

40
2c'

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO



FACULTAD DE QUIMICA

APLICACION DE LA ENERGIA DE MICROONDAS
EN LA INDUSTRIA DE ALIMENTOS

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

TRABAJO MONOGRAFICO DE ACTUALIZACION

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
QUIMICO FARMACEUTICO BICLOGO
P R E S E N T A :
MONICA CHAVEZ LOPEZ

MEXICO, D. F.



1990

EXAMENES PROFESIONALES
FAC. DE QUIMICA



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

INDICE

PRESENTACION	
Justificación	4
Objetivos	5
CARACTERISTICAS DE LAS MICROONDAS	
Radiación Electromagnética: fundamentos	7
Generación de microondas. Hornos domésticos	13
Hornos de combinación gas/microondas	19
Hornos de combinación convección/microondas	21
Consumo de energía	21
Proceso de calentamiento	25
Propiedades físicas y eléctricas de los alimentos	29
Seguridad y Estándares	37
Seguridad	37
Estándares	39
a) Rango de resonancia	39
b) Rango abajo de la resonancia	39
c) Rango sobre la resonancia	40
d) Rango de calentamiento superficial	40
Cantidad de calor tolerable	41
Marcapasos	43
Microbiología	44
Mecanismo	44
Efecto sobre microorganismos en alimentos	47
Triquinosis	50
APLICACIONES EN LA TECNOLOGIA DE ALIMENTOS:	
PROCESOS INDUSTRIALES	
Procesos industriales	55
Esterilización	57
Pasteurizado	63
Pasteurización de leche	65
Escaldado	67
Temperado y descongelado	70
Secado	74
secado al vacío con microondas	78
secado de granos	78

Liofilizado	80
Panificación	88
Productos cárnicos	95
Tocino	95
Pollo	96
Otros productos	97
Costos	99

APLICACIONES EN LA TECNOLOGIA DE ALIMENTOS:
ELABORACION DE PRODUCTOS PARA CONSUMO DOMESTICO

Características organolépticas y retención de nutrientes	103
Características organolépticas	103
Retención de nutrientes	105
Desarrollo de productos especiales para microondas	107
Factores que afectan el calentamiento	107
Formulaciones e ingredientes especiales	117
Empaques	125
Seguridad en el diseño de empaques	132
Ejemplos de productos especiales para microondas	135

SITUACION ACTUAL

Situación a nivel Internacional	140
Situación a nivel nacional	142
Futuro de la energía de microondas	146

RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES

Recomendaciones	151
Conclusiones	152

BIBLIOGRAFIA	154
--------------	-----

PRESENTACION

JUSTIFICACION

En todo el mundo existe una creciente demanda de alimentos que permitan una preparacion fácil y rápida, aunado a un alto valor nutritivo además de propiedades organolépticas atractivas para el consumidor. Dicha demanda ha promovido el desarrollo de la tecnologia de alimentos afectando las formulaciones, los procesos industriales, la conservación y los empaques de estos productos. La energía de microondas ofrece opciones para enfrentar tales problemas en la industria de alimentos.

Los países industrializados han logrado un alto desarrollo en tecnologia de microondas aplicada a alimentos que puede servir como ejemplo a los países que por su situación económica no puedan llevar a cabo la investigación necesaria para un desarrollo propio. Es cierto que el desarrollo se ve impulsado por la demanda; en México esta demanda de productos especiales para microondas, o de procesos que por sus características especiales requieran de la energía de microondas es actualmente baja, pero se vislumbra su aumento. Las microondas ofrecen alternativas adaptables a la realidad nacional siempre y cuando se sepa cómo hacerlo.

El presente trabajo recopila información sobre el área de las microondas y los alimentos, como un acercamiento general, con el objeto de presentarla al tecnólogo en alimentos como una invitación para investigar y aplicar esta fuente de energía en productos hechos en México.

OBJETIVO

El objetivo general del presente trabajo es el de presentar la energía de microondas como alternativa en los procesos dentro de la industria de alimentos, en qué consisten y de qué factores depende.

CARACTERÍSTICAS DE LAS MICROONDAS

RADIACION ELECTROMAGNETICA: FUNDAMENTOS

Cuando las cargas se aceleran , producen campos eléctricos y magnéticos que se propagan en forma de ondas electromagnéticas. Estos campos son perpendiculares entre sí. En general, las ondas electromagnéticas son una mezcla de ondas de distintas direcciones de polarización. Es decir, son no polarizadas, con los vectores de campo eléctrico apuntando en diferentes direcciones hacia distintos puntos del espacio. En un alambre recto o antena los electrones pueden obligarse a oscilar con movimiento armónico simple. Esta antena radiará entonces ondas electromagnéticas de la misma frecuencia que la del movimiento armónico simple de los electrones. Además, si el alambre está rodeado de un medio uniforme (como el espacio vacío o el aire), los campos tendrán direcciones determinadas por la dirección de la antena.

En la figura 1 se muestra una onda polarizada en el plano, lo cual significa que los vectores del campo eléctrico correspondiente a diversos puntos de la onda, están contenidos en el mismo plano. Las ondas electromagnéticas están descritas por valores de longitud de onda (λ) y de frecuencia (f) (FIG. 2). Existe una relación inversa entre ellas. La longitud de onda se define como la distancia que existe entre dos crestas sucesivas. La frecuencia de onda es el número de ciclos que pasan por un punto dado en la unidad de tiempo (ciclos por segundo). Un ciclo es la parte de onda que hay entre dos crestas sucesivas. En el sistema internacional de unidades se define la unidad de frecuencia del recíproco de un segundo como HERTZ (Hz). Las unidades de longitud de onda son unidades de longitud empleándose generalmente

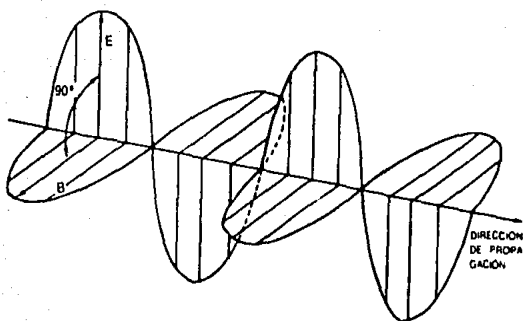


FIGURA 1. PORCION DE UNA ONDA POLARIZADA (86)

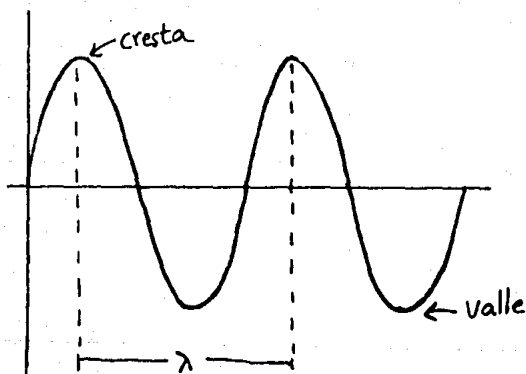


FIGURA 2. PARTES DE UNA ONDA ELECTROMAGNETICA (117)

centímetros (cm) para microondas. Otro valor importante es la velocidad (v), que es la misma para todas las ondas electromagnéticas en el vacío y es la velocidad de la luz. La relación entre las tres cantidades es $\lambda = v/f$. Las ondas electromagnéticas cubren una amplia gama de frecuencias o de longitudes de onda, cuya clasificación se muestra en la figura 3.

Para generar ondas electromagnéticas a una determinada frecuencia, es necesario que las cargas eléctricas oscilen a esa frecuencia. En la tabla 1 se muestra la relación entre frecuencia, longitud de onda y el tipo de fuente necesario para generar esas ondas electromagnéticas en el vacío.

La radiación electromagnética viaja a diferente velocidad dependiendo del material, en consecuencia, la frecuencia permanece constante, pero cambia la longitud de onda. Esta depende de las propiedades magnéticas y eléctricas del espacio que atraviesa.

La intensidad de la radiación se expresa en cualquiera de estas dos formas: como el valor máximo de la fuerza del campo oscilante en voltios por metro, o como el flujo de energía en watts por metro cuadrado. Cuando se manejan microondas, la unidad más usada es miliwatts por centímetro cuadrado (mW/cm^2).

Las ondas electromagnéticas poseen un flujo de energía en la misma dirección en que se mueve la carga; pueden ser absorbidas o emitidas solamente en unidades de energía definidas, llamadas fotones o cuantos. La energía y el momentum de la partícula o fotón están relacionados con la frecuencia y la longitud de onda de la radiación electromagnética. Cuando una onda interactúa con cualquier material, las cantidades de energía y de momentum que pueden intercambiarse en el proceso son las que posea el fotón. Esencialmente, es la cantidad de energía en el fotón y no la

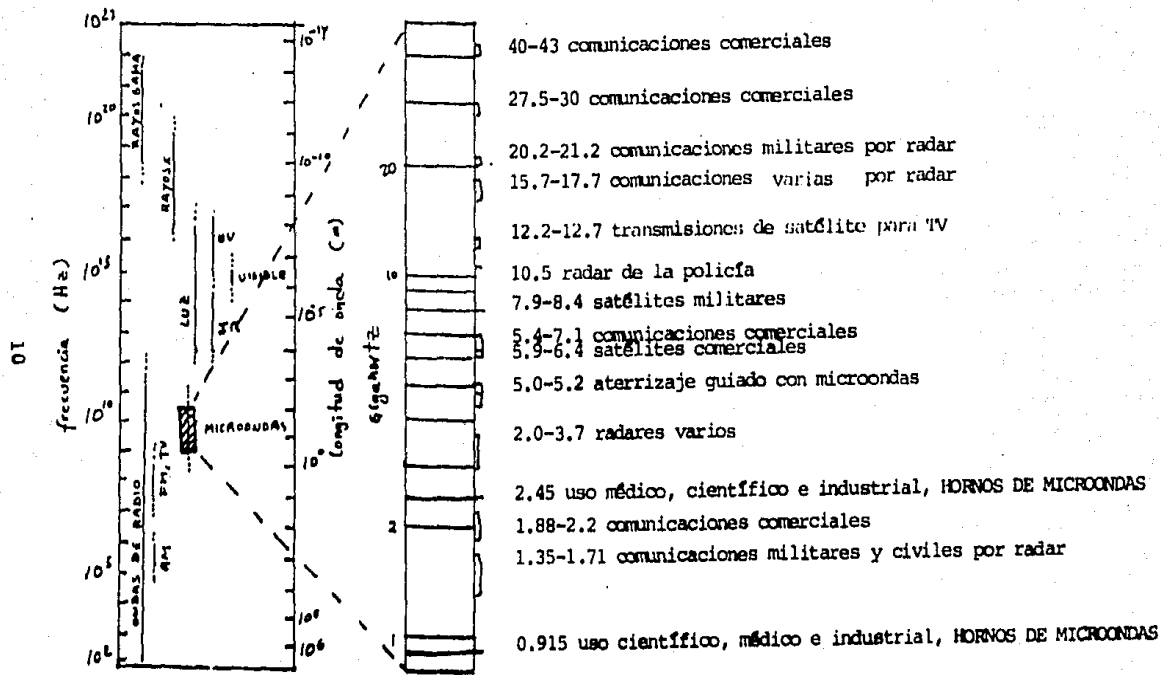


FIGURA 3. ESPECTRO ELECTROMAGNETICO (60)

TABLA 1. ESPECTRO ELECTROMAGNETICO

FRECUENCIA (Hz)	LONGITUD DE ONDA (m)	DESCRIPCION	FUENTE OSCILATORIA
3×10^{21}	10^{-13}	RAYOS GAMA	CARGAS NUCLEARES
3×10^{20}	10^{-12}		
3×10^{19}	10^{-11}	RAYOS X	ELECTRONES DE CAPAS
3×10^{18}	10^{-10}		
3×10^{17}	10^{-9}	ULTRAVIOLETA	ATOMICAS INTERNAS
3×10^{16}	10^{-8}		ELECTRONES DE CAPAS
3×10^{15}	10^{-7}		EXTERNAS
3×10^{14}	10^{-6}	LUZ VISIBLE	ELECTRONES DE CAPAS
3×10^{13}	10^{-5}		EXTERNAS
3×10^{12}	10^{-4}	INFRARROJO	VIBRACIONES MOLECULARES
3×10^{11}	10^{-3}		
3×10^{10}	10^{-2}		VIBRACIONES Y ROTACIONES MOLECULARES
3×10^9	10^{-1}	MICROONDAS	
3×10^8	10^0	ONDAS DE RADIO	MAGNETRONES Y KLISTRONES CIRCUITOS ELECTRONICOS

(41)

intensidad (número de fotones por segundo) la que produce efectos en el nivel molecular. Un efecto de la energía del fotón es el rompimiento de enlaces químicos. Para lograrlo, la energía del fotón debe ser mayor que la del enlace químico. Se ha determinado que los rayos gama (γ) y X poseen energía suficiente para romper la mayoría de los enlaces químicos. Las ondas ultravioleta (UV), de luz visible y probablemente el infrarrojo (IR) tienen energía suficiente para romper enlaces de hidrógeno débiles. Después del IR, ninguna onda posee energía suficiente para romper enlaces químicos. Por lo tanto, las microondas no rompen enlaces químicos. Las ondas electromagnéticas se clasifican en ionizantes y no ionizantes. Las microondas pertenecen a las no ionizantes.

La luz puede sufrir efectos de reflexión, refracción y polarización. Estos mismos efectos pueden observarse en las microondas. Un buen conductor, es un reflejante de las microondas; en el metal, por ejemplo, los electrones en presencia del campo eléctrico de la onda, se mueven de tal manera que reducen el campo eléctrico a cero. La respuesta de las cargas eléctricas en el metal causa una onda reflejada que parte de la superficie del metal cancelando el campo de la onda incidente en la superficie. En cualquier lugar donde exista una interfase entre materiales con propiedades eléctricas diferentes, ocurrirá una reflexión parcial. Los materiales no conductores, es decir, dieléctricos, son los que absorberán las microondas.

El arqueo es una descarga eléctrica que ocurre cuando se generan grandes potenciales eléctricos dentro de la cavidad del horno y el área del potencial se acerca a una superficie aterrizada o con diferente potencial, como las paredes del horno u otros
empaques ⁽⁹⁵⁾

GENERACION DE MICROONDAS. HORNOS DOMESTICOS

Los tubos electrónicos convencionales como el triodo, funcionan eficazmente a frecuencias de hasta 30 MHz. Para generar frecuencias más elevadas se emplean otro tipo de tubos como el klistrón o el magnetrón. El klistrón consta de un cátodo emisor de electrones, de un ánodo formado por un resonador de cavidad y de un electrodo repulsor (FIG.4a). Los electrones que salen del cátodo en haces continuados llegan al ánodo en "oleadas", cada una de las cuales imprime a éste un impulso de potencia y provoca oscilaciones. El klistrón no proporciona potencias de salida tan altas como el magnetrón; éste genera hasta 100W de potencia. Si se usan de dos o más cavidades pueden producir desde decenas de miliwatts hasta varios centenares de kilowatts de potencia.

Un magnetrón es un diodo cilíndrico (FIG.4b) con el cátodo localizado en el centro y el ánodo alrededor de la circunferencia. Cuando es alimentado por corriente, el material del cátodo se excita y comienza a emitir electrones hacia el espacio vacío entre el cátodo y el ánodo. El ánodo está compuesto de cavidades resonantes que actúan como osciladores y generan un campo eléctrico. El campo magnético es generado por un imán que rodea al magnetrón. La energía de los electrones es atrapada en el campo y viaja hacia la antena en forma de ondas a través del magnetrón. La antena transmite las ondas oscilantes hacia el tubo guía de ondas, de donde viajan hasta la cavidad del horno. Al momento en que las ondas entran, son dispersadas por un molinillo dispersor de ondas para asegurar una distribución pareja de la radiación. Las frecuencias aprobadas para uso en hornos de microondas son de 915

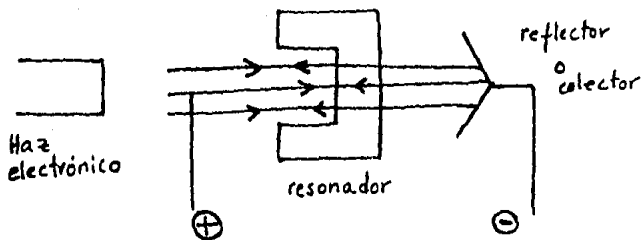


FIGURA 4a. ESQUEMA DEL FUNCIONAMIENTO DEL KLISTRON (71)

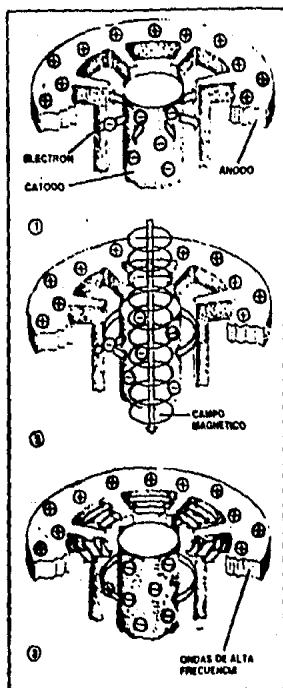


FIGURA 4b. ESQUEMA DEL FUNCIONAMIENTO DEL MAGNETRON (108)

MHz y 2450 MHz. Estrictamente hablando, el calentamiento usando 915 MHz es considerado calentamiento dieléctrico y el de 2450 MHz de microondas. El calentamiento dieléctrico se efectúa colocando al alimento entre dos electrodos paralelos que generan un campo eléctrico, cuya polaridad se invierte millones de veces por segundo. En la práctica se habla de uno y de otro como de microondas, aunque existe una tendencia a utilizar exclusivamente 2450 MHz para procesar alimentos.

La cámara del horno tiene paredes metálicas diseñadas especialmente para resonar a la frecuencia de las microondas y reflejarlas uniformemente. Este metal puede ser tanto acero inoxidable o aluminio, como acero o zinc recubiertos con esmalte de acrílico o epóxicos. (La Figura 5 muestra el diagrama general de un horno de microondas doméstico). A unos centímetros del fondo se halla un soporte que permite las reflexiones de las microondas desde el fondo metálico del horno hacia el alimento. El material es generalmente vidrio, cerámica o plástico, todos transmisores de microondas. Existen algunos hornos que en su diseño incorporan bases giratorias para lograr una mejor distribución de las ondas en el alimento.

Las puertas en todos los hornos de microondas simples o de combinación (gas o eléctricos) incorporan ventanas que son opacas a la energía de las microondas pero transparentes a la vista para poder observar el contenido del horno.

Por lo que se refiere a seguridad, lo más importante en el diseño de un horno, es el sellado de la puerta. El sello más usado es del tipo aislante (FIG.6). Es una cavidad aislante construida en la puerta o en la cavidad del horno, que se rellena con un polietileno dieléctrico.

Las características deseables en el diseño de una puerta son: baja

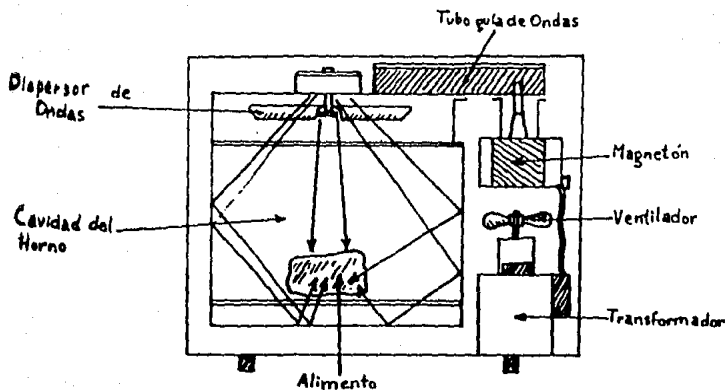


FIGURA 5. DIAGRAMA GENERAL DE UN HORNO DE MICROONDAS DOMESTICO (108)

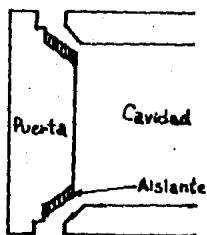


FIGURA 6. DIAGRAMA DEL SELLO DE LA PUERTA DEL HORNO (35)

filtración de radiación bajo condiciones normales de operación así como bajo condiciones adversas tales como:

- 1) Un objeto atrapado en la puerta al momento de cerrar;
- 2) Que la puerta no cierre apropiadamente;
- 3) Que la puerta , las bisagras, el resorte o la superficie de sellado estén deteriorados.

Un nivel bajo de filtración se refiere a un nivel no mayor de

$1\text{mW}/\text{cm}^2$ medido a 5 cm del sellado antes de salir de la fábrica, y $5\text{mW}/\text{cm}^2$ después de salir de la fábrica y durante la vida útil del horno. Estos niveles fueron establecidos por la Oficina de Salud y Radiología de Estados Unidos (Bureau of Radiological Health BRH) desde 1971. Además estableció que debe tener dos dispositivos independientes de seguridad que apaguen el horno cuando la puerta del horno esté abierta. También debe tener una leyenda advirtiendo que no se use el horno si la puerta no cierra adecuadamente ⁽³⁵⁾.

Los efectos biológicos de las microondas, niveles de seguridad y estándares serán discutidos más adelante.

El sistema de control más simple del horno consiste en ajustar el wataje de entrada o cocimiento y un reloj. Los controles más complicados como microprocesadores, sensores de temperatura y humedad sirven para establecer automáticamente los puntos finales de proceso.

Los hornos caseros de microondas tienen diferentes capacidades y tamaños: por lo general los hornos grandes tienen magnetrones de 700 a 750 watts de potencia y de más de un pie³ (0.028 m³) de capacidad. Los medianos van de 600 a 700 watts y de 1 a 0.8

p^3 (0.028 a 0.022 m^3). Y los compactos varían entre 400 y 500 watts de potencia y entre 0.3 y 0.4 p^3 (0.008 a 0.011 m^3) de capacidad. Cada marca es diferente; en un mismo tamaño, puede superarse la velocidad hasta en un 30% ⁽¹⁴⁾.

Existen hornos domésticos e industriales que combinan las microondas con otras formas de calentamiento como son el uso de gas o de electricidad. Este tipo de hornos requieren un diseño especial que acople sistemas de calentamiento y seguridad. Como ejemplo, se describe un horno de combinación microondas/gas.

Hornos de combinación gas/microondas

Sanyo diseñó en 1980 un horno que puede operarse simultáneamente con gas y microondas logrando una reducción en el tiempo de cocción y en el consumo de energía. Esta innovación amplía la variedad de platillos que pueden cocinarse y mejora el sabor que puede lograrse al emplear cualquiera de los sistemas por separado. Puede seleccionarse entre cuatro diferentes modos de operación:

- 1) Gas y microondas simultáneamente;
- 2) Gas y microondas escalonados;
- 3) Solamente gas;
- 4) Solamente microondas.

El diseño de un horno de este tipo necesita consideraciones especiales respecto a cada sistema. En lo que se refiere al sistema de microondas, lo más importante es la protección a la fuga o filtración de microondas. El horno posee ventilación que permite la salida del aire caliente. Estos orificios por su tamaño frenan la salida de las ondas. Se impide la fuga de gas y se absorben las microondas gracias a que la puerta tiene un sello aislante hecho de material térmicamente resistente. El nivel de filtración de microondas del horno es apenas de 0.05 mW/cm^2 (el máximo permitido es de 1 mW/cm^2). Las figuras 7 y 8 muestran los diagramas del horno y del sello de la puerta.

El segundo problema es la protección térmica, ya que el aire caliente se introduce directamente en la cavidad del horno y eleva la temperatura más rápido que en hornos de gas convencionales, alcanzando hasta 300°C . Se seleccionó acero esmaltado debido a que

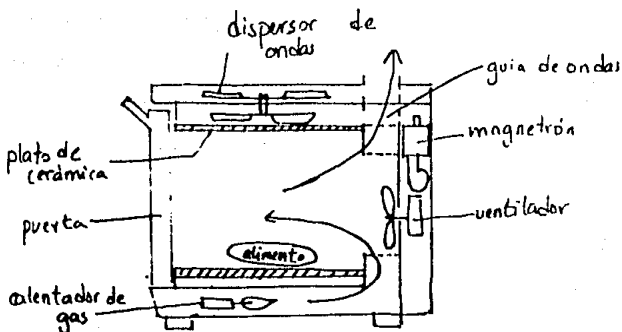


FIGURA 7. DIAGRAMA DEL HORNO DE COMBINACION GAS/MICROONDAS (128)

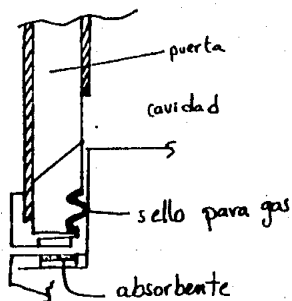


FIGURA 8. DIAGRAMA DE LA PUERTA DEL HORNO DE COMBINACION GAS/MICROONDAS (128)

sufre una mínima distorsión térmica y a que puede limpiarse fácilmente.

El sistema de gas tiene un control automático sincronizado con el de microondas y se controla como un calentador eléctrico.

Hornos de combinación microondas/convección

Aparecieron en el mercado desde 1981. Pueden utilizarse combinando los dos modos de calentamiento, uno u otro, o bien ambos alternados. Un ventilador circula aire caliente dentro de la cavidad del horno. Tiene ventajas similares al anterior: puede cocer con todas las ventajas de los hornos de microondas y además dar a los alimentos una mejor apariencia ya que consigue dorar y dar la consistencia crujiente clásica de productos como el pan.

Existen hornos de este tipo con potencias que van de los 600 a 700 watts y con múltiples programas de control para cocinar, descongelar, controlar la temperatura, sensores de humedad, etc.
(12,14,22)

Consumo de energía

El calentamiento con microondas es más eficiente que el convencional (40% frente a 7-14% de los convencionales) según la National Bureau of Standards de Estados Unidos porque el calor se genera en el alimento y no en el aire dentro del horno o en el contenedor. Las microondas usan 75% menos energía que los métodos convencionales ⁽⁷⁹⁾.

En general, se considera que el horno de microondas ahorra energía, pero en realidad se ahorra con algunos y con otros no ^(105,41). Se ahorra energía principalmente calentando o cocinando

alimentos que normalmente serían calentados en hornos convencionales. El uso de un horno de microondas requiere tanta o más energía que una parrilla eléctrica; sin embargo, el uso de un horno convencional para preparar porciones individuales consume más energía que empleando un horno de microondas. En una parrilla eléctrica el alimento se calienta principalmente por conducción y convección; métodos que pueden ser eficientes para calentar alimentos de humedad alta sobre todo si el recipiente es adecuado al tamaño del alimento. Un horno convencional (eléctrico) puede ser menos eficiente, sobre todo para porciones individuales pequeñas, ya que se pierde energía cuando el calor es disipado en el aire y absorbido por el contenedor y las paredes del horno. La ventaja que puede tener un ahorro de energía sobre uno de microondas se nulifica al prepararse varias porciones individuales una por una, en vez de hacerlo en un horno convencional todas juntas en menos tiempo.

Parte de la energía requerida para preparar un alimento puede aplicarse durante un proceso industrial en lugar de hacerlo en la cocina del consumidor. En la comida preparada, por ejemplo, el cocimiento primario se ha llevado a cabo antes de que el consumidor lo compre. La comida preparada (*convenience food*) se define como alimentos parcial o completamente cocinados con un tiempo de preparación considerable, sazonados, o con un gasto de energía previo hecho por el fabricante para ahorrárselo al consumidor ⁽¹⁰⁵⁾.

En un estudio hecho por Richardson, et al ⁽¹⁰⁵⁾, se demostró que 63.4% de los alimentos evaluados usaron más energía al prepararse en un horno eléctrico que en uno de microondas y el restante 36.6% a la inversa. De éstos, un 24.8% fueron alimentos que se calentaron completamente en parrilla eléctrica en vez del horno eléctrico. La mayoría de los alimentos preparados en casa (78.3%) requirieron más energía que sus similares comprados preparados.

Sin embargo, algunos alimentos preparados congelados requirieron más energía que sus similares caseros. En la tabla 2 se muestran parte de sus resultados.

En un estudio hecho por Cullars, et. al.⁽⁴¹⁾, se encontró que el horno de combinación microondas, convección utilizó menos energía que el eléctrico en el 85% de los productos evaluados. El horno de combinación fue en general 20% más rápido que el convencional.

Es importante recordar que cada horno se comporta de diferente manera. No es posible comparar los resultados obtenidos en uno con el otro porque la cantidad (potencia) y distribución de energía dentro del horno pueden ser muy diferentes. Es necesario evaluar cada horno para estandarizar estos valores. Lo importante de todo esto es que en general, los hornos de microondas y de combinación ahorran más tiempo y energía que los hornos eléctricos convencionales.

TABLA 2. COMPARACION ENTRE CONSUMO DE ENERGIA ENTRE ALIMENTOS PREPARADOS EN HORNO ELECTRICO (Y/O PARRILLA) Y EN HORNO DE MICROONDAS

ALIMENTO	ELECTRICO > MICROONDAS
8	
PREPARADOS	
hot-cakes *	11.9
brócoli *	38.4
pastel de chocolate	50.2
pizza	68.1
pay de manzana	70.6
CASEROS	
pay de manzana	74.6
sopa de pollo	4.8
pizza	39.6
pastel de chocolate	48.1
macarrones con queso	66.4
pan integral	76.5

ALIMENTO	MICROONDAS > ELECTRICO
8	
PREPARADOS *	
macarrones con queso	4.1
sopa de pollo	36.8
salsa de espaguetti	46.6
pudin	48.4
sopa de champiñones	52.7
CASEROS*	
pudin	4.9
hot-cakes	9.9
papas	16.4
zanahorias	30.2
brócoli	36.9
salsa de espaguetti	47.0
pollo frito	72.7

* se usó parrilla eléctrica
(104)

PROCESO DE CALENTAMIENTO

El incremento de temperatura en los alimentos se logra mediante una de tres formas aunque bien pueden ocurrir simultáneamente:

- a) Convección: transferencia de calor desde una fuente a través del aire o de líquidos hacia el alimento;
- b) Conducción: transferencia de calor en el nivel molecular dentro del alimento o el recipiente que lo contiene, desde el área de mayor temperatura hacia la de menor temperatura;
- c) Radiación: absorción de cuantos de energía de una onda electromagnética por el alimento.

En un horno de gas o eléctrico, el exterior del alimento es calentado por convección del aire caliente en el horno. Las paredes calientes y los elementos generadores de calor (resistencias o quemadores) irradian ondas infrarrojas; éstas son absorbidas y calientan una capa muy delgada en la superficie del alimento. Su interior es calentado por conducción de la superficie caliente. La conductividad de los alimentos no es alta, por lo que lleva tiempo que el interior alcance temperaturas de cocimiento. Cuando el alimento es calentado por microondas, la energía se deposita en el interior, por lo tanto, se reduce el tiempo de cocimiento. El aire y el recipiente que contienen al alimento se calientan por conducción del calor desde el alimento. Las microondas no calientan el aire.

En general, el primer paso en la conversión de microondas en energía térmica, es la absorción de las microondas por un sistema absorbente y después la degradación de esta energía en vibraciones térmicas de las moléculas del material absorbente.

Para que una molécula absorba un cuanto de energía, la energía de éste debe igualar la diferencia de energía entre el estado presente de la molécula (generalmente el estado basal) y la energía del otro estado permitido (excitado). La energía contenida en un cuanto de microondas es pequeña. Por eso las microondas pueden ser transmitidas a través de muchos materiales sin ser absorbidas.

Cuando una onda electromagnética incide sobre una molécula, el campo eléctrico y el magnético actúan sobre ella. El efecto del campo magnético es mucho menor respecto al eléctrico y tratándose de alimentos (sistemas no ferromagnéticos) se puede despreciar.

Al viajar la onda electromagnética por una molécula diatómica, la molécula experimentará un campo eléctrico que oscila hacia arriba y hacia abajo. Si la onda oscila a lo largo del enlace entre los átomos, éstos comenzarán a vibrar al ser atraídos y repelidos a lo largo del enlace como se muestra en la figura 9b. Si la onda ejerce fuerzas perpendiculares al enlace, habrá un torque ejercido sobre la molécula y tendrá como resultante el movimiento de rotación de la misma, como se ilustra en la figura 9c. La energía será transferida a la molécula. Las moléculas vibran a la misma frecuencia de la onda absorbida. Una frecuencia de 2450 MHz hace vibrar a las moléculas 2450 millones de veces por segundo.

Para que la energía aparezca como calor, debe transferirse de la molécula que vibra hacia sus alrededores en vez de permanecer como

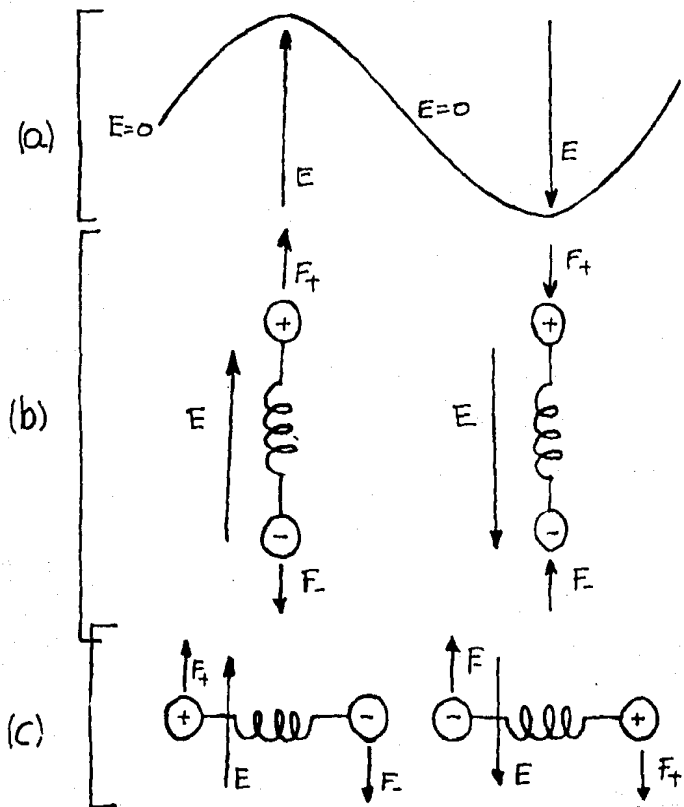


FIGURA 9. ESQUEMA DE LAS FUERZAS ELECTRICAS Y TORQUES EJERCIDOS SOBRE UNA MOLECULA POLAR DIATOMICA POR EL CAMPO ELECTRICO AL PASO DE UNA ONDA ELECTROMAGNETICA (42)

vibración interna. Esta redistribución de la energía se conoce como "efecto de fricción molecular". Este es el efecto de las microondas sobre todas las moléculas polares.

En materiales no polares es diferente. En estas moléculas, las cargas eléctricas están simétricamente distribuidas. Si un campo eléctrico se aplica a este material, las cargas positivas experimentarán una fuerza en la misma dirección que la del campo y las negativas una fuerza opuesta. Este desarreglo de la simetría original hace que la molécula se polarice; tal polarización inducida permite la interacción de la molécula con el campo eléctrico. De este modo se logra la transferencia de energía de un campo electromagnético a moléculas de aceites y tejido graso en un horno de microondas. Algunas moléculas orgánicas tienen regiones polares y otras no polares y pueden interactuar con el campo de la radiación tanto por la polarización permanente como por la inducida. También existe el fenómeno de conducción dentro del alimento.

PROPIEDADES FÍSICAS Y ELÉCTRICAS DE LOS ALIMENTOS

Los usos de las microondas son múltiples y para no interferir unos con otros, se han formulado acuerdos internacionales que establecen las frecuencias permitidas para procesar alimentos; éstas son 915 y 2450 MHz. El calentamiento a través de microondas es el resultado de la interacción de los componentes químicos del alimento con un campo electromagnético. En un proceso de microondas, no solo influyen las propiedades térmicas del alimento sino también algunas propiedades eléctricas interrelacionadas que varían con la frecuencia y con el perfil de tiempo:temperatura durante el proceso del producto. Las propiedades dieléctricas más importantes a frecuencia de microondas son expresadas como permitividad dieléctrica con dos componentes: la constante dieléctrica (E') y el factor de pérdida (E'').

La constante dieléctrica es una medida de la capacidad del material para almacenar energía eléctrica y el factor de pérdida es una medida de la capacidad para disipar energía en forma de calor. La relación entre estos dos factores determina las capacidades del material tanto para ser penetrado por un campo eléctrico, como para disipar energía eléctrica como calor. La relación del factor de pérdida entre la constante dieléctrica es el factor de disipación o tangente de pérdida:

$$\tan \delta = E''/E'$$

Al aumentar el valor del factor de pérdida y la tangente de pérdida, la cantidad de energía que absorba este material aumentará también. La ecuación fundamental de la absorción de la energía de microondas en un material se expresa así:

$$P_v = k f E^2 E''$$

donde:

P_v = potencia desarrollada en un volumen del material

k = constante para determinar unidades de potencia y volumen

f = frecuencia del sistema de microondas

E = fuerza del campo eléctrico en volts por unidad de distancia

E'' = factor de pérdida del material

La constante dieléctrica depende de la temperatura (TAB.3) y el factor de pérdida depende tanto de la temperatura como de la frecuencia (TAB.4). Estas propiedades afectan la distribución de energía dentro del material, la profundidad a la que penetra la energía en el alimento y la eficiencia con que esto se lleva a cabo.

Las microondas tocan la superficie del material con un nivel inicial de potencia; cuando comienzan a penetrar el material, se absorbe un poco de energía, cambian la longitud de onda y la velocidad, mientras que la frecuencia (dada por el magnetron) permanece constante. Esto continua hasta que se absorbe toda la energía o las ondas atraviesan todo el material. La profundidad de penetración de la energía es una medida de este fenómeno. La profundidad de penetración se define como la profundidad en donde

GRAFICA DE CONSTANTE DIELECTRICA PARA
PAPA CRUDA A FRECUENCIAS DIFERENTES

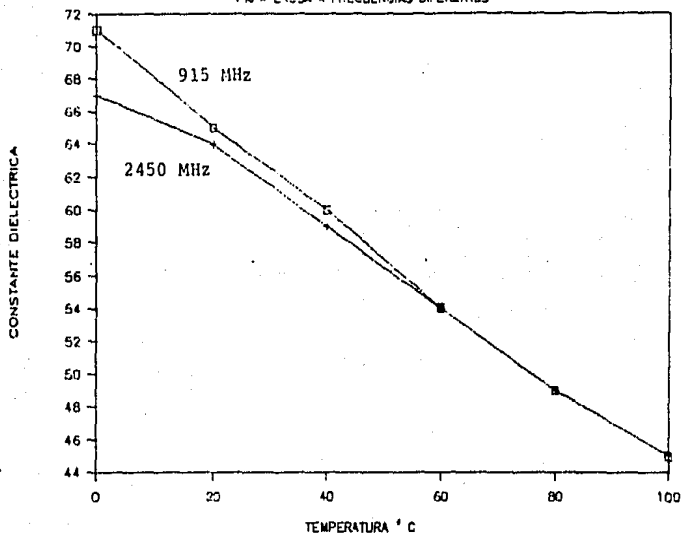


TABLA 3. CONSTANTES DIELECTRICAS PARA PAPA CRUDA A DOS FRECUENCIAS DIFERENTES

TEMPERATURA (°C)	CONSTANTE DIELECTRICA	
	915 MHz	2450 MHz
0	71	67
20	65	64
40	60	59
60	54	54
80	49	49
100	45	45

(98)

GRAFICA DEL FACTOR DE PERDIDA PARA
PAPA CRUDA A FRECUENCIAS DIFERENTES

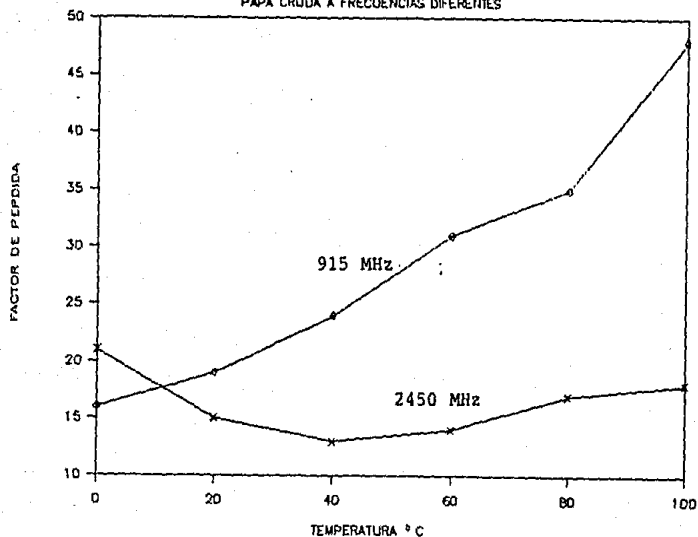


TABLA 4. FACTOR DE PERDIDA PARA PAPA CRUDA A DOS FR FRECUENCIAS DIFERENTES

TEMPERATURA (°C)	FACTOR DE PERDIDA	
	915 MHz	2450 MHz
0	16	21
20	19	15
40	24	13
60	31	14
80	35	17
100	48	18

(98)

la energía restante es del 37% de la inicial^(99,96):

$$Z = \frac{\lambda_0}{\pi} \left(\frac{1}{2 E' \{ (1 + \tan^2 \lambda)^{1/2} - 1 \}} \right)^{1/2}$$

Las propiedades eléctricas están ampliamente determinadas por los contenidos de humedad y sal del producto (TAB. 5a y 5b). Las propiedades dieléctricas del agua son funciones de la longitud de onda (frecuencia) y de la temperatura. A una temperatura determinada, la constante dieléctrica del agua será función de la frecuencia (FIG. 10). El agua de unión, que es el agua unida a la superficie de los sólidos en el alimento en una o varias capas estructuradas, se relaja a frecuencias menores a las microondas, por ello sus efectos no son considerados en procesos con microondas ya que no responden al campo en estas frecuencias⁽⁹⁷⁾.

Las sales disueltas, es decir, iones en solución acuosa, atraen moléculas de agua con más fuerza por efectos de la carga nuclear (dependientes del tamaño y carga de los iones) y disminuyen los valores de la constante dieléctrica a niveles menores que los del agua pura. El factor de pérdida aumenta superando estos niveles (FIG. 11). El efecto sobre la constante dieléctrica depende de la concentración de sal y de su número promedio de hidratación. El efecto sobre el factor de pérdida depende de la conductividad equivalente de la sal, que depende a su vez de la temperatura y de la concentración. Los efectos de los iones en solución se relacionan generalmente con las cenizas y con componentes proteínicos solubles. Los efectos de los componentes insolubles e inmiscibles son el de disminuir tanto la constante dieléctrica

TABLA 5a. ACTIVIDAD DIELECTRICA RELATIVA DE
ALGUNOS COMPONENTES DE LOS ALIMENTOS

COMPONENTE	ACTIVIDAD DIELECTRICA RELATIVA
AGUA DE UNION	BAJA
AGUA LIBRE	ALTA
SALES ASOCIADAS	BAJA
SALES DISOCIADAS	ALTA
SOLIDOS COLOIDALES	BAJA

(48)

TABLA 5b. VALORES DE PROPIEDADES DIELECTRICAS PARA
DIFERENTES CONTENIDOS DE HUMEDAD EN ALIMENTOS
SEMISOLIDOS

HUMEDAD	CONSTANTE DIELECTRICA	TANGENTE PERDIDA	PENETRACION (cm)	
			915 MHz	2450 MHz
ALTA	60	0.25	8.4	3.1
INTERMEDIA	20	0.20	11.7	4.4
BAJA	10	0.15	22.1	8.2

(48)

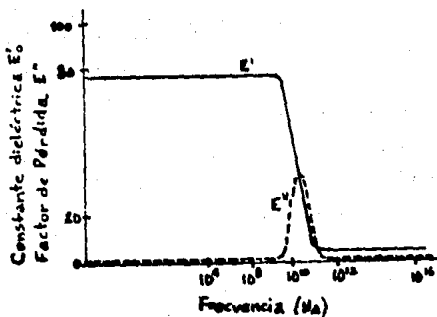


FIGURA 10. COMPORTAMIENTO DIELECTRICO DEL AGUA PURA A 25 °C (49)

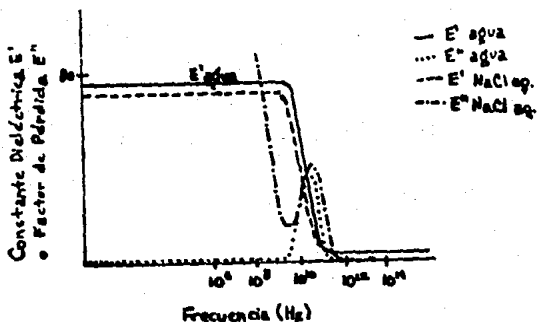


FIGURA 11. COMPORTAMIENTO DIELECTRICO DEL AGUA PURA Y DE SOLUCIONES IONICAS ACUOSAS (NaCl) A 25°C (49)

como el factor de pérdida, como se observa en emulsiones aceite-agua, y se relacionan a los lípidos, proteínas y carbohidratos en suspensiones coloidales en agua. El efecto de los componentes interactivos tales como alcoholes y azúcares, se debe a la estabilización de enlaces de hidrógeno ente los grupos hidroxilo de estos compuestos y el agua cambiando la longitud de onda crítica de absorción.

Las propiedades eléctricas de los alimentos cambian a temperaturas de congelación. Estos cambios son resultado del desplazamiento progresivo del agua libre por la formación de hielo dentro de los tejidos del alimento y la concentración de solutos en el agua remanente no congelada. Los procesos de calentamiento por microondas están sujetos a los mismos mecanismos de transferencia de calor que los procesos térmicos convencionales. La humedad y temperatura del producto también afectan el proceso de transferencia de calor (conducción interna y convección desde la superficie) y se determinan mediante la difusividad térmica (relación de la conductividad térmica con la capacidad calorífica y la densidad) del producto. Estas propiedades dependen de la temperatura en materiales que están siendo deshidratados rápidamente, no así en productos de humedad relativamente constante.

SEGURIDAD Y ESTANDARES

Seguridad

Como ya se dijo antes, las microondas no rompen enlaces químicos ni siquiera al nivel de enlaces débiles como los de hidrógeno, ya que la energía que poseen sus fotones es menor que la requerida para lograr estas rupturas. Es radiación no ionizante. Por ello, la probabilidad de que las microondas induzcan reacciones que produzcan compuestos tóxicos en alimentos es muy baja. Los enlaces de hidrógeno se rompen durante el calentamiento por el efecto de fricción molecular.

Varios investigadores han realizado experimentos para establecer si el DNA absorbe energía de microondas ^(66,92). Las frecuencias evaluadas van desde 0.1 hasta 12 GHz. Se probaron soluciones acuosas de DNA de *E. coli* y de eritrocitos de pollo (DNA altamente polimerizado, de bajo peso molecular y en fragmentos después de tratamiento enzimático). En ningún caso pudo demostrarse que el DNA absorbiera energía de microondas.

Revisando algunos estudios hechos para determinar la peligrosidad de las microondas ⁽⁶⁰⁾, se llegó a la conclusión de que en general todo es ambiguo. Los resultados de los experimentos están basados en métodos y conclusiones poco consistentes y de validez dudosa. No se ha demostrado completamente lo peligroso de las microondas, pero tampoco su inocuidad. Sólo se coincide en que la única evidencia de daño radica en altos niveles de exposición.

Los efectos de la radiación de microondas en sistemas biológicos puede dividirse en dos grupos: efectos térmicos y no térmicos. Los efectos térmicos han recibido mayor atención por parte de los investigadores ⁽⁸³⁾. Los daños que se limitan a las complicaciones por los efectos térmicos directos causan: hipertermia y otro tipo de respuestas biológicas ⁽³⁾. Los efectos térmicos son función de la energía absorbida por el organismo y no de la densidad del campo por unidad de área donde está colocado. Depende también del tamaño del organismo y su orientación respecto a las ondas y al tipo de antena usada ^(60,83). Cada especie posee mecanismos de disipación de calor diferentes, por lo que no es adecuado extrapolar resultados de estudios sobre ratones o cualquier otro animal de laboratorio al humano.

La absorción de energía de microondas en un medio depende de la constante dieléctrica y de la conductividad del mismo; y como estos valores son altos para el agua, los tejidos y órganos con mayor contenido de humedad serán los más afectados por microondas. Aquellas partes del cuerpo que no tengan un flujo sanguíneo considerable, no serán capaces de disipar calor rápidamente (ojos, oídos y testículos principalmente), y son más propensos a sufrir daños ⁽⁸³⁾.

Los efectos atérmicos o no térmicos se presentan cuando los enlaces moleculares están tensionados o la estructura molecular es torcionada. Pueden darse rearrreglos de macromoléculas o estructuras subcelulares suficientes para causar disturbios metabólicos y funcionales a nivel celular ⁽⁸³⁾. No aclara a qué nivel de radiación ni el valor de frecuencia en que ocurre esto.

Los campos de microondas y frecuencias de radio a una determinada longitud de onda y en determinadas intensidades (no se especifican

los valores) modifican la unión de calcio en superficies celulares y afectan un mecanismo enzimático intracelular dependiente del calcio. Estos marcadores intracelulares de eventos iniciados en la superficie celular regulan el flujo de mensajes intracelulares de proteasas, el metabolismo celular y el crecimiento celular ⁽²⁾.

Estandares

El rango de frecuencias desde las de radio a microondas, se ha dividido en 4 partes: rango abajo de la resonancia (menores a 30 MHz), rango de resonancia (30 MHz a 2 GHz), rango sobre la resonancia o zona de "puntos calientes" (2 a 3 GHz) y el rango de calentamiento superficial (mayores a la zona de puntos calientes).

A) Rango de resonancia

La tasa de absorción específica promedio, SAR (Average Specific Absortion Rate), para adultos tiene un máximo de cerca de 80 MHz, pero varía, conforme al tamaño del hombre y su posición respecto al campo electromagnético, desde 30 a 300 MHz. El cuerpo humano (niños y adultos) puede entrar en resonancia con el campo eléctrico cerca de algunos cientos de MHz, absorbiendo mayor energía que la incidente si se encuentran polarizados con el campo. El peor caso ocurriría solamente cuando la dirección del campo sea idéntica al eje longitudinal del cuerpo y no es común que esto suceda durante periodos largos de tiempo.

B) Rango abajo de la resonancia

Abajo del rango de resonancia, el porcentaje de energía incidente que se absorbe decrece rápidamente (menor frecuencia, menor absorción). Entre 10 KHz y 100 KHz surgen respuestas fisiológicas diferentes a las causadas por calor tal como la excitación. Por

ello es importante establecer un límite de seguridad de flujo para estas frecuencias (0.1 a 1 MHz) que corresponde a 1 W/cm^2 .

C) Rango sobre la resonancia

Sobre el rango de resonancia, el porcentaje de energía absorbida decrece al incrementarse la frecuencia, aunque pueden existir regiones localizadas de mayor poder de absorción, llamados "puntos calientes". Estas regiones internas de concentración de energía son causadas por resonancia y enfocamiento cuasióptico. En estas zonas se alcanza una temperatura mayor que en el resto del tejido.

Se han utilizado modelos para observar la absorción de calor en el humano, pero son siempre limitados y no ha sido posible conocer detalles y patrones de depositación/absorción del calor en el cuerpo humano. Se han considerado modelos de la cabeza humana con los que se ha logrado calcular que la elevación promedio de la temperatura del cerebro aumenta solamente 0.004°C cuando se expone a un flujo de 10 mW/cm^2 y considerando que la cabeza está conectada al cuerpo como un depósito de enfriamiento.

Se han provocado experimentalmente elevaciones de temperatura de 0.5°C en el hipotálamo, con lo que se producen cambios en la vasodilatación y en la sudoración. Dichas elevaciones se alcanzan al exponer el cuerpo dentro de este rango con flujos de 10-20 mW/cm^2 . Pero las variaciones diurnas de temperatura del hipotálamo son de 0.5°C y no causan molestias fisiológicas aparentes.

D) Rango de calentamiento superficial

Con estas frecuencias, las zonas de puntos calientes desaparecen y se da solamente un calentamiento superficial.

La longitud de penetración térmica para un flujo sanguíneo normal

es de cerca de 1 cm. La longitud de penetración de radiación tiene el mismo valor (1 cm) para tejidos como cerebro y músculo, a 2GHz. Al disminuir la frecuencia, la penetración es menor que la de la térmica. En la superficie se detectan elevaciones de temperatura significativas y los gradientes de temperatura deben ser similares a aquellos originados por frecuencias de IR y luz solar para frecuencias superiores a 2 GHz.

Cantidad de calor tolerable

Para establecer qué cantidad de calor es tolerable en el cuerpo humano, conviene considerar que: el flujo incidente típico de la luz solar es de cerca de 70 mW/cm^2 con valores arriba de 100 mW/cm^2 para días claros y de incidencia perpendicular. La mitad de esta energía es absorbida y de la cantidad absorbida, una fracción es re-irradiada en forma de rayos infrarrojos como consecuencia de la elevación de la temperatura de la superficie de la piel. Una cantidad total de calor de 20 W/cm^2 puede ser típica con una ingesta de energía total de 8000 cal/día. Este valor es casi 4 veces el de la tasa metabólica basal (BMR). Con ejercicio intenso se alcanzan niveles de calor tolerables, por ejemplo al correr durante media hora se adquiere un nivel correspondiente a 20,000 cal/día, 10 veces el BMR. En este caso el calor es generado principalmente en el tejido muscular. De aquí se desprende que los niveles tolerables de energía no dependen directamente del lugar donde se genera el calor, por ejemplo, calentamiento superficial contra calentamiento profundo por absorción moderada de energía. Pero el calor superficial debe ser de alguna manera más tolerable en vista de los mecanismos de disipación de calor por el sudor, radiación y convección. Se concluye que se tolera un nivel de radiación con una cantidad de calor equivalente a la resultante del BMR. Para dar un margen extra de seguridad puede adoptarse un nivel equivalente a un medio o 0.4 de BMR.

En cuanto a radiaciones parciales del cuerpo humano deben tenerse otras consideraciones. Se asume que el flujo sanguíneo distribuye una carga térmica local al cuerpo. Una carga local tolerable de 100 W se manifiesta al utilizar la diatermia (tratamiento médico usado para generar calor en los tejidos). La tolerancia a esa cantidad de energía se explica si la convección y el flujo sanguíneo son suficientemente eficaces para prevenir elevaciones locales de temperatura. Si se usa diatermia a 2450 MHz, es posible que se toleren irradiaciones locales con flujos mayores a $100\text{mW}/\text{cm}^2$, pero también generarán elevaciones de temperatura de varios grados. De cualquier modo, 2450 MHz está fuera del rango de zonas calientes. En este rango las elevaciones de temperatura son considerables y peligrosas para $100\text{ mW}/\text{cm}^2$ de irradiación parcial del cuerpo.

El nivel de energía aplicado al irradiar al cuerpo parcialmente para obtener elevaciones de temperatura de 1°C , debe limitarse a 20 W, manteniendo el flujo de incidencia abajo de los $20\text{ mW}/\text{cm}^2$ en el rango de zonas calientes y sobre él. Es necesario realizar más investigación para entender todos los factores que afectan la irradiación parcial del cuerpo ⁽¹¹²⁾.

El American National Standards Institute (ANSI) en la ANSIC95.1 establece un nivel de $10\text{ mW}/\text{cm}^2$ para exposición del cuerpo completo durante un periodo ilimitado, bajo condiciones ambientales normales ⁽⁴⁹⁾. Este valor se adoptó desde 1966 basado en las anteriores consideraciones y en 1974 se reafirmó, siguiendo actualmente sin cambio. Este nivel vale para todo el rango de frecuencias de microondas, es decir, se incluyen, además de las microondas para uso en alimentos, las de uso en radares para comunicaciones, uso médico (terapéutico) e industrial.

La CAME (Consejo de Ayuda Mutua Económica; en inglés COMECON

Council of Mutual Economic Cooperation) agrupa a países socialistas como Bulgaria, Checoslovaquia, RDA, URSS, Polonia, etc. y está desarrollando recomendaciones para unificar los límites de exposición que serán adoptados por todos los países pertenecientes a esta organización, con lo que es probable que los estándares actuales de Europa Oriental se modifiquen.

Los estándares del CAME no dependerán solamente de la frecuencia, sino también del tiempo de exposición. Se establece una diferencia entre una estancia no restringida en el área (como zona habitacional) y presencia ocasional de periodos cortos (menores de un día).

La URSS establece un límite de exposición de 1 mW/cm^2 para frecuencias entre 300 MHz y 300 GHz. Estos límites son válidos también en Bulgaria y RDA ⁽⁴³⁾.

Marcapasos

Si los marcapasos tienen una cubierta apropiada, difícilmente serán afectados por la frecuencia de microondas; pero si están encapsulados en plástico, su rango de vulnerabilidad es mayor y tantomicroondas como equipo de electrocirugía, motores eléctricos, elevadores, radares, cobertores eléctricos, comunicadores y teléfonos portátiles pueden afectarlos.

Considerando estos hechos, y que las regulaciones del gobierno de Estados Unidos respecto a la emisión de energía desde el horno de microondas, la Oficina de Salud y Radiología de Estados Unidos (BRH) no exige leyendas con advertencias a este respecto ⁽³⁰⁾. Sin embargo, existen diferentes opiniones en torno a esto y hay quien sí recomienda que la gente con marcapasos no use hornos de microondas ^(96,83).

MICROBIOLOGIA

Los efectos de la energía de microondas en los microorganismos provoca gran interés, por lo que se han realizado cientos de estudios al respecto. Sin embargo, no se ha establecido cuál es el mecanismo que siguen para inactivarlos. Aquí se tratarán aspectos de higiene y microbiología de los alimentos procesados con microondas. Los procesos de esterilización y pasteurizado se tratarán más adelante.

Mecanismo

Para explicar los posibles mecanismos de destrucción o inactivación de los microorganismos, existen diferentes opiniones. La mayoría de los estudios indican que el único efecto de las microondas sobre los microorganismos es el térmico. En tanto que otros presentan resultados que no pueden explicarse sólo con el efecto térmico, sino que sugieren un efecto atérmico adicional. Es difícil comparar los estudios porque se utilizaron frecuencias, microorganismos y medios de cultivo diferentes.

La polémica respecto al mecanismo de destrucción de microorganismos es muy antigua (mediados de los años 20). En los años 40 y 50 se llevaron a cabo muchos experimentos a bajas frecuencias. En algunos se logró la inactivación de microorganismos a temperaturas por abajo del punto de destrucción térmica, sin presentar evidencias del efecto atérmico. En otros

casos no se llegó a inactivarlos. La tabla 6 resume parte de estos trabajos ⁽⁶⁵⁾. En 1947 se repitió el experimento de Fleming sin alcanzar los mismos resultados. Es probable que el deficiente manejo tanto de las técnicas radiológicas por parte de los bioquímicos, como de las técnicas bioquímicas por parte de los radiólogos fuera una fuente importante de error ⁽⁴²⁾. En los años 60 se utilizaba la frecuencia de 2450 MHz en los experimentos; en la gran mayoría se encuentran evidencias para mostrar que los microorganismos fueron destruidos solamente por el calor generado por las microondas ^(49,80).

La relación tiempo:temperatura para inactivar a *A. niger*, *Rhizopus nigricans* y *Penicillium sp.* en pan es de 68-71° C durante 20 minutos. Con un tratamiento de microondas, en 1965 Olsen logró una importante reducción de la viabilidad de estos hongos a 65.5° C durante 2 minutos, argumentando que el efecto no era solamente térmico ⁽⁶⁵⁾. Sugiere que hay un fenómeno llamado "calentamiento preferencial" en el que los microorganismos tienden a calentarse preferencialmente al medio que lo rodea y es afectado por el tamaño. Cuanto mayor sea el tamaño del microorganismo, tanto mayor será el diferencial de temperatura entre el calor necesario para destruirlo con procesos convencionales comparado con microondas. La energía de microondas destruirá un microorganismo a una temperatura algo menor de la que se requiere con calor convencional ⁽⁴⁹⁾.

Gröning ⁽⁷⁰⁾ informa que irradiando con microondas una suspensión de microorganismos adaptada a un sistema de enfriamiento simultáneo, estos no se redujeron. En sus estudios observó que se daba una mayor inactivación de *B. subtilis* mediante microondas que por métodos convencionales de calentamiento, cuando en ambos se alcanzó la misma temperatura y Gröning sugiere que las microondas no poseen un efecto atérmico único responsable de la inactivación, sino que la energía absorbida induce un cambio en la membrana

94

TABLA 6. RESUMEN DE EXPERIMENTOS A BAJAS FRECUENCIAS PARA INACTIVAR MICROORGANISMOS

INVESTIGADOR	MICROORGANISMO	FRECUENCIA (MHz)	TIEMPO (min)	TEMPERATURA (°C)	INACTIVACION
FABIAN 1933	BACTERIAS NO ESPECIFICADAS	7.5, 10 15	-	19	+
WEN & LUI 1934	E. coli B. proteus B. typhosa	1.5	90	20	+
FLEMING 1944	E. coli	11, 14, 28, 60, 200, 350	-	30	+
ROBE 1966	levaduras	27.2	-	46.2-28.8	+
JACOBS 1950	E. coli S. aureus	1.2 a 66	-	32	-
BURTON 1950	E. coli	30	indefinido	50	-
INGRAM 1953	S. cerevisae E. coli	10	12	-	-

celular haciéndola más sensible al efecto térmico de las microondas.

Se evaluó el efecto de las microondas sobre células en ausencia de agua (esporas y células vegetales secas) y no se registró un incremento de la temperatura ni destrucción de los microorganismos. La conclusión propuesta es que las microondas los destruyen sólo por su efecto térmico y si acaso existe un efecto atérmico, no es bactericida, aunque existe la posibilidad de que el agua sea necesaria para potenciar este efecto ⁽⁶⁵⁾.

Las diferencias de opinión continúan. Lo que resulta evidente es que el efecto térmico, independientemente de si existe o no un efecto atérmico, es responsable de la inactivación de los microorganismos y lo hace del mismo modo que el calor generado por métodos convencionales. La diferencia respecto a ellos, es la forma de penetración de calor y el tiempo en que esto se logra.

Efecto sobre microorganismos en alimentos

El efecto que puedan tener las microondas sobre los microorganismos en alimentos dependerá de sus características intrínsecas (pH, humedad, potencial de óxido-reducción, contenido de nutrientes, compuestos antimicrobianos, estructura biológica, composición química, forma y tamaño del alimento) y de las extrínsecas (temperatura, humedad y gases del medio, frecuencia e intensidad de la radiación, tiempo de exposición, posición del alimento en el campo de la radiación, etc.). También influye la composición física y química de los microorganismos irradiados, el estado en el que se encuentren (célula vegetativa, espora o en fase de crecimiento) y la cantidad inicial de ellos ⁽⁶⁵⁾.

Para determinar si cada especie de microorganismos posee una

susceptibilidad diferente a las microondas, se realizó un experimento: en sopa de tomate se inocularon 10 bacterias diferentes; se cocinó en microondas según las recomendaciones del fabricante, durante 2 minutos. La temperatura en el centro fue de 60° C. Los resultados en la tabla 7 muestran que sí existe diferente susceptibilidad a la inactivación por microondas ⁽⁶⁵⁾.

El cocimiento con microondas a menudo es menos eficiente para destruir bacterias que el calentamiento convencional, aunque se alcance la misma temperatura ^(65, 80, 125, 127). La explicación a este hecho es que la elevación rápida de la temperatura no mantiene a los microorganismos a temperaturas letales durante el tiempo suficiente ⁽⁴⁹⁾. El tiempo de exposición necesario para alcanzar dentro del alimento la temperatura calculada para la destrucción de microorganismos puede llegar a ser demasiado, de manera que se originen cambios organolépticos indeseables en el producto, que lo hagan poco atractivo ⁽⁴⁶⁾. Para asegurar la calidad microbiológica es recomendable dejar al alimento dentro del horno unos minutos más una vez terminado el tiempo de cocimiento para dar oportunidad a que el calor generado dentro del alimento se pueda uniformar por convección ⁽⁴²⁾. Gran parte del calor es disipado de la superficie del alimento por evaporación ^(49, 65). Si el alimento se cubre con algún material plástico aislante, se retiene el calor previniendo así su pérdida. Con esta práctica se logró eliminar por completo microorganismos en hot-dogs con microondas, mientras que sin la envoltura plástica sobrevivieron 1-2% de los microorganismos inoculados ⁽⁶⁵⁾.

El cocimiento con microondas puede ser inadecuado para reducir grandes cantidades de microorganismos a niveles no detectables en alimentos. Siguiendo las recomendaciones del fabricante para cocinar ciertos alimentos, se encuentra un gran número de los microorganismos evaluados viables. Esto hace evidente la necesidad de un mejor control de la calidad microbiológica del alimento

TABLA 7. SUPERVIVENCIA DE BACTERIAS EN SOPA DE TOMATE DESPUES DE EXPONERLAS 2 min A MICROONDAS

ORGANISMO	% DE SUPERVIVIENTES
Streptococcus faecalis	7.9
Escherichia coli	0.93
Salmonella typhimurium	0.87
Staphylococcus aureus	0.46
Pseudomonas fluorescens	0.41
Alcaligenes viscolactis	0.07
Salmonella pullorum	0.046
Micrococcus rhodochrous	0.036
Shigella flexneri	0.029
Proteus vulgaris	0.018

(64)

antes de cocinarlo ya sea con microondas o con cualquier otro proceso convencional ⁽¹²⁷⁾.

El uso de microondas es aceptable, desde el punto de vista de seguridad microbiológica, en alimentos siempre y cuando se reconozcan sus limitaciones y posibilidades:

1. El calentamiento por microondas depende más del alimento que en los métodos convencionales, debido al mecanismo de generación de calor. Es esencial conocer el patrón de calentamiento de cada producto.

2. Las recomendaciones del fabricante para preparar un alimento pueden no ser adecuadas para destruir altos niveles de contaminación microbiana. La calidad microbiológica antes de irradiar el producto debe ser aceptable (cuenta más baja posible).

3. La combinación de microondas con otros procesos (como dejarlo un periodo extra dentro del horno una vez terminado el cocimiento y/o cubrirlo con un empaque plástico aislante) da lugar a un calentamiento más uniforme y más eficiente para la destrucción de microorganismos.

4. El calor generado por microondas destruirá microorganismos (contaminantes o presentes normalmente) en alimentos siempre y cuando el tiempo de exposición sea adecuado al tamaño y forma del producto.

5. Las microondas tienen un efecto diferente dependiendo de la especie microbiológica de que se trate ⁽⁶⁵⁾.

Triquinosis

Es una enfermedad producida por un nemátodo: *Trichinella spiralis*. Una parte importante de los casos de triquinosis humana se producen a consecuencia del consumo de carne de cerdo cruda (o mal cocida) que contenga larvas enquistadas. Las larvas se liberan durante la digestión en el intestino, donde se desarrollan y llegan al estado adulto. Las larvas ahí producidas viajan a través del torrente sanguíneo a los músculos estriados y al cerebro donde se enquistan. De no ser detectado y atendido a tiempo, produce daños irreversibles y puede llegar a ser mortal. Por cocimiento, la triquina puede destruirse cuando la carne alcance en todos sus puntos una temperatura superior a los 58 °C ⁽⁶³⁾. Sin embargo, en estudios realizados con microondas, se detectaron larvas viables después de alcanzar esa temperatura ⁽¹³²⁾. La USDA (Departamento de Agricultura de Estados Unidos) considerando estos resultados, hizo la recomendación de cocinar carne de puerco hasta que alcance una temperatura no menor a 76.6° C. Es un valor arbitrario que consigue un producto jugoso y apetitoso con un margen de seguridad de más de 17° C sobre productos con triquina cocinados con métodos convencionales ⁽¹³¹⁾.

Siguiendo las recomendaciones del fabricante de hornos de microondas para cocinar puerco, se encuentra que no todos los procedimientos son seguros ⁽¹³³⁾.

Si se usa el parámetro único de la temperatura en el centro (76.6°C) puede resultar riesgoso, ya que se han registrado casos de carne infectada cocinada hasta que el centro alcanzó los 76.6°C, que presentó larvas viables porque en otros puntos no alcanzó esa temperatura. El consumidor debe cerciorarse de que toda la pieza ha rebasado ese límite. Para cuando esto suceda, la carne puede estar demasiado cocida.

Se considera generalmente que una pieza de cerdo bien cocida es segura. Si el puerco está rosa, se considera peligroso; si está

gris, seguro. Estos parámetros no son siempre validos para microondas. Una porción que parezca bien cocida (gris) puede contener larvas viables si no ha alcanzado 76.6°C ⁽¹³¹⁾. La distribución desigual de calor durante el cocimiento con microondas es probablemente la causa más importante de este problema, aunque la exposición relativamente corta al calor comparada con métodos convencionales sea otro factor importante ⁽¹³³⁾. La pieza debe alcanzar los 76.6°C y mantenerse a esa temperatura, por lo menos durante 10 minutos, de otro modo puede presentar larvas viables. Esto se logra si terminado el cocimiento se tapa la carne con aluminio durante 20 min y se deja en el horno apagado. En este tiempo, irá disminuyendo poco a poco la temperatura, pero será suficiente para que, por convección, toda la pieza adquiera una temperatura de por lo menos 76.6°C .

Las probabilidades de supervivencia del parásito dependen del peso, forma y corte de la carne. Si tiene hueso, será más probable que aparezcan zonas rosas o rojas con el consecuente riesgo de permanencia de larvas viables. Si la pieza es grande, la penetración de calor será menos eficiente. Se recomienda usar cortes de menos de 2kg sin hueso para cocinar en microondas ⁽¹³¹⁾.

Cada tipo de horno es diferente. El fabricante debe establecer una relación de wattsXmin/kg para asegurar la destrucción de la triquina. Un rango seguro es entre 13,000 a 14,000 wattsXmin/kg. Usando el 50% del poder del horno, y estableciendo el parámetro de min/kg para cada horno de manera que estén dentro de este rango, se logró destruir triquina en carne infectada. Si se usa 50% del poder o menos (como 30%) se consigue una exposición al calor más prolongada pero menos intensa dando un producto más jugoso y bien cocido.

Con base en todas estas consideraciones, las recomendaciones para asegurar la completa destrucción de larvas de triquina en carne de

puerco son:

1. Cocinar usando 50% del poder o menos;
2. Utilizar piezas de 2 kg o menos;
3. Utilizar cortes sin hueso o deshuesados;
4. Medir la temperatura de la carne en diferentes lugares. Si alguna parte tiene menos de 76.6° C, volver a cocinar hasta que todas alcancen esa temperatura;
5. Dejar la carne cubierta con papel aluminio dentro del horno ya apagado durante por lo menos 10 minutos;
6. Observar la apariencia de la carne al rebanarla. Si una porción es rosa o roja, cocinar durante más tiempo.

La combinación de todas estas precauciones es un método seguro para destruir la triquina en carne de cerdo ⁽¹³²⁾. La solución óptima al problema de la triquinosis es que la carne no contenga triquina, pero mientras esto no pueda garantizarse, el consumidor debe ser advertido del riesgo y de los procedimientos para minimizarlo.

APLICACIONES EN LA TECNOLOGIA DE ALIMENTOS:
PROCESOS INDUSTRIALES

PROCESOS INDUSTRIALES

Con muchos procesos industriales se ha investigado la posibilidad de usar microondas, aunque no en todos se ha llegado a aplicar, por diversos motivos. La aplicación de microondas en la industria va en aumento, pero lentamente. La tabla 8 resume los procesos en los que actualmente se aplican las microondas de manera industrial; estos procesos podrían imitarse en productos similares ⁽⁴⁸⁾. A continuación se describen estas operaciones y procesos.

TABLA 8. APLICACIONES DE LAS MICROONDAS EN PROCESOS PARA ALIMENTOS

PROCESO	OBJETIVO	PRODUCTO
TEMPERADO	ELEVAR LA TEMPERATURA JUSTO ABAJO DE LA TEMPERATURA DE CONGELACION	CARNE, PESCADO, AVES
COCINADO	MODIFICAR SABOR Y TEXTURA	TOCINO, HAMBURGUESAS, POLLO, PAPAS, PESCADO, SALCHICHAS
SECADO	REDUCIR CONTENIDO DE AGUA	PASTAS, CEBOLLA, BOTANAS, YEMA DE HUEVO
SECADO AL VACIO	REDUCIR CONTENIDO DE AGUA	JUGO DE NARANJA, GRANOS Y SEMILLAS
LIOFILIZADO	REDUCIR CONTENIDO DE AGUA	CARNE, FRUTA, VEGETALES
PASTEURIZADO	INACTIVAR MICROORGANISMOS VEGETATIVOS	PAN, YOGHURT
ESTERILIZADO	INACTIVAR ESPORAS MICROBIANAS	COMIDA EMPACADA EN PLASTICO
HORNEADO	MODIFICAR SABOR Y TEXTURA	PAN, DONAS
TOSTADO	MODIFICAR SABOR Y TEXTURA	NUECES, GRANOS DE CACAO Y CAFE
ESCALDADO	INACTIVAR ENZIMAS	MAIZ, PAPAS, FRUTAS
OBTENCION DE GRASAS	EXTRAER POR FUSION LAS GRASAS	GRASA DE PUERCO Y DE RES

(48)

ESTERILIZACION

Es un tratamiento que destruye o elimina todos los microorganismos viables. Estrictamente no se puede lograr una esterilización total de un alimento ya que siempre existe la posibilidad de que sobrevivan las esporas de algunos microorganismos termorresistentes, por esto se usa el término "esterilización comercial". Es un proceso diseñado para eliminar todas las esporas y microorganismos que, de estar presentes, serían capaces de crecer en el producto alimenticio en condiciones de almacenamiento. Principalmente los patógenos, productores de toxinas y los que deterioran al producto. El diagrama de flujo del proceso general se muestra en la figura 12. Se manejan temperaturas superiores a 100°C. Además del proceso con calor, existen otros como son radiación, filtración o empleo de agentes químicos.

En el capítulo anterior se trató la forma en que las microondas eliminan a los microorganismos. La conclusión general es que el efecto es solamente térmico y que el efecto de las microondas parece menor que el del calentamiento convencional porque el incremento rápido de temperatura no expone durante tiempo suficiente a los microorganismos a la temperatura letal para que resulte eficaz. Además, la temperatura del producto en la superficie es menor por el efecto de enfriamiento por evaporación. Esto se contrarresta con excelentes resultados envolviendo el producto en plástico ; así no se pierde el calor de la superficie y el calor generado se mantiene dentro dando tiempo a que por

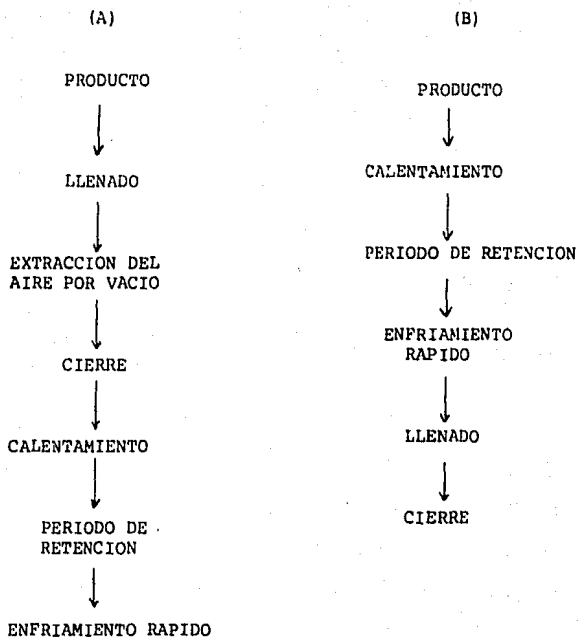


FIGURA 12. DIAGRAM DE FLUJO DEL PROCESO DE ESTERILIZACION EN EL ENVASE (A) Y FUERA DE EL (B)

convección, la temperatura del producto sea uniforme y suficiente para eliminar a los microorganismos presentes.

La eliminación de microorganismos por microondas (pasteurización y esterilización) ha sido estudiada en diversos experimentos usando muy diferentes tipos de alimentos como carne y derivados, aves, huevos, pescado, frutas y vegetales procesados, bebidas (vinos y cerveza), productos de panificación, cereales y especias entre otros. Algunos autores realizaron sus estudios en hornos caseros con frecuencias desde 800 a 2450 MHz. Otros informan del uso de equipo continuo que podría usarse industrialmente, y hay quienes combinan el uso de microondas con IR ⁽¹⁰⁶⁾.

Pero probablemente, la primera ocasión en que se evaluó un proyecto para utilizar la esterilización con microondas de manera práctica, fue iniciado en 1970 por Kenyon bajo los auspicios de los Laboratorios de Investigación y Desarrollo de la Armada de Estados Unidos en Natick, Massachusetts ^(49,80). Su principal interés fue desarrollar raciones individuales con vida de anaquel estable para uso militar, usando la energía de microondas para reducir el tiempo de proceso.

Kenyon fabricó un procesador continuo (FIG. 13). El transportador de microondas operaba a una frecuencia de 2450 MHz y a 10 kW de potencia. El material era de fibra de vidrio epóxica por su resistencia a temperaturas elevadas y por su relativa transparencia a las microondas. Es un sistema bajo presión con entrada y salida controladas que evitan la pérdida de presión durante el proceso. Aire a presión en contracorriente evita que las bolsas que contienen al alimento se rompan por la presión interna generada por la humedad convertida en vapor durante el calentamiento. Los paquetes fueron hechos de polietileno laminado y de poliéster. Por ejemplo, para pollo y salchichas, el producto entra a 23.9°C (75°F) y llega a una temperatura de 121°C (250°F).

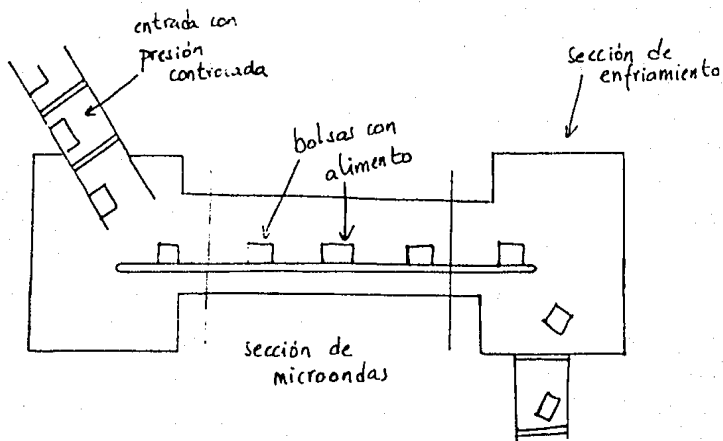


FIGURA 13. DIAGRAMA ESQUEMATICO DEL SISTEMA DE MICROONDAS PARA PROCESAR ALIMENTOS BAJO PRESION (49)

Esta temperatura se mantiene y luego disminuye. El tiempo total de proceso es de 9-14 min. La meta era establecer parámetros de proceso para los diferentes platillos de uso militar desarrollando un método que integrara la relación tiempo:temperatura con el alimento en proceso. En todos los casos al procesar el producto para obtener buenos resultados en el centro, la superficie estaba sobreprocesada ⁽⁴⁹⁾. Concluyeron que la esterilización con microondas era factible y que estudios posteriores evaluarían la aceptación del consumidor, los costos de producción y la seguridad microbiológica. En un trabajo posterior, reportaron la optimización de la relación tiempo:temperatura del proceso, en el empaque y en la calidad del producto final ^(48,80).

Junto con el Departamento de Agricultura en Berkeley, California, los Laboratorios de la Armada de Estados Unidos en Natick trabajaron para desarrollar un proceso y el equipo de esterilización comercial que diera resultados organolépticos comparables a los obtenidos por procesos convencionales. Se precalentó el producto a 93°C, se expuso a energía de microondas hasta alcanzar 121°C, después se mantuvo en agua a 121°C hasta alcanzar la esterilización deseada y, finalmente, enfriado rápidamente para evitar la degradación del producto. Al exponerlo a microondas se rota para lograr una uniformidad de calentamiento. Se obtuvieron productos de mejor calidad que a través de métodos convencionales; sin embargo al usarse productos previamente inoculados se produjeron resultados negativos, porque en algunos puntos de las bolsas no se alcanzó la temperatura adecuada de esterilización.

En Suecia, Alfa-Laval AB realizó estudios al mismo tiempo (1974) llegando a conclusiones similares: los extremos del producto empacado en bolsas reciben más calor que el centro al exponerse a microondas. Establecen que un medio debe rodear la bolsa durante

la radiación con microondas y que este medio tenga una constante dieléctrica de por lo menos la mitad de la del producto. La temperatura del medio es controlada de manera independiente de tal modo que la temperatura de la superficie del producto sea la misma que la del interior al término del calentamiento. Los estudios se interrumpieron por la dificultad de conseguir material de empaque adecuado con propiedades de barrera a los gases que asegurara la calidad durante el almacenamiento y que soportara las condiciones del proceso. Actualmente existen películas laminadas con esas características y Alfa-Laval ha reanudado sus investigaciones ^(49,106).

El principio básico de la esterilización a gran escala es el pasar productos empacados o no empacados a través de un campo de microondas en una banda transportadora o por un tubo guía de ondas para eliminar por calor los microorganismos presentes. Dependiendo del producto, se establece el tiempo de permanencia, temperaturas de entrada y de salida.

Como ejemplos tenemos los envases de jalea que son transportados en una banda a un túnel con microondas inmediatamente después de llenarse y ser tapados con un sello plástico. La temperatura de la superficie se incrementa gradualmente a 70-80°C para evitar formación de hongos durante el almacenamiento. Así también la carne y otros materiales sólidos se empacan en bolsas de plástico y se esterilizan bajo presión para evitar que la bolsa estalle. En otros procesos los productos a esterilizar se empacan y se cargan en un contenedor permeable a las microondas cuyo tamaño es apenas mayor que el producto empacado para evitar que éste estalle y para reducir el enfriamiento de la superficie ⁽¹⁰⁶⁾.

PASTEURIZADO

Es un proceso de tratamiento térmico diseñado para matar todos los organismos patógenos y algunos otros, no necesariamente todos, los que de estar presentes podrían deteriorar el alimento al crecer en condiciones de almacenamiento definidas. La temperatura es inferior que en la esterilización (menor a 100° C) y por ello los alimentos sufren menos deterioro térmico.

Se utilizan métodos continuos o en lotes, pueden realizarse antes o después del envasado, dependiendo del tipo de alimento.

Pasteurizar con microondas ofrece ventajas sobre los métodos tradicionales, empezando por la conveniencia del tiempo, ya que temperaturas de 75-85° C -suficientes para reducir la carga bacteriana- se alcanzan en minutos. Algunos productos pueden tratarse de manera continua. La comida pasteurizada por otros métodos puede contaminarse otra vez antes de empacarla. En cambio, con las microondas puede pasteurizarse una vez empacado y esto significa que el aire del interior del empaque se pasteuriza también.

El empaque debe ser capaz de soportar la presión interna creada durante el proceso y debe tener buenas propiedades de barrera al aire que aseguren una buena conservación después del proceso. El polietileno puede calentarse hasta 90° C y ya se están desarrollando nuevos polipropileno para estas aplicaciones. Los problemas de empaques para esterilización son más serios porque se

manejan temperaturas de 121° C ⁽⁶²⁾.

Para pasteurizar fluidos en contenedores de plástico, se propone usar un gas refrigerante que pase alrededor de la superficie del empaque para prevenir un calentamiento excesivo ⁽¹⁰⁶⁾. Se pueden tratar incluso al material envasado en botella de vidrio que ya esté empacada en caja de cartón cubierto con celofán porque son materiales que no absorben microondas ⁽¹²¹⁾.

Para establecer las condiciones del pasteurizado es necesario medir la carga bacteriana inicial del producto, la acidez y la actividad acuosa del mismo. Estos factores afectan la duración del tratamiento con microondas requerido para matar suficiente cantidad de bacterias y para controlar la degradación del producto por el calor.

La pasteurización amplía la vida de anaquel de productos frescos. De esta manera la distribución geográfica se amplía también. Algunas pastas pasteurizadas de este modo, se conservaron durante 4 meses en refrigeración. Además, adquieren otro valor por ser productos libres de aditivos ⁽⁶²⁾.

El pan rebanado y empacado en plástico fue irradiado con microondas y se mantuvo fresco y libre de hongos durante 21 días. Por el contrario, el pan que no sufrió este tratamiento y adicionado con 0.1% de propionato de sodio estaba cubierto completamente de hongos en 12 días. Se irradiaron con microondas durante 6 min unas papas crudas peladas y empacadas al vacío, se enfriaron rápidamente y se almacenaron a 8° C durante 6 semanas en buen estado. Las croquetas de carne predoradas y empacadas al vacío se calentaron con microondas a 80° C y se almacenaron a 4° C, siendo aceptables aun después de 19 semanas ⁽⁸⁰⁾.

Pasteurización de leche

El método tradicional para pasteurizar leche puede hacerse en dos formas: a) lenta, en recipientes abiertos con agitación a 63° C durante 30 min o b) alta y rápida, en cambiadores de calor de placas o tubos a 73° C durante 15 seg. Este proceso se conoce con las siglas HTST (high temperature, short time). También existe la ultra-pasteurización UHT (ultra high temperature pasteurization). La leche se precalienta de 75 a 85° C en un cambiador de calor de placas o de tubo y después se lleva a una temperatura entre 135 y 150° C durante un tiempo muy corto (2.4 seg). Se incrementa la vida de anaquel de la leche en varias semanas a temperatura ambiente.

Hamid et.al. realizaron estudios en pasteurización continua de leche con microondas en 1969. Utilizaron una frecuencia de 2450 MHz en un guía de ondas intercambiador de calor. La leche cruda se hacía pasar por un tubo de vidrio mientras era expuesto al campo de microondas. Al alcanzar 82.2° C (180° F) la cuenta total era negativa. No se habla del efecto en sabor, calidad nutricional ni del almacenamiento. El mayor obstáculo encontrado para aplicarlo a gran escala fue el costo del equipo ⁽⁴⁹⁾.

Unilever desarrolló un sistema en 1976 para esterilización alta y rápida (high temperature short time HTST). La leche alcanzaba hasta 200° C bajo presión para evitar la ebullición. Se usó frecuencia de 2450 MHz. El tiempo de calentamiento era de 40 mseg y se mantenía por 130 mseg. Se enfriaba de inmediato mezclando la leche caliente con chorros de leche estéril fría. El producto final tenía una calidad indiferenciable de la del producto inicial. El proyecto se calificó de poco práctico y muy costoso ^(49,106).

Algunos productos lácteos como yoghurt se pasteurizan usando

contenedores de plástico sumergidos en agua ⁽¹⁰⁶⁾. Para pasteurizar el yoghurt, se usaron 2 frecuencias simultáneamente: 27.12 MHz y 2450 MHz. Ninguna de las dos, por sí sola, parecía capaz de calentar el producto uniformemente a 60° C. El producto se colocó en un baño de agua pura de temperatura controlada mientras se aplicaba la radiación. El nivel de agua es justo bajo la línea de llenado, de modo que los 5-10 mm superiores no reciben calor adecuadamente. La pasteurización en esta zona se complementa con la radiación de 2450 MHz. La temperatura se monitorea constantemente y la radiación se regula automáticamente. Debido al modo de aplicación de las microondas, la tapa clásica de aluminio de los envases de yoghurt tendría que reemplazarse por una de plástico. Como resultado de este tratamiento se logró aumentar la vida de anaquel del producto sin refrigeración ^(48, 49).

ESCALDADO

La respiración en plantas involucra la oxidación enzimática de azúcares a CO_2 y agua además de liberar energía. Otras sustancias como ácidos orgánicos y proteínas, entran en la cadena respiratoria. Mientras un fruto o vegetal madura, produce compuestos a través de reacciones de tipo enzimático que lo harán comestible (formación de azúcares simples, modificación de textura -rompimiento de pectinas-, formación de olor, color y sabor). Si estas reacciones no se detienen, pasan la etapa de maduración y entran a la de deterioro donde aparecen compuestos desagradables hasta llegar a la putrefacción. El escaldado es un proceso térmico que se lleva a cabo para inactivar las enzimas responsables de estas reacciones, para eliminar el aire atrapado en los tejidos, para fijar el color y reducir el número de microorganismos presentes en los frutos y vegetales. Se frena el proceso de respiración y se llega a la muerte térmica del producto. Si se manufacturan alimentos sin escaldar, puede pasar un tiempo muy largo antes de que se alcance la temperatura de inactivación de las enzimas. En procesos donde se usan temperaturas bajas (secado por atomización, liofilización, etc.) pueden no alcanzarse nunca.

El escaldado es un proceso térmico importante para la preparación de legumbres y algunas frutas antes de seguir con otro proceso como el enlatado, congelado o deshidratado. El alimento se calienta rápidamente hasta una temperatura predeterminada, manteniéndola durante un tiempo predeterminado también, suficientes para inactivar las enzimas y, luego, enfriándolo

rápido o pasándolo por el siguiente proceso de manufactura sin pérdida de tiempo. Los métodos de escaldado utilizados generalmente son a) escaldado por inmersión en agua caliente y b) escaldado con vapor de agua^(27,136).

En 1948 Proctor y Goldblith⁽⁴⁹⁾ realizaron experimentos escaldando zanahorias, chícharos, espinacas y ejotes en bolsas de plástico a 3000 MHz. Aunque no lo mencionan, es probable que las enzimas de la superficie fueran inactivadas por el vapor generado dentro del empaque durante el calentamiento con microondas. En 1954 Copson demostró la inactivación de la pectin metilesterasa en jugo de naranja concentrado calentando con microondas con una frecuencia de 2450 MHz, a un flujo de 6.42 lts/hr con una temperatura inicial de 23° C y una temperatura final de 66° C. En 1963 se realizaron estudios de escaldado de maíz en mazorca empacado en plástico usando 915 MHz. Tan solo 40 seg de tratamiento bastan para escaldar al producto con resultado similar al obtenido por vapor durante 10 minutos. El vapor generado dentro del empaque favoreció la inactivación de enzimas en la superficie. Con base en estos resultados, se recomendó posteriormente la combinación de la energía de microondas con una atmósfera de vapor para el escaldado continuo de vegetales.

Se experimentó escaldando unas papas blancas enteras combinando microondas (2450 MHz) y agua hirviendo. La peroxidasa fue inactivada completamente después del tratamiento de medio minuto con microondas seguido de 3 minutos en agua hirviendo, o 2 minutos con microondas y 2 minutos con agua hirviendo. Con esta combinación se permite que el centro se caliente antes de que la superficie sea calentada con el agua. De usarse solamente agua o agua calentada con microondas simultáneamente, se obtendría un producto cocido más que escaldado.

Las mazorcas de maíz necesitaron cerca de 6 minutos para inactivar

completamente la peroxidasa usando microondas a 915 MHz comparado contra 20 minutos usando vapor o agua. Una combinación de 4 minutos en agua seguidos de 2 minutos con microondas dio un resultado similar. Las propiedades organolépticas fueron evaluadas después del escaldado y almacenado a -28.92° , -17.8° y -6.68° C (-20° , 0° y 20° F). El sabor y textura de cada proceso (microondas solo y combinado con agua, y agua hirviendo) no difería mucho de los demás ⁽⁴⁹⁾.

Como los vegetales son un producto de bajo costo, no se justifica el uso de un proceso tan caro si no da mejores resultados que el convencional. Es necesario considerar además que el escaldado es un proceso de temporada: los vegetales son escaldados justo después de ser cosechados y antes de ser empacados y congelados. El equipo de microondas es muy caro comparado al convencional y necesita ser utilizado a toda su capacidad para justificar su inversión. El punto más importante a considerar es que la calidad del producto final no es mucho mejor que la obtenida con el método de vapor.

Puede considerarse como un proceso que debe mejorarse para lograr resultados favorables, en combinación con el proceso actual, es decir, que la energía de microondas se use para precalentar el producto desde el centro y terminar el proceso con vapor. O bien, encontrar un uso adicional al equipo fuera de temporada de cosecha para recuperar la inversión. Por ejemplo, una empresa que trabaje todo el año con hidroponía debería considerar el uso de escaldado combinado con microondas y vapor ⁽⁴⁹⁾. Lo mismo para una empresa que trabaje con varios productos que se cosechen en diferentes temporadas durante todo el año.

TEMPERADO Y DESCONGELADO

La comida congelada posee mayor conductividad térmica que la no congelada. La diferencia es de aproximadamente 3 a 1. Con métodos convencionales de descongelación, el calor se aplica a la superficie del alimento congelado y por conducción va penetrando lentamente al interior. La superficie descongelada posee entonces una menor conductividad térmica y es menos eficaz para transferir calor a las capas interiores sin aumentar su temperatura a niveles inaceptables.

El descongelado convencional tiene algunas desventajas: requiere mucho tiempo para llevarse a cabo (largos ciclos de descongelación), requiere gran espacio, hay posibilidad de crecimiento bacteriano, pérdidas por goteo (especialmente en piezas pequeñas), oxidación de la superficie y cambios organolépticos ⁽¹⁰⁷⁾.

Desde 1946 Cathart y Parker utilizaron las frecuencias de radio (14 a 17 MHz) para descongelar frutas y huevo: unas cajas de duraznos de 13.6 kg (30 lbs) cambiaron su temperatura en 15 minutos de -9.4°C a 11.6°C . Otras cajas de 1 lb de fruta a -17.7°C en 1 minuto de proceso alcanzaron 8.8°C ⁽⁴⁹⁾. Algunas de las ventajas encontradas fueron:

- 1) la comida podía descongelarse cuando se necesitara,
- 2) el espacio y el trabajo se redujeron;

3) la producción era mas flexible.

Fue hasta 1962 que la descongelación de pescado en proceso continuo con microondas se uso a escala industrial.

Las frecuencias usadas actualmente son de 2450 MHz y algunas veces 896 MHz en Europa y 915 MHz en Estados Unidos. La frecuencia más corta es más adecuada para descongelar porque penetra a mayor profundidad que 2450 MHz.

La penetración depende de la temperatura del producto (FIG. 14). Cuanto más cerca está de 0°C, la penetración decrece porque la mayor parte de la energía aplicada se absorbe en los primeros centímetros. La capa superficial actúa como aislante, ocurre un sobrecalentamiento de la superficie y el centro permanece congelado ⁽¹⁰⁷⁾.

Para evitar esto, los productos que van a descongelarse con microondas, deben permanecer a una temperatura constante durante la distribución y el almacenamiento. Una descongelación parcial y recongelación posterior ocasiona que se formen cristales de líquido de escurrimiento, que durante el proceso, son los primeros en descongelarse por su alta concentración de sales. Además no deben almacenarse a temperatura ambiente antes del tratamiento para evitar que la superficie empiece a descongelarse dando lugar al efecto de sobrecalentamiento antes descrito.

Los productos congelados se deben almacenar de acuerdo con su forma y tamaño, y de ser posible, descongelar simultáneamente productos con dimensiones similares.

Para mantener la temperatura de la superficie lo más baja posible se puede aplicar aire frío a -30° C o líquidos criogénicos como

PENETRACION DE MICROONDAS

EN CARNE DE RES (2450 MHz)

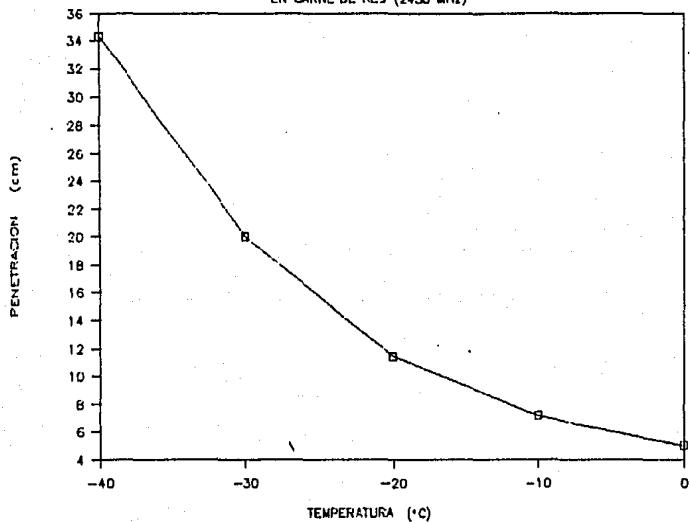


FIGURA 14. PENETRACION DE LA RADIACION A 2450 MHz EN CARNE DE RES COMO FUNCION DE LA TEMPERATURA (107)

nitrógeno, freón R12 o sustancias similares. Así pueden procesarse productos de diferentes formas y tamaños simultáneamente hasta temperaturas finales de -4°C ⁽¹⁰⁷⁾. También se recomienda descongelar con microondas hasta temperaturas justo bajo 0°C y terminar por métodos convencionales⁽⁴⁹⁾.

Actualmente se evita descongelar completamente para disminuir estos problemas. El producto es temperado, es decir, se lleva a una temperatura justo debajo de su llamado punto de congelación, en donde aún está firme, pero no está congelado⁽⁴⁹⁾. El proceso se termina a temperaturas de -4 a -2°C . Estas temperaturas son suficientes y a veces más ventajosas. Por ejemplo, la carne puede ser cortada, deshuesada o inyectada para curación más fácilmente que si estuviera descongelada completamente.

El uso de energía de microondas para temperado y descongelado comparado con métodos convencionales, presenta ventajas como: menor tiempo de proceso, menor o nula pérdida de peso (retención de jugos, mayor rendimiento), no hay crecimiento bacteriano, flexibilidad en la producción, tratamiento en el envase (si es transparente a las microondas), mayor control del proceso y menor requerimiento de espacio^(107,80).

Actualmente es un proceso utilizado en carne y sus productos, pescado y aves, frutas y sus productos.

SECADO

El secado o deshidratación es una operación cuyo principal objetivo es reducir el contenido de agua hasta un límite que fluctúe entre 3 y 20%. Los métodos utilizados para secar productos alimenticios se pueden clasificar como sigue:

a) Secado con aire caliente. El alimento se pone en contacto con una corriente de aire caliente. El calor se suministra principalmente por convección.

b) Secado por contacto directo con una superficie caliente. El calor se suministra principalmente por conducción.

c) Secado por congelación o liofilización (tema siguiente).

d) Secado por aplicación de energía procedente de alguna fuente radiante, de microondas o dieléctrica.

Durante el secado de un sólido húmedo, el calor aplicado proporciona a la humedad el calor sensible y latente de evaporación. A medida que se seca la superficie se establece un gradiente de concentración entre ella y el centro húmedo del producto provoca la migración de las moléculas de agua hacia afuera. Junto con ella, migran sólidos solubles del alimento que, de acumularse en la superficie, ocasionan en algunos casos su endurecimiento.

En 1964 Jeppson realizó secado de vegetales con microondas; informó que aplicar energía de microondas en las primeras fases de secado es un desperdicio, ya que las fuentes de energía convencionales son muy eficientes, y recomienda que se emplee en las últimas etapas en las que se requiere menos energía. Debe aplicarse justo antes de que la superficie se endurezca para mantener la velocidad de secado y el ciclo se reduzca sustancialmente. En 1968, Jeppson obtuvo una patente del uso combinado de microondas y aire seco ⁽⁴⁹⁾.

En 1968 Morgan y Huxsoll desarrollaron un equipo para secar rebanadas de manzana y mantenerlas esponjosas. Por su alto contenido de azúcar, es fácil que se quemem y para esponjarse necesitan mucha energía. La manzana rebanada se esponja muy bien al aplicarsele microondas, pero se colapsan al momento de enfriarse. El proceso consistía en secar las rebanadas por métodos convencionales hasta un contenido del 20% de humedad. Se aplicaban las microondas a un nivel bajo de potencia para calentar y esponjar las rebanadas. La presión se reducía rápidamente a 22torr para que las manzanas retuvieran la estructura esponjosa y el volumen final era de tres y media veces más grande que el alcanzado por métodos convencionales. En general, el producto era mejor que el obtenido por secado con aire ⁽⁴⁹⁾.

El primer uso a gran escala de las microondas fue para terminar el proceso de secado para las papas fritas. Una de las características más importantes de este producto es su color que está dado en función del contenido de glucosa de la papa, por lo que es muy variable. El oscurecimiento ocurre como resultado de la reacción de Maillard durante el freido. Las papas eran acondicionadas durante algunas semanas (almacenadas a 12.7-18.3°C) para convertir la glucosa en almidón de manera que al freirse no se oscurecieran demasiado. El almacenamiento era caro.

Con el proceso que utilizaba microondas, las papas se freían en aceite con el método convencional hasta el color deseado y se secaban con microondas. El agua se eliminaba sin reemplazarla por aceite y tampoco seguía oscureciendo el producto. Así, el contenido de grasa es menor que por el método tradicional. Podían procesarse papas con diferentes contenidos de glucosa sin necesidad de acondicionarlas. Con el freído convencional se obtenía un producto de muy baja humedad por la eliminación de la capa monomolecular de agua dejando al aceite en contacto con el oxígeno favoreciendo de esta manera su oxidación. Con el proceso de microondas, el producto posee una humedad mayor, y el agua actúa como barrera al oxígeno aumentando la vida de anaquel de las papas.

El proceso fracasó por varias razones: por las inesperadas diferencias de velocidad de freído entre papas supuestamente similares, por diferencias en la humedad final y por problemas de equipo como incendios causados por el arqueo complicando el control del proceso.

La principal justificación para el uso de las microondas era bajar costos de la papa cruda y su almacenamiento. Mientras se estudiaban los problemas con el nuevo proceso, se desarrollaron mejores condiciones de almacenamiento, más eficientes y menos costosas. También se desarrolló el proceso de secado al vacío eliminando la necesidad de las microondas. Fue un gran atraso para la industria de equipo de microondas ^(49,80).

En 1987 Gamble y Rice evaluaron el efecto de secar las papas antes de freírlas. Realizaron experimentos secándolas con microondas, aire caliente y liofilizándolas. Cada proceso de secado dio un contenido final y distribución de humedad diferente, esto es lo que determina la absorción y distribución de aceite en la papa. Las microondas y el aire caliente pueden usarse para secar las

papas y reducir el contenido de aceite dependiendo del grado de secado previo. Usando microondas se redujo el tiempo de freido de 4 a 1.5 minutos y el contenido final de aceite de 47 a 38%. Con aire caliente se lograron resultados similares pero el secado llevo más tiempo. Con el liofilizado, el contenido final de aceite aumentaba conforme aumentaba el proceso de secado ⁽⁶⁷⁾.

Uno de los procesos más exitosos con energía de microondas es el secado de pastas. Desde 1965 Cryodryl Corp. ha realizado estudios, y a partir de los años 70, ya como Microdry, han instalado uno o más equipos para secar pasta cada año ⁽⁴⁸⁾.

Los productos a base de pasta son difíciles de secar porque la humedad migra lentamente hasta la superficie. La energía de microondas hace que la humedad salga desde el centro hacia la superficie rápidamente. Las ventajas que ofrece este proceso sobre el convencional son:

1. Menor espacio: la unidad de secado de microondas/aire caliente mide 8.25 m de largo mientras que el convencional mide 36.6 m. Con el proceso de microondas es posible obtener 3 a 4 veces la velocidad de producción en el mismo espacio.
2. Menor tiempo: el proceso con microondas toma hora y media comparado con 8 hrs del convencional. Se puede cambiar de producto en tan solo 15 o 20 minutos.
3. Calidad del producto: el macarrón secado por microondas mejora su color y su textura; al cocinarlo desprende menos almidón y tiene menos contaminaciones. Las cuentas bacterianas son cerca de 15 veces menos que en el proceso normal.
4. Higiene: el sistema de microondas puede limpiarse en 6 hrs-hombre mientras que el sistema convencional requiere de 24.

5. Energía: se requiere aproximadamente 20-25% menos energía con el proceso de microondas⁽⁴⁹⁾.

Secado al vacío con microondas

Se seca a bajas presiones, pero no abajo del punto triple del agua, es decir, no en la región de presión de la liofilización, que será tratada más adelante. Se usa baja presión principalmente para poder secar productos termosensibles a la mínima temperatura posible. El uso de las microondas reduce el tiempo de secado.

En Francia existe una planta que seca al vacío con microondas jugos de naranja y toronja. Se han realizado estudios con otras frutas como piñas, fresas, frambuesas, tes y otros extractos de hierbas. Comparando con otros procesos, se logra una mayor retención de vitamina C y de otros compuestos volátiles (80, 106, 49)

Secado de granos

Se realiza a presión controlada junto con calentamiento con microondas para dar el calor y el vacío necesarios para permitir la vaporización de la humedad de las semillas a relativamente baja temperatura.

Las ventajas que ofrece son: mayor velocidad de proceso, menos ruido, como la electricidad es la única fuente de energía, no hay productos de combustión contaminantes, se logra una mayor germinación en el grano, su manejo es sencillo, se pueden secar diferentes tipos de granos en el mismo equipo, no hay riesgo de explosión o incendio, ya que trabaja al vacío y con baja temperatura, pues necesita 38-60% de la energía requerida para el

sistema de aire caliente.

El secado con microondas se ha usado experimentalmente en muchos casos, pero no todos se han llevado a escala industrial. Existen informes de secado de productos además de los ya descritos como: producción de bebidas instantáneas como café y te, elaboración de productos cárnicos, de cereales como arroz, maíz, y trigo, de almidón, tostado de granos de alto contenido de grasa como la soya, café, semillas de girasol, pepitas de calabaza y cacahuates, secado de levaduras, de champiñones, producción de microproteína, secado de proteína de pescado, de pasta de yema de huevo, de hierbas, etc ⁽¹⁰⁶⁾.

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

LIOFILIZACION

Este es otro de los procesos que cobraron importancia para su aplicación en alimentos a raíz de la Segunda Guerra Mundial. Las fuerzas armadas evaluaron el jugo de naranja liofilizado, pero no fue sino hasta finales de los años 50 y principios de los 60 que la industria de alimentos se interesó en este proceso.

Este método de secado requiere la congelación del producto seguida de la sublimación (paso de hielo a vapor sin pasar por el líquido) del hielo para obtener un producto seco. La sublimación se consigue manteniendo un gradiente de presión de vapor de agua entre el entorno y el hielo contenido en el producto. El secado completo ocurre en tres fases: al principio, por congelación se separa el agua de los componentes hidratados del alimento mediante la formación del hielo o mezclas eutécticas. En seguida, por sublimación de estos cristales se separa el agua de la masa del producto. Cuando todo el hielo ha sido separado, el sólido que queda contendrá todavía pequeñas cantidades de agua absorbida en la estructura de sus componentes, que podrá separarse por evaporación.

Para que ocurra la sublimación, la presión debiera estar abajo de 4.585 torr (6.032×10^{-3} atm) y la temperatura abajo de 0.0098°C (FIG.15). Para sublimar hielo a vapor es necesario aplicar calor a la interfase hielo-vapor.

Una instalación comercial común consiste en una cámara de vacío

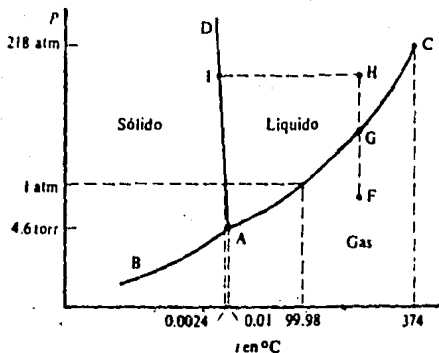


FIGURA 15. DIAGRAMA DE FASES DEL AGUA (86)

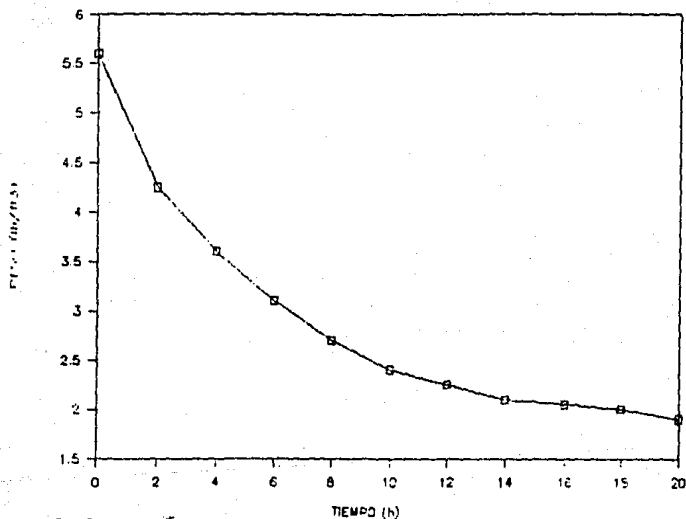


FIGURA 16. CURVA TÍPICA DE LA VELOCIDAD DE LIOFILIZACION CONVENCIONAL (49)

con varios estantes, cada uno con un medio de calentamiento que provee el calor de sublimación, y también con un condensador refrigerante y bomba de vacío o bien con un sistema de vacío inyector de vapor para bajar la presión hasta 1 torr o menos. El producto congelado se coloca en charolas entre los estantes.

Debe aplicarse suficiente energía para sublimar el hielo en una proporción tal que no derrita el hielo o que no deteriore con calor la superficie del producto. Este factor determina la velocidad de transferencia de calor y, por ende, la velocidad de secado del producto.

El secado empieza en la superficie del alimento y al crecer la proporción de la capa seca, la transferencia de calor desde la superficie al interior a través del volumen seco se hace cada vez más difícil por la baja conductividad térmica de la capa seca en contraste con el material congelado. En las etapas iniciales, la velocidad de secado es rápida y constante (FIG.16). Al final decrece marcadamente dando por resultado los largos ciclos de secado característicos de la liofilización convencional. El tiempo es un factor muy importante en el costo del proceso.

El uso de energía electromagnética proporciona el calor de sublimación exactamente donde se necesita, en la interfase hielo-capas seca, sin efectos adversos en ella. Esto es muy importante en las etapas finales en donde el efecto aislante de la capa seca frena la conducción de calor excepto a temperaturas que dañarían al producto. En la figura 17 se esquematiza el perfil de temperatura usando medios de calor convencionales (radiante) y en la figura 18 con energía de microondas.

Algunas de las ventajas del liofilizado son: que retiene de la calidad organoléptica, que mantiene la integridad estructural, que tiene una rehidratación inmediata, que no necesita refrigeración y

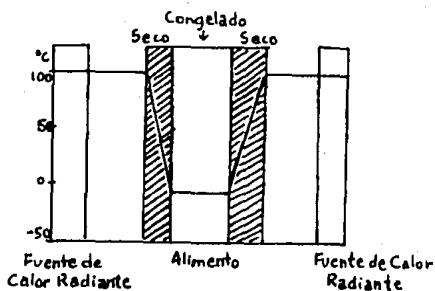


FIGURA 17. PERFIL DE TEMPERATURA DE UN MATERIAL LIOFILIZADO CON CALOR RADIANTE (49)

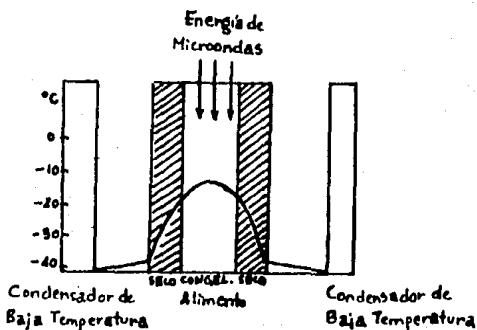


FIGURA 18. PERFIL DE TEMPERATURA DE UN MATERIAL LIOFILIZADO CON ENERGIA DE MICROONDAS (49)

que consigue un producto de poco peso.

En 1947, Brown utilizó energía de frecuencias de radio para secar comida y medicamentos. Puntualizó la dificultad de trabajar en las regiones de alto vacío necesarias en la liofilización y recalcó el problema de la ionización del aire en la cámara (conocido también como *corona* o *glow discharge*). La presión óptima para que esto ocurra es a 1 torr, que viene a ser la presión de operación típica de muchos equipos de liofilizado ⁽⁴⁹⁾.

Cuando en 1957 Jackson liofilizó duraznos usando microondas (2450 MHz) encontró que al secarse la fruta y la carga en el horno disminuía, los gases residuales dentro de la cámara de vacío se ionizaban y ocasionaron que la fruta se quemara en puntos específicos. El problema se resolvió introduciendo gradualmente producto fresco conforme se iba secando, o bien reduciendo la potencia al secarse la muestra (aproximadamente a un 20% de humedad). Si la presión en la cámara se podía mantener a 0.05torr, la fuerza del campo sería un poco alta sin causar la ionización. Desde el punto de vista práctico, esto resultaba muy caro porque se requeriría de un condensador para muy bajas temperaturas (-46°C o menos). En la actualidad se manejan esas presiones y temperaturas para evitar el problema de la ionización aunque resulte costoso ⁽⁴⁹⁾.

En una recopilación hecha por Rosenberg ⁽¹⁰⁷⁾, expone algunos de los problemas técnicos que se presentaron en las etapas de prueba de la liofilización con microondas además de la ionización de los gases remanentes:

1) Un problema mayor fue que el centro congelado se derretía y/o ocurría un sobrecalentamiento parcial de la capa seca. El centro de hielo comienza a derretirse cuando la energía de microondas se aplica más rápido que la velocidad con que puede difundirse el

vapor de agua en la sublimación. La presión interna supera al punto triple y el hielo se derrite. Como resultado, el agua absorbe las microondas causando un sobrecalentamiento local. La liofilización con microondas tiene un tiempo límite de aplicación, ya que no se puede simplemente aumentar la potencia para reducir el tiempo de secado. A un vacío común de 0.2 a 0.4 torr, la intensidad de campo eléctrico no debe superar 130 V/cm.

2) Se observa un calentamiento no uniforme.

3) En un principio se pensó que la liofilización con microondas resultaba más cara. Sin embargo se ha visto que es menos costosa por el alto precio del combustible (para los métodos convencionales), el mejoramiento en la eficiencia y una mayor vida útil del magnetron, además ahorra de tiempo y se obtiene mejor calidad en el producto.

La suposición de un calentamiento no uniforme puede estar mal fundamentada en el hecho de si las microondas en un horno no se distribuyen uniformemente, como sucede en realidad entonces también deben ser no uniformes en un secador por liofilización. A diferencia de la comida que se cocina en un horno cuyas propiedades dieléctricas pueden ser muy variables, la comida en un secador por liofilización permanece a una temperatura baja constante, bastante más abajo del punto de congelación donde sus propiedades dieléctricas permanecen bajas y constantes. Así, el alimento es muy transparente como se indica en la Tabla 9. Para el temperado de alimentos de gran tamaño es más utilizada la frecuencia de 915 MHz, debido a su mayor profundidad de penetración frente a 2450 MHz. Existe una gran tendencia a que la superficie se descongele a 2450 MHz pero puede controlarse si se circula aire frío por la superficie del material temperado. En la liofilización, los alimentos de gran tamaño no son frecuentes, así que es innecesario considerar las frecuencias más bajas .

PENETRACION AL 50% EN CARNE DE RES COMO
 FUNCION DE LA TEMP.Y LA FRECUENCIA

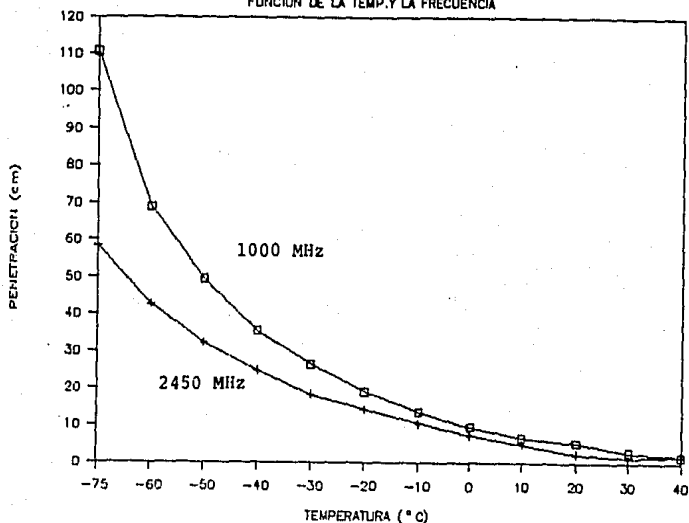


TABLA 9. PROPIEDADES DIELECTRICAS DE LA CARNE DE RES
 COMO FUNCION DE LA TEMPERATURA Y LA FRECUENCIA DE
 MICROONDAS

TEMPERATURA (°C)	PENETRACION AL 50% DE POTENCIA (CM)	
	1000 MHz	2450 MHz
-75	110.6	58.6
-60	68.8	42.7
-40	35.3	24.7
-20	19.1	14.3
; 0	9.6	7.3
20	5.3	2.4
40	1.8	1.8

(49)

La liofilización con microondas es un proceso factible y satisfactorio. Sin embargo existen muy pocos informes sobre aplicaciones prácticas ⁽¹⁰⁷⁾. Para lograr que sea un proceso más rentable, se usa en combinación con calentamiento convencional por ejemplo, con vapor o electricidad se lleva al alimento a un 10% de humedad aproximadamente y con las microondas se elimina el resto ^(49,107)

Es muy probable que los alimentos frescos y congelados llenen las necesidades diarias de los consumidores. En cambio, es poco probable que carne, pescado o pollo liofilizados sustituyan a los frescos o congelados. Es claro que para uso militar el liofilizado es un proceso muy importante y es objeto de mayor investigación. Las sopas deshidratadas representan un mercado muy pequeño para alimentos liofilizados principalmente por su alto costo. El liofilizado es en sí un proceso caro ya sea con procesos convencionales o con microondas y hasta que no se reduzcan los costos o surja un mercado más amplio, no será un proceso común aplicado en la industria de alimentos ^(49,106).

PANIFICACION

Desde 1946 Sherman patentó un método de horneado con frecuencias de radio. Nutt en 1949 combinó la energía de microondas (28 MHz) con energía convencional, reduciendo a la mitad el tiempo de horneado de galletas. En 1947, Cathcart sugirió el uso de frecuencias de 14 a 17 MHz para pasteurizar pan ⁽⁴⁹⁾.

Existe un gran número de informes de aplicación de microondas en producción de pan, pizzas, pasteles, donas y galletas. Uno de los más importantes es en la producción de pan.

El horneado convencional de pan puede analizarse desde el punto de vista de transferencia de calor y de masa en 4 etapas básicas que ocurren en serie (FIG. 19):

1a. Etapa: el calor se transmite del aire caliente a la superficie de la masa del pan. La migración de moléculas de agua del interior de la masa a la superficie mantiene la costra relativamente delgada y la temperatura de la superficie abajo del punto de ebullición del agua.

2a. Etapa: una vez que la costra está formada, se convierte en una barrera a la transferencia de masa (humedad y gas) y por ello la migración de la humedad desde el interior a la superficie decae bruscamente. La temperatura de la superficie comienza a subir y el grosor de la costra aumenta también. En este momento, el calor de la superficie se transfiere por conducción al interior. El calor

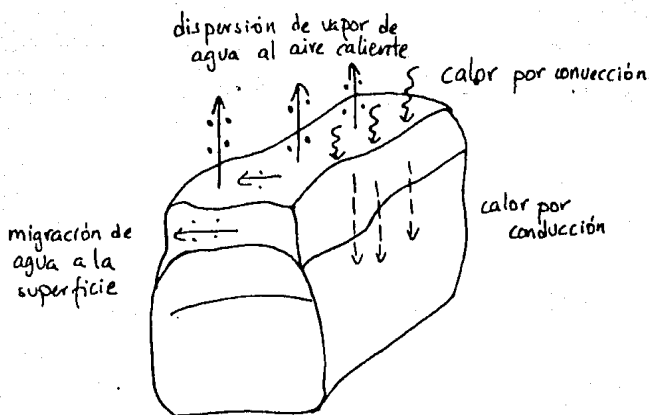


FIGURA 19. LAS CUATRO ETAPAS BÁSICAS DE TRANSFERENCIA DE CALOR Y DE MASA QUE OCURREN EN EL HORNEADO DE PAN (102)

transmitido por conducción es inversamente proporcional al grosor de la costra, de manera que ésta actúa como aislante. El calor transmitido por convección se usa en secar por completo la costra, volviéndola más dura.

3a. Etapa: al aumentar la temperatura en el interior se llega a un punto donde ocurren una serie de reacciones químicas y físicas. Este proceso de cocinado o gelatinización requiere de una energía térmica moderada. El punto más importante de todo el proceso es alcanzar una cierta temperatura en el interior de la masa. En la primera y segunda etapa no hay cocimiento porque la temperatura del interior es muy baja.

4a. Etapa: el calor usado en calentar el interior disminuye significativamente y la costra absorbe la mayor parte del calor, alcanzando temperaturas arriba de 100 °C (porque ya está seca), lo que permite que se oscurezca. Esto implica dos reacciones: la de Maillard y la caramelización. Los reactivos para la caramelización son principalmente azúcares; para la de Maillard son aminoácidos libres (como la lisina) y azúcares reductores. Producen además del color dorado, compuestos responsables del sabor y aroma del pan⁽¹²⁴⁾.

El mejor proceso de horneado sería aquel en el que para la primera etapa tuviera una alta temperatura para que la costra se forme en poco tiempo. Después, una temperatura moderada en la 2a. etapa y una aún menor en la 3a., para dar tiempo suficiente a que las reacciones de cocimiento tengan lugar. La cuarta etapa ocurre simultáneamente con la tercera. En la industria esto resultaría poco práctico. En un proceso continuo el tiempo de horneado debe optimizarse y no es factible programar la temperatura del horno. Se lograría ahorrar mucha energía si la temperatura del interior llegara a la temperatura de cocimiento lo antes posible en el proceso de horneado.

Cuando se usan microondas exclusivamente se elimina la primera etapa y se reduce drásticamente el problema de barrera para la transferencia de masa en la segunda. La temperatura alcanzada en toda la masa es la de la tercera etapa del proceso convencional porque las microondas penetran muy bien este material. Al eliminar la primera etapa, se elimina también la formación de costra. La migración de humedad se acelera permitiendo no solo que mayor cantidad de humedad se evapore, sino también que se altere la distribución de humedad en la pieza de pan. No hay oscurecimiento de la costra y en general la calidad del pan se ve afectada ⁽¹⁰²⁾. Usualmente, como segundo paso, se expone el pan a un tratamiento en horno convencional a 200-300° C por 4 o 5 minutos, o a radiación IR ^(102,106). Se logra una costra más gruesa y con oscurecimiento, pero la calidad del pan sigue siendo menor. Otro problema es la carencia de charolas adecuadas para hornear con microondas a escala industrial y que sean de bajo costo.

Es claro que una sustitución de calor convencional por microondas no es lo más adecuado. La mejor forma de reducir el tiempo de horneado sin sacrificar la calidad del pan es alterar el proceso de horneado de manera que la tercera etapa (de cocimiento) ocurra simultáneamente a las anteriores en vez de ocurrir en serie. Combinando fuentes de calor convencional con microondas, se alcanza una reducción de tiempo hasta menos de un tercio del usual. Pueden adaptarse los hornos actuales haciendo un arreglo especial. Las ventajas del proceso combinado son:

- 1) Reduce drásticamente el tiempo de horneado,
- 2) No requiere una gran inversión de equipo, ya que es posible adaptar el existente,
- 3) Utiliza la energía de microondas solo donde es más ventajosa

(menor gasto), y

4) Utiliza el proceso básico de fabricación y, por ende, la calidad se mantiene ^(102,124).

En el horneado con microondas combinado con el convencional es posible usar harinas con bajo contenido de proteínas y una alta concentración de alfa-amilasa. En el horneado convencional, la alfa-amilasa rompe al almidón de manera que la miga carece de elasticidad y pierde su capacidad para retener agua ocasionando que los productos finales sean viscosos. Un bajo contenido de proteína produce masas permeables al gas durante las primeras etapas del horneado y da panes de bajo volumen y pobre textura interna. En cambio, con el método combinado se puede lograr un pan de buena calidad con harina de bajo contenido de proteína (8-9%) y alto contenido de alfa-amilasa ya que toda la masa se calienta rápidamente y la producción de CO₂ y vapor se acelera igual que el cocimiento o gelatinización, dando por resultado panes de volumen específico relativamente alto. La temperatura que se alcanza es suficiente para inactivar la enzima antes de que empiece a actuar ^(106,124).

Schiffmann patentó, en 1981, un método para hornear pan usando charolas de metal y combinando horneado convencional y microondas ⁽¹¹¹⁾. Los objetivos de el método son: reducir el tiempo de reposo (fermentación) y el de horneado para así reducir costos de energía y ahorrar en espacio. Para llevar a cabo este proceso de reposar y hornear la masa con energía de microondas en charolas de metal, es muy importante controlar el nivel de entrada de las microondas, la temperatura y el tiempo de horneado. Utiliza 915 y 2450 MHz simultáneamente. El reposo de la masa se lleva a cabo con un 60% de HR y 38° C (100° F) de condiciones ambientales utilizando 15 y 2450 MHz con 75 a 100 watts de potencia por libra (454 gr) de masa o bien una densidad de flujo de 5 a 10 watts-hora

por libra (454 gr). Se realiza el proceso de reposo convencional durante 30 a 35 minutos y después se aplican las microondas durante 4 a 6 minutos. La masa así obtenida, se hornea a 218°C (425° F) durante 12 minutos, con una frecuencia de 2450 MHz y 100 watts de potencia por libra de masa (454 gr) o una densidad de flujo de 20 watts-hora por libra (454 gr). El pan resultante es de buen volumen, calidad de la miga, de la costra y color buenos. El tiempo total del proceso es de 47 minutos comparado con 70 del proceso convencional.

En la literatura se encuentran pocos informes sobre pasteles horneados con microondas. En 1962, Neuzill y Baldwin compararon horneado con microondas y convencional de pastel blanco. Los pasteles horneados en microondas resultaron menos húmedos y menos suaves que los obtenidos por métodos convencionales, aunque ni la estructura, ni el sabor se vieron afectados ^(124,49). Street y Sturatt aumentaron el volumen del líquido en la mezcla y obtuvieron pasteles con estructura, volumen y contenido de humedad similares a los horneados convencionalmente ⁽¹²⁴⁾. Los pasteles cuya fórmula está basada en el poder leudante de la clara de huevo no son adecuados para hornearse con microondas porque éstas coagulan la proteína antes de que actúe.

El problema principal en el horneado de pasteles con microondas es el calentamiento periférico excesivo que se presenta en moldes transparentes a las microondas. Es probable, según la patente de Schiffmann, que puedan usarse moldes metálicos, y de ser así, sería una buena solución a este problema ⁽⁴⁹⁾.

El método de horneado con microondas combinado con una fuente externa de calor convencional puede dar pasteles de alta calidad similares a los horneados convencionalmente y a una velocidad de producción mucho mayor.

Para dorar pizzas se ha utilizado un sistema que combina microondas con aire caliente dirigido. El chorro de aire caliente se divide en columnas sobre la pizza y ésta se calienta rápidamente. La transferencia de calor del aire al sólido es cuatro veces más rápida que para un sistema equivalente con el flujo de aire paralelo al alimento. Este sistema se desarrolló para complementar el dorado de pan horneado con microondas pero se han descubierto algunas otras aplicaciones como un horneado mucho más rápido y a temperaturas menores, un enfriamiento y congelado más rápido ⁽¹¹⁹⁾.

Se recomienda que los cereales preparados para desayuno y las galletas sean dorados por métodos convencionales a temperaturas mucho mayores que las usuales y que el horneado se termine con microondas ⁽⁹⁰⁾. Existen equipos para producir pan molido con microondas. La masa se coloca continuamente en una banda y se hornea combinando microondas y aire caliente y después se muele ⁽⁴⁸⁾.

La producción de donas con levadura es una de las aplicaciones más exitosas de energía de microondas. Reduce el tiempo de formación de gas (tiempo de reposo en condiciones de temperatura y humedad controladas) de 35 a 4 minutos, reduce 20 % el tiempo de freído y 25 % la absorción de aceite. Se obtienen donas de mejor calidad, mayor vida de anaquel y de igual volumen a las convencionales ^(49,106,124).

PRODUCTOS CARNICOS

Tocino

En 1969 Olsen propuso un método para precocer tocino con microondas, en el que se precalentaba con aire caliente o bien con IR mejorando la economía del proceso, tanto como la calidad del producto y se cocinaba durante 2 minutos a 2450 MHz. Olsen destacó la importancia de que la grasa obtenida del tocino tenía una excelente calidad y que podría considerarse como un producto secundario de gran valor ⁽⁴⁹⁾.

Desde el punto de vista de producción el proceso con microondas tiene muchas ventajas: mayor rendimiento de un producto de mejor calidad, menor pérdida en el empaque (cocido completamente resulta demasiado frágil), capacidad de procesar rebanadas empalmadas facilitando así el empaque y la producción. Al cocinarlo se pierden 2/3 del peso haciendo más práctico su manejo. Además, recalentar tocino precocido requiere menos tiempo y energía que cocerlo completamente en un horno de microondas ⁽⁴⁹⁾. Hay poca formación de nitrosaminas debido al corto tiempo de proceso. La vida de anaquel en refrigeración aumenta. Una vez precocido, se congela y se vende como alimento de comodidad (*convenience food*) al consumidor doméstico y al industrial ⁽⁸⁰⁾. El tocino precocido se vende por rebanada y no por peso. El rendimiento de tocino precocido con microondas es de 22-24 rebanadas por libra (48 a 52 por kilo), mientras que por el método convencional es de 16-18 (35-39) rebanadas ⁽¹²¹⁾.

Pollo

A finales de los años 60 ya existían 3 plantas en Estados Unidos donde con microondas precocían pollo en piezas. Después de estas fechas, no hubo otras instalaciones que utilizaran microondas. De estas tres plantas, sólo una se mantuvo durante un corto tiempo y recientemente se discontinuó este proceso ^(48,49)

En el proceso convencional el pollo se precoce ya sea en vapor o en agua. Las piezas se tratan con vapor durante 40 minutos o más a 82.2 °C (180° F). Es necesario agruparlas por forma y tamaño (por ejemplo, piernas con alas y pechugas con muslos) y cocinarlas separadamente para obtener un producto de calidad. Es común que, a pesar de todo, algunas piezas no queden bien cocidas y para corregir esto, se sobrecuece intencionalmente. Este proceso implica una pérdida del 14 por ciento.

Con microondas se pueden cocinar en 2 minutos o menos. Era evidente que un cocimiento tan rápido no daba una textura suave al pollo y que las pérdidas eran mayores que con el proceso convencional porque la humedad del pollo se destilaba por las paredes frías del horno. Se cubrió al pollo con un material transparente a las microondas y se utilizó una atmósfera saturada de vapor para evitar pérdidas de humedad en el pollo. Después de todos estos ajustes, el tiempo de proceso finalmente, varía de 8 a 12 min/lote con rendimiento del 90% o más. Las piernas y alas se cocinan juntas en un túnel del horno con 50 kW de potencia (2450 MHz) y las pechugas y muslos en otro con 80 kW. Cuando las piezas salen del horno, se enfrían a 13° C (55 °F) para asegurar una mejor adherencia de la mezcla para empanizar. Se empanizan, se congelan con aire y se empaquen. Otra opción es que las piezas se frían después de empanizarse, y luego se enfrien, congelen y empaquen.

Otros usos en productos cárnicos que han sido evaluados son:

1) Ahumado: el proceso usual toma 8-10 hrs para aumentar la temperatura del producto a 60°C (140°F) en una cámara de ahumado de temperatura y humedad controladas. Precalentando las piezas con microondas, se llega a 60° C en 1 a 5 minutos antes de ahumar y se reduce el tiempo a 4 hrs. Aparentemente se logra una mejor penetración y absorción del humo como lo indican un color más uniforme y un mejor sabor. Se ha usado para jamón y salchichas.
(49)

2) Hamburguesas de carne: se hacen las hamburguesas de carne molida de forma automática. Se coloca una gota de margarina (1.5 gr) a cada una y se llevan a una unidad de dorado que consiste en placas de aluminio cubiertas con teflón. Se calientan eléctricamente a 288° C (550 °F). La superficie de cada hamburguesa se dora presionando ligeramente las placas sobre ella. Una vez doradas, pasan a un horno de microondas (2450 MHz) y en un minuto la temperatura interna llega a 70 °C (158 °F) terminándose así el cocimiento. Las ventajas: menor tiempo de proceso (la mitad del usado en freírlas), mejor calidad (menos grasa) y mejores condiciones de trabajo (menos calor y ausencia de grasa en el ambiente). Este proceso funciona en Suecia ^(48,49).

3) Elaboración de salchichas: el proceso tradicional de embutir la emulsión de carne en envolturas celulósicas o de tripa natural y cocinado, ya sea al vapor o ahumándolas a 68.3 °C (155° F), requiere de aproximadamente 90 minutos; con humo líquido puede reducirse a 60 minutos. En 1960, Moule patentó un proceso en el que la emulsión se vaciaba en moldes con forma de salchicha. Con energía electromagnética (50 MHz) cuajaba la emulsión y para terminar su cocimiento, sacaba las salchichas del molde ⁽⁴⁹⁾. El proceso realizado por una firma suiza consiste en extruir la

emulsión de carne sobre una banda continua que pasa a través de un horno de microondas y produce salchichas sin envoltura ^(48,80).

4) Obtención de grasas: el material de donde se va a extraer la grasa se hace pasar por una banda bajo un campo de microondas. La grasa de excelente calidad escurre literalmente del material. En el proceso convencional, el material se coloca en contenedores y se aplica calor a temperaturas de cocimiento durante algún tiempo. La grasa así obtenida requiere filtración y clarificación posterior. Aunque por el costo del equipo el proceso con microondas puede ser igual de caro que el tradicional, existen muchas ventajas: eliminación del costo de generación de vapor, eliminación de olores desagradables, producción de grasa de mejor calidad y que prácticamente no requiere de procesos posteriores como filtración y clarificación ^(48,49,80).

5) Elaboración de kamaboko: el kamaboko es un producto elaborado a base de pescado homogeneizado y lavado para obtener una pasta que se cocina posteriormente. La principal característica del kamaboko es ser elástico y flexible. El cocinado es uno de los puntos críticos del proceso ya que determina la textura del producto final. Puede ser cocinado convencionalmente con cuatro métodos diferentes: con vapor, asado, freído y por inmersión en agua caliente. El tiempo de cocinado va de 40 a 50 minutos. El kamaboko cocinado con microondas tiene textura y propiedades elásticas similares a las obtenidas con métodos convencionales y el tiempo de cocinado se reduce considerablemente (a 6 minutos). El kamaboko es la base para la elaboración de productos de imitación como el surimi de carne de cangrejo, de camarón o cola de langosta ⁽⁴⁷⁾.

COSTOS

Para hacer un estimado del costo, hay que considerar la dimensión del trabajo. Por ejemplo, se requieren 1,000 Btu para evaporar medio kilo de agua ($1 \text{ kW} = 3400 \text{ Btu/hr}$). Un equipo de secado con una capacidad de 100 mil Btu/hr requerirá 30 kW a un 100 % de eficiencia. Sin embargo, sólo un 80 a 90% de la energía del generador se aprovecha como calor en el producto.

Los gastos principales son:

1) Inversión inicial: un sistema de microondas cuesta aproximadamente \$2,000 a \$3,000 dólares por kW de capacidad del generador de microondas.

2) Costo de la electricidad: la conversión de electricidad de AC a energía de microondas es del 80 a 85% de eficiencia, y la subsecuente conversión de energía de microondas a calor es 80 a 90% eficiente. Así, el 65 a 75% de la potencia eléctrica es convertida a calor dentro del producto. Conociendo el costo de la electricidad se puede conocer el costo de operación del sistema de microondas. Además puede existir un ahorro del costo de energía ya que se requiere menor o nulo uso de aire acondicionado.

3) Cambio del magnetrón: la vida útil del magnetrón depende del tamaño y condiciones de operación del equipo. Por ejemplo, un magnetrón que cuesta \$6,000 dólares tiene una vida útil promedio de 5,000 horas lo que equivale a un poco más de un dólar por hora de operación. Una unidad de 300 kW costará aproximadamente \$7 dólares por hora de operación.

4) Mano de obra: un solo operador puede manejar varios generadores a la vez.

5) Costos de mantenimiento: los secadores de microondas son más fáciles de limpiar y de mantener que los convencionales porque son relativamente más pequeños y son de acero inoxidable. Por ejemplo, si se ocupan 16 horas-hombre a la semana en limpiar un equipo convencional, con el de microondas se ocuparía una hora-hombre a la semana ⁽¹²¹⁾

La inversión inicial puede ser alta, pero considerando que el ahorro de energía, de tiempo (mayor producción y mayor variedad), y el posible valor agregado del producto final (mejor calidad, mayor vida de anaquel sin conservadores, etc.), menos mantenimiento y mayor facilidad de operación, esa inversión se recupera en poco tiempo.

Las microondas se usan actualmente en muy pocas industrias. La mayoría de estas instalaciones se encuentra en Estados Unidos, Francia, Suecia, Japón, Inglaterra y Alemania ⁽⁴⁸⁾. Hasta 1986 existían 254 instalaciones industriales que operaran con microondas (en 1974 se contaba con 122 instalaciones en todo el mundo). De éstas, 200 corresponden a procesos de temperado de alimentos congelados, principalmente carnes y pescado; 16 para precocer tocino, pollo y hamburguesas; 30 para secar pastas, cebolla y botanas; 5 para secar al vacío jugos cítricos, granos y semillas y 3 para pasteurizar pan y yoghurt. Muchas de estas instalaciones combinan las microondas con fuentes de energía convencional ⁽⁹⁸⁾.

En términos de energía, el procesamiento industrial de alimentos con microondas se ha vuelto más atractivo recientemente. El costo del equipo se va reduciendo por el uso de magnetrones con vida

útil más larga y que son hechos en serie.

Edgar ^(56,98) muestra con un ejemplo de un proceso para temperar alimentos congelados y para precocer carne, que hay ventajas respecto al costo, como resultado de las reducidas pérdidas de producto, del ahorro de energía y del incremento de calidad. Las mejoras logradas recientemente en el diseño de equipo y la investigación en las propiedades de los alimentos han dado base al desarrollo de modelos de patrones de calentamiento que deben estimular el desarrollo de nuevos y mejores procesos comerciales para alimentos.

**APLICACIONES EN LA TECNOLOGIA DE ALIMENTOS:
ELABORACION DE PRODUCTOS PARA CONSUMO DOMESTICO**

CARACTERISTICAS ORGANOLEPTICAS Y RETENCION DE NUTRIENTES

Características organolépticas

En general los alimentos cocinados con microondas poseen características organolépticas buenas comparables a los alimentos cocinados por métodos convencionales siempre y cuando hayan sido cocinados respetando las limitaciones del sistema de microondas.

Como ejemplo, tenemos los estudios siguientes:

- Filete de puerco cocinado por 3 métodos diferentes : freído y microondas con y sin aditamento para dorar ⁽⁴⁴⁾. Los factores evaluados fueron: atributos sensoriales, contenido de grasa y retención de vitaminas (tiamina y riboflavina). Los resultados indican que los dos métodos de microondas son tan satisfactorios como el freído. Si acaso, el producto frito tenía un aroma más intenso y era más suave, pero la magnitud de estas diferencias era pequeña.

- Filete de res ⁽¹⁰¹⁾: se cocinaron con hornos de convección (aire caliente circulante), eléctrico convencional y de combinación microondas/convección. La evaluación sensorial indica que no hay diferencias significativas entre los 3 métodos respecto a jugosidad, suavidad, intensidad del sabor y color, contenido de humedad, de grasa y de vitaminas.

- Espagueti con salsa de carne ⁽³⁹⁾: se cocinó espagueti convencionalmente, se almacenó en diferentes condiciones de tiempo y temperatura y se recalentó en horno de microondas y en horno de convección. Sensorialmente se encontraron pocas diferencias entre los tratamientos y cuando llegaron a encontrarse, la calidad fue mejor en el producto calentado en horno de convección. La baja calidad del producto recalentado en microondas se atribuyó al almacenamiento previo. La mejor opción para el espagueti que debe ser almacenado una vez preparado y recalentado fue almacenamiento en congelación y recalentado en microondas.

- Pechuga de pavo ⁽⁴⁰⁾: se cocinó en horno de convección y se recalentó en hornos de microondas, de IR y de convección. Aparte de un aroma más débil después de recalentar con microondas frente al de convección, no se encontró ninguna otra diferencia al evaluar los productos.

También se informa que evaluando sensorialmente pure de papas y chícharos recalentados en horno de convección, convencionales y de microondas, los panelistas prefirieron el recalentado en microondas. Lo mismo para huevos revueltos recalentados con microondas ⁽³⁹⁾.

Retención de nutrientes

La retención de vitaminas en alimentos calentados o procesados con microondas es mayor a los tratados convencionalmente porque el tiempo de tratamiento es menor, pero este grado de retención varía con el tiempo de tratamiento, temperatura interna, tipo del producto (forma tamaño, densidad, etc), tipo, tamaño y potencia del horno.

Existen estudios ^(122,84) donde se muestra que la retención de nutrientes en alimentos procesados con microondas no difiere mucho de los retenidos por procesos convencionales. Se encontraron pocas diferencias en la retención de tiamina y riboflavina en filetes preparados con hornos de combinación microondas/convección, convección y eléctrico convencional ⁽¹⁰¹⁾. Lo mismo para filete de puerco preparado en microondas comparado a filete freído ⁽⁴⁴⁾. En estudios sobre la estabilidad de ácidos grasos poliinsaturados de pescados, se encontró que el efecto de cocinar con microondas era mínimo. No hubo diferencias detectables entre el total de lípidos de las muestras cocidas y las crudas. Lo que es más importante, los ácidos grasos poliinsaturados no fueron afectados ya que el pescado mantuvo su composición y contenido original de estos ácidos grasos. Los ácidos grasos poliinsaturados n-3 pueden tener un importante papel en la prevención y manejo de enfermedades cardiovasculares. Se ha sugerido que pueden reducir el riesgo de desarrollo de cáncer en algunos lugares ⁽⁷⁴⁾.

Los inhibidores de tripsina (sustancias que inhiben la actividad proteolítica de esta enzima) que se encuentran en algunos alimentos (maíz, cacahuete, papa, soya, etc) están asociados a efectos nocivos tales como la inhibición del crecimiento,

reducción de la digestibilidad de la proteína, agrandamiento del páncreas y reducción de la energía metabolizable entre otras cosas ⁽²⁶⁾. Es necesario un tratamiento térmico para inactivarlos y poder obtener un valor nutritivo máximo de los productos elaborados con soya principalmente. Se han probado varios métodos para inactivar estos factores, tales como tostado, escaldado, micronizado, cocido con extrusión y tratamiento con alcohol. Con esto también se busca inactivar la lipoxigenasa asociada al sabor residual de los productos de soya. El calentamiento con microondas puede ser efectivo para inactivarlos. Un tratamiento de 8-10 minutos después de remojar los granos de soya enteros (humedad 25-49%) puede ser óptimo para preparar harina de soya o sémola de soya sin olor a quemado. Con este tratamiento se alcanzan temperaturas finales de 120 °C ^(58,130).

DESARROLLO DE PRODUCTOS ESPECIALES PARA MICROONDAS

Al desarrollar productos para procesar con microondas es importante recordar que las microondas son una forma de energía y no de calor, y que sólo se manifiestan como calor cuando interactúan con un material y como resultado de uno o más mecanismos de transferencia de energía.

En la mayoría de los sistemas, el material de partida es el mismo que en procesos convencionales, pero en algunas ocasiones es necesario diseñar sistemas (productos) capaces de adecuarse al modo de calentamiento con microondas.

Factores que afectan el calentamiento con microondas

Existe una íntima relación entre el material que es calentado y el equipo de microondas que calienta. El calentamiento con microondas se ve afectado por ambos factores. El impacto de cada uno debe considerarse al diseñar un sistema producto/proceso. La velocidad de elevación de temperatura en un producto está dada por la siguiente relación:

$$v = \frac{k' f E^2 E''}{\rho c}$$

donde

k' = constante que expresa la temperatura y tiempo en las

unidades deseadas

E'' = factor de pérdida del material

E = fuerza del campo eléctrico en volts por
unidad de distancia

ρ = densidad del material

c = calor específico del material

f = frecuencia del sistema

1) Frecuencia: existen dos frecuencias disponibles para equipos de microondas: 915 y 2450 MHz. Su longitud de onda en el aire es de 33 y 12.2 cm respectivamente. La frecuencia afecta la penetración en el material. La selección de frecuencia es importante porque se relaciona directamente con el tamaño del material: 915 MHz penetran más profundamente que a 2450 MHz de modo que para temperar bloques de pescado congelado de 30 kg es mejor usar 915 MHz y para cocer salchichas individualmente usar 2450 MHz.

La frecuencia afecta las propiedades dieléctricas de los alimentos: el factor de pérdida para agua pura es 3 veces mayor a 2450 MHz que a 915 MHz, el de una solución 0.1 molal de NaCl es 2 veces mayor a 915 MHz.

2) Potencia de las microondas y rapidez del calentamiento: la mayoría de los equipos cuentan con potencias que van de 5 a 100kW, y algunos con más. Cuanto mayor es la potencia, tanto más rápido será el calentamiento. La velocidad de calentamiento generalmente se controla variando la potencia. El cocinado, horneado y otros procesos en alimentos son sistemas fisicoquímicos complejos que requieren calor para iniciar y acelerar las reacciones necesarias

Estas deben ocurrir en un orden y en un tiempo adecuados. Es posible calentar un alimento más rápido de lo que este es capaz de disipar el calor generado y si no se tiene cuidado, puede ser una desventaja. La carne de pollo puede cocerse en 30 seg, pero sus propiedades organolépticas serán deficientes, porque las reacciones para suavizar la carne no tuvieron tiempo de ocurrir. En cambio, carne cocida a un 30 a 50% de potencia tiene una apariencia más atractiva, es más suave, jugosa y con más sabor que si se cocina al 100% de potencia, y en cualquier caso será más rápido que por un método convencional ^(73,110).

Otro problema de calentar muy rápido es que la temperatura alcanzada no sea uniforme porque no da tiempo a que se distribuya por conducción dentro del alimento. Una regla general en el procesamiento con microondas es: rápido, pero tan lento como sea posible.

3) Masa o cantidad de comida: hay que considerar la cantidad total y la cantidad de cada pieza (se verá más adelante en forma y densidad). Existe una relación lineal directa entre la cantidad de comida y la potencia utilizada (tiempo de cocinado). Si se va a procesar una cantidad pequeña, será mejor hacerlo por lotes, mientras que si es mayor, convendrá hacerlo en equipo continuo.

4) Contenido de humedad: en general, cuanto mayor sea el contenido de humedad, tanto mayor será el factor de pérdida, y en consecuencia se obtendrá mejor calentamiento. Sin embargo, alimentos de baja humedad también se calientan adecuadamente porque su calor específico es menor.

Mientras se seca un alimento, las microondas son absorbidas por las áreas más húmedas y se observa un efecto de nivelación de humedad. Esto es particularmente útil en procesos de secado. A un nivel muy bajo de humedad, el agua se encuentra unida y no libre para ser afectada por el campo electromagnético (FIG.20). Cuando

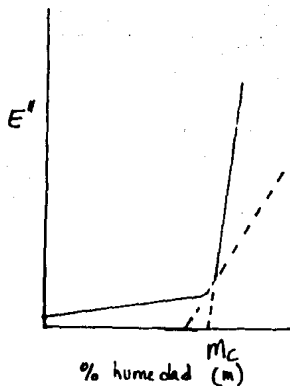


FIGURA 20. VARIACION CUALITATIVA TIPICA DEL FACTOR DE PERDIDA RESPECTO AL CONTENIDO DE HUMEDAD. m_c ES LA HUMEDAD CRITICA (110)

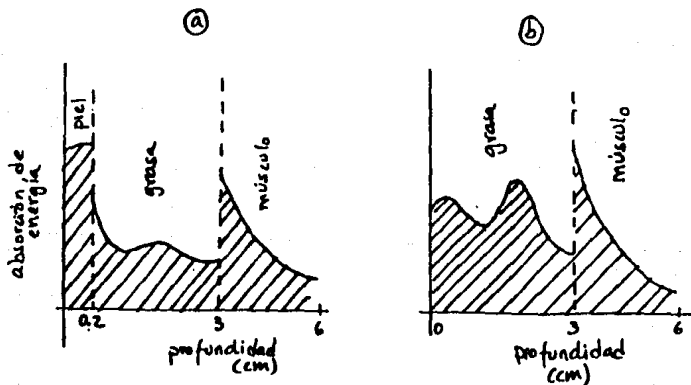


FIGURA 21. GRADOS DE ABSORCION DE ENERGIA DE ONDAS ELECTRO-MAGNETICAS INCIDENTES EN MODELOS DE (A) 3 CAPAS Y (B) 2 CAPAS (42)

el nivel de humedad supera el contenido crítico de humedad, el factor de pérdida aumenta y el producto absorbe más las microondas.

5) Densidad y homogeneidad: la densidad de un alimento afecta su constante dieléctrica. El aire es transparente a las microondas. Las inclusiones de aire hacen que la constante dieléctrica del material se reduzca. Al aumentar la densidad, aumenta la constante dieléctrica y será mayor la absorción de energía de microondas; en consecuencia, será menor la penetración en el alimento. Cuanto más denso sea un alimento, tanto mayor será el tiempo requerido para cocerse⁽¹¹⁰⁾.

Una rebanada de carne de 2 cm de ancho absorberá más energía en la superficie mientras que una capa de 2 cm de puré de vegetales (menor densidad) tendrá una distribución más pareja en un tiempo dado^(33,73). Cuanto más homogéneo sea el alimento, tanto mejor será la distribución de calor y menor el tiempo de cocción.

Cuando existen alimentos con dos o tres capas, la absorción de energía dependerá de las propiedades dieléctricas de cada capa. En la figura 21a se muestra que la mayor cantidad de energía se deposita en la capa de piel porque la intensidad de la radiación es mayor ahí y la capacidad de absorción es moderadamente alta. En la grasa es menor porque su capacidad de absorción es pequeña. En el músculo el grado de absorción es mayor que en la grasa cerca de la interfase grasa-músculo. Después muestra un descenso exponencial tal como se espera cuando ondas electromagnéticas viajan a través de un material absorbente homogéneo. Lo mismo puede decirse de la figura 21b. Se puede ver que la penetración de energía no será uniforme. Para completar el cocimiento se debe dejar el alimento un rato extra dentro del horno cuando éste haya sido apagado. En este tiempo, el calor de regiones más calientes será transferido, por conducción, a regiones más frías⁽⁴²⁾.

6) Temperatura:

a) El factor de pérdida puede aumentar o disminuir con la temperatura dependiendo del material. Como la temperatura cambia durante el proceso, puede afectar la constante dieléctrica y el factor de pérdida. Es importante conocer la relación que existe entre estos parámetros para cualquier producto (FIG.22).

b) Si el alimento está congelado, sus valores de constante dieléctrica y factor de pérdida son muy diferentes a si no lo está. El hielo absorbe mucho menos energía que el agua (ver temperado y descongelado).

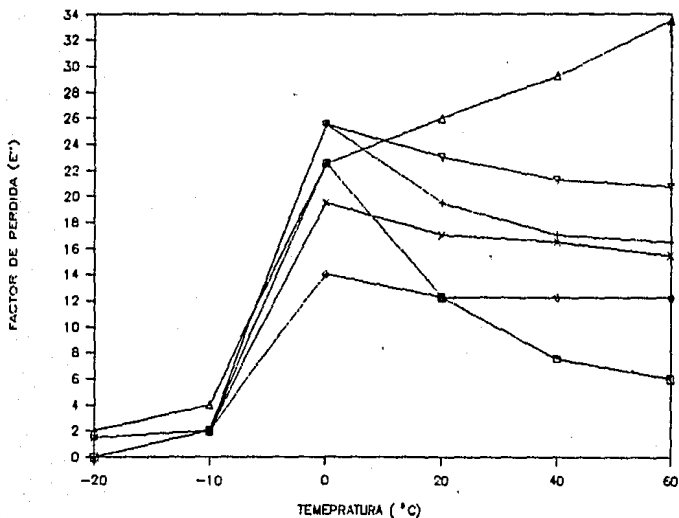
c) La temperatura inicial del producto debe ser controlada o conocida para que la potencia del proceso se ajuste conforme a ella para lograr un calentamiento parejo al final del mismo. A una mayor temperatura inicial, más rápido se calentará el alimento con microondas.

7) Geometría:

a) Tamaño: para lograr un calentamiento uniforme, el tamaño de cada pieza debe ser acorde a la longitud de onda (frecuencia) y a la profundidad de penetración así como a la potencia de calentamiento.

b) Forma: cuanto más regular sea la forma del producto, tanto más regular será el calentamiento. Una forma redonda se calienta más uniformemente que una cuadrada, ya que en ésta el calor se concentra en las esquinas. Las orillas y los bordes deben evitarse. En productos de forma muy irregular, como el caso de una pierna de pollo, se corre el riesgo de sobrecalentar la porción de piel delgada en la parte baja del hueso mientras que el músculo,

DEPENDENCIA DE LA TEMPERATURA



- ▲ JAMON COCIDO
- ▼ PURE DE PAPAS
- ◆ ZANAHORIAS COCIDAS
- × CARNE CRUDA
- CARNE COCIDA
- ◻ AGUA DESTILADA

FIGURA 22. RELACION DEL FACTOR DE PERDIDA (E'') Y TEMPERATURA DE DIFERENTES ALIMENTOS A 2.8 GHz (110)

en la parte superior, apenas se está cociendo. Esto sólo se puede evitar reduciendo la potencia y aumentando el tiempo de cocido. Existen alimentos, como la carne de puerco o de res, que pueden presentarse en diversas formas y tamaños adecuados al sistema proceso/producto más fácilmente.

8) Conductividad: se refiere a la capacidad de un material de conducir corrientes eléctricas por el desplazamiento de electrones y de iones libres. Por el modo de producir calor con microondas (rotación de dipolos principalmente), la conductividad iónica ocupa un lugar muy importante sobre todo en alimentos. La adición de sal (NaCl) puede afectar el patrón de calentamiento del producto. Afecta la velocidad y la profundidad de penetración. Puede causar una mayor absorción en la superficie que en el centro del producto. Además hay que considerar todos los efectos que puede tener la sal en las cualidades organolépticas del producto.

9) Conductividad térmica: este es un factor importante cuando se trata de alimentos de tamaño mayor a la profundidad de penetración de las microondas, ya que el calentamiento en el centro dependerá de la capacidad del producto para conducir hasta él el calor de la superficie y capas adyacentes.

10) Calor específico: se refiere a la cantidad de calor que necesita un alimento para elevar su temperatura. Es el factor que hace que sustancias con un factor de pérdida relativamente bajo, como los aceites, puedan calentarse bien con microondas (FIG. 23). El aceite se calienta más rápido que el agua debido a su calor específico menor ($2.0 \text{ kJ/k}^{\circ}\text{C}$ frente a $4.2 \text{ kJ/k}^{\circ}\text{C}$).

El calor específico de cada ingrediente es importante en el resultado del producto final. Se pueden manejar estos parámetros en la fórmula para lograr el calentamiento deseado.

VELOCIDAD RELATIVA DE CALENTAMIENTO

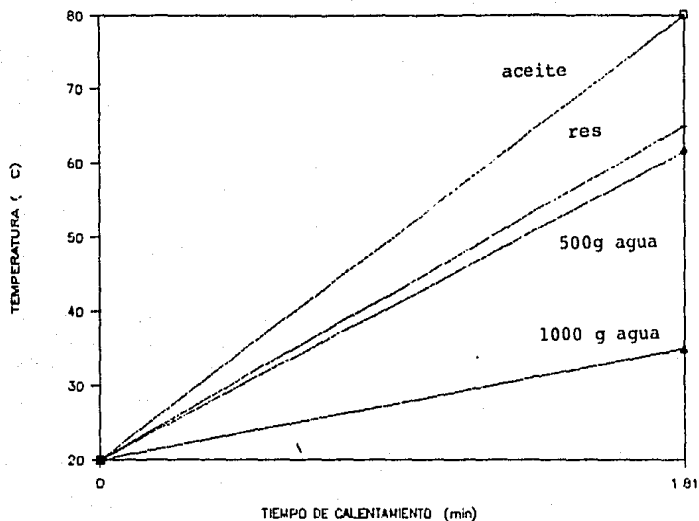


FIGURA 23. VELOCIDADES DE CALENTAMIENTO RELATIVAS DE AGUA, RES, Y ACEITE QUE ILUSTRAN LA IMPORTANCIA DEL CALOR ESPECIFICO FRENTE AL FACTOR DE PERDIDA (110)

Para obtener un producto capaz de desarrollarse plenamente en un sistema de microondas es fundamental conocer todos estos factores, de manera que se pueda predecir su comportamiento desde el momento de entrar en contacto con las microondas hasta el final del proceso, es decir, se debe estar al tanto de su patrón de calentamiento.

FORMULACIONES E INGREDIENTES ESPECIALES

En el diseño de un producto especial para microondas tienen un papel fundamental los ingredientes utilizados. Si se desarrollan fórmulas adaptables a este modo de calentamiento, se pueden lograr efectos similares a los obtenidos con otros métodos.

Como ejemplo tenemos que se puede inducir la reacción de Maillard en la superficie de algunos productos, al cubrir ésta con ingredientes que favorezcan su rápido calentamiento (sal, lecitina) y con ingredientes que son el sustrato de la reacción (azúcares, glicina, proteínas de leche). Esto es muy útil sobre todo cuando se combina con materiales de empaque especiales, sobre los que se hablará más adelante.

Si dentro del producto se han formado cristales de hielo, puede ocurrir un calentamiento disparejo, que puede evitarse adicionando azúcares a la fórmula para bajar su punto de congelación.

La transferencia de calor y la migración de vapor pueden regularse usando gomas y sistemas de almidones de gelificación rápida⁽³³⁾. Para favorecer texturas crujientes en productos de panificación se han usado algunos almidones y metilcelulosa por su propiedad de espesar con el calor, ya que frenan la migración de vapor hacia la superficie de los productos.

Cuando se van a incluir almidones en la formulación de un producto

especial para microondas, debe investigarse la correcta proporción de almidón:agua que se usara para garantizar que la gelificación se lleve a cabo sin dejar gránulos secos. Las diferencias de gelificación con otros métodos de calentamiento se deben a la diferencia de transferencia de masa (agua que hidrate el almidón) y temperatura en el producto. Esto se refleja en la distribución y proporción de gránulos hidratados que afecta a su vez la calidad del producto final ⁽¹³⁵⁾.

En el mercado existen muchos tipos de almidones y gomas que se adecuan a este sistema de calentamiento perfectamente como la goma xantán que se usa para espesar salsas para alimentos congelados, pizzas, vegetales y pastas, para pasteles y panqués. Imparte humedad, grano uniforme, viscosidad estable y se controla la sinéresis. Algunos almidones modificados de maíz y tapioca se usan para espesar salsas, rellenos para pay, pudines, como sustitutos de tomate, en sopas entre otras cosas dando textura suave sin sinéresis y pueden ser aplicados en productos especiales para microondas. La celulosa microcristalina se usa para formar geles termoestables; una vez formados, pueden resistir un amplio rango de temperaturas. En productos especiales para microondas logran mantener la misma calidad antes y después de cocinados; estabiliza tanto la fase acuosa como la oleosa de una emulsión. En panes rellenos de fruta ayudan a mantener la consistencia evitando que el relleno se salga. Por su capacidad de embeber grandes cantidades de agua, inhibe la formación de cristales de gran tamaño que afectarían la palatabilidad del producto así como su proceso de congelado-descongelado ^(9,37).

Si se modifica la formulación de la mezcla para rebosar (filetes de pescado, por ejemplo) y freír, es posible preparar productos que cocinados en microondas tengan la textura de los que han sido fritos en aceite. Si se cocina con la fórmula convencional, la migración de agua del filete causa que la mezcla se humedezca y se

reblandezca, y como el filete pierde humedad, se vuelve duro, de textura fibrosa y seco. Cuando el agua de la mezcla se sustituye por aceite, el producto resultante es crujiente, dependiendo del resto de los ingredientes usados (almidones modificados o no, harinas, etc). El contenido final de grasa es menor por este método que con el convencional y los resultados sensoriales son muy similares porque el aceite en la mezcla modificada ayuda a impartir la palatabilidad característica del producto ⁽⁹¹⁾. Esta mezcla puede usarse también para aros de cebolla, pollo, verduras, etc.

Se han desarrollado migas de maíz (para rebosar productos como los anteriores) a través de un proceso especial de cocido-extrusión. Se logra una hidratación más lenta durante el congelamiento por el contenido de la proteína zeína en el gluten de maíz ya que no absorbe humedad. Las propiedades de la zeína desarrollan una textura más crujiente cuando se frien, más fuerte que las propiedades de la gliadina en el gluten de trigo. Esta sí absorbe humedad causando una miga húmeda y pesada. Con la miga de maíz extruida se logra una máxima adherencia, uniformidad en la cobertura y en la textura del rebosado; se tolera mejor el freído, se mantiene crujiente después de frito y aun cuando se recalienta en microondas para servirse. Al momento de extruir se le pueden agregar sabores o sazónadores ⁽⁵³⁾.

Para compensar la ausencia de aromáticos formados durante el cocimiento (como en el caso de la reacción de Maillard), se usan sistemas de sabores que simulan los convencionales. Se han diseñado sistemas de sabores que resisten la volatilización y que completan las reacciones dependientes del tiempo durante el corto periodo que un producto está en el horno de microondas.

Los compuestos de aroma indeseable en un producto (sabor residual) pueden llegar a desarrollarse durante el calentamiento con

microondas. Fries & Fries ha seleccionado compuestos aromáticos que no contribuyen a este problema o bien encapsulando los ingredientes para retardar el que por volatilización aparezcan estos productos ⁽¹⁰⁾.

En el calentamiento con microondas, las reacciones que son responsables de producir aromas y sabores en un producto, no tienen tiempo suficiente para llevarse a cabo. En los sabores de reacción, estos sistemas de sabores han pasado por reacciones químicas antes de ser agregados a los productos. La tecnología de sabores de reacción captura y retiene diferentes notas de sabor variando los materiales precursores y los procesos de reacción. Los ingredientes se procesan con temperatura y presión controladas para dar lugar a análogos de los sabores producidos durante el cocimiento convencional. Durante el proceso de reacción, los aromas y sabores precursores claves se desarrollan. Estos precursores se convierten en componentes del sabor cuando el alimento es cocinado. Este tipo de sabores resiste la volatilización durante el cocinado. Fries & Fries y Firmenich, entre otras compañías, tienen sabores que simulan los desarrollados en productos de panificación, carnes, mariscos, vegetales y lácteos principalmente ^(82,10).

Kalsec Inc. produce oleorresinas, aceites y acuarresinas de especias. En general, los sistemas de alimentos no son muy buenos extractores de sabores, y al calentarse en microondas tiene menos tiempo para hacerlo. Los sabores de una especia permanecerán en la partícula de la especia molida y no es fácil que se disperse bien en un sistema de alimentos. Algunos de sus componentes pueden ser solubles en agua y otros en aceite. Las oleorresinas, acuarresinas y los aceites los hacen disponibles en el producto final.

- Los aceites de especias se obtienen por arrastre de vapor y destilaciones posteriores. Son productos volátiles.

- Las oleorresinas se obtienen por extracción con solventes y tienen compuestos volátiles y no volátiles. Dan un sabor más redondo. Pueden ser líquidos o en polvo. En polvo se fijan en una base (gomas, almidones vegetales o maltodextrinas) y se secan por aspersión. Con ellas se pueden hacer emulsiones en agua. En polvo se tiene una concentración del 19 al 20% del sabor. Son más estables y también son más caras.

- Las acuarresinas son la versión dispersable en agua de las oleorresinas. Se obtienen a partir de ellas. Una vez obtenida la oleorresina, se agrega un emulsificante como lecitina o monoglicéridos. No contienen agua pero si otros solventes como ácido láctico. Se dispersan tanto en agua como en aceite. Dan un perfil de sabor más concentrados porque se dispersa en la parte acuosa del producto. Cuando entra a la boca se dispersa en la saliva de manera que queda más disponible al paladar. Por ello se requiere en menor concentración que la oleorresina.

Las ventajas que ofrecen estos productos en alimentos en general, son válidas para alimentos especiales para microondas, principalmente las acuarresinas. Se pueden mezclar entre si para obtener sistemas de sabores completos y agregarse directamente al producto, como por ejemplo acuarresinas sabor chorizo, pizza, chile, curry, etc. Por el método de obtención, son termorresistentes y estables ⁽⁷⁹⁾.

Felton Worldwide Inc ⁽¹⁰³⁾ ha desarrollado una línea de sabores especial para productos para microondas: Microloc. Los sabores, que generalmente son moléculas polares, se comportan de diferente manera cuando se calientan con radiación electromagnética que cuando se manejan con métodos convencionales. Como resultado, los sabores en el horno de microondas pueden alterarse o modificarse, o bien evaporarse junto con el vapor de agua.

Felton seleccionó un conjunto de más de 500 compuestos químicos incluyendo solventes, aceites esenciales y materias primas naturales como representantes de algunos grupos funcionales como ácidos, aldehidos, cetonas, ésteres, lactonas, aminas, compuestos tio e hidrocarburos, para desarrollar la teoría Delta T ($\Delta T'$). Cada compuesto tiene un valor específico $\Delta T'$ que representa su contenido de calor único dentro del horno de microondas. Este calor es la relación del incremento de su temperatura entre el incremento de temperatura del agua (patrón) a una misma potencia en el horno. Las propiedades de absorción de calor de cada componente de un sabor contribuye al ΔT completo del sabor y este valor determina qué tan caliente o qué tan frío permanecerá el sabor en un sistema de alimentos en microondas.

Para el agua, el valor de $\Delta T'$ es de 1. Compuestos con valor mayor a 1 tendrán incrementos de temperatura mayores a los del agua. Los que tengan valor menor, absorberán menos energía y permanecerán más fríos. La tabla 10 muestra algunos de estos valores para aceites esenciales.

Si se conocen los valores de $\Delta T'$ se pueden diseñar sabores especiales para microondas. La tabla 11 muestra algunas aplicaciones de esta teoría. Felton tiene sabores Microloc de carnes, mariscos, frutas, productos de panificación y sazónadores, ya sean naturales, idénticos a los naturales o artificiales.

TABLA 10. VALORES DE DELTA T' PARA ALGUNOS
ACEITES ESENCIALES Y OLEORRESINAS

ACEITE ESENCIAL	DELTA T' PROMEDIO
EXTRACTO DE ALHOVAS	1.33
OLEORRESINA DE CEBOLLA	1.07
OLEORRESINA DE AJO	0.77
OLEORRESINA DE SALVIA	0.57
OLEORRESINA DE JUNJIBRE	0.34
ACEITE DE SEMILLA DE ZANAHORIA	0.29
ACEITE DE ANIS	0.26
ACEITE DE ALBAHACA	0.24
OLEORRESINA DE APIO	0.23
OLEORRESINA DE PIMIENTA NEGRA	0.12

(103)

TABLA 11. APLICACION DE LA TEORIA DELTA T' PARA SOLUCIONAR PROBLEMAS COMUNES DE SABORES EN MICROONDAS

PROBLEMA DE SABOR	SOLUCION	EFECTO
PERDIDA DE VOLATILES	SABORES DE DELTA T' BAJO	ELIMINARA LA DESTILACION CON VAPOR Y EVAPORACION DEL SABOR
MODIFICACION DEL SABOR	SABORES CON DELTA T' BAJO	EVITARA EL DESARROLLO EXCESIVO DE CALOR QUE INDUCIRA REACCIONES INDESEABLES
NECESIDAD DE SABORES DE REACCION	PRECURSORES DE SABOR DE DELTA T' BAJO Y CON SISTEMAS DE SABORES CON COMPUESTOS PRE-REACCIONADOS	ASEGURARA QUE LOS PRECURSORES SE CALENTARAN AL MAXIMO PARA LLEVAR A CABO LA REACCION Y QUE LOS SABORES PRE-REACCIONADOS SERAN PROTEGIDOS DE DEGRADACIONES POSTERIORES
ESTABILIDAD EN HORNO DE MICROONDAS Y CONVENCIONALES	COMBINAR SABORES DE DELTA T' ALTO Y BAJO PASTEURIZADO	PROTEGERAN AL SABOR DURANTE LOS MULTIPLES PROCESOS DE CALENTAMIENTO COMO COCIMIENTO CON HORNOS CONVENCIONALES, ESTRILIZACION, PASTERIZADO, ETC. PREVIOS AL COCIMIENTO CON MICROONDAS
FALTA DE AROMA	SABORES DE DELTA T' ALTO	INCREMENTARAN LA TEMPERATURA FAVORECIENDO LA APARICION DE LOS COMPONENTES AROMATICOS

EMPAQUES

El empaque de un alimento es siempre un componente importante del conjunto desde los puntos de vista funcional, higiénico y de imagen. Debe proteger al alimento contra pérdidas o asimilación de humedad y/o gases, contra la luz, microorganismos, etc.. Debe ser resistente y carecer de sustancias tóxicas que puedan pasar al alimento. El diseño debe ser funcional adecuado al tamaño y forma del alimento, ser atractivo al consumidor. Cuando se trata de alimentos especiales para microondas, se debe considerar si la comida será cocinada dentro del empaque o simplemente será recalentada.

Cualquier material autorizado por la FDA para estar en contacto directo con los alimentos sin limitaciones como tipo de alimento, temperatura o grosor, puede utilizarse para elaborar empaques para productos especiales para microondas. Es recomendable que cada caso sea revisado individualmente para determinar si es o no factible utilizar cierto material para empaçar un producto determinado ⁽⁹⁰⁾.

El mejor material para fabricar utensilios de cocina y empaques especiales para microondas sería aquel que fuera fuerte y rígido como el metal, pero ligero, resistente a las altas temperaturas alcanzadas en hornos de convección y convencionales, completamente transparente a las microondas, con terminado resistente a la deformación y que no fuera caro. El vidrio termorresistente y las cerámicas probablemente son el material que mejor cumple con estas

características. Son transparentes a las microondas y transmiten el 95% o más de la energía de microondas al alimento. El papel y algunos plásticos también son transparentes a las microondas y transmiten energía a los alimentos⁽⁷³⁾.

Al analizar las envolturas comunes de los alimentos que pudieran servir como contenedores para cocinarlos, se observa que poliestireno en espuma conocido como styrofoam se deformará y fundirá a 77° C (171 °F); el papel encerado y las envolturas de plástico autoadheribles se deformarán por el vapor. El papel y el cartón se adaptan mejor a recalentar comida.

El poliestireno tiene la menor temperatura de deformación de los plásticos (77 °C), pero es útil para calentar bebidas. Algunos restaurantes lo usan para calentar sandwiches justo antes de servirlos. Es un excelente aislante y mantiene la comida caliente por más tiempo que la mayoría de los materiales.

El polietileno también se deforma a 77 °C pero tiene otros problemas porque absorbe una parte de la energía de microondas y es algo quebradizo sobre todo a temperatura de congelación.

El polipropileno tiene la más alta temperatura de deformación dentro de los plásticos de bajo costo y puede resistir temperatura de 104° C (219 °F). No es muy bueno para congelar, porque se vuelve algo quebradizo.

La melamina, también llamada melmac, tiene una mayor temperatura de deformación pero no se adapta a la cocción con microondas. Por su recubrimiento químico, absorbe gran parte de las microondas y se calienta mucho. Aun con comida dentro, se hará quebradizo y se romperá a bajas temperaturas.

Las polisulfonas y los poliésteres termosellados son algo rígidos,

no se estrellan y soportan hasta 177-218 °C (351-424 °F) sin deformarse, se adecuan a temperaturas de congelación, aunque no son tan transparentes a las microondas como los otros plásticos. Los utensilios hechos con este material son más caros por sus propiedades de durabilidad ⁽⁴⁾.

International Paper Co. desarrolló un material que sirve para cocinar tanto en horno convencional como en microondas. Su método consiste en extruir una resina de poliéster altamente resistente al calor en un cartón. Se amolda en charolas de forma y tamaño apropiadas para muchos usos en alimentos. Reduce el tiempo y temperatura de cocción en un 20 por ciento ^(73,6).

Dado que el metal refleja las microondas, no se considera un material apto para cocinar con este método. El uso continuo de metal en un horno de microondas puede causar daño al magnetrón y puede acortar su vida útil, aunque el daño no sea evidente. También se evita su uso porque puede producir arqueos y provocar incendios ⁽⁷³⁾. Sin embargo, cada vez más surgen diferentes opiniones al respecto.

Mediante la utilización prudente de metal, el arqueo puede controlarse además de que los nuevos diseños de hornos protegen al magnetrón contra las ondas reflejadas. En general, las charolas de aluminio de 1.9 cm (3/4 pulg) de hondo o menos se consideran seguras ^(4,96). Decareau hizo un estudio sobre el efecto de contenedores de metal en el horno y sus componentes, y sobre la uniformidad del calentamiento comparado con otros materiales ⁽⁷³⁾. En sus resultados asienta que: a) los contenedores de aluminio no tuvieron efectos visibles en el magnetrón y que solamente en una ocasión entre 400, se presentó el problema de arqueos; b) el calentamiento fue tan uniforme en el aluminio como en los materiales transparentes a las microondas; c) los alimentos congelados en charolas de aluminio requirieron el mismo tiempo de

calentamiento que con las charolas transparentes a las microondas, y d) que las tapas de aluminio deben retirarse del empaque antes de meterlo al horno de microondas.

Schiffmann patentó en 1981 ⁽¹¹¹⁾ un proceso para panificación con microondas utilizando charolas de metal (ver Panificación) y no hace alusión alguna a que se dañe el equipo.

En 1984, la compañía Aluminum Co. of America (Aloca) introdujo un sistema para empacar comida congelada en contenedores que puedan ser calentados tanto en hornos de microondas como en hornos convencionales (*dual-oven capability o dual-ovenable*). El material es un aluminio recubierto, con una tapa de plástico. El objetivo en su diseño era eliminar la probabilidad de arqueo de energía entre el metal y las paredes del horno, y el daño al magnetrón. La clave fue la cobertura al aluminio hecha de una matriz vinílica o epóxica; esta cobertura absorbe las microondas más que reflejarlas. La probabilidad de arqueo se reduce por la forma redonda y sin bordes del empaque. Además, la tapa de plástico retiene la humedad y favorece así la uniformidad y eficiencia del calentamiento. En general, la profundidad de las charolas es de 2.54 cm (1 pulg). El costo es 50% menor que los empaques termoplásticos de poliéster y 10% menos que los de PET ⁽⁸⁵⁾.

Existen los materiales llamados "susceptores o receptores" (*susceptor o receptor* en ingles); se colocan dentro de la estructura (o junto con ella) de un empaque para microondas con el objeto de alterar drásticamente el resultado de la coccion con microondas ⁽⁷⁶⁾. Convierte la energía de microondas en calor sensible para alcanzar una meta específica, como dorar la comida, favorecer el secado, la textura crujiente y acelerar la elevación de temperatura. Proporciona un punto focal donde el calor se concentra. La temperatura en la superficie de un susceptor puede alcanzar 260 °C (500 °F) en segundos ⁽⁸⁹⁾.

El material más común es una película de poliéster estándar que incluye la colocación de aluminio al vacío. Aun no se define claramente la manera en que trabajan estos materiales. Una teoría explica que es resultado de un conjunto de procesos: el rompimiento de la capa de aluminio, la fusión de la estructura de poliéster y la oxidación del aluminio a óxido de aluminio que es transparente a las microondas ⁽⁸⁹⁾.

Las propiedades del susceptoer pueden diseñarse con base en sus propiedades de densidad óptica, grosor y resistencia eléctrica. Hay que considerar el uso final del empaque. Por ejemplo, para palomitas de maiz se necesita mucho calor en poco tiempo, mientras que para productos de panificación se necesita menos calor distribuido en un tiempo más largo. Los mariscos y pescados estarán en el medio. En pizzas congeladas, por ejemplo, el susceptoer consolida el calor directamente bajo la masa forzando a la humedad a migrar hacia arriba, directamente a la salsa, y esto hace que la masa sea crujiente. Ayuda a calentar alimentos de alta densidad mientras que los de baja densidad se calientan con las microondas solamente ⁽¹²³⁾. Es necesario evaluar si se aplica el susceptoer a papel, cartón o a plásticos; en películas o en pedazos, o como parte integral del empaque.

Se ha desarrollado un método en el que se forman capas laminadas de metales (aleaciones) y plástico o algún poliéster. Con este método de rociado (*sputtering*), el material se incorpora a la película, y queda dentro de la estructura molecular de la misma. Se pueden usar diferentes metales o aleaciones (acero inoxidable, níquel-cromo, etc.), cada una con un comportamiento diferente. Da un calentamiento más uniforme. Por su estabilidad da mayor protección al producto empacado. Dependiendo de la aleación y del grosor de la lámina, se logra el calentamiento necesario para cada cosa. Por computadora se calcula el grosor y geometría de la

lámina, y así, en un solo contenedor, se pueden cocer al mismo tiempo 3 cosas que necesiten tratamiento térmico diferente. Es más caro, pero se espera que conforme la demanda crezca, los costos bajen ⁽⁶⁴⁾. Otra manera de colocar los materiales susceptores es pegándolos con alguna sustancia adhesiva o suspendiéndolas entre 2 capas de otro material.

El correcto diseño de un empaque susceptor llevara a mejores resultados. Si no es adecuado, puede ocasionar problemas como un exceso de calor. Se debe adaptar la resistencia eléctrica que se usará a la conductividad térmica del alimento cuando se desarrolla el empaque.

Existe un proceso en el cual se desmetaliza el material selectivamente usando ácidos ligeros para eliminar el metal en las áreas donde no se necesite. Otra aplicación del metal es para proteger algunas zonas del producto contra las microondas, es decir, que se aproveche su característica de reflejante. Este concepto se aplicó en un helado con cobertura de chocolate: el helado está protegido, mientras que las microondas derriten el chocolate en la parte superior ⁽⁶⁹⁾.

La compañía JM ha diseñado indicadores de cocción que se adhieren al empaque del producto (FIG. 24). Monitorea la temperatura promedio del producto. Cuando el nivel óptimo de cocción se ha alcanzado, el indicador pasa de ser azul con blanco a completamente azul. Con este sistema se logra que el producto esté siempre bien cocido, no importa en que horno se prepare. Los indicadores se diseñan especialmente para cada producto.

También han desarrollado un sistema que permite la liberación regulada de vapor generado dentro de un empaque en microondas. Un material no metálico y que absorba las microondas, como el grafito, se dispersa en una parte de la porción que sella al

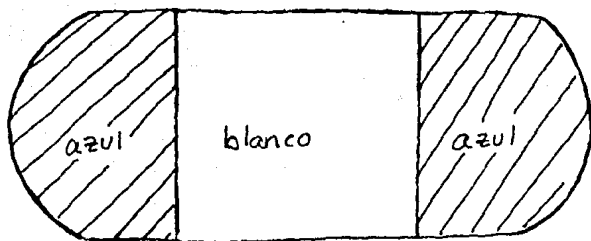


FIGURA 24. INDICADOR DE COCCION DISEÑADO POR 3M.
CUANDO EL ALIMENTO ESTA COCIDO, SE VUELVE AZUL
COMPLETAMENTE (123)

empaque. El calor del vapor generado por el alimento, suaviza y debilita estas partículas y permite que salga de manera controlada ^(123,89).

Otro de sus desarrollos consiste en un material especial para microondas que absorbe selectivamente las grasas y aceites comunes en los alimentos sin absorber la humedad. En la práctica se utiliza en tocino, combinado con el sistema de liberación de vapor. Al cocerse el tocino, la base absorbe la grasa. El vapor se va liberando sin dejar salir el sabor del tocino. Como la salida del vapor es paulatina, da tiempo a que por sus propiedades conductivas, el tocino adquiera su textura crujiente clásica ^(123,104).

Seguridad en el diseño de empaques

Independientemente de lo seguro que pueda ser un horno de microondas respecto a su nivel de fugas de radiación, existen otros factores que pueden alterar la seguridad del consumidor. Estos factores se relacionan tanto con la formulación como con el empaque de un producto que bien puede ser industrializado o casero.

Los principales problemas que se presentan son:

1. **Sobrecalentamiento:** puede suceder que por la forma geométrica del empaque, como en mamilas para bebés o botellas cilíndricas en general, el centro esté mucho más caliente que la superficie. Es muy común que los bebés sufran quemaduras de paladar severas por este problema: Para evitarlo, hay que homogeneizar el contenido (agitando, por ejemplo) del envase abierto (si no lo está, puede estallar) y probar la temperatura antes de ingerir el producto. Deben evitarse empaques que por su geometría concentren la energía.

2. Generación de vapor: se debe advertir al consumidor de tener cuidado al abrir un empaque cuando sale del horno si no ha tenido oportunidad de liberar el vapor generado. Se puede sugerir que se hagan orificios en el empaque antes de meterlo si esto no afecta la cocción, o simplemente poner una leyenda que advierta sobre este peligro. Hay informes de quemaduras de ojos en niños con el vapor que escapaba de una bolsa de palomitas de maíz.

3. Salpicaduras: un producto puede hervir y saltar del contenedor repentinamente al consumidor cuando lo saca del horno. Podría evitarse usando un contenedor de paredes más altas, dejando espacio al producto, pero esto puede influir negativamente en la imagen del producto frente al consumidor.

4. Efectos de volcán: se refiere a erupciones de alimentos viscosos causados por la generación de vapor dentro del producto. En esto tiene que ver mucho la geometría del empaque. Deben evitarse cilindros y empaques angostos para este tipo de alimentos.

5. Calentamiento de aceite: cuando se calienta aceite en horno de microondas, no es posible controlar su temperatura, y si entra en contacto con la humedad de un alimento (papas, por ejemplo), puede saltar y causar severas quemaduras si alcanza al consumidor.

6. Incendios: pueden ocurrir cuando se sobrecalientan algunos alimentos secos como las palomitas de maíz, o cuando se produce el arqueo. Si esto llega a ocurrir, debe mantenerse cerrada la puerta del horno, desconectarlo y esperar a que el oxígeno dentro del horno se agote ^(14,100).

Es responsabilidad del fabricante de productos especiales para microondas evaluarlos en diferentes marcas de hornos para

asegurarse de que tanto la formulación como el empaque no induzcan riesgos al consumidor. En el empaque deben darse instrucciones claras (mejor si van acompañadas de dibujos) de como calentar o cocinar el producto para evitar los riesgos. Las instrucciones pueden o no seguirse, o seguirse incorrectamente. Por ello es importante que el riesgo que represente el producto sea mínimo ⁽¹⁰⁰⁾.

En la literatura se encuentran informes de estudios hechos sobre la migración de compuestos desde los empaques al alimento ^(14,22,38). Cuando la FDA aprobo el uso de algunos materiales, no consideró que con los suceptores algunos alcanzan temperaturas de 260 C (500 °F) y que existe el riesgo de que se liberen compuestos tóxicos. La FDA está realizando pruebas para reconsiderar la seguridad de algunos materiales, las temperaturas de uso y el tipo de alimento que pueden contener sin problemas. Algunos compuestos de los plásticos migran con mayor facilidad a alimentos con alto contenido de grasa.

EJEMPLOS DE PRODUCTOS ESPECIALES PARA MICROONDAS

La demanda actual por alimentos preparados que ofrezcan comodidad y ahorro de tiempo ha influido mucho sobre el mercado de la industria de alimentos. Los tecnólogos en alimentos están considerando nuevos desarrollos de formulaciones y empaques para ofrecer nuevos y mejores productos especiales para hornos de microondas domésticos. En el mercado existen cientos de productos especiales para microondas. Muchos de ellos son para calentarse en hornos convencionales, así como en hornos de microondas. Algunos son congelados, refrigerados o estables a temperatura ambiente; diseñados especialmente para niños; platos fuertes, botanas o postres, etc. Aquí se describirán algunos productos que por sus innovaciones han merecido la atención de la literatura especializada. La lista de nuevos productos es infinita. Lo que se pretende es dar una idea general de los factores que se han considerado en todos estos desarrollos como un ejemplo, además de los ya dados, de la aplicación de todos los factores mencionados con anterioridad en este trabajo.

1) TOP SHELF de Geo. A. Hormel & Co.: es una línea de 10 platillos diferentes que no requieren refrigeración y tienen una vida de anaquel de 18 meses o más. El empaque tiene 4 capas de polipropileno y un material de barrera denominado Saran. El alimento está envasado al vacío. El empaque se abre fácilmente y sirve de plato. Se puede preparar en horno de microondas en 2 min o bien en 8 a 10 min en horno convencional. Se puede llevar a

donde sea, no requiere refrigeración y por lo mismo su costo de distribución y almacenamiento se reduce ^(75,55,21).

2) CULINOVA: son comidas "gourmet" empacadas con atmósferas controladas que refrigeradas tienen vida de anaquel de 3 a 4 semanas. Su empaque resiste calentamiento tanto en hornos de microondas como convencionales. Posee un indicador de seguridad que cambia de color cuando el producto ha sido expuesto a temperaturas diferentes a las de refrigeración; están empacadas en un plato de plástico con tapa de plástico también, todo forrado con una bolsa transparente y una banda de cartón. Por ser transparente, se considera que es más atractivo al consumidor ⁽⁷⁵⁾.

3) IMPROMPTU de General Foods: línea de 10 platillos empacados en charolas de PET cristalizado y con tapa de plástico blanca. La composición de la tapa es el secreto para mantener en buenas condiciones el producto durante 12 meses. Los ingredientes están cocinados al punto óptimo, de modo que permanecen frescos sin conservadores, refrigeración o congelación. Una vez abierto, necesita refrigerarse ⁽⁷⁵⁾.

4) HOT BITES de ConAgra: son croquetas de pollo cocidas, empanizadas y doradas hechas especialmente para microondas. Cada paquete tiene 6 piezas y salsa para aderezar. Los factores importantes considerados fueron: tamaño y forma uniforme para lograr un calentamiento parejo, y el desarrollo de una fórmula para rebozar que permaneciera crujiente después de calentarse. Esto lo logra el tipo de miga escogido. El empaque está diseñado para ser abierto antes de calentar y permitir así la salida del vapor generado en vez de que permanezca dentro y reblandezca las croquetas. Tiene un material susceptor (vease Empaques) que favorece el dorado y la formación de la textura crujiente de las croquetas ⁽⁵⁵⁾.

5) THE BUDGET GOURMET de Van de Kamp: se desarrollaron con base en encuestas que hicieron entre los consumidores: comida congelada de buena calidad, para hornos de microondas y convencionales, rápida y barata. El empaque básico sin divisiones es un cartón especial para hornos. En la tapa está marcada una línea punteada donde hay que cortar sin quitar la tapa para permitir que salga el vapor mientras se calienta. Los productos son costeables porque son platillos no complicados y que requieren poco procesamiento en planta ⁽¹¹⁾.

6) MICROSHAKES de United Dairy Farmers: Las malteadas son a base de ingredientes naturales (leche descremada, azúcar, edulcorantes de maíz, crema, suero y gomas vegetales). Están formuladas para temperar el producto congelado en el horno de microondas y que tenga la consistencia adecuada (la idea nació cuando el vicepresidente de la compañía uso el horno de microondas para temperar rápidamente un paquete de helado). Por ser un producto lácteo, el consumidor lo ve como un antojo saludable ⁽⁶⁷⁾.

7) CHEEZE WHIZ de Kraft: es un producto que no tuvo que ser reformulado. Cuando se calienta un minuto en microondas, Cheeze Whiz se convierte en salsa de queso que puede usarse como cobertura para nachos o vegetales. Ni siquiera hubo necesidad de cambiar el envase de vidrio. El único cambio fue en la etiqueta y en la leyenda de la tapa: se añadió el dibujo de un horno de microondas y las instrucciones para calentarlo; en la tapa dice claramente que hay que quitarla antes de calentar. El porcentaje de ventas se incrementó 35% respecto al año anterior ⁽⁶⁷⁾.

8) SUNLITE SNACK PELLETS de J. R. Milliong Co.: es una línea de botanas que pueden prepararse por fritura o bien por horneado en horno convencional o de microondas. Estan hechos a base de trigo, maíz, avena, arroz y papa. Cumple con las demandas de los alimentos altos en fibra, bajos en calorías y prácticamente libres

de grasa (menor a 1% de grasa) cuando son horneados. Se llaman pelets; tienen forma y sabores diferentes, desde sabor cebolla, taco, jalapeño, pizza y tocino hasta canela, mantequilla, naranja, plátano y chocolate entre otros. En horno convencional a 218 °C (425 °F) o en horno de microondas, en la máxima potencia, están listos en un minuto ⁽¹¹⁸⁾.

9) JIFFY POP: Existen en EUA por lo menos 31 marcas de palomitas especiales para microondas ⁽¹¹⁸⁾. Sin embargo el crecimiento en proporción no ha sido fenomenal; de hecho en 1986 creció el 82% de lo que creció en 1985. El empaque es un factor dominante tanto para atraer la atención del consumidor, como para ayudar al desarrollo del producto. Jiffy Pop son palomitas de maíz empacadas en cartón cubierto con CPET. Normalmente el CPET puede usarse también en hornos convencionales, pero esta es una versión más ligera, porque no se espera que se use en ellos. El empaque se mete al horno de microondas, los granos empiezan a reventar y a llenar el espacio entre el cartón y el CEPT. Utiliza una película metalizada que ayuda a calentar el maíz hasta una temperatura de 204 °C (400 °F) ⁽¹¹⁶⁾.

SITUACION ACTUAL DE LA ENERGIA DE MICROONDAS EN EL MUNDO

SITUACION A NIVEL INTERNACIONAL

Una manera objetiva de conocer el uso de la energía de microondas por el consumidor doméstico, es saber a través de estadísticas cuántos hornos de microondas se compran, qué porcentaje de la población lo hace y/o cuántos alimentos especiales para microondas hay en el mercado. Las estadísticas difieren un poco en los datos que presentan, dependiendo de la fuente, pero siguen una línea más o menos común.

En los países industrializados, el horno de microondas ya no es un artículo de lujo, sino algo bastante común. En Estados Unidos el 75 % de los hogares tienen un horno de microondas. Esto significa que más hogares poseen un horno de microondas que los que poseen tostadores, videocaseteras, lavavajillas o procesadores de alimentos ⁽¹⁴⁾ y más gente está considerando comprar un segundo horno que además de las microondas posea otra fuente de energía (hornos de combinación). En la figura 25 se muestra el porcentaje de hogares que se estima poseían horno de microondas en 1987.

El ritmo de vida actual es mucho más acelerado que hace algunos años. Es más común que tanto el hombre como la mujer trabajen fuera de casa y no tengan o deseen emplear tanto tiempo para cocinar sus alimentos como antes. En el 54% de los hogares en Estados Unidos, los dos miembros de la pareja trabajan ⁽⁹⁵⁾. El mismo fenómeno ocurre en países como Japón e Inglaterra. Se estima que el porcentaje de hogares que en 1989 tenían horno de

PENETRACION DE HORNOS DE
MICROONDAS A NIVEL INTERNACIONAL 1987

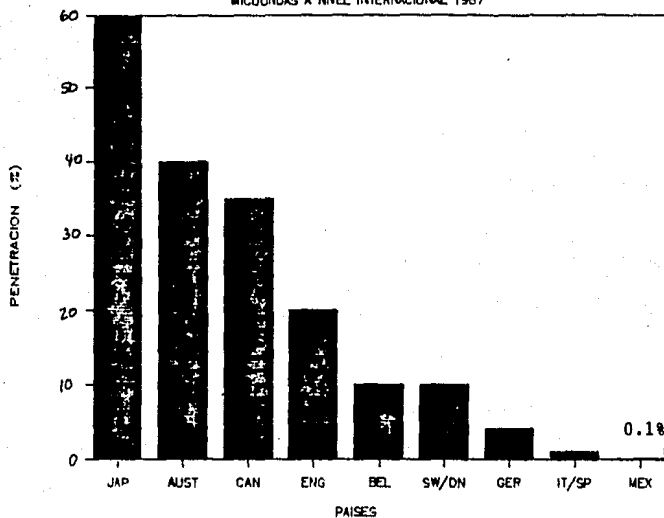


FIGURA 25. PORCENTAJE DE PENETRACION DE HORNOS DE
MICROONDAS (ESTIMADO) (95)

microondas era de 65 y 43% respectivamente ⁽¹³⁾. En otros países europeos, los hornos de microondas van penetrando en el mercado lentamente, como sucede en Alemania (4% de los hogares en 1987) y en Holanda (5% de los hogares en 1988) ⁽⁷⁾. En Europa, la comida congelada ha tenido gran aceptación. En Alemania e Inglaterra nueve de cada diez hogares tienen congelador y poco a poco va creciendo el número de los que tienen también horno de microondas ⁽⁷⁾.

La figura 26 muestra el número de nuevos productos de la categoría "listos para comerse" hechos especialmente para microondas de 1986 a 1987 en Estados Unidos, Japón e Inglaterra; en todos los casos va en aumento.

SITUACION A NIVEL NACIONAL

La figura 27 muestra el incremento en las importaciones de hornos de microondas a México. Como se puede apreciar, en 1984 era un volumen muy bajo (547 kgs). Para 1988, este volumen aumentó en cerca de 500,000 % (2 700 000 kgs) según los datos recopilados por SECOFI y BANCOMEXT ^(31,113,114,115,116). Las importaciones se presentan en kilos del producto porque los hornos que se importan son de tamaños muy variados y no se hace el cálculo por unidad de horno, sino por kilo de producto. Este aumento tan drástico refleja la apertura comercial o liberalización del comercio y el ingreso de México al GATT. El proceso de negociación para el ingreso de México al GATT comenzó en 1986 y la apertura comercial a finales de 1987 ⁽⁹³⁾. México importa hornos de microondas de países como República Federal de Alemania, Canadá, Belice, Estados Unidos, Japón, China, Corea del Norte y del Sur y Hong Kong entre otros. Suponiendo que cada horno pese entre 10 y 15 kilos, los 2,742,426 kgs representarían entre 182 y 275 mil unidades importadas en 1988. Frente a la proporción de la población

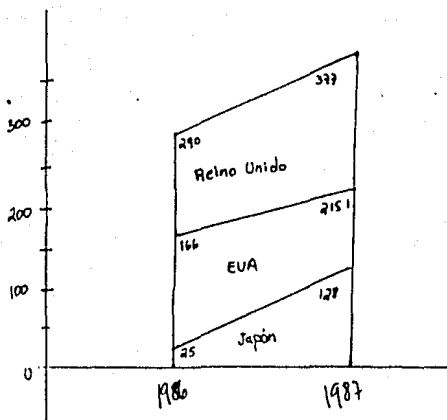


FIGURA 26. NUEVOS PRODUCTOS "LISTOS PARA COMERSE" INTRODUCIDOS AL MERCADO EN 1986-1987 (7)

IMPORTACION DE HORNOS DE MICROONDAS

A MEXICO

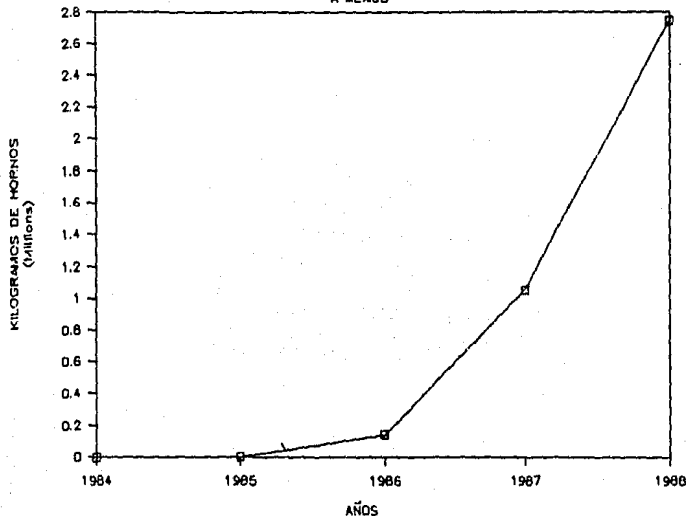


FIGURA 27. IMPORTACION DE HORNOS DE MICROONDAS DOMESTICOS A MEXICO (31,113, 114, 115, 116)

mexicana, no es un número importante, pero es claro que existe una tendencia al aumento considerable que de alguna manera, afectará al mercado nacional. Además junto con la importación de hornos, ha comenzado también la importación de alimentos preparados (abarrotes y especialidades) incluyendo los especiales para microondas, como palomitas de maíz de diferentes sabores, comida preparada congelada y estable a temperatura ambiente entre algunos otros.

En México no se elaboran productos especiales para microondas. Algunos de los ya fabricados se pueden adaptar a este modo de calentamiento y entonces se añaden en la etiqueta las instrucciones para calentarlos como es el caso de la comida preparada congelada. En México, Findus (Compañía Nestlé) elabora pizzas, lasaña y canelones congelados, pero existe un número cada vez mayor de pequeñas empresas que elaboran platillos congelados como pastas, crepas, guisados internacionales y regionales (tacos, tamales, etc). Existen también los chilaquiles, chicharrón y sopa de tortilla instantáneas de marca SabriSel que incluyen instrucciones para microondas.

FUTURO DE LAS MICROONDAS

Desde finales de los años 50, la industria procesadora de alimentos y la industria de equipo de microondas han estado en contacto. Existen más de 100 patentes en Estados Unidos que describen métodos donde utilizan las microondas para hornear, escaldar, cubrir, curar, cocinar, secar, fermentar, liofilizar, conservar, pasteurizar, esterilizar y temperar entre otros. Se han hecho investigaciones sobre estos procesos en Brasil, Canadá, China, Egipto, Corea del Sur, Israel, Italia, Japón, URSS, Suecia, Estados Unidos, Inglaterra y Yugoslavia entre otros. Sin embargo, existen pocas aplicaciones a nivel industrial en el mundo a pesar de los millones de dólares que se han invertido en su investigación. Muchas de las plantas piloto e instalaciones industriales han dejado de funcionar; los procesos que han logrado sobrevivir son muy pocos (vease Costo del procesamiento con microondas).

Aparte del fracaso del proceso de papas fritas descrito en algunos artículos, el resto sugiere que los demás serán un éxito y que pronto entrarán en funcionamiento. Factores económicos y técnicos influyen en la creación e instalación de estos procesos, pero no son los únicos ⁽⁶⁸⁾.

Se ha visto a la energía de microondas como la panacea, sin embargo no siempre es útil. Lo más importante es definir si un proceso con microondas es realmente necesario antes de empezar con todo el trabajo de investigación. Debe considerarse desde todos

los puntos de vista en contraposición con otros métodos:

1. Problema: el punto clave en este y muchos otros casos, es identificar el problema que se quiere resolver analizando el producto como sistema junto con el equipo ya instalado. Puede suceder que sea más barato instalar una segunda línea de producción para aumentar la capacidad que instalar un nuevo equipo con microondas y el resultado que se obtenga sea el mismo.
2. Economía del proceso: uno de los atractivos de las microondas es la posibilidad de reducción de pérdidas durante la cocción como es el caso del pollo precocido. El rendimiento realmente aumenta, pero el productor no siempre puede obtener un beneficio económico con ello. El pollo precocido se vende por pieza y no por peso y es de precio controlado. Obtendría más ventaja si cocinara piezas más chicas para obtener el mismo rendimiento que con piezas grandes con el convencional. Pero le costaría más trabajo y dinero conseguir piezas de un tamaño menor específico. Estas son las razones que se han identificado como las responsables del fracaso de este sistema.
3. Otras opciones: es recomendable evaluar otras opciones de proceso y ver si el efecto dado por las microondas es realmente único y si la calidad obtenida frente al costo de inversión es realmente conveniente. O si alternando unas y otras se puede lograr el efecto deseado a un menor costo.
4. Reducción de trabajo: se debe considerar si un cambio de equipo reducirá directa o indirectamente la carga de trabajo y el reflejo de este cambio en cuestión de tiempo y de dinero.

Todas estas consideraciones deben hacerse en equipo, desde los puntos de vista del tecnólogo en alimentos, del ingeniero especialista en microondas, de la gente de mercadotecnia, ventas,

operaciones, etc. Si después de todo ello siguen siendo una opción atractiva, entonces hay que empezar con el trabajo de investigación y desarrollo. El principal problema al que se enfrenta el productor, una vez desarrollado el proceso, es la falta de experiencia en el campo. Al instalar un nuevo proceso es indispensable una adecuada capacitación del personal involucrado. Esta preparación debe llevarla a cabo tanto la industria de alimentos como el proveedor del equipo de acuerdo con las especificaciones desarrolladas en conjunto.

Una vez que se ha escogido el proceso que se va a instalar con equipo de microondas, antes de empezar hay que tomar en cuenta las siguientes recomendaciones:

1. Es probable que el gasto de dinero sea mayor al proyectado en un principio porque se pueden presentar problemas de adaptación y reajuste de los diseños.
2. Escoger un proveedor de equipo de confianza .
3. Expresar claramente las especificaciones necesarias.
4. Comunicar cualquier duda que se tenga .
5. Contar con un diseñador de equipo de alimentos .
6. Contar con un equipo de investigación y desarrollo preparado en el área .

Cubriendo estos puntos, se tendrá una mayor probabilidad de éxito en el desarrollo de un nuevo proceso con microondas ^(32,68).

El desarrollo de equipo, mejoras en su eficiencia y costo, la comodidad que ofrecen respecto a ahorro de espacio, tiempo y

energía son un incentivo para el desarrollo de nuevos procesos industriales. La investigación en el campo de propiedades eléctricas de los alimentos y en sus patrones de calentamiento debe ir de la mano del diseño de estos nuevos procesos.

En México el factor económico ha marcado la pauta para el desarrollo industrial. La dependencia económica y tecnológica en muchos aspectos frena estas investigaciones; quizá la situación nacional del momento no lo permita, como sucede con muchas otras cosas, pero es importante conocer este potencial y en la medida de lo posible adaptarlo a la realidad nacional. Es un camino no explorado en México que ofrece, por las dificultades antes mencionadas, grandes retos y muchas posibilidades. Y la manera de empezar es reconociendo el campo que se va a explorar.

RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

1. Desarrollar la investigación del área de microondas para alimentos en México y los posibles campos de aplicación. Evaluar la factibilidad de adaptar alimentos tradicionales a estos procesos.
2. Promover la difusión académica de los conocimientos teórico-prácticos del tema en el país.
3. Evaluar los costos de los procesos, de los hornos y de los productos de importación respecto a la economía y mercado del país frente a los tradicionales (de gas principalmente) en la actualidad y a futuro.
4. Establecer una serie de legislaciones en torno a todas las aplicaciones de la energía de microondas.

CONCLUSIONES

1. El estilo de vida en nuestro país como en todo el mundo está en constante cambio. Las innovaciones que ofrece la energía de microondas en el área de tecnología de alimentos son una alternativa que satisface los requerimientos de disponibilidad de tiempo y de alimentos acorde a la sociedad actual.
2. El desarrollo de la tecnología con base en la energía de microondas en México, así como su disponibilidad son actualmente muy bajos. Estos factores provocan que su costo sea alto. Sin embargo, una adecuada investigación puede llevar a un desarrollo más amplio y accesible.
3. La energía de microondas presenta una serie de ventajas que necesitan de un conocimiento profundo para obtener el mejor provecho de ellas. Es una tecnología diferente que requiere de un desarrollo propio, hecho indiscutible respecto al desarrollo de procesos industriales (equipos, instrumentos de control, condiciones de proceso, etc) y de nuevos productos desde la formulación (ingredientes, aditivos, etc) hasta el empaque.
4. La legislación en Estados Unidos en el área de microondas ha establecido normas de control de emisión de microondas fuera del equipo que puedan alcanzar al consumidor y son: para equipo antes de salir a la venta 1 mW/cm^2 y para equipo a la venta y durante toda su vida útil 5 mW/cm^2 medido a 5 cm del sellado de la puerta. También existe una norma que limita la exposición a un campo de microondas (en genral, no sólo para las frecuencias

permitidas en alimentos): 10 mW/cm^2 para exposición de cuerpo completo durante un periodo ilimitado de tiempo bajo condiciones ambientales normales. Estos valores protegen la salud y la seguridad del consumidor, ya que las microondas aparentemente no causan otro tipo de daños que los originados por efectos térmicos.

En los alimentos no originan compuestos tóxicos porque su nivel de energía no es suficiente para romper ningún tipo de enlace químico y promover reacciones indeseables. Por el contrario, la cantidad de nutrientes que se retienen generalmente es mayor o igual a la retenida por métodos convencionales porque el tiempo de proceso es menor.

5. Las microondas ofrecen a la industria grandes ventajas que afectan directamente la productividad: el equipo ocupa menor espacio, la velocidad del proceso aumenta, las condiciones ambientales de trabajo se favorecen porque no calientan el aire no hay emisión de vapores y también se reduce el ruido dentro del proceso, el rendimiento puede ser mayor en algunos casos y la calidad del producto puede mejorarse también.

6. El combustible es un recurso no renovable, que conforme se va agotando, eleva su precio. El desarrollo de la tecnología de microondas ha logrado reducir su costo y promete reducirlo cada vez más, por lo que la energía de microondas se puede considerar como una fuente alternativa a la del petróleo.

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

1. **ABRA, HILL** Determination of moisture content of potatoes by microwave energy.
Journal of Microwave Power 16(3&4)249-252 1981
2. **ADEY** Effects of microwaves on cells and molecules
Nature 333 p.401 1988
3. **ALEXANDER, SURREL, et.al.** Microwave burns to children: an unusual manifestation of child abuse
Pediatrics 79(2)255-260 1987
4. **ANNIS** Design and use of domestic microwave ovens.
J. Food Protection 46(3)266-269 1980
5. **ANON** Campbell Soup Co.: Souper-combo vegetable soup and cheeseburger.
Prep. Foods New Prod. annual p.113 1988a
6. **ANON** Dual-oven tray
Food Engineering 55(8)59 1983
7. **ANON** Frozen Foods up...again.
Food Eng. Int. 13(2)21-22 1988b
8. **ANON** Hanover Brands Inc: Myers cream of asparragus soup.
Prep. Foods New Prod. Annual p. 117 1988c
9. **ANON** Ingredients and packages for microwavable foods.
Food Technol. 41(6)101-104 1987a
10. **ANON** Microwavable ingredients simulate conventional flavors.
Prep Foods 157(2)130 1988d
11. **ANON** Microwavable frozen dinner line is cost-controlled to fit budgets.
Food Eng. 56(7)31 1984
12. **ANON** Microwave/convection ovens.
Consumer Reports 54(9)580-586 1989a
13. **ANON.** Microwave food: hotter than ever!
Food Eng. Int. 14(8)23 1989
14. **ANON** Microwave ovens.
Consumer Reports 54(3)145-151 1989c
15. **ANON** Microwave use growing in Holand.
Food Eng. Int. 13(4)23 1988
16. **ANON** Packaging "Pops" for new microwave popcorn.
Packaging 32(6)14 1987b
17. **ANON** Pepperdige Farm Inc.: American Collection desserts, newport hot fudge brownie.
Prep. Foods New Prod. Annual p.125 1988f

18. ANON Popcorn.
Consumer Reports Buyers Guide Issue 241-245 1990
19. ANON Ready-to-eat foods usage tied to microwave ovens
Food Eng. Int. 13(4)23 1988g
20. ANON Retort pouched meals specially for kids.
Food Processing 49(9)176 1988
21. ANON Shelf stable foods in microwavable plastic trays.
Food Production/Management 108(12)6-7 1986.
22. ANON Small microwave ovens.
Consumer Reports 54(11)692-697 1989d
23. ANON Special report: consumer survey reveals surprises.
Packaging 32(8)47-55 1987c
24. ANON Thermoplastic chain for microwave drying.
Prep. Foods 157(7)92 1988i
25. BACCI, CHECCOCCI, et al Biophysical and cellular effects of
microwaves interacting with plant tissues.
J. Micr. Power 20(3)153-159 1985
26. BADUI Química de los Alimentos
Ed. Alhambra Universidad 2a. reimp. 1984
27. BADUI Diccionario de Tecnología de Alimentos
Ed. Alhambra Universidad 1988
28. BALCER-KUBICZEK, HARRISON Evidence for microwave
carcinogenesis in vitro
Carcinogenesis 6(6)859-864 1985
29. BALDWIN, ANATHESWARAN Effect of microwave blanching on the
yield and quality of canned mushrooms.
J. Food Sci. 51(4)965-966 1986
30. BALDWIN Microwave cooking: an overview.
J. Food Protection 46(3)266-269 1983
31. BANCOMEXT Importaciones comparativas por producto-país 84/85
(fracción arancelaria 8512A0023) hoja 1059
32. BEDROSIAM The necessary ingredients for succesfull microwave
applications in the food industry.
J. Micro. Power 8(2)173-178 1973
33. BEST Microwave Formulation: a new wave of thinking
Prep. Foods 156(11)70-74 1987
34. BRENNAN, et al Las operaciones de la Ingeniería de Alimentos.
Ed. Acribia, España 1970
35. BUCKSBAUM Microwave oven door seal characteristics.
J. Microw. Power 16(1)65-71 1981
36. BYRNE Preserving that homemade taste
Food Manufacture 63(5)57-59 1988
37. CARROLL Hydrocolloid functions to improve stability of
microwavable foods
Food Technol. (6)96-100 198938. CASTLE, JICKELLIS, et al
Migration of the plasticizer acetyl butyl citrate from plastic
films into foods during microwave cooking and other domestic use.
J. Food Protection 51(12)916-919 1988
39. CREMER Sensory quality of spaghetti with meat sauce after
varying holding tratments and heating in institutional microwave
and convection ovens.

- J. Food Sci. 48()1579-1582 1983
40. CREMER, RICHMAN Sensory quality of turkey breasts and energy consumption for roasting in a convection oven and reheating in IR, microwave and convection ovens.
J. Food Sci. 52(4)846-850 1987
41. CULLARS LOVINGOOD Microwave/convection versus electric range ovens: tradeoffs in energy use, time and food quality.
J. Microw. Power 21(1)1-8 1986
42. CURNUTTE Principles of Microwave radiation
J Food Prot. 43(8)618-624 1980
43. CZERSKI Radiofrequency radiation exposure limits in eastern europe.
J. Microw. Power 20(4)233-239 1985
44. CHENG, BALDWIN Quality of pork cooked by stir-fry and two microwave procedures.
J. Microw. Power 20(4)261-265 1985
45. CHIU, TATEISHI, et al Microwave treatment of pasteurized milk.
J. Microw. Power 19(4)269-272 1984
46. DAHL, MATTHEWS, et al Cook/chill food service systems with a microwave oven: aerobic contents from beef loaf, potatoes and frozen green beans.
J. Microw. Power 15(2)95-105 1980
47. DAVIDOVICH, PIGOTT The use of microwave power in the fabrication of kamaboko.
J. Microw. Power 17(4)335-340 1982
48. DECAREAU Microwave food processing equipment throughout the world
Food Technol. 40(6)99-105 1986
49. DECAREAU, MUDGETT Microwaves in the food industry.
Academic Press Inc. N.Y. 1985
50. DEAREAU What's ahead for food technology?
Food Eng. Int. 13(4)35-36 1988
51. DESROSIER, et al Elementos de Tecnología de Alimentos.
CECSA México 4a. Ed. 1986
52. DRUIN, TARR Shelf-stable soups: behind the scenes at Campbell Soup.
Prep. Foods New Prod. Annual p.224 1988.
53. DUXBURY Corn crumb breading yields microwave crispness.
Food Processing 49(3)27-28 1988
54. DUXBURY R&D directions for the 1990's.
Food Processing 49(9)19-28 1988
55. DZIEZAK Microwavable foods-industry's response to consumers demands for convenience.
Food Technol. 41(6)52-62 1987
56. EDGAR The economics of microwave processing in the food industry.
Food Technol. 40(6)106-112 1986
57. ELY Science and standards.
J. Microw. Power 20(2)137 1985
58. ESAKA, SUZUKI, et al Inactivation of lipoxygenase and trypsin inhibitor in soybeans on microwave irradiation

- Agr. Biol. Chem. 50(9)2395-2396 1986
59. EVANS, GORDON, et al Cross-classification technique applied to the evaluation of cake surface characteristics.
Cereal Chem. 61(4)292-294 1984
60. FOSTER The microwave problem.
Scientific American 225(3)32-39 1986
61. FOSTER, PICKARD The risk of risk research
Nature 330 p. 531 1987
62. FRAMPTON Microwave magic
Food Manufacture 63(5)53-55 1988
63. FRAZIER Microbiología de los Alimentos.
Ed. Acribia España 1962
64. FREEMANK Deposition of alloy metalization by sputtering.
Food Eng. 59(10)52-53 1987
65. FUNG, CUNNINGHAM Effects of microwaves on microorganisms in foods.
J. Food Protection 43(8)641-650 1980
66. GABRIEL, GRANT Microwave absorption in aqueous solutions of DNA.
Nature 328(9)145-146 1987
67. GAMBLE, RICE Effect of pre-frying drying of oil uptake and distribution in potatoe crisp manufacture.
Internal. J. of Food Sci. and Technol. 22(5)535-548 1987
68. GEARLING Microwaves in the food industry: promise and reality.
Food Technology 40(6)82-83 1986
69. GOOD Practical applications of microwave energy: introduction.
J. Food Prot. 43(8)617 1980
70. GRONING, JANSKE Germ reduction by microwave specific effects (german).
Pharmazie 42(3)167-168 1987
71. GUILLEMONAT Enciclopedia de las ciencias Larousse: Electricidad y Magnetismo.
Ed. Larousse vol. 2 México 1978
72. GUPTA Microondas.
Ed. Limusa México 1983
73. HARRISON Microwave vs. conventional cooking methods: effects on food quality attributes.
J. Food Prot. 43(8)633-637 1980
74. HEARN, SGOUTAS, et al Stability of polyunsaturated fatty acids after microwave cooking of fish.
J. Food Sci. 52(5)1430-1431 1987
75. HEUER Alternatives to frozen meals.
Packaging 32(6)11-12 1987
76. HOLMGREN Susceptors in packages improve microwaving
Packaging 32(9)120-122 1987
77. JACKSON, ROONEY Rapid determination of moisture in masa with a domestic microwave oven
Cereal Chemistry 64(3)196-198 1987
78. JENG, KACZMAREK, et al Mechanism of microwave sterilization in the dry state.
Appl. and Environ. Microb. 53(9)2133-2137 1987

79. KALSEC INC .Spice oleoresins, spice oils and vegetable colorants.
Conferencia México octubre 1988
80. KNUTSON, MARTH, et al Microwave heating of food
Lebensmittel Wissenschaft und Technologie 20(3)101-110 1987
81. KNUTSON, MARTH, et al Use of microwave ovens to pasteurize milk
J. Food Prot. 51(9)715-719 1988
82. LA BEL Processed Meat flavors provide core notes to microwavable entrees
Food Proc. Eng. 49(3)34 1988
83. LAMBERT Biological hazards of microwave radiation.
J. Food Prot. 43(8)625-628 1980
84. LANE, BOSCHUNG, et al Ascorbic acid retention of selected vegetables blanched by microwave and conventional methods.
J. Food Quality 8(2/3)139-144 1985
85. LEMAIRE Microwave safe aluminum tray
Food Eng. 56(8)74 1984
86. LEVINE Fisicoquímica
Mac Grav Hill México 1981
87. LEVITT The microwave revolution.
Dairy Foods 89(7)21,24,26 1988
88. LIN, ANANTHESWARAN Studies on popping of popcorn in a microwave oven.
J. Food Sci. 53(6)1746-1749 1988
89. LINGLE Fine tuning microwavable packaging.
Prep. Foods 156(11)76-82 1987
90. LINGLE The year in packaging: a pictorial review
Prep. Foods New Prod. Annual p.216-217 1988
91. LOPEZ-GAVITO, FIGOTT Effects of microwave cooking on textural characteristics of battered and breaded fish products.
J. Microw. Power 18(4)345-353 1983
92. MALEEV, KASHPURK, et al Does DNA absorb microwave energy?
Biopolymers 26(11)1965-1970 1987
93. MALPICA La posición de México frente a los códigos de conducta del GATT.
Comercio Exterior 38(6)506-512 1988
94. MENENDEZ PIDAL, et al Gran Enciclopedia del Mundo.
Durban Editores tomo 7 España 1968
95. MESSENGER The microwave: opening new doors to processors
Prep. Foods 156(11)66-69 1982
96. MOLINA Las microondas: realidad de nuestro tiempo
Revista ATAM por publicarse 1990
97. MUDGETT, GOLDBLITH, et al Dielectric behavior of a semi-solid food at low, intermediate and high moisture contents.
J. Microw. Power 15(1)28-35 1980
98. MUDGETT Microwave Food Processing.
Food Technol. 43(1)117-124 1989
99. MUDGETT Microwave properties and heating characteristics of foods.
Food Technol. 40(6)84-93 1986

100. NELSON Issues and answers on microwave food safety.
Prep. Foods 158(6)15-16 1989
101. PAYTON, BALDWIN Comparison of top round steaks cooked by microwave-convection, forced-air convection and conventional ovens.
J. Microw. Power 20(4)255-259 1985
102. PEI Microwave baking: new developments
Bakers Digest 56(2)8,10,32 1982
103. PSZCZOLA Application of the Delta T theory in the design of microwavable flavors.
Food Technol. 42(9)102-103 1988
104. RICE Microwavable Bacon: you can throw away the frying pan.
Food Proc. 7(7)102-104 1988
105. RICHARDSON, PHILLIPS, et al Energy required to heat convenience and home prepared foods with an electric range and a microwave oven *J. Microw. Power* 19(2)89-95 1984
106. ROSENBERG, BOGL Microwave pasteurization, sterilization, blanching and pest control in the food industry.
Food Technol. 41(6)92-99 1987a
107. ROSENBERG, BOGL Microwave thawing, drying and baking in the food industry.
Food Technol. 41(6)85-91 1987b
108. RUBIO Así funciona el horno de microondas.
Muy Interesante año 6, no.7 25-28 1989
109. SAWYER, SIMIN BIGLARI Effects of a polyvinylidene chloride wrap on the quality of microwave cooked foods.
J. Microw. Power 19(1)25-33 1984
110. SCHIFFMANN Food product development for microwave processing.
Food Technol. 40(6)94-98 1986
111. SCHIFFMANN Microwave proofing and baking bread utilizing metal pans.
US Patent no. 4,271,203 1981
112. SCHWAN Microwave and RF hazard standard considerations.
J. Microwave Power 17(1)1-9 1982
113. SECOFI Información de Importaciones de 1986
(frac. aran. 8512A0023) pag. 792
114. SECOFI Información de Importaciones de 1987
(8512A0023) p. 815-816
115. SECOFI Información de Importaciones de 1988
(85165001) pag. 1572-1573
116. SECOFI Información de importaciones de 1989 hasta junio
(85165001) pag. 1235
117. SEMAT, BAUMEL Fundamentos de Física.
Ed. Interamericana México 1976
118. SHORT MILLING CO. Sunlite Snack pelets: microwavable snacks
Folleto 1989
119. SMITH Food-finishing microwave tunnel utilizes jet impingement and infrared sensing for process control
Food Technol. 40(6)113-116 1986
120. SONNESSA, ANDER Principios de Química.
Ed. Limusa México 1979

121. SVENSON Microwave systems save time, energy.
Prep. Foods 156(11)86-90 1982
122. THOMAS, DECAREAU, et al Thiamin and riboflavin content of flake-cut formed pork roasts.
J. Microw. Power 17(1)83-87 1982
123. 3M Make your microweavable product a hotter item.
 Folleto pubblicitario 1989
124. TSEN Microwave energy for bread baking and its effect on the nutritive value of bread: a review.
J. Food Prot. 43(8)638-640 1980
125. VASAVADA Effect of microwave energy on bacteria.
J. Microw. Power 21(3)187-188 1986
126. WADSWORTH, KOLTUN Physicochemical properties and cooking quality of microwave-dried rice.
Cereal Chemistry 63(4)346-348 1986
127. WRIGHT-RUDOLPH, WALKER, et al Survival of Clostridium perfringens and aerobic bacteria in ground beef patties during microwave and conventional cookery.
J. Food Prot. 49(3)203-206 1986
128. YOSHIDA, TAGA, et al A gas/microwave combination oven.
J. Microw. Power 16(1)35-41 1981
129. YOSHIDA, OMURA, et al Effects of microwave cooking on the molecular species of pumpkin seed triacylglycerols.
Nutrition Reports Internal. 37(2)259-268 1988
130. YOSHIDA, KAJIMOTO Effects of microwave treatment on the trypsin inhibitor and molecular species of triglycerides in soybeans.
J. Food Sci. 53(6)1756-1760 1988
131. ZIMMERMANN Evaluation of microwave cooking procedures and ovens for devitalizing trichinae in pork roasts.
J. Food Sci. 48()856-860,899 1983
132. ZIMMERAMNN An approach to safe microwave cooking of pork roasts containing trichinella spiralis.
J. Food Sci. 48()1715-1718,1722 1983
133. ZIMMERMANN Microwave recocking of pork roasts to attain 76.7 C throughout.
J. Food Sci. 49(3)970, 971,974 1984
134. ZIMMERMANN Power and cooking time relationships for devitalization of trichinae in pork roasts ooked in microwave ovens.
J. Food Sci. 49()824-826 1984
135. ZYLEMA, GRIDER, et al Model wheat starch systems heated by microwave irradiation and conduction with equalized heating times.
Cereal Chemistry 62(2)447-453 1986
136. BRENNAN, BUTTERS, et. al. Las operaciones en la Ingeniería de los Alimentos
 Acríbia España 2a. ed. 1980