



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN

“PROCEDIMIENTOS Y CONDICIONES ADECUADAS
PARA LA DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS
TEXTURALES EN QUESO TIPO PANELA, MAYONESA
Y MARGARINA COMERCIALES POR MEDIO DE
TEXTURÓMETRO Y PENETRÓMETRO UNIVERSAL”

1988

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO EN ALIMENTOS
P R E S E N T A :
FEDERICO SÁNCHEZ CERVANTES

ASESOR: I.B.Q. NORMA B. CASAS ALENCASER



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta 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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR

DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN



ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO
DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLAN
P R E S E N T E .

AT'N: Q. MA. DEL CARMEN GARCIA MIJARES
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la F.E.S. - C.

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

Procedimientos y condiciones adecuadas para la determinación de parámetros texturales en queso tipo Panela, mayonesa y margarina comerciales por medio de Texturómetro y Penetrómetro Universal.

que presenta el pasante: Federico Sánchez Cervantes.

con numero de cuenta: 8612437-3 para obtener el TITULO de: Ingeniero en Alimentos.

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

A T E N T A M E N T E .

"POR MI FAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Edo. de Méx., a 21 de Mayo de 2001

PRESIDENTE	<u>I.B.Q. Fernando Beristain</u>	
VOCAL	<u>I.B.Q. Norma B. Casas Alencaster</u>	
SECRETARIO	<u>M. en C. Adriana Llorente Bousquets</u>	
PRIMER SUPLENTE	<u>I.Q. Oscar Germán Ibarra</u>	
SEGUNDO SUPLENTE	<u>I.A. María Eugenia Ramírez Ortiz</u>	

AGRADECIMIENTOS

A DIOS POR TODAS LAS BENDICIONES RECIBIDAS

A MIS PADRES MANUEL Y MANUELA POR SU APOYO INCONDICIONAL EN TODO MOMENTO DE MI TRAYECTORIA ACADEMICA QUE ME BRINDARON PARA LOGRAR LA HERENCIA MÁS VALIOSA EN LA VIDA

A MI HIJO MAURICIO QUE TAL VEZ NO COMPRENDA EL POR QUE DE MIS AUSENCIAS, PERO ALGUN DIA LO ENTENDERA Y POR RECIBIRME SIEMPRE CON UNA SONRISA, POR COMPARTIR CONMIGO SUS ALEGRÍAS Y TRANSMITIRME ESA FORTALEZA PARA LOGRAR TODO LO QUE QUIERO EN LA VIDA

A MI TAN QUERIDA ESPOSA QUE MÁS QUE UNA PAREJA ES MI TODO, YA QUE POR SU GRAN APOYO, POR SU ESFUERZO E INCLUSO DESVELO QUE PASAMOS JUNTOS SIEMPRE CON LA ESPERANZA DE OBTENER BUENOS FRUTOS, POR ESO Y POR MUCHO MÁS TE AMO

LE AGRADEZCO MUCHO A MI SUEGRA POR TODOS LOS CUIDADOS Y ATENCIONES QUE A TENIDO CON MAURICIO EN NUESTRA AUSENCIA Y QUE GRACIAS A ELLA Y A MIS CUÑADAS E TENIDO EL TIEMPO SUFICIENTE PARA REALIZAR ESTA META.

ESTOY ETERNAMENTE AGRADECIDO CON MI ASESORA DE TESIS PROFESORA NORMA CASAS POR SU APOYO, TRANSMISIÓN DE CONOCIMIENTOS, POR GUIARME EN MI PREPARACIÓN DEL EXAMEN A TITULO Y POR SU TIEMPO INVERTIDO.

LES AGRADEZCO TAMBIÉN A TODOS MIS COMPAÑEROS DE LA GENERACIÓN Y LOS DE OTRAS GENERACIONES ALEDAÑAS, PERO EN ESPECIAL A FRANCISCO BELLO, ANGELA PERALTA, MAURICIO HERRERA, PABLO BENITEZ, YOLANDA RULE, JESÚS LÓPEZ, ENTRE OTROS

INDICE GENERAL

INDICES	
RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	3
OBJETIVO GENERAL	6
OBJETIVOS PARTICULARES	6
CAPITULO I: ANTECEDENTES	7
1.1 REOLOGIA Y TEXTURA	7
1.2 DETERMINACIONES FUNDAMENTALES	8
1.3 DETERMINACIONES EMPÍRICAS	14
1.4 DETERMINACIONES IMITATIVAS	17
1.5 PENETROMETRÍA	18
1.5.1 PENETRÓMETRO UNIVERSAL	19
1.5.1.1 CALCULO DE DUREZA CON EL PENETRÓMETRO UNIVERSAL	23
1.5.2 TEXTURÓMETRO	23
1.5.2.1 TIPOS DE PRUEBA Y DISPOSITIVOS	23
1.5.2.2 DESCRIPCIÓN DE PRUEBAS EFECTUADAS EN ESTE TRABAJO	25
1.6 EMULSIONES	30
1.6.1 COMPONENTES DE LA EMULSIÓN	31
1.6.2 ESTABILIDAD EN EMULSIONES	32
1.7 CARACTERÍSTICAS DE MAYONESA, MARGARINA Y QUESO TIPO PANELA	33
1.8 PRODUCCIÓN Y VENTA DE QUESO TIPO PANELA Y MARGARINA EN MÉXICO	35
CAPITULO II : DESARROLLO EXPERIMENTAL	38
2.1 MATERIALES	38
2.2 MÉTODOS	45
2.2.1 PRUEBAS PARA QUESO TIPO PANELA CON PENETRÓMETRO UNIVERSAL	45
2.2.2 PRUEBAS PARA MAYONESA CON PENETRÓMETRO UNIVERSAL	48
2.2.3 PRUEBAS PARA MARGARINA CON PENETRÓMETRO UNIVERSAL	49
2.2.4 SELECCIÓN DE LAS PRUEBAS Y DISPOSITIVOS DEL TEXTURÓMETRO QUE MÁS SE ADECUEN A LA EMULSIÓN ALIMENTICIA SEGÚN SUS PROPIEDADES	51

2.2.5	DETERMINACIÓN DE LAS DIMENSIONES DE MUESTRA MÁS ADECUADA PARA CADA TIPO DE PRUEBA EN EL TEXTURÓMETRO.	52
2.2.6	ESTRUCTURACIÓN DE UN PROYECTO PARA CADA PRUEBA QUE INVOLUCRE LAS CONDICIONES DE PRUEBA, CARACTERÍSTICAS DE GRÁFICAS RESULTANTES Y CÁLCULO DE PARÁMETROS TEXTURALES	54
	 CAPITULO III : ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LAS DIFERENTES PRUEBAS CON LOS DOS INSTRUMENTOS EMPLEADOS.	 62
3 1	ANÁLISIS DE RESULTADOS PARA PRUEBAS CON PENETRÓMETRO UNIVERSAL	62
3 1.1	QUESO TIPO PANELA	62
3 1.2	MAYONESA	64
3 1.3	MARGARINA	66
3 1.4	CONDICIONES DE PRUEBA RESULTANTES CON PENETRÓMETRO UNIVERSAL	69
3 2	ANÁLISIS DE RESULTADOS PARA PRUEBAS CON TEXTURÓMETRO	70
3 2.1	PARÁMETROS TEXTURALES DE ADHESIVIDAD EN MARGARINA	70
3 2.2	PARÁMETROS TEXTURALES DE DUREZA EN MARGARINA (CONO, ESFERA, AGUJA)	72
3 2.3	PARÁMETROS TEXTURALES DE ESTABILIDAD EN MAYONESA	75
3 2.4	PARÁMETROS TEXTURALES DE TPA EN QUESO PANELA	77
3 2.5	PARÁMETROS TEXTURALES DE DUREZA EN QUESO TIPO PANELA (TRES PICOS)	79
3 2.6	PARÁMETROS TEXTURALES DE CREEP EN QUESO TIPO PANELA	81
3 2.7	PARÁMETROS TEXTURALES DE DUREZA CON AGUJA EN QUESO PANELA Y MARGARINA	85
3 2.8	PARÁMETROS TEXTURALES DE RELAJACION CON TEXTURÓMETRO	87
	 CAPITULO IV : CONCLUSIONES	 89
	 CAPITULO V : BIBLIOGRAFIA	 91
	ANEXOS	93
	ANEXO 1 · PROCEDIMIENTO DE USO DEL TEXTURÓMETRO TAXT2	93
	ANEXO 2 : DESARROLLO DE FÓRMULAS PARA EL CÁLCULO DE LA DUREZA EN PENETRÓMETRO UNIVERSAL	98
	ANEXO 3 · MACROS APLICADAS A LAS GRÁFICAS DE LOS MATERIALES SELECCIONADOS Y PARA OTROS SIMILARES CON EL TEXTURÓMETRO	104
	NOMENCLATURA	108

INDICE DE CUADROS

1.0	Partes componentes del Penetrómetro Universal	20
2.1	Diagrama de experimentación	39
3.1	Efecto de Dispositivo cono aluminio c/100 g de peso agregado en queso tipo Panela	62
3.2	Efecto de Dispositivo: aguja s/peso agregado en queso tipo Panela	62
3.3	Efecto de Altura aguja s/peso agregado a 75 seg. en queso tipo Panela	63
3.4	Efecto de Área : aguja s/peso agregado a 75 seg. en queso tipo Panela	63
3.5	Efecto de Altura (3.5cm) cono aluminio s/peso en mayonesa	64
3.6	Efecto de Altura (4.5cm) cono aluminio s/peso agregado en mayonesa	65
3.7	Efecto de Dispositivo . cono aluminio s/peso agregado en mayonesa	65
3.8	Efecto de Dispositivo . cono aluminio s/50 g agregado en mayonesa	65
3.9	Efecto de Dispositivo cono aluminio s/100 g de peso agregado en mayonesa	66
3.10	Efecto de Dispositivo cono aluminio c/50 g de peso agregado en margarina	67
3.11	Efecto de Dispositivo cono aluminio c/100 g de peso agregado en margarina	67
3.12	Efecto de Dispositivo . cono aluminio s/peso agregado en margarina	68
3.13	Efecto de Área (3x3cm) en margarina (cono aluminio c/50 g de peso agregado)	68
3.14	Efecto de Área (4x4cm) en margarina (cono aluminio c/50 g de peso agregado)	68
3.15	Condiciones de prueba para Penetrómetro Universal	69
3.16	Parámetros texturales de adhesividad en margarina	70
3.17	Parámetros texturales de dureza en margarina	72
3.18	Parámetros texturales de estabilidad en mayonesa	75
3.19	Parámetros texturales de TPA en queso tipo Panela	77
3.20	Parámetros texturales de dureza en queso tipo Panela	79
3.21	Parámetros texturales de prueba de creep en queso tipo Panela por aplicación de macros	81
3.22	Parámetros texturales de prueba de creep en queso tipo Panela al aplicar el modelo de Burger	81
3.23	Parámetros texturales de dureza con aguja en queso tipo Panela y margarina	85
3.24	Parámetros texturales de relajación en queso tipo Panela, mayonesa y margarina	87
A-2.1	Dimensiones de los dispositivos del Penetrómetro Universal	101

INDICE DE FIGURAS

1 0	Relajación en el Modelo de Maxwell	10
1.1	Modelo gráfico y mecánico de Maxwell	11
1.2	Modelo de Kelvin-Voigt	12
1.3	Modelo de Burger (gráfico y mecánico)	13
1.4	Esquema del Penetrómetro Universal	21
1 5	Curva típica de Análisis de Perfil de Textura	25
1 6	Curva típica de adhesividad	27
1.7	Curva típica de prueba de dureza	28
1 8	Curva típica de "curva cíclica" (10 ciclos)	28
1 9	Representación gráfica de la prueba de creep y sus etapas	29
1 10	Gráfica típica de pruebas de relajación	30
1 11	Análisis de producción y ventas de queso tipo Panela en México	36
1 12	Análisis de producción y ventas de margarina en México	37
2 1	Recipiente para muestras de mayonesa	43
2 2	Obtención de muestras de margarina presentación de 90 g	44
2.3	Obtención de muestras de margarina presentación de 225 g	45
2 4	Dimensiones de muestra tentativa para queso tipo Panela	46
2.5	Dimensiones de muestras de margarina 90 g	49
2 6	Dimensiones de muestra de margarina 225 g	49
3 1	Gráfica de adhesividad en margarina con Texturómetro	71
3 2	Gráfica de dureza en margarina con Texturómetro (cono, esfera, aguja)	74
3 3	Gráfica de estabilidad en mayonesa con Texturómetro	76
3 4	Gráfica de TPA en queso tipo Panela con Texturómetro	78
3.5	Gráfica de dureza en queso tipo Panela (tres picos)	80
3.6	Gráfica de creep en queso tipo Panela empleando la macro del Texturómetro	82
3 7	Parámetros y gráficos de prueba de creep aplicando el modelo de Burger	84
3 8	Gráfica de dureza con aguja en queso tipo Panela y margarina con Texturómetro	86
3 9	Gráfica de relajación en emulsiones (queso tipo Panela, mayonesa y margarina) con texturómetro	88
A-2.1	Esquema del cono 45° del Penetrómetro Universal (Aluminio o Bronce)	102
A-2.2	Esquema del aguja del Penetrómetro Universal	103

RESUMEN

El objetivo general de este estudio es establecer los procedimientos y condiciones más adecuados para la obtención de diferentes parámetros de textura aplicado en productos alimenticios tipo emulsión de diferentes consistencias, para lo cual se seleccionaron tres tipos de productos comerciales (queso tipo "Panela", mayonesa y margarina), con propiedades texturales diferentes

Para el Penetrómetro Universal, con cada producto se determinaron las condiciones (dispositivo, peso, tiempo de penetración y dimensiones de muestra) más adecuados con base en la repetibilidad (coeficiente de variación) de la lectura (distancia de penetración) con las condiciones seleccionadas se calculó la dureza definida como la relación entre la fuerza aplicada y el área de dispositivo que penetra, utilizando una hoja de cálculo en Excel

El empleo del texturómetro permite tener una evaluación global de la textura de estos alimentos, a través de la prueba imitativa de la masticación denominada Análisis de Perfil de Textura (TPA) que arroja 7 parámetros básicos que definen la textura, de manera similar como se percibe en la boca. Además se pueden realizar otro tipo de pruebas como son corte, penetración, extrusión, untabilidad, adhesividad, extensibilidad, que simulan también acciones efectuadas en los alimentos durante su elaboración, manejo y consumo.

Para el caso del Texturómetro, se revisaron inicialmente los dispositivos con que cuenta tipo de pruebas que se puede efectuar con cada uno, y cuales son adecuadas a los productos en estudio y que tipo de parámetros texturales arroja cada prueba.

Con base en la consistencia de los productos, su forma de consumo y los dispositivos con que se cuenta, se seleccionó el tipo de prueba a efectuar en cada producto: margarina adhesividad, dureza (aguja, cono 45° y esfera) y relajación; mayonesa fatiga cíclica, dureza y relajación; queso Panela dureza (cono 45°, aguja), TPA, relajación, y creep.

Una vez seleccionadas las pruebas, para cada una se establecieron las condiciones más adecuadas, según la prueba (velocidad, distancia, tiempo, fuerza y dimensiones de la muestra) Las pruebas se efectuaron por triplicado

De los resultados obtenidos con el Texturometro se obtuvieron curvas (fuerza - tiempo, distancia - tiempo), curvas promedio, y de éstas los parámetros texturales adecuados para cada prueba con su promedio, desviación estándar y coeficiente de variación

Los valores de dureza de los productos seleccionados resultaron diferentes en relación al empleo del Penetrometro Universal y Texturómetro (maquina universal de deformación), debido a que también diferentes son las condiciones de prueba, dispositivos, dimensiones, velocidad, etc las pruebas concuerdan en que se aprecia una marcada diferencia en dureza, entre los productos empleados, hubo coincidencia en cuanto a cual es más o menos duro

El trabajo efectuado permitió establecer para cada producto y prueba

- a) Las condiciones que arrojaran datos repetibles
- b) Las curvas típicas (f-t, d-t) para cada prueba
- c) Los parámetros texturales que describen el comportamiento del producto en cada prueba

Lo anterior sirve como base para pruebas de control de calidad en estos productos y como una guía para el desarrollo de pruebas en productos de textura similar, ya sea orientada al control de calidad, investigación o desarrollo de productos

INTRODUCCION

En cada una de las industrias de alimentos se busca obtener los mejores productos y que sean competitivos en el mercado, donde los competidores cada vez son más y más fuertes. Para lograrlo se recurre a constantes estudios de reducción de costos con la sustitución de materias primas, el desarrollo de nuevos procesos y productos, la compra o desarrollo de tecnología.

Para la evaluación de la repercusión de estas innovaciones en la calidad del producto, es necesario la medición de propiedades físicas, químicas y sensoriales. De fundamental importancia son las pruebas texturales, ya que el consumidor desde la compra hasta el consumo final evalúa continuamente la textura de los alimentos. La tendencia mundial de adoptar normas internacionales que garanticen la calidad (ISO 9000, entre otras), crean la necesidad de tener métodos de evaluación de las propiedades que sean repetibles, comparables y que arrojen valores objetivos. Tradicionalmente las pruebas de textura se efectúan en forma subjetiva o por métodos empíricos e imitativos, con muy diversos instrumentos cuyas condiciones de operación varían ampliamente y generalmente no son reportados y en consecuencia los parámetros texturales no pueden ser comparados con los obtenidos bajo otras condiciones, de aquí surge la necesidad de establecer métodos estándar para la evaluación de parámetros texturales de diferentes alimentos.

Las propiedades de textura, han cobrado cada vez más importancia para el consumidor, en la medida en que tienen a la mano más opciones de productos para elegir, y por lo tanto, la industria debe poner más atención en generar nuevas texturas más agradables, controlarlas y permitir que se mantengan estables en el producto durante su vida útil. Esto crea la necesidad de contar con instrumentos y métodos específicos para la medición de pruebas texturales. De gran importancia para el productor es mantener o mejorar las propiedades texturales esperadas por el consumidor aún cuando se introduzcan cambios en tipo y contenido de ingredientes o condiciones de proceso.

Entre los alimentos que tienen mucho tiempo formando parte de la dieta del ser humano están los alimentos tipo emulsión, de las cuales tenemos como antecedente la invención de la margarina en 1869 por el francés Hypolite Mège, de Draguignan Francia, al adjudicarse un concurso instituido por Napoleón III para lograr obtener un producto que sustituyera a la mantequilla a un costo más bajo, pero con características semejantes, principalmente para uso del ejército (Hart, y Leslie 1991).

Durante los últimos años la industria alimentaria en México ha crecido de manera importante, sobre todo por la introducción de tecnología y empresas del extranjero, esto lo podemos notar específicamente en la extensa variedad de emulsiones alimenticias que existen en el mercado, las cuales presentan propiedades texturales muy diferentes (aderezos, margarinas, quesos, cremas batidas, betunes, crema de cacahuete, de chocolate con avellanas, etc)

En estos productos, que durante su consumo son cortados (queso, margarina), untados (mayonesa), mordidos (queso), masticados (queso) percibidos en la lengua y el paladar, las propiedades texturales son de vital importancia para productor y consumidor

Aun cuando a finales de los años 50 y principios de los 60 se generó una cantidad importante de literatura acerca de los principios de la textura y su medición sensorial e instrumental, actualmente solo algunas empresas emplean algún método instrumental para su evaluación. Existen reportados una amplia gama de instrumentos empíricos e imitativos para la medición de textura y consistencia de productos específicos (Penetrómetros para frutas, Consistómetro Bostwick para salsas, Geómetros, Penetrómetro para grasas, etc), muchos de los cuales aún se emplean como instrumentos de control de calidad, pero bajo condiciones de prueba muy variadas y no con métodos estandarizados. Aún cuando en los años 60 se diseñaron las primeras Maquinas Universales de Deformación o Texturómetros para alimentos y se creó el Análisis de Perfil de Textura (TPA), las dimensiones y costo del

instrumento no permitieron un uso generalizado a nivel industrial. El acelerado avance de la electrónica y la computación han permitido que en las últimas décadas se hayan desarrollado instrumentos compactos y más accesibles económicamente, que además de efectuar la prueba típica de TPA, están equipados con múltiples accesorios para muy diversas pruebas en diferentes productos alimenticios. En México grandes empresas como Bimbo y Kraft (entre otras) han adquirido Texturómetros para alimentos, pero la mayoría de las pequeñas y medianas empresas siguen utilizando instrumentos empíricos sencillos como el Penetrómetro Universal. En ambos casos, las condiciones de prueba son propias de cada empresa, pero no existen reportadas pruebas estandarizadas. ("Cahiers", Julio 1998)

El Penetrómetro Universal es el equipo más común y de procedimientos de uso simple, empleado en la industria inicialmente para grasas, este instrumento se ha perfeccionado a fin de obtener mejores resultados y ampliar sus aplicaciones.

En el presente trabajo se pretende generar métodos de prueba para la evaluación de dureza con Penetrómetro Universal y para la evaluación de diferentes pruebas específicas (dureza, Corte, Adhesividad, TPA, Creep, Relajación) en tres productos alimenticios tipo emulsión con diferentes texturas (queso Panela, margarina y mayonesa) reportando dimensiones de muestra y condiciones de prueba, con la finalidad de que puedan ser tomados como métodos estandarizados en estos productos y otros de textura similar.

OBJETIVO GENERAL :

“Establecer los procedimientos y condiciones adecuadas para la determinación de parámetros texturales en queso (tipo panela), mayonesa y margarina por medio del Penetrómetro Universal y Texturómetro”

Objetivo Particular 1 :

Determinar para cada uno de los productos las condiciones (dispositivo, dimensiones de muestra y tiempos de exposición) con las que se obtiene resultados repetibles de dureza, utilizando el Penetrómetro Universal

Objetivo Particular 2 :

Seleccionar las pruebas y dispositivos del Texturómetro que más se adecuen a cada producto según sus propiedades.

Objetivo Particular 3 :

Determinar las dimensiones de la muestra más adecuadas para realizar cada tipo de prueba en el Texturómetro

Objetivo Particular 4 :

Estructurar un proyecto para cada prueba que involucre las condiciones de prueba, características de gráficas resultantes y cálculo de los parámetros texturales

Objetivo Particular 5 :

Analizar estadísticamente los resultados obtenidos en las diferentes pruebas con los dos instrumentos empleados. Para las pruebas con Penetrómetro Universal (media, desviación estándar y coeficiente de variación), para las pruebas con Texturómetro (media, desviación estándar y coeficiente de variación) ó análisis de gráficas promedio

Capítulo I : ANTECEDENTES :

1.1 REOLOGÍA Y TEXTURA:

Las propiedades mecánicas de los alimentos son aquéllas que se relacionan con una respuesta a la aplicación de fuerzas. Esta respuesta se manifiesta como deformación (sólidos) y flujo (líquidos), y es el campo de estudio de la reología y la textura.

La textura es una propiedad sensorial, que la constituyen los elementos estructurales de los alimentos y la podemos percibir por medio de los sentidos fisiológicos del tacto, la vista y el oído por lo cual el tipo de equipo que se emplea para su determinación instrumental puede ser muy sencillo, de tipo empírico o imitativo. Mientras que las determinaciones reológicas se llevan a cabo en equipos que presentan un fundamento bien establecido (De Man y Veasey, 1979), (Fardi y Fauthón, 1990).

La reología se define como la parte de la física, que se encarga del estudio de la deformación y flujo de los cuerpos continuos y coherentes, como los gases y los líquidos, pero con frecuencia trata también de la fricción entre los sólidos, del flujo de polvos, e incluso de la reducción de partículas o molturación. Con base en esto se puede decir que todos los materiales presentan un comportamiento reológico que se encuentra entre dos extremos, de un sólido ideal, cuyo comportamiento reológico es la elasticidad y de un fluido, que es la viscosidad (Miller, 1982), (Badou, 1988).

Por otro lado la importancia del estudio del comportamiento reológico radica en cuatro aspectos: *en primer lugar* contribuye al conocimiento de la estructura del material, por ejemplo, existe una estrecha relación entre el tamaño y la forma molecular de las sustancias

en solución y su viscosidad *En segundo lugar* en la industria se efectúan con frecuencia medidas reológicas sobre las materias primas y los productos en elaboración, que son de gran utilidad para el control de los procesos *En tercer lugar* la reología representa una valiosa ayuda para el diseño de las máquinas, es preciso que tolvas, tuberías y bombas se adecúen a las características de los productos con los que van a ser utilizados Finalmente, las características reológicas y texturales influyen en modo considerable en la aceptación de un producto, por ejemplo la untabilidad de la margarina, la viscosidad de las bebidas y la dureza de la carne (Muller, 1982)

La reología recurre a diferentes tipos de pruebas para la medición del comportamiento mecánico de los materiales, como son: fundamentales, empíricas e imitativas (Poulet, y Norman, '978)

1.2 DETERMINACIONES FUNDAMENTALES:

Las determinaciones reológicas fundamentales arrojan datos que se expresan en términos de kilogramos, metros y segundos. Los resultados obtenidos no dependen del método usado, salvo en lo que se refiere al margen de error experimental Reducir a estas tres unidades básicas todos los resultados constituye una gran ventaja, no sólo por que son fácilmente comprensibles, sino por que se trata de tres unidades cuyos patrones son fácilmente accesibles

Los alimentos son por desgracia, reológicamente complicados, las determinaciones fundamentales suelen ser muy laboriosas, exigen mucho tiempo y no proporcionan respuestas simples (Muller, 1982)

Ejemplos de pruebas Fundamentales

Este grupo consta de métodos diseñados para medir una o varias propiedades físicas bien definidas de la muestra bajo prueba; dependiendo del comportamiento que presenta el material, las pruebas se pueden enfocar de dos formas

1.- Pruebas de cizallamiento rotacional

Se utilizan para determinar el comportamiento al flujo de materiales sin propiedades elásticas

Existen tres tipos de viscosímetros rotacionales: de cilindros concéntricos, de cono-placa, y de placa-placa

2 - Pruebas para la evaluación del comportamiento viscoelástico.

En materiales que presentan tanto comportamiento viscoso como elástico, se recurre a otro tipo de pruebas que se efectúan en otro tipo de instrumentos conocidos como reómetros. Dentro de este tipo de pruebas se encuentran las de relajación y creep o fluencia

A) Relajación:

Esta prueba puede ser efectuada en un material cuyo comportamiento es representado por el modelo de Maxwell que consiste en acoplar en serie un elemento elástico (resorte) y un viscoso (pistón) fig 1 0 y 1 1

Al aplicar una deformación instantánea (γ_0), el resorte se estira generando el esfuerzo necesario (τ) para mantener dicha deformación. Una vez que el esfuerzo instantáneo ha sido generado y el resorte extendido, el pistón comienza a fluir y a liberar el esfuerzo impuesto en el resorte, como resultado el esfuerzo decrece con respecto al tiempo hasta llegar a cero.

(Sivaram, 1994)

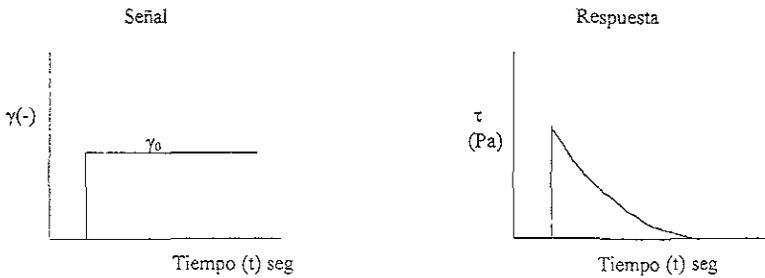


Fig 1 0 Relajación en el Modelo de Maxwell

Al estar en serie ambos elementos (elástico y viscoso) se encuentran sometidos al mismo esfuerzo y las deformaciones son aditivas

El tiempo de relajación es el tiempo en el cual el modelo libera el 63 % del esfuerzo inicial

En la mayoría de los materiales viscoelásticos representados por modelos más complicados que el de Maxwell, en una prueba de relajación el esfuerzo decrece en función del tiempo a un esfuerzo constante diferente a cero

En un sólido elástico ideal el tiempo de relajación es infinito, mientras que en un fluido viscoso es cero. En materiales viscoelásticos, los tiempos de relajación son $0 < t_r < \infty$

B) Prueba de Creep

En esta prueba se aplica un esfuerzo constante al material y se mide como respuesta la deformación relativa (γ) ó la deformación relativa al esfuerzo ($J = \gamma/\tau$), denominado "compliance" en función del tiempo. La prueba de creep puede realizarse con una etapa de recuperación en la que se retira el esfuerzo aplicado después de cierto tiempo y se mide la recuperación del material.

Cuando queremos obtener funciones materiales en pruebas de creep y relajación, debemos asegurarnos que las pruebas sean efectuadas dentro de los límites de visco-elasticidad lineal.

del material. Cuando se aplican esfuerzos muy grandes que proporcionan deformaciones no proporcionales, los datos de elasticidad y viscosidad son influenciados por las condiciones de prueba y por lo tanto no son valores absolutos que puedan ser comparados con otros obtenidos bajo diferentes condiciones. (STRUMER, 1994)

Los materiales viscoelásticos reaccionan a la prueba de creep con varias fases de deformación relacionadas con el tiempo, de acuerdo a diferentes modelos mecánicos (Maxwell, Kelvin-Voigt, Burger)

Modelo de Maxwell en Creep:

Los dos elementos del modelo de Maxwell están sujetos al mismo esfuerzo y sus deformaciones son aditivas

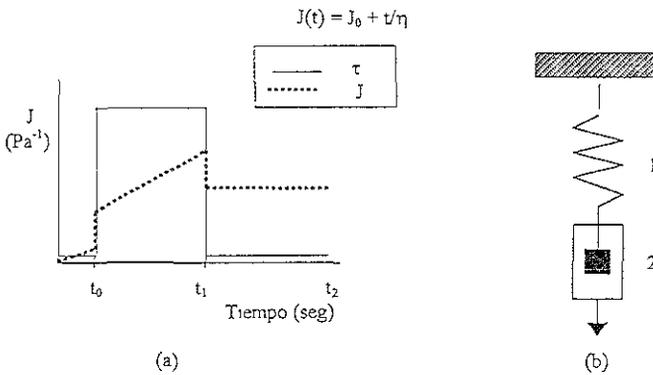


fig 1.1 Modelo gráfico y mecánico de Maxwell

El modelo de Maxwell representa un líquido viscoelástico, como se puede apreciar en la figura, a) curva Creep Compliance (J) - tiempo, b) modelo mecánico de Maxwell (1 - elemento elástico, 2 - elemento viscoso)

Modelo de Kelvin-Voigt (sólido):

$$J(t) = J_1(1 - e^{-t/T})$$

Donde T = tiempo de retardo

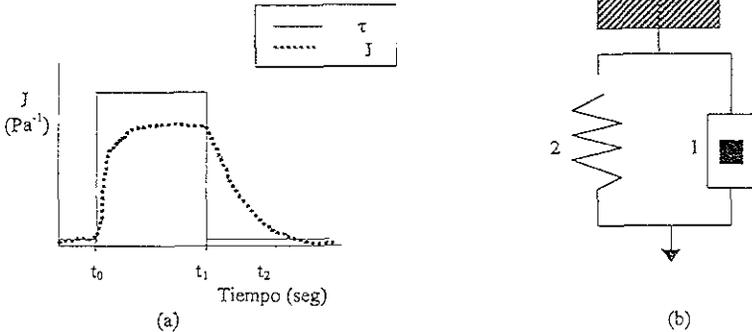


Fig 1.2 Modelo de Kelvin-Voigt

a) Curva Creep Compliance (J) - tiempo

b) Modelo mecánico (1= elemento viscoso, 2= elemento elástico)

Cuando el esfuerzo es aplicado, la curva de deformación - tiempo aumenta inicialmente con una pendiente relacionada con la viscosidad del pistón y continua aumentando con una pendiente menor hasta alcanzar un valor estacionario asintótico al eje del tiempo y correspondiente a la deformación del elemento elástico (γ_0), la cual no ocurre instantáneamente por ser retardada por el elemento viscoso (fig 1.2)

Modelo de Burger:

Este modelo describe mejor que el líquido de Maxwell y el sólido de Kelvin a muchos de los materiales reales, entre ellos los alimentos. El modelo de Burger resulta del acoplamiento en serie de un modelo de Kelvin con un pistón y un resorte. El esfuerzo que recibe el sistema es el mismo que recibe cada uno de los elementos y la deformación total es la suma de las deformaciones de los tres elementos: pistón, resorte y elemento Kelvin. (Swarmin, 1994)

$$J(t) = J_0 + J_1(1 - e^{-t/\tau_1}) + t/\eta_0$$

T = tiempo de retraso

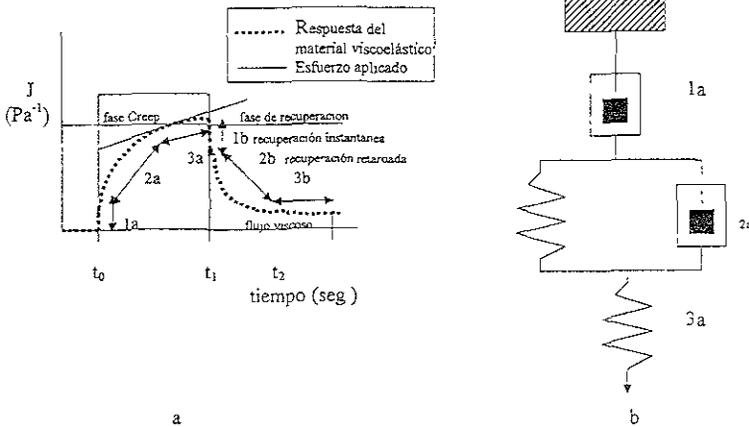


Fig. 1.3 Modelo de Burger (gráfico y mecánico)

- a) Curva Creep Compliance (J) - tiempo
- b) Modelo mecánico

Al aplicar un esfuerzo constante al modelo de Burger, ocurre una deformación instantánea debida al elemento elástico (resorte), caracterizada por J_0 , que corresponde a la 1a etapa de la gráfica fig (1 3). En seguida se presenta una deformación retardada debido al elemento de Kelvin, caracterizada por un J_1 , un tiempo de retardo T_1 y una viscosidad η_1 , que corresponde a la etapa 2a, finalmente se presenta una deformación puramente viscosa debida al elemento viscoso (pistón), caracterizada por una viscosidad η_0 , que corresponde a la parte 3a de la gráfica. Cuando se retira el esfuerzo, ocurre una recuperación instantánea debida al elemento elástico (región 1b), seguida de una recuperación retardada debida al elemento Kelvin (región 2b) y finalmente queda una deformación permanente debida al elemento viscoso (región 3b).

- La pendiente de la parte recta de la región 3a (dy/dt), en la curva de deformación, es la velocidad de cizallamiento en esta zona, de manera que la viscosidad en esta zona queda definida por el esfuerzo aplicado multiplicado por el inverso de la pendiente.
- La intersección de la recta de la región 3a con el eje de las ordenadas en la curva de deformación proporciona la “deformación en estado estacionario”, γ_0 , la cual representa la elasticidad introducida por los resortes del elemento elástico y del modelo de Kelvin

$$J_{e0} = \gamma_0 / \tau_0$$

El modelo de Burger que combina en serie un elemento Kelvin se ajusta a la respuesta de muchos materiales alimenticios

1.3 DETERMINACIONES EMPÍRICAS:

Los métodos empíricos son aquellos que utilizan instrumentos diseñados para un producto en particular y en el cual las variables que influyen en la prueba no están completamente definidas y controladas.

Los métodos empíricos pueden reunir una información muy valiosa, aunque no sean comparables los resultados obtenidos utilizando distintas metodologías. Así, por ejemplo es mucho más fácil obtener un diagrama de carga-alargamiento que otro de esfuerzo-deformación, por que para ello precisa obtener el área de las sucesivas secciones transversales y calcular las correspondientes deformaciones relativas. Una encuesta llevada a cabo en 1968, puso de manifiesto que casi todas las determinaciones rutinarias efectuadas en la industria alimentaria británica eran empíricas (Muller, 1982)

Las ventajas de los procedimientos empíricos estriba en que son mucho más rápidos y simples que las determinaciones fundamentales, el inconveniente de los mismos consiste en que los resultados son específicos del instrumento usado.

Las pruebas empíricas tienen que ser relacionadas estrictamente con el comportamiento del producto, de lo contrario su valor es muy dudoso. Es preciso no confundir los ensayos empíricos con el uso de un método fundamental defectuoso. (Muller, 1982)

Ejemplos de pruebas empíricas

Para la medición objetiva de la textura por métodos empíricos existen dos tipos principales de instrumentos, los que miden la fuerza requerida para penetrar, comprimir, deformar o extruir el alimento, y las que miden distancia. Ejemplo de estos equipos de medición tenemos para el primer caso los penetrómetros y extrusores, el segundo caso se encuentran los consistómetros. (Lewis, 1993)

PENETRÓMETROS:

Los penetrómetros para frutas (Magness y Taylor 1925 Chatillon), consisten de un dispositivo cilíndrico de diferente diámetro unido a un resorte calibrado y un indicador de carátula que registra en lb o Kg la fuerza ejercida manualmente para que el dispositivo penetre hasta cierta distancia determinada por un tope

El gelómetro de Bloom (1925) fue diseñado para medir el poder gelificante de la gelatina y utilizó un dispositivo estándar y medía el peso (en plomo) requerido para que el dispositivo (cilindro) penetrara 4 mm de profundidad en el gel

El Penetrómetro de grasas de la ASTM diseñado para medir textura en grasas plásticas, mide la firmeza en términos de la profundidad a la cual un cono de metal de determinadas dimensiones y peso, se sumerge en la muestra bajo determinadas condiciones. Un indicador de carátula registra la distancia de penetración. Muchos productos derivados del petróleo así como grasas para alimentos y otros productos industriales son evaluados con este tipo de instrumentos y el Penetrómetro es el instrumento estándar hasta la fecha para muchas aplicaciones. (Casas y Ramirez, 1997)

CONSISTÓMETROS

Los consistómetros miden el grado de esparcimiento o fluidez de productos tipo plástico como catsup, pasta y puré de tomate, manzana, crema de maíz, etc.

Entre los diferentes consistómetros que se han diseñado podemos mencionar

- Consistómetro de Bloom que mide la presión relativa necesaria para forzar un producto a través de una apertura al final de un émbolo
- El consistómetro de Adams que mide la consistencia por el grado de esparcimiento o flujo del producto en todas direcciones. Consta de un disco metálico que tiene grabados 20 círculos concéntricos. Un cono truncado que contiene la muestra se coloca justo en el centro del disco. Cuando el cono se levanta verticalmente, la muestra es liberada y el material fluye radialmente debido a la carga hidrostática de la muestra en el cono
- El consistómetro de Bostwick mide la distancia que un material recorre sobre una superficie nivelada bajo su propio peso durante un periodo de tiempo dado. Consta de un canal en forma de prisma rectangular, de acero inoxidable, dividido en dos partes separadas por una compuerta. Una parte destinada como recipiente para contener la muestra y la otra parte, graduada en la base en divisiones de 0.5 cm a partir de la compuerta, destinada para que el material fluya por efecto de la cabeza hidrostática del material a probar. Fue diseñado originalmente para productos de tomate y su uso se ha extendido a diferentes productos. (Casas y Ramirez, 1997)

1.4 DETERMINACIONES IMITATIVAS:

Estas pruebas como su nombre lo dice están destinadas para imitar operaciones humanas específicas hacia los alimentos, semejante a la masticación del alimento o al prensado por medio de la mano. En una prueba imitativa de masticación sólo unos cuantos instrumentos han sido reportados, como por ejemplo el "denturómetro" con grabación y medidor de fuerzas. El objetivo primordial es la reproducción de la exposición y deformación aplicada durante una evaluación humana y esa reacción asume un desarrollo de fuerzas representativas de una reacción humana.

Ejemplos de pruebas Imitativas

- Pruebas de Análisis de Perfil de Textura (TPA)

Esta prueba fue diseñada para simular el proceso de masticación. El alimento se comprime dos veces, simulando los dos primeros masticacos, empujando un émbolo a una distancia estandar, normalmente 35 mm en el alimento, y midiendo la fuerza ejercida. Los principales parámetros medidos son la dureza, cohesividad, adhesividad y la resistencia a quebrarse.

Actualmente existen las máquinas universales de deformación o Texturómetros, que efectúan una amplia variedad de pruebas empíricas e imitativas (Instron, TAX-T2, LLOYD).

El analizador de textura mide fuerza, distancia y tiempo, proporcionando así un análisis tridimensional del producto. Se miden fuerzas en función del tiempo cuando se establecen distancias y se miden distancias en función del tiempo cuando se fijan fuerzas. Adicionalmente, se pueden involucrar en las pruebas tiempos de espera o pruebas repetitivas. El control de instrumento y el despliegue de los resultados puede efectuarse desde una consola a través de computadora, pueden ser impresos y se puede conectar un graficador. El aparato puede operar en dos modos: compresión y tensión.

El contacto con la muestra se hace a través de sensores (puntas, sondas). El porta sensores tiene una celda de carga muy sensible. Con cada una de las celdas de carga, se tiene un rango completo de su capacidad en el modo de compresión y el 10% de su capacidad en tensión.

(Casas y Ramirez, 1997).

La máquina Instron se emplea en una gran variedad de materiales y para una amplia gama de alimentos, estudia la relación tensión-deformación bien mediante compresión o por estiramiento. Puede emplearse también para pruebas más sofisticadas, tales como la relajación de la tensión de histéresis, recuperación de la tensión, sensibilidad en la tasa de deformación y ruptura, para evaluar la energía necesaria para la deformación (Lewis 1993)

1.5 PENETROMETRIA:

La penetrometría es una prueba empírica y se refiere a la penetración o sumergimiento de un cuerpo o dispositivo en el material de prueba. Si las condiciones de prueba se estandarizan es posible obtener importante información acerca de la consistencia de un producto. Para tal fin, existen instrumentos comerciales conocidos como penetrómetros, diseñados específicamente para diferentes productos (frutas, grasas). El manejo sencillo de los penetrómetros, su bajo costo y la rapidez de las pruebas, los hacen aparatos muy utilizados en la industria para fines de control de calidad y desarrollo de productos. Su aplicación más amplia es en geles y en materiales plásticos como grasas, chocolates, etc. En el área de las grasas, ceras y otros derivados del petróleo, el Penetrómetro Universal es el instrumento oficial para la normalización de productos e inclusive existen dispositivos (conos, agujas) normalizados en cuanto a peso, materiales y dimensiones y que utilizan diferentes fabricantes de aparatos (Casas y Ramirez, 1997)

En las pruebas de penetración el material bajo prueba es sometido a una combinación de compresión y cizallamiento. Como resultado, puede producirse flujo en materiales sólidos o

semisólidos debido a la debilidad de la estructura y en materiales de estructura mas fuerte el material se cizalla y se comprime además del flujo. En materiales sólidos la prueba es destructiva

A continuación se mencionan los principales tipos de penetrómetros

- Penetrómetro de peso constante Son los mas sencillos, operan por la acción de gravedad por lo que la velocidad a la que se introduce el dispositivo es variable El Penetrómetro Universal de Precision Scientific es de este tipo
- Penetrómetros de velocidad constante El dispositivo se introduce a velocidad controlada.
- Penetrómetros con indicador digital de distancia y/o tiempo
- Penetrómetros que miden fuerza (dinamómetro)
- Penetrómetros con registradores para curvas fuerza-tiempo (penetrómetro de frutas).
- Texturómetros que entre otras pruebas realizan penetración

1.5.1 PENETROMETRO UNIVERSAL

El Penetrómetro Universal es el mas común y esta basado en la ASTM (American Society of Testing Matenales). Una de las marcas que comercializa este instrumento es Humboldt MFG CO Este Penetrómetro opera bajo el principio de peso constante (velocidad variable) y mide distancia, básicamente en compresión aunque realmente existen cizallamiento y flujo (en materiales plasticos).

DESCRIPCION :

En la figura (1 4) se muestra un esquema del Penetrómetro Universal y en el cuadro (No 1 0) se presenta una lista de las partes que lo constituyen.

El Penetrómetro consta de un soporte en el cual está sostenida una varilla vertical de 3/16 in de diámetro y con peso de 47 5 g que puede ser detenida o liberada para caer libremente bajo la fuerza

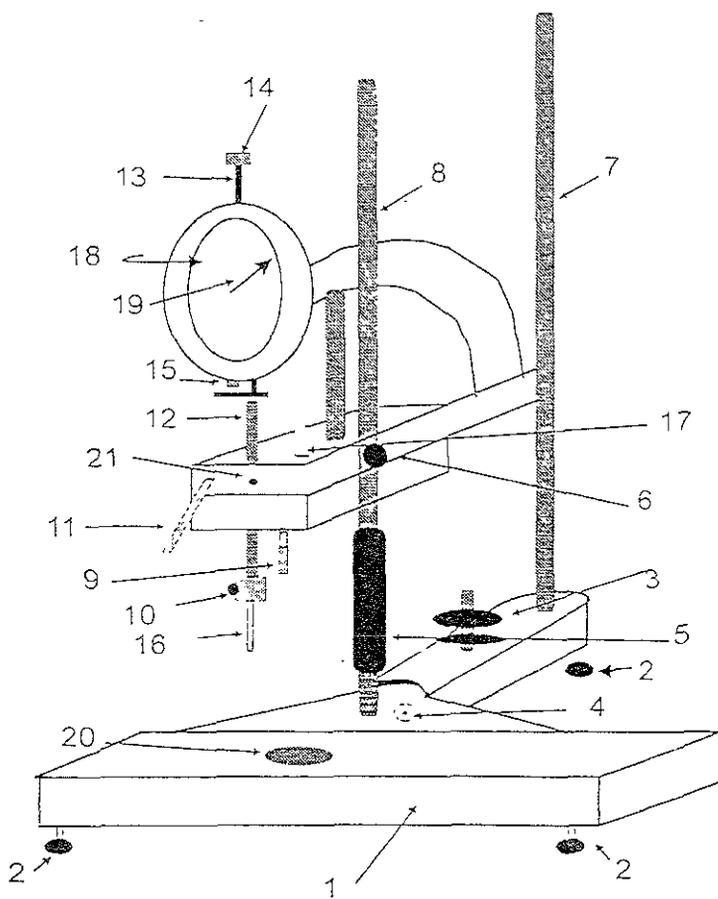
de la gravedad. Un indicador de carátula de 4 in de diámetro está conectado a un medidor de profundidad (altura, distancia), se usa para medir manualmente la distancia que la varilla cae después de ser liberada con una sensibilidad de 1/10 de mm. El indicador de carátula está graduado de 0-380 mm. Las medidas de penetración pueden ser efectuadas hasta una profundidad total de 620 mm ya que la aguja puede dar 166 revoluciones. Todo este dispositivo está unido a un soporte con cremallera que permite subir y bajar a fin de ajustar la altura sobre la muestra.⁽⁹⁾

Tiene dispositivos en forma de conos y agujas de diferentes pesos, dimensiones y materiales. Se proporciona con dos pesos extra de 50 y 100 g, que se suman al peso de la varilla y del dispositivo empleado.

Cuadro No. 10 Partes componentes del Penetrómetro Universal

- 1 Base
- 2 Tornillos de ajuste de nivel
- 3 Pesas.
- 4 Burbuja de nivel
- 5 Soporte móvil
- 6 Tornillo para fijar posición del soporte móvil
- 7 Soporte secundario.
- 8 Soporte principal
- 9 Apoyo para dedo
- 10 Posicionador de la punta
- 11 Palanca liberadora de la punta.
- 12 Varilla soporte de la punta
- 13 Indicador de altura
- 14 Base para presionar el posicionador de punta
15. Tornillo de ajuste de cero.
- 16 Punta
- 17 Tornillo auxiliar para liberar la punta.
- 18 Escala micrométrica
19. Aguja indicadora.
20. Placa de hule.
- 21 Orificio para el tornillo liberador de punta

Fig.1.4 Esquema del Penetrómetro Universal



OPERACIÓN :

Para operarlo, se une a la varilla el dispositivo adecuado a la muestra (conos o agujas), se libera la varilla, se sube y se asegura. Se pone sobre la base el material a ser medido y se baja manualmente hasta colocarla a una altura tal que la punta del cono o la aguja justo haga contacto con la muestra con la ayuda de un tornillo micrométrico. El indicador debe marcar cero. Se libera la varilla y se deja que se sumerja en la muestra 5 seg. y se vuelve a asegurar o detener. Manualmente se empuja hacia abajo el medidor de profundidad hasta que haga contacto con la parte superior de la varilla y se toma la lectura del indicador.

Como se ha mencionado antes, uno de los usos más importantes del Penetrómetro es para la evaluación de la textura de materiales plásticos (aquellos que no fluyen hasta que se aplica un esfuerzo de determinada magnitud conocido como esfuerzo inicial o de cedencia). Se ha discutido en la literatura sobre el significado exacto de la lectura del Penetrómetro o los parámetros derivados de la misma y si realmente proporciona una medida del punto de cedencia, la consistencia o una combinación de estas. Aun cuando esto no ha sido completamente establecido, ha sido de gran utilidad y aplicación no solo en el campo de las grasas plásticas sino en una amplia variedad de productos (lácteos, geles, pan, productos de frutas como pasta de tomate, chocolate, entre otras).

Una recomendación importante es conocer y controlar la historia previa de la muestra, proceso, formulación, fecha de elaboración, tiempo de almacenamiento, manejo, etc., pues todos estos factores influyen en la medida. (Cass y Ramirez, 1997)

Así mismo es necesario reportar todos los elementos necesarios (temperatura, tamaño y forma de la muestra y el recipiente de la misma, si se empleó, tiempo de penetración, dispositivo, peso total, historia de la muestra) y comparar solamente muestras efectuadas bajo las mismas condiciones de prueba. También es importante efectuar el número de repeticiones necesario y reportar valores de media, desviación estándar y coeficiente de variación.

1.5.1.1 CÁLCULO DE DUREZA CON EL PENETRÓMETRO UNIVERSAL :

Puesto que la dureza se define como la fuerza por unidad de área de contacto, se hace necesario calcular el área de contacto entre la muestra y el dispositivo en el tiempo establecido para la penetración. El área de contacto estará entonces en función de la distancia penetrada y la forma geométrica del dispositivo (en la parte del Anexo No 2 se presenta con más detalle el cálculo de la dureza para este equipo, al igual que las dimensiones y esquemas de los dispositivos cono y aguja).

1.5.2 TEXTURÓMETRO :

Los Texturómetros o máquinas Universales de Deformación son instrumentos diseñados para aplicar fuerzas o deformaciones a velocidad controlada en el material de prueba y medir la respuesta (deformación o fuerza respectivamente) en función del tiempo. Cuentan con una amplia gama de dispositivos que permiten efectuar las pruebas bajo compresión, tensión, cizalla, extrusión, corte, etc. Una de las máquinas Universales más conocida es la INSTRON.

Estos instrumentos capturan y almacenan los datos de fuerza, distancia y tiempo, y presentan las gráficas correspondientes de las cuales se extraen valores de fuerza, distancia y tiempo de puntos específicos así como pendientes o áreas en zonas delimitadas. De estos datos se calculan los parámetros texturales de interés para cada material y prueba. Para esto, cada marca cuenta con un software específico tanto para el control del instrumento como para el análisis de resultados.

1.5.2.1 TIPOS DE PRUEBAS Y DISPOSITIVOS:

Los Texturómetros son instrumentos muy versátiles que pueden efectuar diferentes tipos de pruebas. Entre las más importantes se encuentran

- Análisis de Perfil de Textura (TPA)
- Pruebas de punción o compresión (Dureza)
- Pruebas de adhesividad
- Pruebas de tensión
- Pruebas de extrusión positiva o negativa.

- Pruebas con diferentes tipos de cuchillas (plana con un filo ó doble filo, alambre de corte, cuchilla de Warner Bratzler)
- Pruebas con celdas Kramer y Ottawa.
- Determinación de Grados Bloom.
- Pruebas específicas para masas de panificación y tortillas
- Pruebas de Creep y Relajación

El texturómetro tiene una amplia variedad de dispositivos tanto de uso general como para productos específicos :

Los de uso general, se utilizan para una amplia gama de productos y son básicamente conos, cilindros (de acero y acrílico) , esferas, punzones, navajas de corte y placas

Los dispositivos especiales han sido diseñados de manera específica para cierto tipo de productos, lo cual no impide que se puedan utilizar en otros. Entre estos se encuentra celda Kramer, celda de extrusión positiva y negativa, celda Ottawa, mandíbula de Volodkevich, navaja de Warner Bratzler, dispositivo múltiple para chicharos, sistema de tensión en geles, dispositivo para doblado en tres puntos, cortador de mantequilla, dispositivo para pastas (flexión, tensión, firmeza), dispositivos para masa de panificación, entre otras

Las ventajas que tiene este equipo es que los resultados no dependen de la persona que realice el estudio si se hace bajo las mismas condiciones, dimensiones de muestra y temperatura, además se pueden realizar las pruebas que se desee en menor tiempo y empleando la misma información contenida en el programa diseñado para la prueba.

1.5.2.2 DESCRIPCIÓN DE LAS PRUEBAS EFECTUADAS EN ESTE TRABAJO:

ANÁLISIS DE PERFIL DE TEXTURA (TPA)

Es una prueba que mide fuerza en compresión, en donde se indica al instrumento que la punta o sensor comprima el alimento cierta distancia a una velocidad dada. La prueba inicia cuando el sensor detecta la superficie de la muestra, en esta operación el dispositivo continua comprimiendo hasta llegar a la distancia indicada

El dispositivo sube y se retira de la muestra, regresa a la posición de inicio de prueba y se mantiene cierto tiempo antes de efectuar la segunda compresión. El dispositivo empleado es un cilindro de acrílico o placa, que puede ser de área mayor o menor que la muestra. En el primer caso, la muestra es comprimida, en el segundo puede haber además penetración

La prueba se puede aplicar en productos sólidos y semisólidos u otros con características de ser compresibles. En la figura No 15 se muestra una curva típica de TPA

La forma de la curva puede variar de la presentada como típica, básicamente en las alturas de los picos positivos y negativos, las áreas bajo estos picos, la presencia de picos secundarios, alturas y áreas negativas

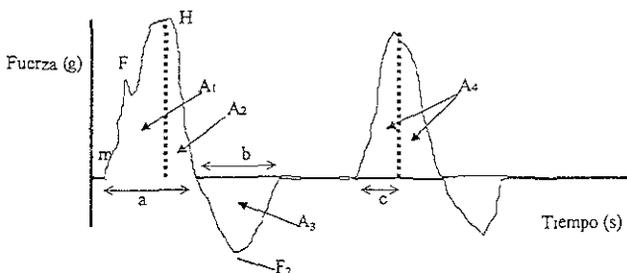


Fig (15) Curva típica de Analisis de Perfil de Textura

Los parámetros que se obtienen de la curva son

Dureza : La fuerza máxima en el primer ciclo de compresión (H)

Fuerza de fractura: El primer pico significativo en la curva del primer ciclo de compresión (F)

Cohesividad : La relación entre el área positiva durante el segundo ciclo de compresión y el primero (A_4/A_1+A_2)

Fuerza Adhesiva : La fuerza negativa máxima en el primer ciclo de compresión (F_2)

Adhesividad : El área negativa del primer ciclo de compresión, representa el trabajo necesario para retirar el sensor de la muestra (A_3)

Índice de Aplastabilidad : Relación entre la diferencia de área de compresión y descompresión del primer ciclo entre el área de descompresión ($(A_1-A_2)/A_2$)

Elasticidad : La altura que la muestra recupera entre el término del primer ciclo de compresión y el inicio del segundo (c) Aun cuando la elasticidad es una relación de distancia sus valores se pueden obtener de la curva Fuerza-Tiempo

Gomosidad : El producto de la Dureza y Cohesividad.

Masticosidad : Producto de gomosidad y elasticidad

Módulo de deformabilidad, pendiente inicial en el primer ciclo de compresión (m)

Estiramiento : Distancia entre el inicio y final de la zona adhesiva (b)

PRUEBA DE ADHESIVIDAD

Consiste en hacer compresión con el dispositivo a una fuerza constante al interior de la muestra, manteniéndose un tiempo establecido, posteriormente se retra el dispositivo de la muestra hasta una distancia especificada en donde se toma en cuenta la fuerza necesaria para llevar a cabo la separación del dispositivo.

Los productos en los que puede ser aplicada esta prueba son productos pastosos, semisólidos, untables, que presenten adhesión con otros materiales (cajeta, mermelada, mayonesa, crema de cacahuete, jarabes, margarinas) El dispositivo empleado puede ser de placa circular o cilindro de acrílico o acero inoxidable

La curva que se obtiene es de fuerza-tiempo (fig. 1 6) en donde se observa un periodo inicial de fuerza constante durante la compresión de la muestra (a), un periodo de incremento de la fuerza,

representando la resistencia del dispositivo para retirarse de la muestra, que culmina en un pico de fuerza máximo o fuerza adhesiva (F_a), seguido de una disminución de la fuerza mientras que el material aún adherido al dispositivo se adelgaza hasta romperse, cayendo la fuerza a cero

Los parámetros obtenidos de la prueba son fuerza adhesiva (F_a), área adhesiva y cohesiva, extensibilidad (d) El área positiva que se ubica antes del pico máximo representa el trabajo necesario para vencer la adhesión, el área positiva después del pico máximo y hasta el rompimiento de la muestra, representa el trabajo necesario para vencer las fuerzas cohesivas del material.

La distancia (d), representa la distancia que la muestra adherida al sensor se estira antes de romperse

La relación área cohesiva/área adhesiva nos describe que propiedades predominan en el material

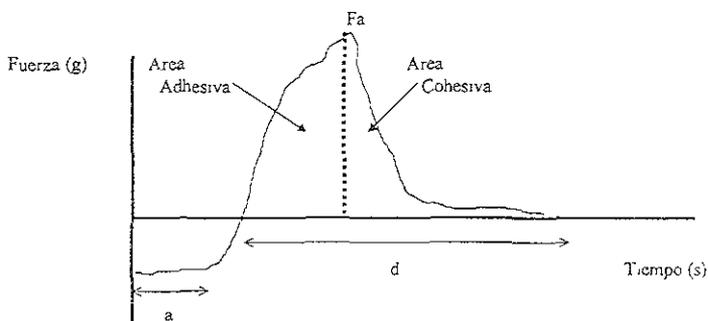


Fig (1.6) Curva típica de Adhesividad

DUREZA

Es una prueba de compresión en la que se mide la fuerza en función del tiempo durante la penetración, se pueden emplear como 45°, aguja o cilindro como dispositivos. La prueba inicia cuando el dispositivo comprime o penetra el material a una distancia y tiempo establecidos, posteriormente el dispositivo se retira de la muestra y se ubica a la distancia que estaba antes del inicio de la prueba.

Durante la compresión o penetración se mide el pico de fuerza máxima en la curva, el cual representa el valor de Dureza (H). La gráfica que se obtiene es del tipo de la fig No. 1.7 y el tipo de curva depende del grado de consistencia que presente el material, ya que puede tener un incremento de la fuerza inicial rápido o de manera pausada (pendiente inicial "m"), conocido también como módulo de deformabilidad, puede o no presentar picos de fractura (F) antes de llegar al pico máximo (H), tener propiedades adhesivas significativas o no (A).

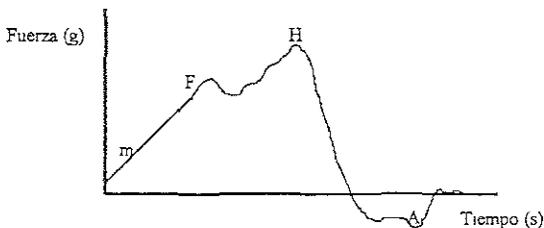


Fig.(1.7) Gráfica típica de prueba de Dureza.

PRUEBAS DE FATIGA CÍCLICA

La prueba tiene como objetivo medir la estabilidad estructural del material, se aplica a productos semifluidos con cierto grado de estructura (yoghurt, mayonesa) la cual puede ser parcialmente destruida si el producto se somete a varios ciclos de cizallamiento. También es conocida como prueba de fatiga cíclica, y es conveniente efectuar en los productos en su presentación original o comercial. Se calculan básicamente los picos de fuerza positivos y las áreas bajo las mismas y el % de pérdida de fuerza y/o arca entre el primero y el último ciclo. A mayor pérdida, mayor destrucción de estructura por efecto del cizallamiento.

La prueba consiste en que el dispositivo (cono, cilindro ó esfera) efectúe movimientos continuos de subida y bajada en la muestra desde una posición central, el número de veces indicado.

La gráfica fig.No 18 representa un ejemplo de las curvas obtenidas en esta prueba:

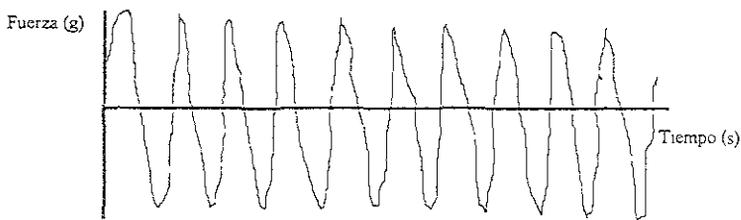


Fig. (1.8) Gráfica típica de curva cíclica (10 ciclos)

PRUEBA DE CREEP O FLUENCIA

Es una prueba en la que se aplica una fuerza constante a un material y se mide la deformación relativa en función del tiempo. Se emplean como dispositivo placas circulares

De la prueba se obtiene una curva distancia-tiempo (Fig 1.9); al inicio de la curva se tiene un comportamiento elástico (A), seguido de una zona de deformación retardada (B) y finalmente una zona de comportamiento viscoso (C), aplicando el modelo de Burger:

$$J = J_0 + J_1(1 - e^{-t/\tau}) + t/\eta_0$$

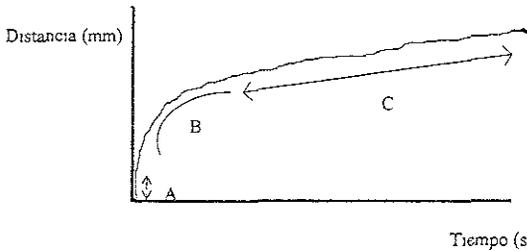


Fig (1.9) Representación gráfica de la prueba de Creep y sus etapas

Los parámetros a obtener son pendiente y ordenada al origen de la región C, distancia y tiempo de inicio de la región C, deformación final.

RELAJACION

En este tipo de experimento el material se somete a una deformación constante y se mide la fuerza o esfuerzo necesario, para mantenerla en función del tiempo

Durante la prueba se mantiene el dispositivo comprimiendo la muestra a una fuerza establecida hasta un tiempo indicado. La prueba se puede aplicar a cualquier tipo de alimento que se encuentre entre las características de un sólido y un semisólido. Los dispositivos empleados para esta prueba pueden ser cilindro de acrílico o placa.

La curva fuerza-tiempo (Fig 1.10) que se obtiene inicia con un incremento de la fuerza mientras el dispositivo llega a la distancia indicada a la cual corresponde la fuerza máxima (H). El dispositivo se mantiene a esta distancia durante el tiempo indicado y la fuerza necesaria para mantener la deformación disminuye con el tiempo (relajación).

Los parámetros a obtener son

- Pendiente inicial de subida de fuerza que representa la resistencia de la muestra a ser deformada
- Fuerza máxima que es la dureza de la muestra (H)
- Tiempo de relajación (tiempo en el cual la fuerza máxima "H" disminuye en un 36.5 %)

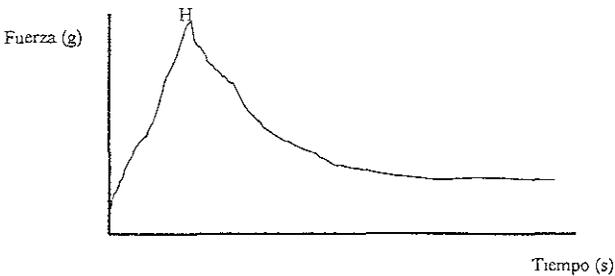


Fig (1.10) Gráfica típica de pruebas de relajación.

1.6 EMULSIONES

Las emulsiones tienen diversas funciones importantes en los alimentos. Algunos alimentos son emulsiones, otros son por sí mismos agentes emulsionantes y la consistencia o estructura de algunos alimentos preparados depende del desarrollo y mantenimiento de una emulsión. Las emulsiones se utilizan como vehículo para adicionar agentes aromatizantes, para diluir ingredientes y para ocultar olores o sabores no deseables. Las emulsiones alimentarias pueden presentarse de forma natural, como en la leche o ser preparadas en alimentos como la mayonesa y las masas pasteleras. Las gomas vegetales que se están utilizando cada vez más en alimentos formulados, actúan de muchas formas incluyendo la estabilización de emulsiones.

Una emulsión ha sido definida como "un sistema heterogéneo que consta al menos de un líquido inmiscible íntimamente disperso en otro en forma de gotas cuyo diámetro, en

general, supera $0,1 \mu\text{m}$. Estas emulsiones presentan una estabilidad mínima que puede incrementarse con aditivos como los agentes tensoactivos, sólidos finamente divididos, etc”

(Cheffal, y Bonacón, 1989)

ELECCIÓN DE LAS TRES EMULSIONES ALIMENTICIAS COMERCIALES:

Debido a que en el conjunto de emulsiones alimenticias existe una gran variedad de texturas y presentaciones (mayonesa, cremas, mantequillas, margarinas, cremas batidas (Chantilly), quesos, mousse, chocolate untable, etc), después de realizar un recorrido en diferentes centros comerciales mas populares y en donde se realizan las ventas al detalle (tiendas) se elige para este estudio trabajar con tres productos comerciales (queso tipo Panela, margarina de barra y mayonesa), que va desde el fluido de alta consistencia hasta el sólido, también se tomó como criterio para su selección disponibilidad del producto en un centro comercial o tiendas de abarrotes, el costo bajo del producto y la presentación para el momento de obtener las muestras del producto

1.6.1 COMPONENTES DE LA EMULSIÓN

1. Fase dispersa o interna- consta de gotas dispersas
- 2 Fase continua o externa- fase en la que están dispersas las gotas
- 3 Agentes emulsionantes o surfactantes- utilizados para mantener las gotas de un líquido dispersas en otro líquido siendo originalmente los dos líquidos inmiscibles.

Los surfactantes actúan

a).- disminuyendo la tensión interfacial de un líquido en el otro (el líquido con menor tensión interfacial forma la fase continua)

b).- impidiendo la coalescencia de las gotas del otro líquido

El emulsionante se coloca en la interfase aceite/agua para impedir la interacción de la fase dispersa con la continua. Diversas, sustancias diferentes pueden servir como agentes emulsionantes teniendo todos ellos esta característica común una parte de la molécula

tienen afinidad y se disolverá en grasas (componente no polar) y la otra parte de la molécula debe ser polar, teniendo afinidad por el agua.

Se han formulado diversas teorías sobre el desarrollo de la estructura de una emulsión. La teoría del desarrollo micelar recoge muchas de las características de las emulsiones. De acuerdo con estas teorías, las partículas coloidales tienden a organizarse en una estructura con sus grupos no polares en contacto y con sus grupos polares orientados hacia la fase líquida. A tal agregación se le denomina micela. La preparación de las emulsiones requiere normalmente energía en forma de trabajo para reducir el tamaño de las partículas o glóbulos de grasa, aumentar el área interfacial y separar las partículas de la fase interna. Los aparatos mecánicos utilizados incluyen mezcladores, batidores, homogeneizadores y molinillos coloidales. (Chefel, y Beauchón, 1989)

Las emulsiones presentan diferentes porcentajes de sus componentes (fase dispersa y dispersante), además de tener también una variación de temperatura de interacción de la fase grasa y otros componentes importantes en su formulación. En función de las propiedades físicas de las fases oleosa y acuosa, su %, la presencia de otros componentes (proteínas, polisacáridos y partículas dispersas), las emulsiones presentan diferentes propiedades reológicas y texturales: fluidos viscosos (aderezos), semisólidos untables (margarinas, mayonesas, crema de cacahuete), sólidos (quesos), espumas (crema batida).

1.6.2 ESTABILIDAD EN EMULSIONES

Teniendo en cuenta que los sistemas coloidales están constituidos por una dispersión de numerosas partículas, todos poseen interfaces de gran extensión entre las fases constituyentes. Una relación superficie/volumen tan elevada, provoca la tendencia a disminuir la extensión de las interfaces causando una gran inestabilidad termodinámica.

Hay tres mecanismos principales de desestabilización de un sistema coloidal

a) - La separación de fases por decantación : cuando las fases presentan una diferencia de densidad.

b).- La floculación de partículas : cuando la dispersión se debe a fenómenos de repulsión electrostática y que esta última pueda modificarse bruscamente.

c) - La coalescencia de partículas o unión de partículas entre sí motivada por choques provocados por la agitación térmica o mecánica, la interacción entre partículas, por ejemplo la cristalización por formación de enlaces de hidrógeno, favorece la coalescencia

1.7 CARACTERÍSTICAS DE MAYONESA, MARGARINA Y QUESO TIPO PANELA

Mayonesa Emulsión de aceite en agua, suele contener mas de un 70% de aceite comestible (fase aceite), yema de huevo (como producto emulsificante) 6%, vinagre 4%, azúcar 1 5%, sal de cocina 1%, esencia condimentada 0 1%, agua 7 4% (fase agua) Se prepara cuidadosamente emulsionando a baja temperatura (Dana, 1992)

Margarina Emulsión de agua (20%) en aceite o grasa (78 %) que se obtiene por hidrogenación e interesterificación de aceites refinados, el agua, que forma la fase dispersa contiene NaCl y conservadores como sorbatos y benzoatos, mientras que la fase continua, integrada por la grasa, contiene además colorantes, antioxidantes, saborizantes y emulsionantes Según el aceite que se use y el tipo de proceso, la margarina desarrolla las características de punto de fusión (aunque se tiene un dato aproximado de 36° C), y plasticidad requeridas

Fig. 1.11 Análisis de Producción y Venta de Queso tipo Panela en México

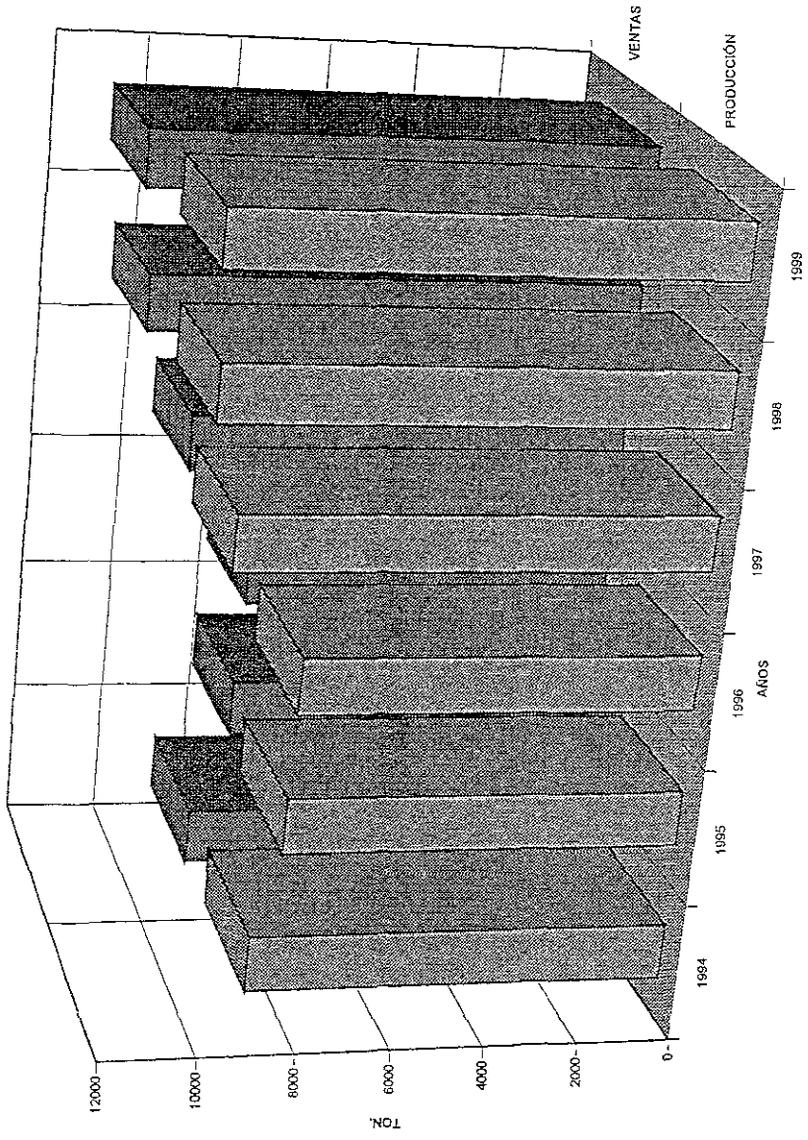
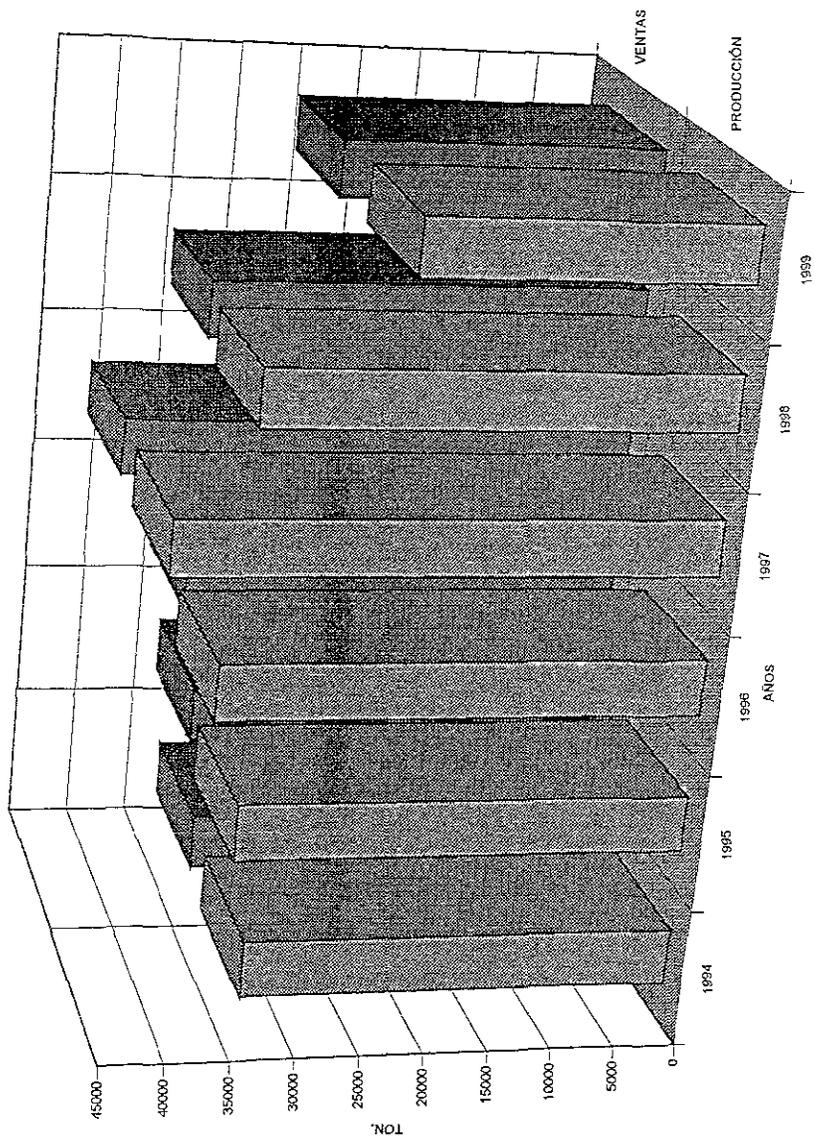


Fig. 1.12 Análisis de Producción y Venta de Margarina en México



CAPITULO II: DESARROLLO EXPERIMENTAL

En el cuadro No 2.1 se describen las actividades experimentales para cada uno de los equipos (pruebas y/o dispositivos) en estudio

2.1 MATERIALES:

Se hace mención de las materias primas (muestras) y materiales empleados para la manipulación, envasado y conservación de las muestras antes de llevar a cabo las pruebas.

a) Producto con consistencia sólida

Queso tipo Panela, es un queso fresco que presenta una suavidad intermedia (sólido con estructura) entre los diferentes tipos de quesos (duros, untables), se optó por emplear la presentación a granel (3.5 kg), por que con presentaciones pequeñas había más producto de desecho al preparar la muestra por los recortes de las partes redondeadas que ya no se emplean.

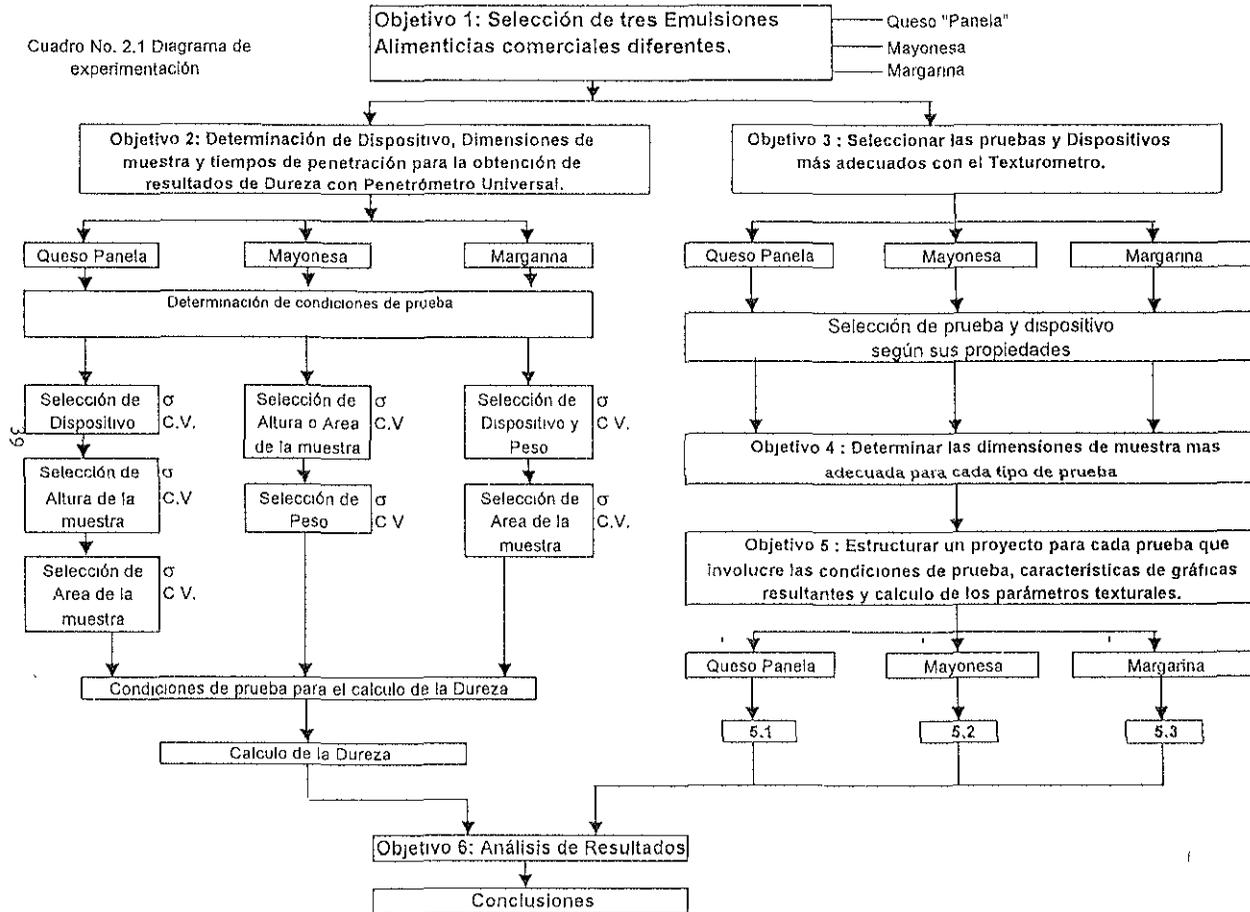
b) Producto (semisólido)

Margarina de barra, es una de las presentaciones más comerciales, representa un cuerpo semisólido, se emplea la presentación de 90 g y la de 225 g

c) Producto plástico

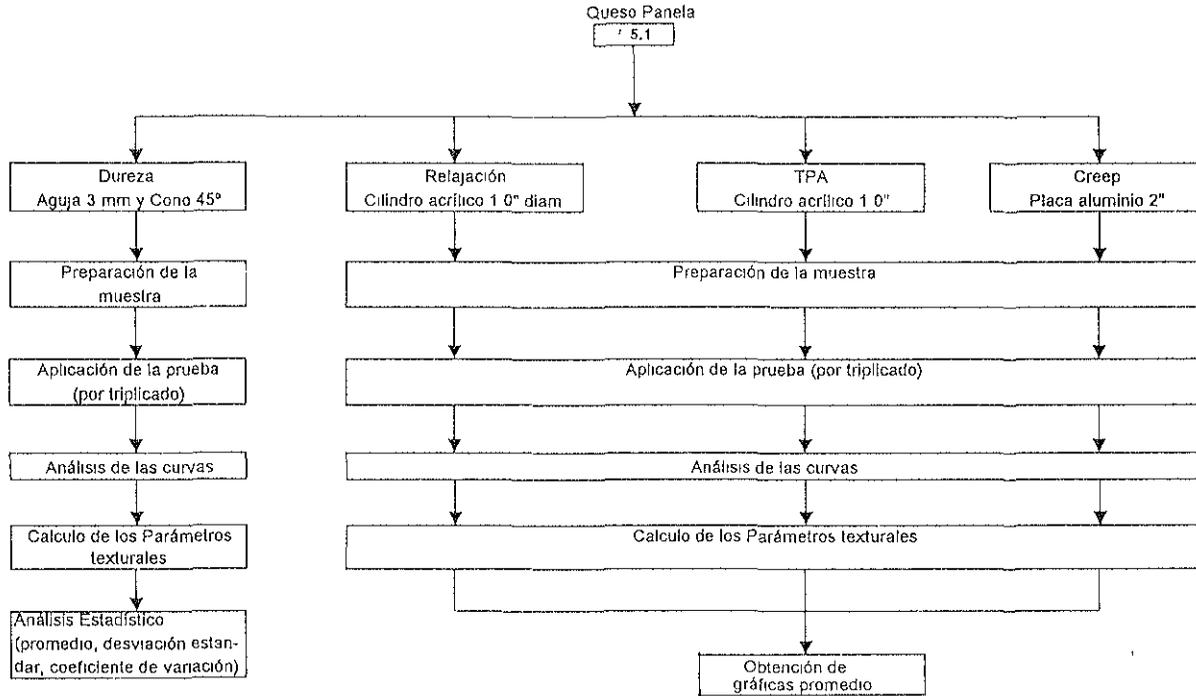
Mayonesa; es un producto semifluido pastoso. Se seleccionaron las presentaciones de 790g y 105g tomando en cuenta el número de pruebas programadas, y los tamaños de muestras requeridos por cada prueba

Cuadro No. 2.1 Diagrama de experimentación

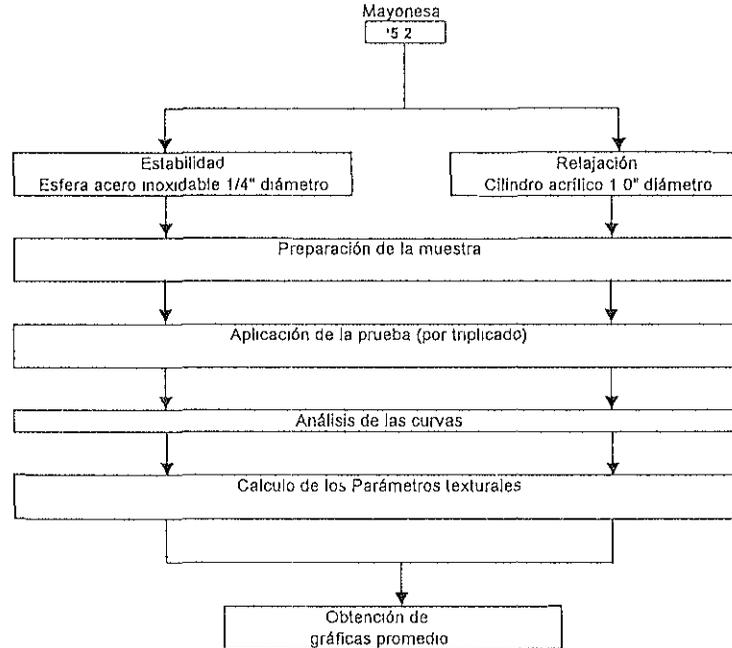


Cuadro No. 2.1.1 Diagrama de experimentación (continuación)

40

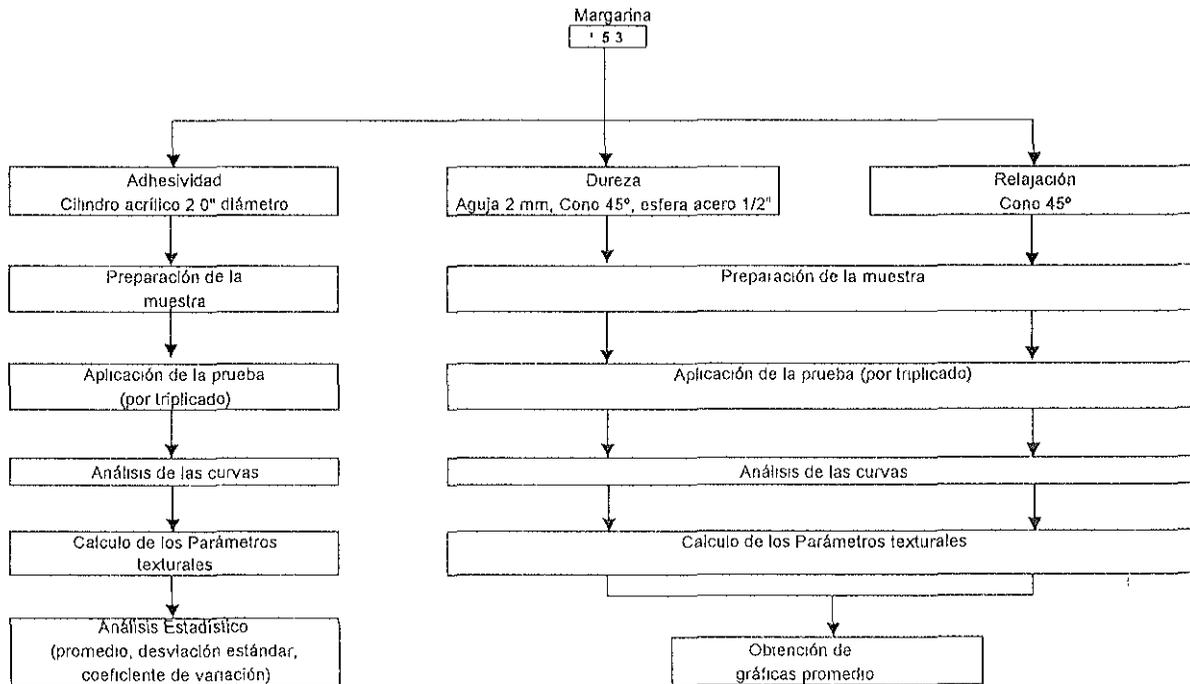


Cuadro No. 2.1.2 Diagrama de experimentación (continuación)



Cuadro No. 2.1 3 Diagrama de experimentación (continuación)

42



Preparación de muestras :

Preparación de muestra para queso tipo Panela :

De la parte central del queso se cortan prismas rectangulares, las cuales a su vez se cortaron en prismas más pequeños cuyas dimensiones variaron según la prueba. Los trozos de queso se envolvieron en película Kleen pack y se mantuvieron en el refrigerador hasta el momento de la prueba.

Preparación de muestra para Mayonesa :

Para las pruebas de penetración con Penetrómetro Universal se emplea la presentación de 790 g de Mayonesa Mc Cormick y debido a que para la prueba se requiere del empleo de un recipiente que contenga la muestra, se seleccionaron vasos de Pet N° 14 que presentan una forma cónica truncada que permiten el libre movimiento del dispositivo (cono de aluminio) durante la prueba, debido a que la altura del vaso a emplear es mayor al espacio libre que hay entre la plataforma del penetrómetro y el dispositivo, se recortan estos de tal manera que presentan las siguientes dimensiones (fig. 2.1)

Diametro superior :	7.4 cm
Diámetro inferior :	5.6 cm
Altura	7.2 cm

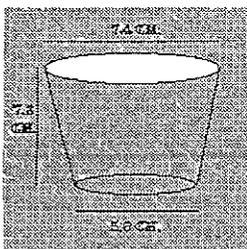


Fig 2.1 Recipiente para muestras de mayonesa

Del envase original de la mayonesa, se transfirió la muestra a los recipientes de prueba utilizando una espátula, tratando de no dejar huecos, y llenando hasta la altura requerida.

Una vez seleccionadas las dimensiones adecuadas del recipiente se procede a plantear tres diferentes alturas o niveles de llenado de muestra, con estas variaciones de altura de muestra, se varía al mismo tiempo el área de la muestra

<u>Altura (cm)</u>	<u>Peso (g)</u>
2.5	70.0
3.5	102.0
4.5	129.0

Los pesos especificados incluyen el vaso recortado que pesa 3.6 g

Preparación de muestra para Margarina :

De la margarina con presentación de 90 g se realizan pruebas preliminares para la selección de dispositivos en la prueba con el Penetrómetro (dimensiones largo: 11.8, ancho: 3.2, alto: 2.5 cm.). las muestras se cortan de la barra de esta presentación (Fig. 2.2) empleando un cuchillo filoso, de la cual se obtienen tres muestras por barra (dimensiones de muestra: 3.9 X 3.2 X 2.5 cm.)

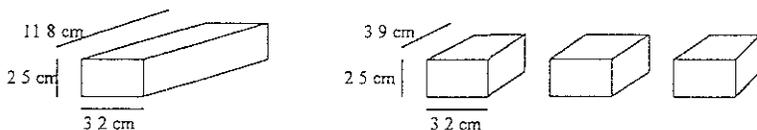


Fig. 2.2 Obtencion de Muestras de Margarina presentación de 90 g

Para las pruebas definitivas se utilizó la presentación de 225 g de Margarina de barra Fig. 2.3 (prisma rectangular) cuyas dimensiones son:

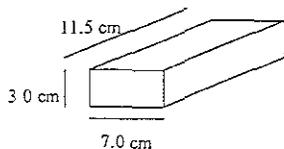


Fig. 2.3 Obtención de muestras de Margarina 225 g.

Nota: Cabe aclarar que a todas las muestras de (queso Panela, margarina y mayonesa) se les envolvió con papel Kleen Pack una vez obtenidas de su presentación original, para evitar deshidratación en la superficie y se mantuvieron en refrigeración (9°C) 24 horas antes de llevar a cabo las pruebas.

2.2 MÉTODOS

Determinar para cada uno de los productos las condiciones (dispositivo, dimensiones de muestra y tiempos de exposición) con las que se obtienen resultados de dureza repetibles, utilizando el Penetrómetro Universal.

2.2.1 PRUEBAS PARA QUESO TIPO PANELA CON PENETRÓMETRO UNIVERSAL:

Pruebas preliminares para Queso tipo Panela:

Debido a que no se tiene una idea muy concreta sobre la resistencia a la penetración se eligió una forma de la muestra de prisma rectangular con dimensiones de 3 cm de largo x 3 ancho x 4 de altura (fig. 2.4) y con estas muestras se efectuaron pruebas preliminares con el cono de aluminio sin peso o con peso adicional y aguja con y sin peso agregado. Se obtuvieron para cada dispositivo lecturas a tiempos de penetración: de 15, 30, 45, 60 y 75 seg.

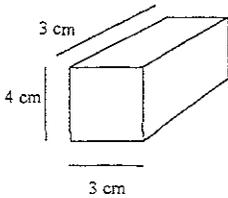


Fig. 2.4 Dimensiones de muestra tentativa para queso tipo Panela

Para justificar el hecho de considerar semejanzas en el uso de cono de bronce y el cono de aluminio adicionándole peso (50 g), se realizaron pruebas preliminares con muestras de queso “tipo Panela” con dimensiones de $3 \times 3 \times 4$ cm y con tiempos de exposición de 10 seg. Dichas pruebas resultaron con lecturas de penetración (distancia) semejantes. Por lo que en lo sucesivo solo se utilizó el cono de aluminio.

Con base en los resultados obtenidos de estas pruebas preliminares, que se darán a conocer en la parte de resultados, se realizó la programación de las pruebas definitivas para el queso tipo Panela en el Penetrómetro Universal, se descartó el empleo de los dispositivos ; cono aluminio s/peso y cono aluminio c/50 g de peso, ya que las lecturas dan valores muy bajos. Por el contrario, se consideran para las pruebas además de la aguja s/peso y aguja c/50 g de peso, el cono de aluminio c/100 g de peso adicional.

En todos los casos se efectuaron 3 réplicas y se calcularon el promedio, la desviación estándar y el coeficiente de variación.

Pruebas definitivas para Queso tipo Panela :

Tomando las dimensiones de muestra elegidas durante la prueba preliminar (3 x 3 x 4 cm), se programaron las siguientes pruebas

1.- Efecto de Dispositivo :

Cono de Aluminio c/100 g ----- 3 réplicas
Aguja s/peso ----- 3 réplicas
Aguja c/50 g ----- 3 réplicas

2.- Efecto de Altura de muestra :

Después de elegir el tipo de dispositivo a emplear con base en el análisis estadístico de desviación estándar y coeficiente de variación, se varió la altura de la muestra conservando área lateral de 3 x 3 cm

altura (cm)

4 0

3 0

2 0

3.- Efecto de Área de muestra :

Una vez obtenido el tipo de dispositivo y altura de muestra a emplear para este tipo de producto, por medio de los valores de desviación estándar y coeficientes de variación, se procede a realizar pruebas con las siguientes áreas de las muestras .

Areas (cm²)

2 x 4

3 x 4

2 x 3

A estos resultados también se le aplican los parámetros estadísticos de desviación estándar y coeficiente de variación. Y se destacan más en forma de negritas a los valores o especificaciones que presentan menor Coeficiente de Variación y que fueron seleccionándose para la aplicación de otras pruebas posteriores.

2.2.2 PRUEBAS PARA MAYONESA CON PENETRÓMETRO UNIVERSAL :

Considerando que la mayonesa es un producto suave, se descarta el uso de la aguja y se programan las siguientes pruebas para la obtención de las especificaciones de prueba y la determinación de su dureza.

Efecto de Altura de muestra :

	<u>Altura de muestra</u>	<u>Tiempos de exposición</u>	<u>Réplicas</u>
	(cm)	(seg)	
Cono de Aluminio s/peso :	2.5	15, 30, 45, 60	3
Cono de Aluminio s/peso	3.5	15, 30, 45, 60	3
Cono de Aluminio s/peso :	4.5	15, 30, 45, 60	3

A los resultados de dureza de estas pruebas se aplican parámetros estadísticos de los cuales se selecciona el que presente desviación estándar y coeficiente de variación más bajos.

2 - Efecto de peso del dispositivo :

Empleando la altura resultante de la prueba anterior, se utilizaron los siguientes pesos.

	<u>Tiempos de exposición</u>	<u>Réplicas</u>
	(seg)	
Cono de Aluminio s/peso :	15, 30, 45, 60 .	3
Cono de Aluminio c/50 g	15, 30, 45, 60	3
Cono de Aluminio c/100 g:	15, 30, 45, 60 .	3

Para estas pruebas al igual que las pruebas anteriores de efecto de altura, se aplican parámetros estadísticos para seleccionar el tipo de dispositivo.

2.2.3 PRUEBAS PARA MARGARINA CON PEÑETRÓMETRO UNIVERSAL :

Prueba preliminar de selección de dispositivos .

Se efectuó una prueba preliminar para seleccionar los dispositivos más adecuados utilizando la presentación de 90 g (dimensiones $l= 11.8$, $a= 3.2$, $h= 2.5$ cm) Las muestras se cortan de la barra de esta presentación (Fig. 2.5) empleando un cuchillo filoso, de la cual se obtienen tres muestras por barra (dimensiones de muestra $3.9 \times 3.2 \times 2.5$ cm), las pruebas se realizan a 15, 30, 45, 60 y 75 seg

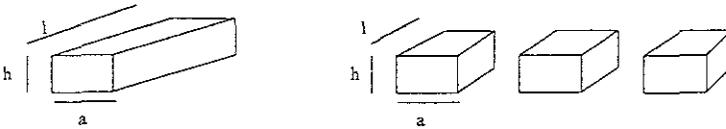


Fig 2.5 Dimensiones de muestras de margarina 90g

El producto empleado para las pruebas definitivas es margarina en presentación de 225 g forma de barra Fig 2.6 (prisma rectangular) cuyas dimensiones son : $l=11.5$; $a=7.0$, $h=3.0$ cm

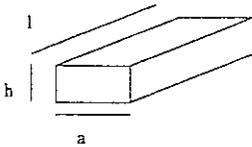


Fig 2.6 Dimensiones de muestra en margarina 225 g

Los tipos de dispositivos más recomendables a emplear con base en los resultados de las pruebas son : Cono de aluminio c/50 g, Cono de aluminio c/100 g y Aguja s/peso

De la presentación de 225 g de margarina se cortaron muestras de 4.0 cm de largo, 3.0 de ancho y 3.0 cm de altura y se emplearon para las siguientes pruebas:

Efecto de Dispositivo :

<u>Dispositivo</u>	<u>Tiempo de exposición</u> (seg)	
Cono de aluminio c/50 g	15, 30, 45, 60	----- 3 réplicas
Cono de aluminio c/100 g	15, 30, 45, 60 .	----- 3 réplicas
Aguja s/peso adicional	15, 30, 45, 60 .	----- 3 réplicas

A cada una de estas pruebas se les aplican los parámetros estadísticos de desviación estándar y coeficiente de variación, el dispositivo que resulte con valores de estos parámetros más bajos, se va a considerar para el siguiente bloque de pruebas

Efecto de Área de la muestra:

Manteniendo la altura de muestra fija (3 0 cm) y empleando para estas pruebas el dispositivo resultante de las pruebas anteriores se plantea realizar pruebas de penetración considerando las siguientes áreas

Área de muestra

2 X 2 cm

3 X 3 cm

4 X 4 cm

Para los resultados de estas pruebas también se aplican los parámetros estadísticos antes indicados

Nota : En la parte de Antecedentes se presenta el procedimiento para las pruebas de penetración con Penetrómetro Universal.

* Todos los resultados de las pruebas realizadas para cada uno de los productos (queso tipo Panela, mayonesa y margarina) se especifican con mayor detalle en la parte de RESULTADOS.

2.2.4 SELECCIONAR LAS PRUEBAS Y DISPOSITIVOS DEL TEXTURÓMETRO QUE MÁS SE ADECUEN A LA EMULSIÓN ALIMENTICIA SEGÚN SUS PROPIEDADES.

Para la selección de pruebas y dispositivos a emplear en los productos seleccionados con el Texturómetro se encontró que el equipo presenta diversos dispositivos de los cuales algunos son muy específicas para determinados productos o para determinar un parámetro textural, además también presenta dispositivos que pueden ser aplicados para alimentos que se encuentran dentro de un rango determinado de consistencia y que pueden determinar diferentes parámetros dependiendo de la prueba en que se apliquen.

El manual de procedimientos de uso del equipo proporciona información fundamentada y recomendaciones sobre el uso más adecuado de los dispositivos en relación con el tipo de alimento que se va a emplear. Debido a las características físicas y estructurales de cada uno de los productos y con el apoyo de la información del manual de procedimientos, se eligieron los dispositivos y tipos de pruebas para cada producto.

En el anexo No 1 se describe paso a paso el procedimiento de uso del Texturómetro, el tablero y el programa de computo para la realización de las pruebas.

Pruebas y Dispositivos para Margarina:

Adhesividad . cilindro acrílico 1 0" diámetro (TA-11)

Dureza . cilindro acero inoxidable 2 mm diámetro (P2) "aguja"

Dureza . cono 45° acero inoxidable (TA-15)

Dureza . esfera acero inoxidable ½" diámetro (PO. 5 seg)

Relajación . cono 45° acero inoxidable (TA-15)

Pruebas y Dispositivos para Mayonesa:

Fatiga cíclica : esfera acero inoxidable ¼" diámetro (PO. 25seg)

Relajacion . cilindro acrílico 1.0" diámetro (TA-11)

Pruebas y Dispositivos para Queso tipo Panela:

Dureza "tres picos" cono 45° acero inoxidable (TA-15)

Análisis de perfil de textura (TPA): cilindro acrílico 1 0" diámetro (TA-11)

Relajación cilindro acrílico 1 0" diámetro (TA-11)

Dureza . cilindro acero inoxidable 3 mm diámetro (P3) "aguja"

Creep placa circular aluminio 2" diámetro

2.2.5 DETERMINAR LAS DIMENSIONES DE LA MUESTRA MÁS ADECUADAS PARA CADA TIPO DE PRUEBA EN EL TEXTURÓMETRO.

Dimensiones de muestra para Margarina :

Adhesividad la margarina empleada, es una margarina dura destinada a utilizarse en cocina y repostería, no es de uso para mesa o untable. En su estado original y a temperatura de refrigeración no presenta propiedades adhesivas. Para evaluar esta prueba, la margarina se batió manualmente con una espátula a temperatura ambiente para darle características untables y adhesivas simulando una margarina de mesa.

Cuando se obtienen estas características en el producto se envasan las muestras en cajitas cilíndricas de aluminio cuyas dimensiones son de 4 85 cm de diámetro y cuya altura de la muestra previamente emparejada de la superficie es de 6 mm.

Dureza (aguja) : Para esta prueba se emplea la presentación de 225 g de margarina de la cual se obtienen muestras en forma de prisma rectangular con las siguientes dimensiones . alto 2 5 cm, ancho 3 0 cm, largo 4 0 cm.

Estas dimensiones de muestra se seleccionaron con base en el desarrollo de pruebas preliminares descritas anteriormente en la parte de materiales y métodos en las pruebas con el Penetrómetro Universal, dichas dimensiones fueron las mas adecuadas por que proporcionaron mayor repetibilidad.

Dureza (cono 45°) : Se emplea la presentación de 225 g de margarina, las muestras se obtienen en forma de prisma rectangular de 3 0 cm de altura, 3 0 cm de ancho y 3,0 cm de largo a partir de pruebas preliminares con el Penetrómetro Universal, donde estas dimensiones presentaron mayor repetibilidad

Dureza (esfera) : Se emplea para esta prueba la presentación de 225 g de margarina, se realizaron pruebas preliminares para la selección de las dimensiones de muestra que proporcionen una mayor repetibilidad de las pruebas Debido a la forma y área de contacto que presenta el dispositivo (esfera) y para evitar fracturas de muestra durante las pruebas se obtuvieron mejores resultados con las siguientes dimensiones de muestra altura 3 0 cm, ancho 6 0 cm, largo 6 0 cm.

Relajación : Se emplea la presentación de 225 g de margarina, de las pruebas preliminares que se realizaron para obtener las dimensiones de muestra con mayor repetibilidad resultaron : altura 4 0 cm, ancho 4 0 cm, y largo 4 0 cm

Dimensiones de muestra de Mayonesa para obtener:

Estabilidad (Fatiga Cíclica). debido a que en esta prueba se busca obtener la pérdida de la estructura y/o de dureza del producto en su presentación original cuando se somete a un cizallamiento continuo, se emplea como muestra la presentación de 105 g de mayonesa en su envase comercial para evitar el manejo excesivo al trasvasarla Las pruebas se realizaron a temperatura ambiente.

Relajación Como el producto presenta características de un cuerpo semifluido, se emplean como recipientes para las pruebas envases de Pet No 14 recortados cuyas dimensiones se muestran en la parte de materiales y metodos Por la forma de cono truncado que toma la muestra del recipiente que lo contiene, la muestra presenta un radio inferior de 2 9 cm, radio superior 3 2 cm, y una altura de muestra de 1 91 cm

Dimensiones de muestra para Queso tipo Panela para obtener:

Para el caso de las pruebas con queso tipo Panela se tomaron los criterios de las pruebas preliminares que se realizaron con el Penetrómetro Universal para seleccionar las dimensiones de muestra que se emplearían en la pruebas definitivas De las cuales resultó con un mayor repetibilidad y evitando fracturas de la misma, las dimensiones alto 3.0 cm, ancho 4 0 cm, y largo 4 0 cm, dichas dimensiones se emplearon para las pruebas la mayoría de los dispositivos, con excepción del dispositivo cono 45° que empleó una altura de muestra de 3 5 cm

Dureza (cono 45°) . para la prueba se emplea la presentación a granel (3.5 kg) de la cual se obtienen las muestras con dimensiones altura 3.5 cm, ancho 4.0 cm, y largo 4.0 cm.

El motivo por el que se tomaron las mismas dimensiones que en la prueba de penetración con Penetrómetro es que las características que presenta el queso Panela, como homogeneidad, su estructura firme, permiten soportar la aplicación de fuerzas de compresión con diferentes tamaños de dispositivo. Por ello fueron empleadas estas dimensiones (3.0 x 4.0 x 4.0 cm) para las pruebas de análisis de perfil de textura "TPA" (cilindro acrílico 1.0" diámetro), relajación (cilindro acrílico 1.0" diámetro), dureza (aguja acero inoxidable 3 mm de diámetro) y creep (placa cilíndrica aluminio 2" diámetro)

2.2.6 ESTRUCTURAR UN PROYECTO PARA CADA PRUEBA QUE INVOLUCRÉ LAS CONDICIONES DE PRUEBA, CARACTERÍSTICAS DE GRÁFICAS RESULTANTES Y CÁLCULO DE LOS PARÁMETROS TEXTURALES

Para todas las pruebas realizadas por el Texturómetro las muestras fueron cortadas y refrigeradas 24 hrs (aprox 9° C) antes de la prueba, con excepción de las de adhesividad de Margarina y estabilidad en la Mayonesa.

A continuación se mencionan las condiciones más adecuadas, las dimensiones de muestra y dispositivos empleados para la realización de cada prueba con el Texturómetro .

Adhesividad en Margarina:

La prueba se efectuó inmediatamente después de batir, envasar y acondicionar las muestras

- Dispositivo cilindro de acrílico de 1 pulgada de diámetro (TA-11, 1.0")
- Temperatura de muestras 25°C
- Área de muestra 452.38 mm²
- Velocidad de movimiento del dispositivo hacia la muestra de 2.0 mm/seg
- Velocidad del dispositivo durante la prueba de 1.0 mm/seg
- Velocidad de retirada del dispositivo de la muestra de 5.0 mm/seg
- Fuerza con la que el dispositivo detecta el contacto con la muestra 15 g
- Distancia de recorrido del dispositivo durante la retirada

Durante esta prueba de adhesividad en específico, se debe sujetar bien el molde que contiene la muestra (caja de aluminio), ya que por el grado de adhesividad del producto en el momento de retirada del dispositivo, el molde suele quedarse adherido al dispositivo y provocar una variación importante en los resultados finales de la prueba. Se realiza la prueba por triplicado y en las mismas condiciones cada una de ellas, con la finalidad de tomar en cuenta sus resultados texturales para aplicar los parámetros estadísticos de desviación estándar, promedio y coeficiente de variación y finalmente obtener de estas tres curvas

Los parámetros texturales obtenidos son fuerza máxima, áreas adhesiva y cohesiva, untabilidad y área total, se especifican sus valores en el capítulo 3

Dureza en Margarina (aguja):

Las muestras se obtuvieron de la margarina con presentación de 225 g y fueron cortadas con cuchillo caliente para evitar fracturas por ser un cuerpo sólido y se trabajaron a temperatura de refrigeración (aprox. 9°C)

Las condiciones de prueba son

- Se emplea el dispositivo de cilindro de Acero Inoxidable de 2 mm (P2) de diámetro
- Muestras (prisma rectangular) con dimensiones de , alto 2.5 cm, ancho 3.0 cm y largo 4.0 cm.
- En la prueba se mide fuerza en compresión, después de realizar la prueba el dispositivo regresa a la distancia a la que se encontraba antes de iniciar la prueba
- Velocidad del dispositivo antes de la prueba es de 4.0 mm/seg
- Velocidad durante la prueba es de 2.0 mm/seg
- Velocidad de retirada del dispositivo es de 4.0 mm/seg
- Fuerza con la que el dispositivo detecta el contacto con la muestra: 10 g
- Distancia de recorrido del dispositivo durante la prueba 10 mm.

Dureza en Margarina (cono):

Las muestras se obtuvieron de la margarina con presentación de 225 g y fueron cortadas con cuchillo caliente para evitar fracturas por ser un cuerpo sólido y se trabajaron a temperatura de refrigeración (aprox. 9°C)

Las condiciones de prueba son:

- El dispositivo empleado es cono 45° acero inoxidable (TA-15).
- Se mide fuerza en compresión
- El dispositivo regresa a la posición inicial después de la prueba.
- Dimensiones de muestra · 3.0 cm ancho, 3.0 cm alto y 3.0 cm de largo
- Velocidad del dispositivo antes de la prueba 4 0 mm/seg.
- Velocidad durante la prueba 2 0 mm/seg
- Velocidad en la retirada del dispositivo 4.0 mm/seg
- Fuerza con la que el dispositivo detecta el contacto con la muestra: 10 g
- Distancia de recorrido del dispositivo durante la prueba 10 mm.

Dureza en Margarina (esfera);

Las muestras para estas pruebas presentan una área de la superficie más amplia, debido sobre todo a que la superficie de contacto del dispositivo es mayor que para las anteriores pruebas de dureza para margarina.

Las condiciones de prueba son:

- Dimensiones de muestra: (prisma rectangular) con altura 3.0 cm, ancho 6 0 cm y largo 6 0cm
- Dispositivo esfera de acero inoxidable ½" (PO.5 seg)
- Medir fuerza en compresión, el dispositivo regresa a la posición inicial
- Velocidad del dispositivo antes de la prueba 4 0 mm/seg
- Velocidad durante la prueba 2.0 mm/seg.
- Velocidad del dispositivo después de la prueba 4.0 mm/seg
- Fuerza con la que el dispositivo detecta el contacto con la muestra 10 g
- Distancia de recorndo del dispositivo durante la prueba 5 mm

Los parámetros texturales obtenidos en las pruebas de dureza con (aguja, cono y esfera) son fuerza maxima "dureza", area bajo la curva y pendiente al inicio de la curva

Relajación:

Se realizan estas pruebas para queso Panela, margarina y mayonesa en las cuales se mide fuerza en compresión y el dispositivo se mantiene una distancia o fuerza establecida hasta un tiempo indicado

Para los diferentes productos se emplean las siguientes pruebas:

Margarina

- La muestra (prisma rectangular) con dimensiones de alto 3 0 cm, ancho 4 0 cm y largo 4 0 cm
- Dispositivo empleado es cono 45° (TA-15)
- La velocidad del dispositivo antes de la prueba es de 4 0 mm/seg
- Velocidad durante la prueba 2 0 mm/seg.
- Velocidad de retirada del dispositivo de 4 0 mm/seg
- Fuerza con la que el dispositivo detecta el contacto con la muestra 10 g
- Distancia de recorrido del dispositivo durante la prueba 10 mm.
- Tiempo que se mantiene el dispositivo en la distancia indicada 30 seg

Mayonesa

La muestra toma forma del recipiente que lo contiene (como truncado) ya que se trabaja con vasos de Pet recortados

- El dispositivo empleado es cilíndrico de acrílico 1 0" diámetro
- Dimensiones de muestra: radio mayor de 1 6 cm, radio menor 1 45 cm, altura 1 91 cm y el área de la muestra es de 329 49 mm²
- Velocidad del dispositivo antes de la prueba es de 4 0 mm/seg
- Velocidad durante la prueba 2 0 mm/seg
- Velocidad de retirada del dispositivo de 4 0 mm/seg.
- Fuerza con la que el dispositivo detecta el contacto con la muestra: 10 g
- Distancia de recorrido del dispositivo durante la prueba 12 mm.
- Tiempo que se mantiene el dispositivo en la distancia indicada 30 seg

Queso tipo Panela

- Dispositivo empleado es cilíndrico de acrílico 1.0" diámetro.
- Dimensiones de muestra (prisma rectangular): altura 3.0 cm, ancho: 4.0 cm, largo: 4.0 cm
- Velocidad del dispositivo antes de la prueba: 4.0 mm/seg
- Velocidad durante la prueba: 1.5mm/seg
- Velocidad de retrada del dispositivo de 4.0 mm/seg
- Fuerza con la que el dispositivo detecta el contacto con la muestra 10 g
- Distancia de recorrido del dispositivo durante la prueba 6 mm
- Tiempo que se mantiene el dispositivo en la distancia indicada. 30 seg

Estabilidad en Mayonesa:

La prueba se aplica directamente al producto dentro de su envase comercial y a temperatura ambiente, para el estudio se emplea la presentación de mayonesa 105 g, dicha prueba se conoce también como de rompimiento de estructura o fatiga cíclica y se aplica a productos semisólidos o similares como el yoghurt, que tienen cierto grado de estructura sin llegar a ser sólidos

Las condiciones de prueba son

- El dispositivo empleado es esfera de acero inoxidable $\frac{1}{4}$ " de diámetro.
- Las dimensiones del envase del producto son : altura 8.3 cm, diámetro de la parte más ancha 5.0 , diámetro de la boquilla del envase 4.1 cm, altura de la muestra 7 cm
- Se mide fuerza en compresión en ciclos, fueron ciclos de 10 mm, de bajada y de 10 mm de subida del dispositivo permanente colocado a 3.5 cm del fondo del recipiente
- Velocidad del dispositivo antes de la prueba 4.0 mm/seg
- Velocidad durante la prueba 2.0 mm/seg.
- Velocidad de retrada después de la prueba 4.0 mm/seg.
- Ciclos 10
- Área de contacto del dispositivo es de 49.08 mm²
- Fuerza de contacto 10 g

La muestra se dejó reposar 90 seg después de ubicar el dispositivo en su posición de inicio.

Dureza en Queso tipo Panela “tres picos” (con cono):

Las condiciones de prueba son:

- Dispositivo empleado cono 45° (TA-15) de acero inoxidable
- Dimensiones de muestra (prisma rectangular) 3,5 cm de alto, 4,0 cm de ancho, y 4,0 cm de largo.
- El estudio se establece para medir fuerza en compresión.
- Se efectúa un movimiento continuo de subida y bajada del dispositivo desde el contacto con la muestra hasta la distancia indicada (3 veces)
- Velocidad del dispositivo antes de la prueba es de 5,0 mm/seg
- Velocidad durante la prueba 2,0 mm/seg
- Velocidad de retiro del dispositivo 5,0 mm/seg.
- Fuerza con la que el dispositivo detecta el contacto con la muestra. 15 g
- Distancia de recorrido del dispositivo durante la prueba 15 mm

TPA en Queso tipo Panela:

Las condiciones de prueba son

- Dimensiones de muestra son 3,0 cm de alto, 4,0 cm de ancho y 4,0 cm de largo (prisma rectangular)
- Dispositivo empleado es cilíndrico de acrílico 1,0” diámetro (TA-11)
- Velocidad del dispositivo antes de la prueba de 2,0 mm/seg.
- Velocidad durante la prueba de 1,7 mm/seg
- Velocidad de retirada del dispositivo de 5,0 mm/seg
- Fuerza con la que el dispositivo detecta el contacto con la muestra 20 g
- Distancia de recorrido del dispositivo durante la prueba 15 mm
- Tiempo de espera entre ciclos 5 seg

Dureza en Queso tipo Panela (con aguja):

Las condiciones de prueba son:

- Dimensiones de muestra (prisma rectangular): 3 0 cm de altura, 4 0 cm de ancho y 4 0 cm de largo
- Se emplea el dispositivo de cilindro de Acero Inoxidable de 2 mm (P2) de diámetro
- Mide fuerza en compresión y se introduce el dispositivo a una distancia especificada
- Velocidad del dispositivo antes de la prueba es de 5 0 mm/seg
- Velocidad durante la prueba de 2 0 mm/seg
- Velocidad de retrada del dispositivo de 5.0 mm/seg
- Fuerza con la que el dispositivo detecta el contacto con la muestra. 15 g
- Distancia de recorrido del dispositivo durante la prueba 10 mm

Creep para Queso tipo Panela:

Las condiciones de prueba son:

- Dimensiones de muestra (prisma rectangular): 3 0 cm de alto, 4 0 cm de ancho y 4.0 cm de largo.
- Se emplea el dispositivo de placa circular de Aluminio de 2 pulgadas de diámetro
- Mide distancia, el dispositivo se mantiene a una fuerza determinada durante un tiempo indicado
- Velocidad del dispositivo antes de la prueba es de 5 0 mm/seg
- Velocidad durante la prueba 2 0 mm/seg
- Velocidad de retrada del dispositivo 1 0 mm/seg
- Fuerza con la que el dispositivo detecta el contacto con la muestra 15 g
- Tiempo de duración de la prueba 180 seg
- Fuerza aplicada 500 g

Los resultados se analizan de dos formas:

1º- De la curva obtenida en el Texturómetro (distancia - tiempo), que muestra un comportamiento similar al modelo de Burger, se obtuvieron pendiente y ordenada al origen de la zona lineal (comportamiento viscoso), deformación y tiempo de inicio de la zona lineal y finalmente deformación total. (Shramm, 1994).

2º- Los datos de distancia y tiempo obtenidos de la prueba se copiaron a Excel y de estos se calculó

- Deformación relativa " $\gamma(t)$ "

$$\gamma(t) = (h_0 - h(t)) / \eta_0$$

h_0 = altura inicial de la muestra

$h(t)$ = altura de la muestra en el tiempo (t)

esfuerzo aplicado $\tau = F/A$

F = fuerza aplicada

A = área de contacto

- Creep Compliance "J"

$$J(t) = \gamma(t) / \tau$$

Una vez obtenido $J(t)$ para cada tiempo, los datos son ingresados en una hoja de cálculo en Excel que calcula los parámetros del modelo de Burger (J_0 , J_1 , T_R), basado en el método gráfico de Inokuchi, y a un programa "creep" diseñado para este fin. Así se obtiene un primer ajuste de los datos experimentales al modelo de Burger. Posteriormente los parámetros calculados se ingresan a un programa matemático comercial (Curve Expert) junto con la ecuación del modelo de Burger para la obtención del ajuste final (Shramm, 1994).

Los procedimientos seguidos para obtener las gráficas, los datos de fuerza, áreas, distancias, pendientes, tiempos, necesarios para el cálculo de los parámetros texturales de cada prueba (macros), se presentan en el Anexo 3

CAPITULO III: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LAS DIFERENTES PRUEBAS CON LOS DOS INSTRUMENTOS EMPLEADOS.

3.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS PARA PRUEBAS CON PENETRÓMETRO UNIVERSAL

3.1.1 Queso tipo Panela:

Pruebas realizadas en queso tipo Panela (ancho: 3 0, largo: 3 0, alto: 4 0 cm) empleando el Penetrómetro Universal con tres diferentes dispositivos, para determinar cual de ellos es el más adecuado y a que tiempo de exposición se obtienen C V más bajos (cuadros 3 1 y 3 2)

Cuadro 3.1: Efecto de Dispositivo: Cono de aluminio c/100 g de peso agregado (peso total 182.5 g)

tiempo (seg)	DUREZA (Dinas/cm ²)		
	Promedio	Desv Est	C V
15	2232.547	125.538	5.623
45	1530.909	111.541	7.286
75	1314.149	85.542	6.509

Cuadro 3.2. Efecto de Dispositivo: Aguja s/peso agregado (peso total 50 g)

tiempo (seg)	DUREZA (Dinas/cm ²)		
	Promedio	Desv Est	C V
15	11307.621	573.265	5.07
45	8833.804	479.431	5.427
75	7453.746	482.385	2.445

En la determinación del efecto de dispositivo en queso tipo Panela empleando aguja con 50 g de peso adicional, llegó al tope la varilla de deslizamiento, posteriormente se repitió la prueba y resultó lo mismo, por lo cual no se obtuvieron lecturas

Se decide trabajar con el dispositivo aguja s/peso, con 75 seg., ya que presenta un coeficiente de variación menor que el cono de aluminio c/100 g de peso. Además se considera para las siguientes pruebas del efecto de la altura

Después de haber determinado el tipo de dispositivo y el tiempo de exposición con el cual se va a trabajar (aguja s/peso a 75 seg de exposición), en el cuadro 3.3 se presentan los resultados de las pruebas empleando lo mencionado anteriormente y variando las alturas de muestra *:

Cuadro N° 3.3: Efecto de Altura: Aguja s/peso agregado a 75 seg

altura (cm)	DUREZA (Dinas/cm ²)		
	Promedio	Desv Est	C V.
4	10185.717	638.305	4.83
3	10266.647	1261.433	12.287
2	11516.133	1318.234	11.447

* La muestra tuvo una área o superficie de 3 x 3 cm.

La muestra con Altura de 4 cm presento menor variación de las lecturas de dureza entre las tres réplicas, debido a que tenía mayor espacio de acolchonamiento (altura) y por lo tanto amortiguamiento para una penetración homogénea, a comparación de las demás muestras

Finalmente para las siguientes pruebas se mantuvo constante aguja s/peso, 75 seg de exposición y altura de 4 0 cm, mientras se varían las áreas o superficies de la muestra. Lo cual se esquematiza en el cuadro 3 4

Cuadro N° 3.4: Efecto de Área: Aguja s/peso agregado a 75 seg

área cm ²	DUREZA (Dinas/cm ²)		
	Promedio	Desv Est	C V
2*3	8114.522	663.844	6.469
2*4	7902.325	975.995	12.351
3*4	7942.525	822.08	10.35

De la prueba anterior de efecto de área se obtuvo menor variación de los valores de dureza con el área de 2 x 3 cm en relación a las demás áreas, pero se procede a elegir el área que se empleó en la prueba anterior

efecto de altura : 3 x 3 cm Debido a que se obtuvo menor coeficiente de variación y finalmente por que estas dimensiones de muestra presentan mayor estabilidad durante su manejo.

De todo el conjunto de pruebas anteriormente realizadas para el queso tipo Panela (Noche Buena) se generaron las condiciones y procedimientos más adecuados o más repetitivos (aguja s/peso, 75 seg de exposición, altura de muestra : 4.0 cm, área de la muestra : 3*3 cm) para la obtención de valores de dureza. Estos valores pueden ser aplicados para productos con similar consistencia

3.1.2 Mayonesa:

Para esta prueba los recipientes que se emplearon fueron vasos desechables de Pet-14 recortados, se seleccionaron tres niveles de llenado (2.5, 3.5 y 4.5 cm) de la base del recipiente hasta la superficie de la muestra, con esto además de variar alturas se varían al mismo tiempo áreas, debido a la forma cónica del recipiente

Inicialmente se realizan las pruebas con niveles de llenado o altura de la muestra de 2.5, 3.5 y 4.5 cm de las cuales, las de 2.5 cm no resultaron adecuadas debido a que la muestra opone poca resistencia a la penetración, además de que la altura de la muestra es muy pequeña y penetra todo el cono casi instantáneamente.

Por lo tanto en los siguientes cuadros 3.5 y 3.6 aparecen las pruebas realizadas con alturas de muestra de 3.5 y 4.5, empleando el cono de aluminio s/peso agregado para las dos pruebas y tiempos de exposición de intervalos de 10 seg

Cuadro N° 3.5: Efecto de Altura : Cono aluminio s/peso agregado.

tiempo (seg)	DUREZA (Dinas/cm ²)		
	Promedio	Desv. Est.	C V.
10	28.717	0.857	2.983
20	27.573	0.743	2.693
30	27.434	0.855	3.118

Altura de la muestra de 3.5 cm

Cuadro N° 3.6: Efecto de Altura : Cono aluminio s/peso agregado.

tiempo (seg)	DUREZA (Dinas/cm ²)		
	Promedio	Desv. Est.	C.V.
10	25.588	0.958	3.742
20	25.112	0.835	3.324
30	24.714	0.865	3.502

Altura de la muestra de 4.5 cm

Para esta prueba se determinó la altura de muestra más adecuada y repetible por tener menor coeficiente de variación (altura = 3.5 cm).

En cuanto a parámetros estadísticos se refiere, se puede decir que las pruebas realizadas con mayonesa presentan más bajos coeficientes de variación que las realizadas con margarina o con queso tipo Panela. Esto se debe principalmente al grado de homogeneidad, al tipo de estructura y al contenido de burbujas atrapadas entre el producto para el caso de la margarina y queso tipo Panela.

Una vez fijado el valor de la altura obtenido anteriormente (3.5 cm), se procede a realizar las pruebas con esta altura y variando el tipo de dispositivo, cuadros 3.7, 3.8 y 3.9.

Cuadro N° 3.7: Efecto de Dispositivo : Cono aluminio s/peso agregado (peso total: 82.5 g)

Tiempo (seg)	DUREZA (Dinas/cm ²)		
	Promedio	Desv. Est.	C.V.
15	31.089	0.564	1.813
30	29.881	0.391	1.308
45	29.521	0.299	1.014
60	29.269	0.324	1.108

Se fija la altura de muestra de 3.5 cm

Cuadro N° 3.8: Efecto de Dispositivo : Cono aluminio c/50 g de peso agregado (peso total: 132.5 g)

Tiempo (seg)	DUREZA (Dinas/cm ²)		
	Promedio	Desv. Est.	C.V.
15	38.639	1.267	3.279
30	37.50	1.364	3.636
45	37.993	2.234	5.88
60	**	**	**

Se fija la altura de muestra de 3.5 cm

No se obtienen lecturas para tiempo de 60 seg, ya que la varilla deslizante estaba por llegar al tope

Cuadro N° 3.9: Efecto de Dispositivo : Cono aluminio c/100 g de peso agregado
(peso total: 182,5 g)

tiempo (seg)	DUREZA (Dinas/cm ²)		
	Promedio	Desv. Est.	C.V
15	49.489	1.409	2.846
30	48.687	1.268	2.605
45	48.126	1.186	2.463
60	47.795	1.173	2.455

Se fija la altura de muestra de 3.5 cm

Se distingue el valor de dureza con el cono de aluminio s/peso, altura 3.5 cm y 45 seg de penetración que presentó menor coeficiente de variación, a comparación del mismo dispositivo con 50 y 100 g de peso agregado que presentaron un coeficiente de variación mayor, sobre todo por que cuando se aplica mayor peso sobre el dispositivo durante la penetración, se tienen más diferencias en las lecturas

Con las pruebas anteriores realizadas a la mayonesa (Mc Cormick) se obtuvieron las condiciones, procedimientos y valores de dureza más repetibles y adecuados para poder ser aplicados a productos como éste o con semejanza consistencia (cono de aluminio s/peso agregado, 3.5 cm de altura de muestra y 45 seg de exposición)

3.1.3 Margarina:

Se realizan pruebas de penetración con Penetrómetro Universal en margarina presentaciones 90 y 225 g barra. Para la selección de peso del dispositivo (cono aluminio c/50 g cuadro 3.10, c/100 g cuadro 3.11 y aguja s/peso agregado) se emplea la primera presentación: 90 g, cuyas dimensiones de muestra son las siguientes: largo 3.9 cm, ancho 3.2 cm, altura 2.5 cm.

Cuadro N° 3.10: Efecto de Dispositivo : Cono aluminio s/50 g de peso agregado
(peso total: 132.5 g)

tiempo (seg)	DUREZA (Dinas/cm ²)		
	Promedio	Desv. Est.	C.V.
15	3004.842	155.958	5.19
30	2372.945	123.549	5.207
45	2091.209	99.013	4.735
60	1950.123	89.166	4.572
75	1836.492	83.54	4.549

Altura de muestra : 2.5 cm

Dimensiones de muestra: 3.9x3.2x2.5 cm

Cuadro N° 3.11: Efecto de Dispositivo : Cono aluminio c/100 g de peso agregado
(peso total: 182.5 g)

tiempo (seg)	DUREZA (Dinas/cm ²)		
	Promedio	Desv. Est.	C.V.
15	2542.211	172.484	6.785
30	1890.267	108.412	5.735
45	1647.47	128.857	7.822
60	1379.345	255.428	18.591
75	--	--	--

*Altura de muestra : 2.5 cm

Dimensiones de muestra: 3.9x3.2x2.5 cm

De las tres réplicas realizadas con este dispositivo, la segunda en el tiempo de exposición de 75 seg presentó fractura, por lo cual no se obtuvo lectura y la anterior (60 seg) presenta alto coeficiente de variación

Debido a que para la prueba del dispositivo seleccionado aguja s/peso agregado no se pudieron observar las lecturas de deslizamiento de la aguja, ya que la penetración fue muy rápida. Se propuso realizar una prueba con cono de aluminio s/peso agregado cuadro 3.12

Cuadro Nº 3 12: Efecto de Dispositivo : Cono aluminio s/peso agregado
(peso total: 82.5 g)

tiempo (seg)	DUREZA (Dinas/cm ²)		
	Promedio	Desv. Est.	C.V
15	2502.708	184 788	7.384
30	1917.456	219.985	11.473
45	1723.026	197 774	11.478
60	1612.013	188 575	11.698
75	1545.634	197 313	12.766

Altura de muestra . 2.5 cm

Dimensiones de muestra 3.9x3.2x2.5 cm

El dispositivo más adecuado fue el cono de aluminio con 50 g de peso agregado

Con el tipo de dispositivo a trabajar obtenido de las anteriores pruebas con margarina, se van a realizar las siguientes determinaciones de área, empleando la presentación de 225 g para obtener muestras con tres diferentes áreas : 2x2 cm, 3x3 cm cuadro 3.13 y 4x4 cm cuadro 3.14 y empleando una altura de 3 0 cm para cada una

* No se obtuvieron lecturas de la prueba de efecto de área 2x2 cm, debido a que se empezó a fracturar la muestra, por que la superficie de contacto o área de la muestra es muy pequeña.

Cuadro Nº 3.13 Efecto Area 3X3 cm, Margarina (cono alum.c/50 g de peso agregado)

tiempo (seg)	DUREZA (Dinas/cm ²)		
	Promedio	Desv. Est.	C.V.
15	2336.949	280.303	11.994
30	1757.27	274.127	15.6
45	1575.771	274.931	17.447
60	1433.945	236.001	16.458
75	1336.205	239.085	17.893

Cuadro Nº 3.14 Efecto Area 4x4 cm, Margarina (cono alum.c/50 g de peso agregado).

tiempo (seg)	DUREZA (Dinas/cm ²)		
	Promedio	Desv. Est.	C.V.
15	3909.375	619.518	15.847
30	2316.796	489.029	21.108
45	2077.886	487.186	23.446
60	1820.183	407.327	22.378
75	1685.819	331.904	19.688

Cabe aclarar que con la penetración de barra de 90 g con muestra de 3.9 x 3.2 x 2.5 cm cono aluminio c/50g de peso agregado, 75 seg de exposición y altura de muestra 2.5 cm se obtuvieron menores Coeficientes de Variación que para la de 225 g con área de 3 x 3 y altura de 3 mm.

3.1.4 CONDICIONES DE PRUEBA RESULTANTES CON PENETROMETRO UNIVERSAL

En el cuadro 3 15 se presentan los resultados y condiciones de prueba mas adecuadas para obtener determinaciones de Dureza repetibles para este tipo de productos u otros con semejante consistencia.

Cuadro N° 3.15 Condiciones de Prueba para Penetrómetro Universal

	Dispositivo	Altura de muestra (cm)	Area de muestra	Tiempo de exposición (seg)	Dureza prom. (Dinas/cm ²)
Queso panela	Aguja 5/peso	4	3*3	75	13185.717
Mayonesa	Cono alum. 6/peso	3.5	3	45	29.521
Margarina (90 g)	Cono alum. c/50 g	2.5	3.9*3.2	75	1838.492

⊗ No se determinó área por que al variar altura de la muestra también se varía esta, por la forma cónica del recipiente

- Las pruebas con margarina en presentación de 225 g presentaron Coeficientes de Variación altos, por lo tanto no aparecen en el cuadro de condiciones resultantes de prueba

En el cuadro No 3 15 se presentan los resultados de condiciones de prueba, se puede apreciar que los valores de dureza muestran variación entre los productos empleados, de tal manera que el queso Panela presenta una dureza mayor que la margarina y esta a su vez mayor que la mayonesa

Las condiciones de dispositivo, altura, área y tiempo de exposición son las condiciones que proporcionan pruebas de penetración más repetitivas para estos productos o productos con características similares.

3.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS PARA PRUEBAS CON TEXTURÓMETRO :

3.2.1 PARÁMETROS TEXTURALES DE ADHESIVIDAD EN MARGARINA

De la curva obtenida en la prueba se distinguen dos áreas, de las cuales la primera comprende desde el inicio de la curva hasta el pico de fuerza (+) máximo, representa las propiedades adhesivas (A_1) y la segunda de el pico máximo hasta donde se presenta una disminución de fuerza a fuerza cero, que presenta propiedades cohesivas (A_2)

Se aprecia en la grafica (fig 3 1) como se va perdiendo la adherencia gradualmente entre el material y el dispositivo, el término de extensibilidad consiste en la distancia de recorrido de la curva desde el inicio de la retirada del dispositivo hasta que la fuerza cae a cero o un valor constante. El cuadro No 3 16 presenta los valores de algunos parámetros texturales

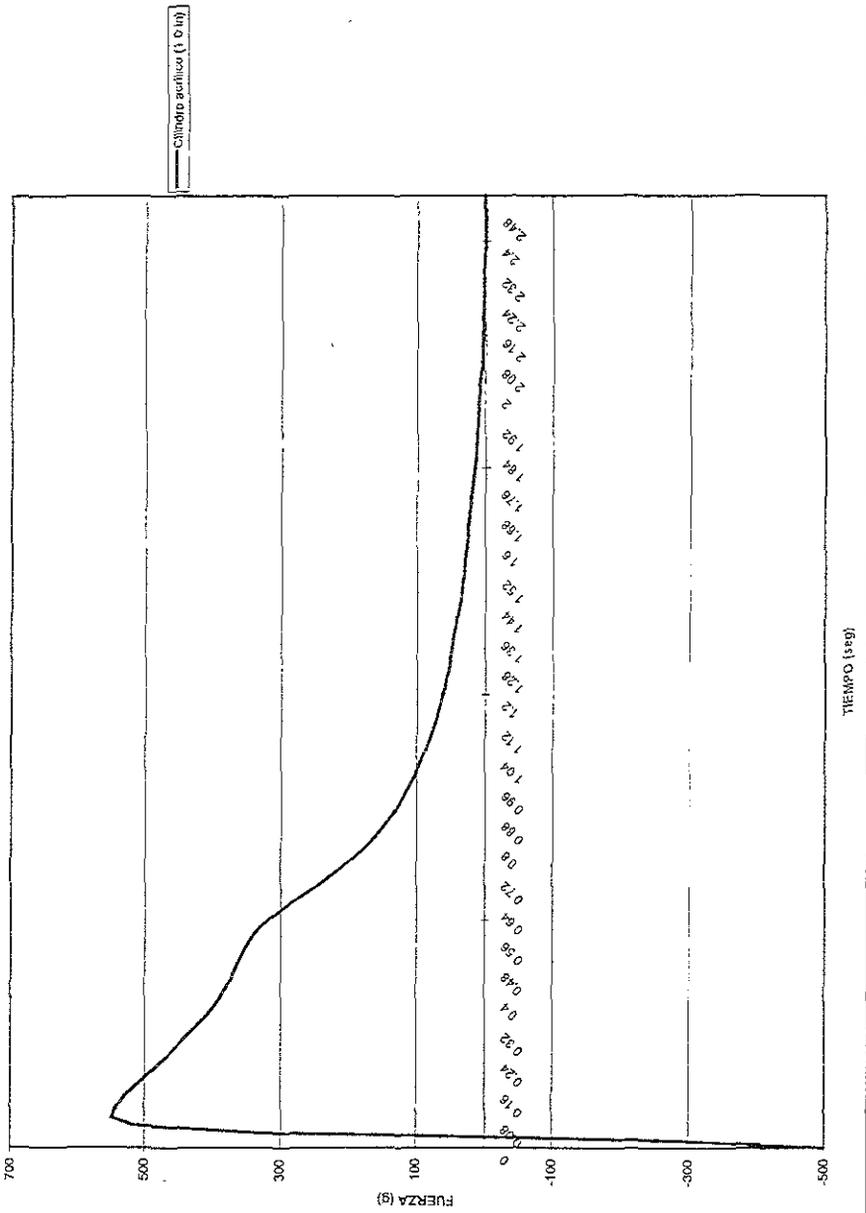
Cuadro No. 3.16 Parámetros texturales de adhesividad en margarina

Fuerza Máxima g.	Area Adhesiva g.seg	Area Cohesiva g seg	Extensibilidad mm	Area total g.seg	Area cohe/adhe g.
547.4	28.03	341.56	17.604	363.9	12.18

Puede notarse un marcado predominio de las propiedades cohesivas sobre las adhesivas dando como resultado que la muestra se extienda una distancia considerable antes de despegarse del dispositivo.

Una fuerza adhesiva relativamente baja 547 g con una distancia de extensión grande (17 mm) implica un producto untable.

Fig. 3.1 GRÁFICA DE ADHESIVIDAD EN MARGARINA CON TEXTURÓMETRO



3.2.2 PARÁMETROS TEXTURALES DE DUREZA EN MARGARINA (CONO, ESFERA Y AGUJA)

La prueba se efectuó con diferentes dispositivos con la finalidad de observar que características de la muestra es posible detectar con cada uno. Con los tres dispositivos, las velocidades y fuerzas de detección de la muestra fueron los mismos y solo varió la distancia de penetración (10 mm para la aguja y cono y 5 mm para la esfera, fig. 3 2).

Con el comparativo que se hace de dureza en margarina con diferentes dispositivos se tiene como resultado que la prueba realizada con aguja presenta picos de fractura del producto, mencionados en la prueba de dureza con aguja para queso Panela y margarina (Gráfica No. 3 8).

Para la prueba con cono 45° se programa para una distancia de prueba mas grande por lo cual se reportan los datos de dureza y área bajo la curva para las tres muestras a 5 mm

En la prueba con esfera se aprecia una mayor adhesividad durante la retrada del dispositivo y esto se debe sobre todo, a la mayor superficie de contacto que presenta la esfera y su forma en comparación del cono y el aguja

A continuación se muestra el Cuadro No 3 17 , con algunos parámetros texturales de las pruebas

Cuadro No. 3 17 Parametros texturales de dureza en margarina

	Pendiente g/seg	Dureza g	Area bajo curva g.seg
Esfera aluminio 2"	150.1	385.6	511.4
Cono 45° acero inox.	137.31	329.7	312.3
Aguja acero inox.2mm	1061.7	253.6	491.4

para una distancia de 4.67 mm

Aún cuando el área de contacto y las condiciones de prueba son diferentes, las gráficas nos permiten observar que con la aguja y la esfera se detectan picos de fractura, mientras que con el cono no.

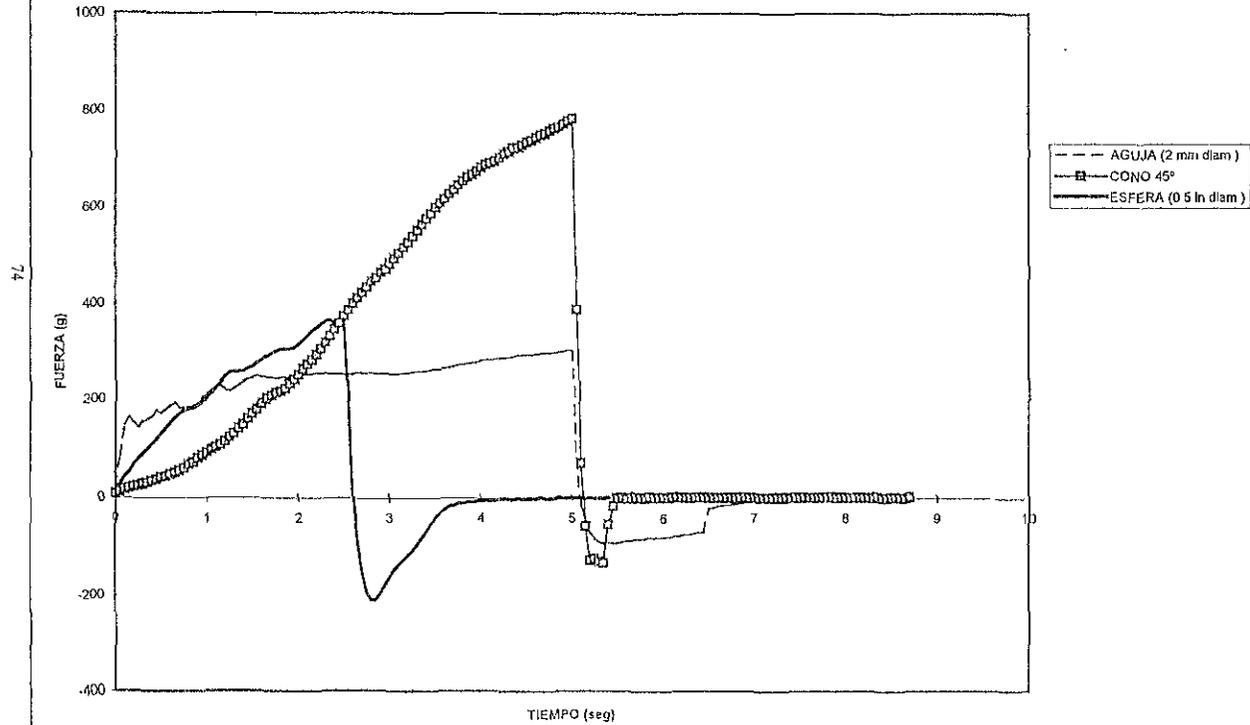
Puede observarse un diferente comportamiento de la curva fuerza-tiempo dependiendo de la geometría del sensor. Con la aguja se detectan muchos picos de fractura hasta llegar a un valor de fuerza casi estacionario lo que puede ser indicativo de una fractura total. La esfera también detecta fracturas más tardías y menos pronunciadas y con el cono, la muestra no se fractura.

En el cono la área inicial de contacto es menor que en la aguja y esto sucede hasta una distancia de penetración de 1.5 mm, a partir de la cual, el área de penetración del cono comienza a ser mayor y aumenta más rápidamente que la de la aguja, lo cual produce un cambio de pendiente en la fuerza. Esta situación ocasiona que la aguja al presentar mayor área de contacto, opone una mayor resistencia y la fuerza aumenta proporcionalmente y rápidamente hasta que detecta la primera fractura después de la cual el comportamiento es errático y la fuerza ya no aumenta con la misma pendiente, indicando la destrucción de la estructura.

Con el cono, al presentar una menor área de contacto, la resistencia es menor y la fuerza aumenta constantemente, teniendo como resultado que no detecta fracturas.

Lo anterior muestra, que dependiendo de las propiedades que se desee evaluar (fractura, dureza, etc) se elige el dispositivo a utilizar.

Fig. 3.2 GRÁFICA DE DUREZA EN MARGARINA CON TEXTURÓMETRO



3.2.3 PARÁMETROS TEXTURALES DE ESTABILIDAD EN MAYONESA

Esta prueba también se conoce como "fatiga cíclica", se aprecia este término en los picos de la gráfica (fig. No 3 3), en donde el primer pico de fuerza positiva es mayor con respecto al último de la prueba, la disminución en términos porcentuales indica el grado de pérdida de estructura del producto por el efecto de la continua penetración, consecuentemente el trabajo necesario para penetrar la muestra es cada vez menor.

Con respecto a los picos negativos se mantienen sin variación de inicio a fin de la prueba, por lo cual la adhesividad del producto no se afecta durante este periodo

En el primer ciclo de penetración del dispositivo se observan picos de fractura, debido al rompimiento inicial de estructura del material. El cuadro No 3 18 presenta algunos parámetros texturales de la prueba

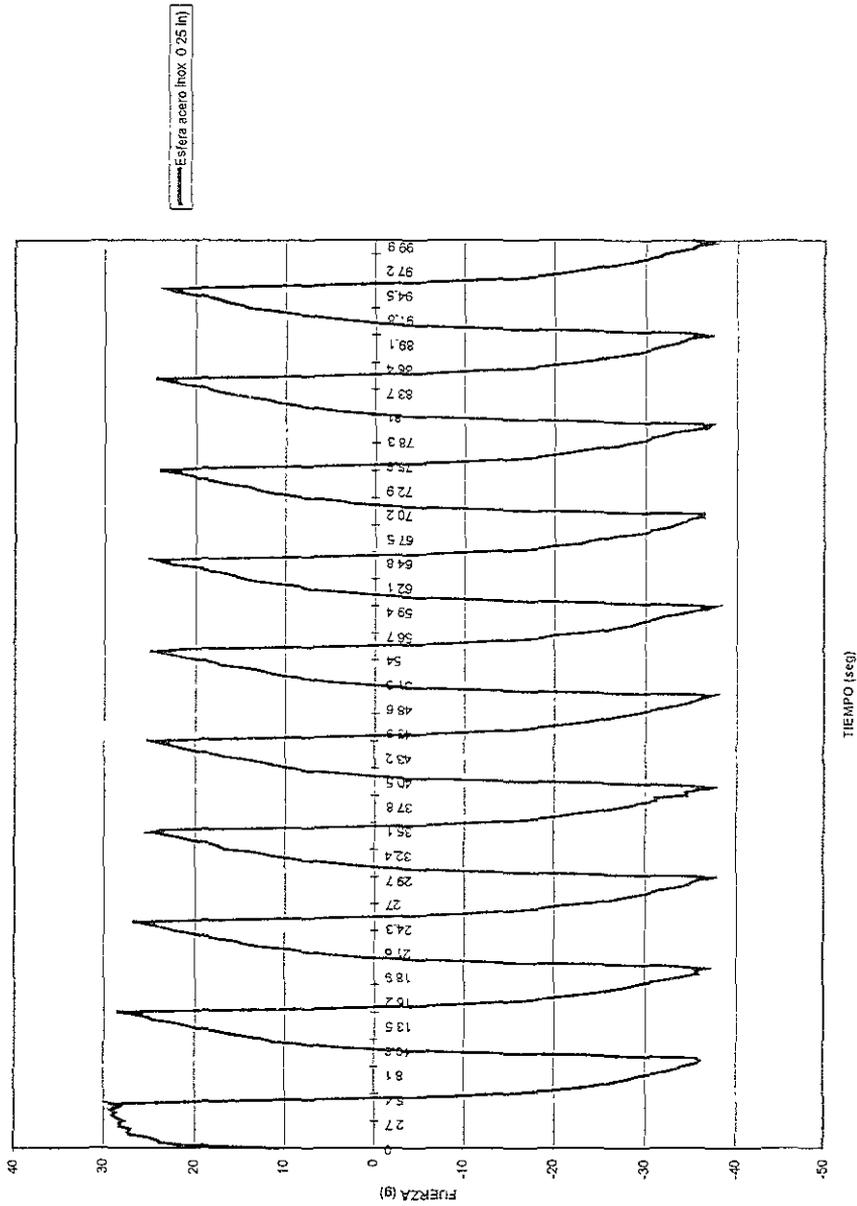
Cuadro No 3 18 Parámetros Texturales de Estabilidad en Mayonesa

	Fuerza Max. g	% de Pérdida de Fuerza	Área bajo curva g seg	% de Pérdida de Área
Primer Pico (+)	29 838		138 944	
Último Pico (+)	24.864	16 68	58 811	57 67

Puede notarse que la mayor pérdida de fuerza ocurre entre el primero y tercer ciclo. Para el caso que nos ocupa, la pérdida de estructura en función de fuerza es baja (16 7%) pero en función de área es mayor del 50%. Esto puede atribuirse a que al inicio del primer ciclo se da una fuerza de 10 g para la detección de la muestra y la distancia que recorre el dispositivo para llegar a esta fuerza, aumenta el área bajo el primer pico de fuerza.

La prueba se puede aplicar además en productos con propiedades y características de consistencias similares (crema de cacahuete, Mousse, crema pastelera, yogurt etc).

Fig. 3.3 GRÁFICA DE ESTABILIDAD EN MAYONESÁ CON TEXTURÓMETRO



3.2.4 PARÁMETROS TEXTURALES DE TPA EN QUESO TIPO PANELA

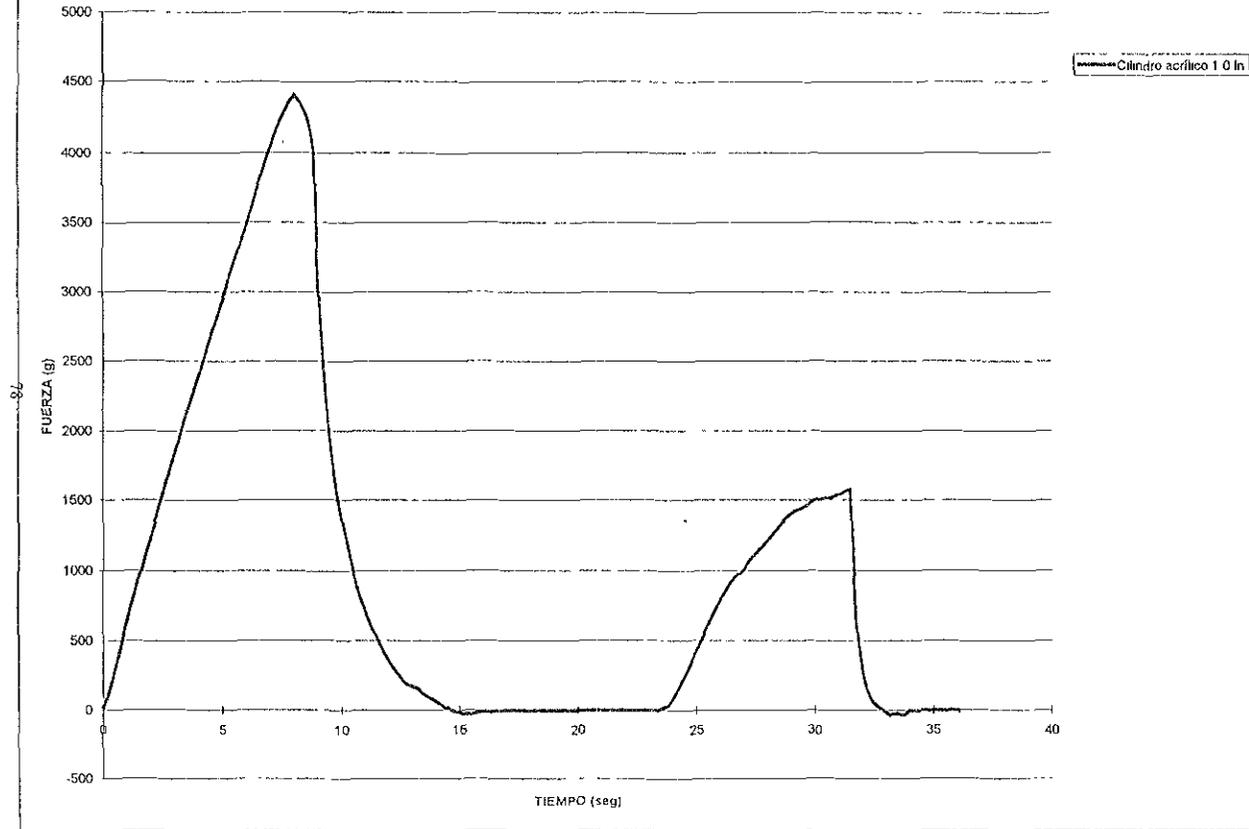
En este estudio se mide la fuerza de compresión con cilindro de acrílico como dispositivo, se realiza una primera compresión del material desde cierta distancia a una velocidad determinada, sube y se retira de la muestra, regresa a la posición de inicio de prueba y se mantiene cierto tiempo (5 seg) antes de efectuar la segunda compresión. En la fig. 3.4 puede observarse que es evidente que la muestra no presenta picos significativos de fractura en el primer ciclo de compresión y el segundo se obtiene con una menor área positiva, debido a que la primera compresión tuvo un fuerte impacto en la estructura de la muestra, por lo tanto en la segunda compresión opuso menor resistencia dando como resultado una cohesividad baja. La muestra prácticamente no presenta propiedades adhesivas. En el cuadro No. 3.19 se aprecian los parámetros texturales obtenidos en esta prueba.

El queso es elástico (0.928), lo que significa que después de la primera compresión, los 5 segundos de espera permiten la casi completa recuperación de la altura inicial del producto. El valor de masticosidad está influenciado por la dureza y la alta elasticidad del producto. El módulo (pendiente inicial en el primer ciclo de compresión) indica la resistencia de la muestra a la compresión.

Cuadro No. 3.19 Parámetros Texturales de TPA en Queso Panela

Dureza	Adhesividad	Cohesividad	Índice de Elasticidad	Gomosisidad	Masticosidad	Módulo
g	g/seg			g	g	g/seg
4.4049	-31.5	0.313	0.928	1.37873	1.27946	545.71

Fig. 3.4 GRÁFICA DE TPA EN QUESO TIPO PANELA CON TEXTURÓMETRO



3.2.5 PARÁMETROS TEXTURALES DE DUREZA EN QUESO TIPO PANELA (TRES PICOS)

En la gráfica No 3.5 y cuadro No 3.20 se observa que las alturas, áreas y pendientes del 2º y 3º picos aumentan con respecto del primero. Antes de que inicie cada penetración, el sensor tiene que detectar la muestra con una fuerza de 15 g y en este momento inicia el conteo de la distancia, de manera que, en la segunda penetración como la muestra ya presenta cierto daño, la fuerza de 15 g la detecta a una distancia mayor que en el primer pico, y parte de la penetración del segundo ocurre sobre área intacta y previamente comprimida, por lo que la fuerza, pendiente y área bajo la curva aumentan. En el pico 3º ocurre algo similar pero menos pronunciado.

Cuadro No. 3.20 Parámetros Texturales de Dureza en Queso Panela

	Fuerza Max. g	Pendiente g/seg	Area bajo curva g.seg
1er pico	661.66	86.79	2200.2
2do pico	915.4	116.63	3032.6
3er.pico	964.88	122.72	3203.4

Esta prueba no proporciona más información de la muestra que en la prueba de TPA, por lo que no se considera que aporte más datos sobre las propiedades texturales del material.

INSTITUTO VENEZOLANO
DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS

Fig 3 5 GRÁFICA DE DUREZA EN QUESO TIPO PANELA (TRES PICOS)

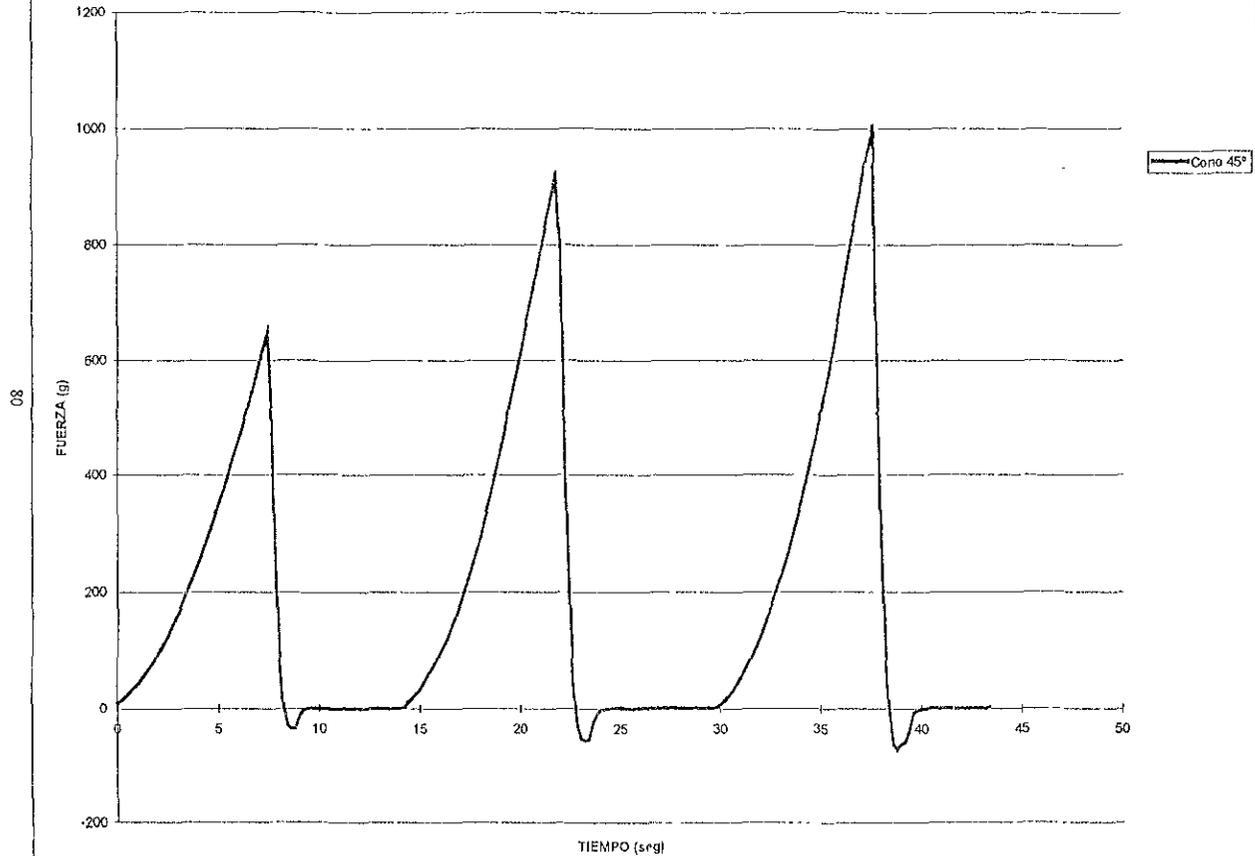
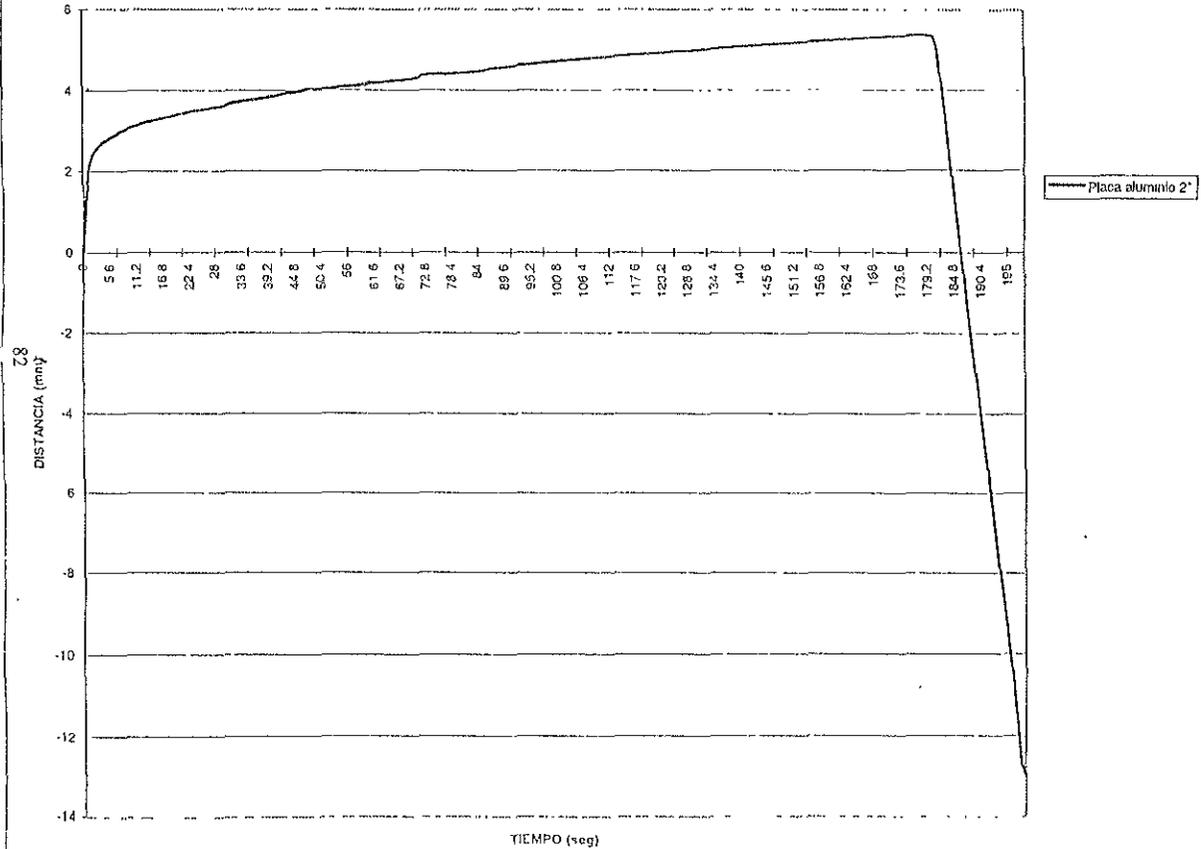


Fig 3 6 Gráfica de Creep en Queso Tipo Panela Empleando la Macro del Texturómetro



En la hoja de cálculo se presenta la comparación de los datos experimentales con los obtenidos utilizando los parámetros calculados en Excel y el programa "Creep" basados en el método de Inokuchi y los calculados en el programa matemático comercial "Curve Expert" al que se le ingresó la ecuación del modelo de Burger y los parámetros obtenidos por el método gráfico

En el cuadro No. 3 22 se presentan los parámetros obtenidos por ambos métodos y puede notarse cierta diferencia. En la hoja de cálculo (fig. 3 7) se muestran las gráficas experimentales y calculadas, puede notarse que "Curve Expert" da en general un mejor ajuste (suma de diferencia de cuadrados SSQ menor), con mayor desviación a tiempos cortos, mientras que "Creep" y Excel, tienen menor ajuste general y menor desviación en tiempos cortos

Para la aplicación de las pruebas de "Creep", se debe asegurar que éstas sean efectuadas dentro de los límites de viscoelasticidad lineal del material. Cuando se aplican esfuerzos muy grandes que ofrecen deformaciones no proporcionales, los datos de viscosidad y elasticidad son influenciados por las condiciones de la prueba y por lo tanto son valores absolutos que pueden ser comparados con otros obtenidos bajo diferentes condiciones. En este caso no se confirmó si se trabajó dentro de la zona lineal (Shrivani, 1994)

Si se relacionan los parámetros obtenidos por ambos procedimientos se tiene que

- El inverso de la pendiente de la zona lineal tiene relación directa con η_0
- La ordenada al origen de la zona lineal tiene relación directa con J_{e0} , que a su vez representa la suma de las deformaciones elásticas (la independiente y la asociada al elemento viscoso en el modelo de Burger)
- J_0 tiene relación con la deformación elástica inicial
- J_T tiene relación con la deformación total
- Tiempo de retardo tiene el mismo significado en ambos métodos.

En el método de Inokuchi, J_{e0} representa el 72.6% de la deformación total, lo cual coincide con la información obtenida con la macro aplicada a la prueba con el Texturometro

Fig 3 7 Parámetros y gráficos de prueba de creep aplicando el modelo de Burger

CALCULO DE LOS PARAMETROS DE LA CURVA DE CREEP CON EL MODELO DE BURGER PARA PANELES METALICOS GRABADOS EN HORMIGÓN Y COMPACTACION COM' CRE

t	a	b	c	d	Log	Time	Creep	W	W ₀	W ₁	W ₂	W ₃	W ₄	W ₅	W ₆	W ₇	W ₈	W ₉	W ₁₀	W ₁₁	W ₁₂	W ₁₃	W ₁₄	W ₁₅	W ₁₆	W ₁₇	W ₁₈	W ₁₉	W ₂₀	W ₂₁	W ₂₂	W ₂₃	W ₂₄	W ₂₅	W ₂₆	W ₂₇	W ₂₈	W ₂₉	W ₃₀	W ₃₁	W ₃₂	W ₃₃	W ₃₄	W ₃₅	W ₃₆	W ₃₇	W ₃₈	W ₃₉	W ₄₀	W ₄₁	W ₄₂	W ₄₃	W ₄₄	W ₄₅	W ₄₆	W ₄₇	W ₄₈	W ₄₉	W ₅₀	W ₅₁	W ₅₂	W ₅₃	W ₅₄	W ₅₅	W ₅₆	W ₅₇	W ₅₈	W ₅₉	W ₆₀	W ₆₁	W ₆₂	W ₆₃	W ₆₄	W ₆₅	W ₆₆	W ₆₇	W ₆₈	W ₆₉	W ₇₀	W ₇₁	W ₇₂	W ₇₃	W ₇₄	W ₇₅	W ₇₆	W ₇₇	W ₇₈	W ₇₉	W ₈₀	W ₈₁	W ₈₂	W ₈₃	W ₈₄	W ₈₅	W ₈₆	W ₈₇	W ₈₈	W ₈₉	W ₉₀	W ₉₁	W ₉₂	W ₉₃	W ₉₄	W ₉₅	W ₉₆	W ₉₇	W ₉₈	W ₉₉	W ₁₀₀																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
2	1.447E-05	2.121E-05	8.820E-06	-11.924837	1.84E-05	5.11E-05	8.20E-11	0.07E-05	1.82E-05	1.54E-05	1.33E-05	1.12E-05	9.07E-06	7.47E-06	6.20E-06	5.18E-06	4.32E-06	3.60E-06	3.00E-06	2.50E-06	2.10E-06	1.75E-06	1.45E-06	1.18E-06	9.60E-07	7.80E-07	6.40E-07	5.20E-07	4.20E-07	3.40E-07	2.80E-07	2.30E-07	1.90E-07	1.60E-07	1.30E-07	1.10E-07	9.00E-08	7.50E-08	6.20E-08	5.10E-08	4.20E-08	3.40E-08	2.80E-08	2.30E-08	1.90E-08	1.60E-08	1.30E-08	1.10E-08	9.00E-09	7.50E-09	6.20E-09	5.10E-09	4.20E-09	3.40E-09	2.80E-09	2.30E-09	1.90E-09	1.60E-09	1.30E-09	1.10E-09	9.00E-10	7.50E-10	6.20E-10	5.10E-10	4.20E-10	3.40E-10	2.80E-10	2.30E-10	1.90E-10	1.60E-10	1.30E-10	1.10E-10	9.00E-11	7.50E-11	6.20E-11	5.10E-11	4.20E-11	3.40E-11	2.80E-11	2.30E-11	1.90E-11	1.60E-11	1.30E-11	1.10E-11	9.00E-12	7.50E-12	6.20E-12	5.10E-12	4.20E-12	3.40E-12	2.80E-12	2.30E-12	1.90E-12	1.60E-12	1.30E-12	1.10E-12	9.00E-13	7.50E-13	6.20E-13	5.10E-13	4.20E-13	3.40E-13	2.80E-13	2.30E-13	1.90E-13	1.60E-13	1.30E-13	1.10E-13	9.00E-14	7.50E-14	6.20E-14	5.10E-14	4.20E-14	3.40E-14	2.80E-14	2.30E-14	1.90E-14	1.60E-14	1.30E-14	1.10E-14	9.00E-15	7.50E-15	6.20E-15	5.10E-15	4.20E-15	3.40E-15	2.80E-15	2.30E-15	1.90E-15	1.60E-15	1.30E-15	1.10E-15	9.00E-16	7.50E-16	6.20E-16	5.10E-16	4.20E-16	3.40E-16	2.80E-16	2.30E-16	1.90E-16	1.60E-16	1.30E-16	1.10E-16	9.00E-17	7.50E-17	6.20E-17	5.10E-17	4.20E-17	3.40E-17	2.80E-17	2.30E-17	1.90E-17	1.60E-17	1.30E-17	1.10E-17	9.00E-18	7.50E-18	6.20E-18	5.10E-18	4.20E-18	3.40E-18	2.80E-18	2.30E-18	1.90E-18	1.60E-18	1.30E-18	1.10E-18	9.00E-19	7.50E-19	6.20E-19	5.10E-19	4.20E-19	3.40E-19	2.80E-19	2.30E-19	1.90E-19	1.60E-19	1.30E-19	1.10E-19	9.00E-20	7.50E-20	6.20E-20	5.10E-20	4.20E-20	3.40E-20	2.80E-20	2.30E-20	1.90E-20	1.60E-20	1.30E-20	1.10E-20	9.00E-21	7.50E-21	6.20E-21	5.10E-21	4.20E-21	3.40E-21	2.80E-21	2.30E-21	1.90E-21	1.60E-21	1.30E-21	1.10E-21	9.00E-22	7.50E-22	6.20E-22	5.10E-22	4.20E-22	3.40E-22	2.80E-22	2.30E-22	1.90E-22	1.60E-22	1.30E-22	1.10E-22	9.00E-23	7.50E-23	6.20E-23	5.10E-23	4.20E-23	3.40E-23	2.80E-23	2.30E-23	1.90E-23	1.60E-23	1.30E-23	1.10E-23	9.00E-24	7.50E-24	6.20E-24	5.10E-24	4.20E-24	3.40E-24	2.80E-24	2.30E-24	1.90E-24	1.60E-24	1.30E-24	1.10E-24	9.00E-25	7.50E-25	6.20E-25	5.10E-25	4.20E-25	3.40E-25	2.80E-25	2.30E-25	1.90E-25	1.60E-25	1.30E-25	1.10E-25	9.00E-26	7.50E-26	6.20E-26	5.10E-26	4.20E-26	3.40E-26	2.80E-26	2.30E-26	1.90E-26	1.60E-26	1.30E-26	1.10E-26	9.00E-27	7.50E-27	6.20E-27	5.10E-27	4.20E-27	3.40E-27	2.80E-27	2.30E-27	1.90E-27	1.60E-27	1.30E-27	1.10E-27	9.00E-28	7.50E-28	6.20E-28	5.10E-28	4.20E-28	3.40E-28	2.80E-28	2.30E-28	1.90E-28	1.60E-28	1.30E-28	1.10E-28	9.00E-29	7.50E-29	6.20E-29	5.10E-29	4.20E-29	3.40E-29	2.80E-29	2.30E-29	1.90E-29	1.60E-29	1.30E-29	1.10E-29	9.00E-30	7.50E-30	6.20E-30	5.10E-30	4.20E-30	3.40E-30	2.80E-30	2.30E-30	1.90E-30	1.60E-30	1.30E-30	1.10E-30	9.00E-31	7.50E-31	6.20E-31	5.10E-31	4.20E-31	3.40E-31	2.80E-31	2.30E-31	1.90E-31	1.60E-31	1.30E-31	1.10E-31	9.00E-32	7.50E-32	6.20E-32	5.10E-32	4.20E-32	3.40E-32	2.80E-32	2.30E-32	1.90E-32	1.60E-32	1.30E-32	1.10E-32	9.00E-33	7.50E-33	6.20E-33	5.10E-33	4.20E-33	3.40E-33	2.80E-33	2.30E-33	1.90E-33	1.60E-33	1.30E-33	1.10E-33	9.00E-34	7.50E-34	6.20E-34	5.10E-34	4.20E-34	3.40E-34	2.80E-34	2.30E-34	1.90E-34	1.60E-34	1.30E-34	1.10E-34	9.00E-35	7.50E-35	6.20E-35	5.10E-35	4.20E-35	3.40E-35	2.80E-35	2.30E-35	1.90E-35	1.60E-35	1.30E-35	1.10E-35	9.00E-36	7.50E-36	6.20E-36	5.10E-36	4.20E-36	3.40E-36	2.80E-36	2.30E-36	1.90E-36	1.60E-36	1.30E-36	1.10E-36	9.00E-37	7.50E-37	6.20E-37	5.10E-37	4.20E-37	3.40E-37	2.80E-37	2.30E-37	1.90E-37	1.60E-37	1.30E-37	1.10E-37	9.00E-38	7.50E-38	6.20E-38	5.10E-38	4.20E-38	3.40E-38	2.80E-38	2.30E-38	1.90E-38	1.60E-38	1.30E-38	1.10E-38	9.00E-39	7.50E-39	6.20E-39	5.10E-39	4.20E-39	3.40E-39	2.80E-39	2.30E-39	1.90E-39	1.60E-39	1.30E-39	1.10E-39	9.00E-40	7.50E-40	6.20E-40	5.10E-40	4.20E-40	3.40E-40	2.80E-40	2.30E-40	1.90E-40	1.60E-40	1.30E-40	1.10E-40	9.00E-41	7.50E-41	6.20E-41	5.10E-41	4.20E-41	3.40E-41	2.80E-41	2.30E-41	1.90E-41	1.60E-41	1.30E-41	1.10E-41	9.00E-42	7.50E-42	6.20E-42	5.10E-42	4.20E-42	3.40E-42	2.80E-42	2.30E-42	1.90E-42	1.60E-42	1.30E-42	1.10E-42	9.00E-43	7.50E-43	6.20E-43	5.10E-43	4.20E-43	3.40E-43	2.80E-43	2.30E-43	1.90E-43	1.60E-43	1.30E-43	1.10E-43	9.00E-44	7.50E-44	6.20E-44	5.10E-44	4.20E-44	3.40E-44	2.80E-44	2.30E-44	1.90E-44	1.60E-44	1.30E-44	1.10E-44	9.00E-45	7.50E-45	6.20E-45	5.10E-45	4.20E-45	3.40E-45	2.80E-45	2.30E-45	1.90E-45	1.60E-45	1.30E-45	1.10E-45	9.00E-46	7.50E-46	6.20E-46	5.10E-46	4.20E-46	3.40E-46	2.80E-46	2.30E-46	1.90E-46	1.60E-46	1.30E-46	1.10E-46	9.00E-47	7.50E-47	6.20E-47	5.10E-47	4.20E-47	3.40E-47	2.80E-47	2.30E-47	1.90E-47	1.60E-47	1.30E-47	1.10E-47	9.00E-48	7.50E-48	6.20E-48	5.10E-48	4.20E-48	3.40E-48	2.80E-48	2.30E-48	1.90E-48	1.60E-48	1.30E-48	1.10E-48	9.00E-49	7.50E-49	6.20E-49	5.10E-49	4.20E-49	3.40E-49	2.80E-49	2.30E-49	1.90E-49	1.60E-49	1.30E-49	1.10E-49	9.00E-50	7.50E-50	6.20E-50	5.10E-50	4.20E-50	3.40E-50	2.80E-50	2.30E-50	1.90E-50	1.60E-50	1.30E-50	1.10E-50	9.00E-51	7.50E-51	6.20E-51	5.10E-51	4.20E-51	3.40E-51	2.80E-51	2.30E-51	1.90E-51	1.60E-51	1.30E-51	1.10E-51	9.00E-52	7.50E-52	6.20E-52	5.10E-52	4.20E-52	3.40E-52	2.80E-52	2.30E-52	1.90E-52	1.60E-52	1.30E-52	1.10E-52	9.00E-53	7.50E-53	6.20E-53	5.10E-53	4.20E-53	3.40E-53	2.80E-53	2.30E-53	1.90E-53	1.60E-53	1.30E-53	1.10E-53	9.00E-54	7.50E-54	6.20E-54	5.10E-54	4.20E-54	3.40E-54	2.80E-54	2.30E-54	1.90E-54	1.60E-54	1.30E-54	1.10E-54	9.00E-55	7.50E-55	6.20E-55	5.10E-55	4.20E-55	3.40E-55	2.80E-55	2.30E-55	1.90E-55	1.60E-55	1.30E-55	1.10E-55	9.00E-56	7.50E-56	6.20E-56	5.10E-56	4.20E-56	3.40E-56	2.80E-56	2.30E-56	1.90E-56	1.60E-56	1.30E-56	1.10E-56	9.00E-57	7.50E-57	6.20E-57	5.10E-57	4.20E-57	3.40E-57	2.80E-57	2.30E-57	1.90E-57	1.60E-57	1.30E-57	1.10E-57	9.00E-58	7.50E-58	6.20E-58	5.10E-58	4.20E-58	3.40E-58	2.80E-58	2.30E-58	1.90E-58	1.60E-58	1.30E-58	1.10E-58	9.00E-59	7.50E-59	6.20E-59	5.10E-59	4.20E-59	3.40E-59	2.80E-59	2.30E-59	1.90E-59	1.60E-59	1.30E-59	1.10E-59	9.00E-60	7.50E-60	6.20E-60	5.10E-60	4.20E-60	3.40E-60	2.80E-60	2.30E-60	1.90E-60	1.60E-60	1.30E-60	1.10E-60	9.00E-61	7.50E-61	6.20E-61	5.10E-61	4.20E-61	3.40E-61	2.80E-61	2.30E-61	1.90E-61	1.60E-61	1.30E-61	1.10E-61	9.00E-62	7.50E-62	6.20E-62	5.10E-62	4.20E-62	3.40E-62	2.80E-62	2.30E-62	1.90E-62	1.60E-62	1.30E-62	1.10E-62	9.00E-63	7.50E-63	6.20E-63	5.10E-63	4.20E-63	3.40E-63	2.80E-63	2.30E-63	1.90E-63	1.60E-63	1.30E-63	1.10E-63	9.00E-64	7.50E-64	6.20E-64	5.10E-64	4.20E-64	3.40E-64	2.80E-64	2.30E-64	1.90E-64	1.60E-64	1.30E-64	1.10E-64	9.00E-65	7.50E-65	6.20E-65	5.10E-65	4.20E-65	3.40E-65	2.80E-65	2.30E-65	1.90E-65	1.60E-65	1.30E-65	1.10E-65	9.00E-66	7.50E-66	6.20E-66	5.10E-66	4.20E-66	3.40E-66	2.80E-66	2.30E-66	1.90E-66	1.60E-66	1.30E-66	1.10E-66	9.00E-67	7.50E-67	6.20E-67	5.10E-67	4.20E-67	3.40E-67	2.80E-67	2.30E-67	1.90E-67	1.60E-67	1.30E-67	1.10E-67	9.00E-68	7.50E-68	6.20E-68	5.10E-68	4.20E-68	3.40E-68	2.80E-68	2.30E-68	1.90E-68	1.60E

3.2.7 PARÁMETROS TEXTURALES DE DUREZA CON AGUJA EN QUESO TIPO PANELA Y MARGARINA

En la gráfica fig. No 3.8 se hace una comparación del estudio realizado a dos diferentes productos, empleando agujas de acero inoxidable con dimensiones de 2 mm de diámetro para los dos casos. En ambos se empleó la misma velocidad y distancia de penetración.

La curva de la margarina presenta pequeños picos de fuerza antes del pico máximo los cuales representan las fracturas que sufrió el producto durante la penetración (estos picos de fractura fueron a los 17.1, 192.6 y 228.7 g fuerza de la curva). Mientras que el queso Panela prácticamente no presenta fracturas importantes al inicio, pero presenta una caída de fuerza después de la cual la pendiente disminuyó, lo cual puede deberse ya sea a fractura de espacio vacío por la estructura heterogénea del queso. Cabe aclarar que la prueba de dureza en queso tipo Panela se programó con un tiempo de relajación de 5 seg después de haber alcanzado la fuerza máxima.

Al retirar el dispositivo de las muestras se aprecia que la margarina presenta mayor adherencia a la superficie del dispositivo con respecto a la del queso tipo Panela.

Se presenta en el Cuadro No 3.23 algunos parámetros texturales de los productos.

Cuadro No 3.23 Parámetros Texturales de dureza con aguja en queso tipo Panela y margarina

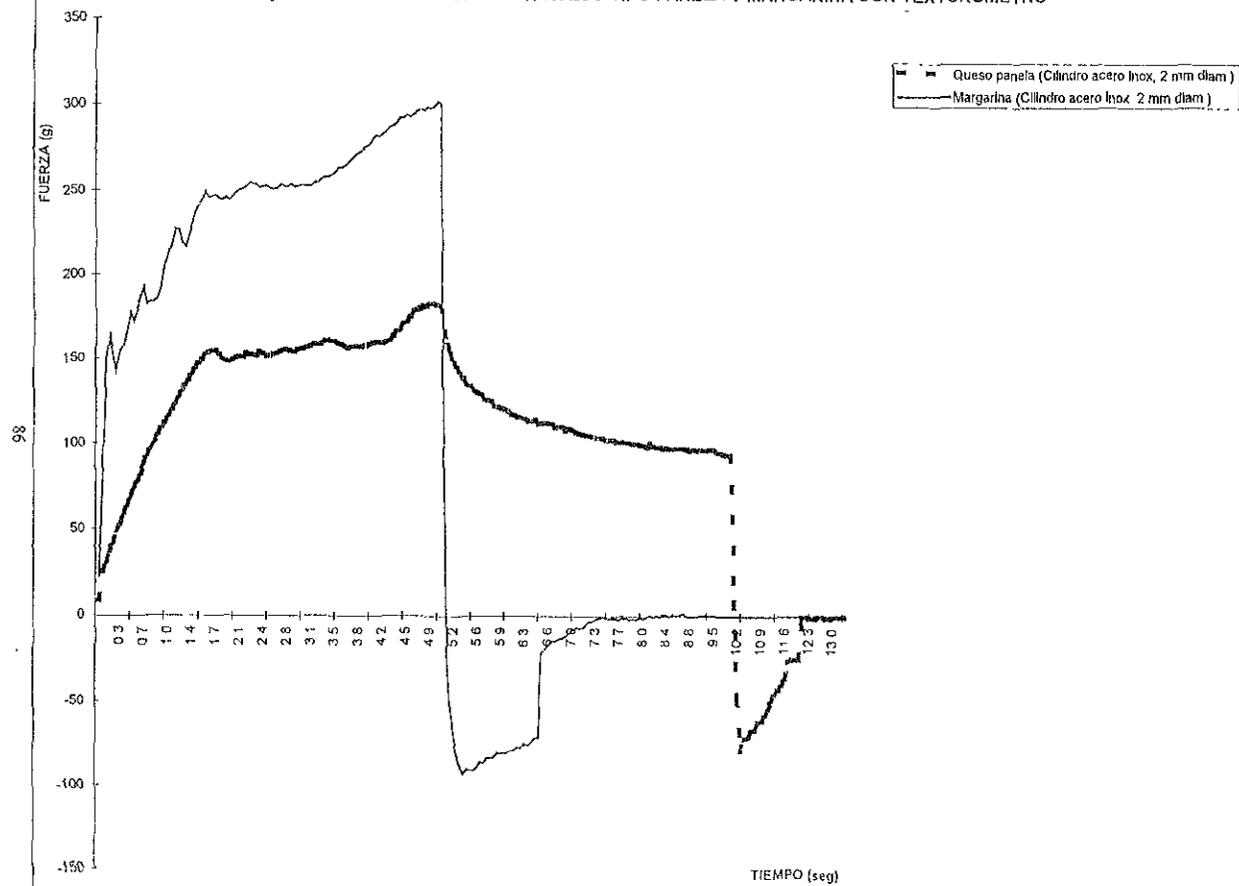
	Pendiente g/seg	Dureza g	Area bajo la curva g seg
Margarina	1061.7	302.489	1212
Queso Panela	88.523	184.545	683.1

El área bajo la curva de los productos se considera únicamente del inicio de la curva hasta el pico de fuerza máximo ya que solamente esta parte puede ser comparada al someter los dos productos a una distancia de penetración de 10 mm y una velocidad de prueba de 2 mm/seg. Del comparativo resultó que la margarina tenía una mayor área bajo la curva.

La pendiente de la margarina es mayor debido a que presenta una estructura más sólida que la del queso y por lo tanto la pendiente de la margarina fue más pronunciada antes de presentarse la primera fractura de la muestra. La mayor área bajo la curva en la margarina indica un mayor trabajo efectuado en la penetración.

La única diferencia fue que en el queso, la aguja permaneció 5 seg en la máxima distancia (10 mm), observándose con esto una etapa de relajación de fuerza.

Fig 3.8 GRÁFICA DE DUREZA EN QUESO TIPO PANELA Y MARGARINA CON TEXTURÓMETRO



3.2.8. PARÁMETROS TEXTURALES DE RELAJACIÓN CON TEXTURÓMETRO

La relajación de las emulsiones alimenticias seleccionadas (queso tipo Panela, mayonesa y margarina) se representan en la gráfica No 3.9, en la cual se nota una marcada diferencia de picos de fuerza máxima debido a la variabilidad de consistencia que presentan. En los tres casos, la distancia a la cual se comprimió fue diferente (10 mm para margarina, 12 mm para mayonesa y 6 mm para queso tipo Panela).

En el cuadro No 3.24 se muestran los parámetros texturales de los productos obtenidos en la prueba de relajación: las pendientes iniciales de las curvas que representan la resistencia del material a ser comprimido, el tiempo necesario para que la fuerza máxima disminuya al 62.5% de su valor inicial. Estos datos proporcionan la posibilidad de apreciar que el queso Panela presenta una caída de fuerza después de alcanzar el punto máximo (relajación) más pausada o en un tiempo mayor debido a las características de cuerpo sólido en donde predominan las fuerzas elásticas. Mientras que para la margarina y en mayor medida en la mayonesa la caída de fuerza después de la fuerza máxima es muy rápida y la relajación del producto es casi inmediata y se aprecia que la fuerza alcanza un valor constante residual pequeño, que indica que la mayor parte de la energía aplicada se disipó para que el material fluyera. La mayor pendiente inicial del queso indica que es el producto más duro, mientras que la mayonesa el más suave.

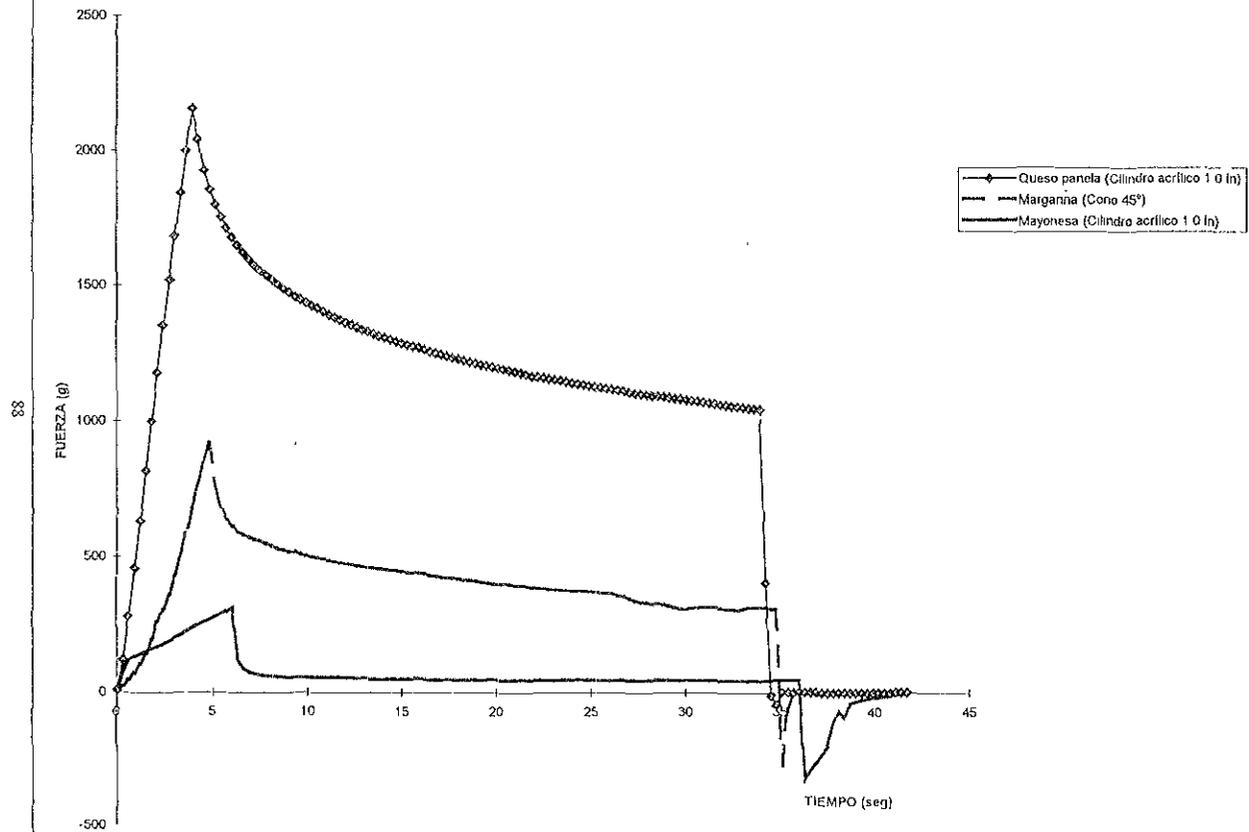
Cuadro No 3.24 Parámetros texturales de relajación en queso tipo Panela, margarina y mayonesa

	Pendiente g/seg	Fuerza Max. g	Tiempo para $F = F_{max} (0.625)$ seg
Queso Panela	547.18	2204.14	7.51
Margarina	193.84	973.5	1.09
Mayonesa	37.009	312.7	0.075

Una mayor fuerza inicial significa mayor resistencia del material. Aún cuando a la mayonesa se le dió la mayor distancia de compresión presentó una fuerza menor, indicativo de menor estructura y consistencia. El queso, que se comprimió menos, presentó mayor fuerza inicial, indicativo de mas estructura. La margarina no es comparable pues se utilizó un dispositivo diferente (cono 45°).

Cabe destacar que los parámetros aquí reportados no se consideran fundamentales por no haberse demostrado si se trabajó en el intervalo de viscoelasticidad lineal. Aun así permiten tener una idea del comportamiento viscoelástico del material.

Fig. 3.9 GRÁFICA DE RELAJACIÓN DE QUESO TIPO PANELA, MARGARINA Y MAYONESA CON TEXTURÓMETRO



CAPITULO IV : CONCLUSIONES

Este estudio permite conocer un poco más sobre la Textura de las emulsiones alimenticias con que se trabajó, sobre todo por que la selección que se hizo de productos comerciales de este grupo de alimentos (queso Panela, mayonesa y margarina) amplían el panorama de la textura, por los diferentes grados de consistencia que presentan cada uno de ellos

Para la determinación de los parámetros texturales se emplearon dos equipos el Penetrómetro Universal y Texturómetro, el primero es un equipo empleado por tradición desde hace muchos años en laboratorios e industria alimentoria y el segundo es un equipo que ha innovado por su manejo accesible, con un programa (software) totalmente compatible con el programa Windows para obtener análisis de textura de los productos en un tiempo mínimo

Se establecieron las condiciones y procedimientos más adecuados para obtener los parámetros texturales de los productos seleccionados o productos similares empleando estos dos equipos

Condiciones importantes de las pruebas en la preparación para la prueba o historia de la muestra, obtención y dimensiones de las muestras, las cuales se describen en el protocolo de la misma antes de iniciar las pruebas Así como la temperatura de la muestra durante la prueba, tipo de dispositivo, tiempo de penetración, etc.

Con el Penetrómetro Universal se realizan pruebas para determinar el grado de dureza de los productos seleccionados, pero en condiciones de prueba diferentes a las que se aplican para el Texturómetro, debido a los métodos y mecanismos de operación que presenta cada uno

En las pruebas realizadas con los productos se aprecian los diferentes valores de dureza que están estrechamente relacionados con el grado de consistencia que presenta, esto se observa en mayor medida en las gráficas comparativas de los productos con el Texturómetro

Se realizaron pruebas comparativas con el Texturómetro: dureza en margarina con esfera, aguja y cono, dureza en queso con aguja; relajación en queso, margarina y mayonesa. Se realizaron pruebas específicas para los productos como TPA y creep para queso Panela, rompimiento de estructura o fatiga cíclica para mayonesa y adhesividad en margarina, de las cuales se obtuvieron parámetros texturales y gráficas muy específicas pero que pueden también ser comparados con este tipo de productos o productos con características similares.

Debido a que el funcionamiento y dispositivos del Penetrómetro Universal son diferentes en cuanto a dimensiones, aplicación de fuerza, manejo, tratamiento de resultados, unidades de medición etc no es posible llevar a cabo una comparación entre los resultados obtenidos con cada uno, lo que sí se puede destacar es que en los resultados de dureza en los dos equipos se aprecia que el mayor valor es para el queso Panela y el menor es para la mayonesa, quedando la margarina por su grado de consistencia entre estos dos productos.

Los datos obtenidos en el Texturómetro en las pruebas de creep y relajación pueden exportarse a Excel y manejarse de diferentes formas para obtener parámetros que ajusten a los modelos que describen estas pruebas (Maxwell, Kelvin Voigt, Burger, entre otras). Así mismo pueden manejarse en paquetes matemáticos comerciales o en programas diseñados para estos fines. Lo anterior muestra el potencial que tienen los Texturómetros como el aquí empleado para efectuar una amplia gama de pruebas y de permitir manejar los datos obtenidos de manera simple a través de las macros o más compleja, haciendo uso de paquetería o software adicional.

El estudio puede emplearse como un medio de información útil para obtener parámetros texturales de emulsiones o similares y visualizar la amplia gama de consistencias y texturas que presentan los productos de este grupo de alimentos. Además sirve de referencia para el uso de estos equipos y sus dispositivos, para la aplicación de otro tipo de productos, haciendo una comparación de su apariencia, consistencia, forma, manejabilidad, etc., y así proceder en la aplicación de tiempos de exposición, dimensiones de muestra y otras condiciones que puedan ser utilizadas.

Este trabajo puede ser considerado como una base para ampliar el estudio de la textura de estos productos en cuanto a sus propiedades físicas, como sus atributos mecánicos, geométricos y de composición por medio de análisis sensoriales.

CAPITULO V: BIBLIOGRAFIA

- 1.- Muller H. G., 1982, Introducción a la Reología de los Alimentos, Editorial Acribia, Zaragoza (España).
- 2.- Badui D. S., 1988, Diccionario de Tecnología de los Alimentos, Editorial Alhambra, Facultad de Química UNAM, México
- 3.- Potter, Ph. y Norman D., 1978, La Ciencia de los Alimentos, Editorial Edutex S A
- 4.- De Man J. M. y P. W., Voisey, 1979, Rheology and Texture in Food Quality, Editorial AVI Publishing Company
- 5.- Fandi P. H. y Faubión M., 1990, Dough Reology and Boked Product Texture, Editorial An AVI Book
- 6.- Butters J. R., N. D. Cowell y A. E. V. Lilly, 1980, Operaciones de la Ingeniería de los Alimentos, Segunda Edición, Editorial Acribia (España),
- 7.- Chefel J. C., H. Chefel y P. Besancón, 1989, introducción a la Bioquímica de los Alimentos, Voi II, Editorial Acribia, Zaragoza (España)
- 8.- Dana B. O., 1992, Manual de Laboratorio de Ciencias de los Alimentos, Editorial Acribia S A Zaragoza (España)
- 9.- Casas A. N. y Ramírez M. E., 1997, Curso de Superación Académica "Medición de Textura en Alimentos con maquina Universal de deformación (Texturómetro), Facultad de Estudios Cuautitlan, Campo I, Sección LEM
- 10.- Norma Oficial Mexicana (Nom -F-16-S-1979), "Margarina para Mesa", Secretaria de Patrimonio y Fomento Industrial
- 11.- Norma Oficial Mexicana (Nom -F-21-S-1979), "Mayonesa", Secretaria de Patrimonio y Fomento Industrial

- 12.- Publicación de "Cahners", Julio 1998, "Sistema analizador total de textura ahora uno mas completo", Alimentos Procesados (La Revista Internacional de Alimentos Procesados para América Latina), Vol. 17, Nº 7.
- 13.- Diccionario de los Alimentos, 1984, Ed Edita Mexicana S.A., 2a. Edición, Barcelona, México,
- 14.- Queso Panela "procedimientos de elaboración" (Clave de tema TDOMC-104), Enero 2000, Procuraduría Federal del Consumidor, Sistema de Organización de Consumidores (Reporte de Temas), pág 25, 28-30
- 15.- Censo Económico 1994 - 1999, Sector 3 l Productos Alimenticios, Bebidas y Tabaco, XIV Censo Industrial (Industrias, Manufactureras, Productos y Materias Primas), Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI)
- 16.- Lewis M.J , 1993, Propiedades Físicas de los Alimentos y de los Sistemas de Procesado, (Depto Of Food Science), Ed Acrbia.S A (Zaragoza, España)
- 17.- Lopez M G , 1995, Validación y Aplicación de Sensores de Medicion (Modelo Pasco) en proceso de Transformación y/o Conservación de Alimentos Tesis Profesional, FES-Cuautitlan, Ingeniero en Alimentos UNAM.
- 18.- Hart, A M y F Leslie, 1991, Análisis Moderno de los Alimentos, Ed Acrbia Zaragoza (España)
- 19.- Coronado H y Vega S , 1993, Conservación de Alimentos un texto de Métodos y Técnicas, 1ª ed. Universidad Autónoma Metropolitana, unidad Xochimilco
- 20.- Porter G , 1981, Leche y Productos Lacteos, Editorial Acrbia Zaragoza (España)
- 21.- Shramm G , 1994, A Practical Approach to Rheology and Rheometry, Ed. Gebrueder HAAKE GmbH, Federal Republic of Germany
- 22.- Vernon E J , C A. Lever y A. Torreblanca, 1983, Estudio de las propiedades viscoelásticas de productos alimenticios, Tecnología de Alimentos, vol 18 (2), pag 10-17
- 23.- Dilanjan Chrtioforowtsch Sawen, 1984, Fundamentos de la elaboración del queso, Ed Acrbia Zaragoza (España) pag 10-15

ANEXOS

ANEXO 1 : PROCEDIMIENTO DE USO DEL TEXTURÓMETRO TAXT2

Cuando se enciende el Analizador de Textura, todas las lámparas de tablero se encienden por dos segundos. En este momento se puede verificar que todas están trabajando. En seguida, el número de programa que está activo en la consola se enciende en la parte superior izquierda del tablero. Después de unos cuantos segundos el sistema está listo para usarse.

El tablero consta básicamente de tres displays, cada uno con una lista de opciones debajo de este. Un teclado numérico y una serie de botones de operación claros y oscuros. En el extremo derecho tiene una llave de seguridad con tres posiciones: Set Up, Run y Machine Configure. Esto permite la protección de las condiciones de prueba y los parámetros del programa, permite administrar los programas y correr la prueba. Para utilizar el texturómetro con la computadora, la consola debe estar encendida y la llave colocada en el modo Run. Las condiciones de prueba que se establecen en la computadora por medio del software, tienen que ser transferidos a la consola para la operación.

BASE DE PRUEBAS

La Base de pruebas consta de una plataforma sobre la que se adaptan los dispositivos sobre los cuales se coloca la muestra, un brazo porta sensores que a su vez contiene la celda de carga. Los sensores se colocan en la parte inferior del brazo y en el superior tiene un dispositivo para colocar la pesa de calibración. El brazo de pruebas está unido al cabezal que efectúa los movimientos de subida y bajada de los sensores sobre la muestra. En la parte posterior derecha se encuentran el botón de encendido y el botón de paro de emergencia.

Los documentos de que consta el software son:

Proyecto. Este documento liga todos los demás para tener un método de prueba completo.

Preferencias. Contiene la información sobre la forma de visualizar gráficamente los datos de una prueba.

Gráfica. Este documento contiene los datos de fuerza, distancia y tiempo de una prueba.

Macro. Contiene la lista de comandos que pueden ser ejecutados en un documento gráfico para el análisis de los datos de prueba.

Resultados. Contiene los resultados del análisis de los datos de una prueba para ser comparados y visualizados ya sea en forma de una hoja de cálculo o en forma gráfica.

ANEXO 2 : DESARROLLO DE FORMULAS PARA EL CALCULO DE LA DUREZA EN PENETRÓMETRO UNIVERSAL.

Calculo de la dureza con el cono :

El cono es realmente un cono de 45° truncado y en la truncación tienen insertado un cono de 15°
 En la tabla anterior se muestran dimensiones tanto del cono de 15° como del de 45° truncado

Cuando se realiza una prueba de penetración se pueden tener dos casos :

- 1 Cuando penetra solo parte del cono de 15°
- 2 Cuando penetra todo el cono de 15° y parte del truncado de 45°

A continuación se desarrollan las formulas para el calculo de la dureza en ambos casos

La dureza esta dada por la fuerza que aplica el cono al penetrar dividida entre el area del dispositivo que penetra y esta a su vez depende de la profundidad de penetración (lectura de la carátula) y de las dimensiones del cono

$$D = \frac{F}{A} = \frac{m_r a_g}{A} \quad (1)$$

Donde

D= dureza

A= área total del dispositivo que penetra

m_r = peso del cono, varilla y pesos agregados

a_g = aceleración de la gravedad

Caso a) - La lectura en la carátula da la profundidad de penetración

Area del cono hasta la profundidad de penetración

$$A_1 = g_1 r_1 \quad (2)$$

Donde

g_1 = generatriz del cono a la profundidad de penetración L

r_1 = radio del cono a la profundidad de penetración L

Es necesario calcular g_1 y r_1 función del ángulo del cono y la profundidad de penetración que son los valores conocidos

$$\text{Tan } B = \frac{r_1}{L} \quad (3)$$

$$r_1 = L \text{Tan } B \quad (4)$$

Con el valor de r_1 se calcula g_1 con la siguiente ecuación

$$g_1 = (r_1^2 + L^2)^{1/2} \quad (5)$$

Se sustituye en los valores de g_1 y r_1 en (2) y se calcula el área A_1 y su valor se sustituye en (1) junto con el del peso total utilizado m .

Caso b) - La lectura L , indica la profundidad de penetración. Como penetra todo el cono de 15° (cuya altura l se conoce), $(L - l + b)$ será la altura del cono de 45° que penetra

El área total penetrada será el área del cono de 15° (A_1) más el área del cono de 45° hasta una altura dada por $(L - l + b)$ (A_2), menos el área de la truncación del cono de 45° (A_3)

$$A_r = A_1 + A_2 - A_3 \quad (6)$$

$$A_1 = g_1^2 = 1.948 \text{ cm}^2 \quad (7)$$

$$A_2 = R' H \quad (8)$$

Como R' no se conoce, es conveniente poner el área en función de la altura de penetración. Por ser cono de 45° , $R = h$

$$A_2 = h' H \quad (9)$$

$$H = (2h'^2)^{1/2} = h' \sqrt{2} \quad (10)$$

Sustituyendo (10) en (9)

$$A_2 = 2 h'^2 \quad (11)$$

Como $h' = L - l + b$

$$A_2 = 2 (L - l + b)^2 \quad (12)$$

Área de la truncación del cono de 45°

$$A_3 = g^2 r \quad (13)$$

$$g^2 = (r^2 + b^2)^{1/2} = (2r^2)^{1/2} = \sqrt{2}r = 0.566656 \text{ cm}^2 \quad (14)$$

$$A_3 = 2 r^2 = 0.710 \text{ cm}^2$$

Una vez calculada las áreas A_1 , A_2 , A_3 sus valores se sustituyen en (6) para calcular el área total penetrada y el valor del área se sustituye en (1) junto con el peso total empleado en la prueba y se calcula la dureza

AGUJA :

En el caso de la aguja, el problema se reduce a sumar el área de la parte cónica (0.0769 cm^2), el área lateral de la varilla ($2 r (l-l)$) para tener el área total y aplicar la fórmula (1)

ACCESORIOS Y DISPOSITIVOS DEL PENETRÓMETRO UNIVERSAL :

- Cronometro
- Aguja ASTM D-5 , 2.5 g
- Aguja certificada, NBS, 2.5 g
- Recipiente para derivados del petróleo de 16oz
- Aguja para penetración de grasas, ASTM D- 1321, 2.5 g
- Cono de aluminio, 35 g
- Cono de bronce, ASTM D- 217 y D-p37, 102.5 g
- Cono y embolo, ¼ ASTM D1403, 9.38 g
- Cono universal, 102.5 g

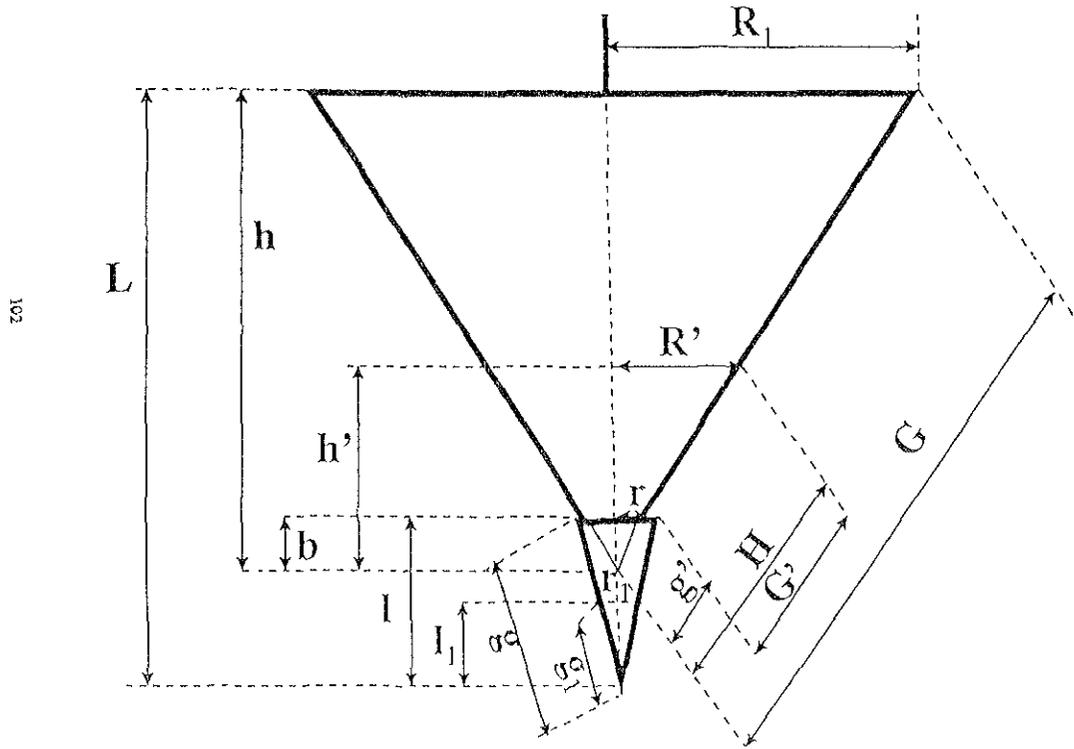
DIMENSIONES DE LOS DISPOSITIVOS :

El Penetrómetro Universal cuenta básicamente con dos dispositivos de penetración : conos (aluminio, latón) y aguja (acero inoxidable). Ambos conos tienen las mismas dimensiones pero varían en peso. Se cuenta además con dos pesas (50 y 100g) para adicionar peso extra al dispositivo. En el cuadro No A-2 1 se presentan las dimensiones de los dispositivos. En la fig. A-2 1 y A-2 2 se presenta un esquema de los dispositivos cono y aguja.

Cuadro No A-2 1 Dimensiones de los dispositivos del Penetrómetro Universal

DISPOSITIVOS DEL PENETROMETRO UNIVERSAL		
DIMENSION	SÍMBOLO	VALOR
CONO ALUMINIO 45°		
Cono 45° truncado		
Angulo	O	45°
Radio	R ₁	3.35 cm
Radio Truncación	R	0.4 cm
Altura	H	3.35 cm
Generatriz	G	4.773 cm
Altura Truncación	B	0.4 cm
Area	A	49.82 cm ²
Peso	M	35.0 g
Cono 15°		
Angulo	B	15°
Radio	R	0.4 cm
Generatriz	G	1.55 cm
Altura	L	1.497
Area	A ₁	1.948 cm ²
AGUJA		
Angulo	O	14.5°
Radio	R	0.05 cm
Generatriz	G	0.49 cm
Altura parte cónica	I	0.487 cm
Area parte cónica	A	0.0769 cm ²
Peso	M	2.5g

Fig. A-2.1 Esquema del cono 45° del Penetrómetro Universal
(Aluminio o Bronce)



ANEXO 3 : MÁCROS APLICADAS A LAS GRÁFICAS DE LOS MATERIALES SELECCIONADOS Y PARA OTROS SIMILARES CON EL TEXTURÓMETRO.

RELAJACION EN QUESO

Borrar resultados gráficos.	Desplazamiento	
Ir a Tiempo Min.	Seleccionar Anclaje	2
Fijar Anclaje 1.	Seleccionar Anclaje	3
Buscar hacia delante	Area	
Fuerza Max. 100 0%	Diferencia de Tiempo	
Fijar Anclaje 2	Marcar Distancia	
Marcar fuerza	Seleccionar Anclaje	1
Marcar Distancia	Seleccionar Anclaje	3
Marcar Tiempo	Area	
Buscar hacia delante	Marcar Distancia	
Ir a Fuerza 0 0 g	Diferencia de Tiempo	
Marcar Distancia.	Seleccionar Anclaje	3
Marcar Tiempo	Seleccionar Anclaje	4
Fijar Anclaje 3.	Area	
Buscar hacia delante	Diferencia de Tiempo	
Pico Fuerza -		
Marcar Fuerza		
Marcar Distancia		
Buscar hacia delante		
Ir a Fuerza 0 0 g.		
Fijar Anclaje 4		
Marcar Distancia		
Marcar Tiempo.		
Ir a Tiempo 11 520 s		
Fijar Anclaje 5		
Marcar Fuerza		
Marcar Tiempo.		
Marcar distancia		
Ir a Tiempo 34 055 s		
Fijar Anclaje 6		
Marcar Fuerza		
Marcar Tiempo		
Marcar Distancia		
Seleccionar Anclaje 1		
Seleccionar Anclaje 2		
Pendiente		
Area		
Diferencia de Tiempo		
Seleccionar Anclaje 1		
Seleccionar Anclaje 3		
Area		
Diferencia de tiempo		
Marcar Distancia		
Seleccionar Anclaje 2		
Seleccionar Anclaje		
Diferencia de Tiempo		
Desplazamiento		
Seleccionar Anclaje 2		
Seleccionar Anclaje 6		
Diferencia de Tiempo		

TPA EN QUESO

Borrar resultados Gráfico
 Ir a Tiempo Min
 Fijar Anclaje 1
 Buscar hacia delante
 Fuerza Max 100 0%
 Marcar Fuerza
 Marcar Distancia
 Fijar Anclaje 2
 Ir a Fuerza 0 0 g
 Fijar Anclaje 3
 Marcar Distancia
 Marcar Tiempo
 Seleccionar Anclaje 1
 Seleccionar Anclaje 2
 Area
 Desplazamiento
 Diferencia de Tiempo
 Pendiente
 Marcar Distancia
 Seleccionar Anclaje 2
 Seleccionar Anclaje 3
 Area
 Diferencia de Tiempo
 Marcar Distancia
 Seleccionar Anclaje 1
 Seleccionar Anclaje 3
 Area
 Diferencia de Tiempo
 Marcar Distancia
 Buscar hacia delante
 Pico Fuerza
 Marcar Fuerza
 Marcar Distancia
 Ir a Tiempo 23 283 s
 Fijar Anclaje 4
 Marcar Distancia
 Marcar Tiempo
 Seleccionar Anclaje 3
 Seleccionar Anclaje 4
 Area
 Diferencia de Tiempo
 Buscar hacia delante
 Pico Fuerza +
 Fijar Anclaje 5
 Marcar Fuerza
 Marcar Distancia
 Marcar Tiempo
 Buscar hacia delante
 Ir a fuerza 0 0 g
 Fijar Anclaje 6
 Marcar Distancia
 Marcar Tiempo
 Seleccionar Anclaje 4
 Seleccionar Anclaje 5

Area
 Pendiente
 Diferencia de Tiempo
 Desplazamiento
 Marcar Distancia
 Seleccionar Anclaje 5
 Seleccionar Anclaje 6
 Area
 Diferencia de Tiempo
 Marcar Distancia
 Seleccionar Anclaje 4
 Seleccionar Anclaje 6
 Area
 Diferencia de Tiempo
 Marcar Distancia
 Pico Fuerza -
 Fijar Anclaje 7
 Marcar Tiempo
 Marcar Distancia
 Marcar Fuerza
 Buscar hacia delante
 Ir a fuerza 0 0 g
 Fijar Anclaje 8
 Marcar Distancia
 Marcar Tiempo
 Seleccionar Anclaje 6
 Seleccionar Anclaje 8
 Area
 Diferencia de Tiempo

CREEP EN QUESO

Borrar resultados Gráfico
Ir a Tiempo 0,000 s
Fijar Anclaje 1
Marcar Fuerza
Marcar Distancia
Buscar hacia delante
Distancia Max. + 100.0%
Fijar Anclaje 2
Marcar Fuerza
Marcar Distancia
Marcar Tiempo
Buscar hacia delante
Ir a Distancia 0,000 mm
Fijar Anclaje 3
Marcar Tiempo
Marcar Fuerza
Ir a Tiempo Max
Fijar Anclaje 4
Marcar Fuerza
Marcar Distancia
Marcar Tiempo
Ir a Tiempo 1,040 s
Fijar Anclaje 5
Marcar Fuerza
Marcar Distancia
Ir a Tiempo 93,160 s
Fijar Anclaje 6
Marcar Tiempo
Marcar Fuerza
Marcar Distancia
Seleccionar Anclaje 1
Seleccionar Anclaje 5
Pendiente
Seleccionar Anclaje 1
Seleccionar Anclaje 2
Area
Pendiente
Diferencia de Tiempo
Seleccionar Anclaje 2
Seleccionar Anclaje 3
Area
Diferencia de Tiempo
Seleccionar Anclaje 1
Seleccionar Anclaje 3
Area
Diferencia de Tiempo
Marcar Distancia
Seleccionar Anclaje 2
Seleccionar Anclaje 6
Pendiente
Interseccion y (FT) g
Interseccion y (DT) mm
Desplazamiento

ADHESIVIDAD EN MARGARINA

Presentar grafico
Borrar resultados Grafico
Ir a Tiempo 0.000 s
Fijar Anclaje 1
Marcar Fuerza
Buscar hacia delante
Pico Fuerza +
Marcar Fuerza
Marcar Tiempo
Fuerza Max 100.0%
Fijar Anclaje 2
Marcar Fuerza
Marcar Tiempo
Buscar hacia delante
Pico Fuerza -
Marcar Fuerza
Ir a Fuerza 0.0 g
Fijar Anclaje 3
Marcar Fuerza
Marcar Tiempo
Ir a Tiempo Max
Fijar Anclaje 4
Ir a Tiempo 0.020 s
Fijar Anclaje 5
Seleccionar Anclaje 1
Seleccionar Anclaje 5
Pendiente
Diferencia de Tiempo
Seleccionar Anclaje 1
Seleccionar Anclaje 2
Area
Marcar Distancia
Desplazamiento
Seleccionar Anclaje 2
Seleccionar Anclaje 3
Area
Marcar Distancia

NOMENCLATURA

t_r	tiempo de relajación
J_0	deformación elástica en la 1ª etapa de la gráfica del modelo de Burger
J_1	deformación retardada debido al elemento de Kelvin
T_1	tiempo de retardo del modelo de Burger
η_0	viscosidad correspondiente a la 3ª etapa de la gráfica del modelo de Burger
η_1	viscosidad correspondiente a la 2ª etapa de la gráfica del modelo de Burger
J_{∞}	la ordenada al origen de la zona lineal ó representación de las deformaciones viscosas en el modelo de Burger
J_T	tiene relación con la deformación total en el modelo de Burger
σ	desviación estándar
$C V$	coeficiente de variación
s ó seg	segundos (tiempo)
l	largo (dimensiones)
a	ancho (dimensiones)
h	altura (dimensiones)
J	creep compliance
τ	esfuerzo aplicado ($=F/A$)
F	fuerza aplicada
A	área de contacto
J_r	tiempo de retardo