

dedico este manual a elizabeht gracias  
por ser tan linda ninia piciosa  
att.luis



# Capítulo 1

## LA GENERACION DE MICROONDAS Y ESTRUCTURA DEL MAGNETRON

### El calentamiento por microondas

**P**ara iniciar el tema conviene plantearse una pregunta: ¿cómo las microondas pueden constituirse en una fuente de calor, de potencia suficiente para generar temperaturas capaces de llevar el agua al punto de ebullición y de permitir la cocción de alimentos, inclusive sin que el recipiente se caliente, salvo por la temperatura que el propio cuerpo le transmite?

Para responder a esta interrogación, tenemos que revisar algunos conceptos sobre electricidad y magnetismo, así como la acción que ejercen estas fuerzas sobre las moléculas.

En principio, hay que recordar que las moléculas de cualquier material que pue-

da ser calentado por microondas, siempre están polarizadas; es decir, en una de sus puntas se concentra una carga negativa y en otra una carga positiva. Por ejemplo, el agua está compuesta de hidrógeno y oxígeno (figura 1.1), y cada molécula de estos elementos contiene carga positiva y negativa en sus puntas.

En condiciones normales, las moléculas del agua o de cualquier alimento siempre están polarizadas al azar, como se

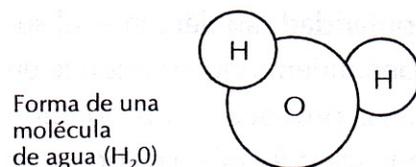
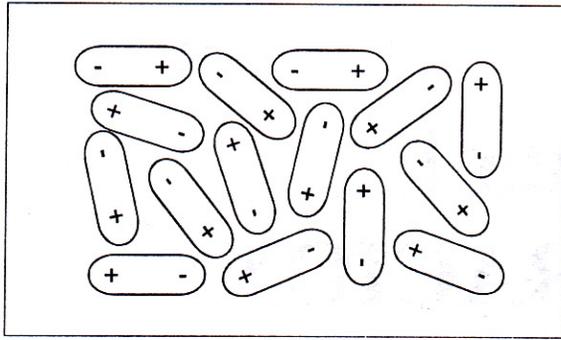


Figura 1.1

Figura 1.2



muestra en la figura 1.2. Pero si son expuestas a la acción de un campo electromagnético, se alinearán como se muestra en la figura 1.3 (recuerde que signos iguales se repelen y signos contrarios se atraen). Y si la dirección del campo

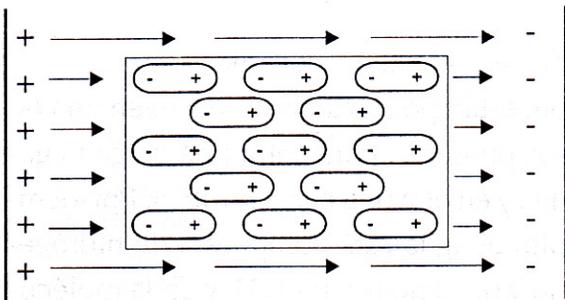


Figura 1.3

electrostático se invierte, la alineación de las moléculas también se invertirá conforme se muestra en la figura 1.4.

Y aún más: si el campo electrostático cambia de polaridad rápidamente, el sucesivo reordenamiento que se induce en las moléculas, provocará una fricción entre ellas que se traducirá en calor (como experimento, frote sus manos rápidamente

y compruebe cómo se incrementa la temperatura de su piel).

En un horno de microondas por lo general se manejan frecuencias de 2,450 MHz, lo cual significa que el campo electrostático generado se invierte y retorna a su posición original 2,450 millones de veces por segundo, suficientes para propósitos de cocimiento. Y se ha elegido este número de oscilaciones porque es una de las frecuencias de resonancia de la molécula del agua, permitiendo así un rápido calentamiento.

### Propiedades del calor generado por microondas

Por lo expuesto en el apartado anterior, se comprende que el principio del cocimiento por microondas es sustancialmente distinto del cocimiento por fuego o por cualquier otro procedimiento basado en las ondas caloríficas.

La primera diferencia importante es que en un horno de microondas no existe un elemento calefactor evidente, como sería una flama o una resistencia. Otra di-

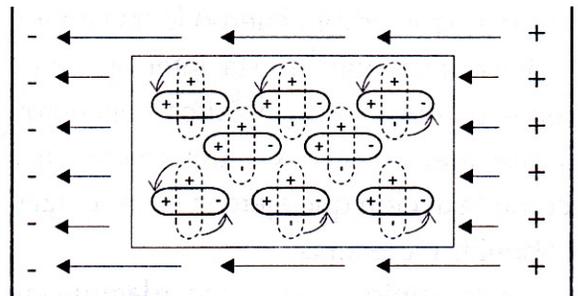


Figura 1.4

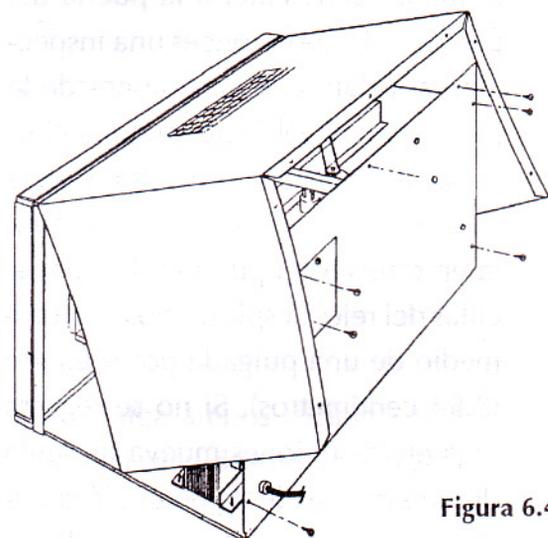


Figura 6.4

vale a  $68\text{ }^{\circ}\text{F} \pm 9\text{ }^{\circ}\text{F}$ ) y póngalo al centro del horno.

- 3) Encienda el horno en alta potencia.
- 4) Seleccione en el analizador de doble rango la posición de 2,450 MHz.
- 5) Utilizando la punta y el cono espaciador como se describió anteriormente, efectúe mediciones en torno al área abierta del magnetrón y a la superficie de la guía de ondas como se muestra en la figura 6.3, pero siempre protegiéndose de las áreas

de alto voltaje. El medidor debe presentar lecturas menores a  $5\text{ MW/cm}^2$ .

En este caso deben observarse las precauciones que se citan enseguida:

- No ponga sus manos en sitios donde sospeche que hay una fuga de microondas, sobre todo si el nivel de inseguridad del campo electromagnético no es conocido.
- Para realizar mediciones en un punto sospechoso, aproxime lentamente la punta de prueba a la unidad en revisión hasta obtener la lectura correspondiente en el instrumento.
- Debe ser especialmente cuidadoso de no poner su vista en línea directa con la fuente de energía de las microondas.
- No toque ningún componente de alto voltaje.

Y con esto concluimos el presente fascículo de **Teoría y Servicio Electrónico**, recordándole que la reparación de un horno de microondas no es una actividad compleja; de hecho, es más sencilla que el servicio a una videograbadora, un televisor o un equipo de audio.

En este caso necesariamente se requiere el medidor profesional recomendado en el capítulo anterior, ya que el instrumento económico no tiene la suficiente resolución para garantizar una medición correcta, sirviendo tan solo para una revisión aproximada.

Los pasos a seguir en este caso se enumeran enseguida:

- 1) Como primer paso, vierta  $275 \pm 25$  cc de agua a  $20^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$  (equivale a  $68^\circ\text{F} \pm 9^\circ\text{F}$ ) en el recipiente refractario graduado a 600 cc y póngalo en el centro del horno.
- 2) Encienda el horno a su máxima potencia y mida la fuga usando el analizador de energía de microondas.
- 3) En el analizador de dos rangos ubique un nivel de 2,450 MHz.
- 4) Cuando efectúe la medición de fugas, utilice siempre un cono espaciador de dos pulgadas junto con la punta de prueba (la figura 6.3 le sir-

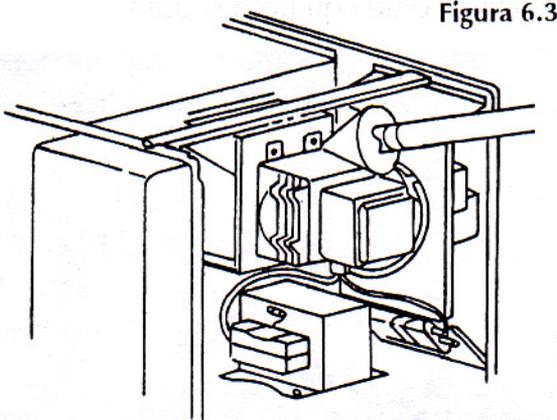


Figura 6.3

ve de ejemplo), manteniendo ésta en forma perpendicular a la puerta del gabinete. Haga entonces una inspección a lo largo de las uniones de la puerta con el gabinete, en los sellos, en la ventana de observación y en la abertura de escape, moviendo la punta en dirección opuesta a las manecillas del reloj desplazándose un promedio de una pulgada por segundo (2.54 centímetros). Si no se registra fuga en las uniones mueva la punta de prueba más lentamente. Y cuando verifique la zona cercana a la esquina de la puerta, no deje de mantener la punta perpendicular a las áreas y asegúrese que la distancia entre ésta y la base del cono no sea menor a dos pulgadas. Si esto no ocurre, las lecturas pueden ser erróneas.

5) La medición de fugas de radiaciones deberá ser menor a  $5 \text{ MW/cm}^2$  después de un ajuste o reparación.

### El chequeo de fugas de microondas con la cubierta exterior removida

También debe efectuarse un chequeo con la cubierta exterior retirada, para evitar que se produzcan peligrosas fugas de radiaciones electromagnéticas. En tal caso los pasos a seguir son los que se citan:

- 1) Como primer paso remueva la cubierta exterior (figura 6.4).
- 2) Vierta  $275 \pm 25$  cc de agua en el recipiente de 600 cc a  $20^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$  (equi-

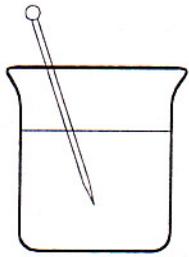


Figura 6.1

Anote cuidadosamente la temperatura del agua, usando un termómetro de alcohol.

- 6) Extraiga ambos recipientes del horno, enseguida agite el agua con el termómetro y anote la temperatura T1' y T2' en °C.
- 7) Calcule el incremento ( $\Delta$ ) de la temperatura del agua en cada recipiente por la fórmula siguiente:

$$\Delta T1 = T1' - T1 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

$$\Delta T2 = T2' - T2 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

- 8) Calcule el potencial de salida de las microondas por la siguiente fórmula o apóyese en la figura 6.2.

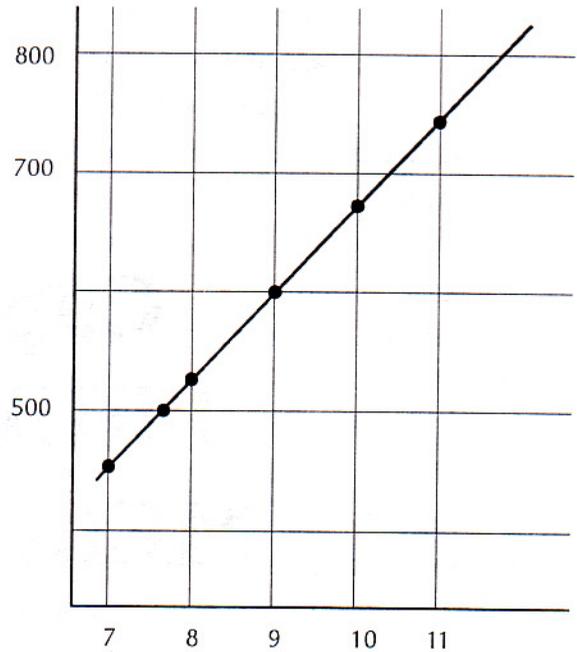
$$\text{Potencia} = \frac{70 \times (\Delta T1 + \Delta T2)}{2} \text{ (Watts)}$$

La potencia obtenida debe estar en relación a la potencia de salida anunciada por el fabricante.

Al respecto, deben considerarse las siguientes precauciones:

- El calentamiento debe ser exactamente por dos minutos.
- La cantidad de agua debe ser de dos litros.

Figura 6.2



- El voltaje de línea debe ser especificado en el aparato a 120 Vac ó 240 Vac, según la línea y el horno
- El horno debe ser precalentado 30 minutos antes de efectuar la medición, por ejemplo con un recipiente lleno de agua.
- La temperatura de la charola debe mantener un nivel ambiente.
- La temperatura ambiente debe ubicarse en un nivel de 20 °C  $\pm$ 1 °C (equivalente a 68 °F  $\pm$ 2 °F).

### Prueba de fuga de microondas

Para esta prueba se necesita el siguiente equipo: el analizador de energía de microondas, un recipiente de vidrio refractario de 600 cc y el termómetro de alcohol de 100 °C ó 222 °F.

# Capítulo 6

## PRUEBAS Y MEDICIONES

### Introducción

**N**o es posible verificar si un horno se encuentra trabajando correctamente si antes no se comprueba que la emisión de microondas sea la adecuada y que efectivamente lleguen a la cavidad y se distribuyan de manera uniforme en el comestible. Precisamente, en los apartados siguientes hablaremos de dos métodos para efectuar estas pruebas en cualquier aparato, sin importar la marca y el modelo.

### Prueba de potencia de salida de las microondas

La salida de potencia se puede verificar midiendo de manera indirecta el incre-

mento de la temperatura en una cierta cantidad de agua expuesta a las microondas. El procedimiento se describe enseguida paso a paso:

- 1) Prepare dos recipientes de plástico o vidrio para horno.
- 2) Vacíe un litro de agua fría en cada recipiente, a una temperatura aproximada de  $10\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$  (equivale a  $50\text{ }^{\circ}\text{F} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{F}$ ).
- 3) Agite el agua y anote las temperaturas T1 y T2 (correspondiente a cada recipiente) en  $^{\circ}\text{C}$  (figura 6.1).
- 4) Introduzca ambos recipientes en el horno de microondas.
- 5) Caliente el agua por un período exacto de dos minutos, considerando la potencia máxima.

licas para que las microondas reboten y se concentren en el alimento. En consecuencia, si presenta algún tipo de fisura, aunque sea pequeña, es probable que el calentamiento ya no sea uniforme o que exista algún riesgo de fugas de energía, por lo que una medida prudente sería cambiar toda la cavidad o recomendar al cliente que adquiera uno nuevo.

Hay productos que pueden utilizarse como sellador en las fisuras de la pared del horno; por lo general, se trata de resinas con un alto contenido metálico y que tienen la capacidad de hacer rebotar las microondas. Incluso, en casos extremos podrían soldarse los puntos abiertos. Sin embargo, este tipo de reparaciones no se recomiendan, porque tal vez la dispersión de las microondas ya no sea la adecuada. Lo recomendable es reemplazar toda la cavidad (es posible conseguirlas también en los llamados "deshuesaderos"), y dejar estas soluciones como último remedio.

No obstante, los mayores problemas de este tipo no se encuentran propiamente en la cavidad, sino en la puerta. Es común que por el mal trato la compuerta se "cuelgue", abolle, etc. Inclusive, en el servicio hemos encontrado puertas con perforaciones producidas por algún me-

tal fundido que descuidadamente dejó en su interior el usuario. El hecho es que en estos casos pueden producirse peligrosas fugas de radiaciones.

Es por ello que se recomienda que durante la revisión de un horno de microondas haga una inspección cuidadosa con el detector de fugas en torno a la puerta. Y también es recomendable que vuelva a efectuar esta prueba al momento de entregar el aparato al cliente.

Y si bien una puerta desbalanceada puede ajustarse nuevamente con relativa facilidad, le recomendamos que cuide siempre el alineamiento de los switches de INTERLOCK y su correcta posición, de modo que los switches primario y secundario se cierren única y exclusivamente cuando la puerta esté firmemente cerrada (en estos aparatos no se puede permitir ningún "juego" entre la puerta y la cavidad). Pero si es el caso de que la puerta se encuentra dañada, lo más recomendable es sustituirla.

Ya para finalizar este fascículo de **Teoría y Servicio Electrónico**, en el capítulo siguiente hablaremos de algunas pruebas que es recomendable efectuar para comprobar cómo está funcionando un horno de microondas.

muy desagradable e incluso dañar al equipo de medición.

Por supuesto que las mediciones en la sección de alto voltaje deben realizarse con un voltímetro especial, capaz de medir tensiones de 10,000 volts o más. Al respecto, nunca cortocircuite ni desactive los switches de INTERLOCK que impiden la operación del horno con la puerta abierta, porque igualmente puede exponerse a dosis peligrosas de radiaciones. Si usted sigue cuidadosamente estas instrucciones, la reparación de un horno de microondas no debe representarle ningún riesgo para su salud.

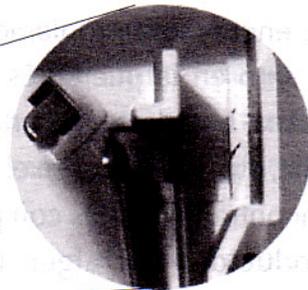
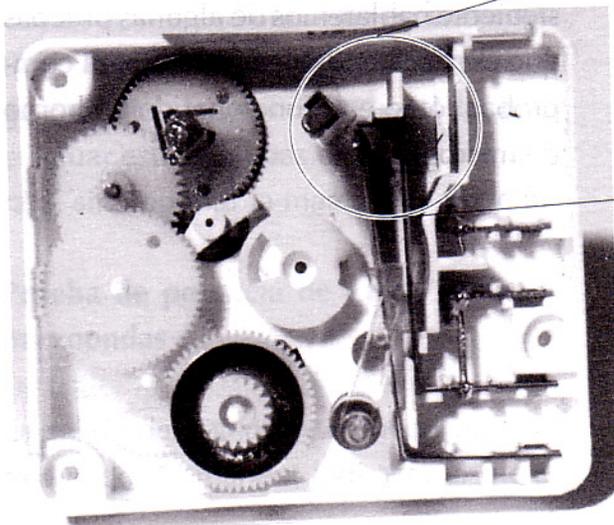
Para finalizar este apartado, conviene mencionar una falla muy común en un horno de microondas: aunque todo el circuito de control funcione adecuadamente, si los relevadores que permiten el encendido y apagado del magnetrón (figura

5.9) se ensucian o "flamean", al no haber un contacto adecuado entre sus terminales se impedirá el paso normal del voltaje a la fuente de alto poder, y por lo tanto el magnetrón no funcionará correctamente, si no es que deja de funcionar. En tal caso la limpieza es lo más adecuado, pero incluso puede requerirse la sustitución de uno u otro relevador. De hecho, la misma situación suele presentarse en hornos que usan mecanismos de relojería, los cuales cierran y abren dos contactos.

### Fallas en la cavidad

La cavidad donde se colocan los alimentos para su cocción debe observar ciertas características, no sólo para cumplir cabalmente su función sino también para garantizar la seguridad del usuario. En primer lugar, todas las paredes son metá-

Figura 5.9

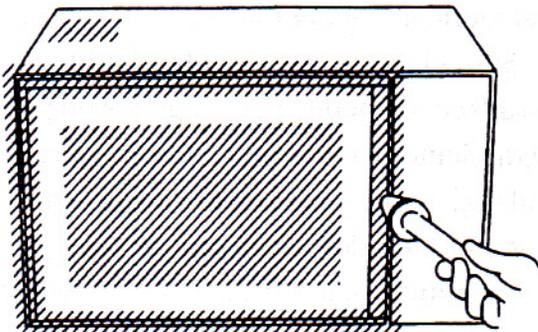


Unos relevadores o contactos flameados pueden inutilizar por completo al horno de microondas. En la fotografía se muestra un control mecánico (de perilla), con un par de contactos carbonizados y con conexión deficiente.

microcontrolador, y que éste responda en consecuencia. Si todo lo anterior se cumple, puede descartarse a este integrado como el responsable directo de la falla, mas no al sistema de control en general, ya que hay detalles que deben cuidarse, según explicaremos más adelante.

Conviene volver a insistir en que nunca deben efectuarse mediciones en un horno de microondas encendido, ya que hay un fuerte riesgo a una descarga eléctrica que puede ser peligrosa. Justamente, para efectuar algunas pruebas con el horno trabajando, estando la puerta cerrada y con un vaso de agua en su interior, encienda el aparato a su máxima potencia y utilice un medidor de campo electromagnético para verificar que no existan fugas de radiación. Tenga especial cuidado en las zonas que rodean la puerta (figura 5.7), ya que la mayoría de dispersiones electromagnéticas de peligro provienen de estas áreas.

Figura 5.7



Repita el procedimiento una vez retirada la cubierta metálica para comprobar que en toda el área alrededor del

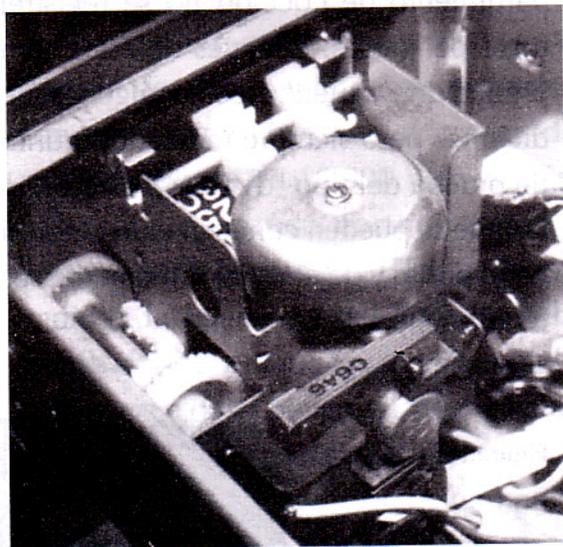
magnetron, de la guía de ondas y el compartimiento de cocción no se registren fugas peligrosas. Después de estas comprobaciones, puede efectuar algunas mediciones pero siempre utilizando puntas de prueba del tipo "de uñas", esto es, de las que se pueden conectar a un determinado punto y dejarse ahí firmemente sostenidas (figura 5.8).

Figura 5.8



Coloque la puntas con el aparato apagado y enciéndalo cuando haya terminado de hacer las conexiones correspondientes, manteniéndose lo más alejado posible (sobre todo de la sección que genera las microondas, en especial si se padecen problemas cardiacos o se utiliza marcapasos, en cuyo caso las emisiones electromagnéticas pueden interferir en la operación de tan delicados sistemas). De hecho, para efectuar mediciones en la zona del magnetron y su fuente de alto voltaje, es conveniente desconectar el horno antes de acoplar las puntas de prueba, y algo muy importante en lo que conviene insistir: asegúrese de descargar adecuadamente el capacitor de alto voltaje, porque puede provocarle una descarga

Figura 5.6



El ensamble temporizador enciende y apaga al magnetrón durante el tiempo fijado de cocción. Una campana avisa cuando ha concludido el ciclo.

## El circuito de control

Como su nombre lo indica, esta sección es responsable de controlar el tiempo de encendido del magnetrón y la potencia emitida para la cocción de los alimentos. Puede estar formado tan solo por un pequeño dispositivo de relojería que active o desconecte un interruptor para alimentar al magnetrón (figura 5.6), o bien, puede ser un complicado sistema electrónico con temporizadores y controles de temperaturas diversas (recuerde que la temperatura se controla encendiendo y apagando al magnetrón sucesivamente).

En los hornos modernos de hecho predominan los sistemas digitales, los cuales permiten programar el aparato fijando tiempos de operación con precisiones de

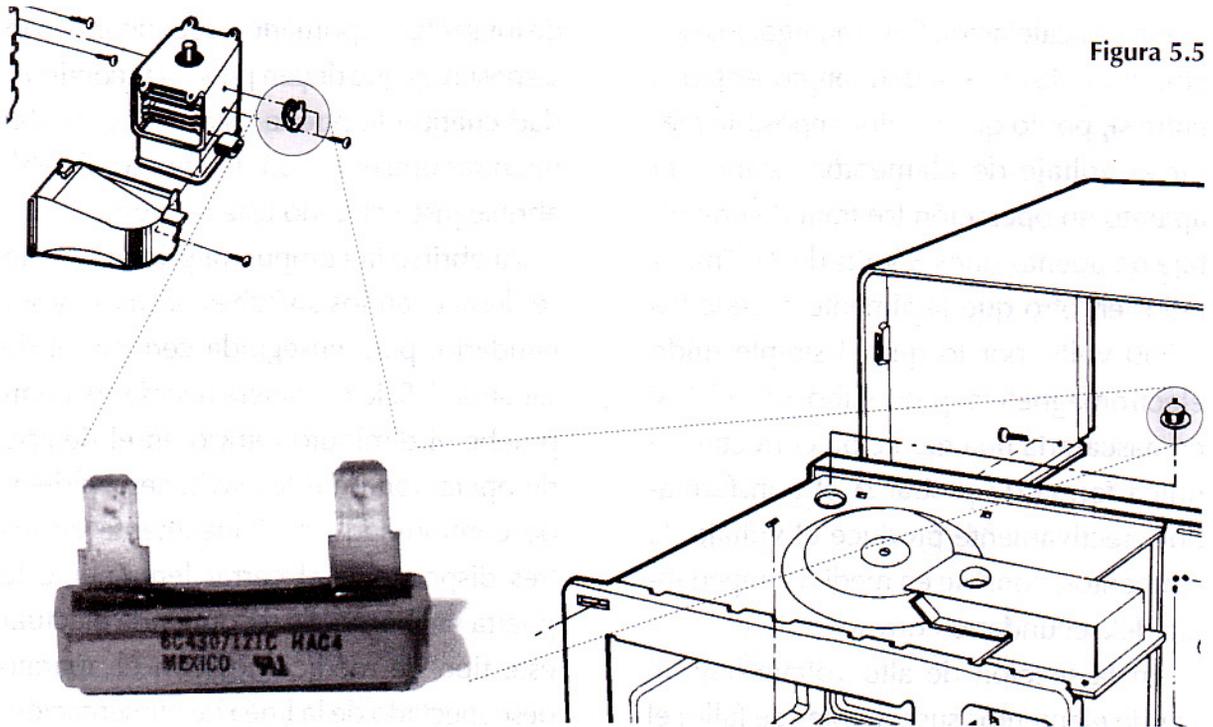
hasta un segundo (lo que es difícil lograr con mecanismos de reloj), ofreciendo diversas temperaturas de operación, etc.

Como puede suponer, un sistema de este tipo requiere de una fuente de poder permanente para alimentar a los circuitos digitales de manera independiente al circuito de alto voltaje que alimenta al magnetrón. A esta sección de alimentación se le denomina "fuente de bajo voltaje", y por lo común se encuentra adosada en la misma placa que aloja a los circuitos de control digital.

Si es el caso en que el horno deja de funcionar por completo, lo primero que debe verificarse es el comportamiento del circuito de control, ya que una falla en esta sección desactivaría completamente a todo el aparato (tal vez con excepción de la lámpara que se enciende al abrir la puerta en algunos modelos). Por lo tanto, debe revisarse la tensión de línea a la entrada de la fuente de bajo voltaje, así como la respectiva generación de un nivel de entre 5 y 12 volts (dependiendo del fabricante y del modelo).

Si el circuito de alimentación funciona adecuadamente, debe seguirse un procedimiento para la detección de fallas similar al empleado en cualquier sistema a microprocesador: primero hay que revisar la alimentación ( $V_{cc}$  y GND) del circuito integrado controlador de sistema, luego checar la oscilación de reloj, para enseguida verificar el pulso de reset y comprobar si las órdenes impartidas desde el teclado efectivamente llegan al

Figura 5.5



tores térmicos, los cuales se ubican justo a la entrada de la alimentación de AC (figura 5.5). Uno de ellos va colocado en contacto directo con el magnetrón, mientras que detecta la temperatura de la cavidad. Cuando cualquiera de los dos percibe un aumento de temperatura por arriba de las especificaciones, se abren, impidiendo el paso de voltaje incluso a la fuente permanente, con lo que el aparato se apaga y "resetea".

Vamos a finalizar este apartado con algunas recomendaciones para la sustitución del magnetrón. Como primer paso, tenga especial cuidado de desconectar el aparato y descargar el condensador de alto voltaje. Enseguida retire todos los cables que llegan hasta el magnetrón, levantando un diagrama donde se especi-

que claramente dónde va cada uno. A continuación retire los tornillos que fijan este dispositivo al chasis, y extráigalo con cuidado para no dañar la antena emisora de microondas.

Ya con el magnetrón fuera, retire el switch térmico y colóquelo en el nuevo dispositivo. Tome a este elemento con cuidado e introduzca la antena a la entrada de la guía de ondas (si realiza esta acción descuidadamente, puede dañar la antena y arruinar al nuevo magnetrón). Una vez fijado en su posición correcta, coloque nuevamente todos los cables y asegúrese de que nada haya quedado fuera de su lugar. Si todo se efectúa con las debidas precauciones, el horno volverá a funcionar normalmente, salvo que existan una falla en otra sección.

filamento calefactor. Sin embargo, los dos embobinados se encuentran conectados entre sí, por lo que resulta imposible medir el voltaje de filamentos estando el aparato en operación (se trata de un voltaje de apenas unos 3 volts de AC "montado" en otro que fácilmente excede los 3,000 volts, por lo que el simple ruido electromagnético producido por el HV enmascararía una medición correcta). La única forma de probar si el transformador efectivamente produce el voltaje de filamentos, consiste en medir la impedancia del secundario correspondiente.

En la sección de alto voltaje hay un par de elementos susceptibles de fallo: el condensador y el diodo rectificador. Si llegara a detectar que alguno de estos componentes presenta problemas, utilice sólo reemplazos originales, ya que por lo general se trata de partes especialmente adaptadas para la función que realizan. Por lo que se refiere a la resistencia asociada en paralelo al condensador, conviene precisar que es un dispositivo de seguridad (por lo general tiene un valor de más de 1 M $\Omega$ ) que muy rara vez falla. Y aunque también puede ocasionar problemas el transformador en sí, son fallas que fácilmente pueden detectarse por la ausencia de alto voltaje.

A su vez, dentro de los circuitos del magnetrón es posible considerar la operación de los switches INTERLOCK, puesto que, según se explicó en el capítulo 3, se abren y cierran dependiendo de la posición de la puerta. En el caso específico

de los switches primario y secundario, son dispositivos que deben presentar continuidad cuando la puerta está bien cerrada, mientras que el switch de seguridad debe abrirse justo cuando ésta se cierra.

Al abrirse la compuerta primeramente se desactivan los switches primario y secundario, para enseguida cerrarse el de seguridad. Si lo considera necesario, compruebe el diminuto retraso en el tiempo de operación de estos switches, midiendo continuidad simultáneamente en los tres dispositivos al cerrar lentamente la puerta del horno. Se recomienda efectuar este tipo de mediciones con el aparato desconectado de la línea de alimentación.

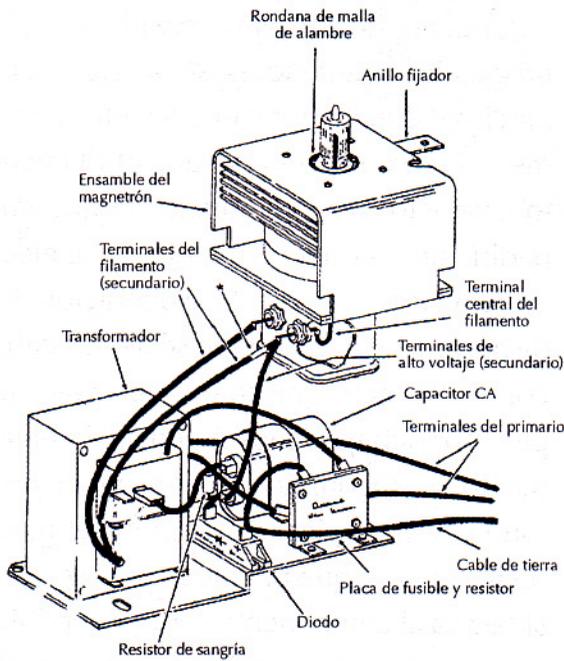
Otros elementos que también forman parte del circuito del magnetrón son el ventilador de enfriamiento y el rotor del plato giratorio. En realidad, se trata de simples motores de AC cuyo funcionamiento puede probarse en forma independiente, por lo que no es necesario ofrecer más explicaciones.

Un aspecto que conviene mencionar es que algunas veces se solicita el servicio técnico simplemente para cambiar la lámpara del interior, siendo que es un trabajo muy sencillo que puede efectuar el propio usuario. Sin embargo, si se presenta un caso de estos en su taller, le recomendamos que utilice un reemplazo exactamente del tipo y potencia especificadas, ya que de lo contrario puede ocasionar problemas futuros.

Otro aspecto al que debe ponerse mucha atención es al estado de los interrup-

difícil dañar esta parte. Sin duda alguna, el extremo más susceptible a presentar problemas es la antena de salida, la cual puede torcerse o quebrarse con un golpe o un manejo inadecuado. Y justamente la revisión debe concentrarse en esta zona. Figura 5.3.

Figura 5.3



Si llegado a este punto no hay problemas, debe revisarse entonces la fuente de alto voltaje. En la figura 5.4 se muestra una configuración típica de la conexión de la fuente al magnetrón. Puede observarse que el transformador de la fuente de alto voltaje incluye dos embobinados secundarios; uno para la generación del alto voltaje propiamente dicho y otro para el

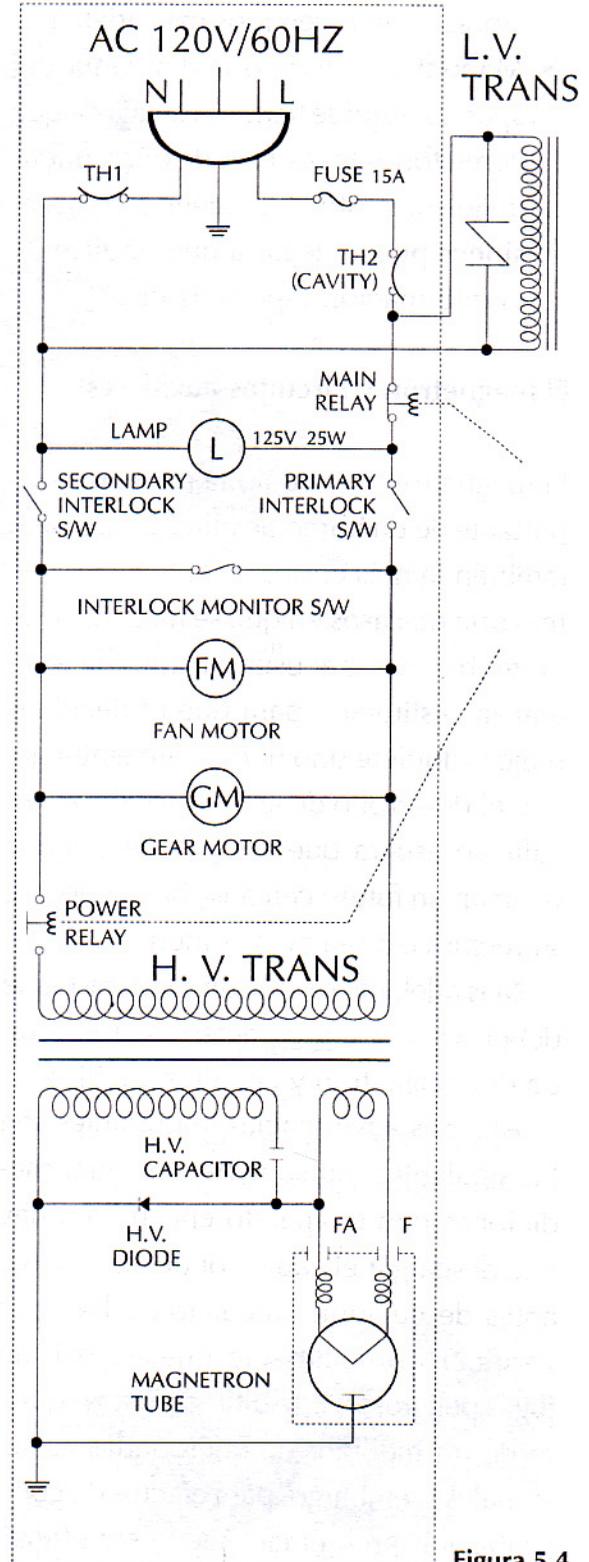


Figura 5.4

son indispensables para ciertas mediciones, como veremos más adelante.

- Manual de servicio o diagrama del aparato. Aquí se tiene la ventaja de que como todos los hornos de microondas tienen una estructura idéntica, en ocasiones puede llegar a prescindirse de la información especializada.

## El magnetrón y circuitos auxiliares

El magnetrón no es sólo la parte más importante de un horno de microondas, sino también la más costosa. De hecho, en la mayoría de casos en que se ha dañado es preferible avisar al usuario antes de efectuar la sustitución para que él decida si mejor adquiere uno nuevo. Sin embargo, con el desarrollo de la producción en escala, se espera que sus precios tiendan bajar en un futuro cercano, haciendo que su reemplazo sea algo común.

Más adelante se indican los puntos que deben chequearse para determinar el estado del magnetrón y circuitos auxiliares.

Algunas advertencias importantes son las siguientes: no se deben efectuar mediciones con el aparato encendido, hay que descargar el capacitor de alto voltaje antes de cualquier medición y hay que verificar primeramente que no existan fugas peligrosas. Este último punto requiere de un medidor de microondas profesional, sin embargo, para efectos de comprobación preliminar, puede ser utilizado sin problemas el pequeño aparato sustituto mostrado en la figura 5.2.

Para descargar el capacitor, simplemente toque con un desarmador las dos terminales del dispositivo y posteriormente al chasis del horno, a fin de garantizar que toda la sección de alto voltaje quede a nivel de "tierra". Y ya que mencionamos este aspecto, es muy importante que el horno se utilice en toma-corrientes apropiados; esto es, en contactos de tres terminales convenientemente definidas como "neutro", "vivo" y "tierra física".

Una vez que se han considerado las precauciones anteriores, se pueden efectuar las mediciones en el magnetrón. Primero debe comprobarse que el filamento calefactor no esté abierto, lo que impediría una producción correcta de electrones y por consiguiente la operación del dispositivo. Esta medición se lleva a cabo con un óhmetro, mostrando un valor típico por debajo de los 2 ohms. Si el filamento se encontrara abierto, no habría forma de reemplazarlo sin abrir el magnetrón, por lo que prácticamente se consideraría al componente como inservible.

Enseguida debe revisarse el estado físico de la bombilla que envuelve al cátodo y al ánodo, ya que cualquier fractura permitiría el paso del aire, perdiéndose el vacío en el interior del dispositivo, por lo que no podría operar adecuadamente (esta condición es indispensable para una correcta producción de electrones en el cátodo). Por lo general, el "cuerpo" del magnetrón se encuentra contenido en un recipiente que incluye a las aletas de enfriamiento, por lo que es muy



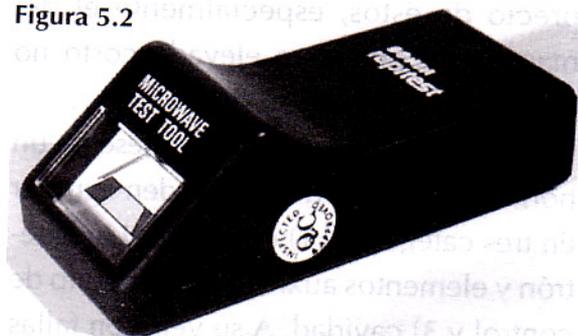
Figura 5.1

Los elementos necesarios para reparar hornos de microondas no pasan de un juego de herramientas, un multímetro y un medidor de fugas de microondas, además de algunos elementos auxiliares.

- Herramientas diversas como pinzas, desarmadores y similares.
- Medidor de fugas de microondas. Este pequeño instrumento es de hecho el único especializado que se requiere. Sin embargo, tiene un costo que solamente se justifica si en su centro de servicio se reparan con frecuencia estos aparatos, pero si es el caso en que se reciben esporádicamente, le recomendamos adquirir un detector de bajo costo como el que se muestra en la figura 5.2, el cual no permite efectuar una revisión tan minuciosa como la que especifican los fabricantes, pero sí permite detectar fugas importantes. Barra de focos neón, para comprobar la emisión de microondas.

- Juego de recipientes de vidrio para realizar las mediciones correspondientes a la potencia de generación de microondas; de preferencia deben ser del tipo empleado en laboratorios químicos, con capacidades de entre 0.5 y 1 litro. Especialmente importantes son dos recipientes de un litro, ya que

Figura 5.2



# Capítulo 5

## PROCEDIMIENTOS DE REPARACION

### Cómo es la reparación de un horno de microondas

Usted ya habrá advertido que la estructura de un horno de microondas es muy sencilla, por lo que cabe esperar que los procedimientos de reparación de estos aparatos no presenten grandes complicaciones, a diferencia de otros equipos como televisores y videograbadoras. De hecho, tal vez la mayor complicación esté en la localización de repuestos o en el precio de éstos, especialmente el del magnetrón, por cuyo elevado costo no siempre es factible sustituirlo.

Las fallas que típicamente presenta un horno de microondas se pueden agrupar en tres categorías: 1) circuito del magnetrón y elementos auxiliares, 2) circuito de control y 3) cavidad. A su vez, son fallas

que pueden provocarse por un mal uso o por simple vejez o mala calidad de los componentes utilizados. De esta manera, un horno de microondas bien empleado puede ofrecer varios años de servicio.

### Instrumentos y utensilios requeridos

Para el servicio de un horno de microondas no se requieren instrumentos o utensilios muy especializados o costosos. Básicamente, es necesario contar con los siguientes elementos (figura 5.1):

- Multímetro digital para checar voltajes, medir continuidad y/o impedancia, probar elementos pasivos, etc.
- Termómetro de alcohol de 100 °C ó 222 °F para comprobar el calentamiento producido por el horno.

la presencia de una o dos perillas en el panel de control, de las cuales la primera maneja el tiempo de encendido y la segunda la potencia. En tal caso, dichas funciones se efectúan por medios mecánicos y no electrónicos.

Otra variante que llega a encontrarse es que algunos hornos no incluyen plato

giratorio o ventilador aspersor, pero como estos son elementos auxiliares, no se altera la funcionalidad del aparato.

Concluido el análisis de la teoría de operación y de dos circuitos específicos de hornos de microondas, en el siguiente capítulo hablaremos de las técnicas de servicio respectivas.

la salida, se encuentra una configuración duplicadora de voltaje formada por un capacitor y un diodo.

Este duplicador de voltaje se ha introducido para utilizar un transformador más pequeño en la generación de un nivel de alrededor de 4,000 volts. Cuando en el secundario aparece una polaridad con el positivo en el extremo conectado al capacitor, la corriente de electrones fluye a través del diodo y carga al propio capacitor; y por lo tanto, cuando la polaridad cambia, el voltaje del embobinado se suma al del condensador, alcanzando un nivel muy alto con un transformador relativamente pequeño (aunque en realidad, este componente es el elemento más pesado de un horno de microondas, incluso por arriba del magnetrón).

Observe que existe un secundario dedicado exclusivamente al filamento del cátodo y conectado también en serie con el alto voltaje; de esta manera, aquí se tiene un nivel de unos cuantos volts de AC "montado" sobre una corriente de alrededor de 4,000 volts, lo que hace totalmente imposibles las mediciones tanto de voltaje como de corriente con el aparato funcionando. Y por último, el alto voltaje y la alimentación de filamento llegan hasta el magnetrón, donde finalmente se generan las microondas.

Hablemos ahora de los circuitos de control. Puede observar que en la esquina superior derecha se ubica el teclado de instrucciones, el cual llega hasta un microcontrolador central y circuitos auxi-

liares, encargados justamente del manejo del *display* digital y de los dos relevadores de protección. Puede apreciar que el transformador de bajo voltaje genera en sus secundarios las diversas tensiones que alimentarán al sistema de control; también existe un circuito de reset (INIT CIRCUIT), el cual recibe la alimentación de 9 volts y produce un pulso de inicialización para el microcontrolador. A su vez, junto a este circuito de reset se encuentra una bocina que produce los "beeps" indicadores de las diversas funciones. Y por último, también puede observar un circuito que detecta si la puerta está abierta o cerrada, así como un reloj oscilador y un control de temperatura.

Hemos dejado para este momento la explicación del circuito de control de relevadores, ya que esta sección funciona de una manera muy especial. Ya habíamos comentado que existen dos relevadores, uno principal y otro de potencia. Veamos cómo funcionan y la razón para mantenerlos en forma independiente.

Como puede deducir, el relevador principal es el encargado de conectar la línea de alimentación con el resto del circuito. Este dispositivo se acciona únicamente en dos situaciones: 1) cuando la puerta del horno está abierta (lo cual se detecta con el switch asociado al circuito de control), en cuyo caso se enciende la lámpara auxiliar para que el usuario manipule los alimentos en el interior de la cavidad, y 2) cuando el horno está en funcionamiento, permitiendo así el paso de la energía has-

Figura 4.3

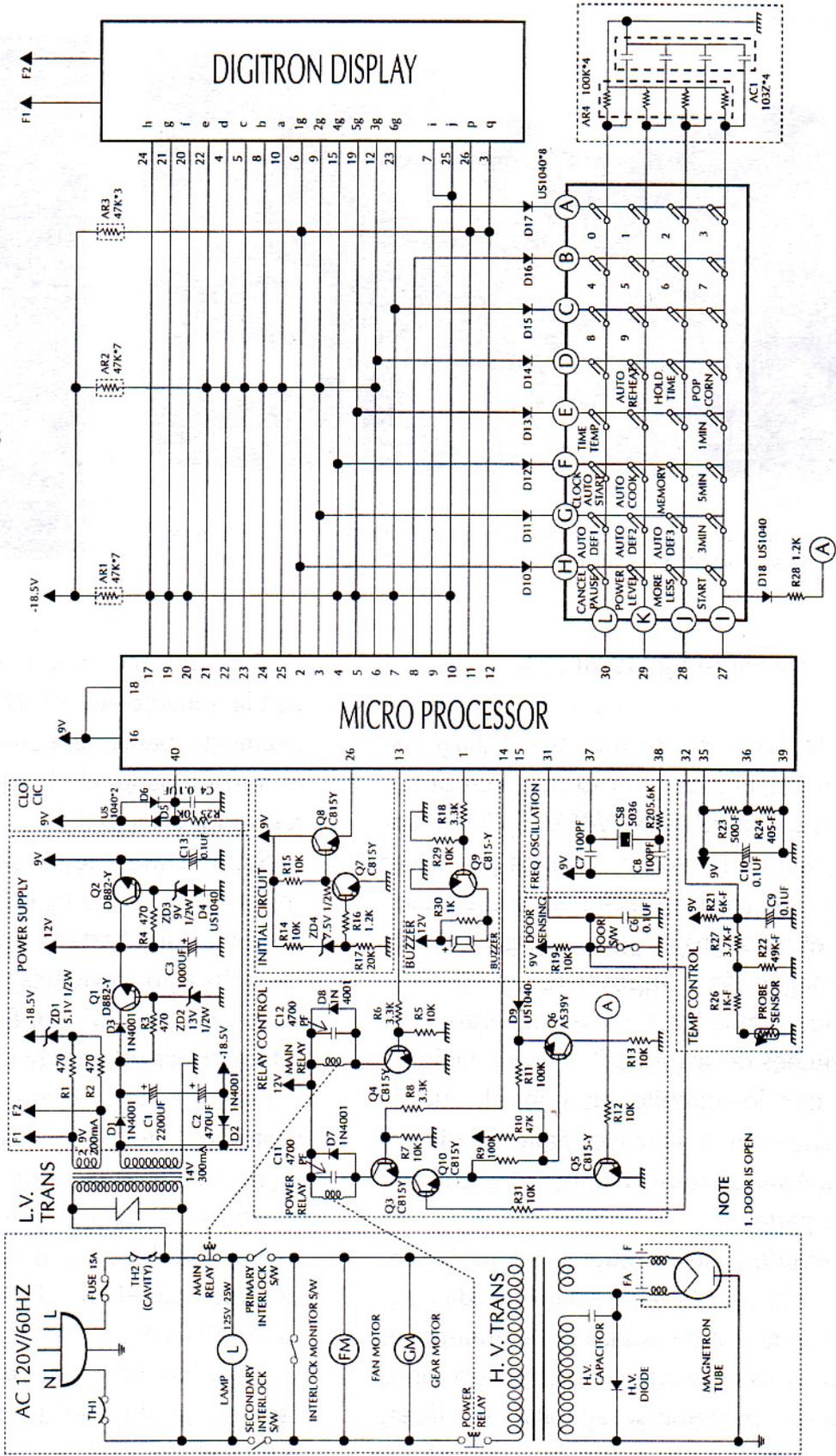
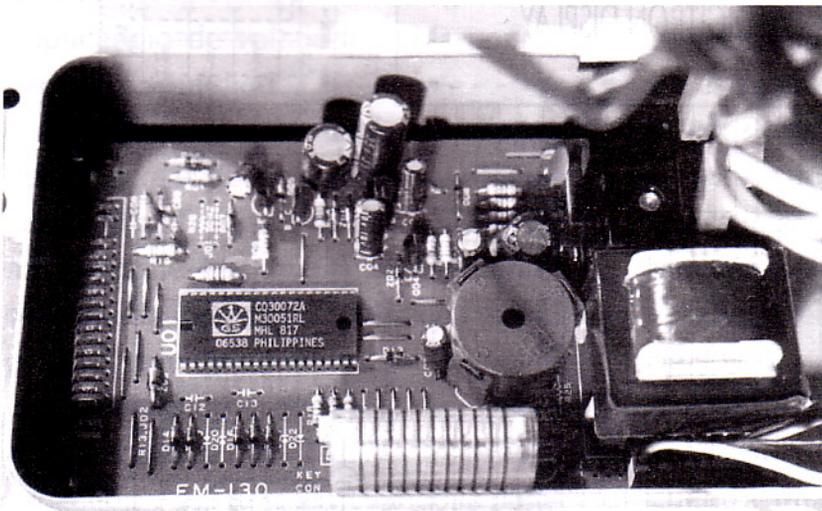
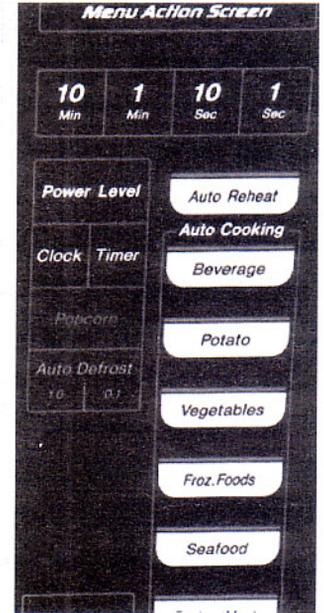


Figura 4.2



Control electrónico de un horno de microondas. El integrado que destaca es el microprocesador. A la derecha se muestra una parte del panel frontal.



### Modelo Samsung MW8610T

En la figura 4.3 se muestra el diagrama esquemático del horno de microondas Samsung modelo MW8610T. Claramente, este conjunto de circuitos puede ser dividido en dos secciones: una ubicada en el recuadro inferior, correspondiente al magnetrón y dispositivos complementarios (entre los que se encuentran los switches de seguridad), y otra relacionada con los circuitos de control, que de hecho ocupan la mayor parte del diagrama. Analicemos de manera separada ambas partes.

Puede observar que en la esquina inferior izquierda se ubica la entrada de la alimentación de AC, la cual suministra los 127 volts de corriente alterna necesarios para la operación del aparato. Estas líneas llegan a un fusible principal de 15A y a

dos interruptores térmicos identificados con la nomenclatura TH1 y TH2, respectivamente, para finalmente dirigirse hacia el transformador de bajo voltaje y a un relevador principal.

Suponiendo que el relevador anterior se encontrara cerrado, la línea de alimentación llegaría hasta la lámpara auxiliar y también a los switches de INTERLOCK primario y secundario. Si a su vez estos interruptores estuvieran cerrados, se provocaría un corto-circuito a través del switch monitor, el cual se abriría al momento de cerrar la puerta.

Con el switch monitor abierto, el voltaje de AC llega los motores del ventilador interno (FAN MOTOR) y del plato giratorio (GEAR MOTOR); enseguida atraviesa el interruptor del relevador de potencia y finalmente llega al transformador de alto voltaje, en cuyo secundario, a

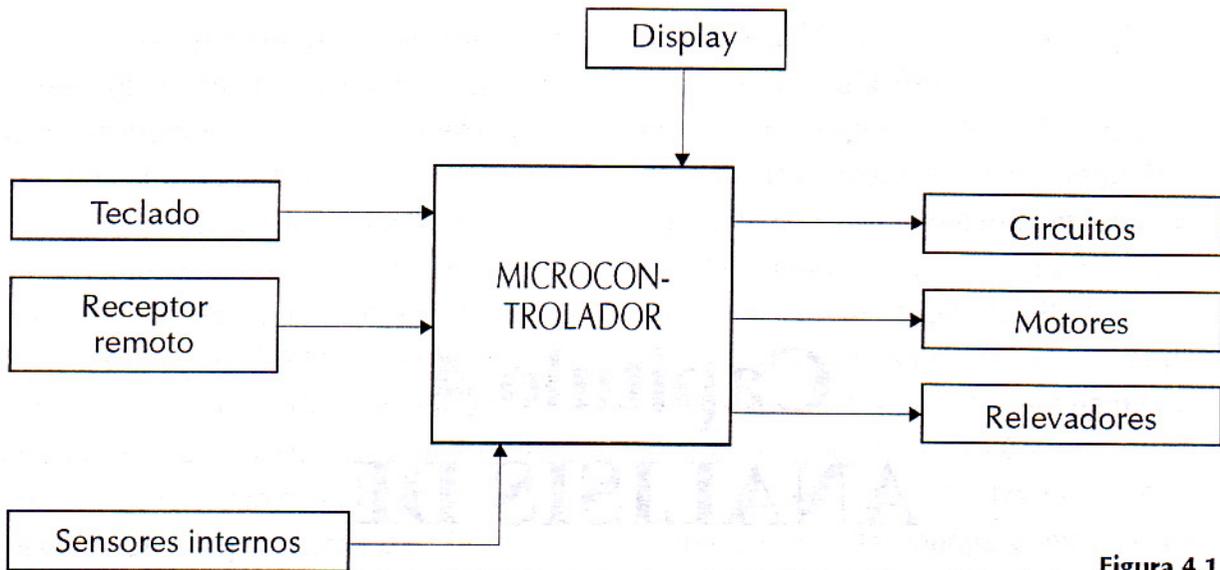


Figura 4.1

## El sistema de control

Como su nombre lo indica, el sistema de control (Syscon) es el circuito encargado de controlar toda la operación de un aparato. Generalmente, el Syscon descansa en un microcontrolador central, elemento que recibe las instrucciones del usuario (a través del teclado incluido), las interpreta e imparte las órdenes correspondientes a las secciones encargadas de su cumplimiento. También tiene como función controlar el *display*, checar la operación de todos los sensores requeridos y del temporizador interno, y si el aparato tiene la capacidad para ejecutar órdenes remotas, es el responsable de la recepción de los códigos emitidos desde el control de usuario. Figura 4.1.

En el caso concreto de un horno de microondas, el sistema de control está constituido por un circuito integrado

digital (figura 4.2), al cual van conectados directamente el teclado y los sensores (por lo general no pasan de un sensor de temperatura y de un switch de INTERLOCK); y también maneja en forma directa al *display*, ya sea fluorescente, de LED's o de cristal líquido. Por otra parte, apoyándose en varios excitadores auxiliares, el Syscon puede controlar algunos relevadores que se encargan de activar o desactivar diversas secciones del horno, lo cual permite, por ejemplo, modificar la potencia de cocción, programar el aparato para que ejecute ciertos pasos preestablecidos y otras funciones que dependen del diseño específico.

Ya con estas explicaciones podemos pasar a analizar los circuitos de dos hornos de microondas típicos, uno de marca Samsung y otro GoldStar, aprovechando la oportunidad para mencionar otros aspectos importantes.

# Capítulo 4

## ANÁLISIS DE

### CIRCUITOS TÍPICOS

#### Introducción

Un aspecto en el que conviene insistir es el siguiente: la estructura básica de los hornos de microondas es prácticamente la misma entre modelos y marcas, ya que toda su configuración y funcionalidad gira en torno al magnetrón. En efecto, las diferencias entre uno y otro tipo de aparatos tienen que ver únicamente con la potencia, con algunas funciones específicas, con el tamaño de la cavidad, etc. Sin embargo, ninguna de estas posibilidades altera la estructura básica.

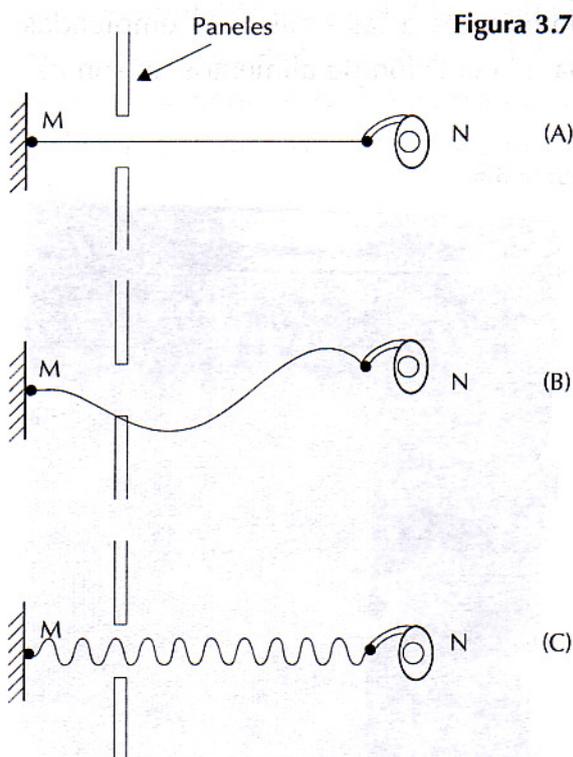
De hecho, una buena parte de las diferencias apreciables entre modelos y

marcas descansa en el sistema de control, el cual a su vez se encarga de ejecutar los programas respectivos para la cocción lenta, el descongelamiento, la operación no atendida, el control de temperatura y las demás posibilidades.

Respecto al sistema de control, no hay mucho que profundizar fuera de las técnicas que todo estudiante y personal de servicio electrónico ya conoce. Sin embargo, a manera de recordatorio es conveniente hacer un breve análisis de la operación de estos circuitos digitales, centrandose las explicaciones sobre todo en los requerimientos específicos de un horno de microondas.

paces de pasar por estos orificios, los cuales son relativamente pequeños (recuerde la distribución de frecuencias en el espectro electromagnético).

Hagamos una analogía para explicar este fenómeno. Supongamos que se tiene una cuerda atada a un determinado punto (M en la figura 3.7A), extendiéndose hasta otro punto donde una persona la sostiene (N); a su vez, a la mitad de la distancia se colocan dos paneles que reducen el espacio por donde pasa la cuer-



da. Si se agita esta correa en oscilaciones amplias de baja frecuencia (como se muestra en la figura 3.7B), habrá un choque con los paneles laterales, impidiendo así la transmisión del movimiento hacia el extremo M; y por el contrario, si el balanceo es muy leve y de alta frecuencia, la oscilación podrá atravesar sin dificultad los paneles, para llegar finalmente al otro extremo (figura 3.7C).

De manera parecida, las frecuencias amplias y de alta energía como son las microondas (comparadas con las frecuencias de la luz), pueden ser controladas por el tamaño diminuto de los orificios de la ventana, mientras que las ondas de mayor frecuencia y poco potentes, como las de la luz, pueden atravesar los mismos orificios sin problemas. Es por ello que se puede observar sin riesgo el alimento en el interior del horno mientras se cuece, lo que a su vez se facilita por la lámpara que se dispone en la propia cavidad.

Y no obstante que hay varios sistemas de seguridad, al dar servicio a un horno de microondas es necesario contemplar algunas precauciones, sobre todo cuando se retira la cubierta exterior. Pero de ello nos ocuparemos más adelante.

dad principal, al entrar en el sistema de CHOKE viaja en este espacio para finalmente ser rebotada hacia el compartimiento de cocción. Esta onda tiene  $1/2$  de la longitud de la onda que viaja y cancela a la energía que proviene de la cavidad, debido al fenómeno de interferencia (la suma de dos señales de la misma frecuencia e intensidad pero defasadas  $180^\circ$ ).

En la figura 3.5 se muestra cómo se lleva a cabo este proceso. Observe que al penetrar las ondas la cavidad de CHOKE, rebotan en su interior hacia el punto por donde se fugaron, cancelando así otra posible fuga. Sin embargo, conviene precisar que esta cavidad está rellena de propileno (material transparente a las microondas) para mantener el interior limpio y en forma; por lo tanto, sólo podría observarse dicho compartimiento cortando longitudinalmente una puerta.

- 3) **Banda de goma de ferrita.** Alrededor de la puerta se adhiere una tira de ferrita, un material capaz de absorber la energía de las microondas que hayan escapado entre la puerta y el horno. Esta banda ha sido diseñada para absorber eficientemente frecuencias de alrededor de 2,450 MHz.

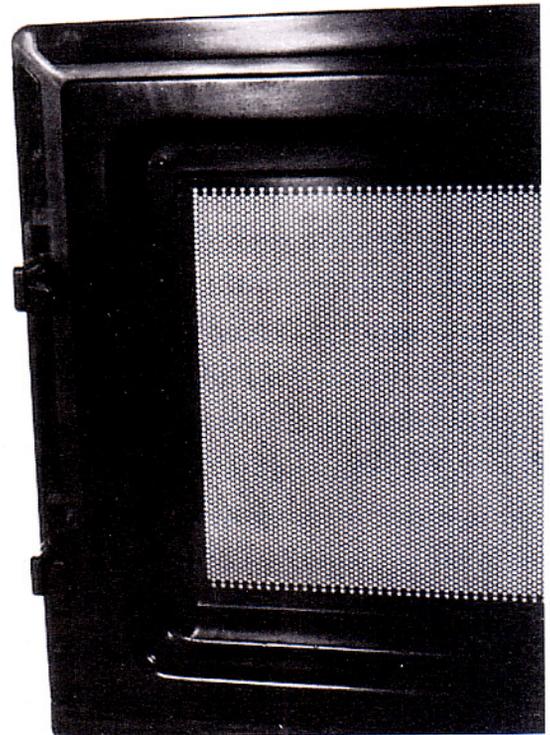
### La construcción de la ventana

Un punto que hasta el momento no hemos tratado es el siguiente: si la puerta

del horno de microondas incluye una ventana por la que se pueden observar los alimentos en cocción, ¿cómo es que no se fugan las microondas por esa zona?

En realidad, si usted observa con atención, la ventana no está completamente libre, sino que está cubierta por una lámina metálica con múltiples perforaciones (figura 3.6). Y si bien el tamaño y espaciamiento de estas perforaciones son lo suficientemente amplias como para permitir el paso de la luz visible, debido principalmente a su alta frecuencia, las ondas amplias y de baja frecuencia correspondientes a las emisiones empleadas para la cocción de alimentos no son ca-

Figura 3.6



Puerta de un horno de microondas donde se observa con claridad la malla metálica que impide la fuga de las emisiones.

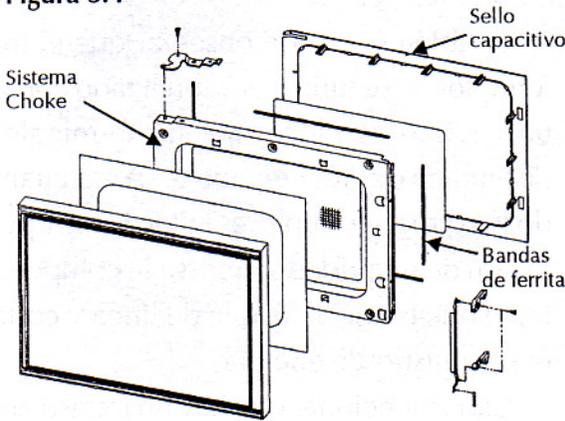
to el fusible de línea durante las operaciones normales de ambos dispositivos.

Si bien con este sistema se garantiza que el horno deje de funcionar en cuanto se abre la puerta, conviene preguntarse ahora ¿cómo garantizar que no se presenten fugas por otros conductos?

### Prevención de fugas

Puesto que las microondas no pueden dispersarse a través de las paredes de la cavidad, el único camino por el que podrían fugarse es la ranura que se forma entre la compuerta y la propia cavidad. Al respecto, para evitar fugas de radiaciones hacia la periferia de la compuerta, se incluyen tres dispositivos de seguridad adicionales (figura 3.4):

Figura 3.4



Vista explotada de una puerta típica, mostrando sus protecciones.

**1) Un sello capacitivo.** Como es necesaria una tolerancia muy pequeña en

la unión de la puerta con la cavidad, un material dieléctrico cubre la superficie de contacto para reducir la posibilidad de arco entre ellas.

### 2) Sistema de CHOKE de puerta.

El CHOKE es una cavidad que a su vez se dispone dentro de la misma puerta, para actuar como trampa de posibles fugas de radiaciones al exterior, y cuya magnitud es igual a  $1/4$  de la longitud de onda empleada. Normalmente en estos hornos la longitud de la onda es de alrededor de 12 centímetros, por lo que el espacio vacío en el interior de la puerta viene a ser de unos 3 centímetros (como puede ver en la figura 3.5, esta distancia se mide en la periferia de la puerta y no representa su profundidad).

Una característica de esta brecha de  $1/4$  de longitud de onda, es que observa una muy alta impedancia a las microondas. De esta manera, cualquier emisión que abandone la cavi-

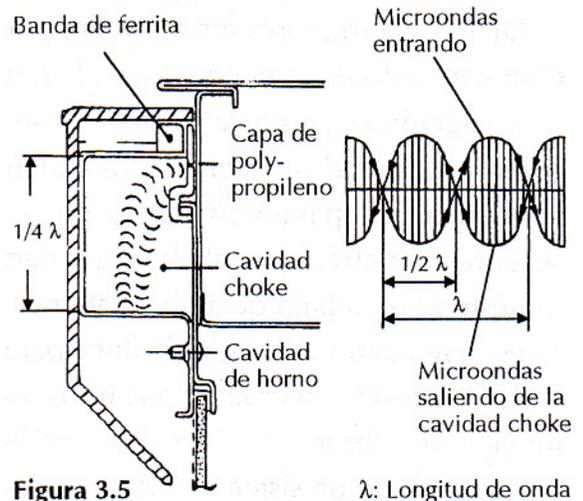


Figura 3.5

$\lambda$ : Longitud de onda

de microondas se tiene una radiación de alta potencia.

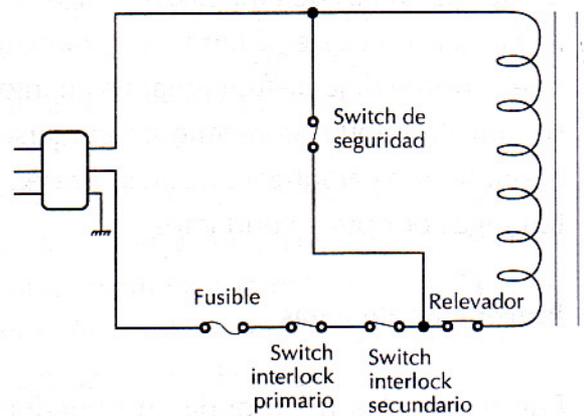
Precisamente, para evitar que esta energía salga del aparato y ocasione problemas al usuario, en los hornos de microondas se incluyen varios dispositivos de protección, los cuales se encargan de desactivarlo en caso de que se abra la puerta de la cavidad o se detecte algún problema como fuga de radiaciones.

### Interruptores de seguridad

Ya hemos mencionado que la cavidad del horno está formada por paredes de un material que refleja las emisiones, impidiendo por consecuencia su salida. Sin embargo, si por alguna razón el aparato llegara a funcionar con la puerta abierta, toda la radiación saldría de la cavidad, con efectos potencialmente peligrosos para el usuario. Precisamente, para garantizar que el aparato funcione sólo con la puerta cerrada se incluyen tres sistemas de interruptores, conocidos como "primarios", "secundarios" y "de seguridad".

Dichos interruptores son activados por el movimiento de la puerta (figura 3.2) y su operación es como se describe en seguida: los primarios y secundarios cortan la energía del aparato cuando la puerta se abre, mientras que el de seguridad "muestra" el trabajo de ambos interruptores, quemando el fusible de línea para cortar la energía en caso de que éstos no funcionen. Observe la figura 3.3, en la que se muestra un sistema típico acopla-

Figura 3.3



do al ensamble de la puerta de los hornos de microondas.

Se puede observar que los interruptores primario y secundario son switches de INTERLOCK que actúan para interrumpir la fuente de poder, deteniendo de esta manera la oscilación del magnetrón cuando la puerta se abre estando en operación el horno.

También se puede observar que el interruptor de seguridad va conectado como un circuito cerrado entre las terminales de entrada de AC, creando un corto cuando los otros interruptores fallan en su operación de seguridad al abrirse la compuerta, lo que funde al fusible de línea y corta el suministro de energía.

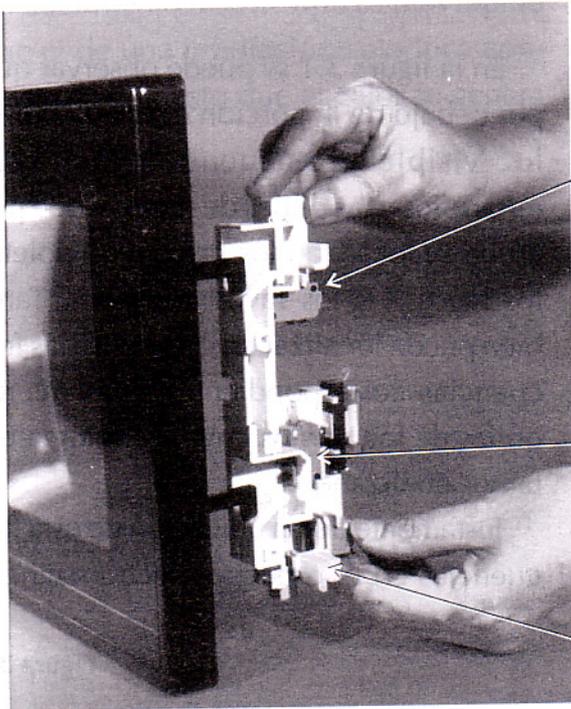
Cabe mencionar que hay un retraso entre la operación de los INTERLOCKS primario y secundario y el interruptor de seguridad, lo cual significa que primero se abren los switches de INTERLOCK y posteriormente se cierra el de seguridad. Es de esta manera como se mantiene intacto

co, es fácil apreciar que son radiaciones no perjudiciales para la salud humana, al contrario de lo que a veces se cree, pues se considera que prácticamente todas las emisiones que están por encima de la luz visible, son potencialmente peligrosas.

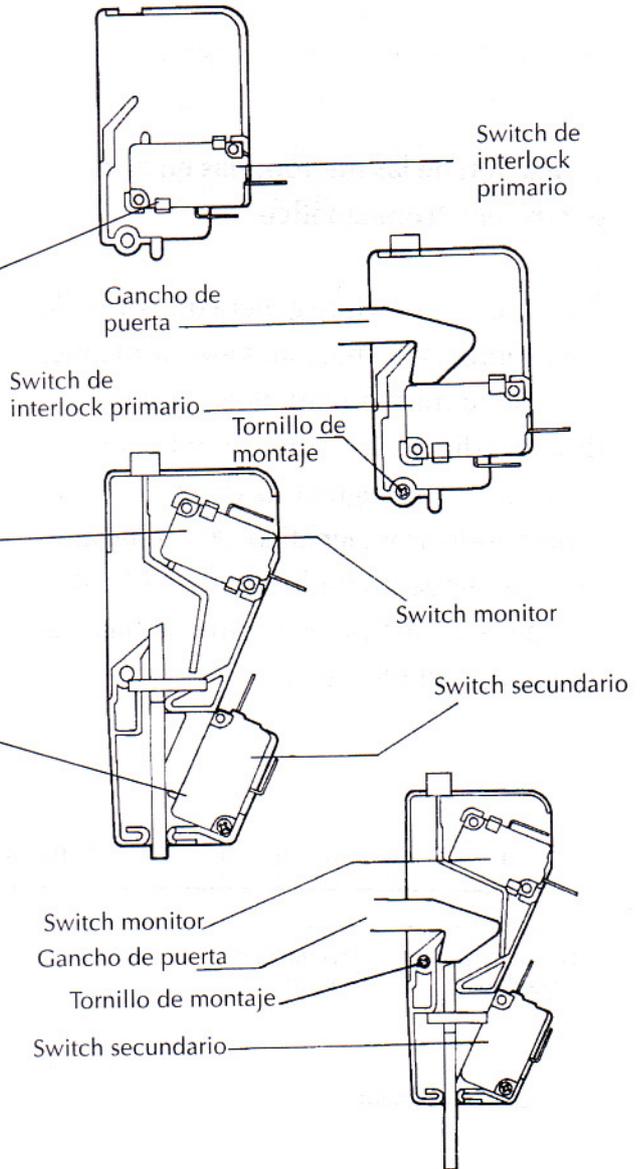
Sin embargo, en este caso la frecuencia de la señal no es el único aspecto a considerar, sino también la potencia involucrada: no es lo mismo exponerse a

una radiación de baja intensidad de cierta frecuencia que exponerse a una señal de la misma frecuencia pero de intensidad elevada. Como se mencionó en los capítulos anteriores, para que las moléculas de los alimentos vibren y se produzca el frotamiento que genera el calor de la cocción, es necesario que el campo eléctrico aplicado sea de una gran intensidad, por lo que en el interior del horno

Figura 3.2



Fotografía donde se indica la forma en que la puerta acciona a los switches de "interlock" (dentro del horno), con un diagrama explicativo adjunto.



torio, factor que contribuye a una mejor exposición a las radiaciones.

Las microondas quedan totalmente contenidas en la cavidad, rebotando en sus paredes superior, inferior y laterales (la puerta es una pared), lo que a su vez permite la conservación de la energía hasta que finalmente es absorbida por el alimento en cocimiento.

Al penetrar en el alimento, las microondas inducen la fricción de sus moléculas y en consecuencia la generación de calor, ya que éstas giran y se frotan millones de veces por segundo. Es por ello que un cocimiento de este tipo es más rápido que el de una irradiación calorífica convencional, puesto que el calor se genera

desde el propio cuerpo y no por un elemento calefactor externo, como sería una flama o una resistencia, cuya energía se irradia desde la superficie hacia el interior del comestible.

Las microondas penetran desde todas direcciones en un espacio de entre 0.75 y 1.25 de pulgada (2 a 3 centímetros). El calor generado se irradia entonces hacia las partes más profundas del alimento y hacia fuera, cociéndose finalmente desde su interior y no por contacto con aire caliente o calor envolvente. Incluso, la superficie llega a ser lo último en cocerse, lo que permite que se mantengan ciertas propiedades, aspecto y otras características físicas del alimento.

- 2) Las microondas pueden penetrar sin afectar diversos materiales como el papel, el vidrio, la porcelana y los plásticos (figura 2.3). Es por ello que

calentamiento apreciable, llegando a quemarse.

- 3) Las microondas son absorbidas por los alimentos y materia similar, convirtiéndose finalmente en energía calorífica (figura 2.4).

Figura 2.3

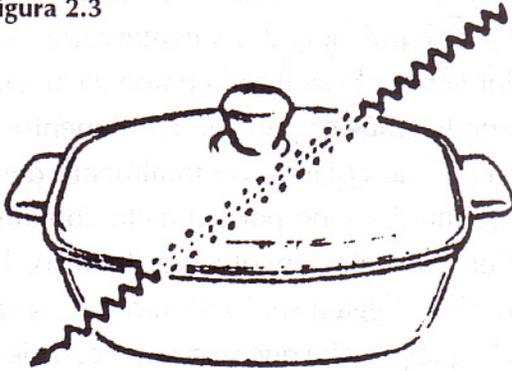
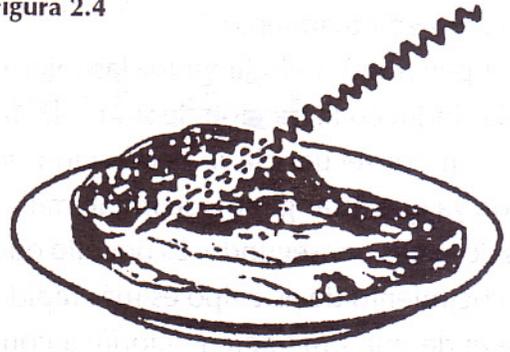


Figura 2.4



los trastos de estos elementos permiten al cuerpo en cocimiento absorber directamente las microondas, manteniéndose fríos los enseres, aunque éstos pueden calentarse por la inducción calorífica que ejerce el contacto con el propio alimento. Y respecto a los utensilios de madera, sólo pueden emplearse para exposiciones breves, de 1 ó 2 minutos como máximo.

Sin embargo, conviene observar que algunos materiales plásticos con un factor dieléctrico muy elevado, se pueden calentar y deformar como resultado del ablandamiento del utensilio. Inclusive, se ha comprobado que ciertos tipos de melamina empleada en algunas vajillas sufren un

### Operación general del horno de microondas

Puntualicemos la forma en que se combinan estos elementos físicos para la cocción de comestibles.

El magnetrón produce energía electromagnética de muy alta frecuencia; estas radiaciones, a su vez, son dirigidas mediante la guía de ondas (un tubo de metal) hacia la entrada de la cavidad del horno, donde son dispersadas por un agitador rotativo o aspas (si es que en el aparato se incluye tal dispositivo), penetrando de esta manera al alimento desde todas direcciones, el cual, por lo general, se encuentra depositado en un plato gira-

De hecho, es muy importante el tipo de material empleado en la construcción de la cavidad, porque dependiendo de los materiales donde reboten las microondas, pueden ser absorbidas, reflejadas o transmitidas, y lo que se requiere en este caso es que se reflejen.

Según puede observar en la figura anterior, las microondas son emitidas desde la antena del magnetrón y transferidas hacia la cavidad del horno a través de la guía de ondas, diseñada justamente para transferir la energía sin pérdidas de ningún tipo. Cuando las emisiones llegan a la cavidad, son absorbidas directamente por el alimento o rebotan en las paredes hasta que finalmente chocan con el cuerpo en cocimiento, absorbiéndose de manera definitiva.

Este efecto puede traer consigo la formación de los llamados "puntos calientes" y "puntos fríos", dependiendo del grado de exposición a las microondas. Justamente para evitar estos diferenciales de energía, en la parte superior del compartimiento se llega a incluir un ventilador de aspas llamado "Stirrer Blade"; aunque actualmente en la mayoría de modelos se incluye en su lugar un plato o charola giratoria para exponer mejor el alimento a las radiaciones, asegurando así un cocimiento uniforme, puesto que la trayectoria de la energía se mantiene variando constantemente.

Cabe mencionar que si el horno es operado con el compartimiento vacío o con un utensilio de metal en su interior,

la mayoría de las radiaciones se reflejarán en las paredes de la cavidad, regresando hacia el magnetrón donde se disipan en forma de calor; sin embargo, esto es algo que debe evitarse, ya que el sobrecalentamiento puede dañar al dispositivo o bien acortar su período de vida. Y aunque con el avance tecnológico en el diseño del magnetrón, de la guía de ondas y de la cavidad se ha reducido considerablemente el riesgo catastrófico de daño, aún así debe evitarse accionar un horno estando vacío.

### Características de las microondas

Para una correcta elección de los utensilios que se pueden emplear en un horno de este tipo, tome en cuenta las principales características de las microondas:

- 1) Las microondas se reflejan en el metal, por lo que su energía también es reflejada y no absorbida, manteniéndose el material comparativamente frío (figura 2.2).

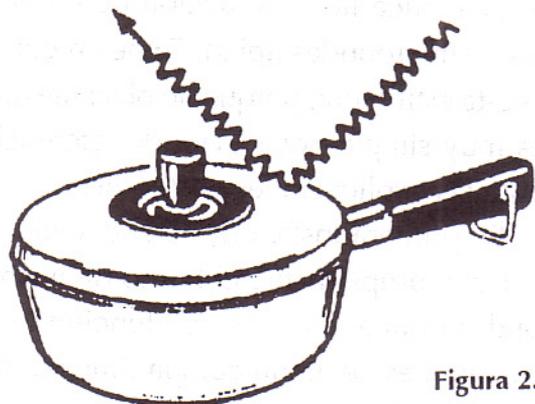


Figura 2.2

# Capítulo 2

## LA ESTRUCTURA BASICA DE UN HORNO DE MICROONDAS

### Componentes básicos de un horno de microondas

Ya que hemos explicado cómo se genera el campo eléctrico de alta frecuencia requerido en la polarización de las moléculas, veamos cómo se aprovecha este fenómeno para la cocción y calentamiento de alimentos.

En la figura 2.1 se muestra de forma esquemática la construcción de un horno de microondas típico. Tome en cuenta esta estructura, porque no obstante que es muy simple nos servirá de referencia para las explicaciones posteriores.

En primera instancia, conviene destacar que propiamente el horno de microondas es una cavidad multifuncional resonante, es decir, un compartimiento diseñado para "resonar" con las microondas

emitidas por el magnetrón. Los materiales que con mayor frecuencia se utilizan en la construcción de esta cavidad son el acero inoxidable, el aluminio y pintura metálica sobre plástico inyectado, aunque cada vez se utiliza más el acero porcelanizado.

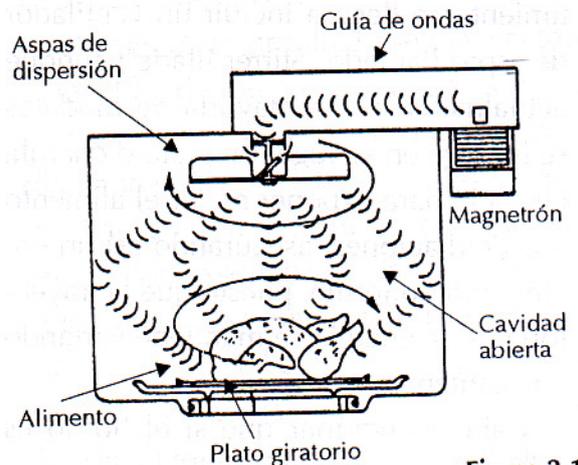


Figura 2.1

rueda dentada (figura 1.23). Y como esta "rueda" se encuentra en un movimiento permanente, girando y acercando sus "brazos" hacia las aletas de las cavidades, en cada acercamiento de los electrones de alta energía, se polariza el par bobina-condensador y se compensan así las pérdidas ocasionadas por la resistencia interna.

En resumen, esta "nube" de electrones giratorios actúa como una fuente de alimentación de las cavidades, las cuales

generan de esta manera una oscilación continua y uniforme.

A su vez, la energía de alta frecuencia producida en los circuitos resonantes (cavidades) es enviada al compartimiento del horno a través de la antena y una guía de onda, con lo que se genera el fenómeno de frotación de moléculas que a su vez produce el calentamiento de los cuerpos.

En el siguiente capítulo veremos cómo se maneja la señal de alta frecuencia generada para producir el efecto citado.

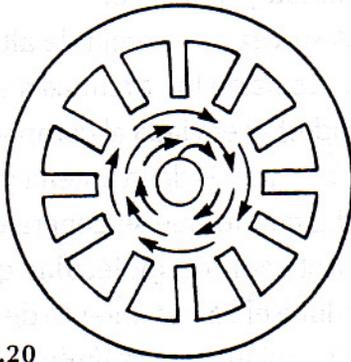
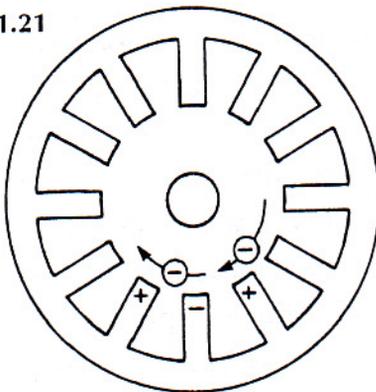


Figura 1.20

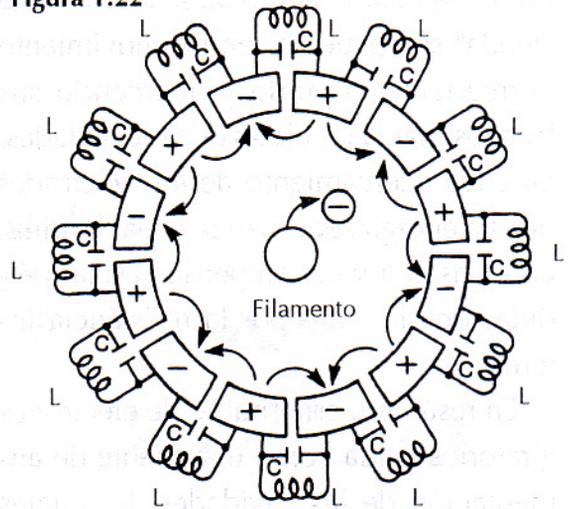
A su vez, este movimiento circular de los electrones induce una corriente alterna en las cavidades del ánodo, en un proceso que se describe enseguida: cuando un electrón se aproxima a uno de los segmentos entre dos cavidades, se induce una carga positiva en el propio segmento (figura 1.21), pero conforme va pasando y alejándose, la carga positiva se reduce,

Figura 1.21



induciendo ahora una carga de la misma polaridad en el siguiente segmento. Justamente, esa inducción de corriente alterna en las cavidades del ánodo puede

Figura 1.22



ser explicada como un conjunto de circuitos resonantes combinados, según se muestra en la figura 1.22.

Durante la operación normal del magnetrón, los electrones se concentran en forma muy comprimida, girando influenciados por la fuerza del alto voltaje y el intenso campo magnético, formando entonces un patrón semejante a una

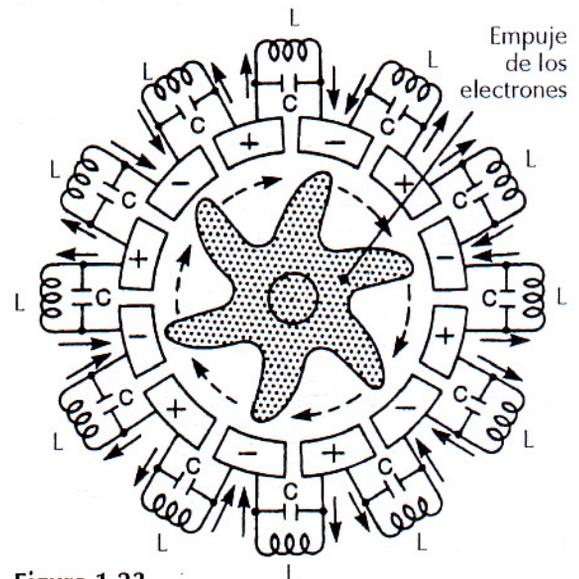


Figura 1.23

el cual, junto con algunos circuitos auxiliares, produce corrientes de alrededor de 4,000 volts que se aplican al cátodo y ánodo del magnetrón. Esto hace que los electrones que rodean al polo negativo se vean impulsados hacia el polo positivo, saltando el vacío que los separa y estableciendo una corriente entre ambas terminales.

### La trayectoria de los electrones

Como se muestra en la figura 1.17, los electrones deberían seguir una trayectoria recta desde el cátodo hasta el ánodo

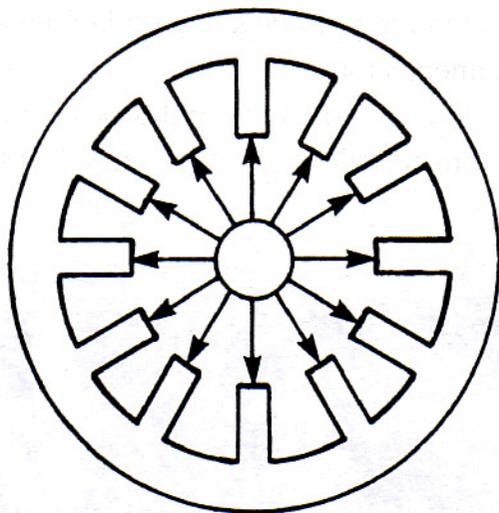
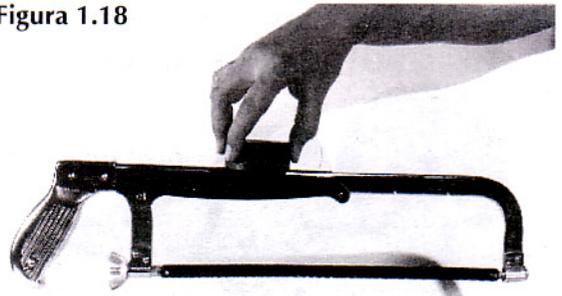


Figura 1.17

siempre que el potencial de 4 KV actúa sobre el magnetrón. Sin embargo, este dispositivo incluye también dos imanes permanentes de alta potencia (figura 1.18),

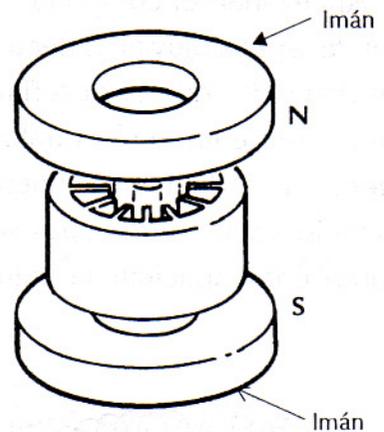
Figura 1.18



En esta fotografía se ejemplifica la potencia de los imanes de un magnetrón. Observe que sostiene sin problemas un arco de sega.

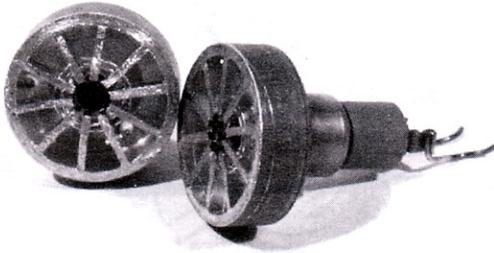
los cuales generan un fuerte campo magnético que va desde la parte superior hacia la inferior, según se muestra en la figura 1.19.

Figura 1.19

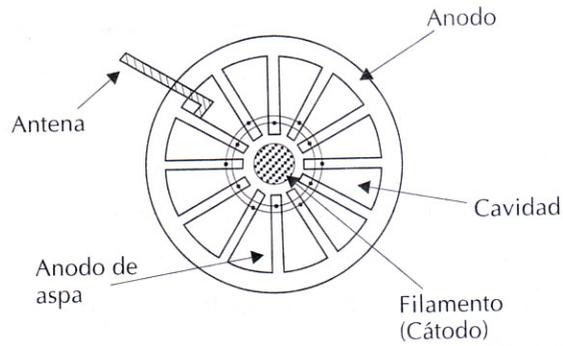


En estas condiciones, los electrones sufren una desviación en su trayectoria, tanto más pronunciada conforme se incrementa la intensidad del campo magnético aplicado. Si éste es lo suficientemente intenso, los electrones viajarán en una trayectoria circular, volviendo al punto de partida sin tocar al ánodo como se muestra en la figura 1.20.

Figura 1.14



Fotografía del ánodo del magnetrón seccionada a la mitad y dibujo mostrando sus partes.



formando una especie de aspas o paletas apuntando hacia el filamento (cátodo) desde la pared exterior. La antena, a su vez, va conectada a una de las aspas del ánodo.

Analizando el comportamiento de un par de aspas a muy altas frecuencias, puede deducirse que el material conductor que existe entre ambas trabaja como si fuera una inductancia, mientras que el espacio vacío entre aspas se comporta como una capacitancia (figura 1.15). Y

cuencia. De hecho, calibrando cuidadosamente la separación y superficie entre aspas es posible generar la frecuencia deseada, como la de 2,450 MHz.

A su vez, el cátodo está localizado en el centro del magnetrón y posee además un filamento que excita a los electrones cuando está caliente. Dicho elemento va conectado al polo negativo de la fuente de alimentación.

Todo horno de microondas posee un transformador de alto voltaje (figura 1.16),

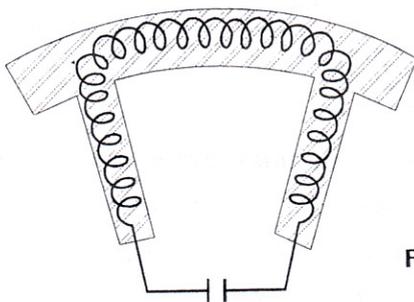
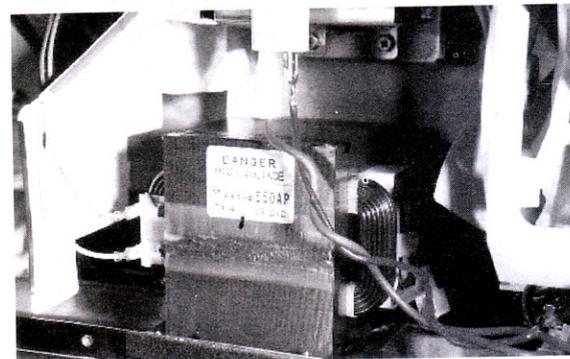


Figura 1.15

Figura 1.16



Transformador de alto voltaje de un horno de microondas. En la parte superior se alcanza a apreciar el magnetrón.

aunque los valores de estos elementos son muy reducidos, son suficientes para generar una señal senoidal de muy alta fre-

sencillo; de hecho, esta configuración se ha venido utilizando en forma intensiva desde hace más de un siglo, en algunas etapas involucradas en la generación y recepción de señales de radio. No obstante, en el caso específico de los hornos de microondas se requieren frecuencias muy elevadas (2,450 MHz, según mencionamos anteriormente), las cuales no pueden ser producidas por un simple circuito resonante como el anterior. En este caso, la inductancia de la bobina y la capacitancia del condensador deben combinarse en un solo elemento que produzca tanto el efecto inductivo de la bobina como el capacitivo del condensador; justamente, el dispositivo encargado de la generación de las frecuencias requeridas en un horno de microondas es el

magnetrón, cuya estructura y operación analizaremos enseguida.

### El magnetrón

El magnetrón es el componente fundamental de un horno de microondas. En la figura 1.13 se muestra una vista seccionada de este dispositivo, así como una fotografía que ilustran su aspecto exterior. Naturalmente, la estructura de cada magnetrón varía según el modelo del aparato al que pertenece, aunque en su configuración básica se incluye siempre un ánodo, un filamento (con su respectivo cátodo) y una antena.

Como se muestra en la figura 1.14, el ánodo es una pieza ahuecada de hierro con ranuras abiertas en una cantidad par,

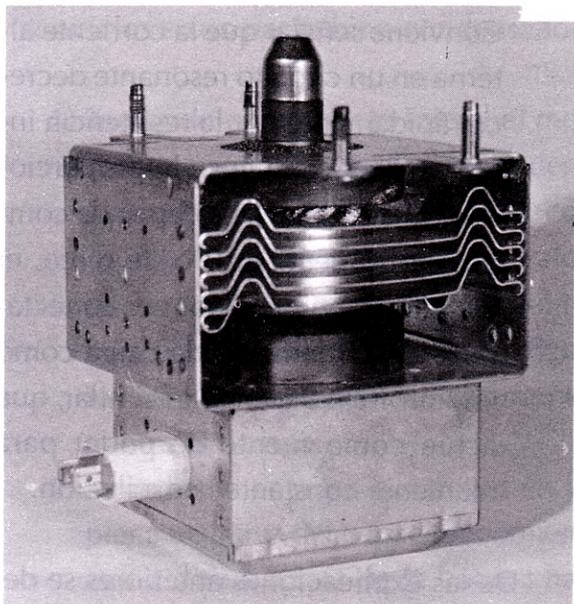
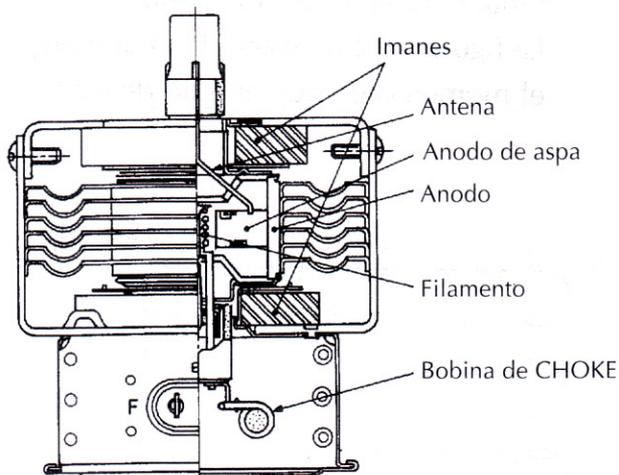


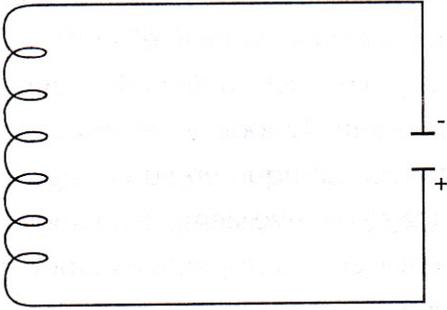
Figura 1.13



Fotografía de magnetrón y figura con una porción en vista de corte, mostrando los componentes internos.

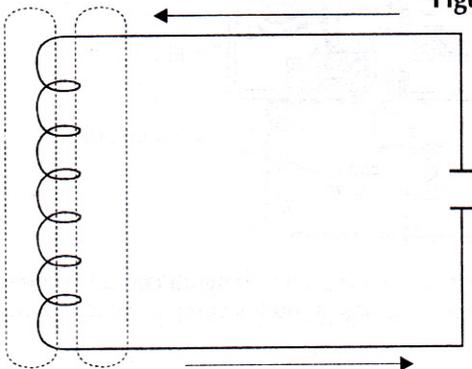
este elemento vuelve a estar cargado, la placa que tenía polaridad positiva ahora tiene polaridad negativa, y viceversa (figura 1.11). En este momento la corriente decrecerá hasta el punto marcado con el número 3 en la figura 1.9.

Figura 1.11



- 4) Enseguida el capacitor comienza a descargarse nuevamente a través de la bobina, enviando electrones que fluyen en la dirección opuesta al paso anterior. E igualmente se forma un campo magnético alrededor de la bobina, pero en dirección contraria. La figura 1.12 muestra al circuito en el momento en que el flujo de elec-

Figura 1.12



trones ha alcanzado su máximo y la carga en el capacitor se ha reducido a cero. Esto se representa con el número 4 en la figura 1.9.

- 5) Nuevamente el flujo de electrones del capacitor comienza a decrecer y el campo magnético de la bobina se colapsa, manteniéndose un flujo suficiente para la recarga del propio capacitor en la polaridad mostrada en la figura 1.8.

Observe en el punto 5 de la figura 1.9 que el nivel de corriente ha caído hasta cero y que el capacitor es recargado como sucedió en el punto 1. Y de nueva cuenta el ciclo se repite, produciéndose la alternancia de la corriente en el circuito. Como resultado se obtiene una "onda senoidal", debido a que su forma coincide con la expresión matemática correspondiente.

Conviene señalar que la corriente alterna en un circuito resonante decrece rápidamente por la resistencia interna, a menos que se le proporcione una fuente externa capaz de compensar las pérdidas. Por lo tanto, el circuito resonante debe ser conectado a algún elemento de carga como un transistor o elemento similar, que actúe como fuente de poder para mantener constante la oscilación.

De las explicaciones anteriores se deduce que el principio de funcionamiento de un par bobina-condensador es muy

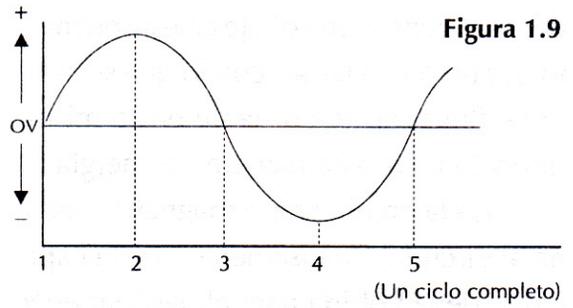
la bobina, repitiendo el proceso anterior pero en sentido contrario hasta volver a las condiciones iniciales (regresaremos a este fenómeno más adelante).

Y aunque un condensador y una bobina ideales podrían quedar oscilando indefinidamente, en realidad ambos dispositivos presentan una pequeña resistencia interna que va disminuyendo gradualmente la amplitud de las oscilaciones producidas, hasta detenerlas por completo. Precisamente, para que eso no suceda, debe proporcionarse al par bobina-condensador una alimentación de corriente que compense las pérdidas ocasionadas por las resistencias parásitas, logrando de esta manera una oscilación continua y uniforme.

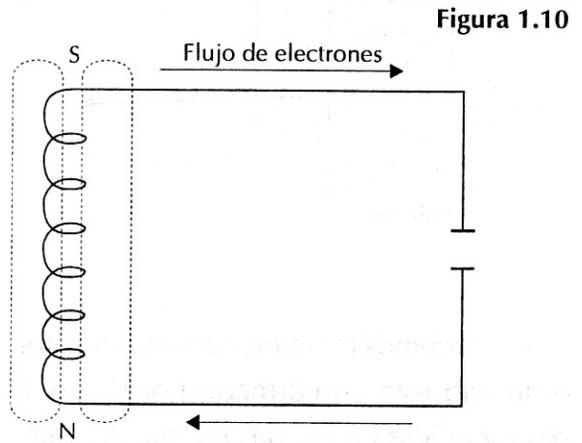
### La secuencia de los ciclos

Revisemos paso a paso la secuencia de los ciclos en un par bobina-condensador:

- 1) Tomando como punto inicial el momento en que el capacitor se encuentra completamente cargado, la corriente en el circuito tiene un valor de cero. Esto se muestra en el punto marcado con el número 1 en la figura 1.9, donde se grafica la corriente contra el tiempo.
- 2) Inmediatamente los electrones en la placa negativa del capacitor comienzan a fluir a través de la bobina hacia la otra placa, donde son neutralizadas las cargas positivas.

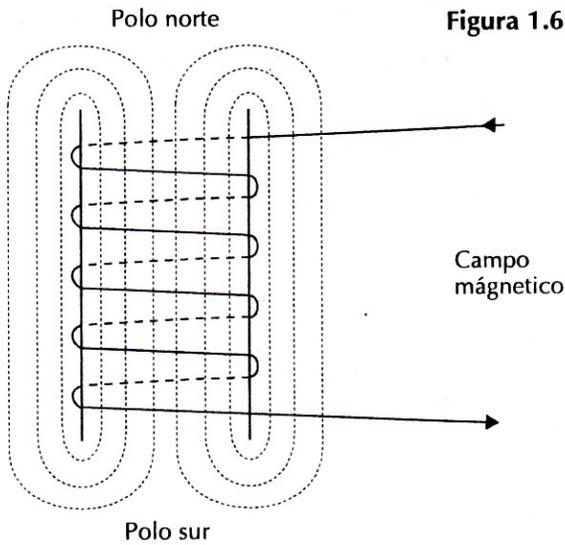


Cuando ha terminado de fluir la corriente, la carga en el capacitor es reducida a cero. En este momento la corriente en la bobina es máxima y la energía es almacenada en su campo magnético según se muestra en la figura 1.10 (punto 2 de la figura 9).



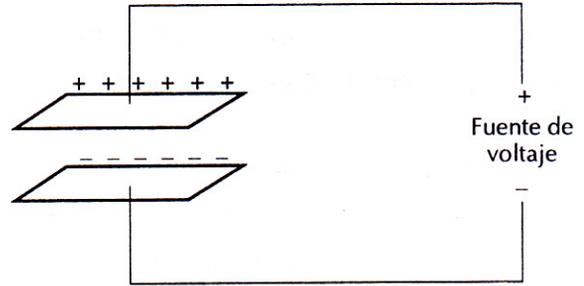
- 3) Cuando el capacitor ya no puede proporcionar carga por más tiempo al circuito, se colapsa el campo magnético alrededor de la bobina, con lo que el flujo de electrones retorna a la dirección original, iniciando nuevamente la carga del capacitor aunque con una polaridad opuesta. Cuando

decir, se genera un voltaje en este elemento por un breve lapso, con lo que se mantiene fluyendo la corriente en la misma dirección. De esta manera, la energía almacenada en el campo magnético retorna al circuito. Precisamente, a esta capacidad de la bobina para almacenar energía se le llama "inductancia" (figura 1.6).

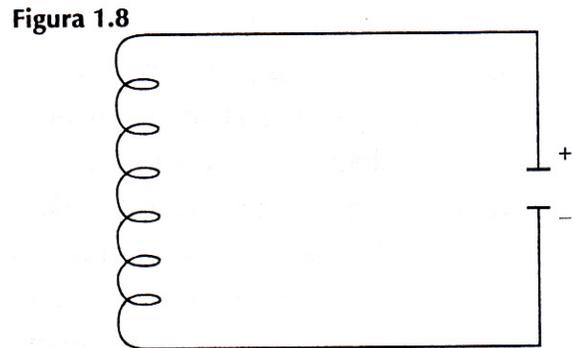


Recordemos también que un capacitor ordinario está conformado por dos placas metálicas colocadas de manera muy cercana, aunque separadas por un dieléctrico que puede ser el propio aire, papel, aceite, mica u otro material aislante. Si ambas placas se conectan a las terminales de una batería o fuente de energía, quedarán cargadas como se muestra en la figura 1.7, es decir, una tendrá carga positiva y la otra carga negativa.

De acuerdo a estos efectos, si se conecta en paralelo una bobina con un

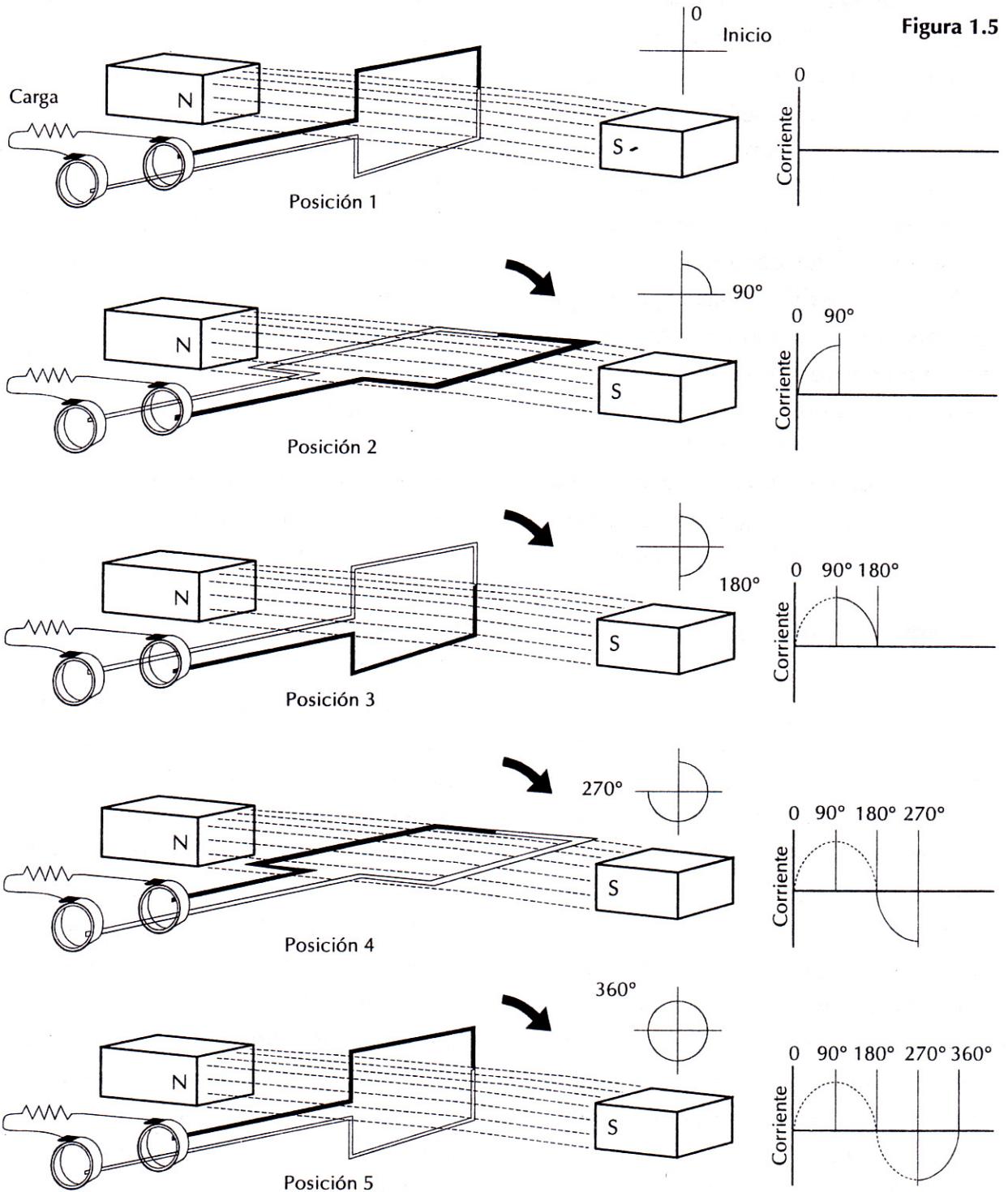


capacitor se produce el siguiente fenómeno: la energía se almacena primeramente en el capacitor, no permitiendo el paso de la corriente sino hasta quedar completamente cargado, punto a partir del cual admite el flujo hacia la bobina, almacenándose la energía en el campo magnético que la rodea hasta que el otro elemento se descarga (figura 1.8), instante en el que se produce el colapso en este elemento, fluyendo la corriente por un mo-



mento más para volverse a cargar el condensador, aunque con una polaridad negativa. Ya completamente cargado, el condensador vuelve a descargarse a través de

Figura 1.5



ferencia sustancial es que el horno en sí no sufre ningún calentamiento a pesar de la cocción de los alimentos en su interior. Y una tercera diferencia es que se pueden utilizar enseres de cocina fabricados con materiales que sería imposible utilizar en un horno convencional, como la madera y el plástico, aunque, por el contrario, no se pueden emplear los instrumentos metálicos comunes.

Y todas estas diferencias surgen del procedimiento de cocción: mientras que en un horno convencional se produce el calor desde una fuente externa al alimento, y de ahí se va irradiando al centro, en un horno de microondas el calor se produce directamente en el interior del alimento, y de ahí se irradia hacia el exterior.

## El cambio de polaridad

Conviene ahora plantearse otra pregunta: ¿cómo generar un campo eléctrico que cambie de polaridad a una frecuencia tan elevada? Para ofrecer una respuesta, recordemos el principio de operación de dos componentes electrónicos estáticos, la bobina y el condensador, así como la acción que se produce cuando se combina el efecto de ambos elementos.

Por nuestros estudios básicos, sabemos que un voltaje alterno se puede generar mediante un "alternador", cuya construcción es similar a la de un motor, con un estator fijo y un rotor giratorio (figura 1.5). En el primero podemos tener unos imanes permanentes y en el segundo unas

bobinas; al momento en que el rotor comienza a girar, el campo magnético variable en su interior genera a la salida de la bobina una señal de AC, cuya frecuencia está dada por la velocidad de giro del rotor. Sin embargo, la frecuencia máxima que se puede obtener con este tipo de arreglos es muy baja (apenas de unos cuantos kilohertz, en el mejor de los casos), y por lo tanto inaplicable a los hornos de microondas, requiriéndose por consecuencia de otro proceso.

## El circuito resonante

La corriente alterna también puede ser generada por un "circuito resonante", el cual se constituye por una bobina de alambre y un capacitor conectados en paralelo. Ambos dispositivos almacenan energía pero en diferentes formas, de tal manera que cuando se conectan entre sí, y a su vez se conecta el conjunto a una fuente de energía, se genera una corriente alterna. Exploremos este proceso.

Primeramente recordemos que cuando una bobina es alimentada con una corriente eléctrica, genera un campo magnético a su alrededor. Este campo, a su vez, tiene un polo norte y un polo sur opuestos naturalmente, exactamente igual a como sucede en un imán permanente. Si la dirección de la corriente es invertida, la orientación del campo magnético también se invierte, y si la fuente de voltaje se corta súbitamente, el campo magnético en torno a la bobina se colapsa, es