, previa su infestación con los huevecillos de la *sitotroga cerealella*. Este tratamiento fue necesario en prevención a una posible contaminación de los granos con otro tipo de plaga, lo que podría originar problemas en el normal desarrollo del insecto que vamos a estudiar.

El tratamiento consistió en colocar los granos en un recipiente con agua y someterlo al fuego hasta que el punto de ebullición era alcanzado. Una vez conseguido esto se procedió al secado de los granos, para evitar la descomposición de los mismos por efecto de la humedad.

b.- Con la finalidad de tener un criadero propio -adicional- en el lugar del experimento (Laboratorio de Radiofre-

cia en la ESPOL) hubo que transportar los huevecillos a ser tratados, desde la Estación Experimental de Boliché del INIAP.

Esta forma de cultivo fue de gran ayuda porque permitió llevar un control diario de las diferentes etapas de desarrollo del insecto. Es menestar indicar aquí que se tomó la decisión de efectuar las irradiaciones en dosis fijas de duración. Se optó por irradiar pupas jóvenes de 1 a 4 días de edad, por la conveniencia encontrada en otros trabajos experimentales con *tenebrio molitor* reportados en la literatura [9,10,11,12,13,19,34]. Todos esos trabajos encontraron que las pupas jóvenes eran muy propensas a efectos teratogénicos.

- c.- Después de los pasos (a) y (b) se procedió a la infestación de los granos de arroz y de maíz. Las pupas que se obtuvieron posteriormente -de los granos de maíz-, fueron colocadas en una caja aparte. Se tomó la precaución de obtener estas pupas sin ninguna lesión, para evitar posibles resultados erróneos.

El trabajo de obtener las pupas de los granos fue por demás delicado y engorroso. Es de añadir que



Fig. 3.1.- Fotografía de las pupas de palomilla de maíz, antes de la irradiación.

por no haber sido determinadas, el número de pupas obtenidas en los granos de arroz fue infima en comparación con los huevecillos cultivados -además de que su obtención fue mucho más complicada-, por lo que las pruebas con pupas de los granos de arroz no fue posible realizarlas.

d.- En lo referente a los pasos seguidos para las pruebas en guía rectangular, fueron los siguientes:

d.1.- El tratamiento de las pupas solas se lo hizo con una señal de 9 Gigahertz, potencia incidente con valores de 8 y 15 mW, y tiempos fijos de exposición de 1, 2 y 3 horas. Para cada uno de los tratamientos se utilizaron 10 individuos separados en 2 grupos de 5, con un número igual de individuos como testigos (120 pupas en total).

d.2.- Después de la irradiación el material se lo pasó a unos recipientes de plástico, para observar la diferencia. En cada vasija se colocó una esponja humedecida en agua, para evitar la desecación de las pupas. Los envases fueron etiquetados con la fecha de aplicación, potencia y tiempo de exposi-

ción, y número de individuos tratados.

d.3.- Se revisó el material diariamente y se hicieron anotaciones de las diferencias y de las malformaciones que se observaron. Cuando ya no hubo más emergencias, se anotó el número de pupas muertas.

d.4.- La nomenclatura utilizada para definir la evaluación de las deformaciones teratológicas de los adultos fue la siguiente:

- D1: Adulto con alas dobladas
- D2: Adulto con alas de menor tamaño
- D3: Adulto adherido al cocón pupal
- D4: Adulto con ala derecha de menor tamaño
- D5: Adulto con patas delanteras alargadas y dobladas
- D6: Adulto con ala adherida al cuerpo
- D7: Adulto que dá la impresión de haber sido aplastado
- D8: Adulto con alas totalmente aplastadas.

d.5.- El tratamiento de los conjuntos anfitrión-pupas.

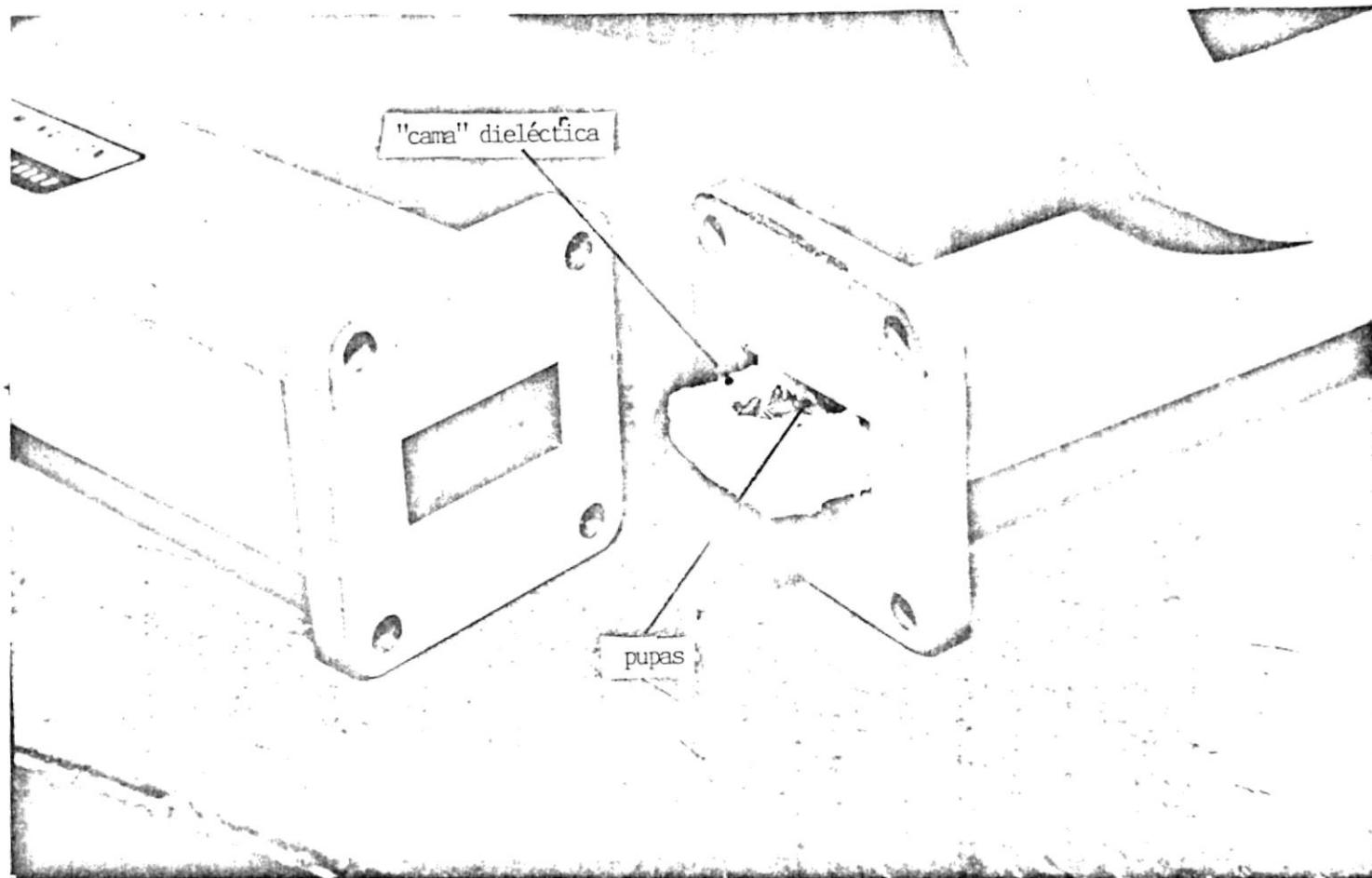


Fig. 3.2.- Fotografía de la guía hueca rectangular, enfocando la unión con la "cama" de pupas listas para irradiación a 9 GHz.

(o sea, granos infestados con pupas adentro), fue similar al tratamiento de las pupas solas, pero sin realizar la separación de los individuos en 2 grupos de 5.

d.6.- El tratamiento de los huevecillos se lo realizó con una muestra de 600 individuos, repartidos en 10 grupos de 60 cada uno, irradiándolos a 9 GHz, 15 mW, 12.8 mW/cm² y 1 h de exposición. Después del tratamiento los huevos fueron cultivados en granos de maíz previamente tratados. Para efectos de control un número igual de huevecillos fue cultivado en condiciones similares.

e.- Para el tratamiento en espacio libre (irradiación con antena tipo bocina) fue necesario realizar dos tipos de pruebas: (1) Sobre pupas solas, y (2) sobre granos infestados.

El procedimiento que se aplicó para estos tratamientos fue similar al que se usó en las pruebas de irradiación dentro de una guía, repitiéndose los mismos pasos desde d.1 hasta d.5.

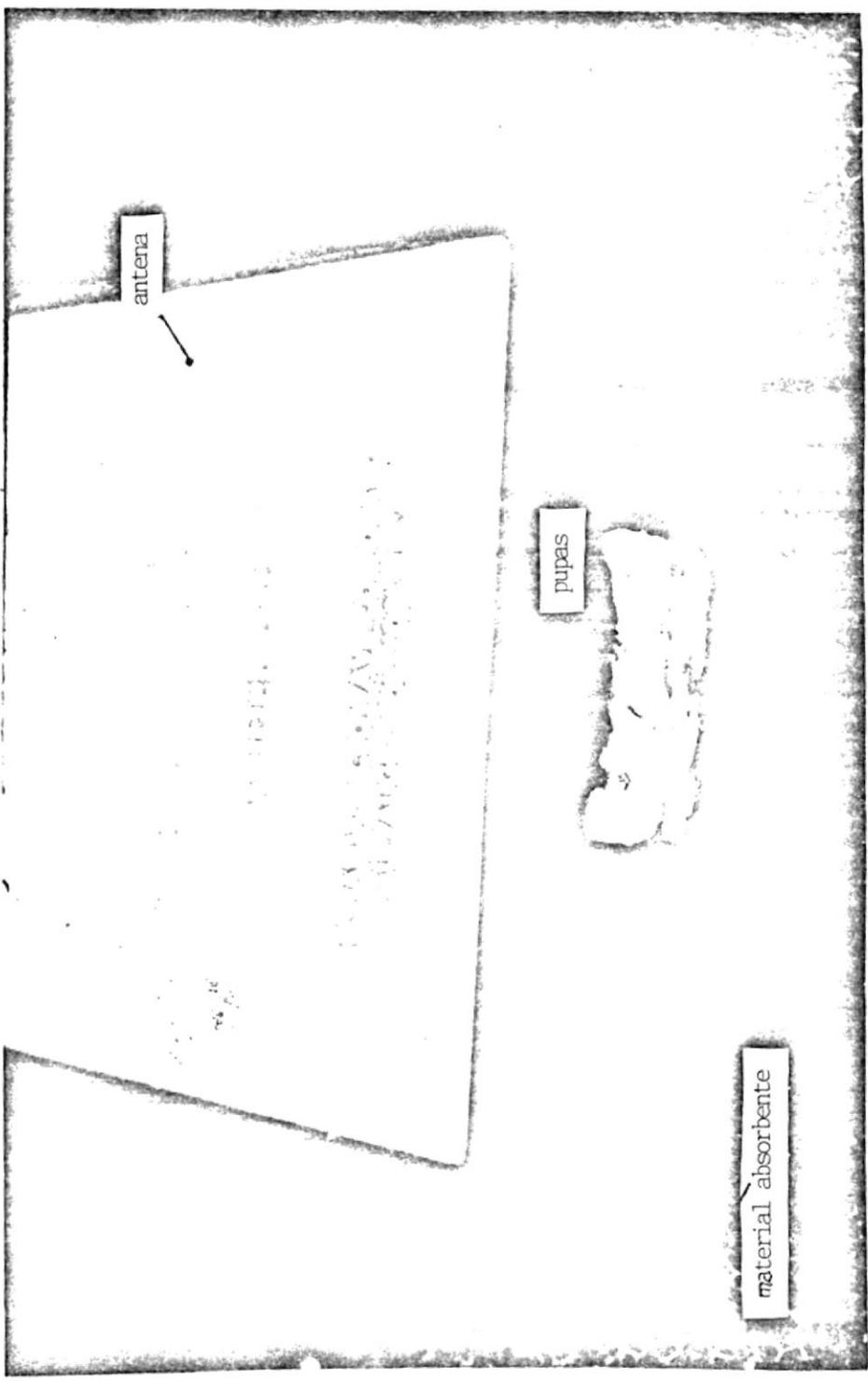


Fig. 3.3.- Toma en "close-up" de la antena bocina irradiando un grupo de pupas.

- f.- En el caso del tratamiento con irradiación en un minisilo, para realizar las pruebas en él, se irradió una masa de casi una arroba de granos de maíz infestados con unos 1000 huevecillos de la *sitotroga cerealella*.

El tratamiento se lo hizo con un ensamblaje útil para la banda X (9 GHz), utilizando 15 mW y un tiempo de exposición de 3 horas. Un número igual de testigos de control fue cultivado, en similares condiciones.

- g.- En el caso del tratamiento con las pupas en guía coaxial las pruebas fueron realizadas con potencias de 50 y 100 mW, con tiempos de irradiación de 1, 2 y 3 horas y a una frecuencia de 2 GHz. Para cada uno de los tratamientos se utilizaron 8 individuos con un número igual de testigos (96 pupas en total).

El procedimiento, después de la irradiación fue el mismo que se aplicó para las pruebas en guía de onda; esto es, se repitieron los pasos desde d.2 hasta d.4.



Fig. 3.4.- Fotografía del ensamble con minisilo experimental, parcialmente lleno de granos de maíz infestado.

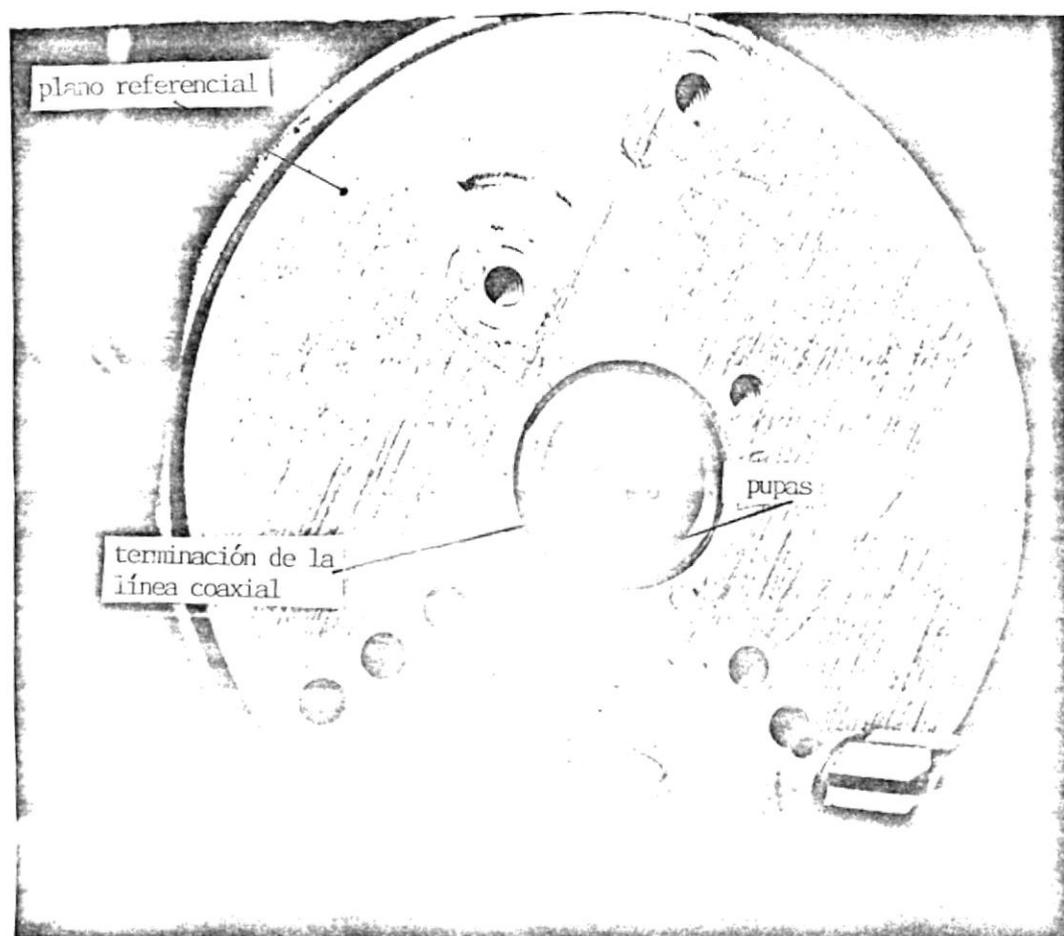


Fig. 3.5.- Toma cercana de la terminación coaxial, con las pupas en su interior, para irradiación a 2 GHz.

3.2.- TABULACION DE LOS RESULTADOS

De los resultados que se obtuvieron, no todos fue posible tabularlos; algunos resultados como en el caso de la irradiación de huevecillos fueron menos cuantificables. En definitiva, aquellos resultados que fue posible recopilarlos a manera de tablas, fueron los que se obtuvieron de los tratamientos con pupas y con los conjuntos de granos infestados.

Las tablas 3.I y 3.II resumen los resultados de la irradiación a 9 GHz, sobre de pupas de la *sitotroga cerealella*, hecha dentro de una guía rectangular operable en la banda X (área transversal 2.29 X 1.02 cm), con dosis de 1, 2 y 3 horas de duración, y con valores fijos de potencia incidente (8 y 15 mW, hacia la terminación). La tabla 3.I se refiere a las mediciones en el tratamiento sobre pupas solas; en donde se observa la cantidad de los efectos teratogénicos y letales que alcanza a distinguirse de los datos con las pupas referenciales (aquellas que no se trataron con microondas). Se contabiliza un número total de 12 pruebas de 10 pupas en cada una, con densidades de potencia de 6.9 y 12.8 mW/cm². La tabla 3.II relata las observaciones sobre las pupas embebidas en el material anfitrión (granos de maíz in-

TABLA 3.I

RESULTADOS DE LOS EXPERIENTOS DE IRRADIACION DENTRO DE LA
 GUIA RECTANGULAR SOBRE PUPAS SOLAS

f: 9 GHz
 especie: *sitotroga cerealella*

P _o (mW)	Duración (h)	p _o (mW/cm ²)	Pupas irradiadas			Pupas de control		
			N	D	M	N	D	M
8	1	6.9	8	1D1	1	8	1D3	1
8	1	6.9	8	1D1	1	8	1D3	1
8	2	6.9	9	1D2	0	9	1D3	0
8	2	6.9	8	1D2	1	8	1D3	1
8	3	6.9	7	2D1, D7	1	7	2D1, D3	1
8	3	6.9	8	1D7	1	9	1D1	0
15	1	12.8	7	2D8	1	9	0	1
15	1	12.8	7	1D8	2	8	1D3	1
15	2	12.8	8	2D2, D3	0	8	1D3	1
15	2	12.8	8	2D1, D2	0	8	2D3, D4	0
15	3	12.8	7	1D8	2	8	1D1	1
15	3	12.8	7	2D1, D8	1	7	2D1, D3	1

TABLA 3.II

PRUEBAS SOBRE GRANOS INFESTADOS CON PUPAS

f: 9 GHz
 especie: *sitotroga cerealella*

P ₀ (mW)	Duración (h)	p ₀ (mW/cm ²)	Pupas irradiadas			Pupas de control		
			N	D	M	N	D	M
8	1	6.9	7	2	1	8	2 ^{2DB}	0
8	1	6.9	7	1 ^{D1}	2	8	1 ^{D1}	1
8	2	6.9	7	1 ^{DB}	2	7	1 ^{DB}	2
8	2	6.9	8	1 ^{DB}	1	8	2 ^{2DB}	0
8	3	6.9	9	1 ^{D1}	0	9	0	1
8	3	6.9	9	1 ^{D1}	0	9	0	1
15	1	12.8	6	2 ^{2DB}	2	7	3 ^{2DB, D10}	
15	1	12.8	6	3 ^{2D2, DB1}		8	1 ^{DB}	1
15	2	12.8	7	1 ^{DB}	2	8	0	2
15	2	12.8	6	2 ^{D1, D2}	2	8	1 ^{DB}	1
15	3	12.8	9	1 ^{DB}	0	8	1 ^{DB}	1
15	3	12.8	9	1 ^{DB}	0	9	1 ^{D2}	0

festados de pupas de palomillas). En dicha tabla se observa un efecto cuantitativamente similar que en la tabla 3.I; lo cual indica que para bajos niveles de potencia y a 9 GHz, poco importa que la pupa de palomilla de maíz esté dentro o fuera del grano.

Las tablas 3.III y 3.IV en cambio se refieren a los resultados en los tratamientos en espacio libre de las pupas solas y de los granos infestados, para los que se empleó la emisión de energía electromagnética de una antena tipo bocina. En estas pruebas (tanto en las de la Tabla 3.III como en de la IV), fue evidente un menor efecto teratológico de las microondas en vista de que la densidad de potencia recibida por los insectos fue menor que en el caso de las tablas I y II. Esto se debió a que la potencia llevada por los campos E y H se concentra más, dentro de la guía rectangular que fuera de la boca de la antena bocina [33].

Es importante indicar que el efecto de una irradiación sobre un insecto se lo define exclusivamente a partir de la densidad de potencia recibida por la especie (en otras palabras, cuántos mW/cm^2 les llega) y de la consiguiente dosis (cuántos $mW/cm^2.h$). Sin embargo, de lo que aparece en las cuatro tablas se concluye que los efectos teratológicos y le-

TABLA 3.III

RESULTADOS DE LOS EXPERIMENTOS SOBRE PUPAS SOLAS MEDIANTE
LA IRRADIACION CON ANTENA BOCINA EN ESPACIO LIBRE

f: 9 GHz
especie: *sitotroga cerealella*

P ₀ (mW)	Duración (h)	p ₀ (mW/cm ²)	Pupas irradiadas			Pupas de control		
			N	D	M	N	D	M
8	1	0.8	9	1 ^{D3}	0	9	1 ^{D3}	0
8	1	0.8	9	0	1	9	0	1
8	2	0.8	8	1 ^{D7}	1	8	1 ^{D3}	1
8	2	0.8	8	1 ^{D7}	1	8	1 ^{D4}	1
8	3	0.8	9	1 ^{D5}	0	9	0	1
8	3	0.8	9	0	1	9	0	1
15	1	1.5	7	2 ^{2D3}	1	8	1 ^{D1}	1
15	1	1.5	8	1 ^{D1}	1	9	1 ^{D3}	0
15	2	1.5	9	1 ^{D4}	0	9	1 ^{D3}	0
15	2	1.5	8	1 ^{D1}	1	8	1 ^{D1}	1
15	3	1.5	9	0	1	9	0	1
15	3	1.5	8	1 ^{D1}	1	8	1	1

TABLA 3. IV

RESULTADO DE LAS PRUEBAS DE IRRADIACION
CON ANTENA BOCINA, SOBRE GRANOS INFESTADOS

f: 9 GHz
especie: *sitotroga cerealella*

P _o (mW)	Duración (h)	p _o (mW/cm ²)	Pupas irradiadas			Pupas de control		
			N	D	M	N	D	M
8	1	0.8	8	1 ^{D4}	1	7	1	2
8	1	0.8	9	0	1	9	1 ^{DD}	0
8	2	0.8	7	1 ^{D4}	2	8	1 ^{DD}	1
8	2	0.8	9	1 ^{D4}	0	9	0	1
8	3	0.8	8	1 ^{D6}	1	8	1 ^{D6}	1
8	3	0.8	10	0	0	10	0	0
15	1	1.5	9	1 ^{D6}	0	9	1 ^{D6}	0
15	1	1.5	8	1	1	10	0	0
15	2	1.5	9	0	1	8	1 ^{DD}	1
15	2	1.5	8	1 ^{D6}	1	8	1 ^{D1}	1
15	3	1.5	8	0	2	8	0	2
15	3	1.5	8	2 ^{DD2}	0	8	1 ^{DD}	1

tales, fueron poco importantes a esos niveles de dosis.

Los valores de las tablas anteriores están graficados en las figuras 3.6, 3.7, 3.8 y 3.9, en donde se especifica el número de pupas deformes y muertas, señalándose las que fueron irradiadas en comparación con las no irradiadas (referenciales). Se observa la poca cantidad de pupas afectadas teratológica y letalmente a esos niveles de densidad de potencia.

Vale indicar que en todas las pruebas de irradiación, el cálculo de la densidad de potencia que llega al grupo de especies fue realizado tomando en cuenta la distribución del campo electromagnético en cada caso, pero sólo se empleó el valor máximo de densidad de potencia. El Apéndice H muestra con más detalles las derivaciones de todas las expresiones indicadas en esta sección (ecuaciones 3.1, 3.3 y 3.4).

Por ejemplo, si se trató de la irradiación de pupas dentro de la guía de onda rectangular $^{[20]}$, se asumió la transmisión del modo dominante TE_{10} . Por consiguiente, la potencia distribuida a lo ancho de la guía, salió

$$p(x) = P_0 (2/ab) \text{Sen}^2(\pi x/a) \quad [3.1]$$

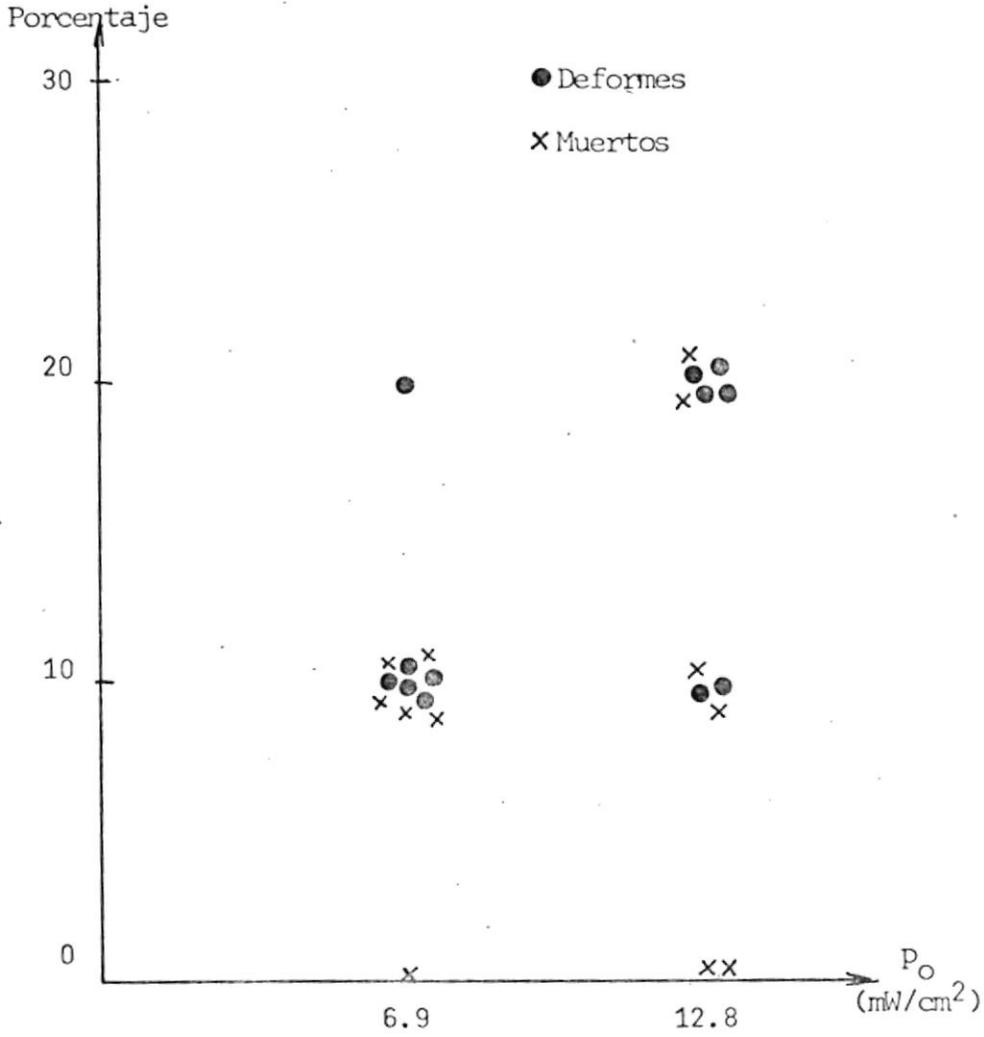


Fig. 3.6.- Resultado de las Pruebas con Pupas solas, a 9 GHz, irradiadas dentro de una guía rectangular.

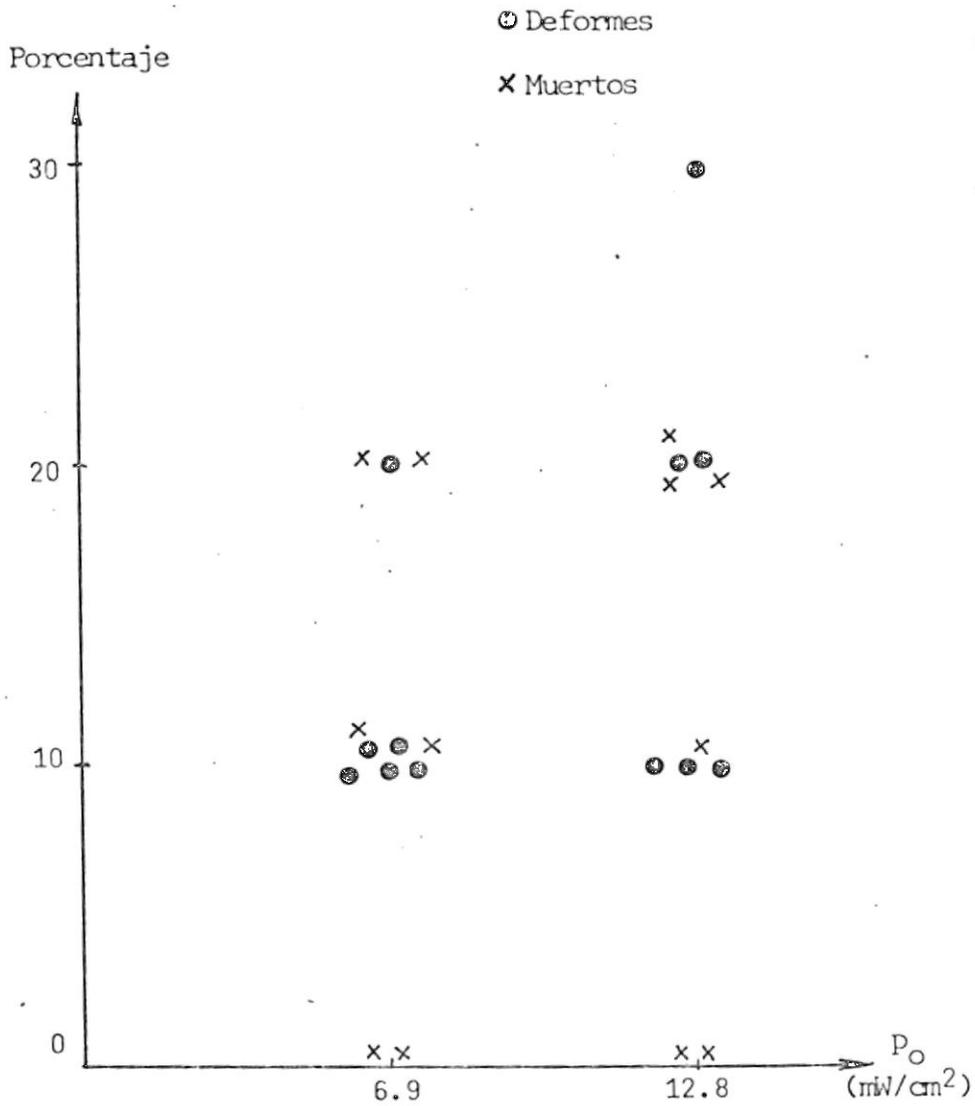


Fig. 3.7.- Información obtenida de las pruebas de irradiación a 9 GHz, sobre en pupas en grano.

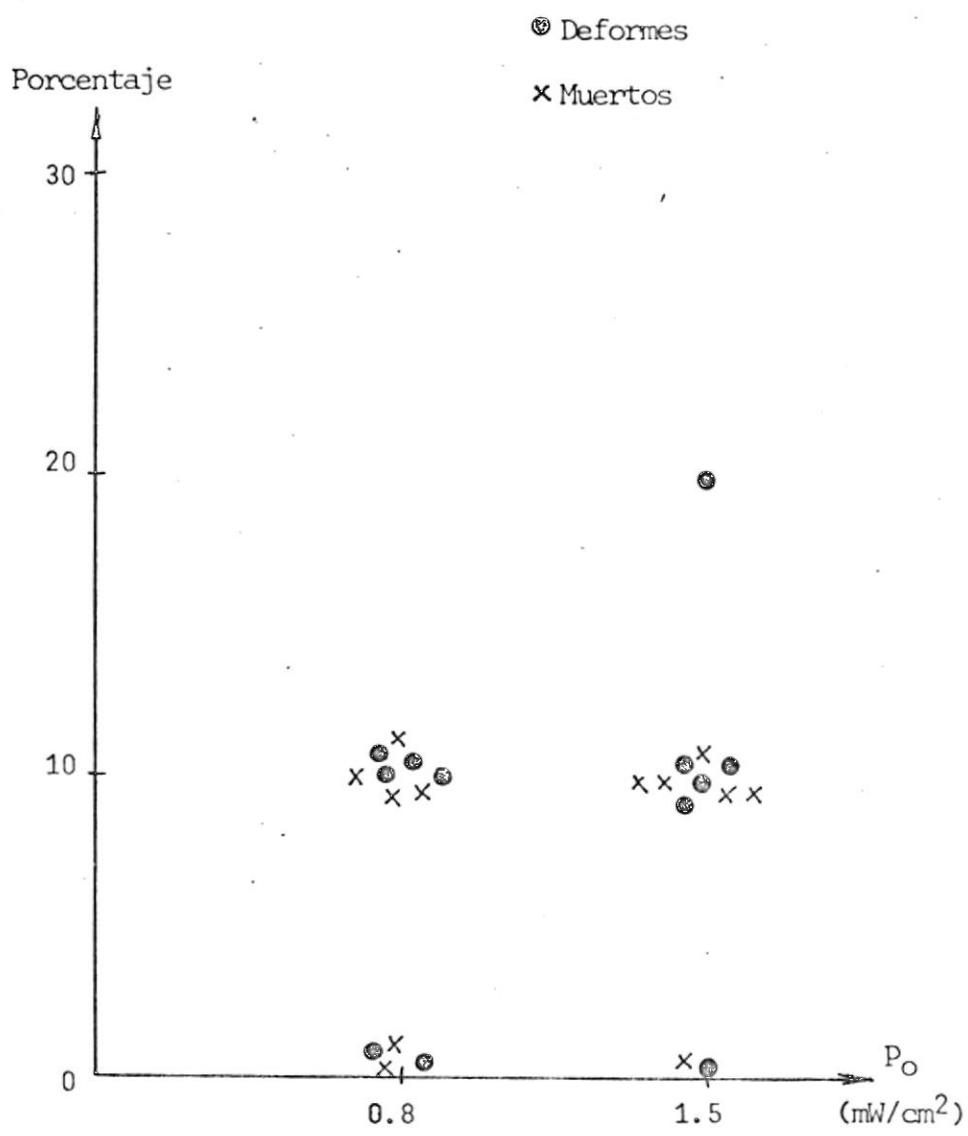


Fig. 3.8.- Resultado de las pruebas a espacio libre, irradiando pupas solas, a 9 GHz.

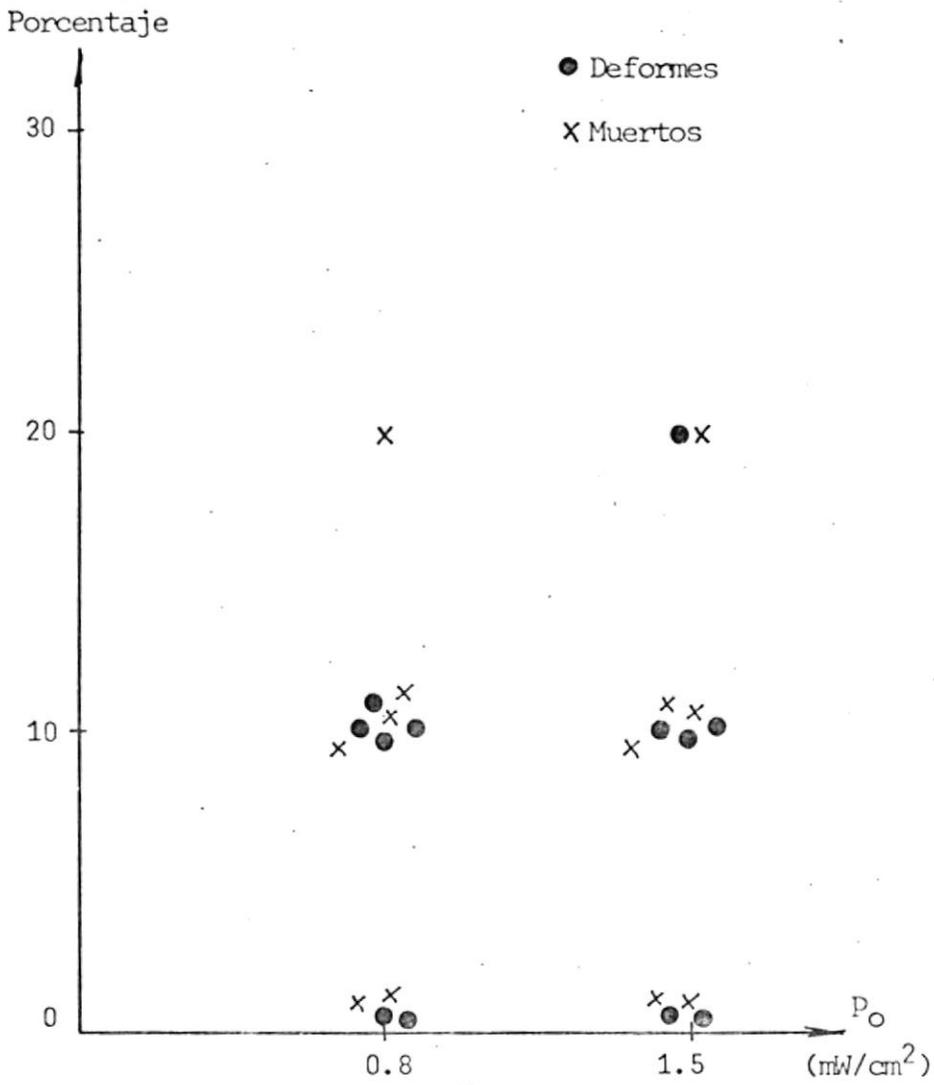


Fig. 3.9.- Información obtenida de las pruebas de irradiación a espacio abierto, sobre pupas en grano, a 9 GHz.

donde $p(x)$ es una función de x , x siendo la variable dimensional a lo ancho transversal de la guía rectangular de medidas a y b . Esta función tiene unidades de mW/cm^2 , si a y b están dadas en centímetros. P_0 es la potencia transmitida comúnmente dada en milivatios.

El valor empleado en la evaluación de los experimentos para definir la densidad de potencia recibida, en este tipo de tratamiento, fue el del máximo valor a $x = a/2$.

$$p_0 = 2P_0/ab \quad [3.2]$$

El área ab es igual a 2.35 cm^2 para el caso de la guía de banda X.

Así mismo, para efectuar el cálculo de la dosis D que recibe la especie, se usó la expresión

$$D = p_0/t \quad [3.3]$$

donde t es la duración de la irradiación sobre los individuos insectos (en horas). D viene en $\text{mW}/\text{cm}^2 \cdot \text{h}$.

Similarmente, para los casos de irradiación en espacio libre por medio de la antena bocina, se usó el cálculo

aproximado de densidad de potencia válido para antenas de este tipo [33]. Igualmente para el cálculo de densidad de potencia dentro de una guía coaxial, se usaron las expresiones convencionales para este tipo de guía, en modo TEM, y luego se tomó un valor único de trabajo [28].

El Apéndice H se encarga de derivar los valores de p_0 usado en cada caso, seleccionando:

$$p_0 = \frac{P_0}{4\pi \ln(b/a)} (a^{-2} + b^{-2}) \quad [3.4]$$

para la irradiación en línea coaxial [20], donde P_0 es la potencia transmitida, a y b son los radios de la línea coaxial; y,

$$p_0 = \frac{(1 + R^2) Z_0 (k_0 ab C_0)^2}{c^2 \mu^2 r^2} \quad [3.5]$$

para la irradiación con antena bocina [33], donde R es el coeficiente de reflexión de la antena activa, c es la velocidad de la luz, a y b son las dimensiones de la guía alimentadora, k_0 es el número de onda del medio, C_0 es la amplitud de la componente y del campo eléctrico, y r es la distancia desde la antena hasta el conjunto de muestras.

La expresión 3.3 fue utilizada en todos los casos, para determinar la dosis D en $\text{mW/cm}^2 \cdot \text{h}$.

Por otro lado, para determinar la potencia absorbida por la carga, se empleó la expresión

$$P_L = P_1 (1 - R^2) \quad [3.6]$$

donde P_L es la potencia entregada a la carga, y P_1 es la potencia incidente.

Los resultados mostrados en las tablas 3.I, 3.II, 3.III y 3.IV, que además constan ilustrados gráficamente en las figuras 3.6, 3.7, 3.8 y 3.9, no fueron completamente satisfactorios y concluyentes como para advertir un claro efecto teratogénico y letal sobre las pupas irradiadas con 9 GHz y muy bajo nivel de potencia. Esto obligó a continuar con otro tipo de pruebas para lograr un cuadro de posibilidades, acorde con los objetivos originales del Proyecto 310.02. Sin embargo, otras pruebas a 9 GHz fueron realizadas con irradiación por antena bocina, empleando un minisilo experimental a escala. El tratamiento de pupas dentro de un silo lleno de granos infestados de *sitotroga cerealella*, puso de manifiesto un resultado similar a los anteriores, y son mostrados en la tabla 3.V.

TABLA 3.V

RESULTADOS DE LAS PRUEBAS EN EL MINISILO

Cantidad de maíz en silo: 1 arroba
 f: 9 GHz
 P_o: 15 mW
 t: 3 horas

Grupo	# de granos infestados	con irradiación			sin irradiación		
		N	D	M	N	D	M
1	200	158	18	24	166	9	25
2	200	159	13	28	169	11	20
3	200	166	11	23	166	10	24
4	200	151	18	31	167	17	26
5	200	165	12	23	170	10	20
PROMEDIO		159.8	14.4	25.8	167.6	11.4	23.0
PORCENTAJE		79.9%	7.2%	12.9%	83.8%	5.7%	11.5%
DIFERENCIA (**)		-3.9%	1.5%	1.4%	--	--	--

(**): Es la diferencia entre los resultados con irradiación y aquellos sin irradiación.

Todas las pruebas a 9 GHz, con 8 y 15 mW, con irradiación dentro de la guía o fuera de ella, cuyos resultados sobresalientes se recopilan en la figura 3.10, dieron como resultado concluyente que la palomilla de maíz era resistente a ese tipo de pruebas. Los efectos teratológicos eran mínimos y en algunos casos despreciables. Por lo tanto, se buscó una forma diferente de observación experimental, esta vez ya no en los efectos teratológicos o letales exactamente, sino más bien en la capacidad reproductora de los insectos. Para lo cual se llevó a cabo las pruebas sobre 600 huevecillos, irradiados a 15 mW (o sea, con densidad de 12.8 mW/cm^2 , dentro de la guía rectangular, en 10 grupos de 60 huevecillos cada uno. Todas las irradiaciones fueron hecha durante una hora y a 9 GHz. La tabla 3.VI muestra estos resultados, en unión del gráfico de la figura 3.11. En ellos se observa un resultado conjunto más alentador que en las pruebas anteriores, ya que observando el desarrollo durante dos generaciones, la población efectiva de los insectos -comparándola con la población referencial también de 600 iniciales- disminuyó en un 83% a la primera generación y llegó al 67% en la siguiente. Todo indica que si bien es cierto, los niveles y dosis usados no producían contundentes efectos teratológicos y letales sobre la palomilla de maíz, sí se produjo un marcado efecto sobre la capacidad reproductora de la palomilla de maíz.

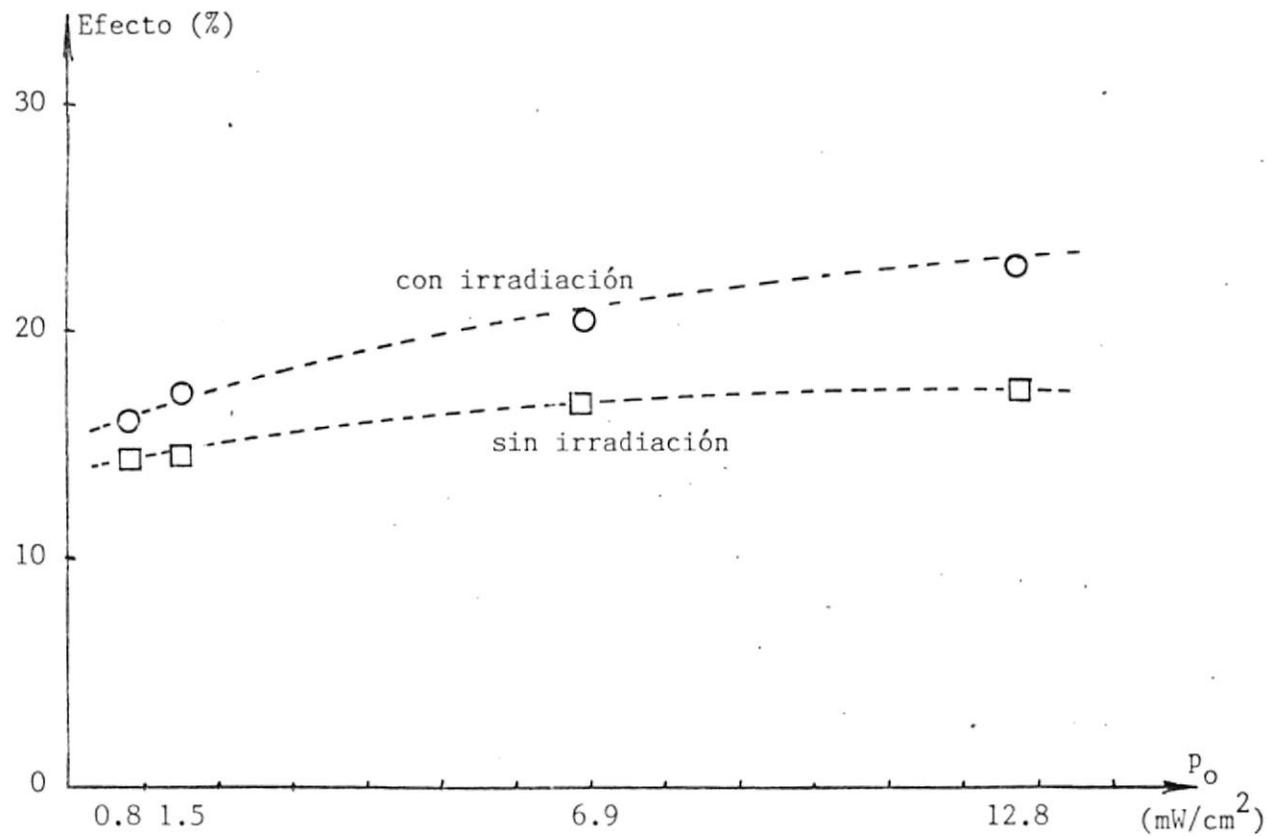


Fig. 3.10.- Gráfico de Valores Promedio del Efecto de diferentes Densidades de Potencia, a 9 GHz. Se han considerado las deformaciones y muertes como un solo efecto.

TABLA 3.VI

RESULTADOS DE LAS IRRADIACIONES SOBRE HUEVECILLOS
Y LA OBSERVACIONES DE DISMINUCION POBLACIONAL
DURANTE DOS GENERACIONES

f: 9 GHz
 especie: *sitotroga cerealella*
 P₀: 15 mW
 p₀: 12.8 mW/cm²
 t: 1 hora

Grupo	Huevecillos inicialmente tratados	Observaciones Poblacionales			
		En 1ra. Generación		En 2da. Generación	
		Cantidad	%	Cantidad	%
1	60	51	85%	41	68%
2	60	50	83%	42	70%
3	60	46	77%	38	63%
4	60	53	88%	42	70%
5	60	50	83%	39	65%
6	60	47	78%	37	62%
7	60	51	85%	41	68%
8	60	48	80%	38	63%
9	60	50	83%	39	65%
10	60	52	87%	42	70%
TOTAL	600	498		399	
%	100%	83%		67%	

Se observó durante la evaluación de los adultos en cada generación, que la irradiación acelera el proceso fisiológico de la *sítotroga cerealella* de tal forma que ayuda a la emergencia de los adultos del estado pupal. De acuerdo a las explicaciones de los entomólogos asesores [10], esta aceleración inducida tiende a hacerlos resistentes a la irradiación recibida, lo cual se desprende de la mayor movilidad observada en los adultos emergidos. Por otro lado, puesto que existe mayor movilidad en los adultos, éstos tienden a consumir más energía la cual deberá provenir -de acuerdo a los entomólogos consultados- de las proteínas que traen en su cuerpo y que sirve para la gestación de huevecillos. Esto lleva a concluir que las hembras que fueron irradiadas (cuando fueron pupas) deberán tener la tendencia a una menor producción y por lo tanto, habrá una explicación para la disminución de la capacidad reproductora de los insectos y por ende, de la población de generación a generación. Esta aseveración entomológica fue comprobada no solamente por la observación de la alta movilidad de los adultos después de la irradiación [9,23], es decir al mayor consumo de energía del insecto, sino también por las características de los resultados que se explican en la tabla 3.VI y en la figura 3.11.

Ante los resultados parcialmente positivos obtenidos en las pruebas a 9 GHz y muy bajo niveles de densidad de potencia, el Proyecto buscó la alternativa de trabajar en otros rangos que arrojen mejores dividendos científicos. Esto llevó a utilizar ondas de menor frecuencia (2 GHz), pero con exposiciones de mayor densidad de potencia en interiores (hasta 90 mW/cm²). Estas fueron las pruebas en línea coaxial, en las que se empleó el ensamblaje y la metodología ilustrados en las secciones anteriores.

La tabla 3.VII muestra los resultados obtenidos en las pruebas en coaxial, con pupas solas. La tabla 3.VIII los muestra para irradiación en pupas en grano (es decir, sobre granos de maíz infestados de pupas de palomilla). La edad de las pupas osciló entre 1 a 4 días; las pruebas se efectuaron con grupos de 20 pupas, igualmente para los grupos de control. Las figuras 3.12 y 3.13 ilustran estas tabulaciones desde un punto de vista gráfico, aclarándose más los resultados.

Definitivamente diremos que las pruebas realizadas a 2 GHz y con densidades de potencias cercanas a los 90 mW/cm², fueron más efectivas que las de 9 GHz y menor densidad de potencia. Cabe indicar que la calidad de los efectos no

TABLA 3.VII

RESULTADOS DE LAS IRRADIACIONES A 2 GHz SOBRE PUPAS SOLAS
(pruebas en línea coaxial)

especie: *Sitotroga cerealella*

P _o (mW)	Duración (h)	p _o (mW/cm ²)	Pupas irradiadas			Pupas de control		
			N	D	M	N	D	M
30	1	27.2	17	1 ^{D4}	2	19	1 ^{D2}	0
30	1	27.2	18	2 ^{2D6}	0	20	0	0
30	2	27.2	17	1 ^{D4}	2	19	1 ^{D2}	0
30	2	27.2	17	2 ^{D4, D6}	1	19	0	1
50	2	45.3	15	4 ^{D6, D7}	1	19	1 ^{D4}	0
50	2	45.3	17	1 ^{D4}	2	19	0	1
50	3	45.3	17	2 ^{2D6}	1	18	0	2
50	3	45.3	15	4 ^{D4, D7}	1	19	1 ^{D4}	0
100	1	90.7	14	4 ^{D2, D3}	2	18	0	2
100	1	90.7	13	4 ^{D7}	3	19	1 ^{D6}	0
100	2	90.7	16	3 ^{D2, D7}	1	18	1 ^{D2}	1
100	2	90.7	15	3 ^{D2, D4}	2	19	0	1
100	3	90.7	13	5 ^{D2, D6}	2	18	1 ^{D2}	1
100	3	90.7	14	5 ^{D3, D7}	1	19	1 ^{D4}	0

TABLA 3.VIII

RESULTADOS DE LAS IRRADIACIONES A 2 GHz SOBRE GRANOS
INFESTADOS CON PUPAS DE PALOMILLA
(pruebas en línea coaxial)

especie: *Sitotroga cerealella*

P _o (mW)	Duración (h)	p _o (mW/cm ²)	Pupas irradiadas			Pupas de control		
			N	D	M	N	D	M
30	1	27.2	18	1 ^{D2}	1	18	1 ^{D2}	1
30	1	27.2	19	1 ^{D6}	0	19	0	1
30	2	27.2	17	1 ^{D4}	2	19	1 ^{D2}	0
30	2	27.2	18	1 ^{D6}	1	19	0	1
50	2	45.3	16	3 ^{D6, D7}	1	20	0	0
50	2	45.3	18	1 ^{D4}	1	19	0	1
50	3	45.3	17	2 ^{2D6}	1	18	0	2
50	3	45.3	15	3 ^{D4, D7}	2	19	1 ^{D4}	0
100	1	90.7	15	3 ^{D2, D3}	2	18	0	2
100	1	90.7	15	3 ^{D7}	2	19	1 ^{D6}	0
100	2	90.7	16	2 ^{D7}	2	19	1 ^{D2}	0
100	2	90.7	14	3 ^{D2, D4}	3	19	0	1
100	3	90.7	15	3 ^{D2, D6}	2	19	1 ^{D2}	0
100	3	90.7	15	3 ^{D3, D7}	2	19	1 ^{D4}	0

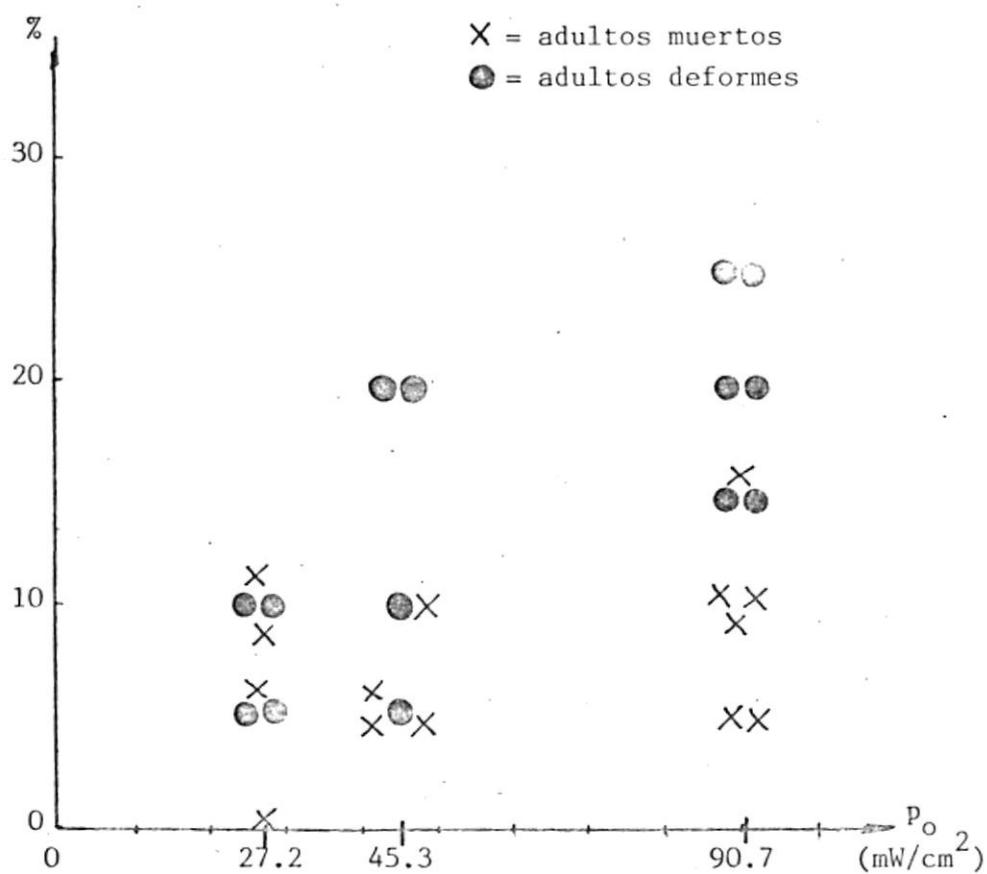


Fig. 3.12.- Resultados de las pruebas sobre palomilla de maíz, a 2 GHz, en línea coaxial. Irradiación sobre pupas solas.

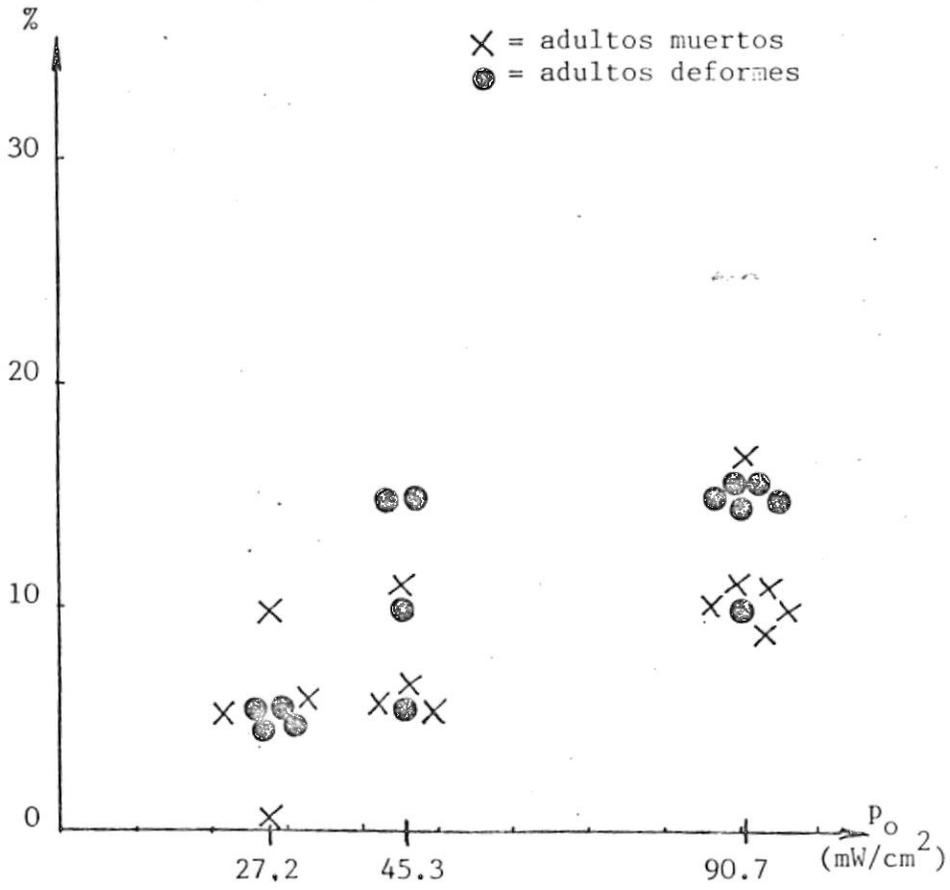


Fig. 3.13.- Resultados de las pruebas sobre pupas infestantes en granos de maíz, a 2 GHz, en línea coaxial.

tiene nada que ver con que haya sido coaxial el ensamblaje (en vez de guía hueca). Parece que la diferencia en la bondad de los resultados sólo reside en los valores de frecuencia y densidad de potencia electromagnética (además de la incidencia de los consabidos parámetros ambientales explicados en otras secciones). Entonces, que la mejor característica de los resultados a 2 GHz no fue completamente por la influencia de la diferente frecuencia sino por el mayor nivel de densidad de potencia de microondas que recibe la pupa en su composición de células no diferenciadas [10,27].

Las fotografías de la figura 3.14 muestran los efectos más destacados obtenidos en las pupas irradiadas en coaxial. Se observan los adultos muertos (cuyo cuerpo quedó como pupa), los adultos normales y los adultos teratológicamente alterados (ilustrándose algunas de las nomenclaturas de deformaciones presentadas en la sección 3.1, parte d.4). Las fotografías hablan por sí solas del éxito de las irradiaciones, indicándose los rasgos morfológicos de adultos de palomilla de maíz que, después de la irradiación con 2 GHz y 90.7 mW/cm^2 , han quedado como deformes, normales o muertos. Los adultos deformes se especifican siguiendo la nomenclatura D1, D2, D3, etc.

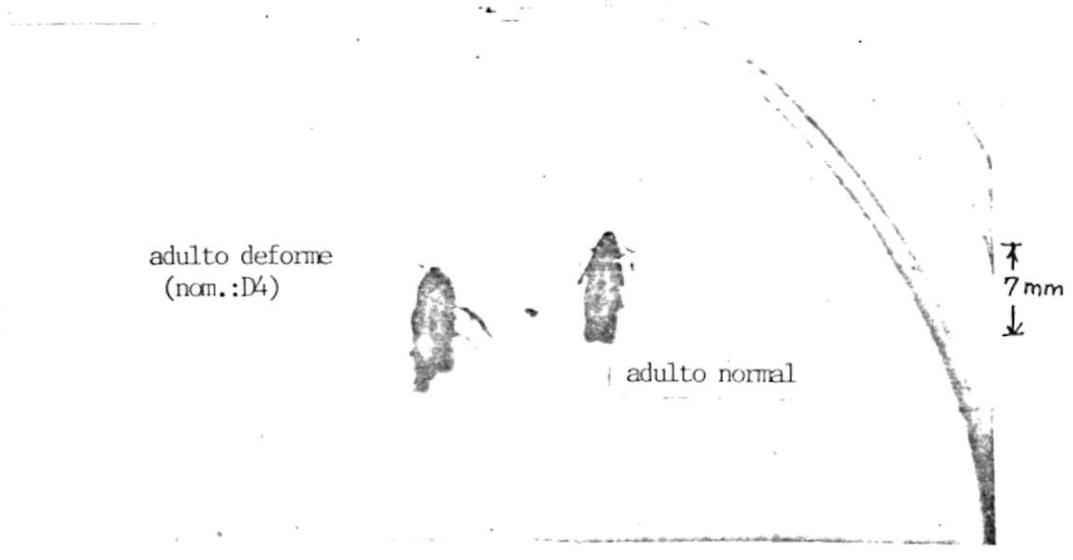
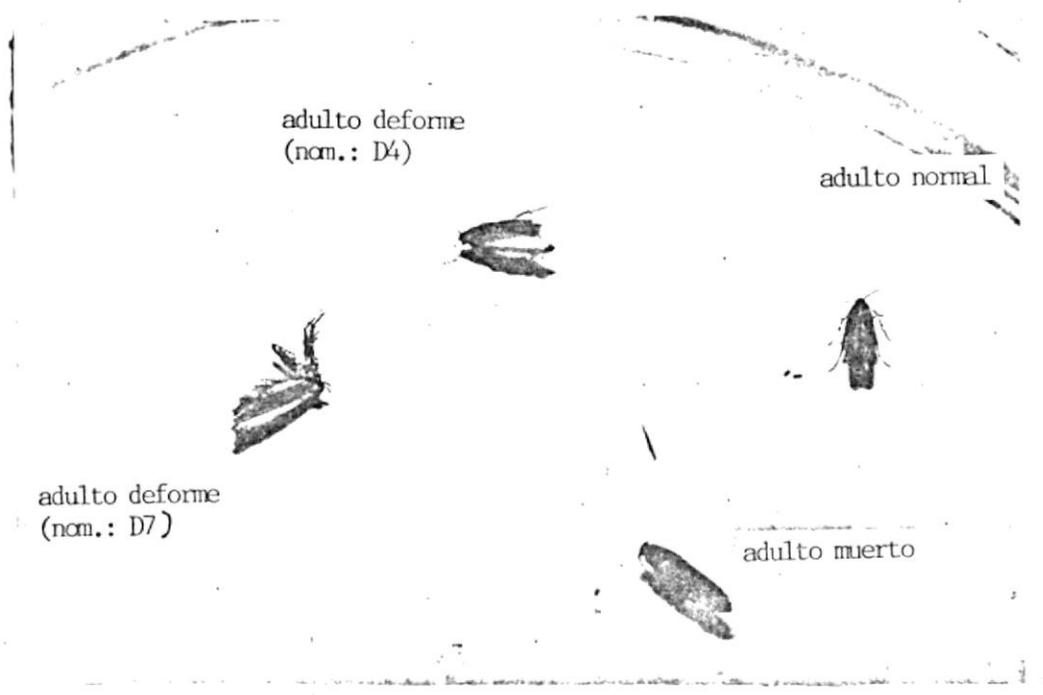
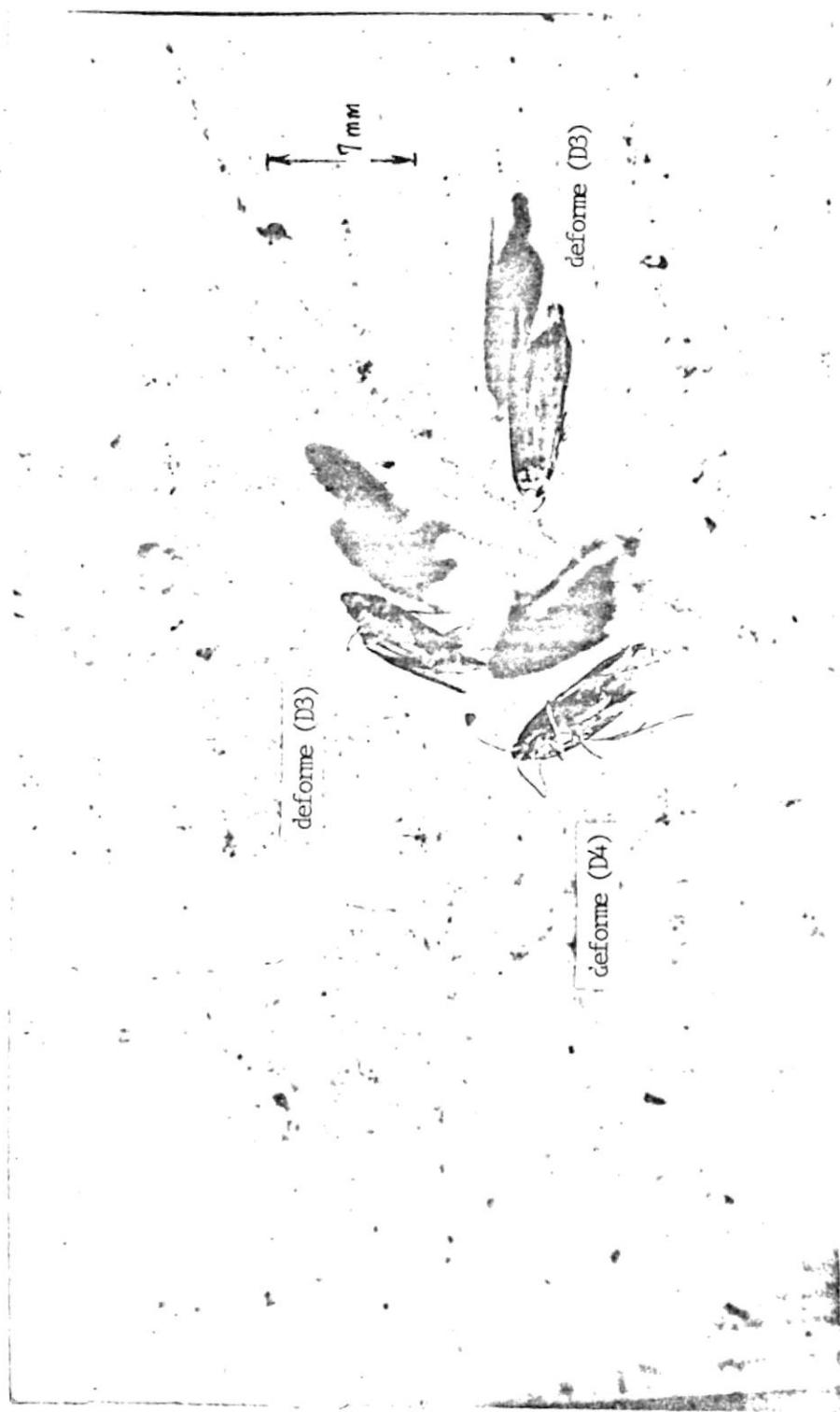
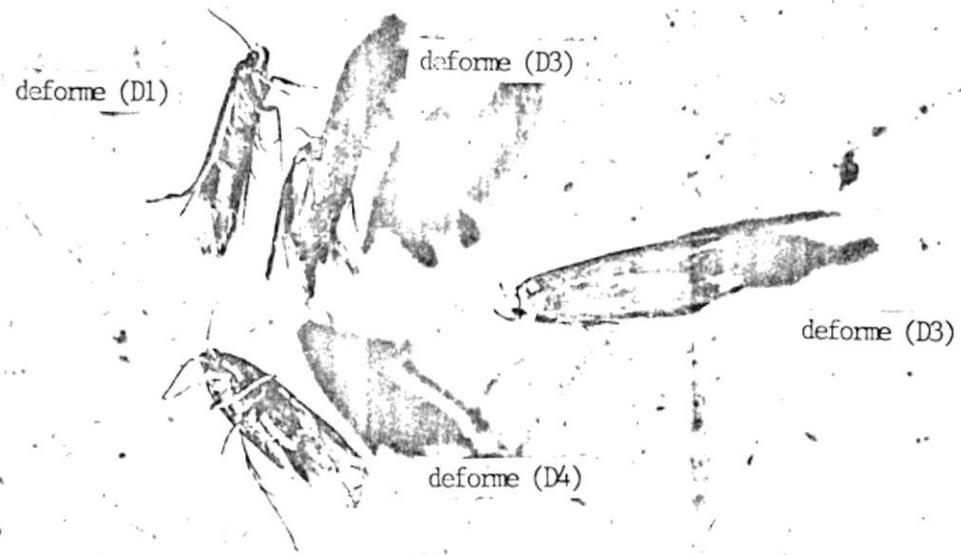


Fig. 3.14.- Muestras de los adultos después de la irradiación a 2 GHz, 90 mW/cm².



(c)

Fig. 3.14.- (CONTINUACION) Muestras de los adultos de palomilla de maíz, después de la irradiación a 2 GHz, 90 mW/cm², en línea coaxial.



(d)

Fig. 3.14.- (CONTINUACION) Muestras de los adultos de "*Sitotroga cerealella*", después de la irradiación en línea coaxial, a 2 GHz, 90 mW/cm².

La figura 3.15 es un gráfico, al mismo estilo del de la figura 3.10, que resume los resultados de las irradiaciones a 2 GHz, en función de la densidad de potencia recibida por las pupas a esa frecuencia. Los efectos sobre las pupas se han agrupado en uno solo, es decir, adultos muertos más deformes como un efecto conjunto.

Se observa en dicho gráfico que a mucha diferencia de los resultados con las pruebas a 9 GHz y menor densidad de potencia de trabajo, éstos son superiores. Esto indica que los efectos observados con la irradiación a 2 GHz fueron mejores que con 9 GHz, aunque obviamente se utilizó una mayor potencia con la primera.

No se observaron efectos sobre la reproducción semejantes a aquellos hallados a 9 GHz. Parece que este tipo de efecto sólo es dependiente de la frecuencia, a pesar que no hay una evidencia tan clara ni aquí ni en los reportes que señala la literatura consultada [10, 17, 19, 34, 40].

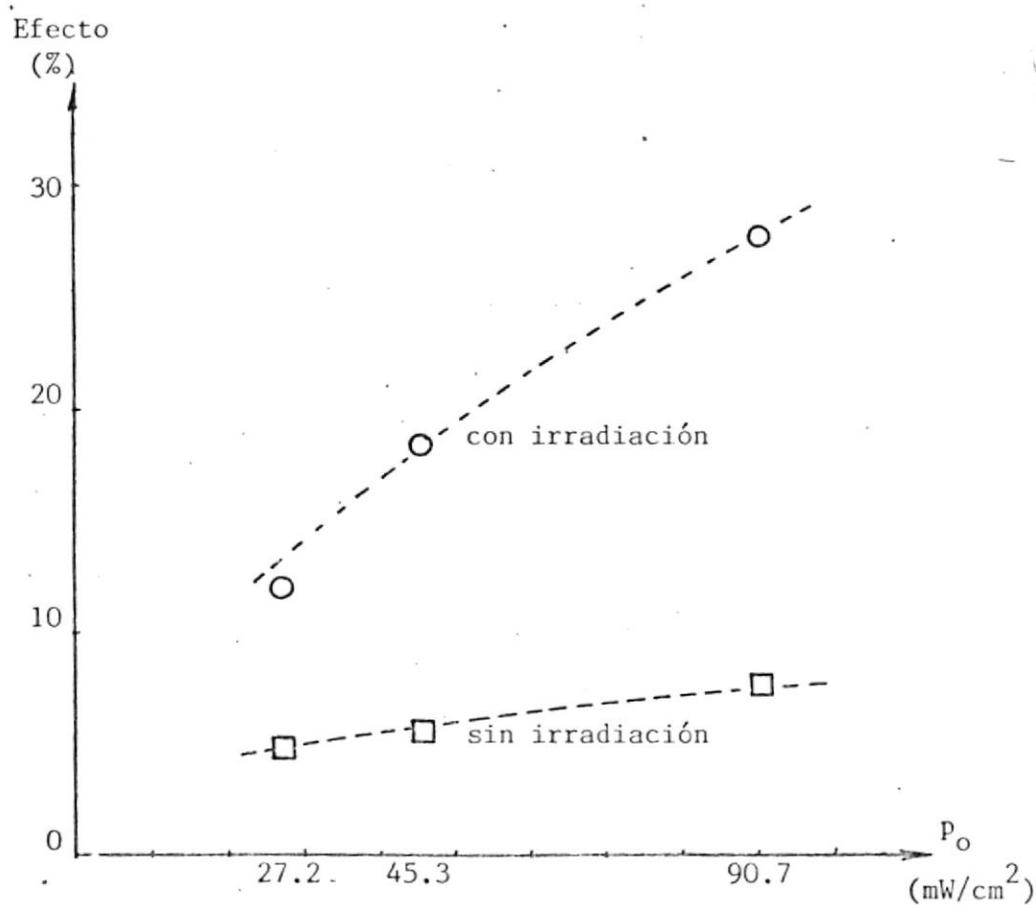


Fig. 3.15.- Gráfico de Valores Promedios del Efecto de Diferentes Densidades de Potencia, a 2 GHz. Se han considerado las deformaciones y muertes como un solo efecto.

CAPITULO 4

EVALUACION DE LOS RESULTADOS

Luego de haberse suministrado en los capítulos anteriores, toda la información pertinente al ensamblaje experimental, la metodología de laboratorio y la tabulación de las pruebas efectuadas, en este capítulo se muestra lo que concierne al análisis de los parámetros inherentes a las pruebas y sus resultados.

Así mismo, aquí se efectúa la debida correlación con resultados de otros reportes científicos que tratan sobre el tratamiento electromagnético de pupas (aunque de otras especies). Finalmente se indican los problemas encontrados (científica y operativamente), y las sugerencias para posteriores proyectos de investigación.

4.1.- CORRELACION CON OTROS REPORTES

El hecho de haberse realizado pruebas en dos frecuencias diferentes (2 y 9 GHz) y a distintos niveles de densidad de potencia (desde 0.8 hasta 90 mW/cm²), tal como resumidamente se observa en los gráficos ilustrados en las figu-

ras 3.10 y 3.15, nos lleva a utilizar esos resultados para hacer en primer lugar una inspección no solamente de la calidad científica de ellos sino más bien de la funcionalidad y aplicación práctica de los valores encontrados.

La tabla 4.I ilustra el extracto de los resultados generales en toda la gama de pruebas ejecutadas. En la tabla se dividen las pruebas considerando fundamentalmente el nivel de potencia empleado en las irradiaciones, por lo que se los niveles se dividen en 3: El nivel más alto A (empleado en las pruebas a 2 GHz, en una línea coaxial), corresponde al rango de los 100 mW/cm², usados sobre pupas de palomilla solas y acompañada de maíz. Los otros dos niveles, B y C, se usaron con la frecuencia de 9 GHz. El nivel B (6.9 y 12.8 mW/cm²), se lo empleó dentro de la guía rectangular usada en las pruebas a 9 GHz, sobre pupas solas, granos infestados y huevecillos. El nivel más bajo, el C, correspondió a las pruebas de irradiación emanada de la antena bocina en donde la densidad de potencia en la boca de la antena, a pesar de provenir de una fuente de 15 mW incidentes, era menor y llegaba a los 0.8 y 1.5 mW/cm².

En cuanto a los efectos teratológicos y letales, se observa que los trabajos en el nivel A y a 2 GHz, dieron

mejor resultado, arrojando efectos que llegaron al 15% en promedio. Esto se debió principalmente al valor de densidad recibida por las pupas durante el tratamiento, que fue cercano a los 100 milivatios por centimetro cuadrado. Los efectos teratológicos trabajando con el nivel B fueron poco

TABLA 4.1

CUADRO GENERAL DE RESULTADOS EXPERIMENTALES

especie: *sitotroga cerealella*

	f = 9 GHz		f = 2 GHz
	NIVEL B	NIVEL C	NIVEL A
	6.9-12.8 mW/cm ²	0.8-1.5 mW/cm ²	27.2-90.7 mW/cm ²
Efectos Letales y Teratológicos en los Insectos	< 5%	< 1.7%	< 15%
Efectos sobre la Capacidad Reproductora de los Insectos	< 20%	0	< 3%

importante; en cambio, con el nivel fue muy escaso, prácticamente despreciable. Parece que aunque fueron experimentos a diferentes frecuencia, el valor de la potencia fue un factor importante para que exista un efecto teratológico y letal evidente.

En cuanto a los efectos sobre la reproducción, resultó interesante el apreciable efecto (cercano al 20% de reducción poblacional de generación a generación) en los 9 GHz, nivel B. El uso del nivel C no provocó efectos sobre la capacidad reproductora. Sin embargo, los resultados fueron un tanto sorprendidos en el nivel A, en donde se esperaban mayor intensidad de los efectos pero ocurrieron en menor porcentaje que con el nivel B (menos de 3 %). Los comentarios sobre los efectos sobre la capacidad reproductora y su presunta incidencia con la frecuencia y densidad de potencia, son explicados en la sección 3.2.

Parece, de los resultados observados en la tabla 4.1 y en las otras tablas específicas vistas en la sección 3.2, que los efectos sobre la capacidad reproductora en la palomilla de maíz ocurren con mayor importancia a los 9 GHz y a niveles medianos de densidad de potencia (del orden de los 10 milivatios por centímetro cuadrado). Para que este

tipo de efecto suceda no es necesario usar niveles más altos, en donde sí pueden ser importantes los efectos letales (térmicos) y los teratogénicos. Esta es una forma simple de controlar la población de insectos en un silo infestado con plaga entomológica.

En lo que respecta a los efectos teratológicos específicamente, los cuales fueron abiertamente más observados durante la evaluación de los resultados (ver sección 3.2), sí podría ser preferible utilizar densidades relativamente altas (como la del nivel A) para acentuar estos efectos; sin embargo, puede ser conveniente -de acuerdo al tipo de aplicación- que el control teratológico sobre la *sitotroga cerealella* sea suficiente en el nivel B, puesto que 5 % puede significar según el caso un "buen porcentaje"; todo depende del nivel de daño cero considerado (ver este concepto en la sección 1.1).

En conclusión, los efectos letales, y especialmente los teratológicos, sobre la palomilla de maíz, fueron aceptables trabajando con el nivel B y a 9 GHz, y fueron mejores trabajando con el nivel A y a 2 GHz. Por otro lado, los efectos sobre la capacidad reproductora de la palomilla de maíz sólo fueron importantes trabajando a 9 GHz y en el nivel B.

Otras pruebas experimentales narradas en la literatura fueron realizadas con otras especies; sin embargo, si vale la pena correlacionar algunos de sus resultados con los de este Proyecto.

Por ejemplo, G.A. Lindauer ^[9], trabajando sobre el *tenebrio molitor*, reportó daños teratogénicos en esa especie para niveles mayores a 8.6 mW/cm². Por otro lado, L.M. Liu ^[11] halló resultados similares sobre las pupas de esa misma especie.

Pero trabajando con el escarabajo de monte de pino, H.S. Whitney ^[13] no obtuvo resultados positivos, ni tampoco pudo demostrar los resultados de Lindauer y Liu, al irradiar sobre *tenebrio molitor* con las mismas condiciones de laboratorio de ellos. Whitney concluyó que la respuesta a la irradiación a bajo nivel (10-100 mW) es una función de las condiciones fisiológicas de las células y los tejidos irradiados, función que puede variar ampliamente en una misma especie.

J.E. Page ^[10] de la Universidad Politécnica de Madrid, España, en sus estudios preliminares, no encontró diferencias muy significativas en la cantidad de deforma-

ciones y en el número de huevecillos de la puesta, entre individuos testigos e individuos tratados.

Comparativamente con todos los anteriores estudios experimentales, los resultados encontrados en las pruebas del Proyecto 310.02 han sido satisfactorios. Los resultados aceptables en efectos teratológicos a 2 GHz y 90 mW/cm², y en efectos antirreproductivos a 9 GHz y 12.8 mW/cm², pueden ser catalogados -viendo otros estudios similares- como útiles para dar las bases inmediatas de una aplicación práctica.

Los estudios experimentales de irradiación no ionizante sobre pupas de insecto, han derivado en otro tipo de pruebas en donde se combina las microondas con algún otro tipo de irradiación. Esta clase de experimentación tiene como objetivo el complementar los efectos de las microondas que en la práctica pueden resultar poco satisfactorio a una cierta frecuencia y a un cierto nivel de potencia, en comparación con otras dosis. La irradiación combinada -que no ha sido estudiada experimentalmente en el Proyecto 310.02-, lleva en algunos casos al control completo de los insectos estragadores.

E.W. Tilton [12.40], mediante la combinación de microondas, vacío y rayos gamma, logró un control completo de la infestación de *sitotroga cerealella* (en norteamérica llamada Palomilla Granera de Angoumois), en granos almacenados de centeno y maíz, aunque sólo desarrolló un control parcial en granos de trigo. Dicho autor, siguiendo el mismo tratamiento, logró resultados muy favorables en otras plagas (*rhisopertha dominica*, *sitophilus zeamais* y *sitophilus oryzae*) [12.35,36,39,41].

Los resultados del P.I. 310.02, son hasta cierto punto, más prósperos que algunos de los ilustrados en la literatura, con excepción de aquellos estudios que emplearon irradiación de microondas combinada con rayos gamma o técnica al vacío.

La implantación de un sistema irradiador de microondas en el caso práctico de un silo de dimensiones reales, debe tomar en cuenta muy detenidamente los valores de densidad de potencia (milivatios por centímetro cuadrado) y tiempo de tratamiento. En particular, refiriéndonos a los mW/cm^2 , los efectos encontrados en los experimentos ejecutados en este Proyecto tienen validez en función de cuántos mW/cm^2 recibe la espécimen sea en laboratorio o sea en cualquier lugar de

un silo real. Por consiguiente la implantación de un sistema aplicado tiene que tomar en cuenta principalmente ese parámetro, por consiguiente la potencia de la fuente debe estar directamente ligada a ese valor y a la modalidad del ensamblaje de microondas empleado dentro del silo. Las pruebas aquí realizadas usaron 1, 2 o 3 horas de exposición, según el caso.

En cuanto a la tecnología de aplicación de los resultados arrojados por las pruebas en el proyecto P.I. 310.02, ésta es explicada en la sección 4.3, en donde se especifican los parámetros físicos, eléctricos y electromagnéticos más importantes que ayudarían a conformar la aplicación de las microondas (en este caso, a 2.45 GHz, que es una frecuencia popularmente utilizada) en un silo de dimensiones acordadas en este Informe.

En la sección 4.3. también se especifican los tipos de proyectos de investigación que podrían derivarse a partir del alcance de los resultados de este proyecto. Estos proyectos de investigación se refieren a temas básicos, unos aplicados a otras especies infestadoras en el litoral ecuatoriano, y otros aplicados a otros tópicos concernientes a la ESPOL o a intereses públicos y privados.

4.2.- PROBLEMAS ENCONTRADOS

La ejecución del P.I. 310.02 tuvo algunas situaciones que ocasionaron cierto contratiempo, sea en la parte experimental en sí, sea en los mecanismos administrativos. Por lo tanto aprovecharemos esta sección para señalar a continuación las más destacadas de esas situaciones, ya que tuvieron en alguna forma, su trascendencia en el desarrollo integral del Proyecto (y aunque ciertos ocurrieron inevitablemente):

- a) La temática del Proyecto fue especial, en vista de que combina dos ciencias muy distantes: la **entomología** (o sea, el estudio de los insectos, el cual se basa en la biología), y la **electrónica** (específicamente, el área de los equipos y sistemas de microondas aplicados a irradiación de cuerpos biológicos). Esta combinación, que podríamos decir que pertenece a la ciencia moderna denominada **bioelectromagnetismo**, o más específicamente, a la **agrónica**, acarrea definitivamente algunos problemas de interconocimiento. La razón importante es que no existe en nuestro -todavía- la especialización en ese campo.

No obstante lo anterior, el trabajo interdisciplinario, en campos no convencionales del conocimiento, fue interesante para el personal responsable del Proyecto. Además este tipo de acción permitió abrir un nuevo alcance a la entomología y a la electrónica aplicada científicamente y profesionalmente en nuestro país.

- b) Basándose en el anterior argumento, vale señalar el problema de coordinación y transporte que hubo en la ejecución del Proyecto. Esto se derivó del hecho de que las pruebas fueron realizadas en el Laboratorio de Radiofrecuencia de la Facultad de Ingeniería; en cambio las pupas y huevecillos fueron gestados en el Laboratorio de Entomología de la Estación Experimental de INIAP en Boliche (a 27 Km de la ciudad de Guayaquil).

- c) Quizás uno de los problemas específicos que ocasionó ciertas expectativas y demoras, fue la ejecución de las fotografías de los insectos en su estado adulto (sea deforme, muerto o normal). El problema fue por la cercanía de las tomas y las pequeñas dimensiones de las especies. Este pro-

blema fue superado eventualmente con la contratación forzada de un fotógrafo profesional.

- d) Evidentemente, uno de los primeros problemas encontrados y que ocasionó verdaderos retrasos para iniciar con efectividad el Proyecto, fue el costo involucrado en la adquisición de equipos de microondas. La maraña burocrática en el proceso de importación mismo también ayudó al retraso. Este fue un problema prácticamente administrativo.

Es importante indicar que los costos de equipos y elementos relacionados con las microondas, son muy altos en el mercado internacional. Hablando de laboratorios de enseñanza o investigación, el costo por "set" de un equipo así es del orden de 4 a 6 veces superior que para equipos y componentes de otros laboratorios (como uno de electrónica simple, por ejemplo).

Esta fue una de las causas que impidió la adquisición de equipos de alta potencia, y se optó por equipos de menor nivel tal como fue explicado en los primeros capítulos.

4.3.- PERSPECTIVAS PARA OTROS PROYECTOS

Los resultados obtenidos en este Proyecto, ya mostrados y analizados en las secciones 3.2 y 4.1, llevan a pensar en la posibilidad de desarrollar otros proyectos de investigación no solamente de tipo científico (aún en el plano básico) sino también en el campo tecnológico, orientados concretamente al uso eventual de los resultados específicos de este proyecto.

a) Derivación de Proyectos Científicos:

El Proyecto PI 310.02 fue un trabajo de investigación que además de fusionar dos ciencias completamente diferentes (entomología más electromagnetismo), ha intentado esculpir un primer paso en un método nada tradicional de control de insectos en silos. Por lo tanto, parece razonable que sus resultados ponen de manifiesto la necesidad de proseguir en la búsqueda de mejores perspectivas encuadradas meramente en el campo científico. Entonces, podemos indicar que como derivación del proyecto 310.02 podrían ser factible los siguientes proyectos de base científica:

- a.1. Consolidación del trabajo de este proyecto, integrando otras posteriores investigaciones que trabajen con la irradiación de otras especies que azoten a los productos almacenados. En esta forma se logrará tener a la mano un paquete de criterios científicos que permitan diversificar sistemáticamente la acción de nuevos rumbos en esta nueva técnica del control de insectos en el litoral ecuatoriano.
- a.2. Ampliación -a través de otras investigaciones-, al estudio de alternativas científicas con miras a utilizar las microondas (especialmente las de bajo nivel de potencia) en el control de otra clase de plaga en la agricultura, tales como hongos y malezas. Trabajos de esta naturaleza estarían proporcionando un ordenado énfasis al uso del control electromagnético en todas las áreas del control de plagas.
- a.3. Análisis de la alternativa de emplear las microondas (de bajo, mediano o alto nivel de potencia) en el control de insectos que constituyan una plaga a la sociedad especialmente a los residentes de las ciudades del litoral ecuatoriano. Esta ha sido una pregunta obligada de aquellas personas que por una u otra razón se en-

teran del tema del proyecto PI 310.02, en el sentido de perurgir una aplicación concreta de las microondas en el control de grillos, mosquitos y moscas. El autor estima que esta dirección es de mucho interés ciudadano, y por lo tanto vale la pena un apoyo institucional.

a.4. Examen de la perspectiva de emplear las microondas en el control de plagas predadoras en otras tecnologías, tales como acuicultura. El personal ya detectó la posibilidad de desarrollar en la ESPOL, en conjunto con el personal respectivo, un proyecto dirigido al uso de microondas para controlar el desarrollo de hongos predadores en estanques de cultivo de camarón o larvas de camarón. También habría la alternativa de estudiar el uso de ondas electromagnéticas de alta frecuencia en el estímulo del crecimiento de especies de cultivos bioacuéuticos (de aguas de mar y de río).

a.5. Irradiación de semillas de variedades vegetales, que pueda producir el mejoramiento de éstas, sea en el contenido de proteínas o en la reducción del tiempo de germinación y crecimiento. Esta investigación arrojaría resultados que podrían permitir el incremento de la producción agrícola en las zonas rurales.

a.6. Investigación del uso de microondas en la destrucción de microorganismos vegetales en el procesamiento de alimentos preservados, con el fin de evitar la adición innecesaria de compuestos químicos en los alimentos.

b) Usos Tecnológicos del Proyecto PI 310.02:

Evidentemente los resultados de este Proyecto, con la medida del caso y la debida dirección y supervisión, pueden ser utilizados directamente en el desarrollo de un paquete tecnológico principalmente aplicado al control de la palomilla de maíz (*Sitotroga cerealella*) que infesten el maíz almacenado en silos. De acuerdo a los resultados mostrados en la sección 3.2, el nivel de potencia adecuado -y de menor costo de potencia- es el de los 90 mW/cm²; por lo tanto será simplemente necesario establecer un sistema de microondas de una potencia tal que la especie irradiada (ubicada en la mayoría de la masa de granos en el silo) reciba aproximadamente ese nivel de densidad de potencia por lo menos.

Básicamente los lineamientos generales para implantar un sistema de irradiación pueden, en extracto, ser los siguientes (ver figura 4.1):

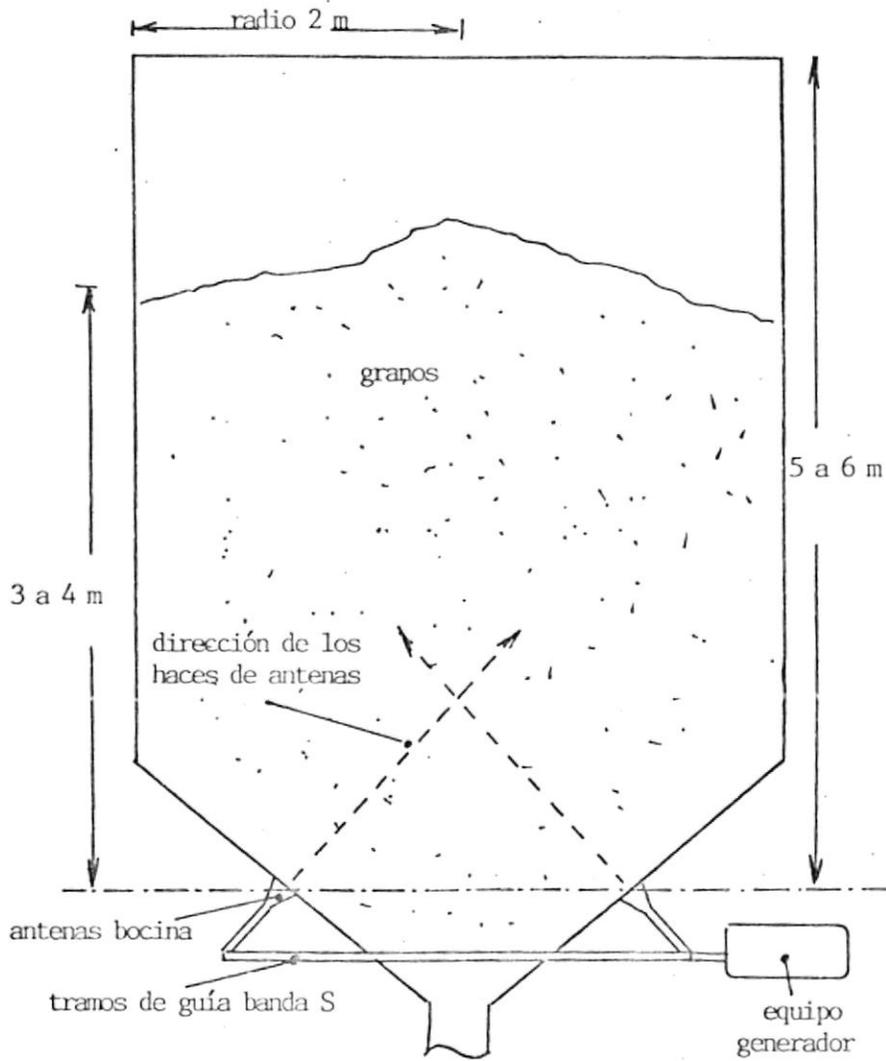


Fig. 4.1.- (a) Dibujo de un silo ejemplo para la implantación de un sistema de irradiación a 2.45 GHz. Vista lateral.

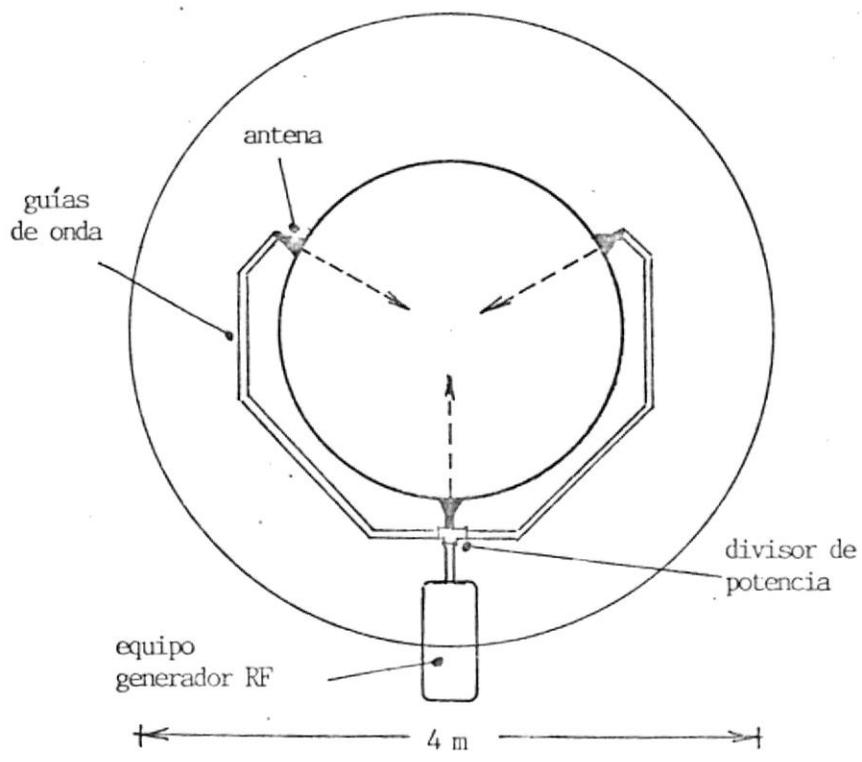


Fig. 4.1.- (b) Vista superior de la implantación de un sistema de irradiación a 2.45 GHz, en un silo ejemplo.

- La frecuencia sugerida para empezar a utilizar las microondas en el control sistemático de insectos que infestan silos de grano almacenado, es la de 2.45 GHz. Esta frecuencia es popularmente conocida porque se produce en los magnetrones comunes de hornos de microondas, y por lo tanto su consecución puede resultar sencilla.

- Las sugerencias indicadas aquí son válidas para el tratamiento de la palomilla de maíz (*sitotroga cerealella*), aunque la tecnología puede ampliarse a otras especies de pestes de silo, siempre y cuando se realice un estudio previo sobre cada caso particular.

- La fuente deberá tener una capacidad mínima de 4 KW de radiofrecuencia emitida en onda continua, para poder asegurar la recepción de aproximadamente unos 100 mW/cm² en el cuerpo de pupas que estén localizadas hasta 2 m de distancia de la antena como mínimo. Pueden usarse una fuente pulsada, pero esto no ha sido analizado experimentalmente en este Proyecto. Para generar ondas electromagnéticas de esta potencia, se necesitaría un

equipo generador que consuma cerca de 9 a 12 KW (dependiendo del modelo y marca del equipo), y por lo tanto la energía eléctrica de alimentación debe ser trifásica, 60 Hz, 220 V. Dada la potencia alta de emisión de este tipo de fuente, será necesario adoptar medidas de seguridad mucho más exigentes que las usadas en este Proyecto. Por lo tanto, será indispensable la supervisión idónea.

- El equipo generador de 2.45 GHz y los accesorios respectivos (tales como uniones, conectores, cables, etc.), tendrán que ser importados, porque no es posible su fabricación en el Ecuador.

- Lo que sí es posible fabricarlo en nuestro país, son los tramos de guías de onda y las antenas bocina, ya que las exigencias en cuanto a atenuación en las paredes de guía no son críticas en este tipo de construcción (aunque para largos tramos, sí son importantes), y además las dimensiones transversales de la guía son mayores que las de banda X empleadas en este Proyecto. No es obligación usar tampoco una línea coaxial, ya que el resultado será similar y la operación más simple con un en-

samblaje de guía rectangular. Las dimensiones necesarias para fabricar la guía rectangular son 8.3 cm X 3.7 cm, que son aquellas aconsejables para trabajar a 2.45 GHz. Trabajando con una guía de dichas dimensiones, la frecuencia de corte será 1.81 GHz: suficientemente baja para transmitir sólo el modo dominante (TE_{10}) y suficientemente alta para no propagar con demasiada atenuación. La antena bocina deberá tener una boca de 26.4 cm X 19.6 cm, para ser compatible con los valores de ganancia y patrón de radiación empleados en este Proyecto. Tanto la guía como las antenas pueden fabricarse de aluminio.

- La aplicación de un sistema igual al descrito en los anteriores párrafos, podrá ser hecha en un silo de 5 a 6 m de altura, de sección transversal circular de 2 m de radio (aunque puede ser un silo de sección cuadrada, no más allá de 5 m de lado). La colocación de las antenas y la ubicación de los tramos de guía, equipos y accesorios, deberá ser siguiendo los dibujos ilustrados en la figura 4.1. Ahí se observa la asunción de una masa de grano de 3 - 4 m de altura, lo cual arregla un nivel de

densidad de potencia no menor a 100 mW/cm^2 con la superposición de los tres haces de antena (ver figura 4.1).

- El arreglo estandarizado mostrado en la figura aludida sólo constituye un punto de partida para ilustrar un ejemplo concreto. Por consiguiente no debe mirárselo como un ejemplo único y válido para cualquier dimensión de silo o especie de insecto o variedad de grano. En el caso particular deberá recurrirse a la dirección técnica respectiva y al asesoramiento científico previo.

- Vale la pena indicar que este no es un proyecto de investigación (como los señalados al inicio de esta sección), sino que es un proyecto de inmediata concreción para resolver algún problema que sea detectado en el almacenamiento de productos de postcosecha. Será conveniente, desde este punto de vista, que la ESPOL por intermedio del organismo u oficina pertinente, promueva la bondad del proyecto, haciendo énfasis en su importancia científica y ecológica; pero a la vez, haciendo notar los riesgos y altos costos involucrados.

- El presupuesto en sucres, aplicado al caso ejemplar de la figura 4.1 es el siguiente:

- Fabricación de las 3 antenas bocina	\$ 36.000.00
- Fabricación de tramos correspondiente a 9 metros de guía de aluminio	\$ 93.000.00
- Adquisición del equipo generador a 2.45 GHz	\$ 540.000.00
- Adquisición de accesorios de banda S	\$ 155.000.00
subtotal	\$ 824.000.00
- Costos de instalación y dirección	\$ 150.000.00
- Imprevistos y varios	\$ 50.000.00
TOTAL	\$ 1'024.000.00

(un millón veinticuatro mil sucres y 00/100)

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se ha terminado un Proyecto de Investigación que ha tomado un tiempo quizás mayor que el que se esperaba, pero que ha servido para explorar otras alternativas no tradicionales para controlar insectos que infestan silos de grano almacenado. Puede decirse que las Conclusiones esenciales, tras dicha jornada, son las siguientes:

- 1.- En cuanto a los resultados específicos arrojados por las pruebas experimentales del Proyecto P.I. 310.02, se concluye que las microondas con niveles entre 50 a 100 mW/cm^2 de densidad de potencia, producen efectos letales y especialmente teratológicos, muy atractivos y por lo tanto aceptables para aplicarlos en el establecimiento de un sistema prototipo que se use en los silos de almacenamiento de granos en el agro. La frecuencia de operación que resultó eficiente durante las pruebas sobre la especie *sitotroga cerealella*, fue la de 2 GHz, aunque la utilización de otras frecuencias de hecho merece ser explorada. Esta aplicación debe seguir los lineamientos dados en el capítulo 4 de este Informe (para poder asegurar la efectividad de la implantación), y pa-

ra un mejor funcionamiento se podría usar un generador que opere a 2.45 GHz, que es una de las frecuencias estándares denominadas ISM (es decir, para usos Industrial, Científico y en Medicina).

- 2.- Queda demostrado el alcance de esta aplicación tecnológica, ya que permite ampliar las actividades de investigación y servicio a la comunidad rural que la ESPOL puede prestar, en su calidad de institución de educación superior. Por otro lado, el proyecto atrajo la atención de ciertos organismos y científicos extranjeros, que en algunos aportaron con ideas al autor de este trabajo durante su ejecución.

- 3.- También ha quedado demostrado el potencial de la interacción en cuanto a trabajos interdisciplinarios se refiere. Es importante indicar que este es una necesidad de las instituciones e individuos de la época y con mucha más razón en nuestro país: trabajar en conjunto con otros individuos o instituciones, y así extender su campo para que interactúe con otras ciencias y disciplinas, en bien de la comunidad. En el caso del Proyecto P.I. 310.02, se hizo un trabajo interesante con entomólogos (profesión muy distinta a de la ingeniero

electrónico), y se movilizaron cosas entre dos instituciones de diferente naturaleza (INIAP y ESPOL).

A partir de estas conclusiones, y como consecuencia del análisis pertinente, el producto final de este trabajo puede observarse en las Recomendaciones siguientes:

- a.- La ESPOL debe continuar trabajando en temas de investigación no tradicionales, pues éste es un paso importante hacia el desarrollo de nuestra propia capacidad de capacitación y manejo de recursos de nuestro territorio. Además, el trabajar con temas no convencionales permite a una institución agresiva como es ESPOL, poder producir paquetes tecnológicos acordes con las necesidades del medio y estar a la vanguardia de la universidad ecuatoriana y andina.

- b.- En cuanto a la ingeniería en electricidad se refiere, es recomendable continuar con la política de expansión y extensión de la electricidad y electrónico, hacia áreas no convencionales. Sólo en esta forma se cumpliría un verdadero papel de nuestra profesión en la sociedad. Se vé que la interacción con otros campos científicos y profesionales tales como medicina, biología o agricultura

ra (tal como fue con el P.I. 310.02), puede traer como consecuencia buenos réditos a mediano y largo plazo para la profesión.

c.- La sección 4.3, en su subparte (a), da a conocer una serie de posibilidades para realizar futuros proyectos de investigación relacionados con la interacción entre la electrónica, el electromagnetismo y la electricidad, con la solución de ciertos específicos problemas en la agricultura del litoral ecuatoriano. Por otro lado, la misma sección 4.3, en su subparte (b), recomienda ciertas especificaciones técnicas concretamente relacionadas con el uso práctico de los resultados del proyecto, es decir la utilización de la energía electromagnética de alta frecuencia (2.45 GHz, 4 KW RF) para controlar sistemáticamente la población de palomilla de maíz (*sitotroga cerealella*) dentro de un silo de medidas prefijadas por el autor. Todas estas recomendaciones merecen ser analizadas institucionalmente para examinar las perspectivas de su utilización bajo el auspicio de la ESPOL.

R E F E R E N C I A S

- 1.- J. Anderson y J. Spear, "Desde Washington: Usos de Pesticidas pueden ser Catastróficos", *D. El Universo*, (12 Jun./85), pp. 22.
- 2.- E.J. Coello, "Hagamos Conciencia sobre los Pesticidas Peligrosos", *D. El Universo* (20 Nov./85), pp. 10.
- 3.- s/a (Boletín de Prensa), "Llegó Cargamento de Herbicidas para Venta Directa a Agricultores", *D. El Universo*, (27 Nov./85), pp. 12.
- 4.- Fundación Natura, "Denuncia Fundación Natura: En País se Usan Plaguicidas que son Altamente Tóxicos", *D. El Universo*, (10 Jun./85), pp. 16.
- 5.- s/a (Boletín de Prensa), "Advertencia Ante el Peligro: Los Plaguicidas en el Ecuador", *D. El Universo*, (7 Nov. 85), pp. 24.
- 6.- J. Montalvo, "Pesticidas a la Carta", *R. La Otrá*, No.23, (20 Feb./87), pp. 50.
- 7.- Y. Rossler, *Aplicaciones de la Técnica Insectos Estériles (TIS) para el Control de la Mosca Med* (México, 1970), pp. 3.
- 8.- G.A. Rubio, "Pruebas Experimentales con Pupas de Sitotroga Cerealella Irradiadas con Ondas Electromagnéticas de 9 GHz" (Tesis, Fac. de Ing. Eléctrica, ESPOL, 1986).
- 9.- G.A. Lindauer, L.M. Liu, G.W. Skewes y F.J. Rosenbaum, "Further Experiments Seeking Evidence of Nonthermal Biological Effects of Microwave Radiation", *IEEE Trans. en MTT*, vol. MTT-22 (Ago./74), pp. 790.

- 10.- J.E. Page y C. Camacho, "Efectos de la Radiofrecuencia Sobre los Insectos: Aplicaciones al Control de Plagas", *R. Mundo Electrónico*, No. 113 (Ene./82), pp. 83.
- 11.- L.M. Liu, F.J. Rosenbaum y W.F. Pickard, "The Relation of Teratogenesis in *Tenebrio Molitor* to the Incidence of Low-Level Microwaves", *IEEE Trans. en MTT*, vol. MTT-23 (Nov./75), pp. 929.
- 12.- E.W. Tilton y H.H. Vardell, "Combination of Microwaves and Partial Vacuum for Control of Stored-Product Insects in Stored-Grain", *R. Georgia Entomological Soc.*, vol. 17, No. 1 (Jun./81), pp. 106.
- 13.- H.S. Whitney y M.M.Z. Kharadly, "Some Results on Low-Level Microwave Treatment of the Mountain Pine Beetle and the Darkling Beetle", *IEEE Trans. en MTT*, vol. MTT-32, No. 8 (Ago./84), pp. 798.
- 14.- C.A. Becerra, "Energía de Alta Frecuencia para Controlar Plagas en la Agricultura", *R. Poligra* (Abr./82), pp. 58.
- 15.- S.O. Nelson y L.E. Stetson, "Possibilities for Controlling Insects with Microwaves and Lower Frequency RF Energy", *IEEE Trans. en MTT* (Dic./74), pp. 1303.
- 16.- P.C. Clemmow, *An Introduction to Electromagnetic Theory* (Cambridge Press, Londres, 1973).
- 17.- C.C. Johnson y A.W. Guy, "Nonionizing Electromagnetic Wave Effects in Biological Material and Systems", *Proc. de IEEE*, vol. 60, No. 6 (Jun./72), pp. 692.
- 18.- F. S. Barnes y C.J. Hu, "Model for Some Nonthermal Effects of Radio and Microwave Fields on Biological Membranes", *IEEE Trans. en MTT*, vol. MTT-25, No. 9 (Sep./77), pp. 742.

- 19.- R.L. Carpenter y E.M. Livstone, "Evidence for Nonthermal Effects of Microwave Radiation: Abnormal Development of Irradiated Insect Pupae", *IEEE Trans. en MTT*, vol. MTT-19 (Feb./71), pp. 173.
- 20.- A.D. Imms, *A General Textbook of Entomology* (London Press, Londres, 1957).
- 21.- M.A. Ballabriga et al, "Los Insectos (Lepidópteros)", *Encic. de Las Ciencias*, Tomo III, Salvat (1968), pp. 266.
- 22.- C.L. Metcalf y W.P. Flint, *Destructive and Useful Insects* (McGraw-Hill, N.Y., 1962).
- 23.- C.A. Becerra y G.A. Rubio, "Experimental Tests on Sitotroga Cerealella by Using Very Low-Power Microwave Irradiation", *X Simp. Intern. Microondas*, Brasil (Jul./87), presentado para participación.
- 24.- M. Klee y R. Plonsey, "Stimulation of Spheroidal Cells-The Role of Cell Shape", *IEEE Trans. en Biomed. Eng.*, vol. BME-23, No. 4 (Jul./76), pp. 347.
- 25.- J. Ondracek, J. Zdárek, V. Landa y J. Datlov, "Importance of Antennae for Orientation of Insects in a Non-Uniform Microwave Electromagnetic Field", *R. Nature*, vol. 260, No. 5551 (Abr./76), pp. 552.
- 26.- C. Becerra, "Estimation of Membrane Potential by Using a Simple Model of Spherical Biological Cell", en preparación.
- 27.- P.J. Garrahan y A.F. Rega, *Transporte a Través de la Membrana Celular* (Monografía No. 18, Programa Reg. de Desarrollo Cient. & Tecnol., OEA, Washington, D.C., 1977).

- 28.- R.E. Collin, *Foundations for Microwave Engineering* (McGraw-Hill, N.Y., 1966).
- 29.- F.S. Barnes, "Cell Membranes Temperature Rate Sensitivity Predicted From the Nernst Equation", *R. Bioelectromagnetics*, vol. 5 (1984), pp. 113.
- 30.- H.N. Kritikos y H.P. Schwan, "Potential Temperature Rise Induced by Electromagnetic Field in Brain Tissues" *IEEE Trans. en Biom. Eng.*, vol. BME-26, No. 1 (Ene./78) pp. 29.
- 31.- F.S. Barnes, "Interaction of DC Electric Fields with Living Matter", *CRC Handbook of Biol. Effects of Electromagnetic Fields* (1985), pp. 99.
- 32.- O. Mario, O. Delfina y R. Hugo, "Informe Técnico: Almacenamiento de Maíz a Nivel de Hacienda", *D. Postcosecha* (Rio de Janeiro, Brasil, Marzo/Junio 1985), pp. 6.
- 33.- R.S. Elliott, *Antenna Theory and Design* (Prentice-Hall, Inc. N.J., 1981).
- 34.- D.R. Green, Jr., F.J. Rosenbaum y W.F. Pickard, "Intensity of Microwave Irradiation and the Teratogenic Response of *Tenebrio Molitor*", *Radio Science*, vol. 14, No. 6S (Nov.-Dic./79), pp. 165.
- 35.- E.W. Tilton y H.H. Vardell, "An Evaluation of a Pilot-Plant Microwave Vacuum Drying Unit for Stored-Product Insect Control", *J. Georgia Entomol. Soc.*, vol. 17, No. 1 (Ene./82), pp. 133.
- 36.- E.W. Tilton, H.H. Vardell y R.D. Jones, "Infrared Heating with Vacuum for Control of the Lesser Grain Borer, (*Rhyzoperthia Dominica* F.) and Rice Weevil (*Sitophilus Oryzae* (L.)) Infesting Wheat", *J. Georgia Entomol. Soc.*, vol. 18, No. 1 (Ene./83), pp. 61.

- 37.- R.L. Kirkpatrick, J.H. Brower, E.W. Tilton y G.A. Brown, "Gamma and Microwave Radiation to Control the Rice Weevil in Wheat", *J. Georgia Entomol. Soc.*, vol. 8, No. 1 (Ene./73), pp. 51.
- 38.- J.H. Brower, "Radiosensitivity of *Tribolium Destructor* Uyttenboogaart (Coleoptera: Tenebrionidae)", *J. Stored Product Res.*, vol 11 (Mar./75), pp. 223.
- 39.- E.W. Tilton y J.H. Brower, "Supplements Treatments for Increasing the Mortality of Insects During Irradiation of Grain", *Food Technology*, vol. 39, No. 12 (Dic./85), pp. 75.
- 40.- E.W. Tilton, J.H. Brower, G.A. Brown y R.L. Kirkpatrick, "Combination of Gamma and Microwave Radiation for Control of the Angoumois Grain Moth in Wheat", *J. of Economic Entomol.*, vol. 65, No. 2 (Abr./72), pp. 531.
- 41.- E.W. Tilton y H.H. Vardell, "Combinations of Partial Vacuum with Microwave or Infrared Heating of Grain for Insect Control", *USDA/Agricult. Research Service, SPIRD Lab.* (Savannah, Georgia, E.U., 1970), pp. 538.
- 42.- R. L. Kirkpatrick, J.H. Brower y E.W. Tilton, "Gamma, Infrared and Microwave radiation Combinations for Control of *Rhyzopertha Dominica* in Wheat", *J. Stored Product Res.*, vol. 9 (Mar./73), pp. 19.
- 43.- W.J. Baerg, *Introduction to Applied Entomology* (Burgess Pub., Minneapolis, E.U., 1951).
- 44.- D.S. Hill, *(Agricultural Insect Pest of the Tropics and their Control*, Cambridge Press, E.U., 1983).
- 45.- M. Curtis Wilson, D.B. Broersma y A.V. Provonsha, *Fundamentals of Applied Entomology*, Cap. VIII -Principles of Pest Management-, Cap. XIII -Insecticide Hazards to Mankind-, (2da. edic., Waveland Press, Illinois, E.U., 1977).

- 46.- F.J. Baur, *Insect Management for Food Storage and Processing*; Insect Pest Identification; An Overview of Post Harvest Insect Research Performed by USDA, ARS Laboratories (American Assoc. of Cereal Chemist, St. Paul, Minnesota, E.U., 1984).
- 47.- R.E. Pfadt, *Fundamentals of Applied Entomology* (4ta. edición, Mc. Millan Press, E.U. 1985).
- 48.- D.L. Gunn y J.G.R. Stevens, *Pesticides and Human Welfare, The Importance of Pesticides in Developing Countries* (Oxford Univ. Press, G. Bretaña, 1976).
- 49.- R.R. Cogburn, C.N. Bollich, T.H. Johnston y W.O. Meilratgh, "Environmental Influences on Resistance to *Sitotroga Cerealella* in Varieties of Rough Rice", *Enronment. Entomol. J.* (1980), vol. 9, pp. 689-693.
- 50.- J.E. Lee, Jr. y G.C. Taylor, "Agricultural Research: Who Pays and Who Benefits?", (*Research for Tomorrow*, US Dept. de Agricultura, 1986 Yearbook of Agriculture), pp. 14-22.
- 51.- D.W. Dik y C.B. Travieso, "Future Role of Electronic Technology in Agricultural Research and Extension", (*Research for Tomorrow*, US Depto. de Agricultura, 1986 Yearbook of Agriculture), pp. 272-281.
- 52.- Prasad Kadaba, Comunicación verbal, Lexington ,KT, Abril de 1986.
- 53.- P. Kadaba, *A Prototype Microwave Applicator for Efficient Weed and Pest Control*, (Informe Técnico: Univ. de Kentucky, Lexington, KT, Abril de 1976).
- 54.- William Pickard, Comunicación escrita a C. Becerra, St. Louis, Missouri, Febrero de 1986.

- 55.- A.E. Fuste, "Microondas y sus Aplicaciones a la Mejora de la Rentabilidad Agrícola, (*Rev. Mundo Electrónico*, No. 113, Enero de 1982), pp. 73.
- 56.- Frank Barnes, Comunicación escrita a C. Becerra, Boulder, Colorado, Enero de 1987.
- 57.- John Brower, Comunicación verbal , Gainesville, Florida, Abril de 1986.
- 58.- Gómeñ Rubio, Comunicaciones verbales, Guayaquil, Ecuador, 1986.

P.I. 310.02

ANEXOS

APENDICE A

DESARROLLO Y ESTADOS POSTEMBRIONARIOS

DE LOS INSECTOS

La evolución de los insectos pasa por algunas etapas que van desde el desarrollo embrionario en el huevecillo hasta el insecto en estado adulto. El desarrollo **embrionario** se refiere al periodo previo a que el insecto emerge del huevecillo, es decir antes de su nacimiento formal. El desarrollo **postembrionario** se refiere a las etapas posteriores al huevo, y es el desarrollo más importante desde el punto de vista morfológico del insecto hasta alcanzar su estado adulto. Es necesario suministrar una explicación sobre esta evolución por cuanto este Informe emplea los vocablos "pupas" y "huevecillos" a menudo. Este Apéndice intenta describir las principales características del desarrollo postembrionario, precisamente porque los experimentos de irradiación fueron realizados con huevecillos y pupas, y porque la evaluación de los efectos se la efectuó observando la evolución de la espécimen hasta la adultez.

Una vez completado el desarrollo embrionario, el insecto sale del huevo y alcanza el estado adulto mediante un cre-

cimiento interrumpido solamente por modificaciones de la organización de su cuerpo, que son las mudas y metamorfosis. El crecimiento del cuerpo del insecto preadulto es siempre cíclico con partes evolutivas estáticas alternadas con partes definitivamente dinámicas.

La muda consiste en el recambio de la cutícula del tegumento ^(*) externo del cuerpo del insecto y sus intestinos. Al aproximarse la muda el insecto deja de nutrirse y reduce todas las demás actividades, acomodándose en una posición segura. Las células de la epidermis engruesan y pasan por numerosas mitosis; a continuación la misma epidermis segrega el líquido de la muda que contiene enzimas que atacan a las proteínas, la quitina y otras substancias que componen la cutícula del insecto "niño" [20].

El crecimiento de un insecto en el período de una muda a otra puede ser notable y detenerse durante el desarrollo de un proceso de muda (tal como sucede por ejemplo, en los *cariasis*). En otros casos (p.e., en la especie *nonotecna*), hay un notable crecimiento entre una muda y otra. El número

(*) El Tegumento es la capa que hace contacto con el medio ambiente del insecto. Es de constitución más bien compleja y comprende una cutícula, una epidermis y lo que se conoce como membrana basal, en su orden.

de mudas varía según las especies y grupos, e incluso dentro de una misma especie. La hembra por lo general muda más veces que un macho.

La muda influye en el crecimiento del insecto, pero generalmente no influye en las modificaciones fundamentales de la fisiología del insecto. La mayoría de los insectos modifican su constitución a través de un desarrollo metamórfico. El nombre específico de la metamorfosis aplicada al caso de los Lepidópteros (orden al que pertenece el *sitotroga cerealella*, tratado en la experimentación narrada en este Proyecto), es Holometeabolia [21].

La Holometabolia es la metamorfosis típica de los Endopterigotas, que se refiere a la categoría de insecto cuya morfología al salir del huevo es completamente distinta de la del adulto. Por ejemplo, si el adulto está provisto de alas, éstas aparecerán solamente en esa etapa y no antes. Esta es una forma diferente a la Heterometabolia, la cual es típica de los insectos de la categoría Exopterigotas. Los Holometábolos comprenden los ordenes de Insectos más evolucionados tales como *Lepidópteros*, *Coleópteros*, *Neurópteros*, *Hecópteros*, *Tricópteros*, *Dípteros*, *Estrepsípteros* y otros.

La figura A.1 muestra, para aclaración, un ejemplo de las fases sucesivas del desarrollo postembrionario de la forma holometábola [21]. El metabolismo de la *sitotroga cerealella* es igual a éste y se mostrará más adelante.

La Holometabolía se desarrolla fundamentalmente a través de diferentes estados larvarios, más o menos vermiforme, que pasan de larva recién nacida a larva madura mediante un cierto número de mudas que van aportando un crecimiento paulatino del volumen del animal y su gradual diferenciación física. Entre la larva y el adulto hay una fase de poco movimiento en la que se ejecuta la histólisis de los tejidos biológicos de la larva. Este estado del desarrollo del insecto, que se parece externamente a la larva madura se conoce como prepupa. A este estado le sigue la pupa que conlleva en su interior la organización del adulto iniciada en la prepupa. Frecuentemente la larva pasa esta etapa en lugares protegidos.

En el caso de los insectos infestantes de granos almacenados, la pasantía del estado pupario se realiza dentro del grano anfitrión. Siendo el período -en el caso de la *sitotroga cerealella*- desde la pupa al adulto, de aproximadamente 10 días, el proceso de evaluación de los efectos so-

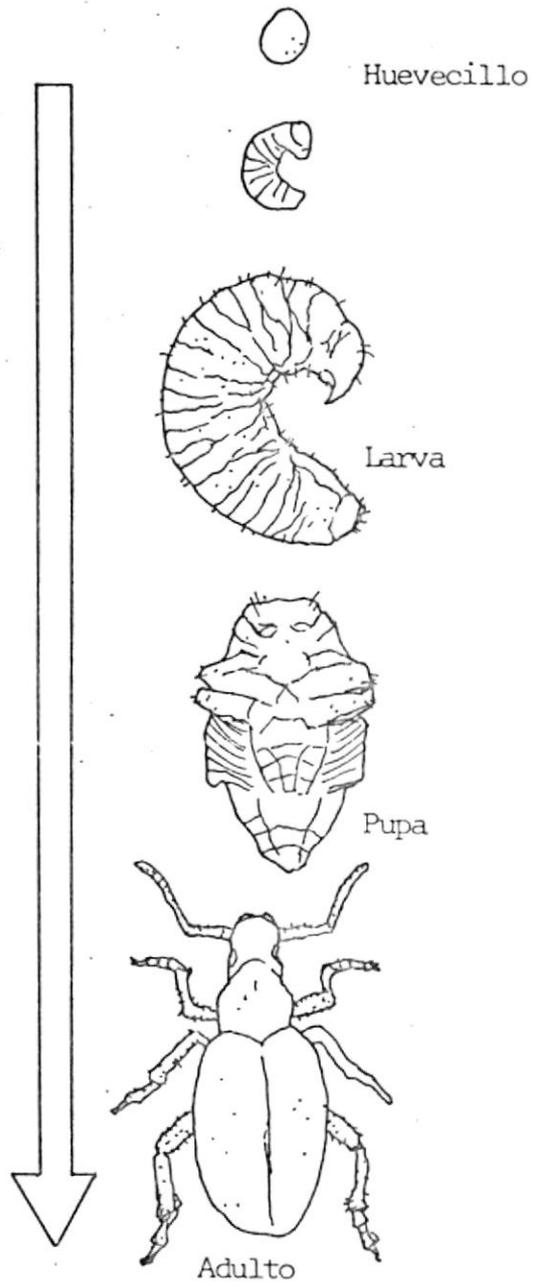


Fig. A.1.- Metamorfosis Típica Holometabólica.
Especie: *Otiorrhynchus*.

bre los insectos irradiados durante los experimentos del Proyecto, no tomó un tiempo largo [8].

El Apéndice D ilustra con mayor detalle la incidencia de la división metabólica Endopterigotas vs Exopterigotas. Esta división genera un tipo de clasificación de los Insectos, indicada en ese mismo apéndice.

APENDICE B

ECOLOGIA DE LOS INSECTOS

Se entiende por *Ecología* al estudio de las relaciones entre organismos y ambientes; es decir el estudio de las correlaciones entre las especies de insectos y los factores ambientales (temperatura, humedad y fotoperíodo) y los elementos nutritivos disponibles. Este Apéndice señala los principales aspectos de estas interacciones.

B.1.- Correlación con la Temperatura:

La temperatura del cuerpo de un insecto está relacionada con factores de índole interno, pero prevalentemente con factores ambientales. Es decir que no existe un sistema termoregulador similar al de las aves y mamíferos. Esta carencia de capacidad de autoregulación térmica de los insectos está suplida por un *termotactismo* que le permite seleccionar un determinado termoambiente conveniente.

Desde el punto de vista térmico los insectos pueden subdividirse en especies *euritermas* y *esteno-*

termas [20]. Las primeras son capaces de soportar y adaptarse a variadas temperaturas; y las segundas son aquellas especies que soportan variaciones de temperatura dentro de rangos muy limitados.

Por esta misma razón, el estudio del termocomportamiento de los insectos es demasiado complejo. En el caso de la incidencia de la temperatura ambiental sobre la efectividad del tratamiento de las microondas a que se refiere este Proyecto de Investigación, podemos decir que este tema requerirá de un análisis profundo muy separado, preferentemente entomológico y sujeto no solamente a los valores de temperatura de trabajo, sino muy especialmente a la especie de insecto con que se opera. Será necesario otros proyectos específicos en la rama de la entomología, que tengan como objetivo la averiguación de esta incidencia, ya que será necesario determinar -para cada tipo de prueba en particular- la relación del factor ambiental de temperatura en los efectos teratológicos de las microondas de baja potencia y muy particularmente, si así fuera el caso, en los efectos térmicos de las microondas. En esto último, será muy importante tomar en cuenta la relación del calor generado con el flujo por convección y

conducción desde el insecto al ambiente.

B.2.- Correlación con la Humedad Ambiental

En general, los insectos pueden percibir el grado de humedad ambiental. En unos casos la percepción actúa solamente en aire y en otros, sólo en presencia de un elevado índice de humedad.

Ya que hay una relación directa entre humedad, vapor de agua y temperatura, una percepción de la temperatura puede hacerse indirectamente a partir de la percepción del grado de humedad simplemente. Es decir, que el estudio de la incidencia de la temperatura ambiental sobre los efectos de las microondas en los insectos, va muy de la mano con el análisis de los valores de humedad encontrados ambientalmente. Por lo tanto, son estudios entomológicos prácticamente superpuestos y deben realizarse simultáneamente.

Vale resaltar el problema de la "resistencia a la evaporación", es decir resistencia al desecamiento corporal. Los insectos pueden vivir en condiciones extremas de sequedad dado que su exosqueleto les prote-

ge de una excesiva transpiración. Está demostrado que la *esclerotina*, presente principalmente en el turgumento de los insectos, ha sido un elemento esencial en la evolución de aquellos en la tierra, ya que por su dureza permite la conservación y adaptación. Esta substancia existe en ciertas partes del cuerpo de los insectos (cutícula y mandíbulas, especialmente), en unas especies más que en otras, dependiendo de la especie [20,21].

Normalmente la protección ofrecida por la cutícula a la evaporación alcanza su máximo espesor en ciertas especies que viven en zonas muy cálidas. Los Coleópteros tenebriónidos, por ejemplo, tienen esta capacidad de protección [22].

En las larvas de cutícula muy frágil, su protección a la evaporación puede llegar a ser grande. Por ejemplo, las larvas de la polilla puede desarrollarse en pieles secas o lanas. Ciertas larvas de Lepidópteros, en cambio, capaces de resistir la sequedad durante muchas semanas, no pueden sobrevivir a una destrucción parcial de la epicutícula protectora. Es entonces, evidente la fragilidad de la capa superficial de la cu-

tícula de ciertas especies de insectos, como los Lepidópteros. Por lo tanto, deberá realizarse más investigación sobre esta capacidad de protección en los insectos de grano almacenado -en especial, con la palomilla de maíz-, ya que el desarrollo de esta clase de protección puede tener relación con los efectos de las microondas en el mismo insecto, ya que al generarse calor por las radiofrecuencias dentro del cuerpo, existe por otro lado el fenómeno de evacuación de calor por conducción y convección.

APENDICE C

LOS INSECTOS Y EL HOMBRE

En cuanto a su relación con el hombre, los insectos pueden ser enfocados como útiles y perjudiciales, aunque hay ciertas especies que son indiferentes a esta relación. Este apéndice describe brevemente la amplia gama de usos y perjuicios dentro del marco de la interrelación hombre versus insecto, ya que es evidente la necesidad de ubicar el papel del objetivo del proyecto y su alcance, relacionándolos con su utilización social, haciendo evidente el beneficio o perjuicio que causan los insectos en los diversos escenarios donde cohabitan los insectos y el hombre. El proyecto 310.02 no es especializado en la entomología; sin embargo, si es conveniente pintar todas las perspectivas posibles en el plano científico.

C.1.- Insectos Utiles

Haciendo una descripción resumida de los notables beneficios de una gran número de especies de insectos, en primer lugar vale destacar a los polinizadores, en donde algunas especies de insectos desempeñan un papel

benefactor. Como sabemos, la reproducción de las plantas superiores se hace mediante la polinización, pero para obtener la fecundación es necesario que el polen llegue hasta el estigma. En el caso de las plantas entomófilas (o sea, aquellas polinizadas por insectos; muy diferentes a las plantas autofecundas las cuales usan su propio polen para la reproducción), éstas producen polen con características que facilitan su adhesión al tegumento del insecto que visita las flores [20].

En general, la polinización de algunas plantas depende de una sola o varias especies de insectos. Entre las diversas plantas que dependen de los insectos para efectos de polinización, se pueden nombrar algunas variedades frutales (manzano, peral, carezal, vid, y otras); otras herbáceas (como el melón, zanahoria, tabaco y las leguminosas forrajeras). El tema de la polinización y su repercusión es motivo de algunos estudios especializados.

Otra manera importante de utilizar los insectos en bien de la humanidad, es el caso de los productos comerciales derivados de los mismos insectos. Aquí se destaca la producción de miel, cera, jalea real,

seda, colorantes, etc [20, 21].

Ya que la demografía de los Insectos está limitada por las condiciones climáticas adversas y también por la presencia de sus enemigos de origen vegetal o animal, bajo formas depredadoras o parásitas, y enfermedades. Por lo tanto, la reproducción extraordinaria de insectos dañinos puede ser natural o artificialmente frenada por los insectos denominados entomófagos, cuya alta población es indudablemente uno de las importantes factores de control de especies perjudiciales [22].

La mayoría de los insectos entomófagos parásitos trabajan eficientemente únicamente en estado larvario, mientras que por otro lado los adultos tienen rara vez comportamiento similar. La larva del parásito puede nutrirse del anfitrión desde el interior de éste o sino externamente, ocasionándole por lo general la muerte.

Los diversos grados de parasitismo de insectos deben ser correctamente definidos por los especialistas en el sentido de que el hiperparasitismo resultará útil o perjudicial para el hombre y su economía, dependiendo

cuál sea el anfitrión del parásito. El estudio de esta **lucha biológica**, introducida desde la segunda mitad del siglo pasado, está en función del aprovechamiento humano de la actividad de los parásitos y los depredadores.

En ciertos casos, que evidentemente deben aclararse en alguna investigación especializada, las microondas de bajo nivel podrían ocasionar efectos teratológicos en contra, dependiendo de la dosis y especie de insecto. Es decir, la irradiación podría llegar a aumentar la reproductividad o tamaño de la especie tratada. Este adverso efecto teratológico podría ser empleado para aumentar la población de un insecto entomófago que a su vez llegaría a controlar indirectamente a una segunda especie [10].

La lucha biológica natural estrictamente hablando no puede dar resultados del todo agradable, ya que entre las poblaciones del fitófago y las de sus parásitos y depredadores se ha establecido prácticamente un sistema natural de equilibrio. Este equilibrio se altera muchas veces por el uso de los insecticidas, tales como los orgánicos sintéticos (cloroderivados, és-

teres fosfóricos, etc.). Esto ha motivado varios estudios, especialmente en el cultivo de frutales, que tienden a racionalizar una lucha integrada, parte biológica parte química, que tiene como objetivo el aprovechamiento máximo de la actividad de los depredadores y parásitos, en combinación con con la aplicación limitada y periódica de insecticidas químicos.

Adicionalmente a lo descrito brevemente arriba, en materia de insectos útiles, se puede mencionar a las especies de Insectos que se dedican a destruir sustancias en descomposición. También se puede mencionar a los Insectos del Suelo (cuya actividad ayuda a modificar las propiedades físicas del suelo). Por otro lado, existen clases de Insectos útiles al hombre en el sentido de que son Insectos destructores de plantas perjudiciales y aquellos Insectos que se emplean como alimento (costumbre que existe en ciertos países solamente, mas no el Ecuador).

C.2.- Insectos Perjudiciales

Desde el punto de vista del perjuicio directo, los Insectos pueden parasitar al hombre, o indirectamente

pueden perjudicar la salud humana como simples vectores de gérmenes patológicos.

Hay insectos perjudicadores que pican al hombre y le inyectan la secreción de determinadas glándulas salivales o anexas al aparato reproductor femenino. De éstos hay una gran cantidad en la tierra, desde los que producen simples irritaciones hasta los que provocan notables casos de envenamiento.

Por otro lado, podemos anotar a los insectos que perjudican al humano invalidando tejidos biológicos como ocurre con ciertos *dípteros* que pasan su estado larvario como parásitos internos del hombre y provocan las llamadas *miasis*. Las especies que producen miasis son por lo general tropicales, como la *Dermatobia hominis*, *Cordylobia anthropophaga*, *Sarcophaga haemorrhoidalis*, *Wohlfartia magnifica*. Vale la pena señalar que desde el punto de vista médico, el término miasis se refiere a la manifestación de unas lesiones de las cuales son más responsables las bacterias que invaden al tejido como consecuencia de la presencia del díptero parásito [20, 21, 22].

Los Insectos también perjudican al hombre transmitiendo enfermedades, y este es el mayor daño que realizan a la humanidad. Basta con hablar de la **malaria** (transmitida por los *Anopheles*), contra la que la OMS inició una campaña mundial en 1957, con el soporte de cada gobierno; sin embargo, hasta la fecha aún hay zonas en las que el programa no ha podido ser aplicado totalmente o simplemente los programas no han arrojado los resultados esperados.

La transmisión del organismo infectante al humano puede ser por dos vías. Primeramente, por transmisión **mecánica**, es decir desde un hospedante a otro y sin ningún período intermedio de desarrollo. La otra vía es por **transmisión cíclica o biológica**, que se hace desde el ambiente al hospedante, y es necesario que el parásito pase por un período de inoculación en el insecto que hace las veces de hospedante intermediario.

La transmisión mecánica la hace por ejemplo la mosca doméstica, díptero que puede llegar a distribuir bacterias de tuberculosis, tifus y disentería amebiana.

La transmisión biológica es un evento común en

algunas variedades de insectos, de los denominados Hematófagos (los que se alimentan de sangre). La malaria por ejemplo, tiene su origen en los protozoos del género *Plasmodium* (destructor de los glóbulos rojos de la sangre), los cuales son transmitidos por el *Anopheles*. El tipo de malaria depende del tipo de protozoo transmitido.

Otros hematófagos transmisores son los Anopluros, tales como el *Pediculus humanus* (piojo), los Afanipteros como la *Kenopsylla cheopis* (pulga) [22].

Por otra parte, vale señalar que un escenario en donde una gran variedad de especies provocan notables perjuicios sobre el hombre, es en la AGRICULTURA, sea a las plantas cultivadas o a los productos almacenados. Podríamos decir que casi todos los cultivos, no importando la zona donde se encuentren, son atacados en mayor o menor grado por Insectos que se nutren directamente de las plantas o depositan los huevos en ellas, provocando un deterioro físico o transmitiendo una enfermedad determinada.

En cuanto al daño que los insectos causan a los

productos almacenados, podemos decir que los productos de origen animal o vegetal, almacenados en silós o contenedores con fines alimentarios, son los que más son atacados por insectos dañinos. Aunque también es notable el daño causado por insectos en productos almacenados de fines no alimentarios. En efecto, hay coleópteros que son insectos xilófagos (comemadera) pueden infestar madera almacenada e inclusive muebles y vigas.

También hay insectos de los tejidos, que atacan y deterioran ciertos tipos de vestidos, mantas o tapices. Las especies que hacen este daño son Coleópteros Dermísticos de los géneros *Anthrenus* y *Attagenus*, o sino los Lepidópteros Tineidos de los géneros *Tinea* y *Tineola*.

Pero por sobre todas las cosas y dado especialmente porque este proyecto los trata, los insectos de los alimentos son agentes de daño y deterioro en general en muchas substancias alimenticias, tales como carne, queso, cereales, semillas, frutas, etc.

La importancia de este problema y la forma cómo

resolverlo precisamente es en parte el objetivo del proyecto de investigación P.I. 310.02. Una contribución de esta naturaleza se justifica plenamente por cuanto la acción perjudicial de los insectos sobre la producción en el mundo entero provoca anualmente inmensas pérdidas que oscilan aproximadamente entre el 10 al 12 % de producción de productos cultivados y almacenados. Aproximadamente esto equivale a señalar que el desperdicio de un año serviría para alimentar unos 100 millones de personas durante un año.

Los estragos que causan los insectos a la agricultura (cultivos y almacenados) son de alto índice en todo el mundo, en países desarrollados y con más razón en aquellos en vías de desarrollo. La tabla D.I muestra las pérdidas promedios estimadas de cosechas potenciales en varias zonas mundiales y considerando diversos productos de cultivo y almacenamiento. Esta información es exactamente válida para 1973, pero da una idea aproximada del problema [48,49,50,51].

Los agentes que principalmente provocan aquella desavenencia son los Lepidópteros Pirálidos (*Ephestia*, *Plodia interpunctella*), Lepidópteros Geléquidos (*Sito-*

TABLA D.I

PERDIDAS ESTIMADAS PROMEDIOS DE COSECHA DURANTE 1973

LATINOAMERICA	PERDIDAS (%)
Maíz	40
Arroz	25
Algodón	33
Caña de Azúcar	26
Café	40
Banano	29
Vegetales	44
Frutas	42
Frejoles	46

AFRICA	PERDIDAS (%)
Algodón	23
Cacao	51
Café	32
Banano	36
Vegetales	61
Frutas	64
Aceite de Palma	19

ASIA (excluyendo Japón)	PERDIDAS (%)
Arroz	30
Cereales	32
Algodón	24
Vegetales	47
Frutas	39

troga Cerealella), Lepidópteros Tineidos (*Tinea granella*), Coleópteros Tenebriónidos (*Tenebrio molitor*, *Tribolium*), Coleópteros Dermésticos (*Dermestes*) y Coleópteros Curculiónidos (*Calandria granaria*, y *Calandria oryzae*). Todos estos insectos atacan los granos y harinas. Hay vegetales almacenados que pueden ser atacados por insectos; por ejemplo el tabaco puede ser dañado por el coleóptero anóbido *Lasioderma serricorne* y el Lepidóptero Pirálido *Ephestia cautella* [22].

Entre las variedades anteriormente nombradas, está la *sitotroga cerealella*, que es un lepidóptero gélquido y en el Ecuador se lo llama popularmente **palomilla del maíz**. Físicamente luce como una mariposa de pequeño tamaño. El esquema fundamental usado en el Proyecto es la irradiación experimental de huevos y pupas de esta especie, teniendo como anfitrión al maíz, en la búsqueda de una ruta científica hacia el dominio del control de la población de insectos dañinos de granos almacenados, como una alternativa racional al uso de productos químicos de control. El Apéndice D ilustra la ubicación de la *sitotroga cerealella* en la clasificación (o taxonomía) de los Insectos, detallando la morfología de dicha especie, así como las caracte-

ísticas de sus estragos.

C.3.- El Triángulo Insectos - Pesticidas - Hombre

La búsqueda de una alternativa que reemplace con eficiencia a los pesticidas en el control de insectos en la agricultura, es un problema muy complejo y el proyecto P.I. 310.02 simplemente presenta un criterio concreto con respecto al establecimiento de una alternativa: el control electromagnético. La situación de los pesticidas ante el problema de la toxicidad de sus residuos y los consecuentes perjuicios a la salud del hombre, la vida silvestre y al medio ambiente, es un problema viejo pero no ha sido todavía elevado a la categoría de "crisis mundial". Este letargo peligroso se debe principalmente -con el respeto de algún otro criterio- a la fuerza comercial de las compañías fabricantes de pesticidas, las cuales han buscado afanosamente mantener sus productos en el mercado del pequeño y gran agricultor. El problema se magnifica si nos ponemos a pensar en aquellos productos plaguicidas extranjeros que siendo prohibidos en el país original, se establecen ser sólo para exportación y a ser recibidos incontroladamente en el país importador. En

el mes de Julio de 1985, después de un brillante trabajo de la Fundación Natura ("El Mal Uso y Abuso de los Plaguicidas en el Ecuador" y "Los Plaguicidas en el Ecuador: Más Allá de una Simple Advertencia"), se produjo una primera prohibición del gobierno nacional a una lista de productos insecticidas importados por ser nocivos a la salud y haber sido prohibidos en otros países. Esto pone de manifiesto la importancia de la búsqueda de la alternativa al control químico de insectos y el trascendente papel del proyecto 310.02.

Los químicos usados en el control de plaga impregnan el suelo, agua, plantas y animales, formando una cadena alimenticia. Por ejemplo, si un cultivo de alfalfa es rociado con un insecticida organoclorado, la comida elaborada para las gallinas en base a este producto, tendrá residuos del insecticida, en un nivel que puede llegar a ser dañino para la salud del consumidor de la gallina. En efecto, el plaguicida se acumulará en los tejidos grasos y en los huevos; por consiguiente cuando un humano consume carne de gallina o huevos, también acumulará el tóxico en sus tejidos con potenciales consecuencias desagradables.

Según una encuesta realizada por la PAN Internacional entre unos 60000 plaguicidas [6], se anota que los productos químicos de control de plagas considerados como peligrosos están los siguientes: el DDT; los Drines (Aldrin, Eldrin, Dieldrin); el Clordano/Heptacloro; el Lindano/HCH; el Paratión; los Monocrofos (Azodrin, Monocrón, Nuvacón); el Aldicarb (Temik); el Clordimeform (Galecrom, Fundal); el Paraquat; Fosforados (Malathión, Phosvel); y otros.

Otros estudios hechos en el país indicaron que la contaminación de los alimentos que consumo diario, por causa de la aplicación de pesticidas en cultivos cultivados o almacenados, es alta y hasta cierto punto alarmante. Los residuos de insecticidas se detectaron en los productos lácteos, cárnicos, cereales, aceites comestibles, legumbres, frutas, tubérculos y huevos. En Esmeraldas hay predominio de contaminación con DDT; en cambio, en Quito y Guayaquil, hay predominio del Lindano. En general, se demostró en los estudios que los pesticidas clorados, diferentes al DDT, se encuentran contaminando alimentos en concentraciones hasta cinco veces superior al límite máximo permitido por organismos internacionales [1,2,3,4,5,6].

Es evidente, conforme a los estudios, que se ha producido un incremento de plagas resistentes a los químicos. Las estadísticas indicaron que para 1974 se conocían ya 35 patógenos (hongos y bacterias) resistentes; para 1976 ya habían 67. De 1960 a 1980 el número de especies de insectos resistentes se triplicó de 137 especies a 432 ^[4].

Tal como se expresó también en el Capítulo 1 de este Informe, hay innumerables razones para concluir que el uso de pesticidas en el mundo y en el Ecuador, está trayendo potenciales problemas a la salud del hombre, los animales y el medio ambiente. Para reforzar todo lo dicho y finalizar este Apéndice, indiquemos tan sólo unos pocos casos mostrativos que han ocurrido en otras partes del mundo ^[1]:

- * En Brasil: 12 niños perecieron por causa de desmesurados niveles de contaminación con *aldrin* en la sangre e hígado. Estos pesticidas habían sido prohibidos un año antes en los Estados Unidos.

- * En Tijuana (México): 17 personas fallecieron

y más de 300 enfermaron gravemente, después de ingerir azúcar contaminada con *parathión*, pesticida que su uso -mas no su fabricación- está restringido en el país exportador del producto.

* En Tailandia: De una población de 3800 habitantes, 24 personas murieron y más de 300 fueron afectadas por el uso de pesticidas en los cultivos locales. Se encontraron niveles peligrosos de residuos de pesticidas en el 75% de las muestras de arroz y harina, en más del 40% de las legumbres, aceite de cocina y pescado de agua fresca.

* En Egipto: Una cantidad indeterminada de personas -a más de 400 búfalos- murieron por la exposición al pesticida *phosvel*. Las familias campesinas sufrieron convulsiones, dificultades para hablar, incontinencia y otros síntomas. Dicho producto químico es fabricado en el país original sólo para exportación.

APENDICE D

TAXONOMIA DE LOS INSECTOS

La Taxonomía es la rama de las ciencias que tiene por objeto la clasificación lógica de los seres vivos, en este caso de los Insectos. La mecánica adoptada por la mayoría de tratados de entomología, clasifica a los Insectos partiendo de la unidad biológica fundamental (el individuo), por lo que cada sistema taxonómico se basa en la clasificación de los individuos los que, cuando tienen características similares, se agrupan en la especie. La especie se define como grupos de poblaciones interfecundas, aisladas desde el punto de vista reproductivo de otros grupos similares. La especie no es una entidad estática constantemente igual a sí misma, sino que tiene la posibilidad de modificarse -lentamente, por lo general- y llegar a dar origen a otras especies.

Hay clasificaciones especiales de los Insectos, adaptadas de acuerdo a algún parámetro en particular. Una de esas es la clasificación por el Régimen Dietético. En ella, las especies pueden ser zoófagas (las que se nutren de sustancias animales) y fitófagas (aquellas que se nutren de subs-

tancias vegetales). Entre las primeras se destacan los insectos entomófagos (los que se alimentan de insectos), hematófagos (los que se nutren de sangre), coprófagos (los que se nutren de excrementos) y los zoonecrófagos (que se alimentan de animales muertos). Los insectos fitófagos se subdividen principalmente en rizófagos (los que se alimentan de raíces), espermófagos (aquellos que se alimentan de semillas), filófagos (que suelen comer las hojas), glucófagos (los que utilizan las sustancias azucaradas como alimento), xilófagos (que se nutren de maderas), carpófagos (que se alimentan de frutos) y antófagos (aquellos que se nutren de flores).

Pero la formal taxonomía de los Insectos -la más utilizada por los científicos-, parte de la agrupación de las especies que existen en alguna forma relacionadas estrechamente. En tal caso, la agrupación de esas especies conforma el Género. Los géneros se reagrupan formando una Familia. La agrupación de Familias llega a formar la Superfamilia, y ésta se agrupan definiendo lo que se conoce con el nombre de Orden.

La Tabla D.I muestra la clasificación de Insectos, pero partiendo del Insecto como una Clase del Reino Animal. Esta

tipificación^[21] trae como consecuencia la división de la Clase Insecto en Subclase, y luego sucesivamente en Cohorte y Subcohorta que finalmente llega a dividirse en Orden.

La clasificación que aparece en dicha tabla, se deriva de la gran división de los insectos en términos de su tipo de metamorfosis (ver Apéndice A), en EXOPTERIGOTAS (Heterometábolos) y ENDOPTERIGOTAS (Holometábolos), que es el Cohorte. Los Exopterigotas se dividen en los Subcohortas (Paleópteros; Pliniópteros; y Paraneópteros). Los Endopterigotas sólo tienen un Subcohorta (los Oligoneópteros).

Finalmente se aprecia en la tabla que cada subcohorta se divide en varias Ordenes, entre las cuales están los Lepidópteros, que es el orden específico a que pertenece la especie la *sitotroga cerealella*, motivo principal en la parte experimental del Proyecto 310.02.

Por supuesto aquí no vamos a utilizar espacio para describir todas y cada una de estas especies, ya que se trata únicamente de enseñar la ubicación taxonómica del insecto empleado en la experimentación. Por lo tanto pasaremos directamente a explicar lo referente al Orden Lepidóptera, hasta llegar a la *sitotroga cerealella*.

TABLA D. I

DIVISION DE LA CLASE INSECTO

COHORTE	SUBCOHORTE	ORDEN
	→ <i>Paleópteros</i>	↑ → <i>Efemerópteros</i> → → <i>Odonatos</i>
	↑	→ <i>Blatoideos</i> → <i>Mantoideos</i> → <i>Isópteros</i>
<i>Exopterigotas</i>	↑ → <i>Polineópteros</i>	↑ → <i>Zorápteros</i> → → <i>Plecópteros</i> ↓ → <i>Grilloblatoideos</i> → <i>Dermápteros</i> → <i>Fasmoideos</i> → <i>Ortópteros</i>
	↓	→ <i>Psocópteros</i>
	↓ → <i>Paraneópteros</i>	↑ → <i>Maofagos</i> → → <i>Anopluros</i> ↓ → <i>Tisanópteros</i> → <i>Hemipteros</i>
		→ <i>Neurópteros</i> → <i>Mecópteros</i> → <i>Tricópteros</i>
<i>Endopterigotas</i>	→ → <i>Oligoneópteros</i>	↑ → <i>LEPIDOPTEROS</i> → → <i>Dípteros</i> ↓ → <i>Anafípteros</i> → <i>Coleópteros</i> → <i>Estrepsípteros</i> → <i>Himenópteros</i>

Los Lepidópteros (de los vocablos griegos *escama* y *ala*), corresponde a una de las 5 órdenes más amplios de los Insectos y se conocen aproximadamente 120000 especies. Ellos presentan la característica de tener las alas completamente recubiertas de diminutas escamas imbricadas y el aparato bucal chupador de particular constitución. Los Lepidópteros son insectos con dimensiones que van desde los 30 cm (en ciertos Papiliónidos) hasta los 3 mm. Presentan metamorfosis completa (es decir, holometábola), con larvas eruciformes. El Apéndice A explica lo que es esta clase de metamorfosis.

La clasificación de los Lepidópteros no llega todavía a una definitiva. De manera general, podemos indicar que una clasificación aún válida es aquella que clasifica a los Lepidópteros en los Subórdenes *Homoneura* y *Heteroneuras*. Estos últimos se subdividen en las Secciones de los *Monotrisos* y *Ditrisos*. Los *Ditrisos* (que es la sección de nuestro interés) se subdividen en diferentes SUPERFAMILIAS las cuales agrupan a las FAMILIAS.

Las 26 Superfamilias en que subdividen los *Ditrisos* son las siguientes [21]:

- 1) Cosioideos
- 2) Tineoideos
- 3) Pluteloideos
- 4) Grifipterigoideos
- 5) Psicoideos
- 6) Tortricoideos
- 7) Castnioideos
- 8) Hiponomeutoideos
- 9) Copromorfoideos
- 10) GELEQUIODEOS
- 11) Pteroforoideos
- 12) Piralidoideos
- 13) Endromidoideos
- 14) Bombicoideos
- 15) Saturmoideos
- 16) Geometroideos
- 17) Uranioideos
- 18) Drepanoideos
- 19) Esfingoideos
- 20) Coclidioideos
- 21) Caliduloideos
- 22) Zinegoideos
- 23) Notodontoideos
- 24) Noctuoideos

- 25) Hesperioideos
- 26) Papilionoideos

Como se observa, es una gran cantidad de superfamilias a lo que habrá que contabilizar el número de Familias por cada una, con sus respectivas especies. El estudio completo de todas las especies del orden Lepidóptero es una pasión de los amantes de la entomología. En nuestro caso, el interés se deberá concentrar únicamente en los GELEQUIOIDEOS (la Superfamilia Gelechioidea).

Los Insectos Gelequioideos forman las siguientes Familias [21]:

- 1) Ecofóridos (*Oecophoridae*)
- 2) GELEQUIDOS (*Gelechiidae*)
- 3) Elaquistidos (*Elachistidae*)
- 4) Mófidos o Cosmopterígidos (*Momphidae*)
- 5) Douglásidos (*Douglasiidae*)
- 6) Escitrididos (*Scythrididae*)
- 7) Coleofóridos (*Coleophoridae*)
- 8) Blastobásidos (*Blastobasidae*)
- 9) Criptofásidos o Xilorrictidos (*Cryptophasidae*)

De estas nueve Familias, la que nos interesa es la de los **Geléquidos**. De ésta hay cerca de 4000 especies. Presentan las alas anteriores de bordes subparalelos, redondeados en el ápice, y las alas posteriores a menudo con el apex puntiagudo y el borde inferior cóncavo. Las larvas de los Geléquidos pueden nutrirse de semillas u hojas, ser matoradoras de granos, excavar tuberías en tallos y tubérculos.

A esta familia pertenece la especie *sitotroga cerealella*, cuya forma adulta se ilustra en la figura D.1. A esta especie se la denomina vulgarmente **Palomilla** o más concretamente, **Palomilla del Maíz** (en el Ecuador) o **de los Graneros**, o sino **Palomilla de los cereales** o **palomilla dorada**. En los países de habla inglesa la especie se conoce como "Angoumois Grain Moth" (palomilla granera de Angoumois), cuyo nombre proviene como causa de sus estragos en trigo en la provincia francesa de Angoumois desde 1936 [43,44,47].

La palomilla de maíz estraga maíz y trigo, en cultivo y en almacenamiento (más en esto último). Infesta los granos con sus larvas maduras y pupas, y éstos pueden reconocerse por la presencia de una ventanilla en los granos dañados. Ya como adulto, éste emerge por la ventanilla del grano.

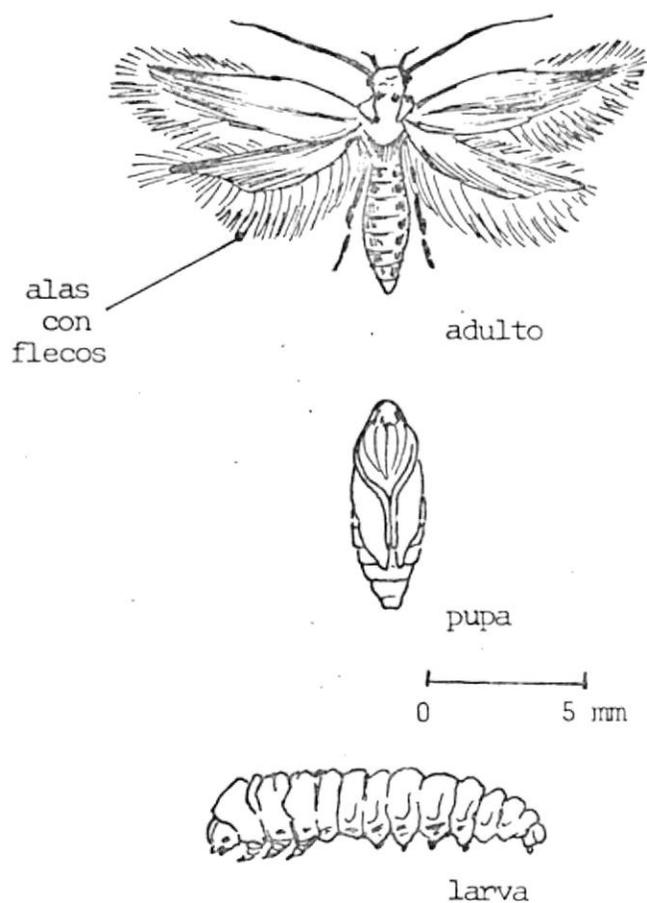


Fig. D.1.- Dibujo Representativo de la Especie "Sitotroga Cerealella" (Palomilla del Maíz). Evolución larva-pupa-adulto.

La *sitotroga cerealella* es una peste seria en la mayor parte del mundo (ver el mapa de la figura D.2). La infestación puede empezar en el campo cultivado y puede alcanzar niveles serios antes de ser trasladada a los silos de almacenamiento. Su distribución es cosmopolita en las zonas tropicales y subtropicales de la tierra.

Los huevos de la palomilla de maíz son puestos en la superficie del grano. Las larvas son alargadas, de color blanco sucio, cerca de 8 mm de largo, y su cuerpo está cubierto de una fina capa protectora. Barrenan el grano para introducirse y alimentarse de él. Antes de la pupación, forman un canal a la superficie dejando la capa seminal intacta.

La pupa de la *sitotroga cerealella* (que es la que más se empleó en los experimentos), es de color café casi dorado, de unos 5 o 6 mm de largo.

El adulto es pequeño de color café pálido, de unos 7 mm de largo y con alas doradas de 15 mm de envergadura; y es de corta vida. Las hembras ponen en promedio 40 huevecillos, aunque pueden llegar a poner más allá de los 200. El ciclo de vida desde el huevecillo hasta el adulto toma alrededor



Fig. D.2.- Mapa que muestra las zonas donde predomina la "sitotroga Cerealella".

de 5 semanas a 30°C promedio. La figura D.1 muestra la evolución de esta especie desde la larva a la pupa.

El control de la *sitotroga cerealella* se lo hace comúnmente con fumigación de lindano sobre las mazorcas o sobre las bolsas de trigo, en los cultivos. A veces se usa también malatión, y otras pocas veces (por lo restringido) se usa bromometilos. Este es el control químico, que es el único que se realiza para contrarrestar los estragos de la palomilla del maíz en el Ecuador y el mundo.

APENDICE E

MODELO DE LA INTERACCION ELECTROMAGNETICA

EN UN GRANO INFESTADO

El problema de la interacción de un campo electromagnético sobre el insecto y el material anfitrión (es decir, grano almacenado, plantación, etc.), se lo representa aquí modelado muy simplificado como una esfera de material que tiene una constante dieléctrica K_i (que representa al insecto en forma de pupa), embebida en un medio muy extenso de constante dieléctrica uniforme K_o (que representa al grano anfitrión infestado por dicha pupa) [14, 15]. La figura E.1 ilustra esta modelación simplificada, aclarándose que la pupa real de *sitotroga* es alargada, pero en esta modelación se simplifica su geometría para facilidad del análisis.

Intentemos a continuación encontrar la relación matemática que existe, entre las intensidades de los campos eléctricos en los dos medios. Para ello aplicaremos principios válidos en Electrostática, ya que estamos considerando las dimensiones de la pupa muy grandes en comparación con la longitud de onda electromagnética del problema. En efecto, una

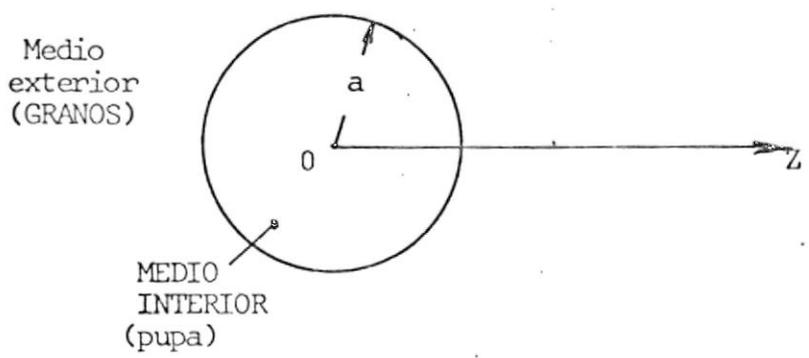


Fig. E.1.- Modelo Esférico Simplificado de un Insecto (en estado de PUPA) embebido en una masa de granos.

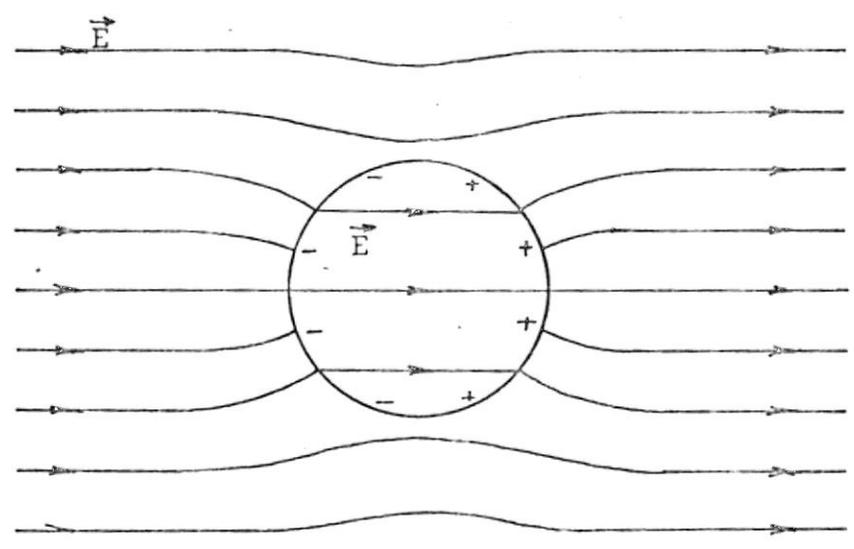


Fig. E.2.- Líneas de Flujo del Campo Eléctrico de Esfera Dieléctrica embebida en Campo Uniforme.

pupa "esférica" de *sitotroga cerealella* en los experimentos del Proyecto puede tener un radio de unos 2 mm; mientras que las longitudes de onda involucradas son 33 mm (para la frecuencia de 9 GHz) y 150 mm (para 2 GHz). Por lo tanto, no es necesario usar la ecuación de Helmholtz, sino la ecuación de Laplace o Poisson.

Supongamos que la esfera dieléctrica de radio a (fig E.1) se halla embebida en un medio que contiene un campo eléctrico uniforme E_0 . Supondremos que el dieléctrico es lineal, isotrópico y homogéneo, y que no tiene carga. Tomemos un sistema de coordenadas con su origen en el centro de la esfera, y la dirección de E_0 como la dirección polar (dirección z). Expresando el potencial eléctrico $V(r, \theta)$ como una suma de los armónicos de zona ^[10, 16] tendremos:

$$V(r, \theta) = A_0 + C_0 r^{-1} + A_1 r \cos \theta + C_1 r^{-2} \cos \theta \\ + A_2 r^2 (3 \cos^2 \theta - 1) / 2 + C_2 r^{-3} (3 \cos^2 \theta - 1) + \dots$$

donde las A y las C son constantes arbitrarias.

Puesto que las condiciones de frontera son satisfechas por medio de los dos armónicos de orden menor, escribimos que

$$V_0(r, \theta) = A_1 r \cos \theta + C_1 r^{-2} \cos \theta \quad [E.1]$$

válida para la región exterior de la esfera, es decir la masa del grano anfitrión. Además obtenemos que

$$V_1(r, \theta) = A_2 r \cos \theta + C_2 r^{-2} \cos \theta \quad [E.2]$$

válida para la región interior de la esfera, es decir, dentro de la pupa de la especie. Las constantes A_1 , A_2 , C_1 y C_2 no se conocen y deben ser determinadas a partir de las condiciones de frontera.

El armónico r^{-1} no es necesario porque su presencia implica una carga neta en la esfera. La constante A_0 puede ser considerada como cero, debido a que la necesitamos en ambas ecuaciones. Por otro lado, tenemos que lejos de la esfera, el campo eléctrico conservará su carácter uniforme, es decir, $V_0 \rightarrow -E_0 r \cos \theta$. Por lo tanto, $A_1 = -E_0$.

Adicionalmente, si C_2 no es igual a cero el potencial y el campo eléctrico se volverían infinitos en el centro de la esfera. Y puesto que esto no puede suceder en un dieléctrico que como en este caso, está desprovisto de cargas puntuales libres, entonces C_2 es obligatoriamente cero.

La continuidad del potencial en la superficie de interfaz entre los dos dieléctricos (grano e insecto), hace que $V_0 = V_1$, en $r=a$. Por consiguiente,

$$-a E_0 + C_1 a^{-2} = a A_2 \quad [E.3]$$

Y luego de utilizar la condición de continuidad para la componente normal del vector de desplazamiento D , nos queda

$$-K_0 \partial V_0 / \partial r = -K_1 \partial V_1 / \partial r \quad [E.4]$$

o sea,

$$E_0 + 2C_1 r^{-3} = A_2 K_1 / K_0 \quad [E.5]$$

en donde ya se incluyó que $A_1 = 0$ y $C_2 = 0$.

Resolviendo las ecuaciones E.3 y E.5, nos arroja

$$V_1(r, \theta) = E_0 r \cos \theta + \frac{K_1 - K_0}{K_1 + 2K_0} a^3 E_0 r^{-2} \cos \theta \quad [E.6]$$

$$V_0(r, \theta) = 3E_0 \frac{K_0}{K_1 + 2K_0} r \cos \theta \quad [E.7]$$

Por consiguiente, a partir de la gradiente del potencial, el

campo eléctrico será

$$E = \begin{cases} E_0 \cos\theta & \text{para } r > a & \text{[E.8]} \\ 3K_0 E_0 / (K_1 + 2K_0) & \text{para } r < a & \text{[E.9]} \end{cases}$$

Y de esta forma es fácil obtener la relación entre los campos existentes dentro de la pupa esférica y en el grano infestado [15], que será

$$E_1 = \frac{3}{2 + K_1/K_0} E_0 \quad \text{[E.10]}$$

Esta es una importante relación que permite conocer el campo eléctrico que llega al insecto infestador en términos de las permitividades dieléctricas y el campo externo al insecto. En el caso de las pupas de *sitotroga*, se usó un valor de constante dieléctrica compleja igual a $30 - 18j$, en concordancia con valores medidos en otras especies [9]. Para el grano se usó el valor de $19 - 11j$ para su constante dieléctrica compleja; y por lo tanto la relación de la ecuación E.10 arrojó que $E_1 = 0.83 E_0$. Las líneas del campo eléctrico E se ilustran en la figura E.2.

APENDICE F

MODELO SIMPLIFICADO DE LOS EFECTOS NO TERMICOS

EN TEJIDOS BIOLOGICOS

Ya se ha indicado en el transcurso de este documento que existen controversias todavía sobre las explicaciones concretas de los efectos no-térmicos de las microondas en los tejidos biológicos y en especial en los insectos. Además de las evidencias experimentales ya observadas por algunos autores [7, 11, 13, 19, 23, 25], puede resultar útil correlacionar dichos resultados con modelos teóricos por lo general de estructuras simples. Estos modelos permiten utilizar equivalencias eléctricas de los fenómenos que ocurren a nivel celular, específicamente en el potencial de membrana, y nos ayudan a modelar un significado físico menos cualitativo de los efectos no térmicos en un tejido biológico.

Este Apéndice describe las principales características de la modelación de la interacción de un campo electromagnético sobre una célula biológica por medio de la inducción de un potencial de membrana. Básicamente se usa un modelo unidimensional [10], pero haciendo alusión a modelos más avan-

zados esféricos u ovalados [24,26].

El análisis parte de la ecuación de Nerst [18,27], que relaciona las concentraciones de iones en ambos lados de la membrana de la célula, por medio del potencial de membrana, dada por:

$$C_1 = C_2 \exp(V_m/V_T) \quad [F.1]$$

donde C_1 y C_2 son las concentraciones en intracelular y extracelular respectivamente; V_m es el potencial a través de la membrana; V_T es la energía térmica expresada en voltios y dada por $V_T = gkT/q$, donde

q es la carga del electrón (1.6×10^{-19} coulombios), asumiendo que los iones que existen a lado y lado de la membrana son monovalentes.

T es la temperatura absoluta, en $^{\circ}\text{C}$;

k es la constante de Boltzmann (1.38×10^{-23} J/ $^{\circ}\text{K}$);

g es una constante, del orden de la unidad, que toma en cuenta la recombinación y generación de porta-

dores de carga en la región de transición de la membrana, incluyendo la influencia de la geometría.

De la ecuación F.1, para el caso de un voltaje de membrana superimpuesto DC más AC, y expandiendo por Taylor a la función exponencial e^{x} , nos queda

$$C_1 = C_2 \exp(V_0/V_T) [1 + (V_1/2V_T)^2 + V_1/V_T \cos \omega t + \dots]$$

donde se ha asumido que $V_m = V_0 + V_1 \cos \omega t$, siendo V_0 el potencial de equilibrio de membrana.

La anterior relación señala en su segundo término que incluso para pequeños valores de campo alterno aplicado, se produce una modificación DC de la concentración de portadores. Esta modificación es proporcional a $(V_1/2V_T)^2$.

Este fenómeno de rectificación significa que al incidir una onda electromagnética sobre un tejido biológico se produce una alteración del flujo iónico de la membrana lo cual a su vez puede producir cambios del mecanismo vital de la célula, es decir de su metabolismo. Parece entonces -tal como lo demuestra el resultado de los experimentos

de este proyecto- que un campo de microondas de muy bajo nivel puede llegar a producir cambios no térmicos en el tejido.

Estos cambios pueden visualizarse con mayor instancia, si la especie es irradiada durante su desarrollo postembriónico (como en estado de pupa, por ejemplo). En ese caso el efecto de la inducción del fenómeno de rectificación de membrana, se manifiesta más en las células no diferenciadas -pertenecientes precisamente a la espécimen en crecimiento-, provocando una alteración sea en comportamiento, capacidad reproductiva o teratogenesis.

Está demostrado en este y otros trabajos experimentales que, dependiendo del tipo de tejido biológico irradiado, la modificación rectificadora del flujo iónico transmembránico de unos pocos millares de iones puede afectar la respuesta de una célula.

En general, la característica de estado estable de la corriente transmembránica versus potencial, es muy parecida a la de un diodo semiconductor (tal como se observa en la figura F.1). Esta característica viene dada por la función

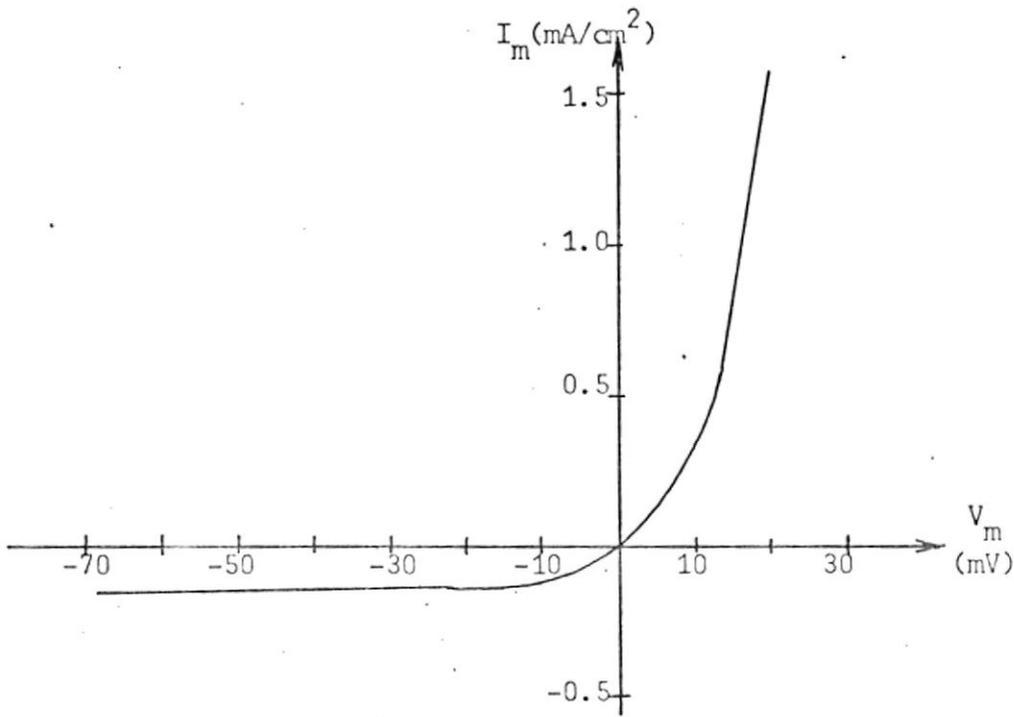


Fig. F.1.- Función Característica Corriente vs Voltaje, en una Membrana Celular Típica.

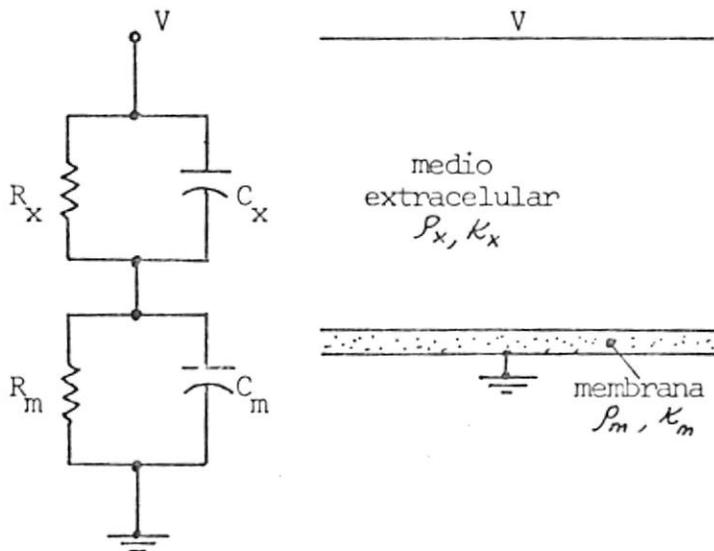


Fig. F.2.- Circuito Equivalente de Líquido Extracelular y Membrana Celular.

$$I_m = I_B (\exp V_m/V_T - 1) \quad [F.2]$$

donde I_B es la corriente inversa de saturación de la membrana biológica. Por otro lado, la corriente rectificadora, partiendo de la ecuación anterior [27], se hace igual a $I_B(V_1/2V_T)^2$.

La figura F.2 ilustra el circuito equivalente a la acción del potencial de membrana, relacionándolo con el medio extracelular. Si Z_m es la impedancia de la membrana, Z_x es la impedancia del medio extracelular, y V es el voltaje interno aplicado al cuerpo biológico, entonces el potencial de membrana V_m vendrá dado por

$$V_m = V / (1 + Z_x/Z_m) \quad [F.3]$$

siendo,

$$Z_x = R_x(1 + j\omega C_x R_x)^{-1}$$

$$Z_m = R_m(1 + j\omega C_m R_m)^{-1}$$

Los subíndices x y m corresponden al medio extracelular y membrana respectivamente. Las resistencias y capacitancias correspondientes se calculan asumiendo medio lineal en base a las permitividades (K) y resistividades (ρ) en el medio

extracelular y la membrana ^[10].

El campo eléctrico en la membrana (E_m) en relación al campo eléctrico del medio extracelular (E_x), viene dado en términos sencillos de acuerdo a la frecuencia y a partir de la ecuación F.3.

Para $\rho\omega K$ mucho mayor que uno (altas frecuencias), domina la corriente de desplazamiento y nos queda

$$E_m = (K_x/K_m)E_x \quad [F.4]$$

Y para frecuencias bajas, donde domina la corriente de conducción y $\rho\omega K$ es mucho menor que la unidad, queda

$$E_m = (\rho_m/\rho_x)E_x \quad [F.5]$$

Por ejemplo, para un campo incidente desde el espacio libre, de 1 KV/cm, el potencial de membrana producido llega a los 4.5 mV, provocando una corriente iónica rectificadora de aproximadamente 1.06×10^{14} iones por cm^2 por segundo. Esto, en una célula promedio de 10^{-6} cm^2 de área de membrana, arroja una corriente de 10^9 iones/s ^[10]. Se cumple entonces, que no es inconcebible que exposiciones a campos

de ese nivel puedan producir cambios biológicos importantes apenas con unos 10 microsegundos de exposición. Sin embargo para este caso de campo tan intenso (1 KV/cm en espacio libre), el efecto térmico puede ser igual de importante que el efecto químico.

Como otro ejemplo, se señala el caso de un campo de densidad de potencia 10 W/cm^2 en espacio libre, nos da un voltaje de membrana de cerca de 9 microvoltios, lo cual proporciona una corriente rectificada de $6 \times 10^{-11} \text{ A/cm}^2$ que es igual a 400 iones por segundo en una célula promedio. En este caso, para obtener 4000 iones de modificación membránica sólo es necesario unos 10 segundos de exposición.

En la aplicación de esta modelación simplificada para estimar una correlación concreta con los resultados de los experimentos realizados en el Proyecto, se observó que la evidencia de los efectos teratológicos y sobre la reproducción en los insectos irradiados, estaba de acuerdo con dicho modelo. Se calculó que para los niveles usados en los experimentos (desde 8 hasta 100 mW/cm^2), se pudo haber provocado entre 300 y 4000 iones por segundo de alteración transmembránica.

APENDICE G

DETALLE DE LOS EQUIPOS DE LABORATORIO

En la ejecución del proyecto, se utilizaron algunos equipos que pertenecen al Laboratorio de Radiofrecuencia de la ESPOL, y algunos otros que tuvieron que adquirirse con los fondos asignados para el proyecto PI310.02. En este Apéndice mencionaremos las características generales, algunas indicaciones de manejo de los equipos y elementos, así como sus especificaciones técnicas importantes.

G.1.- Oscilador de Barrido

El oscilador de barrido que se utilizó fue el modelo HP 8620C de la Hewlett Packard. Es un instrumento muy útil cuando se desea determinar las características de un dispositivo sobre un rango continuo de frecuencia. El uso de este equipo fue como generador de microondas de bajo nivel proporcionando una señal que se la fijó en 9 GHz, para los experimentos con ensamble de guía rectangular.

El oscilador 8620C tiene 4 modos de operación: *Modo de*

barrido completo, Modo de barrido de marca, Modo de barrido AF, y el Modo CW. Se operó con este último modo puesto que con éste se logra obtener una sola frecuencia.

6.2.- Módulo RF Enchufable

Para lograr obtener la señal de microondas en el rango de la banda X (8.2-12.4 GHz), que es la banda de frecuencia en la que se trabajó, se tuvo que utilizar el módulo RF PLUG-IN 86250A que está diseñado para ser usado con el oscilador de barrido 8620C. Este equipo -del modelo 86250A-, consta de un oscilador en el rango de 8-12 GHz, y de la circuitería necesaria para ser sintonizado.

La salida RF de ese módulo es controlada en el panel frontal a través del control de nivel de potencia. Si la señal de salida no está nivelada se enciende una luz indicadora (informando que la señal RF no es uniforme a través de la banda).

6.3.- Adaptador Guía Coaxial

El adaptador utilizado corresponde al modelo 281 de la Hewlett Packard. Este adaptador provee de un acoplamiento

entre la guía coaxial y la guía rectangular, y está diseñado para cubrir el rango completo de frecuencia en la banda X. Su diseño asegura una fuga mínima en el extremo rectangular.

G.3.1.- Precauciones:

-Se deben proteger los flancos de cualquier daño posible que pueda originar un mal contacto en los extremos de la guía. Cualquier rugosidad en la cara interna del adaptador incrementa la fuga y el coeficiente de reflexión de la unión. Es recomendable usar el protector plástico si el adaptador no está siendo utilizado. Esta recomendación es válida para todos los equipos de guía de onda.

-Al acoplar el adaptador a la guía se debe observar que:

*Las puertas rectangulares estén orientadas en la misma forma (no cruzadas).

*Las puertas estén alineadas.

*Los flancos estén sujetos con los tornillos de tal forma que la presión sobre los contactos esté eventualmente distribuida.

G.4.- Atenuadores

El atenuador de microondas es un dispositivo que produce atenuación de la onda que se propaga a través de él. Suele ser usado para ajustar el nivel de potencia ajustado o para proveer aislamiento entre la fuente de microondas y la carga. Si el atenuador es usado con fines de aislamiento se lo llama atenuador "buffer" o "pad".

Hay dos tipos de atenuadores de guía de onda: el atenuador de desplazamiento transversal y el atenuador de aleta, ambos ilustrados en la figura G.1.

El atenuador que se utilizó es el modelo 375A que cubre un rango de frecuencia de 2.6 a 40 GHz (banda S a banda R) y una atenuación continuamente variable de 0 a 20 db. Consiste de una sección ranurada en la que se encuentra insertado una película resistiva en el centro de la guía. La atenuación se logra variando la profundidad de penetración del material resistivo en la guía.

G.5.- Filtro Pasabajo

Los filtros pasabajo de guía de onda están formados por

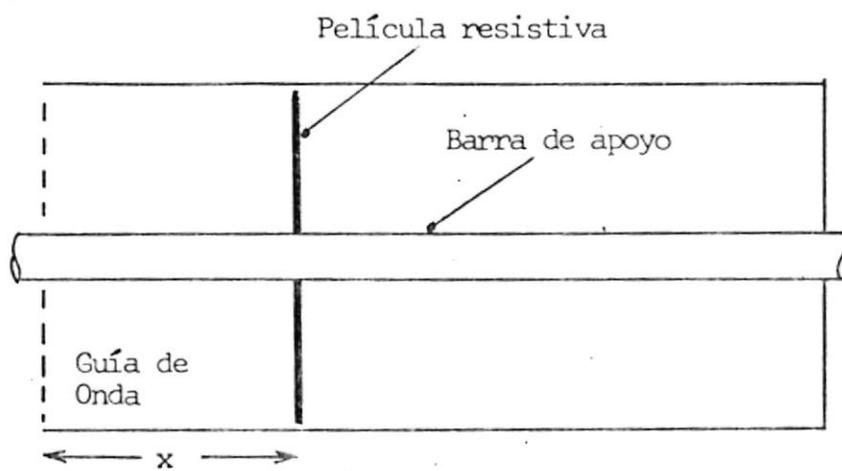


Fig. G.1.a.- Atenuador de Desplazamiento Transversal.

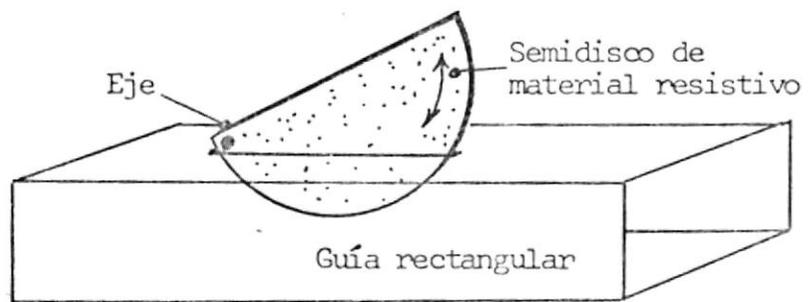


Fig. G.1.b.- Atenuador de aleta.

ventanas capacitivas o espirales capacitivas (fig. G.2) las que eliminan las ondas de alta frecuencia y solo dejan pasar las de baja frecuencia. El circuito equivalente puede ser considerado como lo indica la figura G.2d. El hecho de que un rango de frecuencia pase a través del filtro y otro no, dá origen a dos tipos de bandas que son: *banda de paso* y *banda de bloqueo*, tal como lo muestra la fig. G.3.

El filtro pasabajo que se utilizó fue el modelo 362A, el mismo que tiene un amplio rango de bandas. Diseñado para suprimir la 2da. y 3er. armónica de frecuencias pasabanda, atenúa las armónicas en por lo menos 40db en la banda de bloqueo (35 para la banda R), independientemente del modo de propagación.

El filtro pasabajo modelo 362A es muy valioso cuando la transmisión en una sola frecuencia es importante. Consiste de una sección de guía onda modificada en su parte central. Las ranuras en la parte central tienen tal espaciamiento y dimensiones que todas las frecuencias en la banda de bloqueo son atenuadas. Además su paso de transición ha sido calculado de tal forma que el filtro no presenta problemas de acoplamiento a la banda de paso.

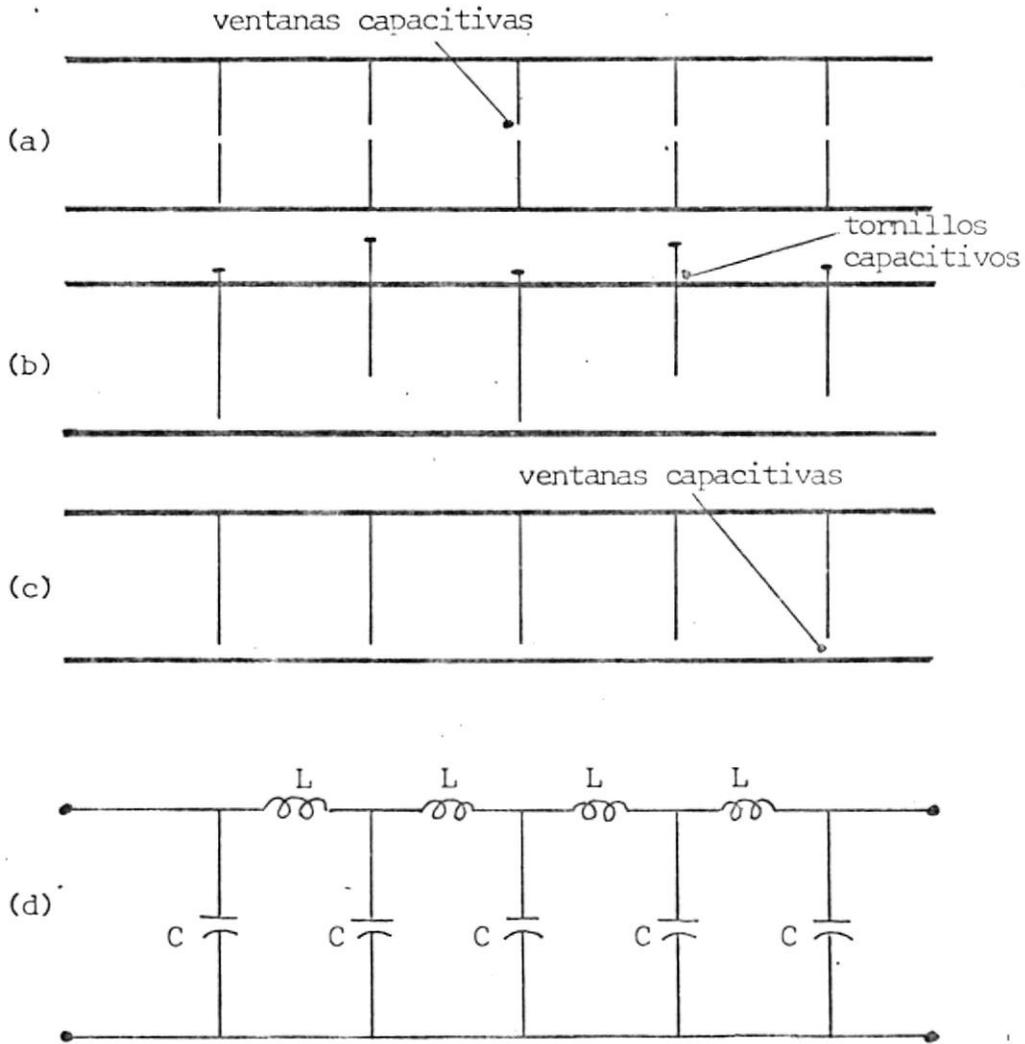


Fig. G.2.- Filtros Pasabajo (a,b,c), y su Circuito Equivalente (d).

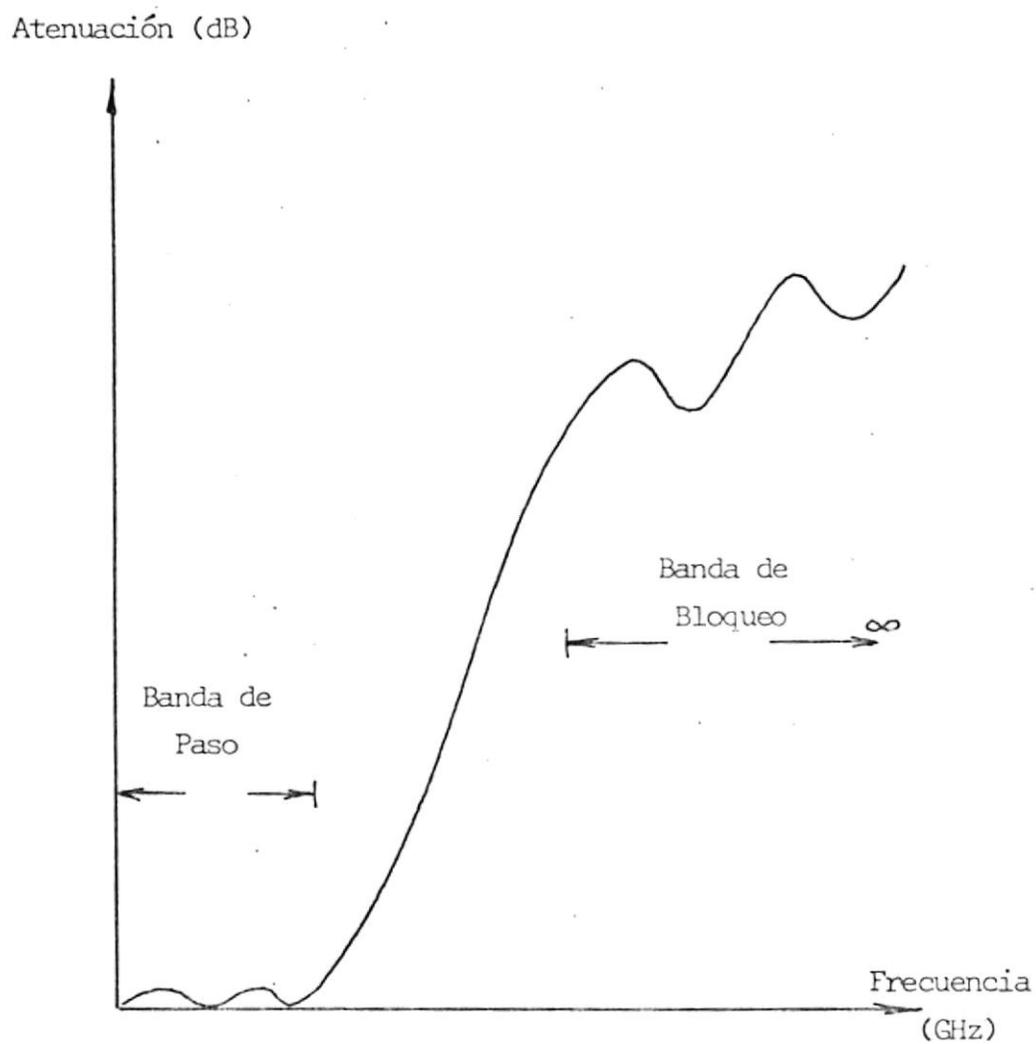


Fig. G.3.- Filtros Pasabanda y de Bloqueo (Característica).

G.5.1.- Precauciones:

-No se debe utilizar el filtro con frecuencias fuera de la banda especificada.

-Se debe Mantener limpio el filtro, y cubierto los flancos si no se lo está usando

G.6.- Acoplador Direccional

El acoplador direccional es una guía de 4 puertas, tal como lo indica la figura G.4. Está formado por la guía principal 1-2 y la guía secundaria 3-4. Cuando la potencia es suministrada por la puerta 1, ésta fluye hacia la puerta 2. Parte de la potencia de entrada es también acoplada en la guía secundaria, y una gran porción de la potencia acoplada fluye a la puerta 4. De igual forma, si la potencia fuera suministrada por la puerta 2, ésta fluye hacia las puertas 1 y 3. Los siguientes parámetros definen las características de un acoplador direccional (asumiendo propagación desde la puerta 1 a la puerta 2):

$$\text{Factor de Acoplamiento} = 10 \log P1/P4 \quad (\text{db})$$

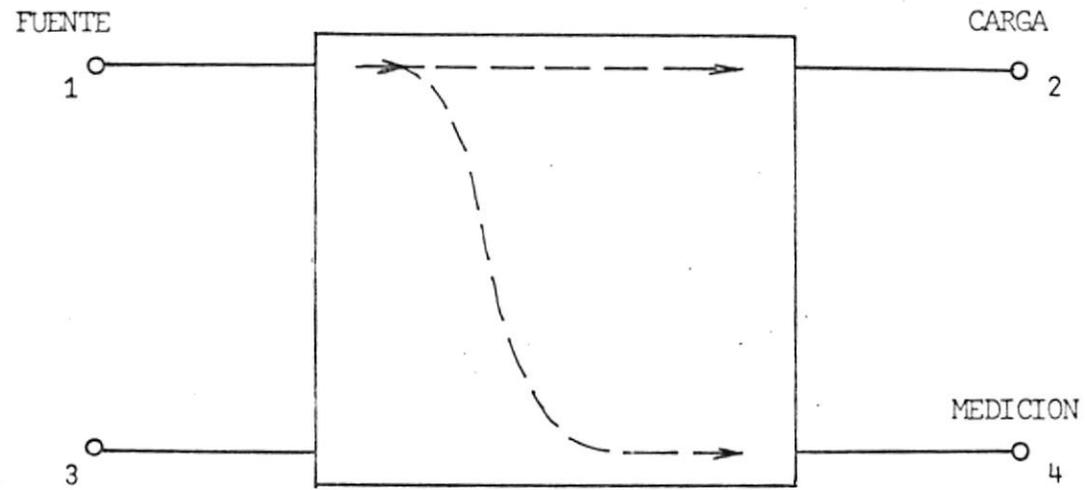


Fig. G.4.- Acoplador Direccional empleado en el Laboratorio (esquema de puertas).

$$\text{Directividad} = 10 \log P_4/P_3 \quad (\text{db})$$

El acoplador direccional que usamos es el modelo 752, cuyas guías -principal y auxiliar- se encuentran unidas a lo largo de sus superficies anchas. El un final de la guía secundaria es una terminación acoplada, y el otro extremo es una puerta simple. Un arreglo de huecos en las superficies en común permiten la transferencia de potencia de una guía a otra.

La cantidad de potencia transferida a la guía secundaria depende del factor de acoplamiento, pudiendo ser para este modelo, de 50 (3 db), 10 (10 db) ó 1 (20 db) % de la potencia que está transmitiéndose en la guía principal.

G.6.1.- Precauciones:

- Proteger los flancos del acoplador con las tapas plásticas, cuando no se lo está utilizando.

- Evitar los choques mecánicos, puesto que los mismos podrían romper la terminación en punta de la guía secundaria.

G.7.- Termistor

El termistor es el elemento detector que se usa como medio de acoplamiento entre el medidor de potencia y el acoplador direccional. Básicamente existen dos tipos de termistores: termistores de coeficiente de temperatura negativo (CTN) y termistor de coeficiente de temperatura positivo (CTP). Por su aspecto físico se los ha clasificado en: termistores de Cabeza, de Disco, y Termistores de Varilla.

El termistor que usamos es un CTN, de montaje de cabeza ("mount"), que permitió realizar mediciones de potencia con bastante exactitud, sin permitir lecturas ambiguas.

G.8.- Medidor de Potencia

El medidor de potencia usado fue el modelo HP 432A de la Hewlett Packard. Opera en conjunto con el termistor y su funcionamiento es muy similar al de un puente de Wheatstone (fig. G.5).

El puente es balanceado ajustando la resistencia de calibración R_c , que varía la potencia aplicada al puente.

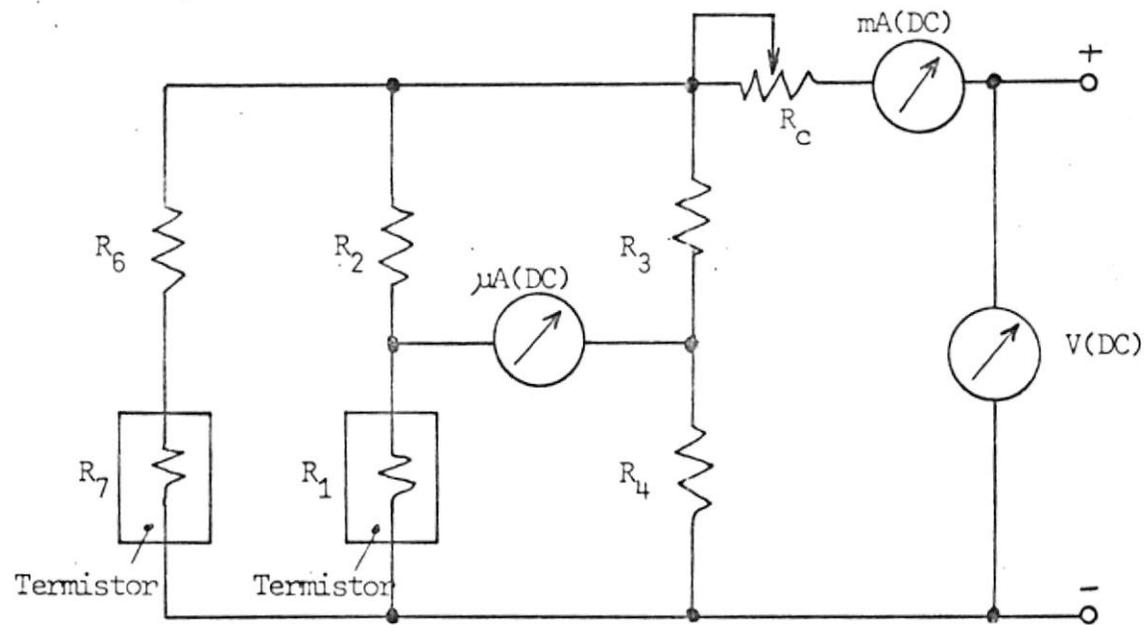


Fig. G.5.- Medidor de Potencia, Modelo 432A (circuito equivalente de operación).

Este trabajo se lo realiza antes de aplicar la potencia a ser medida. Al aplicar el medidor a la fuente de potencia a ser medida, se produce un incremento de temperatura que origina un cambio en la resistencia del termistor y un consecuente desbalanceamiento del puente. Por lo tanto, para determinar la potencia aplicada al medidor, se puede cambiar la potencia DC hasta que el puente quede nuevamente balanceado; y calcular este incremento de potencia DC como un incremento de corriente en el galvanómetro, en una lectura de potencia RF equivalente.

Las resistencias R_6-R_7 forman un compensador para disminuir posibles errores producidos por la sensibilidad del termistor a los cambios de temperatura. Para lectura de potencias mayores al máximo permitido por el instrumento, se puede utilizar un atenuador para reducir el nivel de potencia que está siendo aplicado al mismo.

6.9.- Terminaciones de Guía de Onda

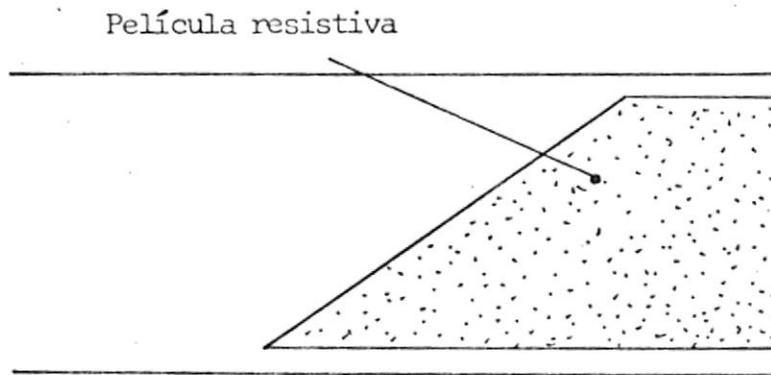
La terminación de microondas es un elemento usado como absorbedor de microondas en la terminación de una transmisión, en la que se desea poca reflexión.

Hay dos tipos terminaciones en guía de onda (fig 6.6): la terminación en punta, en donde toda la potencia es convertida en calor, tanto en una película resistiva como en el dieléctrico de las estructuras absorbentes (fue el tipo de terminación que se empleó); y la terminación de film resistivo de $1/4$ de onda, donde el material resistivo es colocado en el punto de máxima intensidad de campo.

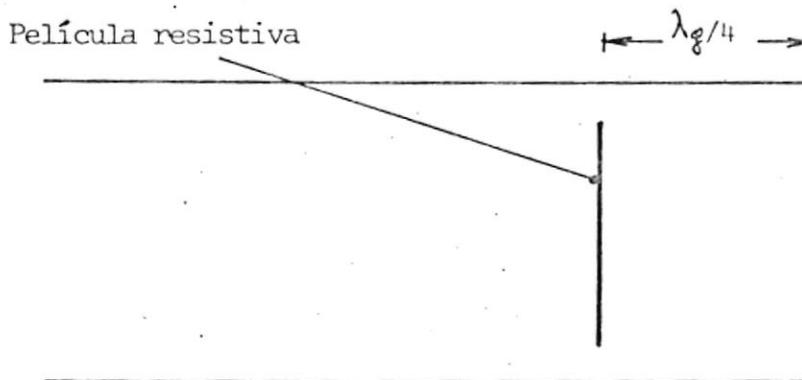
La terminación usada es el modelo 910B que opera a baja potencia promedio. Absorbe la potencia con baja reflexión y es útil cuando se desea una carga acoplada. Consta de una sección de guía de onda y de una carga terminada en punta en su interior.

6.9.1.- Precauciones:

- Inspeccionar la terminación verificando si no hay daños en los flancos, en la guía o en la carga. La carga es muy frágil y pudo ser rota si el paquete fue maltratado.
- Proteger los flancos manteniéndolos cubiertos si no están siendo utilizados.
- Proteger la carga: No sometiéndola a golpes mecánicos; no limpiándola, soplando en su interior;



(a) TERMINACION EN PUNTA



(b) TERMINACION DE PELICULA RESISTIVA DE 1/4 ONDA.

Fig. G.6.- Terminaciones en una Guía de Onda Rectangular.

cubriéndola con las tapas plásticas al ser guardada; observando que los flancos estén lisos y limpios al ser conectada.

6.10.- Antena tipo Bocina

El tipo de antena bocina (que viene de la palabra inglesa "horn"), que se empleó en este proyecto fue la piramidal, cuya característica principal es permitir un patrón de radiación en los planos E y H. El plano E es un plano paralelo al campo E y el plano H es paralelo al campo H.

El ancho del rayo del patrón de radiación es una función del ángulo de expansión y tiene generalmente un valor óptimo (fig. G.7). Para ángulos de expansión grandes se suelen generar modos espurios, los mismos que tienden a ensanchar el ancho del rayo y a generar lóbulos menores en el patrón de radiación.

La ganancia de la antena es también función del ángulo de expansión, lo que podemos observar en la figura G.7(b), en donde se aprecia que para ángulos de expansión grandes, modos espurios son generados y ellos tienden a disminuir la ganancia.

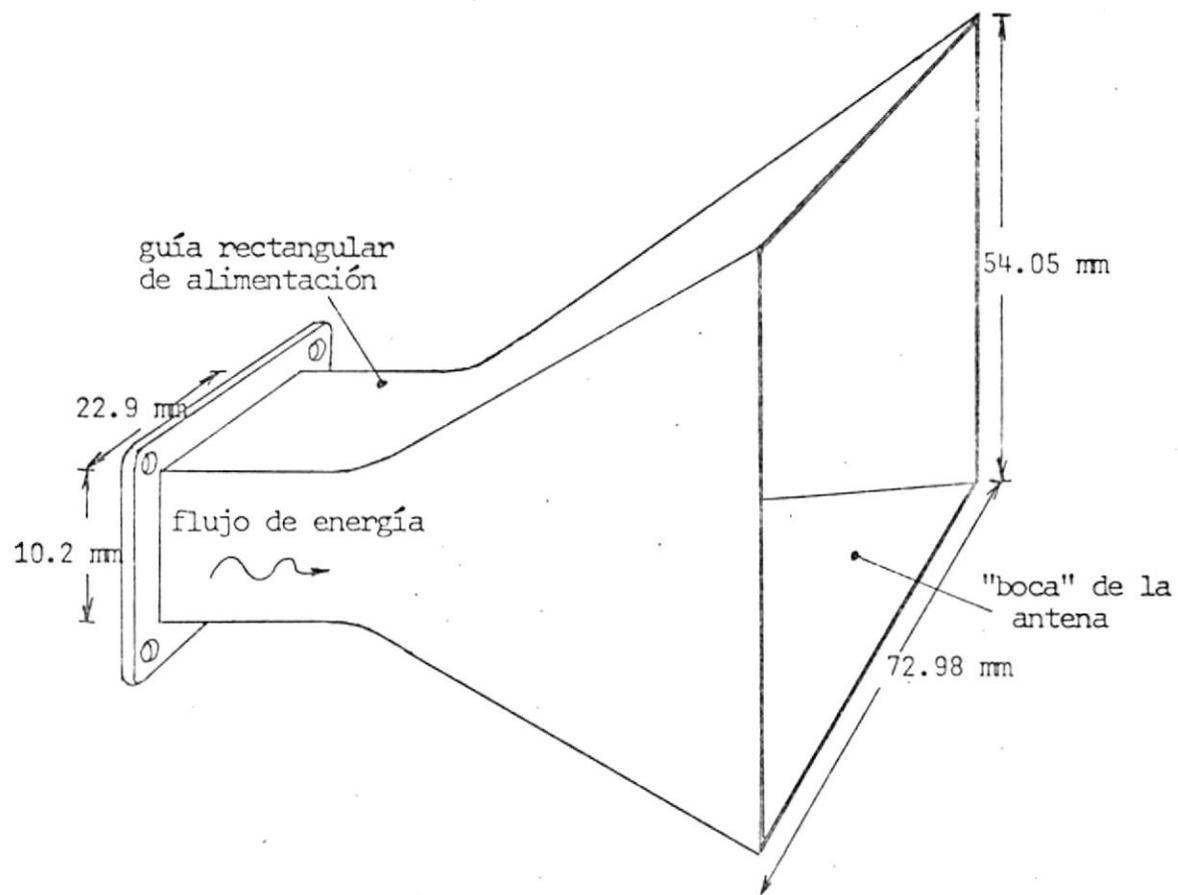


Fig. G.7.- Esquema de una antena tipo bocina ("horn"), para 9 GHz.

6.11.- Fuente de Poder de Amplitud Regulable

La fuente de poder que se utilizó para acoplarla al oscilador de RF, en el ensamblaje aplicado a las pruebas de irradiación en línea coaxial, fue el modelo 1263-C de la Gen-Rad. Esta fuente ajusta automáticamente la corriente de placa que es suministrada al oscilador, para mantener el voltaje RF de salida en un nivel constante.

Para aplicaciones de barrido de frecuencia la operación CW es deseable por su rápida regulación. Sin embargo, este equipo también posee una señal de modulación de 1 KHz, ya que así es compatible con la operación del equipo de medición utilizado, y además para ser usada con un elemento detector.

6.11.1.- Instrucciones de operación:

Para operar este equipo como una fuente a un nivel de voltaje dado, se requiere de algunas instrucciones como son las siguientes:

- a.- Prender el equipo y dejarlo encendido por un tiempo de 2 minutos.

- b.- Estandarizar el voltaje de salida de la siguiente manera: Colocando el interruptor de selección en "zero"; ajustando ese control hasta obtener cero en el medidor; luego, colocando el interruptor de selección en la posición "check" y observando la lectura en el medidor; colocando el interruptor de selección en "calibrate"; haciendo los ajustes hasta obtener la misma lectura.
- c.- Colocar el interruptor "CW/1KHz MOD" en la posición deseada.
- d.- Llevar el interruptor de selección a "operate".
- e.- Colocar la salida del oscilador a un nivel apropiado.
- f.- Colocar la perilla "output voltage" al nivel deseado de operación, observando la lectura en el medidor.

G.11.2.- Precauciones:

- En el modo 1 KHz no colocar el voltaje de salida mayor a 1 voltio.

- Si se usa el oscilador 1211, llevar el interruptor de selección a cero, cada vez que cambie el rango de frecuencia.

6.11.3.- Especificaciones:

Voltaje de salida RF:	0.2-2 V
Modulación:	1 KHz de onda cuadrada con ajuste de $\pm 5\%$
Ciclo de trabajo:	0.5-0.53 ajustable, para compensar el retraso en el oscilador.
Voltaje de placa:	0-300 V a 30 mA
Voltaje del calentador:	6.5 Vdc a 1 A, regulable.
	Rizado: < 1 mVrms (120 Hz) a plena carga.
	Impedancia de salida DC=35 m-ohm.

6.12.- Oscilador de Radiofrecuencia

El oscilador fue el equipo que nos proporcionó la señal

RF necesaria para las pruebas en línea coaxial. El modelo usado fue el 1218BV de la General Radio, que cubre un rango de frecuencia de 900 a 2000 GHz. Este equipo a menudo suele ser usado como un oscilador local de un receptor heterodino.

A la frecuencia de 2000 MHz, el nivel de potencia garantizado es de 110 mW, si se encuentra acoplado a una carga de 50 ohm. Su rango de control de la potencia de salida es cercano a los 20 db.

6.12.1.- Especificaciones:

Exactitud de frecuencia: $\pm 1\%$

Potencia de salida: > 160 mW de 0.9-1.5 GHz
> 110 mW a 2 GHz

Nivel de control: 0-20 db de atenuación

Fuente de poder: compatible con: GR 1267B, 1263C
y 1264C

6.13.- Voltímetro Rectificador

El voltímetro rectificador que se utilizó fue el modelo 874-VRL de la General Radio, que está diseñado para operar como un monitor de voltaje en un sistema coaxial de 50 ohm.

Este tipo de rectificador consiste de un pedazo de línea de 50 ohm, con un diodo montado entre los conductores interior y exterior. La señal RF pasa por un capacitor de disco de 300 pF de mica y luego es conducida a través del conductor central del rectificador. Al final de la salida RF un resistor de 50 ohm es montado en serie con el conductor central, encerrando al diodo para proveer una impedancia de fuente de 50 ohm. La salida es marcada por una "R" en el conductor externo.

El tipo 874-VRL puede ser usado como indicador de voltaje, generador de señal, o como un regulador automático de amplitud -en conjunto con la fuente 12638-, para mantener constante la salida de un oscilador cuando se varía la frecuencia; que es justamente la aplicación que se le dió.

G.13.1.- Especificaciones:

Voltaje máximo: 2 Voltios

Frecuencia de resonancia: Aprox. 5.4 GHz

Capacitancia de paso: Aprox. 300 pF

Rango de frecuencia: Para mediciones de voltaje:

1.5 MHz-2.5 GHz, sujeto a co-

orrección por resonancia, por encima de los 500 MHz.

G.14.- Línea Ranurada

La línea ranurada que se utilizó fue el modelo 874-LBB, que es un instrumento coaxial básico en las mediciones de impedancias, relación de voltaje de onda estacionaria (ROE), y coeficientes de reflexión, desde los 300 MHz hasta los 8.5 GHz. La figura G.8 muestra una ilustración de la línea ranurada empleada en los experimentos de laboratorio.

La línea 874-LBB está diseñada para medir el patrón de onda estacionaria producido por una carga conectada a ella. Su impedancia característica es de 50 ohm. El conductor exterior está ranurado axialmente en su parte superior, en una longitud de 50 cm, y una punta de prueba se extiende por la región interelectrónica. La punta está montada sobre un carro el cual se desliza a lo largo del conductor exterior. La penetración de la prueba en el interior de la línea, y por lo tanto, el acoplamiento capacitivo entre la prueba y la línea, pueden ser ajustados en un amplio rango por medio de un tornillo de ajuste. El voltaje que se induce en el circuito de la punta de prueba, es proporcional al voltaje

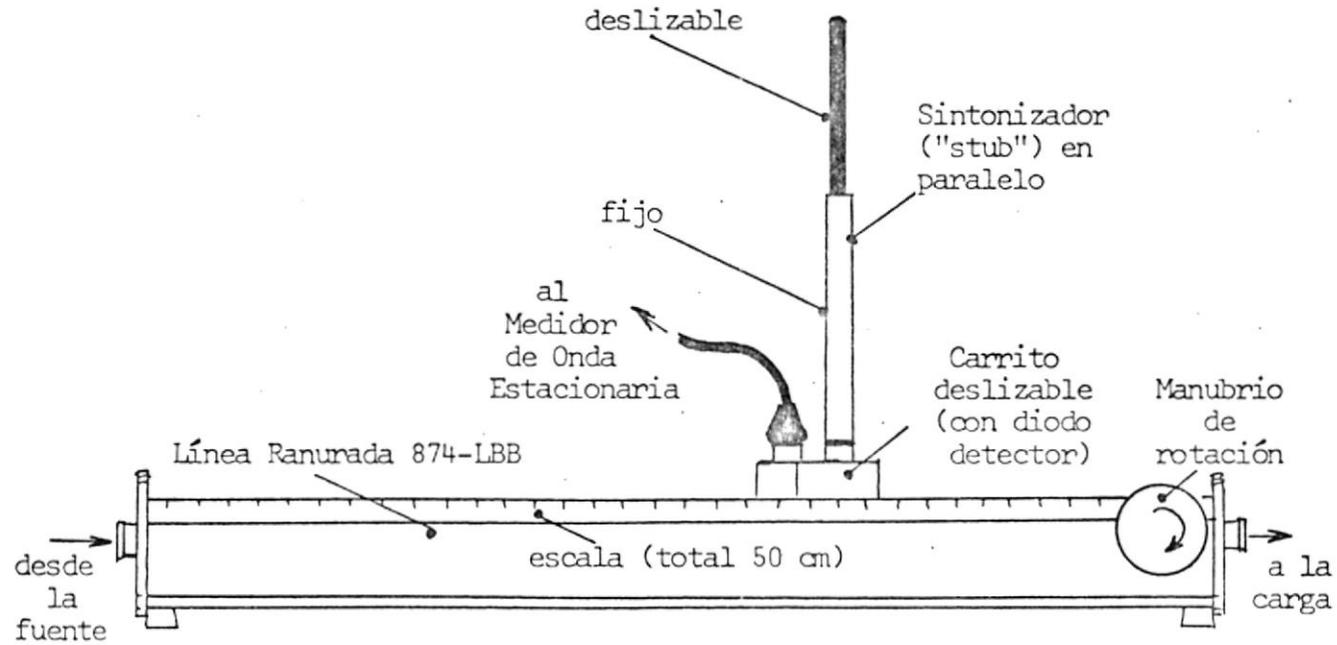


Fig. G.8.- Ilustración de la Línea Ranurada de 50 Ohmios, para las Pruebas a 2 GHz.

existente entre los dos conductores de la línea, en el punto de prueba.

G.14.1.- Especificaciones:

Imp. característica:	50 ohm
longitud del carro:	50 cm, escala en cm, 1 mm/división
Rango de frecuencia:	300-8.5 GHz (puede ser usada hasta 9 GHz)

G.15.- Medidor de Onda Estacionaria

El medidor de onda estacionaria que se utilizó fue el modelo 1234 de la General Radio. Es un amplificador calibrado para ser sintonizado con una señal cuadrada de 1KHz, cuyo uso principal es para mediciones de onda estacionaria, en conjunto con una línea ranurada. También suele ser usado como un detector de corriente cero en las mediciones de impedancia/admitancia, o para mediciones de perdidas por inserción.

En lo referente a las mediciones del ROE, se localiza primero un voltaje máximo moviendo el carro de la línea

ranurada, y regulando la ganancia del medidor de ROE hasta obtener una máxima deflexión en la escala que se esté utilizando (1.0). Luego, el carro de la línea ranurada es movido para obtener un mínimo de voltaje, y el ROE es entonces medido directamente, sin cambiar de escala.

6.15.1.- Especificaciones:

Ancho de banda:	10-100 Hz
Frecuencia:	1 KHz; ajustable \pm 30 Hz
Control de ganancia:	6 db

6.16.- Terminación Coaxial

El elemento que se utilizó como terminación en nuestro sistema coaxial fue el 874-MV, que es un dispositivo muy útil para el montaje de cualquier circuito o componente que actúe como una carga desconocida. El terminal interior del 874-MV está constituido por la parte final del conductor central de una línea de aire; mientras que el terminal exterior se encuentra extendido en forma de disco.

APENDICE H

DERIVACION DE LA DENSIDAD DE POTENCIA IRRADIADA

En este Apéndice se explica la metodología empleada en el Proyecto para estimar la densidad de potencia irradiada sobre las especies en tratamiento a 2 y 9 GHz. Estas son derivaciones que se basaron en electromagnetismo simple, y la teoría de circuitos de microondas y antenas [16,20].

Los cálculos partieron del vector de Poynting \mathbf{p} que es igual a la densidad promedio de potencia y está dado por

$$\mathbf{p} = 1/2 \operatorname{Re}[\mathbf{E} \times \mathbf{H}^*] \quad [\text{H.1}]$$

donde \mathbf{E} es el vector del campo eléctrico y \mathbf{H}^* es la conjugada del campo magnético.

Y para calcular la potencia transmitida a través de una superficie S , se hizo uso de la Integral de Poynting, dada por

$$P_0 = \int \mathbf{p} \cdot d\mathbf{s} \quad [\text{H.2}]$$

donde ds es la diferencia de superficie y la integral se la ejecuta en la superficie de interés.

Vale indicar que en este tipo de cálculo se consideraron las siguientes constantes:

k_0 = Número de onda en el vacío = ω/c

c = Velocidad de la luz

Z_0 = Impedancia intrínseca del medio

Y_0 = Admitancia intrínseca del medio = $1/Z_0$

Las expresiones H.1 y H.2 servirán como base para la derivación que se muestra a continuación:

a) Irradiación en una Guía Rectangular:

En este caso, ilustrado en la figura H.1, trabajando con una guía rectangular hueca de dimensiones $a \times b$, y con la transmisión del modo TE_{10} , tenemos que la magnitud de la densidad de potencia, según la ecuación H.1, viene dada por

$$p = 1/2 \operatorname{Re}\{E_y H_x^*\}$$

donde

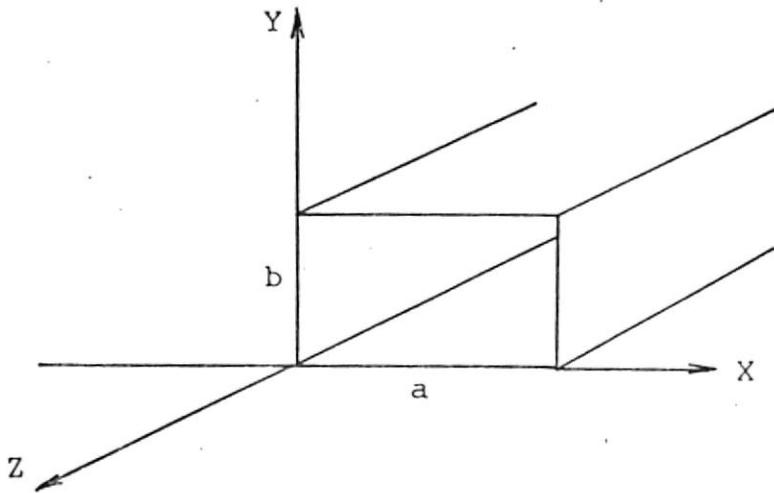


Fig. H.1.- Coordenadas Cartesianas empleadas para el Análisis en Guía Rectangular.

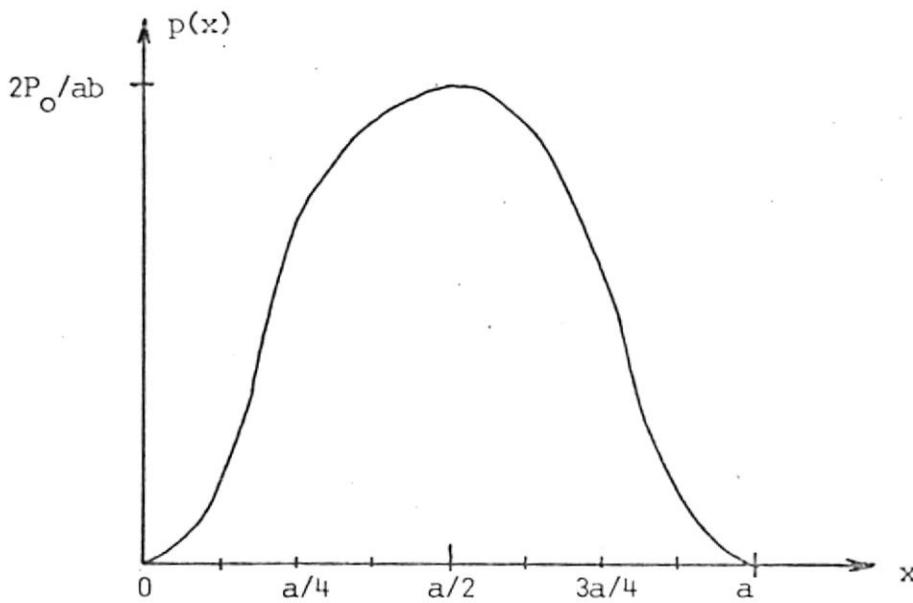


Fig. H.2.- Distribución Transversal en función de X, de la Densidad de Potencia en una Guía Rectangular.

$$E_y = jBA/k_c \text{ Sen}(\pi x/a)e^{-j\beta z} \quad \text{[H.3]}$$

$$H_x = -Z_h E_y \quad \text{[H.4]}$$

donde A es la amplitud de la componente axial del campo magnético [20]; β es la constante de propagación en la guía dada por $\beta^2 = k_0^2 - k_c^2$; k_c es la constante asociada con la frecuencia de corte del modo dominante ($k_c = \pi/a$); y, Z_h es la impedancia de onda del modo TE_{10} ($Z_h = k_0 Z_0/B$). En esas ecuaciones se asume que la dirección de propagación es $+z$.

De las expresiones H.1, H.3 y H.4 obtenemos la densidad de potencia promedio en función de la variable transversal x , que da

$$p(x) = (BA/k_c)^2 Z_h / 2 \text{ Sen}^2(\pi x/a) = p_0 \text{ Sen}^2(\pi x/a)$$

donde p_0 corresponde a la máxima densidad de potencia presente en la guía, en $x = a/2$.

Por otro lado, la potencia total transmitida a lo largo de la guía, viene dada por la integral H.2, y arroja

$$P_0 = abp_0/2$$

Es decir que la densidad de potencia se distribuye a lo ancho de la guía rectangular en la forma

$$p(x) = 2P_0/ab \text{ Sen}^2(\pi x/a) \quad [H.5]$$

expresada en mW/cm^2 , si P_0 se da en mW y las dimensiones en centímetros. La figura H.2 ilustra esta distribución, indicándose el rango aproximado en que se acomodaron las pupas en sus "camas dieléctricas" para la irradiación en interior de guía. También se señala el valor único tomado para los cálculos para la densidad de potencia en la evaluación de los resultados experimentales; éste es

$$P_B = P_0/ab \quad [H.6]$$

Este valor fue tomado como estándar para unificar el cálculo de la cantidad de potencia llegada a las pupas, tal como se indicó en el capítulo 3. Por ejemplo, para una potencia incidente de 10 mW , la máxima densidad de potencia en el centro de la guía rectangular sale -de la ecuación H.5- igual a 8.55 mW/cm^2 , y por otra parte el valor unificado P_B salió igual a 4.3 mW/cm^2 .

b) Irradiación en Línea Coaxial:

En esta derivación se asume una guía coaxial de radios a y b ($a < b$), transmitiendo en el modo TEM. Por consiguiente, siguiendo las coordenadas mostradas en la figura H.3, la distribución transversal de los campos queda como [28]:

$$E(r) = V_0 / \ln(b/a) e^{-jkz} / r \quad [H.7]$$

$$H(r) = Y_0 E(r) \quad [H.8]$$

donde r es la coordenada radial medida desde el eje coaxial. Luego, la densidad de potencia electromagnética distribuida a lo ancho en función de la posición radial, nos da a partir del Teorema de Poynting,

$$p(r) = Y_0 V_0^2 / 2r^2 \ln(b/a) \quad [H.9]$$

y la potencia total que viaja a través del área transversal entre conductores $a < r < b$, sale de la integración H.2, dando

$$P_0 = \pi Y_0 V_0^2 / \ln(b/a) \quad [H.10]$$

Luego,

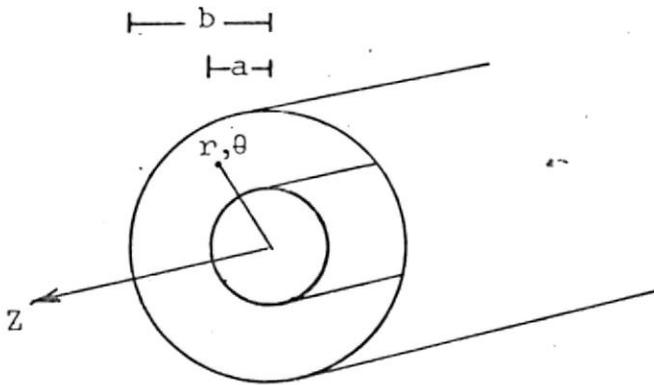


Fig. H.3.- Coordenadas usadas en la Derivación de la Densidad de Potencia en una Línea Coaxial.

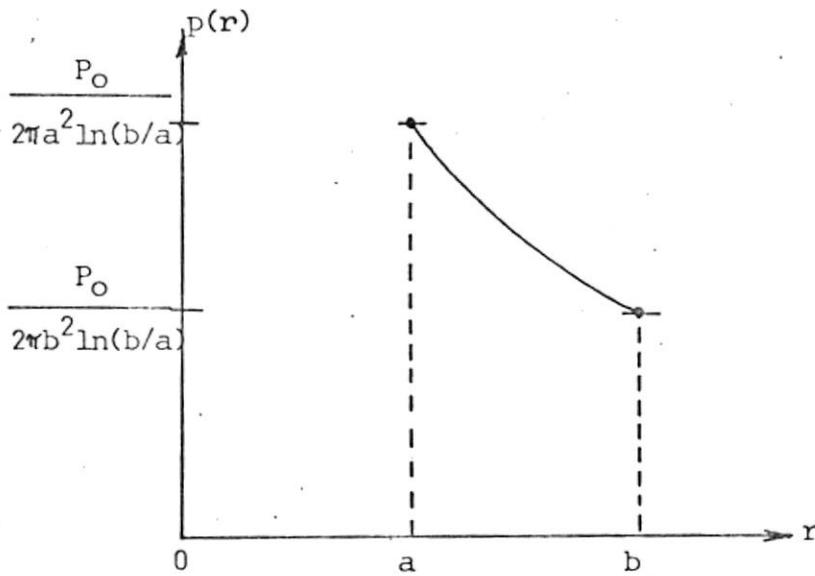


Fig. H.4.- Distribución de la Densidad de Potencia en función del radio, en una Línea Coaxial.

$$p(r) = P_0/2\pi r^2 \ln(a/b) \quad [H.111]$$

Esta distribución se muestra en la figura H.4. El valor unificado P_B de la densidad de potencia para las pupas irradiadas se seleccionó en este caso como

$$P_B = \frac{P_0}{4\pi \ln(b/a)} (a^{-2} + b^{-2}) \quad [H.121]$$

c) Irradiación en Espacio Libre:

En este caso se utilizó para la derivación, la teoría de radiación de antenas válida para las tipo bocina (de la traducción de "horn"), igual a la ilustrada en la figura H.5.

La derivación partió de las expresiones generales de campo lejano de una antena [33]. En esta situación, la densidad de potencia promedio en esta situación quedó como

$$p(\theta, \phi) = \frac{k_0^2 Z_0}{2(4\pi r)^2 c^2} (F_0 F_0^* + F_\phi F_\phi^*) \quad [H.131]$$

donde F_0 y F_ϕ son funciones de θ y ϕ , que indican la direc-

cionalidad del patrón de radiación de la antena bocina.

Estas funciones son dadas por

$$F_0(\theta, \phi) = K \cos\theta \cos\phi D_1(\theta, \phi) D_2(\theta, \phi) \quad [H.14]$$

$$F_0(\theta, \phi) = -K \sin\phi D_1(\theta, \phi) D_2(\theta, \phi) \quad [H.15]$$

en las que

$$K = 4\pi ab C_0(1 + R)/\mu_0 \quad [H.16]$$

$$D_1(\theta, \phi) = \cos U / (\pi^2 - 4U^2) \quad [H.17]$$

$$U = (\pi a/\lambda) \sin\theta \cos\phi \quad [H.18]$$

$$D_2(\theta, \phi) = (\sin V)/V \quad [H.19]$$

$$V = (\pi b/\lambda) \sin\theta \sin\phi \quad [H.20]$$

C_0 es la amplitud de la componente E_y del campo eléctrico en el modo dominante TE_{10} en la guía rectangular alimentadora de la antena; y R es el coeficiente de reflexión que presenta la antena ante la guía.

Para determinar la densidad de potencia que aparece directamente frente a la boca de la antena (es decir en $\theta=0, \phi=0$), se empleó la ecuación H.13 con las demás, dando

$$p(0,0) = \frac{Z_0(1 + R^2)(k_0 ab C_0)^2}{c^2 \mu^2 r^2} \quad [H.21]$$

o sino

$$p(0,0) = \frac{(1 + R^2)(abwC_0)^2 \epsilon}{cr^2} = P_B \quad [H.22]$$

valor que se lo seleccionó igual a P_B para la distancia r del caso. Por ejemplo, en el caso específico de una antena bocina con una boca de 0.9"X0.9", de banda X, alimentada con una fuente de 100 mW, sólo es necesario una distancia de 5 cm desde la antena para obtener una densidad de potencia de 1.7 mW/cm² sobre la muestra.



A.F. 141641