

UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS Y FARMACEUTICAS  
DEPARTAMENTO DE CIENCIA DE LOS ALIMENTOS Y  
TECNOLOGIA QUIMICA

Serie: Monografías sobre Ingeniería de Alimentos  
Publicación: N° 8

PROPIEDADES TERMICAS DE LOS ALIMENTOS  
.....



Proyecto I 1182-8555  
Eduardo S. Castro M.

82382  
21845

1986

536.6  
C293P  
1986  
c.4

Proyecto I 1182-8555

536.6  
C293p  
1986  
C.4

FACTIBILIDAD TECNICO-ECONOMICA DE  
PRODUCTOS CONGELADOS

Financiado por:

Departamento de Investigación y Bibliotecas (DIB)  
Universidad de Chile

Investigador Responsable: Eduardo S. Castro Montero

Co-Investigador: Abel Guarda Moraga

Investigador Colaborador : Renato Figari D.

Investigador Colaborador : Miguel Craddock M.

Investigador Colaborador : Fernando Osorio L.

Investigador Asesor : Emma Wittig R.

Investigador Asesor : Julia Vinagre L.

Investigador Asesor : Luis López V.

Investigador Asesor : José Romero R.

Investigador Asesor : Humberto Oliver A.

Investigador Asesor : Nelba villagrán A.

Departamento de Ciencia de los Alimentos  
y Tecnología Química  
Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas  
Universidad de Chile

## INDICE DE MATERIAS

Introducción	1
(Propiedades térmicas de los alimentos)	1
I Entalpía	1
II Conductividad térmica	20
III Calor específico	49
IV Difusividad térmica	101
V Densidad	108
VI Alimentos liofilizados	123
VII Emisividad	125

ANEXO: Coeficiente de convección de distintos  
medios calefactores usados en alimentos

Bibliografía

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1	Entalpía de carnes congeladas	2
Tabla 2	Entalpía de frutas, vegetales y jugos	7--8
Tabla 3	Entalpía de huevos congelados	9
Tabla 4	Conductividad térmica de carnes congeladas	21-22
Tabla 5	Propiedades térmicas del hielo	23
Tabla 6	Conductividad térmica de frutas, vegetales, huevos y mantequilla congeladas	25-26
Tabla 7	Conductividad térmica de alimentos congelados	27-28-29
Tabla 8	Conductividad térmica de alimentos	33-34-35-36
Tabla 9	Conductividad térmica de la carne sometida a diferentes condiciones de cocción	44
Tabla 10	Conductividad térmica de componentes de alimentos y granos	48
Tabla 11	Propiedades térmicas de carnes frescas	53
Tabla 12	Propiedades térmicas de pescado, carne, pollos y otros alimentos	54-72
Tabla 13	Calores específicos de alimentos	73-79
Tabla 14	Calor específico	87
Tabla 15	Calor específico aparente de soluciones de sacarosa	88

Tabla 16	Calores de disolución de algunos materiales frecuentes en alimentos	88
Tabla 17	Calor latente y calor específico de ácidos grasos saturados	89
Tabla 18	Calor específico de triglicéridos saturados	92
Tabla 19	Calores de fusión y transformación de trigli céridos saturados	93
Tabla 20	Calor específico de aceites vegetales	94
Tabla 21	Calor específico de ácidos grasos a temperatura elevada	95
Tabla 22	Calores específicos de aceite de soya con un índice de yodo de 128,3	96
Tabla 23	Calor específico de grasas fundidas	98
Tabla 24	Calor específico de grasas sólidas	99
Tabla 25	Difusividad térmica de algunos alimentos	103-104
Tabla 26	Difusividad térmica de soluciones de sacarosa	107
Tabla 27	Propiedades térmicas de frutas, vegetales y jugos frescos	109-110
Tabla 28	Parámetros empíricos para la predicción de la densidad de algunos productos alimenticios y tylosa	116
Tabla 29	Densidad de grasa y aceite comercial	117

Tabla 30	Densidad del aceite de soya a diferentes temperaturas	118
Tabla 31	Densidad de varios materiales grasos	119
Tabla 32	Densidad de carne cocida con diferentes contenidos de agua	121
Tabla 33	Densidad de algunas grasas, ácidos y ésteres a 80 °C	122
Tabla 34	Conductividad térmica de alimentos liofilizados	124
Tabla 35	Emisividad de vacuno	125
Tabla 36	Emisividad de materiales de interés en procesamiento de alimentos.	126
Tabla 37	Propiedades térmicas del agua	127
Tabla 38	Propiedades térmicas del agua (sólido-vapor)	128
Tabla 39	Propiedades térmicas del vapor de agua en la saturación	128
Tabla 40	Propiedades térmicas de los materiales para envasar alimentos	129

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1	Diagrama entalpía composición para carne de vacuno	3
Figura 2	Entalpía composición para carne	4
Figura 3	Entalpía composición para jugos de frutas y de vegetales	6
Figura 4	Diagrama entalpía composición para yema de huevo	10
Figura 5	Diagrama entalpía concentración leche entera seca/agua	11
Figura 6	Entalpía de cerezas en función de la temperatura	12
Figura 7	Diagrama entalpía contenido de agua para huevo entero	13
Figura 8	Diagrama entalpía contenido de agua para clara de huevo	14
Figura 9	Diagrama entalpía contenido de agua para músculo magro de pescado de agua salada	15
Figura 10	Diagrama entalpía contenido de agua de almidón de papa	16
Figura 11	Diagrama entalpía contenido de agua para levadura de panificación	17

Figura 12	Diagrama entalpía contenido de agua para pan blanco	18
Figura 13	Diagrama entalpía y calor específico de fusión de grasas y aceites	19
Figura 14	Conductividad térmica de carne magra de vacuno congelada en función de la temperatura	24
Figura 15	Conductividad térmica vs temperatura de manzana Golden Delicious	38
Figura 16	Conductividad térmica vs temperatura de manzana Granny Smith	38
Figura 17	Conductividad térmica vs temperatura de carne de vacuno magra	40
Figura 18	Conductividad térmica de fibra seca	45
Figura 19	Conductividad térmica de carne parcialmente cocida	46
Figura 20	Calor específico de jugos de frutas	50
Figura 21	Calor específico aparente predicho de cereza congelada en función de la temperatura	83
Figura 22	Calor específico medio de manzana	85
Figura 23	Influencia de la congelación en la densidad predicha de frutillas	112



## P R O L O G O



El avance cada vez mayor de la Ingeniería en Alimentos en el conocimiento de los fundamentos teóricos de los procesos ha conducido a emplear las propiedades térmicas de los alimentos.

Pero, ellas se encuentran dispersas en la literatura especializada aunque se han realizado algunas recopilaciones publicadas en habla inglesa.

Debido al proyecto de investigación en frío nos vimos en la necesidad de recopilar la información que se presenta en este trabajo y creemos que será de utilidad a los Ingenieros de Alimentos y a los especialistas dedicados a este campo.

## PROPIEDADES TERMICAS DE LOS ALIMENTOS

### Introducción

La energía juega un papel importantísimo en cualquier proceso de la industria de alimentos, tanto desde el punto de vista de costos como de la calidad del producto, su control y su evaluación es uno de los objetivos del equipo de producción.

El Ingeniero que diseña equipos y procesos encuentra los datos disponibles dispersos en la bibliografía y tiene un acceso restringido a las correlaciones que le permiten predecir el valor de estas propiedades; por ello en este trabajo se presentan las propiedades térmicas útiles para el diseño de equipos y procesos.

### I Entalpía

La medida más frecuente de la energía se hace a través del cambio de entalpía.

Si para los alimentos estuvieran tabuladas las entalpías en función de la temperatura sería fácil el cálculo porque bastaría leer los valores en las tablas y hacer la operación algebraica correspondiente para evaluar el calor transferido.

$$Q = (h_2 - h_1) M$$

Para algunos productos Riedel (Dickerson, 1968) tabuló estos valores y es posible ocuparlo (Tabla 1).

La referencia elegida para evaluar las entalpías es  $-40^{\circ}\text{F}$  ( $-40^{\circ}\text{C}$ ) porque se ha encontrado que cantidades ínfimas de agua se congelan bajo esta temperatura.

TAHLA 1

ENTALPIA DE CARNES CONGELADAS

Producto	Contenido de Agua en peso %	Calor específico medio 40°-60°F Btu/lb°F	Entalpia Btu/lb	% agua no congelada	Temperatura, °F																
					-40	-20	-10	-5	0	5	10	15	18	20	22	24	26	28	30	32	40
Carnes magras frescas de vacuno	74.5	0.84	Entalpia Btu/lb	0	9	15	18	21	24	27	32	35	38	42	46	57	74	115	131	137	
			% agua no congelada	10	10	11	12	12	13	15	16	20	22	24	28	37	48	92	100	-	
Carnes magras secas de vacuno	26.1	0.59	Entalpia Btu/lb	0	9	14	17	20	24	28	31	-	33	-	36	-	56	-	50	45	
			% agua no congelada	96	96	96	97	98	99	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Beefsteak	80.3	0.88	Entalpia Btu/lb	0	10	15	18	21	24	28	33	36	39	43	48	56	77	125	139	148	
			% agua no congelada	10	10	10	11	12	13	14	16	18	20	22	26	32	45	86	100	-	
Carne de res	80.5	0.89	Entalpia Btu/lb	0	9	15	18	21	24	28	33	36	39	43	48	56	77	127	145	152	
			% agua no congelada	8	8	9	9	10	11	12	14	15	17	19	23	29	42	86	100	-	
Perca	79.1	0.86	Entalpia Btu/lb	0	9	14	17	20	23	27	32	35	38	42	46	53	68	117	137	144	
			% agua no congelada	10	10	11	12	13	14	16	17	19	21	24	30	41	83	100	-		
Polle	76	0.85	Entalpia Btu/lb	0	9	14	17	20	23	27	32	36	39	43	49	57	75	122	139	139	
Pollo desmenuzado	75.5	0.56	Entalpia Btu/lb	0	9	14	16	19	21	24	27	28	29	30	31	32	-	35	36	41	
Ternera fresca	76.5	0.85	Entalpia Btu/lb	0	10	15	16	21	24	28	33	36	39	43	48	57	72	125	135	140	
Venado	73	0.84	Entalpia Btu/lb	0	9	14	17	20	24	28	33	37	41	46	52	61	78	119	127	133	

Fuente adaptada de Riedel (1956, 1957A) y Dickerson (1969).

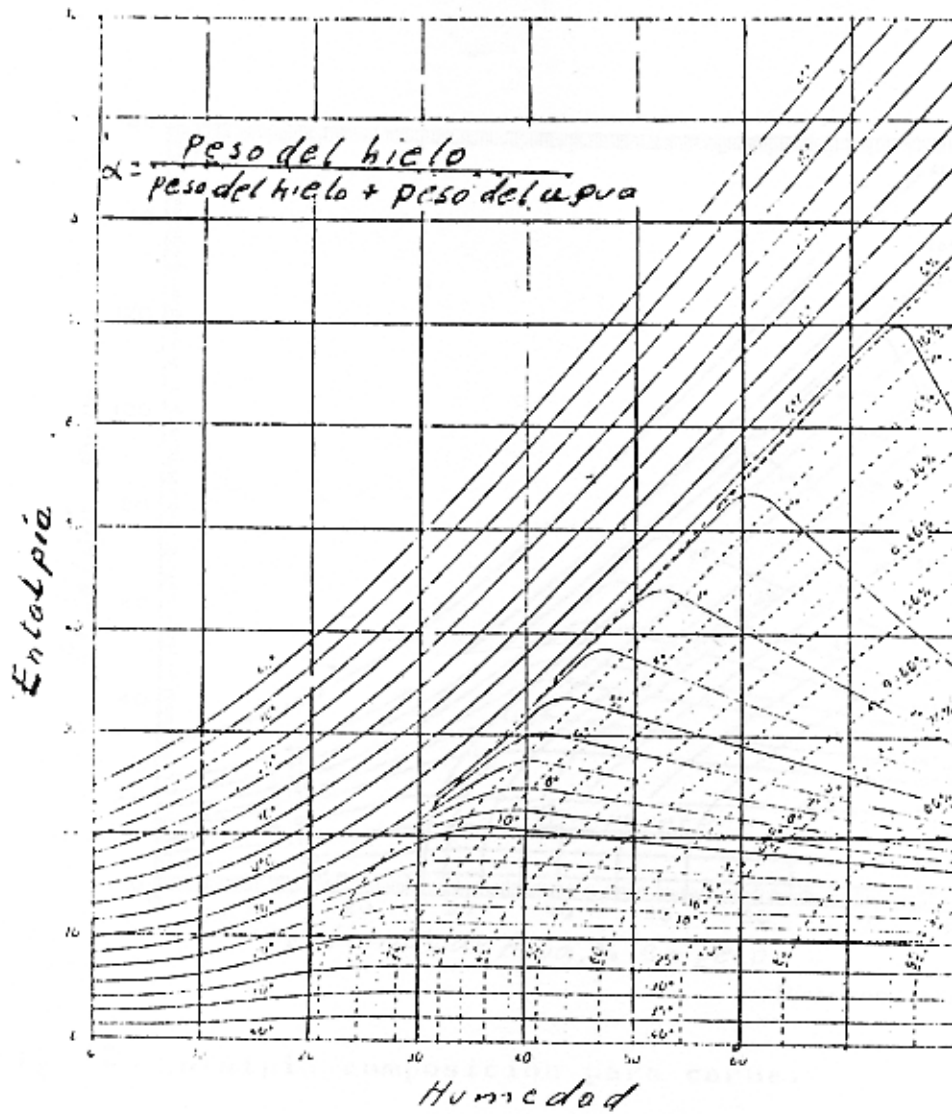


Diagrama Entalpía composición para carne de vacuno.  
 Entalpía (cal/g) versus % humedad (Charm).

FIGURA 1

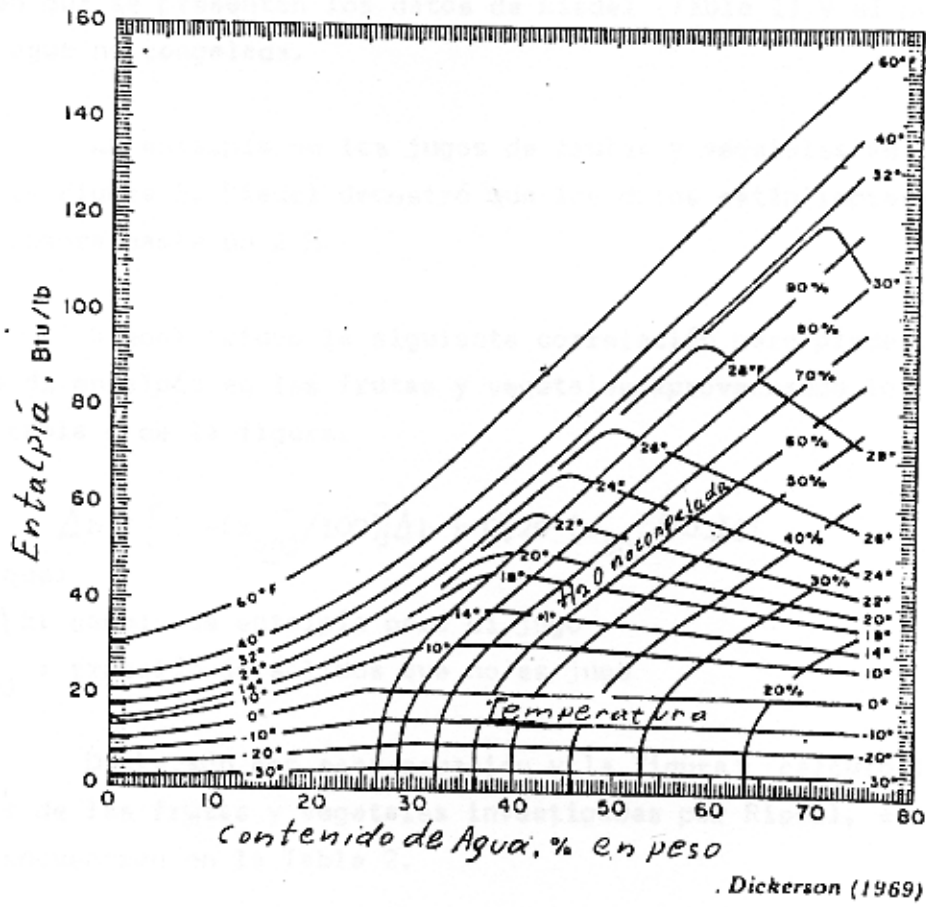


Fig. 2. Entalpía composición para carne.

A su vez Riedel construyó gráficos de entalpía en función del contenido de agua para carne de vacuno, donde se representan isotermas y el agua no congelada versus temperatura, Fig. 1.

Dickerson con ambos datos construyó el gráfico de la Figura 2 en que se presentan los datos de Riedel (Tabla 1) y el porcentaje de agua no congelada.

La entalpía de los jugos de frutas y vegetales se encuentran en la Figura 3. Riedel demostró que los datos están representados en la figura hasta un 2 %.

Riedel obtuvo la siguiente correlación para predecir el cambio de entalpía en las frutas y vegetales aprovechando los datos de la tabla o de la figura.

$$\Delta h = [1 - (x_{snj}/100)]\Delta h + 0,29 (x_{snj}/100)\Delta T$$

en que:

$\Delta h$ : cambio de entalpía para el jugo

$x_{snj}$  : fracción de sólidos que no es jugo

Dickerson con esta ecuación y la figura 3 calculó las entalpías de las frutas y vegetales investigadas por Riedel, estos datos se encuentran en la Tabla 2.

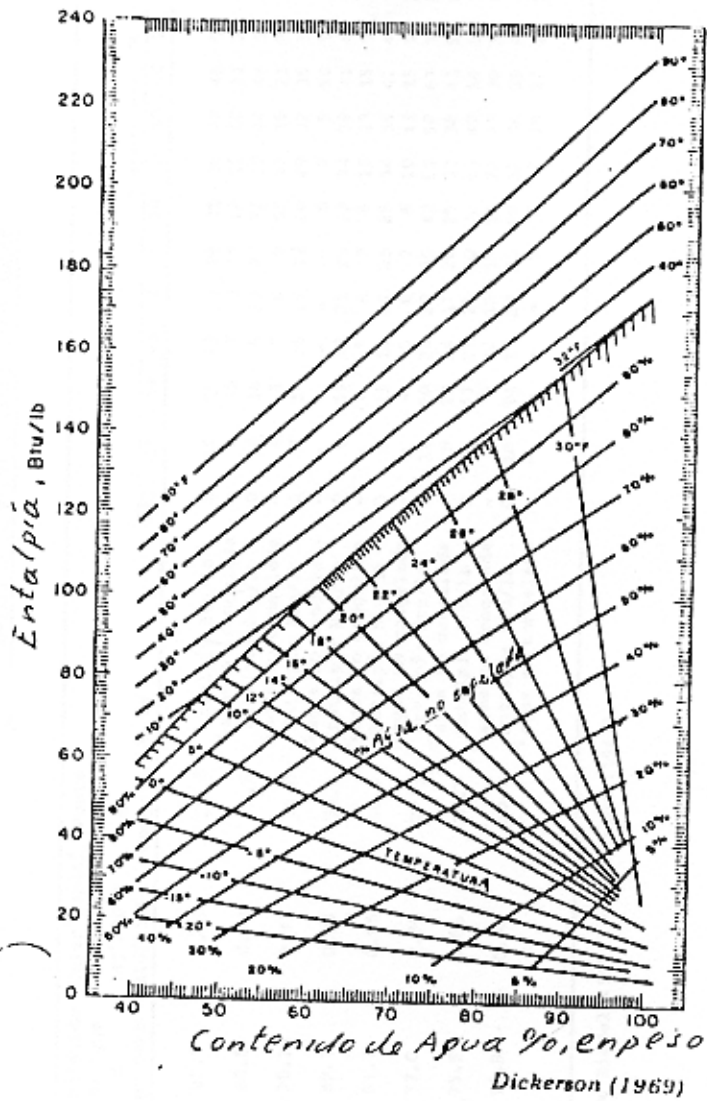


Fig. 3 Entalpía composición para jugos de frutas y de vegetales.

(Continuación)

**TABLA 2**

**ENTALPIA DE FRUTAS, VEGETALES Y JUGOS**

Producto	Contenido de Agua %	Calor específico de agua 40°-90°F Btu/lb°F	Punto de congelación inicial de 40°-90°F	Entalpia Btu/lb	Temperature, °F																	
					-40	-20	-10	-5	0	5	10	15	20	22	24	26	28	30	32	40		
Frambuesa	82.7	0.89	29.8	Entalpia Btu/lb % agua no congelada	0	10	16	19	22	26	31	38	42	46	52	59	71	92	146	148	155	
Jugo frambuesa	88.5	0.93	29.8	Entalpia Btu/lb % agua no congelada	0	10	16	19	23	27	32	39	44	48	54	61	74	94	154	156	163	
Espinaca	90.2	0.93	31.0	Entalpia Btu/lb % agua no congelada	0	8	14	16	19	22	26	29	32	35	38	42	48	53	158	167		
Fresa	89.3	0.94	30.4	Entalpia Btu/lb % agua no congelada	0	9	15	18	21	25	29	34	39	41	45	51	61	77	127	158	165	
Jugo de fresa	91.7	0.95	30.4	Entalpia Btu/lb % agua no congelada	0	9	15	18	21	25	29	34	39	42	46	52	61	75	130	161	168	
Cerezas sin carozo	77.0	0.86	27.3	Entalpia Btu/lb % agua no congelada	0	12	20	24	29	35	42	51	50	47	42	38	33	28	110	134	138	146
	75.8	0.85	28.7	Entalpia Btu/lb % agua no congelada	0	10	17	21	25	30	36	43	49	54	61	70	81	114	137	139	145	
Jugo de tomate	92.9	0.96	30.7	Entalpia Btu/lb % agua no congelada	0	10	14	17	20	23	27	32	36	39	42	47	54	68	112	163	171	

Fuente: Adaptado de Riedel (1951) y Dickerson (1969).

<sup>1</sup> Base -40°F



TABLA 3

ENTALPIA DE RUEVOS CONGELADOS<sup>1</sup>

Producto	Contenido de Agua en Peso %	Calor específico medio 40°-100°F Btu/lb°F	Entalpia Btu/lb % agua no congelada	Temperatura, °F													
				-40	-20	-10	0	10	15	20	22	24	26	28	30	32	40
Clara	80.0	0.87	Entalpia Btu/lb % agua no congelada	0	9	14	19	25	30	35	39	44	51	65	110	138	145
Clara	86.5	0.91	Entalpia Btu/lb % agua no congelada	0	9	14	19	25	29	33	36	40	45	55	87	151	158
Clara	90.0	0.93	Entalpia Btu/lb % agua no congelada	0	9	14	19	25	28	32	34	37	42	50	74	158	165
Yema	40.0	0.68	Entalpia Btu/lb % agua no congelada	0	9	14	20	26	31	35	38	41	46	53	76	87	89
Yema	50.0	0.74	Entalpia Btu/lb % agua no congelada	20	-	-	24	27	28	-	34	38	43	54	89	-	-
Huevo entero con cascara <sup>2</sup>	66.4	0.79	Entalpia Btu/lb % agua no congelada	0	9	14	19	25	29	33	35	38	42	47	65	96	105
Cáscara	2.6	0.24	Entalpia Btu/lb	0	9	13	18	23	27	31	34	37	41	49	75	121	127
			Entalpia Btu/lb	0	4	6	8	10	11	-	13	-	14	-	15	16	18

Fuente: Adaptado de Riedel (1957B).

<sup>1</sup> Base -40°F

<sup>2</sup> Calculado por Riedel para 56 % clara (86.5 % agua), 32 % yema (50 % agua), y 10 % cáscara.

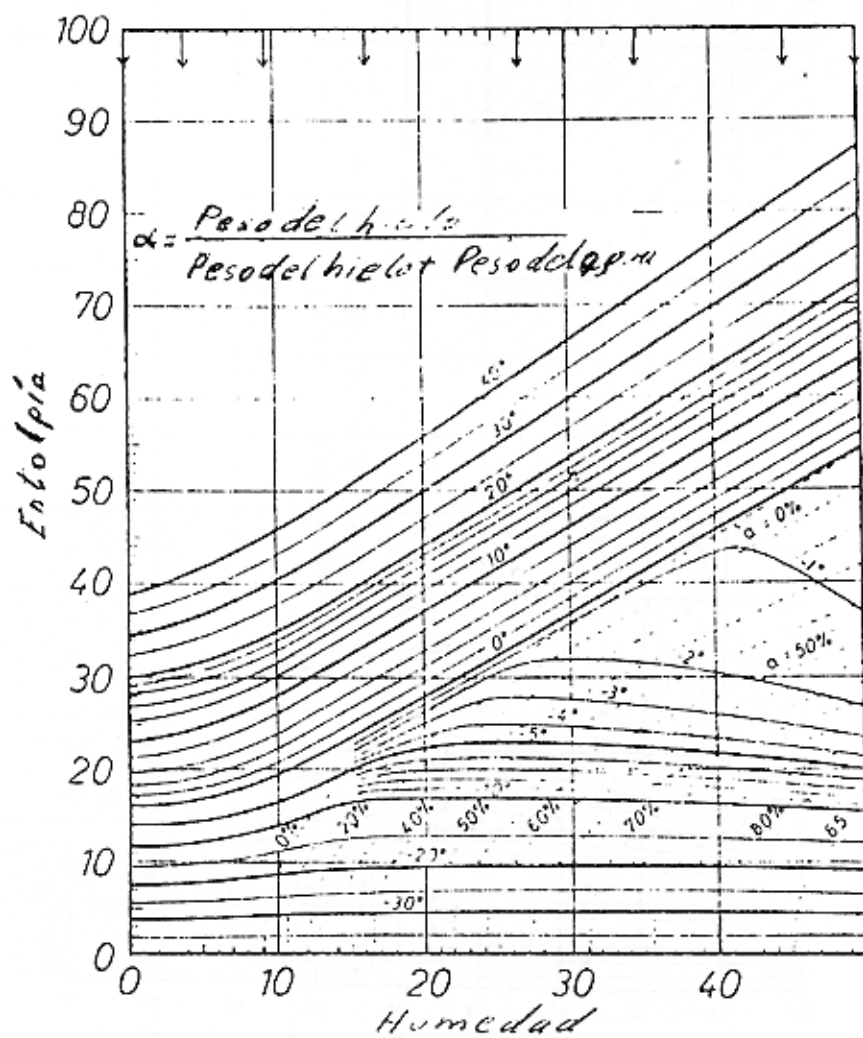
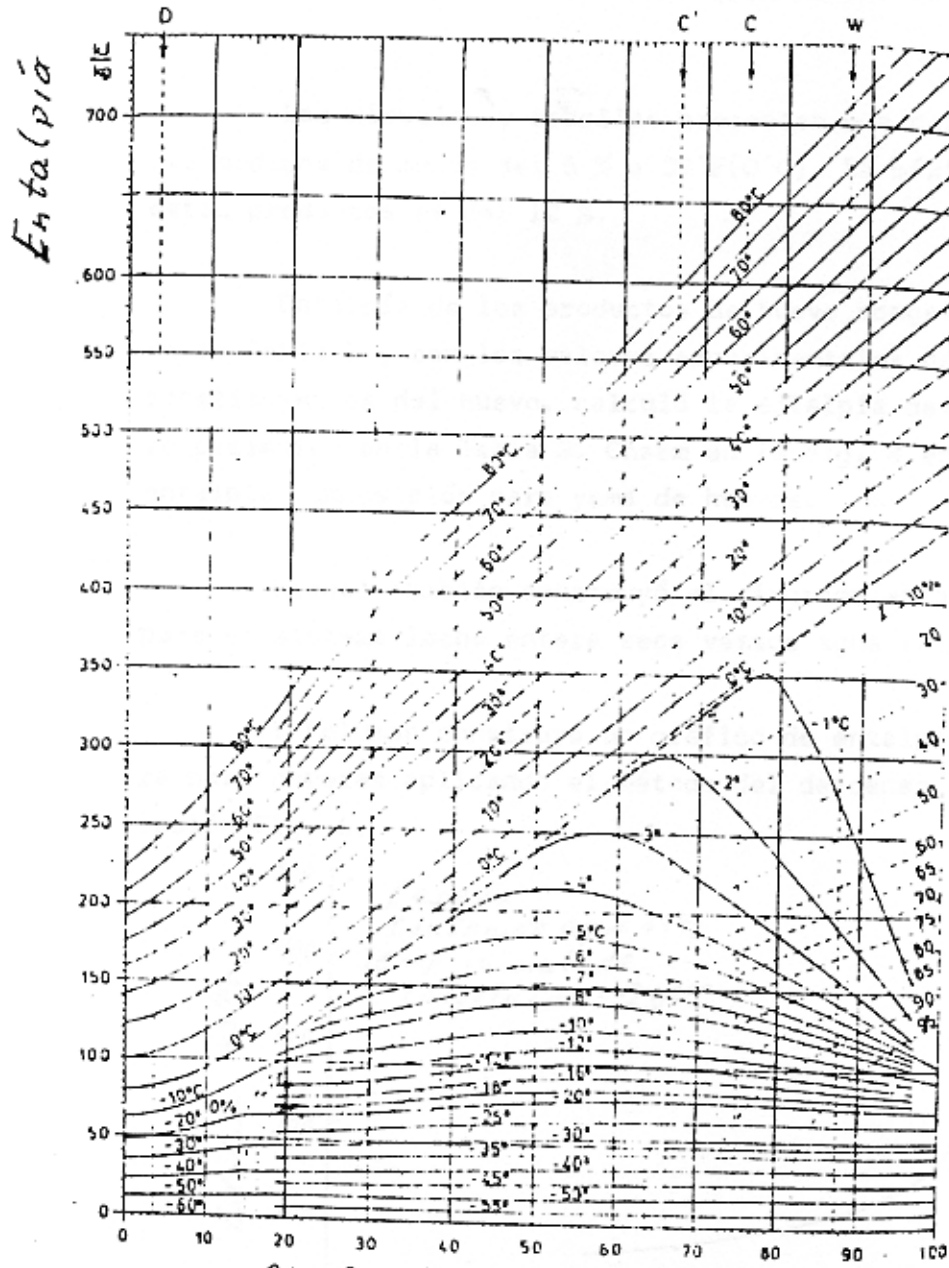


Diagrama Entalpía composición para yema de huevos.  
 Entalpía (cal/g) versus % humedad (Charm).

FIGURA 4



*% Contenido de agua, en masa*

Diagrama entalpía-concentración leche entera seca/agua (Riedel, 1976).

- Los sólidos secos contienen 30% de grasa.
- La entalpía es cero a la temperatura de referencia de -60°C.
- I : el porcentaje de agua congelada.
- D : la composición de leche entera en polvo secada por aire.
- C : leche condensada con 7,5% de grasa
- C' : " " " con 10% " "
- W : leche entera

FIGURA 5

(Loncin)

Las ciruelas y cebollas presentan una desviación de los valores medidos de menos del 5 % a 32°F(0°C). La máxima desviación para estos productos es del 12 %.

Entalpía de los productos de huevo congelados se presentan en la Tabla 3 y con los valores experimentales de entalpía de los constituyentes del huevo, calculó la entalpía del huevo entero que se presentan en la Tabla 3. Charm en la Fig. 4 entrega los datos de entalpía composición para yema de huevos.

Riedel también construyó el diagrama entalpía concentración para el sistema leche entera seca versus agua (Fig. 5).

Y Heldman construyó un gráfico de entalpía versus temperatura para cerezas aplicando el método del descenso del punto de congelación Fig. 6.

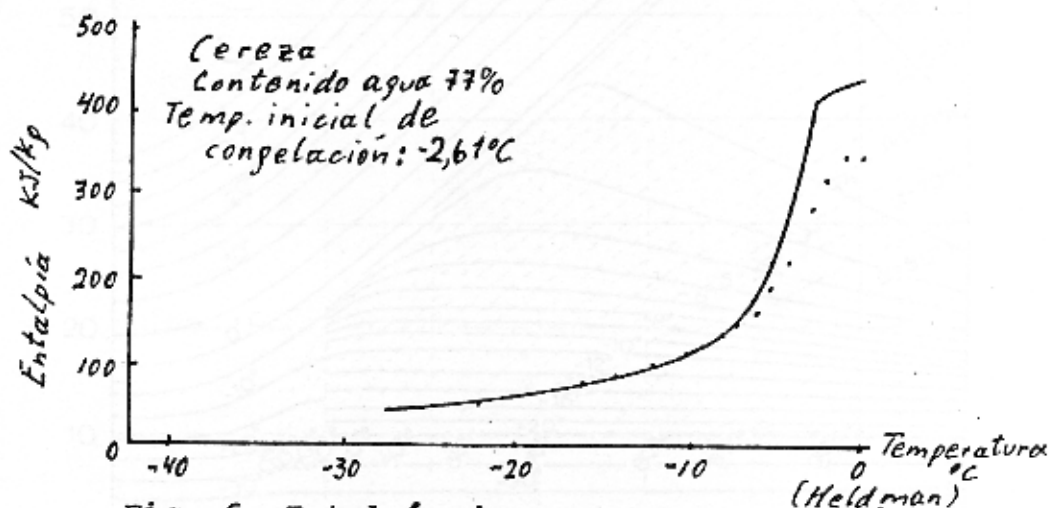


Fig. 6: Entalpía de cerezas en función de la temperatura.

A su vez Rha presenta los diagramas de entalpía de: huevo entero (Fig. 7), clara de huevo (Fig.8), músculo magro de pescado (Fig.9), almidón de papa (Fig. 10), levadura (Fig. 11), pan blanco (Fig. 12), grasas y aceites (Fig. 13).

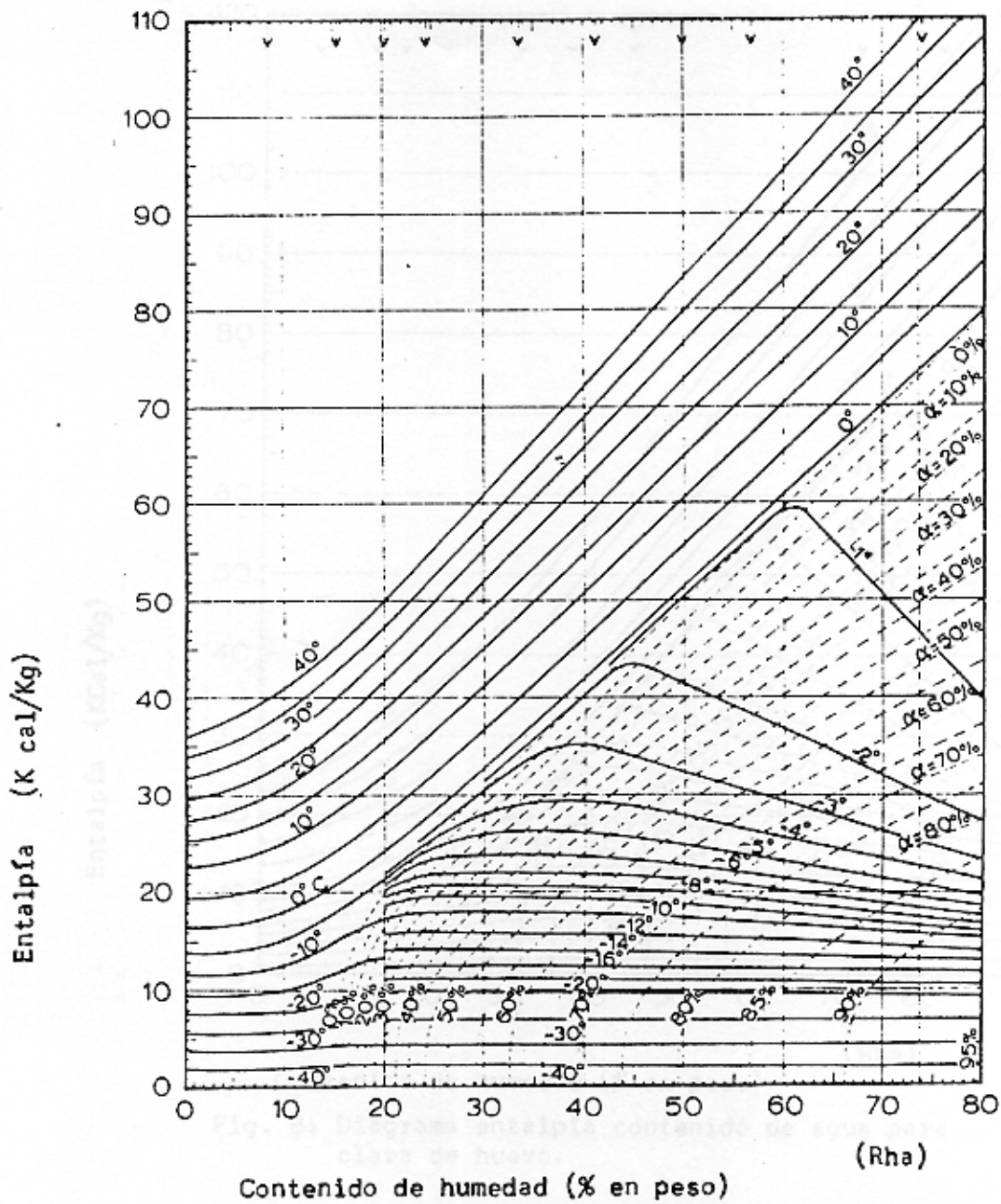
$\alpha$ : % H<sub>2</sub>O congelada


Fig. 7: Diagrama entalpía contenido de agua para huevo entero.

$\alpha$  : % H<sub>2</sub>O total congelado

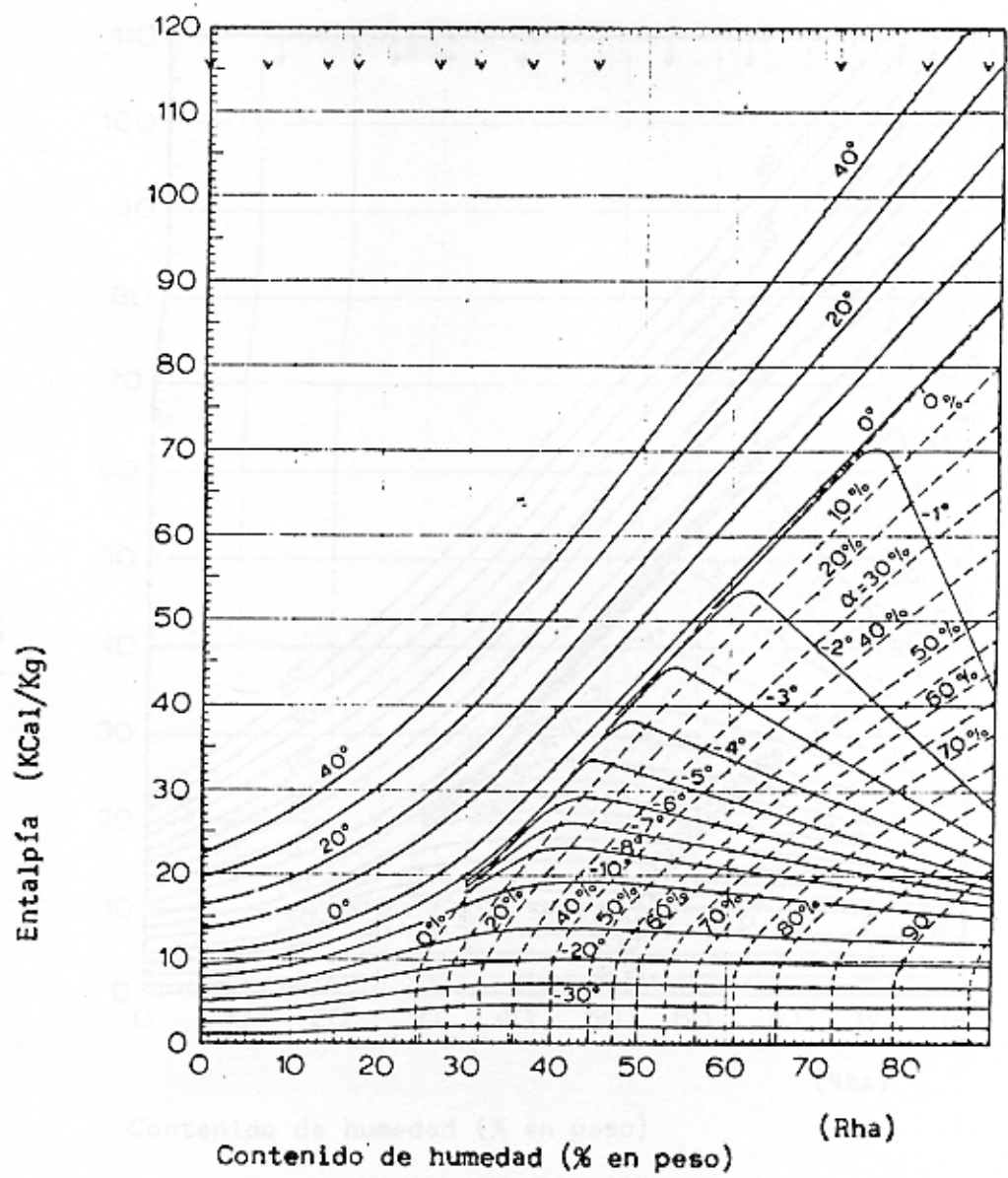


Fig. 8: Diagrama entalpfa contenido de agua para clara de huevo.

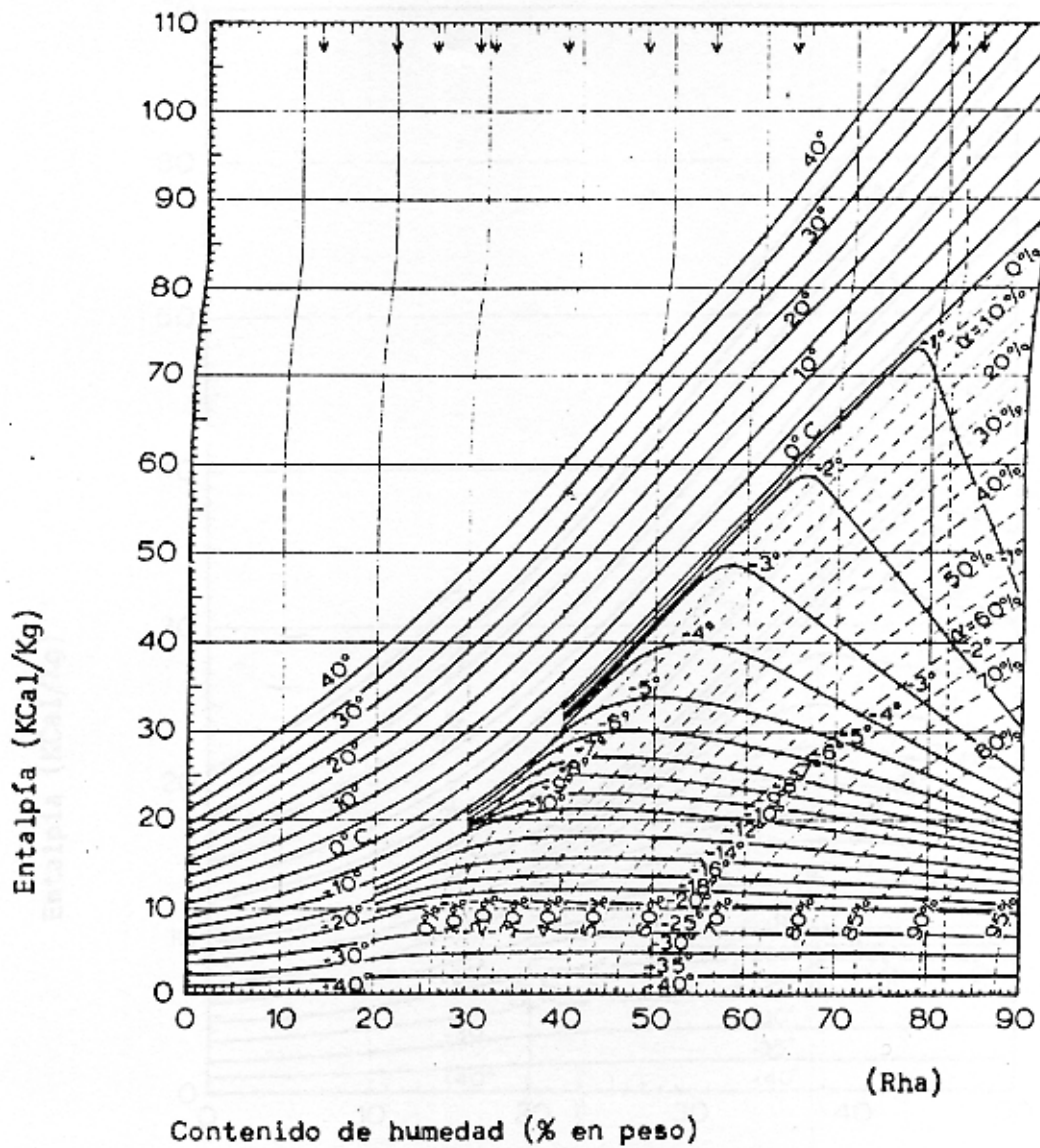
$\alpha$ : % H<sub>2</sub>O total congelada.


Fig. 9: Diagrama entalpfa contenido de agua para músculo magro de pescado de agua salada.

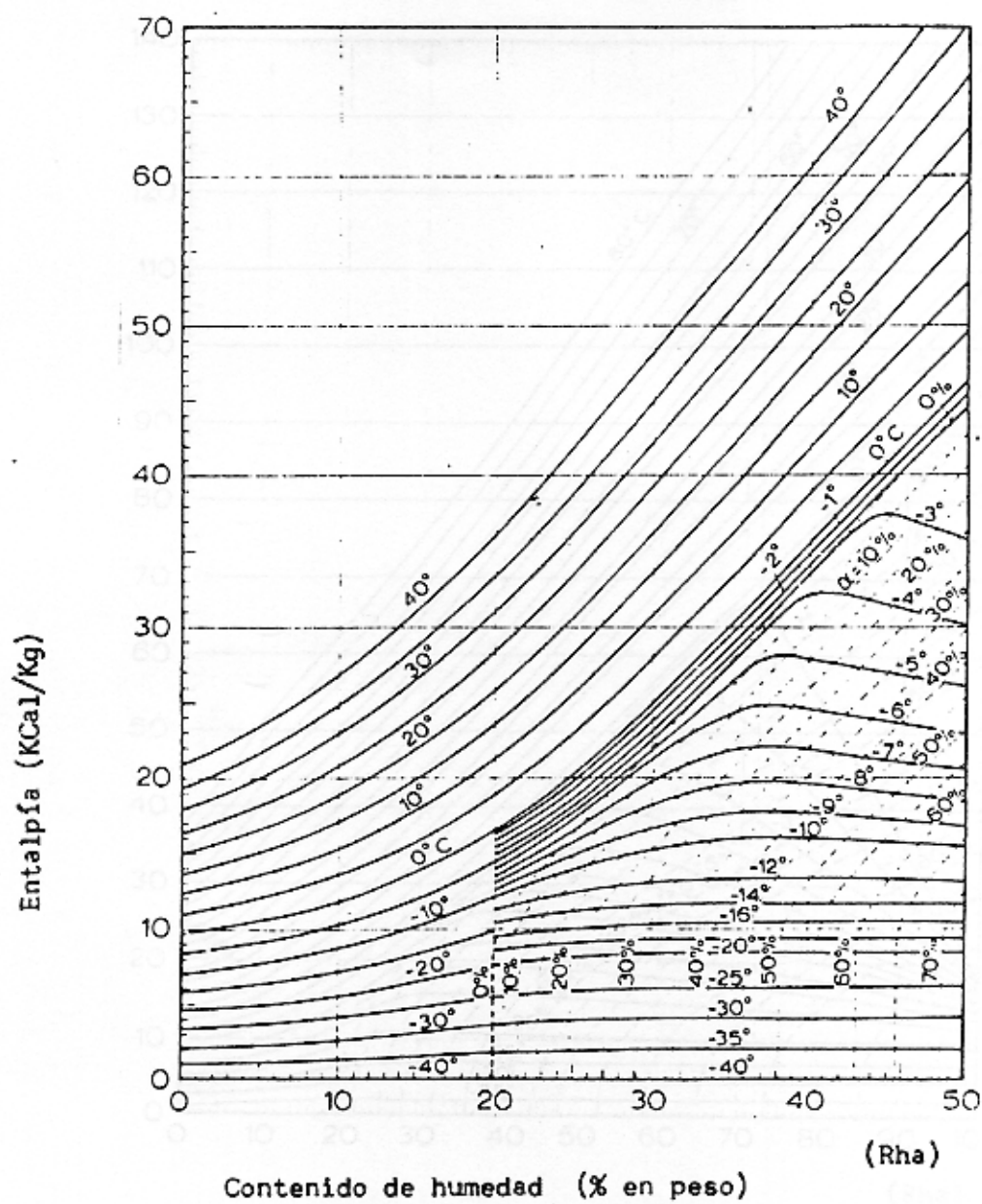
$\alpha$  : % H<sub>2</sub>O total congelada


Fig. 10: Diagrama entalpía contenido de agua de almidón de papa



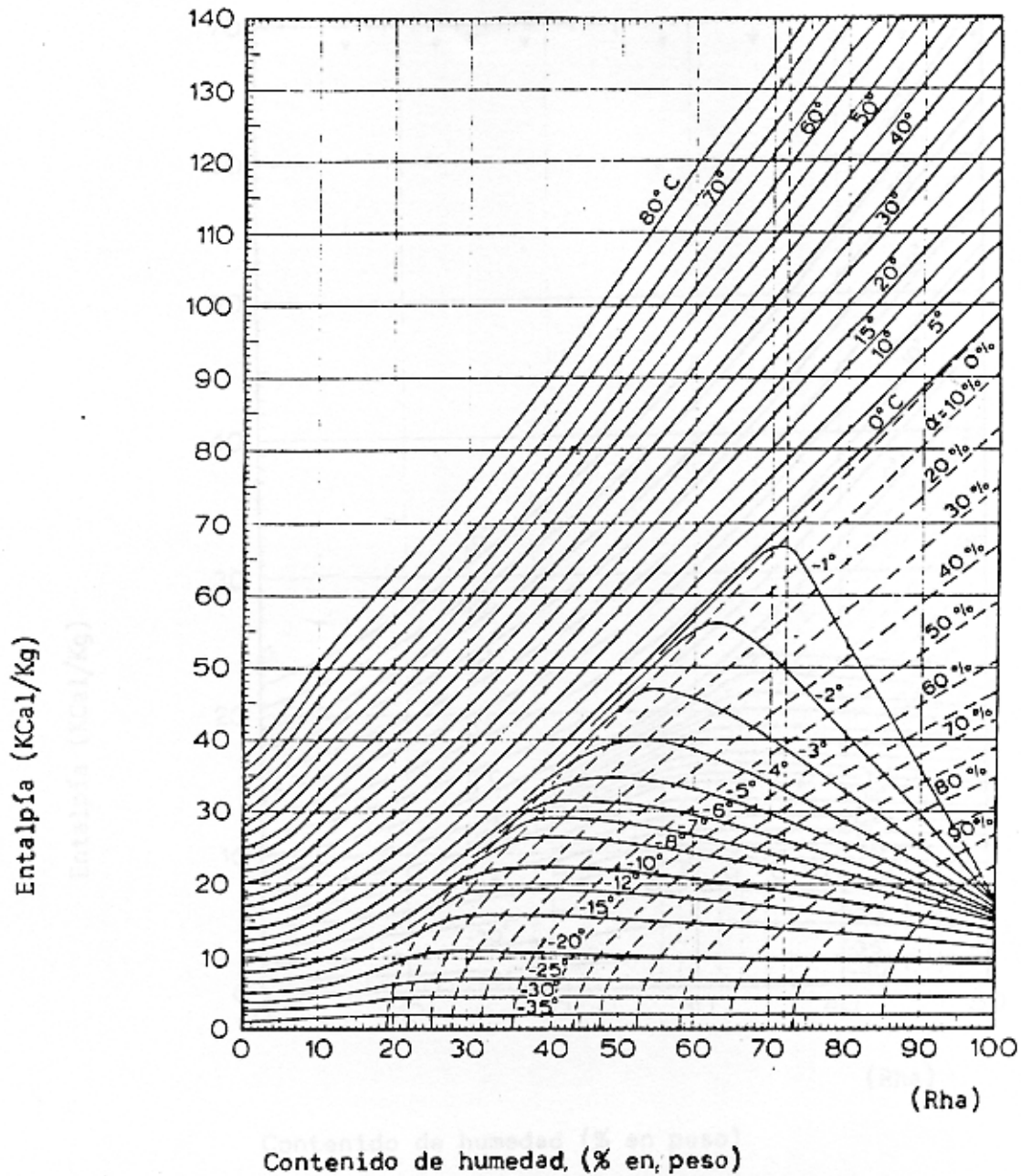
$\alpha$ ; % H<sub>2</sub>O congelada


Fig. 11: Diagrama entalpia contenido de agua para leva dura de panificación.

$\alpha$ : % H<sub>2</sub>O congelada

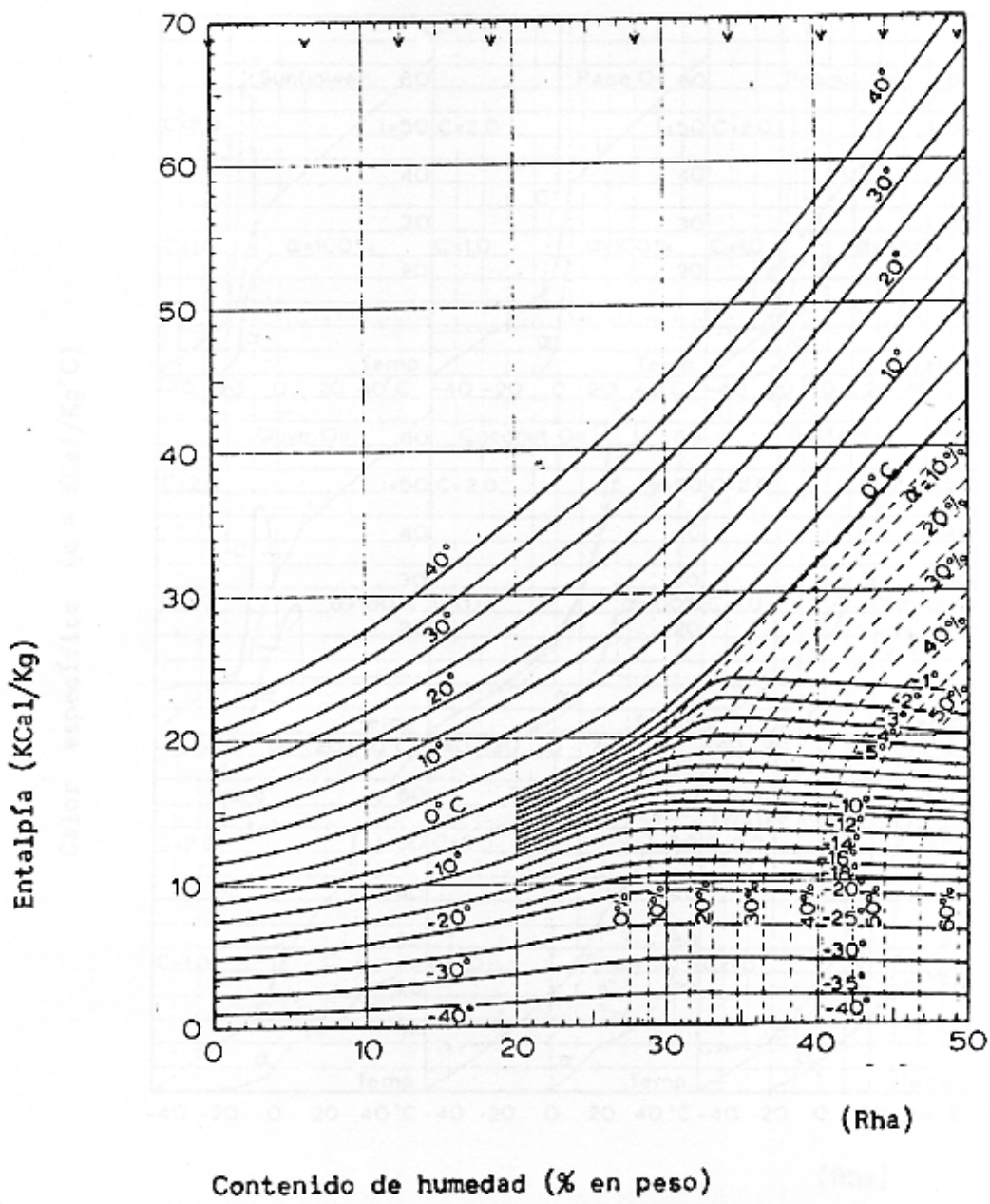
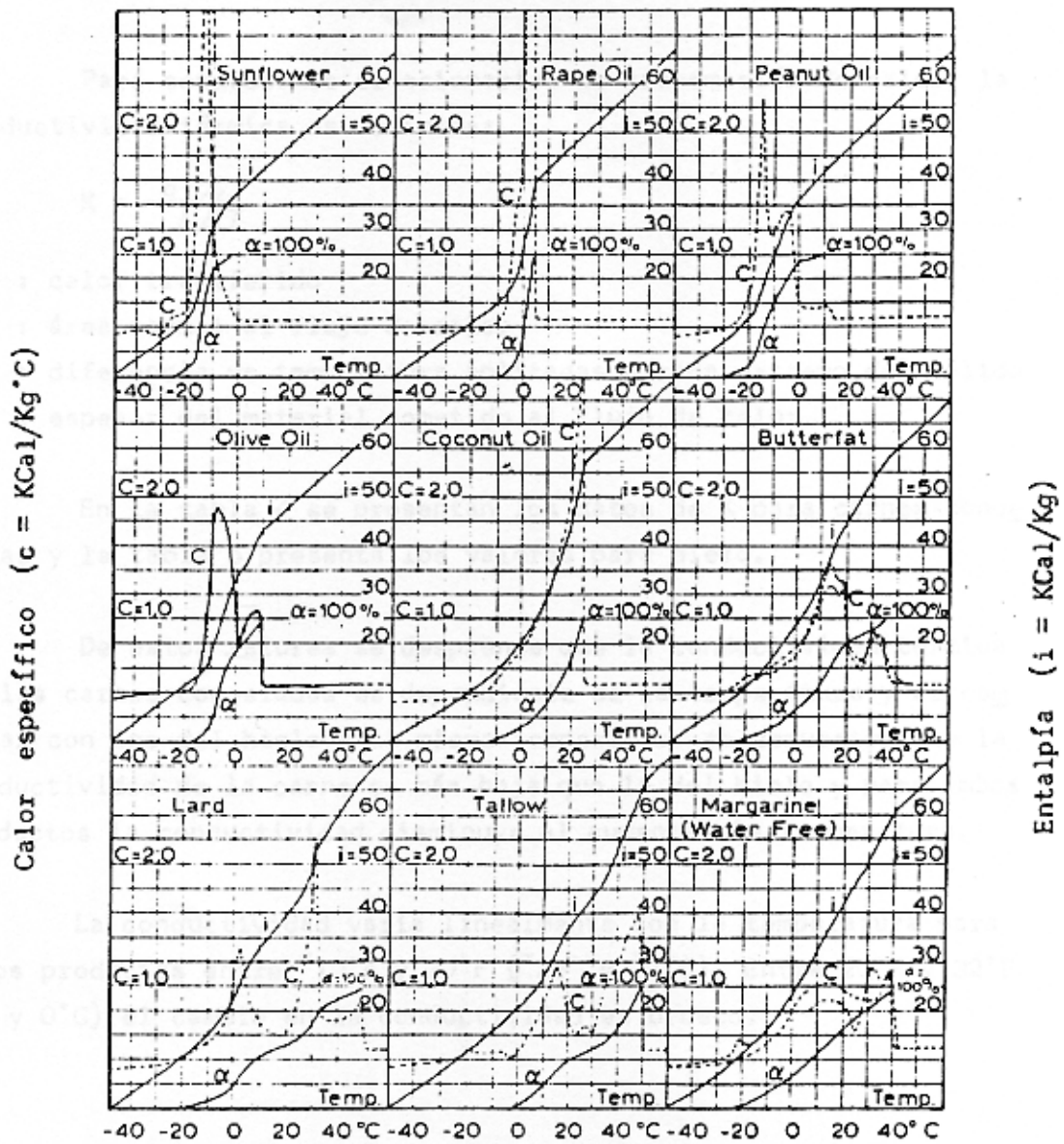


Fig. 12: Diagrama entalpía contenido de agua para pan blanco.

$\alpha$  : % grasa solidificada total



Calor específico (c = KCal/Kg°C)

Entalpía (i = KCal/Kg)

(Rha)

Fig. 13: Diagrama entalpía y calor específico de fusión de grasas y aceites.

II Conductividad térmica

Para condiciones estacionarias de transmisión de calor, la conductividad térmica es definida:

$$K = \frac{q \cdot x}{A \Delta T}$$

- q : calor transferido
- A : área normal al flujo de calor
- $\Delta T$  : diferencia de temperatura aplicadas a cada extremo del sólido
- x : espesor del material sometido al flujo de calor

En la tabla 4 se presentan los datos de K para carnes congeladas y la tabla 5 presenta los valores para hielo.

De estos valores se desprende que la conductividad térmica de las carnes congeladas es dependiente de la temperatura y al comparar con los del hielo a la misma temperatura se demuestra que la conductividad de la carne es más baja que la del hielo y para ambos productos la conductividad disminuye al aumentar la temperatura.

La conductividad varía linealmente con la temperatura para ambos productos entre -10°F y 20°F (-23° y 7°C). Entre 20°F y 32°F (7 y 0°C) el cambio en la conductividad es brusco.

TABLA 4

## CONDUCTIVIDAD TERMICA DE CARNES CONGELADAS

Producto	Temperatura °F	Conductividad térmica Btu/h pie°F
Vacuno, filete, 75 % agua 0,9 % grasa (flujo de calor paralelo a la fibra)	0	0,84
Vacuno, lomo, 70 % agua (flujo de calor paralelo a la fibra)	0 15	0,63 0,60
Vacuno, posta 77 % agua 2,4 % grasa (flujo de calor paralelo a la fibra)	0 13 18 22	0,80 0,75 0,70 0,69
Vacuno, plateada 74 % agua 3,4 % grasa (flujo de calor perpendicular a la fibra)	0 15	0,66 0,62
Vacuno, posta 76 % agua 3,0 % grasa (flujo de calor perpendicular a la fibra)	9 17 19 25	0,65 0,63 0,62 0,58
Vacuno, grasa, 9 % agua 89 % grasa	10 a 20	0,17
Bacalao (flujo de calor perpendicular a la fibra)	-10 0 15	0,90 0,85 0,81
Pescado (bacalao y merluza)	-20 0 15	1,1 1,0 0,93
Filetes bacalao, envasado apretados (densidad apa- rente 62,4 lb/pie <sup>3</sup> )	- 3	0,68
Arenque, desviscerado enva- sado apretado (densidad apa- rente 56,8 lb/pie <sup>3</sup> )	- 2	0,46
Cerdo, pierna magra 72 % agua, 6,1 % grasa (flujo calor paralelo a la fibra)	-10 0 15	0,92 0,88 0,83

Contenido de agua y grasa están en % en peso.

(Continuación Tabla 4)

Producto	Temperatura °F	Conductividad térmica Btu/h pie °F
Cerdo, pierna magra 72 % agua, 6,1 % grasa (flujo de calor perpendi- cular a la fibra)	-10	0,80
	0	0,76
	15	0,72
Tocino, 6 % agua, 93 % grasa	-10 a 35	0,12
Salmón (flujo de calor perpen- dicular a la fibra)	-10	0,72
	0	0,68
	15	0,63
Seal Blubler Grasa marina 4,3 % agua, 95 % grasa	-10 a 60	0,12
Pavo, pechuga, 74 % agua, 2,1 % grasa (flujo de ca- lor paralelo a la fibra)	-10	0,94
	0	0,91
	15	0,83
Pavo, pechuga 74 % agua 2,1 % grasa (flujo de ca- lor perpendicular a la fi- bra)	-10	0,76
	0	0,73
	15	0,68
Pavo, pata 74 % agua 3,4 % grasa (flujo de calor perpendicular a la fibra)	-10	0,85
	0	0,81
	15	0,72
Ballena, carne, 0,5 % grasa	10	0,74

Contenidos de agua y grasa están en % en peso.  
(Dickerson)

En los productos frescos la conductividad térmica es 1/4 la de los productos congelados.

La conductividad térmica de las grasas presenta una  
variación considerable con la temperatura.

TABLA 5

## PROPIEDADES TERMICAS DEL HIELO

Temperatura °F	Conductividad térmica Btu/h pie°F	Calor específico Btu/lb°F	Densidad lb/pie <sup>3</sup>
- 150	2,02	0,330	57,8
- 100	1,78	0,379	57,7
- 50	1,57	0,426	57,6
- 10	1,39	0,459	57,4
0	1,37	0,467	57,4
10	1,34	0,475	57,4
20	1,31	0,483	57,3
32	1,28	0,492	57,2

(Dickerson)

En los productos frescos la conductividad térmica es 1/3 a 1/4 la de los productos congelados.

La conductividad térmica de las grasas presenta una variación despreciable con la temperatura.

En las carnes congeladas la orientación de la fibra con respecto al flujo de calor juega un papel importante y la conducción de calor a lo largo de la fibra es 15 a 30 % mayor que la conducción de calor normal a la fibra. Heldman a su vez calculó la conductividad térmica de carne magra de vacuno congelada en función de la temperatura, ver Fig. 14.

En la Tabla 6 se entrega valores de conductividad térmica de frutas y vegetales, huevo y mantequilla congelada y en la Tabla 7 se presentan valores de conductividades de otros alimentos congelados.

Estos valores valen para la forma en que se han embalsado los productos, lo que es indicado en la tabla.

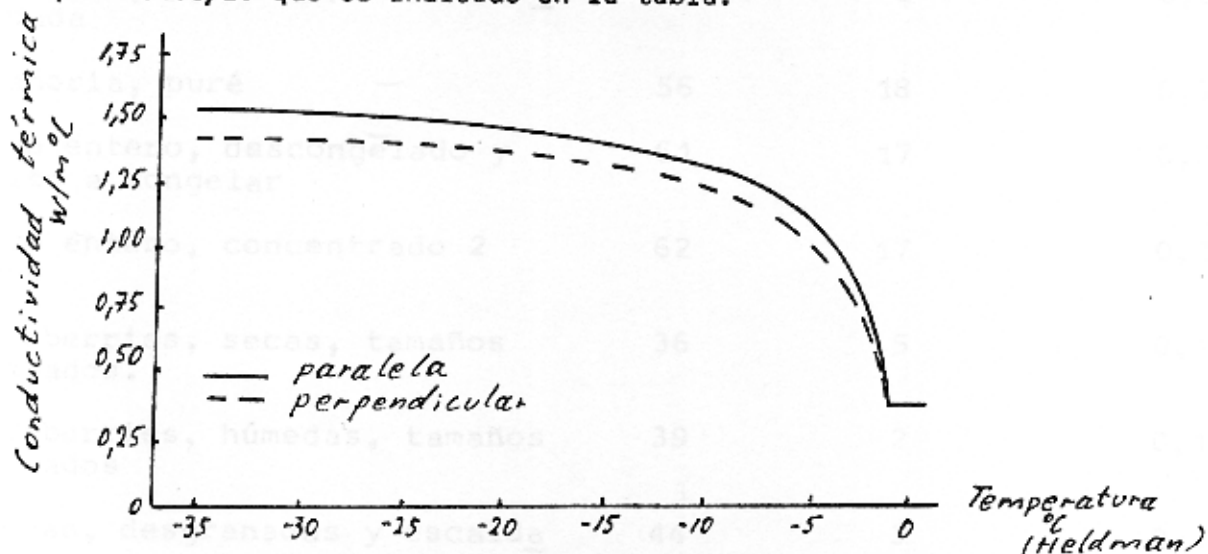


Fig. 14: Conductividad térmica de carne magra de vacuno congelada en función de la temperatura.



## CONDUCTIVIDAD TERMICA DE FRUTAS, VEGETALES, HUEVOS

## Y MANTEQUILLA CONGELADAS

Producto	Densidad aparente lb/pie <sup>3</sup>	Temperatura °F	Conductividad térmica Btu/h pie°F
Porotos verdes cortados a lo largo, a mano y escaldado	41	2	0,46
Porotos verdes cortados a lo largo, a máquina y escaldado	47	9	0,53
Grosella negra	40	2	0,18
Broccoli, cabezas cortadas en 8 a 12 partes y escaldadas	35	20	0,22
Mantequilla, 0,6 % agua en peso	-	20	0,097
Zanahoria, entera, pelada y es <u>ca</u> ldada	40	1	0,36
Zanahoria, pelada, picada y es <u>ca</u> ldada	40	2	0,39
Zanahoria, puré	56	18	0,73
Huevo entero, descongelado y vuelto a congelar	61	17	0,56
Huevo entero, concentrado 2 veces	62	17	0,32
Gooseberries, secas, tamaños mezclados.	36	5	0,16
Gooseberries, húmedas, tamaños mezclados	39	2	0,19
Arvejas, desgranadas y es <u>ca</u> ldadas	44	3	0,29
Ciruelas, pequeña, firme y seca 3 cm largo, 2 cm diámetro	36	4	0,17
Ciruelas, grandes, 5 cm largo 4 cm diámetro	38	2	0,14
Papas, molidas y envasadas apretadas	61	9	0,63
Papas molidas, extruídas como hilos, envasadas sueltas	36	17	0,24

Producto	Densidad aparente lb/pie <sup>3</sup>	Temperatura °F	Conductividad térmica Btu/h pie°F
Frutilla, tamaños mezclados envasadas apretadas	50	4	0,65
Frutilla, tamaño grande 12 a 16 g, húmeda,	40	2	0,32
Frutilla, tamaños mezclados, firme	40	3	0,32
Frutilla, tamaño pequeño, 1 1/2 a 3 g, firme, seca	39	0	0,34

Con la excepción de los valores para mantequilla y huevos, los demás valores son válidos en su uso para fruta de la misma geometría, condiciones de proceso y densidad de envasamiento análogas.

TABLA 7

## CONDUCTIVIDAD TERMICA DE ALIMENTOS CONGELADOS

Producto	Temperatura °F	Conductividad térmica Btu/h pie°F
<b>Mantequilla</b>		
0,3 % agua; 0,1 % aire	-	0,39
16,9 % agua; 0,9 % agua; 6,5 % aire	-	0,47
14,5 % agua; 0,1 % aire	-	0,48
15,3 % agua; 10,0 % aire	-	0,42
<b>Huevos</b>		
Entero, descongelado y congelado	17	0,56
Entero, concentrado 2 veces	17	0,32
<b>Pescados</b>		
Bacalao (flujo de calor perpendicular)	-10	0,90
	0	0,85
	15	0,81
Pescado (bacalao, merluza)	-20	1,1
	0	1,0
	15	0,93
Filetes de bacalao, envasados apretados (densidad aparente 62,4 lb/pie <sup>3</sup> )	-3	0,68
Arenque, entero eviscerado envasado apretado (densidad aparente 56,8 lb/pie <sup>3</sup> )	-2	0,46
Salmón (calor perpendicular a la fibra)	-10	0,72
	0	0,68
	15	0,63
<b>Frutas</b>		
Uva espín, seca, tamaños mezclados	5	0,16
Uva espín, húmeda, tamaños mezclados	2	0,19
Ciruelas pequeñas, firmes y secas largo 3 cm, diámetro 2 cm	4	0,17
Ciruelas grandes, largo 5 cm diámetro 4 cm	2	0,14
Frutillas, grandes 12 a 16 húmedas	2	0,32
(Frutilla, tamaños mezclados envasados apartados).	4	0,65

(Continuación)

## CONDUCTIVIDAD TERMICA DE ALIMENTOS CONGELADOS

Producto	Temperatura °F	Conductividad térmica Btu/h pie°F
Frutillas, tamaños mezclados, firmes	3	0,32
Frutillas, tamaño pequeño 1,5 a 3 g, firme, seca	0	0,34
Aves		
Pavo, pechuga, 74 % agua, 2,1 % grasa (calor paralelo a la fibra)	-10	0,94
	0	0,91
	15	0,83
Pavo, pechuga, 74 % agua, 2,1 % grasa (calor perpendicular a la fibra)	-10	0,76
	0	0,73
	15	0,68
Pavo, pata, 74 % agua 3,4 % grasa (calor perpendicular a la fibra)	-10	0,85
	0	0,81
Carnes		
Vacuno, filete 75 % agua, 10,9 % grasa (calor paralelo a la fibra)	0	0,84
Vacuno, lomo, 70 % agua (calor paralelo a la fibra)	0	0,63
	15	0,60
Vacuno, choclillo, 77 % agua 2,4 % grasa (calor paralelo a la fibra)	0	0,80
	13	0,75
	18	0,70
	22	0,69
Vacuno, malaya, 74 % agua 3,4 % grasa (calor perpendicular a la fibra)	0	0,66
	15	0,62
Vacuno, choclillo, 76 % agua 3 % grasa (calor perpendicular a la fibra)	9	0,65
	17	0,63
	19	0,62
	25	0,58
Vacuno, grasa, 9 % agua, 89 % grasa	10 a 20	0,17
Cerdo, pernil magro, 72 % agua; 6,1 % grasa (calor paralelo a la fibra)	-10	0,92
	0	0,88
	15	0,83
Cerdo, pernil magro, 72 % agua; 6,1 % grasa (calor perpendicular a la fibra)	-10	0,80
	0	0,76
	15	0,72
Cerdo, grasa; 6 % agua; 93 % grasa	-10 a 35	0,12

(Continuación)

CONDUCTIVIDAD TERMICA DE ALIMENTOS CONGELADOS

Producto	Temperatura °F	Conductividad térmica Btu/h pie°F
Vegetales		
Porotos, cortados a lo largo en forma manual y escaldados	2	0,46
Porotos, cortados a lo largo con máquina y escaldados	9	0,53
Brocoli, cabezas cortadas en 8 y 12 partes y escaldadas	20	0,22
Zanahoria, entera, raspada y escaldada	1	0,36
Zanahoria, raspada en torrejitas y escaldada	2	0,39
Zanahoria, puré	18	0,73
Arvejas desvainadas y escaldadas	3	0,29
Papas, molidas y envasadas apretadas	9	0,63
Papas molidas y extruídas, envasadas sueltas	17	0,24

(Rha)

La conductividad térmica de jugos y soluciones de azúcar está determinada por la concentración de azúcar y es independiente del tipo de azúcar.

Riedel obtuvo la siguiente ecuación que correlaciona los datos de jugos de frutas y soluciones de azúcar con distintos contenidos de agua hasta uno por ciento.

$$K = [307 + 0,645 T - 0,00104 T^2] [0,46 + 0,0054 (\% \text{ agua en peso})] 10^{-3}$$

donde:

T : temperatura en °F

K : conductividad en Btu/h pie°F

Hay que tener presente, que los alimentos contienen agua y sólidos y las relaciones deben incorporar las conductividades térmicas del agua y sólidos.

Riedel propuso para jugos de frutas y soluciones de azúcar la siguiente relación:

$$k = [307 + 0,645 T - 0,00104 T^2] [0,46 + 0,0054(\% \text{ agua})] 10^{-3}$$

T : temperatura en °F

Una expresión que tiene un campo de aplicación más amplia es la Maxwell:

$$k = k_1 \frac{1 - (1 - a(k_s/k_1))b}{1 + (a - 1)b}$$

donde:

$$a = \frac{3k_l}{2k_l + k_s}$$

$$b = \frac{V_s}{V_l + V_s}$$

en que:

$k_l$  : conductividad térmica del líquido

$k_s$  : conductividad térmica del sólido

$V_l$  : volumen específico del líquido

$V_s$  : volumen específico del sólido

Esta relación la aplicó Long a salmón que se estaba congelando y los resultados predichos concordaron bien con los experimentales. También Lentz la aplicó con éxito a carne y productos cárneos, aunque en este producto por tener fibras se tiene dos conductividades; una paralela y otra perpendicular a la fibra, siendo la paralela 20 % mayor que la perpendicular.

Kopelman propuso la siguiente relación para un sistema de dos componentes isótropo

$$k = K_1 \frac{1 - M^2}{1 - M^2(1 - M)}$$

Donde M es la fracción volumétrica de sólidos o fase discontinua en el alimento y que la conductividad térmica de la fase continua o líquida es mayor que la de la fase discontinua o sólida. Si no es el caso, se puede aplicar

$$K = K_1 \frac{1 - Q}{1 - Q(1 - M)}$$

donde:  $Q = M^2 (1 - k_s/k_1)$

Para el caso de materiales anisótrpos y que tienen conductividad térmica dependiente de la dirección del flujo de calor, se tiene:

- a) conductividad térmica paralela a las fibras

$$k_{//} = k_1 \left[ 1 - N^2 (1 - k_s/k_1) \right]$$

donde  $N^2$  es la fracción de volumen de sólidos o fase discontinua.

- b) conductividad térmica perpendicular a las fibras

$$k_{\perp} = k_1 \frac{1 - Q}{1 - Q(1 - N)}$$

donde  $Q = N/(1 - k_s/k_1)$

También existen las siguientes relaciones para material fibroso:

- a) conductividad térmica paralela a las fibras

$$k_{//} = k_1 \left[ 1 - P (1 - k_s/k_1) \right]$$

donde  $P$  es la fracción volumétrica de sólidos o fase discontinua.

- b) conductividad térmica perpendicular a la fibra

$$k_{\perp} = k_1 \left[ \frac{k_s}{PK_1 + k_s(1 - P)} \right]$$

Para sólidos porosos llenos de gas se tienen varias relaciones; pero, la de más uso es la siguiente, aunque tiene un 5 % de error.

$$k = k_g \xi + k_s (1 - \xi)$$

donde  $\xi$  es la fracción de huecos del lecho de partículas. Valores de conductividad térmica de alimentos se encuentran en la Tabla 8.



TABLA 8

CONDUCTIVIDAD TERMICA DE ALIMENTOS

Producto	Humedad %	Temperatura		Conductividad térmica	
		°C	°F	Cal x 10 <sup>3</sup> cm <sup>2</sup> seg °C/cm	Btu/h pie <sup>2</sup> °F/pie
Agua*		20		1,40	
		0		1,32	
		0		5,35	
		-10		5,55	
		-20		5,80	
		50			0,368
Agua*					0,319
Alcohol etílico*					0,105
Aceite de oliva**		60			0,109
Aceite de oliva**		212			0,094
Alginato amonio <sup>3</sup> , 3,37%		70			0,342
Arenque* eviscerado em balado apretadamente		-19		1,9	
Bacalao**	83		37		0,314
Bacalao filete* apretadamente embalado		-19		2,8	
Ballena, carne*	70	18		0,52	
Ballena, carne*(0,5%grasa)		-12		3,06	
Cerdo* perpend. a fibra	76,8	0		1,14	
Cerdo* perpend. a fibra	76,8	- 5		1,83	
Cerdo* perpend. a fibra	76,8	-10		2,36	
Cerdo* perpend. a fibra	76,8	-20		3,08	
Cerdo* perpend. a fibra	76,8	0		0,444	
Cerdo* perpend. a fibra	76,8	- 5		0,542	
Cerdo* perpend. a fibra	76,8	-10		0,606	
Cerdo* perpend. a fibra	76,8	-20		0,695	
Cerdo** perpend. a fibra	75,1		42,8		0,282
Cerdo** perpend. a fibra	75,1		138,8		0,312
Cerdo** paralelo fibra	75,9		38,8		0,256
Cerdo** paralelo fibra	75,9		141,3		0,283
Cordero* perpend. a fibra	71,8		41,8		0,260
Cordero* perpend. a fibra	71,8		142,0		0,276
Cordero** paralelo fibra	71,0		42,0		0,240
Cordero** paralelo fibra	71,0		142,6		0,244
Preso**	-		5,67-76,2		0,39
Harina de trigo**	8,8		110		0,26

(Continuación)

CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE ALIMENTOS

Producto	Humedad %	Temperatura		Conductividad térmica	
		°C	°F	Cal x 10 <sup>3</sup> cm <sup>2</sup> seg °C/cm	Btu/h pie <sup>2</sup> °F/pie
Huevo <sup>22</sup> congelado			13-21		0,56
Huevo <sup>22</sup> clara			96		0,322
Huevo <sup>22</sup> yema			92,2		0,195
Leche <sup>22</sup>			98		0,306
Leche <sup>22</sup> condensada	90		75,6		0,31
Leche <sup>22</sup> condensada	-		172,8		0,37
Leche <sup>22</sup> condensada	50		78,8		0,19
Leche <sup>22</sup> condensada	50		173,1		0,21
Leche <sup>22</sup> crema	-		34,7		0,311
Leche <sup>22</sup> crema			176		0,367
Leche <sup>22</sup> en polvo des cremada	4,2		102,4		0,242
Maíz <sup>22</sup> diente amarillo	0,91		47-126		0,0812
Maíz <sup>22</sup> diente amarillo	30,2		47-126		0,0996
Manzana <sup>22</sup>	85,6		36-96		0,227
Manzana <sup>22</sup> salsa			72,5		0,400
Manzana <sup>22</sup> salsa	78,8		36-96		0,298
Manzana <sup>22</sup> jugo	87,4		68		0,323
Manzana <sup>22</sup> jugo	87,4		176		0,365
Manzana <sup>22</sup> jugo	36,0		68		0,225
Manzana <sup>22</sup> jugo	36,0		176		0,252
Manteca <sup>22</sup>	-		38-47		0,114
Mantequilla <sup>22</sup> 0,1% aire	0,3	-		0,39	
Mantequilla <sup>22</sup> 6,5% aire	16,9	-		0,47	
Mantequilla <sup>22</sup> 0,1% aire	14,5	-		0,48	
Mantequilla <sup>22</sup> 10,0% aire	15,3	-		0,42	
Miel <sup>22</sup>	12,6		35,6		0,29
Miel <sup>22</sup>	80		35,6		0,199
Miel <sup>22</sup>	14,8		156		0,36
Miel <sup>22</sup>	80		156		0,24
Naranja <sup>22</sup> combinados	-		86,5		0,2487
Papas <sup>22</sup> trozos	81,5		35-90		0,32
Pavo <sup>22</sup> pechuga perpendicular a la fibra	74		37		0,29
Pavo <sup>22</sup> pechuga paralelo a la fibra	74		37		0,302

Producto	Humedad %	Temperatura		Conductividad térmica	
		°C	°F	$\frac{\text{Cal} \times 10^3}{\text{cm}^2 \text{seg} \text{ } ^\circ\text{C/cm}}$	Btu/hpie <sup>2</sup> °F/pie
Platanos <sup>*</sup> , puré			60		0,320
Pescado <sup>**</sup> , músculo	-		32-50		0,322
Pescado <sup>*</sup> , promedio		0		1,03	
para bacalao,		-10		2,91	
carpa, besugo, lucio		-20		3,27	
Pescado <sup>**</sup> haca-		1		1,30	
lao y mer-		-10		3,96	
luza		-20		4,40	
Pollo <sup>**</sup> músc. broiler	69,1-74,9		40-80		0,238
Porotos <sup>**</sup> , negros	-		37-62		0,18
Salchicha <sup>**</sup> mezcla	64,72		75,3		0,235
Salmon <sup>**</sup> perpen. a fibra	73		39		0,29
Soya <sup>**</sup> torta con aceite	13,2		45-50		0,04
Suero <sup>**</sup>			35		0,313
Suero <sup>**</sup>			176		0,37
Uva <sup>**</sup> , entera	-		86,5		0,26
Vacuno <sup>**</sup> liofilizado					0,0375
1000 mm Hg	-		32		0,025
0,001 mm Hg	-		32		0,249
Vacuno <sup>**</sup> magro perpen-	78,9		44,5		0,258
dicular a la fibra					
Vacuno <sup>**</sup> magro perpen-	78,9		143,7		0,275
dicular a la fibra					
Paralela <sup>**</sup> a la fibra	78,7		46,2		0,280
Paralela <sup>**</sup> a la fibra	78,7		141,6		
Vacuno <sup>*</sup>		baja		3,8	
Vacuno <sup>*</sup> graso perpend.	74,5	0		1,14	
a la fibra					
Vacuno <sup>*</sup> graso perpend.	74,5	- 5		2,22	
a la fibra					
Vacuno <sup>*</sup> graso perpend.	74,5	-10		2,86	
a la fibra					
Vacuno <sup>*</sup> graso perpend.	74,5	-20		3,42	
a la fibra					
Vacuno <sup>*</sup> magro perpendi-	78,5	0		1,14	
cular a la fibra					
Vacuno <sup>*</sup> magro perpendi-	78,5	- 5		2,53	
cular a la fibra					

(Continuación) CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE ALIMENTOS

Producto	Humedad %	Temperatura		Conductividad Térmica	
		°C	°F	$\frac{\text{Cal} \times 10^3}{\text{cm}^2 \text{seg} \text{ } ^\circ\text{C}/\text{cm}}$	$\text{Btu/h pie}^2 \cdot \text{F}/\text{pie}$
Vacuno <sup>a</sup> magro perpend. a la fibra	78,5	-10		3,22	
Vacuno <sup>a</sup> magro perpend. a la fibra	78,5	-20		3,75	
Vacuno <sup>a</sup> grasa de	7	0		0,487	
Vacuno <sup>a</sup> grasa de	7	-5		0,506	
Vacuno <sup>a</sup> grasa de	7	-10		0,542	
Vacuno <sup>a</sup> grasa de	7	-20		0,606	
Vacuno <sup>a</sup> grasa de	2	20		0,222	
Vacuno <sup>a</sup> grasa de	15,6	20		0,430	
Vacuno <sup>a</sup> grasa de	29,5	20		0,825	
Vacuno <sup>a</sup> músculo	-	-		0,47	
Vacuno <sup>a</sup> grasa de	-	-		0,49	
Venado <sup>aa</sup> perpendicular a la fibra	75		42,6		0,275
Venado <sup>aa</sup> paralelo a la fibra	75		144,4		0,283
Venado <sup>aa</sup> paralelo a la fibra	75		40,4		0,255
Venado <sup>aa</sup> paralelo a la fibra	75		138,9		0,261

<sup>a</sup>Charm, Stanley L. "The Fundamentals of Food Engineering". The Avi Publishing Company, Inc. Westport, Connecticut 1963.

<sup>aa</sup>Heldman, Dennis R. "Food Process Engineering". Rep. Ed. The Avi Publishing Company, Inc. Westport, Connecticut 1976

Ramaswamy y Tung estudiaron las manzanas y obtuvieron los valores siguientes

No congelado

Granny Smith

$$K = 0,398 (w/m^2 \cdot C)$$

Golden Delicious

$$K = 0,472 (w/m^2 \cdot C)$$

Congelado

Granny Smith

$$K = 1,22 (w/m^2 \cdot C)$$

Golden Delicious

$$K = 1,45 (w/m^2 \cdot C)$$

Para:

Manzana verde

$$K = 0,422 (w/m^2 \cdot C), T = 28^{\circ}C$$

Manzana roja

$$K = 0,513 (w/m^2 \cdot C), T = 28^{\circ}C$$

A su vez se presenta la variación de la conductividad térmica con la temperatura. (Ver Figura 15 y 16).

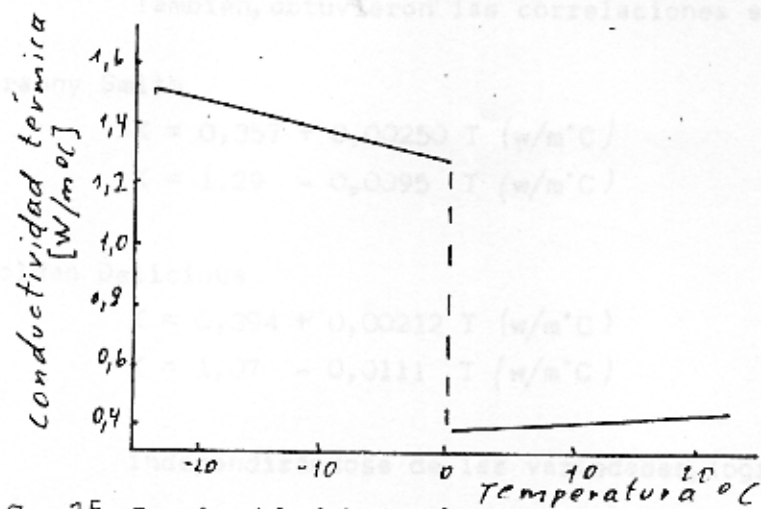


Fig. 15 Conductividad térmica vs temperatura de manzana Golden Delicious

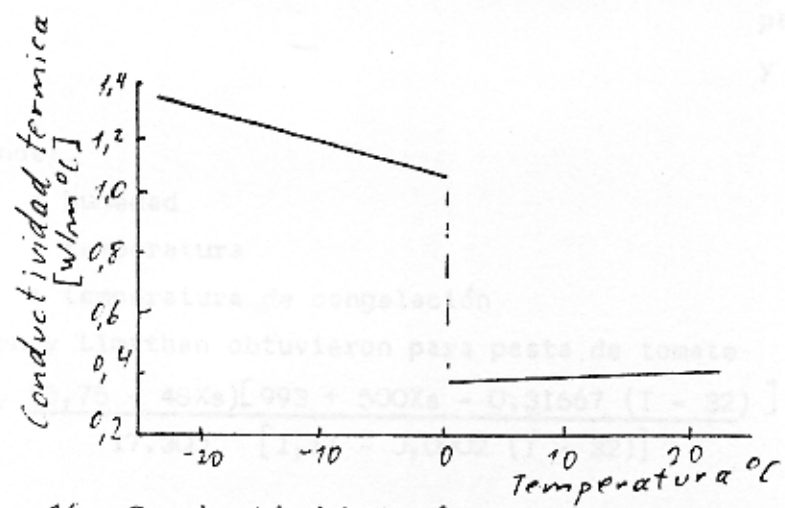


Fig. 16 Conductividad térmica vs temperatura de manzana Granny Smith

También, obtuvieron las correlaciones siguientes:

Granny Smith

$$K = 0,357 + 0,00250 T \text{ (w/m}^{\circ}\text{C)} \quad \text{para } T > T_f$$

$$K = 1,29 - 0,0095 T \text{ (w/m}^{\circ}\text{C)} \quad \text{para } T \leq T_f$$

Golden Delicious

$$K = 0,394 + 0,00212 T \text{ (w/m}^{\circ}\text{C)} \quad \text{para } T > T_f$$

$$K = 1,07 - 0,0111 T \text{ (w/m}^{\circ}\text{C)} \quad \text{para } T \leq T_f$$

Independizándose de las variedades, lograron las expresiones:

$$K = 0,0159 M + 0,00250 T - 0,994 \text{ (w/m}^{\circ}\text{C)}$$

para  $T > T_f$

y con  $r^2 = 0,997$

$$K = 0,133 M - 0,0103 T - 10,3 \text{ (w/m}^{\circ}\text{C)}$$

para  $T \leq T_f$

y con  $r^2 = 0,999$

donde:

M : humedad

T : temperatura

$T_f$  : temperatura de congelación

Chen y Limathan obtuvieron para pasta de tomate

$$K = \frac{(5,75 - 48X_s)[993 + 500X_s - 0,31667(T - 32)]}{17,300 [1,11 - 0,0002(T - 32)]}$$

en que:

$X_s$  : contenido decimal de sólidos

Bressan y Canoad presentan la correlación siguiente para productos lácteos:

$$K = 0,141 + 0,00412 (X_w, \%) \text{ (w/m}^{\circ}\text{C)}$$

en que

$x_w$  : contenido de agua decimal.

Heldman y Gorby obtuvieron el gráfico siguiente para la conductividad de carne magra.

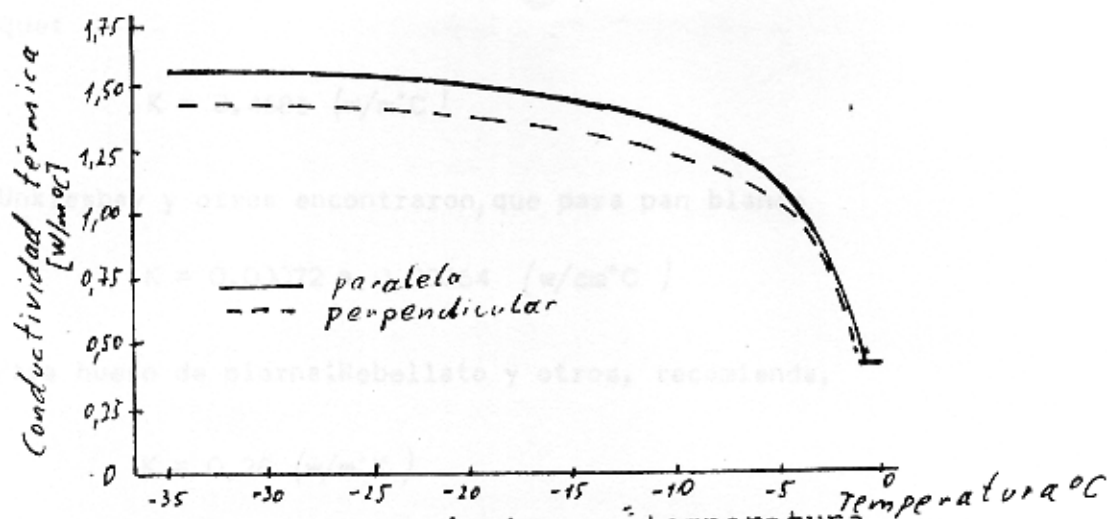


Fig. 17 Conductividad térmica vs temperatura de carne de vacuno magra

A su vez existen correlaciones más generales como la de Sweat

$$K = 0,148 + 0,00493 (\text{humedad, base húmeda}) \text{ (w/m}^2\cdot\text{C)}$$

y la de Lozano y colaboradores

$$K = [0,283 - 0,25 \exp(-0,206x)] 1,73 \text{ (w/m}^2\cdot\text{C)}$$

en que:

X : fracción de humedad, base seca

Para masitas o galletas (Kolacky y Kennedy obtuvieron dos expresiones según la formulación empleada)

Fórmula AACC  $K = 0,405 \pm 0,022 \text{ (w/m)}$

Fórmula Hard-Sweet,  $K = 0,390 \pm 0,033 \text{ (w/m)}$



y son válidas para un rango de temperaturas entre 297,5 y 318°K

Para productos lácteos (tales como queso), Bressan y Canoad encontraron que:

$$K = 0,4685 \text{ (w/m}^\circ\text{C)}$$

Unklesbay y otros encontraron, que para pan blanco

$$K = 0,00072 \text{ a } 0,00064 \text{ (w/cm}^\circ\text{C)}$$

Para hueso de pierna;Rebellato y otros, recomienda,

$$K = 0,26 \text{ (w/m}^\circ\text{K)}$$

$$K = K_c \frac{1 - (\alpha K_w/K_c) \beta}{1 + (\alpha - 1) \beta} \text{ (} \frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{K}} \text{)}$$

donde:

$$\alpha = 0,5 K_c / (2K_c + K_w)$$

$$\beta = 1 - \left( \frac{K_c}{K_w} \right)$$

donde  $K_c$  es la conductividad térmica del aire

y  $K_w$  es la conductividad térmica de la matriz continua (fibra y agua)

$\beta$  y  $\beta'$  se calculan con las ecuaciones vistas en el apartado.

A su vez la conductividad térmica de la matriz continua es:

$$K_c = K_c' \frac{1 - (\alpha' K_w/K_c') \beta'}{1 + (\alpha' - 1) \beta'}$$

Carne cocida:

Pérez y Calvelo consideran que la carne parcialmente cocida está formada por una matriz de fibras secas (involucra proteínas, colágeno, sales, etc.) con burbujas de agua y aire distribuidas en ella.

La ecuación de Maxwell-Eucken permite calcular la conductividad térmica de un sistema binario basado en las conductividades de las fases dispersa y continua.

La carne semi-cocida es un sistema ternario (fibra seca, agua y aire) y consideraron en una primera etapa, que estaba formada por esferas de aire en una matriz continua de agua y fibra, y esta matriz continua a su vez está formada por esferas de agua en una matriz de fibra seca.

Al aplicar la ecuación de Maxwell Eucken considerando el aire como fase dispersa, se tiene

$$K = K_c \frac{1 - (1 - \alpha K_a/K_c) \beta}{1 + (\alpha - 1) \beta} \left( \frac{W}{m^3 K} \right)$$

donde:

$$\alpha = 3 K_c / (2K_c + K_a)$$

$$\beta = 1 - \left( \frac{\rho}{\rho'} \right)$$

$K_a$  : conductividad térmica del aire

$K_c$  : conductividad térmica de la matriz continua (fibra y agua)

$\rho$  y  $\rho'$  se calculan con las ecuaciones vistas en densidad.

A su vez la conductividad térmica de la matriz continua es:

$$K_c = K'_c \frac{1 - (1 - \alpha' K_w/K_c) \beta'}{1 + (\alpha' - 1) \beta'}$$

donde:

$$\alpha' = 3 K'_C / (2K'_C + K_W)$$

$$\beta' = Y \rho' / \rho_w$$

$K_W$  : conductividad térmica del agua

$K'_C$  : conductividad térmica de fibra seca

$\rho_w$  : densidad del agua

La dependencia de la conductividad térmica del agua de la temperatura puede expresarse por:

$$K_w = f_1 + f_2 T$$

donde:

$$f_1 = 0,6751 \times 10^{-2} \text{ (w/m} \cdot \text{K)}$$

$$f_2 = 2,051 \times 10^{-3} \text{ (w/m}^2 \cdot \text{K)}$$

T = temperatura en °K

Pérez y Calvelo con los datos experimentales de la Tabla 9 y las relaciones expuestas deducen la ecuación empírica siguiente para la conductividad térmica de la fibra seca:

TABLA 9 CONDUCTIVIDAD TERMICA DE LA CARNE SOMETIDA A DIFERENTES CONDICIONES DE COCCION

Y	Contenido de agua (base húmeda)	Temperatura final de cocción °C	Tiempo de cocción h	Kexp (W/m²K)	Contenido de agua (base húmeda) Y	Temperatura final de cocción	Tiempo de cocción	Kexp (W/m²K)
0.005		104	2.00	0.095	0.344	125	0.42	0.343
0.038		180	0.67	0.117	0.350	115	0.50	0.336
*0.107		60	24.00	0.120	0.350	117	0.37	0.347
0.124		150	1.20	0.142	0.355	118	0.33	0.333
0.136		136	0.83	1.149	0.394	113	0.37	0.367
0.140		138	1.15	0.162	*0.427	50	16.00	0.372
0.146		136	0.82	0.196	*0.423	-10	24.00	0.352
0.154		129	1.58	0.178	0.445	110	0.30	0.378
0.170		148	0.83	0.158	*0.502	22	24.00	0.422
0.180		120	1.42	0.172	0.525	104	0.92	0.410
*0.186		50	24.00	0.165	0.527	90	2.00	0.419
0.192		140	0.63	0.164	0.541	104	0.27	0.444
0.195		134	1.62	0.212	0.547	113	0.27	0.420
0.198		144	0.65	0.187	0.560	88	2.00	0.426
0.205		122	0.60	0.197	0.561	95	0.83	0.434
0.208		125	0.92	0.189	0.570	104	0.22	0.424
0.236		118	0.42	0.270	0.581	90	0.17	0.455
0.254		128	0.32	0.221	0.585	90	2.00	0.449
0.270		104	0.58	0.310	0.609	80	2.00	0.444
0.295		116	0.85	0.300	0.610	80	0.13	0.489
0.333		127	0.42	0.344	0.706	carne fresca	-	0.472
0.336		112	0.33	0.309	0.740	carne fresca	-	0.49

\* Deshidratado al vacío

$$K'_c = a + b \operatorname{tgh} (d + cY)$$

en que:

$$a = 0,207$$

$$b = 0,059$$

$$d = -4,00$$

$$c = 20,0$$

Valores de esta expresión se representan en la Fig. 18 que demuestra la excelente correlación de los datos experimentales con los de la ecuación.

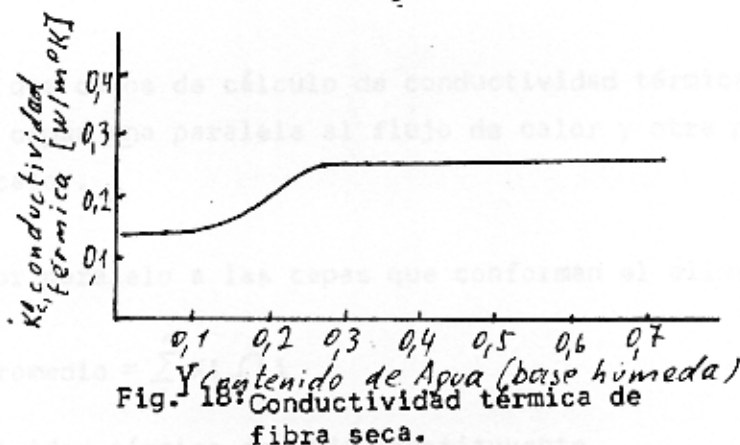


Fig. 18. Conductividad térmica de fibra seca.

Con todas estas relaciones Pérez y Calvelo lograron calcular la conductividad de la carne cocida en función del contenido de agua, estos datos están en la Fig. 19 con una desviación standard de  $\sigma = 0,0197$  (w/m°K) entre los valores experimentales y los predichos por la ecuación.

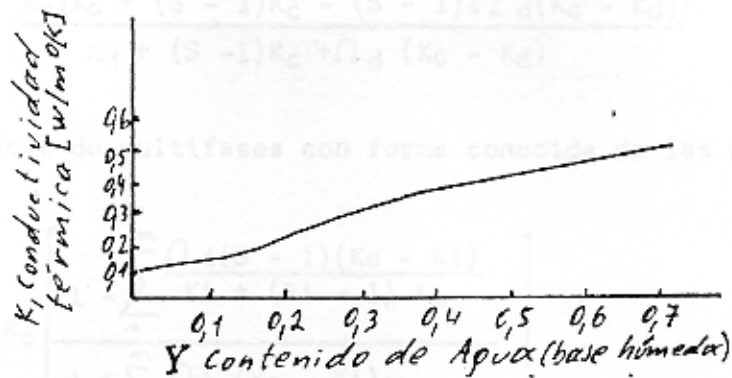


Fig. 19 Conductividad térmica de carne parcialmente cocida.

Rha presenta dos casos de cálculo de conductividad térmica: en alimentos formados por capas una paralela al flujo de calor y otra perpendicular al flujo de calor.

Flujo de calor paralelo a las capas que conforman el alimento

$$K \text{ promedio} = \sum_1^m K_i \Omega_i$$

$K_i$  : conductividad térmica de cada constituyente

$\Omega_i$  : es la fracción de volumen de cada constituyente

Si el flujo de calor es perpendicular a las capas constituyentes del alimento, se tiene:

$$K \text{ promedio} = \frac{1}{\sum_1^m \Omega_i / K_i}$$

Para un sistema de dos fases, con forma conocida de las partículas, se tiene

$$K_m = \frac{K_c [K_d + (S - 1)K_c - (S - 1)\Omega_d (K_c - K_d)]}{K_d + (S - 1)K_c + \Omega_d (K_c - K_d)}$$

y para una mezcla de multifases con forma conocida de las partículas, se tiene

$$K_m = K_c \left[ \frac{1 - \sum_1^m \frac{\Omega_i (S - 1) (K_c - K_i)}{K_i + (S_i - 1) K_L}}{1 + \sum_1^m \frac{\Omega_i (K_c - K_i)}{K_i + (S_i - 1) K_i}} \right]$$

donde:

$$S = 3/\psi$$

$\psi$  es la esfericidad y  $S = 3$  para la esfera, subíndices m se refiere a la mezcla y c a la fase continua y d a la fase dispersa.

En la Tabla 10 se presentan las conductividades térmicas de componentes de alimentos más comunes y las de algunos granos.

Calor específico

TABLA 10 CONDUCTIVIDAD TERMICA DE COMPONENTES DE ALIMENTOS Y GRANOS

<u>Producto</u>	<u>Temperatura (°F)</u>	<u>Conductividad térmica (Btu/h pie °F)</u>
<b>Componentes comunes de alimentos</b>		
Etilenglicol	32	0,153
Glicerol (100 %)	86	0,078
	212	0,167
Glicerol (20 %)	68	0,278
Acido esteárico	212	0,0786
Acido Acético (50 %)	68	0,099
Etanol		0,105
<b>Granos</b>		
Soya entera (11,2% H <sub>2</sub> O)	50-150	0,056-0,077
Soya molida (10,0% H <sub>2</sub> O)	50-150	0,048-0,073
Soya polvo (9,4 % H <sub>2</sub> O)	50-150	0,038-0,58

(Rha)



### III Calor Específico

Se puede usar el calor específico para evaluar las entalpías a temperaturas superiores sobre la de congelación.

Riedel midió el calor específico de carne de vacuno, ternera, venado, merluza, bacalao y perca; todas las carnes tenían un contenido de agua que varía entre 26 y 100 %.

La correlación encontrada es válida para contenido de agua superior a 26 %:

$$C_p = 0,40 + 0,006 (\text{contenido de agua}) (\text{Btu/lb}^\circ\text{F})$$

- contenido de agua expresada como porcentaje en peso.

También se puede aplicar a carne fresca y se ha aplicado a jugos de frutas que tienen más de 50 % de humedad.

En la figura 20 se puede evaluar las variación de  $C_p$  con el contenido de agua de los jugos.

20: calor específico de jugos de frutas  
(Dickerson)

En la tabla 13 se presentan valores de calor específico medio para carne fresca.

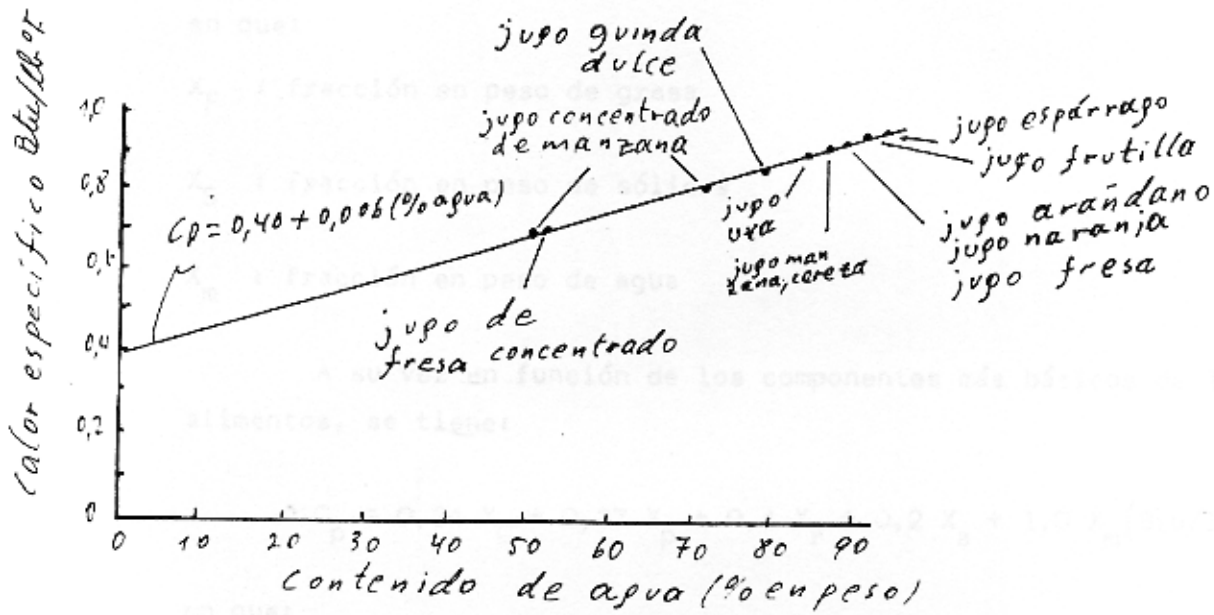


Fig. 20: Calor específico de jugos de frutas (Dickerson)

- fracción en peso de proteínas
- fracción en peso de grasa sólida
- fracción en peso de cenizas
- fracción en peso de agua

Valores de calor específico se adaptaron en el estudio de conservación de alimentos mediante refrigeración.

Una relación análoga es la de Siebel:

$$C_p = 0,2 + 0,008 (\% \text{ de humedad}) \text{ (Btu/lb}^\circ\text{F)}$$

Charm propuso la siguiente relación:

$$C_p = 0,5 X_F + 0,3 X_S + 1,0 X_m \text{ (Btu/lb}^\circ\text{F)}$$

en que:

$X_F$  : fracción en peso de grasa

$X_S$  : fracción en peso de sólidos

$X_m$  : fracción en peso de agua

A su vez en función de los componentes más básicos de los alimentos, se tiene:

$$C_p = 0,34 X_C + 0,37 X_p + 0,4 X_F + 0,2 X_a + 1,0 X_m \text{ (Btu/lb}^\circ\text{F)}$$

en que:

$X_C$  : fracción en peso de carbohidrato

$X_p$  : fracción en peso de proteínas

$X_F$  : fracción en peso de grasa sólida

$X_a$  : fracción en peso de ceniza

$X_m$  : fracción en peso de agua

Valores de calores específicos se encuentran en el Anexo 1 "Conservación de alimentos mediante frío". I Refrigeración 1983 que



se reproduce en la tabla 11 y en la tabla 12 se presentan los valores recopilados por Rha.

Contenido de grasa (Kcal en peso)	Contenido de grasa (Kcal en peso)	Conductividad térmica 32° a 60° F. Btu/h ft <sup>2</sup> in <sup>2</sup> °F	Calor específico a presión constante 32° a 60° F. Btu/lb °F
Vaca, Leche entero	75	0,29	0,64
Vacuno, Leche entero	74	0,27	0,64
Vacuno, Leche agudo	3,0	0,26	0,64
Queso, Leche agudo	1	0,24	0,65
Queso, Leche agudo	6,1	0,31	0,68
Queso, Leche agudo	5,4	0,29	0,63
Queso, Leche agudo	16	0,29	0,64
Queso, Leche agudo	23	0,25	0,65
Queso, Leche agudo	2,1	0,22	0,64

El efecto de la temperatura en la conductividad térmica y en el calor específico de la leche y de los productos lácteos se reproduce en la tabla 11 y en la tabla 12 se presentan los valores recopilados por Rha.

PROPIEDADES TERMICAS DE CARNES FRESCAS

Producto	Contenido de agua (% en peso)	Contenido de grasa (% en peso)	<sup>1</sup> Conductividad térmica 32° a 80°F Btu/h pie°F	Calor específico medio 32° a 60°F Btu/lb°F	<sup>2</sup> Difusividad térmica 32° a 60°F ca pie <sup>2</sup> /h
Vacuno, lomo magro	75	0,9	0,29	0,84	0,0048
Vacuno, plateada magra	74	3,4	0,27	0,84	0,0044
Vacuno, posta, grado conservero y carnicero	76	3,0	0,26	0,84	0,0043
3 Pollo	69 - 75	0,6	0,24	0,85	0,0042
4 Bacalao	83	0,1	0,31	0,88	0,0057
Cerdo, pierna magra	72	6,1	0,29	0,83	--
5 Salmón	73	5,4	0,29	0,84	0,0056
5 Cecinas	68	16	0,25	-	--
Cecinas	63	23	0,22	-	--
Pavo, pechuga	74	2,1	0,30	0,84	0,0054

<sup>1</sup>Flujo de calor paralelo a la fibra. No se produce un efecto significativo de acuerdo a la orientación de la fibra con respecto al flujo de calor en carnes frescas.

<sup>2</sup>Calculada de  $\alpha = k / \rho C_p$  en que  $\rho_{\text{vacuno}} = 72,4 \text{ lb/ple}^3$ ,  $\rho_{\text{pollo}} = 66,8 \text{ lb/ple}^3$  y  $\rho_{\text{pescado}} = 61,8 \text{ lb/ple}^3$

<sup>3</sup>Músculos pectorales con flujo de calor perpendicular a la fibra y no hay diferencia en K ni en  $\rho$  para broilers y gallinas

<sup>4</sup>Medidas de K realizadas con el flujo de calor perpendicular a las fibras y el Cp medido en muestras con 80 % de agua.

<sup>5</sup>Cp calculado de  $C_p = 0,40 + 0,006 (\% \text{ de agua})$  (Dickerson)

TABLA 12 PROPIEDADES TERMICAS DE PESCADO, CARNE, POLLOS Y OTROS ALIMENTOS

Alimentos	Contenido de agua %	Punto de congelación medio (°C)	Calor específico		Temperatura		Temperatura		Temperatura		Calor latente (J/kg) (°C)	Calor de respiración (J/24 h Kg)
			(°C)	(J/kg °K)	(°C)	(J/kg °K)	(°C)	(°C)	(W/m °K)	(°C)		
<b>CRUSTACEOS, MARISCOS</b>												
Langosta americana	79	-	-	3.480	1.840	-	-	-	-	-	-	-
Caviar	50-56	-	-	2.930	1.300	-	-	-	-	-	-	-
Ostra (concha)	80.4	-2.8	-	3.480	1.840	-	-	-	269.800	-	-	-
Ostras en caja	87	-2.8	-	3.770	1.930	-	-	-	290.800	-	-	-
Ostión carne	80	-	-	3.520	1.840	-	-	-	-	-	-	-
Ostiones	80.3	-2.2	-	3.730	2.010	-	-	-	269.800	-	-	-
Langostino	70.8	-2.2	-	3.480	1.880	-	-	-	276.800	-	-	-
<b>PESCADO</b>												
Atún	70	-	-	3.180	1.720	-	-	-	-	-	-	-
Arenque eviscerado, descabezado	70	-	-	3.180	1.720	-	-	-	-	-	-	-
salado refrigerado con hielo	-	-	-	3.180	1.720	-	-	-	-	-	-	-
ahumado	64	-	-	2.970	1.630	-	-	-	-	-	-	-
sábalo	62	-	-	2.930	1.680	-	-	-	-	-	-	-
no graso	75-80	-	-	3.350	1.800	-	-	-	-	-	-	-

Bacalao fresco	-	-2.2	-	3.770	2.050	-	-	-	276.800	-
	-	-	-	-	-	-	2.8	0.5435	-	-
	-	-	-	-	-	-	0	0.5573	-	-
	-	-	-	-	-	-	-5	1.328	-	-
	-	-	-	-	-	-	-10	1.497	-	-
	-	-	-	-	-	-	-20	1.516	-	-
frito	60	-	0-100	3.020	-	-	-	-	-	-
congelado	70	-2.2	-	3.180	1.720	-	-	-	234.900	-
Filetes										
róbalo, bacalao	80	-	-	3.520	1.840	-	-	-	-	-
caballa	57	-	-	2.760	1.550	-	-	-	-	-
perca, océano	80	-	-	3.520	1.840	-	-	-	-	-
pollack	79	-	-	3.480	1.840	-	-	-	-	-
Fice	82	-	-	3.600	1.840	-	-	-	-	-
Pescado salado	-	-	-	3.180	1.7166	-	-	-	-	-
seco	70	-	-	3.180	1.7166	-	-	-	234.900	-
seco, salado	16-20	-	0-100	1.720	-	-	-	-	-	-
				1.840						
grasa	60	-	-	2.850	1.590	-	-	-	-	-
fresco	80	-	0-100	3.600	-	-	-	-	-	-
músculo	-	-	-	-	-	-	-	0.4310	-	-
	-	-	-	-	-	-	-3.9	1.437	-	-
	-	-	-	-	-	-	-1.1	0.7270	-	-
merluza	78	-	-	3.430	1.800	-	-	-	-	-
Mero, hipogloso	75	-	-	3.350	1.800	-	-	-	-	-
Salmón	64	-	-	2.970	1.630	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-2.5	1.298	-	-
	-	-	-	-	-	-	3.9	0.5019	-	-
ahumado	-	-	-	2.930	1.630	-	-	-	-	-

## POLLOS

Broiler músculo	-	-	-	-	-	-	-	0.4119	-	-
Pollo fresco y con- gelado	74	-2.8	-	3.310	1.550	-	-	-	246.600	-
Pavo	-	-	-	-	-	-25	1.675	-	-	-
	-	-	-	-	-	2.8	0.5019	-	-	-
	-	-	-	-	-	-20	1.615	-	-	-
	-	-	-	-	-	-10	1.461	-	-	-
	-	-	-	-	-	0	0.5227	-	-	-
Pavo,carne clara, perpendicular	-	-	-	-	-	-20	1.276	-	-	-
	-	-	-	-	-	-10	1.172	-	-	-
	-	-	-	-	-	5	1.122	-	-	-
	-	-	-	-	-	0	0.4898	-	-	-
Pavo,carne,oscura, perpendicular	-	-	-	-	-	-20	1.445	-	-	-
	-	-	-	-	-	-10	1.319	-	-	-
	-	-	-	-	-	5	1.215	-	-	-
	-	-	-	-	-	2.8	0.5019	-	-	-

## CARNES

carne de caballo	-	-	-	-	-	-	0.4396	-	-	-
carnes sobre con- gelación	-	-	-	-	-	0	0.5019	-	-	-
	-	-	-	-	-	5	0.5106	-	-	-
	-	-	-	-	-	10	0.5227	-	-	-
carne picada	72	-	0-100	3.520	-	-	-	-	-	-
Carnero	90	-	0-100	3.890	-	-	-	-	-	-

## CECINAS

embutidas	-	-	-	2.510	-	-	-	-	-	-
secas	65.5	-3.3	-	3.730	2.350	-	-	-	216.000	-
maduradas	60	-1.7	-	3.600	2.350	-	-	-	200.000	-
fresca	65	-3.3	-	3.730	2.350	-	-	-	216.000	-
	72	-	0-100	3.430	-	-	-	-	-	-



ahumada	60	-3.9	-	3.600	2.350	200.000	-	-	-
Cerdo	75.1	-	-	-	-	-	6	0.4881	-
	-	-	-	-	-	-	59.3	0.5400	-
	-	-	-	-	-	-	3.8	0.4431	-
	-	-	-	-	-	-	60.7	0.4898	-
grasa	39	-	0-100	2.600	-	-	-	-	-
fresco	60	-2.2	-	2.850	1.340	-	-	-	201.00
grasa fresca	39	-	-	2.600	-	-	-	-	-
fresco no grasa	57	-	-	3.060	-	-	-	-	-
congelado	57	-	-	2.510	1.340	-	-	-	-
magra	57	-	0-100	3.060	-	-	-	-	-
cerdo plateada 3.4%	74	-	-	-	-	-	2.2	0.4604	-
grasa	-	-	-	-	-	-	-15	1.109	-
	-	-	-	-	-	-	-25	1.215	-
cerdo, pierna magra	72	-	-	-	-	-	0	0.4465	-
6.1 % grasa flujo	-	-	-	-	-	-	-5	1.172	-
de calor perpendicular	-	-	-	-	-	-	-10	1.239	-
	-	-	-	-	-	-	-20	1.347	-
cerdo, pierna magra	75.9	-	-	-	-	-	21.4	0.5158	-
6.7 % grasa flujo	-	-	-	-	-	-	3.8	0.5400	-
de calor perpendicular	-	-	-	-	-	-	6	0.4881	-
	-	-	-	-	-	-	-8.1	1.277	-
cerdo, pierna magra	72	-	-	-	-	-	0	0.4811	-
6.1 % grasa flujo	-	-	-	-	-	-	-5	1.314	-
de calor paralelo	-	-	-	-	-	-	-10	1.435	-
	-	-	-	-	-	-	-20	1.5611	-
cerdo, pierna magra	75.1	-	-	-	-	-	60.7	0.4898	-
7.8 % grasa flujo	-	-	-	-	-	-	42.9	0.4846	-
de calor paralelo	-	-	-	-	-	-	19	0.4535	-
	-	-	-	-	-	-	6.1	0.4517	-
	-	-	-	-	-	-	3.8	0.4431	-
	-	-	-	-	-	-	-4.7	1.263	-
	-	-	-	-	-	-	-5.9	1.289	-

filete magro	85	-	-	-	-	-	6.1	0.5227	-	-	-
0,99 % grasa	-	-	-	-	-	-	2.2	0.5019	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-2.8	1.134	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-5	1.298	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-10	1.381	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-15	1.424	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-20	1.508	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-25	1.549	-	-	-
ahumado	57	-	-	2.510	1.340	-	-	-	-	-	-
Cordero	71.8	-	-	-	-	-	5.4	0.4500	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	61.1	0.4777	-	-	-
	71	-	-	-	-	-	5.6	0.4154	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	61.4	0.4223	-	-	-
	58	-1.7	-	2.810	1.260	-	-	-	194.000	-	-
fresco	60-70	-2.2 a	-	2.850	1.590	-	-	-	200.000	-	-
	-	-1.7	-	3.182	2.140	-	-	-	232.600	-	-
congelado	-	-	-	-	-	-	-	1.125	-	-	-
Hígados	65.5	-1.7	-	3.020	1.680	-	-	-	217.000	-	-
Riñones	-	-	-	3.600	-	-	-	-	-	-	-
Ternera	70-80	-	-	3.350	1.930	-	-	-	-	-	-
	63	-	0-100	3.220	-	-	-	-	-	-	-
Chuleta de ternera	72	-	0-100	3.430	-	-	-	-	-	-	-
Chuleta de ternera frita	58	-	0-100	3.100	-	-	-	-	-	-	-
Tocino	57	-	-	2.010	-	-	-	-	-	-	-
fresco	20	-	-	2.090	1.260	-	-	-	-	-	-
fresco magro	68	-1.7	-	3.220	1.680	-	-	-	232.600	-	-
magro	51	-	0-100	3.430	-	-	-	-	-	-	-
ahumado	13-29	-	-	1.260	1.010	-	-	-	41.870	-	-
	-	-	-	1.800	1.210	-	-	-	95.370	-	-
Vacuno cocido	57	-	0-100	3.060	-	-	-	-	-	-	-
seco	5-15	-	-	921	796	-	-	-	16.300	-	-
	-	-	-	1.420	1.090	-	-	-	51.200	-	-
grasa fresca	-	-22	-	2.510	1.470	-	-	-	184.000	-	-







(Continuación Tabla 12)

black	80.7	-	-	-	-	-	-	-	-	15.6	21,100-
red	83.4	-1.2	-	3.520	1.840	-	-	-	283,800	-	25,900
Fresa	87.4	-0.9	-	3.600	1.880	-	-	-	283,800	-	-
frutas frescas	75-92	-2.6	-	3.770	1.930	-	-	-	288,400	-	-
		-	0-100	3.350-	-	-	-	-	-	-	-
		-		3.770	-	-	-	-	-	-	-
secas	30	-	0-100	2.090	-	-	-	-	-	-	-
Gelatina secada por congelación. Presión atmosférica	-	-	-	-	-	-	-	1.7080	-	-	-
hueso seco	-	-	-	-	-	-	-	1.5940	-	-	-
hueso seco al vacío	-	-	-	-	-	-	-	0.609	-	-	-
Guindas	83	-3.3	-	3.650	1.890	-	-	-	279,100	-	-
jugo de guindas	-	-	-	3.850	-	-	-	-	-	-	-
uva espín	88.3	-1.7	-	3.770	1.930	-	-	-	293,100	-	-
seca	-	-	-	-	-	-	-	0.2769	-	-	-
congelada	-	-	-	-	-	-	-	0.02769	-	-	-
húmeda	-	-	-	-	-	-	-	0.3288	-	-	-
granos	15-20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	15-20	-	0-100	-	-	-	-	-	-	-	-
Granadas	77	-2.2	-	3.680	2.010	-	-	-	260,500	-	-
Grosella	-	-	-	-	-	-	-	0.3098	-	-	-
Harina	12-13.5	-	0-100	1.800-	-	-	-	-	-	-	-
		-		1.880	-	-	-	-	-	-	-
Harina de avena o avena amasada seca	13.5	-	-	1.590	1.170	-	-	-	-	-	-
	8.7	-	-	-	-	-	-	0.6404	-	-	-

Harina trigo	8.8	-	-	-	-	-	-	-	0.4500	-	-	-
Hielo	-	-	-	-	-	-	-25	-	2.4230	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-20	-	2.3880	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-15	-	2.3370	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-10	-	2.3620	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-5	-	2.2670	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	0	-	2.2150	-	-	-
Higos secos	24	-	-	1.630	1.130	-	-	-	-	79.080	10	25.600
fresco	78	-2.7	-	3.430	1.800	-	-	-	-	260.500	1.7	1.160
Hongos	91.1	-1	-	3.890	1.970	-	-	-	-	302.400	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
secos	30	-	0-100	2.350	-	-	-	-	0.0343	-	-	-
frescos	90	-	0-100	3.940	-	-	-	-	0.0196	-	-	-
secado por congelación	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0111	-	-	-
Huesos	-	-	0-100	1.680	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	2.510	-	-	-	-	-	-	-	-
Huevos en jabas	-	-2.8	-	3.180	1.680	-	-	-	-	232.600	-	-
albúmina secada por spray	6	-	-	1.050	-	-	-	-	-	20.930	-	-
albúmina fermentada	3-15	-	-	921	-	-	-	-	-	9.304	-	-
congelada	-	-	-	1.340	-	-	-	-	-	48.850	-	-
congelado entero	-	-2.8	-	1.720	-	-	-	-	-	232.600	-	-
clara	-	-	-	-	-	-	-8	-	0.9692	-	-	-
yema	97	-	0-100	3.850	-	-	-	-	0.5573	-	-	-
	48	-	0-100	2.810	-	-	-	-	0.3392	-	-	-
yema, secado	3	-	-	921	879	-	-	-	-	-	-	-





Manteca	-	-	1.380	1.050	-	-	-	53.500	-	-
	14-15.5	-	0-100	2.050- 2.150	-	-	-	-	-	-
Manteca	-	-	2.180	-	-	-	0.1973	-	-	-
Mantequilla	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Manzanas	84.1	-2	0-100	3.600	1.840	-	-10.6-10	0.1679	-	-
	75-85	-	0-100	3.730- 4.020	-	-	2.2-35.6	-	-	-
Jugo manzana	-	-	3.850	-	-	-	-	-	-	-
	87.4	-	-	-	-	80	0.6317	-	-	-
	36.0	-	-	-	-	20	0.3894	-	-	-
	36.0	-	-	-	-	80	0.4361	-	-	-
Salsa manzana	-	-	3.730	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	29	0.5486	-	-	-
Maple, azúcar	5	-	1.010	879	-	-	-	16.280	7.2	1.650
Maple, jarabe	36	-	2.050	1.300	-	-	-	121.000	-	-
Margarina	9-15	-	0-100	1.760- 2.090	-	-	0.2340	-	-	-
Membrillo	85.3	-2.2	3.680	1.880	-	-	-	283.800	-	-
Melón, cantaloupe	92.7	-1.7	3.940	2.020	-	-	0.5711	307.000	4.4	2.330
Melones, Honeydew y honeyball	92.6	-6.7	3.940	2.010	-	-	-	307.00	-	-
Musk	92.7	-1.7	3.940	2.010	-	-	-	307.000	-	-
Miel	-	-	-	-	-	2	0.5625	-	-	-
	80.0	-	-	-	-	2	0.5019	-	-	-
	14.8	-	-	-	-	69	0.6230	-	-	-
	80.0	-	-	-	-	69	0.4154	-	-	-
Moras, logan	85.3	-30.2	3.680	1.680	-	-	-	283.800	-	-
	82.9	-1.4	3.600	1.880	-	-	-	274.500	-	-
moras, jarabe	-	-	3.530	-	-	-	-	-	-	-
mora, cultivada	-	-1.6	-	-	-	-	-	-	-	-
Nabo	89.1	-1.4	3.810	1.970	-	-	-	295.400	-	-

Nabo	90.9	-0.8	-	3.890	1.970	-	-	302.400	0	2.210
	-	-	-	-	-	-	-	-	4.4	2.090
	-	15	-	-	-	-	0.5625	-	-	-
Naranjas	87.2	-2.2	-	3.770	1.930	-	-	288.400	0	925
	-	-	-	-	-	-	-	-	4.4	2.010
peladas	-	-	-	-	-	28	0.5800	-	-	-
jugo naranja	-	-1.2	4.4-32.2	3.890	-	-	-	-	-	-
congelado	-	-	-	4.605	4.605	-18	2.3880	-	-	-
Nectarines	82.9	-1.7	-	3.770	2.050	-	-	276.900	-	-
	-	-	-	-	-	8.6	0.5850	-	-	-
Níspero	78.2	-2.1	-	3.520	1.800	-	-	260.500	-	-
Nueces, secas	3-10	-	-	879-	796-	-	-	10.000-	1.7	1.160
				1.210	1.010	-	-	32.600	-	-
Oleomargaina	15.5	-	-	1.340	1.050	-	-	-	-	-
Paltas	94.0	-2.7	-	3.810	2.050	-	-	316.300	15.6	15.400-
	-	-	-	-	-	-	0.4292	-	-	46.200
Pan blanco	44-45	-	0-100	2.720*	-	-	-	-	-	-
				2.850	-	-	-	-	-	-
integral	48.5	-	0-100	2.850	-	-	-	-	-	-
Papas blancas	77.8	-1.7	-	3.430	1.800	-	-	258.200	0	1.510
	-	-	-	-	-	-	-	-	4.4	2.090
Papas	14	-	0-100	1.840	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	1.0900	-	-	-
cocidas	75	-	0-100	3.520	-	-	-	-	-	-
papas frescas	-	-	-	-	-	-	0.5538	-	-	-
molidas y envasadas	-	-	-	-	-	-13	1.0900	-	-	-
apretadas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
mollida, extruída	-	-	-	-	-	-8	0.4154	-	-	-
papas saladas	-	-	-	-	-	-	0.4846	-	-	-

Almidón de papa, seco por congelado al vacío	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.3773	-	-	-
A presión atmosférica	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.6270	-	-	-
A presión atmosférica 52 % H.R.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.6960	-	-	-
Papayas	90.8	-	-	3.430	1.970	-	-	-	-	-	-	-	-
Pasas	24.5	-	0-100	1.970	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pectina, 5 % secada por congelación	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.4967	-	-	-
Secada al vacío	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.5840	-	-	-
Secada a presión atmosférica	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.6180	-	-	-
presión atmosférica 52 % H.R.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pectina, 10 % secada por congelación	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.7200	-	-	-
secada al vacío	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.814	-	-	-
secado a presión atmosférica	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.9610	-	-	-
presión atmosférica 52 % H.R.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pectina 5 % glucosa, 5% secado al vacío	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.7408	-	-	-
secada a presión atmosférica	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.9900	-	-	-
presión atmosférica 52 % H.R.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.0700	-	-	-
Pepino	97	-	0-100	4.103	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Peras	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.5988	-	-	-
jugo de peras	-	-	-	-	-	-	-	8.7	-	0.5954	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	20	-	0.4760	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	80	-	0.5365	-	-	-



Rábanos manujó de punta verde	93.6	-	-	3.980	2.010	-	-	-	-	-	-	-	-
preenvasado en primavera	93.6	-	-	3.980	2.010	-	-	-	-	-	-	-	-
invierno	93.6	-	-	3.980	2.010	-	-	-	-	311.700	-	-	-
Repollo	92.4	-5	-	3.940	1.970	-	-	-	-	307.000	4.4	-	1.980
Repollo de Bruselas	84.9	-6	-	3.680	1.670	-	-	-	-	283.800	4.4	-	6.980
													12.800
sopa de repollo	-	-	-	0-100 3.100	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Repollo blanco fresco	90-92	-	-	0-100 3.890	-	-	-	-	-	-	-	-	-
cocido	97	-	-	0-100 4.100	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ruibarbo	94.9	-2	-	4.020	2.010	-	-	-	-	311.700	-	-	-
Sacarosa lactosa	-	-	-	-	-	-	-	-28.9	0.4811	-	-	-	-
Sandía	92.1	-1.6	-	4.060	2.010	-	-	-	-	307.000	-	-	-
Salsify (raíz comestible de sabor a ostra)	79.1	-2	-	3.480	1.840	-	-	-	-	262.800	-	-	-
Tabacos	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0727	-	-	-	-
Tangerines	87.3	-2.2	-	3.890	2.090	-	-	-	-	293.100	-1.1	-	3.600
Tomates maduro verde	94.7	-0.9	-	3.980	2.010	-	-	-	-	311.700	15.6	-	7.250
maduro	94.1	-0.9	-	3.980	2.010	-	-	-	-	311.700	4.4	-	1.470
Tomate corazón (Cherry)	-	-	-	-	-	-	-	-	0.4621	-	-	-	-
carne lateral (Cherry)	-	-	-	-	-	-	-	-	0.5279	-	-	-	-
Trigo duro Inglés	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1627	-	-	-	-
Uva	88.8	-2	-	3.810	1.930	-	-	-	-	293.100	-	-	-
Uva (pulpa)	-	-	-	3.710	-	-	-	-	1.3500	-	-	-	-
Uvas tipo americana	81.9	-2.5	-	3.600	1.840	-	-	-	-	269.800	-	-	-

(Continuación Tabla 12)

tipo europeo	81.7	-3.2	-	3.600	1.840	-	-	269.800	-	-
jugo de uva	-	-	4.4-32.2	3.810	-	-	-	-	-	-
Zanahoria	88.2	-1.3	-	3.770	1.930	-	-	293.00	0	2.440
	-	-	-	-	-	-	-	-	4.4	4.070
atado de zanahorias	86-90	-	-	3.890	-	-	-	-	-	-
cocido	92	-	-	3.770	-	-	-	-	-	-
fresco	86-90	-	0-100	3.810	-	-	0.6058	-	-	-
puré	-	-	-	3.940	-	-	1.263	-	-	-

Contenido de agua % : es la masa de agua encontrada en el alimento dividida por la masa total y expresada como porcentaje.

Punto de congelación: la temperatura en grados centígrados a promedio la cuál están en equilibrio el líquido y el sólido del alimento a una presión dada, generalmente la atmosférica.

Calor latente : la cantidad de calor en Joules necesaria para transformar un kilogramo de líquido en sólido sin cambio de temperatura. Se mide en J/Kg.

Calor de respiración: la cantidad de calor generada por una célula viva del alimento al tomar oxígeno del aire o agua, lo distribuye y lo utiliza para oxidar las sustancias nutritivas dando dióxido de carbono y calor. Se mide en J/24 h . Kg.

Calor específico : la cantidad de calor, medida en Joule, necesaria para elevar la temperatura, medida en  $^{\circ}K$ , de un kilogramo de un alimento dado en un grado Kelvin. Se mide en J/Kg $^{\circ}K$ .

TABLA 13. CALORES ESPECÍFICOS DE ALIMENTOS

(Continuación Tabla 12)

Conductividad térmica: la cantidad de calor en Watts transmitida por conducción a través de  $1 \text{ m}^2$  de un alimento homogéneo para una diferencia de 1 grado Kelvin en tre las superficies del alimento.

Se mide en  $\text{W/m}^{\circ}\text{K}$ .

(Polley y otros)

Arroz	90		0,83	0,24
Arroz, cocido	83,7		0,74	0,24
Arroz, crudo	79,5		0,72	0,24
Arroz, cocido y seco	93,0	30,0	0,72	0,24
Arroz, cocido y seco	85,4	30,0	0,72	0,24
Arroz, cocido y seco	88,9-90,0	30,2	0,71-0,72	0,24
Arroz, cocido y seco	90,0		0,71	0,24
Arroz, cocido y seco	88,9		0,71	0,24
Arroz, cocido y seco	12,5		0,30	0,24
Arroz, cocido y seco	65,5-66,5	30,9	0,73-0,74	0,24
Arroz, cocido y seco	87,6	29,2	0,70	0,24
Arroz, cocido y seco	89,9	30,3	0,70	0,24
Arroz, cocido y seco	84,9	30,2	0,70	0,24
Arroz, cocido y seco	92,4	30,6	0,74	0,24
Arroz, cocido y seco	90,0-92,0		0,70	0,24
Arroz, cocido y seco	86,0-90,0		0,70	0,24
Arroz, cocido y seco	88,2	28,8	0,70	0,24
Arroz, cocido y seco	92,0		0,70	0,24
Arroz, cocido y seco	91,7	30,2	0,70	0,24
Arroz, cocido y seco	88,3	30,2	0,70	0,24
Arroz, cocido y seco	90,7	30,9	0,70	0,24
Arroz, cocido y seco	73,9	30,8	0,74	0,24
Arroz, cocido y seco	75,5		0,71	0,24
Arroz, cocido y seco	10,5		0,30	0,24
Arroz, cocido y seco	86,1-87,0	30,5	0,70	0,24
Arroz, cocido y seco	92,7	30,4	0,70	0,24



TABLA 13 CALORES ESPECÍFICOS DE ALIMENTOS

	Contenido de agua (%)	Pto. Congelación media (°F)	Calor Específico	
			Sobre la Congelación	Bajo la Congelación
<u>Vegetales</u>				
Alcachofas	90		0,93	
Globe	83,7	29,6	0,87	0,45
Jerusalén	79,5	27,5	0,83	0,44
Espárragos	93,0	30,4	0,94	0,48
Paltas	65,4	30,0	0,72	0,40
Porotos				
verdes	88,9-90,0	30,2	0,91-0,92	0,47
frescos	90,0		0,92	
cortados para ensalada	88,9		0,91	0,47
secos	12,5		0,30	0,24
Habas	65,5-66,5	30,9	0,73-0,40	0,40
Acelgas	87,6	29,2	0,90	0,46
Broccoli, brotes	89,9	30,3	0,92	0,47
Repollitos de Bruselas	84,9	30,2	0,88	0,46
Repollo, tardío	92,4	30,5	0,94	0,47
blanco, fresco	90,0-92,0		0,93	
Zanahorias				
atado	86,0-90,0		0,93	
s/ramas	88,2	28,8	0,90	0,46
cocida	92,0		0,90	
Coliflor	91,7	30,2	0,93	0,47
Apio vapiforme	88,3	30,2	0,91	0,46
Apio	93,7	30,9	0,95	0,48
Maíz dulce	73,9	30,8	0,79	2,42
verde	75,5		0,80	0,43
seco	10,5		0,28	0,23
Pepino	96,1-97,0	30,5	0,97-0,98	0,49
Berenjena	92,7	30,4	0,94	0,48

	Contenido de agua (%)	Pto. Congelación media (°F)	Calor Específico	
			Sobre la Congelación	Bajo la Congelación
Escarola	93,3	31,1	0,94	0,48
Ajo, seco	74,2	28,0	0,79	0,42
Berza	86,6	30,7	0,89	0,46
Kohlrabi, repollo	90,1	30,0	0,92	0,47
Puerro, verde	88,2-92,0	30,4	0,90-0,95	0,46
Lechuga	94,8	31,2	0,96	0,48
Lenteja	12,0		0,44	
Hongos, frescos	90,0-91,1	30,0	0,93-0,94	0,47
secos	30,0		0,56	
Belmosko	89,8	28,6	0,92	0,46
Cebollas	87,5	30,1	0,90	0,46
Perejil	65,0-95,0		0,76-0,97	
Chirivía	78,6	29,8	0,84	0,46
Arvejas				
secas	9,5		0,28	0,22
verdes	74,3-76,0	30,1	0,79-0,81	0,42
secas al aire	14,0		0,44	
Pimentón				
dulce	92,4	30,5	0,94	0,47
chili (seco)	12,0	30,9	0,30	0,24
Maíz curagüa no expandido	13,5		0,31	0,24
Papas	75,0	0,84		
cosecha tardía	77,8	29,8	0,82	0,43
Camotes	68,5	29,2	0,75	0,40
Calabaza	90,5	29,9	0,92	0,47
Rabanos				
primavera, atados	93,6	30,1	0,95	0,48
primavera, preenvasado	93,6	30,1	0,95	0,48
invierno	93,6		0,95	0,48
Quibarbo	94,0	29,9	0,96	0,48
Butabaga, nabo seco	89,1	29,7	0,91	0,47
Cedera	92,0		0,96	
Falsifú	79,1	29,6	0,83	0,44

Continuación Tabla 13)

	Contenido de agua (%)	Pto. Congelación media (°F)	Calor Específico	
			Sobre la Congelación	Bajo la Congelación
Espinaca	85,0-92,7 93,0	31,3	0,90-0,94 0,94	0,48
Squash bellota		30,0		
verano	95,0	30,4	0,96	
invierno	88,6	29,8	0,91	
Tomates				
pintón	85,0-94,7	30,4	0,89-0,95	0,48
maduro	94,1	30,4	0,95	0,48
Nabo	90,9	29,8	0,93	0,47
Frutas				
Manzanas	75,0-0,85 85,0	28,2	0,87-0,96 0,89	0,45
Damascos	85,4	29,6	0,88	0,46
Plátanos	74,8	29,6	0,80	0,42
dátiles secos	20,0	4,2	0,36	0,26
frescos	78,0	27,1	0,82	0,43
Frutas secas			0,30-0,32	
higos secos	24,0		0,39	0,27
frescos	78,0	27,1	0,82	0,43
Uvas	88,8	28,6	0,91	0,46
Limonas	89,3	29,0	0,92	0,46
Limas	86,0	28,2	0,89	0,46
Mangos	81,4	29,4	0,85	0,44
Melones				
Cantaloupe, persa	92,7	29,9	0,94	0,48
Honey Dew, Honey Ball	92,6	29,8	0,94	0,48
casaba	92,7	29,9	0,94	0,48
Sandía	92,1	30,6	0,97	0,48
Nectarines	82,9	29,0	0,90	0,49
Naranjas	87,2	28,0	0,90	0,46
Papayas	90,8	30,1	0,82	0,47

	Contenido de agua (%)	Pto. Congelación media (°F)	Calor Específico	
			Sobre la Congelación	Bajo la Congelación
Duraznos	86,9	29,6	0,90	0,46
picado	90,0		0,91	
Peras	82,7	27,7	0,86	0,45
Diospyrus	78,2	27,5	0,84	0,43
Piñas Semimadura		29,1		
madura	85,3	29,7	0,88	0,45
Ciruelas (ciruela pasa fresca)	81,0-85,7	28,7	0,87-0,88	0,45
secas	28,0-35,0		0,53-0,59	
Granadas		26,5		
Membrillo	85,3	28,1	0,88	0,45
Tangerinas	87,3	29,5	0,90	0,46
<u>Berries</u>				
Mora	84,8	29,4	0,88	0,46
Arándano	82,3	28,6	0,86	0,45
Guinda	83,0	27,7	0,87	0,45
Fresa	87,4	30,0	0,90	0,46
Grosella	87,4	30,2	0,88	0,45
Zarzamora			29,2	
Uva o crespas	88,9	30,0	0,90	0,46
Mora logan	82,9	29,5	0,86	0,45
Frambuesa				
negra	80,6	29,4	0,84	0,44
roja	84,1	30,3	0,87	0,45
Frutilla				
fresca	89,9-91,0	30,2	0,92-0,96	
congelada	72,0			0,42
Uvas				
tipo americana	81,9	29,4	0,86	0,44
tipo europea	81,6	27,1	0,86	0,44

	Contenido de agua (%)	Pto. Congelación media (°F)	Calor Específico	
			Sobre la Congelación	Bajo la Congelación
<u>Productos lácteos y huevos</u>				
Mantequilla	15,0-16,0		0,33-0,64	0,30
congelada	16,0			0,25
Quesos, no grasos	50,0	28,0-29,0	0,64	0,35
Quesos	30,0-38,0	28,0	0,44-0,50	0,29-0,31
Crema				
dulce	75,0		0,85	0,50
40 % grasa	73,0	28,0	0,85	0,40
15 % grasa			0,92	
30 % grasa			0,93	
60 % grasa			0,99	
crema agria	57,0-73,0	0,52-0,56	0,70	0,30
Queso crema	80,0		0,70	0,45
Helados de crema	58,0-66,0	27,0	0,78	0,45
Leche				
entera	87,5	31,0	0,92-0,93	0,49
crema	91,0	28,0-29,0	0,95	0,60
en polvo	12,5		0,31-0,93	0,49
seca			0,23	
suero			0,97	
Huevos				
cáscara	67,0-76,0	28,0	0,41-0,74	0,40
cáscara enfriada en la gránja	67,0-70,0	28,0	0,74-0,76	0,40-0,41
congelado	73,0	28,0		0,42
seco, entero	5,0		0,25	0,21
seco, yema	3,0		0,22	0,21
albúmina, secada en spray hasta 6 %			0,25	
albúmina fermentada	3,0-15,0		0,22-0,32	
<u>Carnes, pollos</u>				
Tocino				
Curado, estilo granja	13,0-29,0		0,30-0,43	0,24-0,29

(Continuación Tabla 13)

	Contenido de agua (%)	Pto. Congelación media (°F)	Calor Específico	
			Sobre la Congelación	Bajo la Congelación
<b>Vacuno</b>				
fresco	62,0-67,0	28,0-29,0	0,70-0,84	0,38-0,43
huesos			0,40-0,60	
grasa	50,0		0,60	0,35
magra	70,0-76,0		0,76	0,41
seco	5,0-15,0		0,22-0,34	0,19-0,26
picada			0,84	
<b>Jamones y pernils</b>				
fresco	47,0-54,0	28,0-29,0	0,58-0,63	0,34-0,36
curado	40,0-45,0	0,52-0,56	0,52-0,56	0,32-0,33
<b>Riñones</b>				
cordero fresco	60,0-70,0	28,0-29,0	0,68-0,76	0,38-0,51
<b>Manteca de cerdo</b>				
carnero	90,0		0,93	
<b>Cerdo: fresco</b>				
grasa fresca	39,0	28,0-29,0	0,48-0,54	0,31-0,32
fresco, magro	57,0		0,73	
ahumado	57,0		0,60	0,32
<b>Cecinas</b>				
frescas	65,0	26,0	0,89	0,56
<b>Misceláneos</b>				
<b>Pan</b>				
blanco	44,0-45,0		0,65-0,68	
candeal	48,5		0,68	
<b>Dough</b>				
Marina	12,0-13,5		0,38-0,45	0,28
Granos	15,0-20,0		0,45-0,48	
<b>Gelatina</b>				
			0,31	
<b>Macarrones</b>				
	13,0		0,44-0,45	
<b>Nueces</b>				
secas	3,0-6,0		0,22-0,25	0,21-0,22
	3,0-10,0		0,21-0,29	0,19-0,24

	Contenido de agua (%)	Pto. Congelación media (°F)	Calor Específico	
			Sobre la Congelación	Bajo la Congelación
Aceites (vegetales)	75,0-90,0		0,47-50,0	0,35
Oleomargarina	15,5		0,32	0,25
Aceitunas, frescas	75,2	28,5	0,80	0,42
Cebada, Pearl			0,67-0,68	
Porridge (Trigo negro)			0,77-0,90	
Pasas	24,5		0,47	
Arroz	10,5-13,5		0,42-0,44	
Sal			0,27-0,32	
Azúcar			0,20	0,20
Azúcar de maple	5,0		0,24	0,21
Jarabe de maple	36,0		0,49	0,31
Levadura	70,9		0,77	0,41
Chocolate, molido				0,63
Cacao, molido				0,63
Mantequilla de cacao				0,60

(Rha)

Para pescado se tiene

$$C_p = \frac{\% \text{ humedad} + 0,4 \% \text{ sólidos}}{100}$$

Para productos de pescado en proceso, para fabricar harina de pescado, se tiene:

$$C_p = 0,37 (\% \text{ proteínas}) + 0,41 (\% \text{ grasas}) + 1 (\% \text{ agua})$$



y es válida para contenidos de agua superiores al 50 % en función del contenido de agua y del porcentaje de agua que no es sólido.

Rha establece que la relación siguiente serviría para predecir el calor específico para granos, aunque la relación fué deducida para sorgo.

$$C_p = 0,3337 + 0,0077 W$$

W : % en peso del contenido de agua.

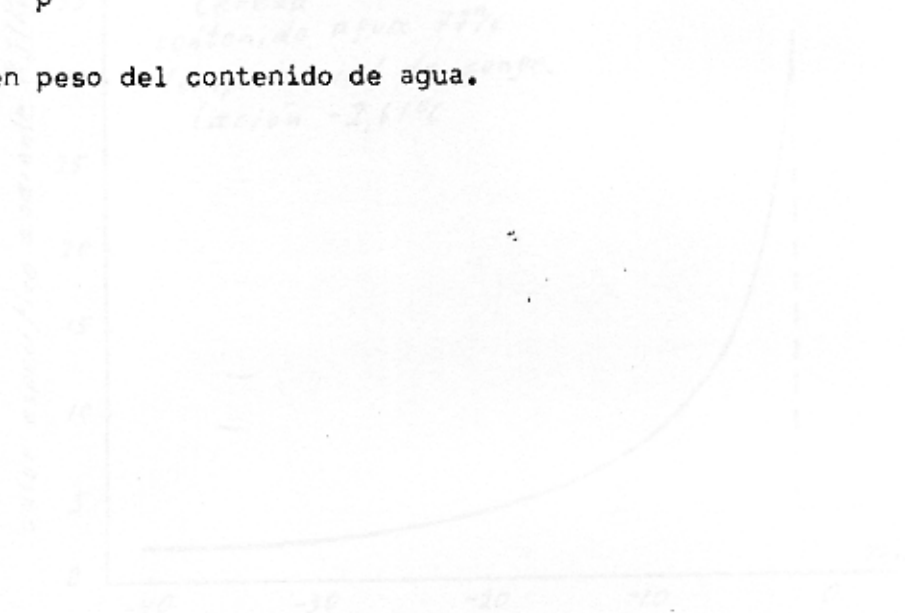


Fig. 21: Calor específico aparente predicho de cereza congelada en función de la temperatura.

Heldman aplicando la masa de agua no congelada existente en un alimento sometido a congelación, logra calcular el calor específico de cereza en función de la temperatura, ver figura 21.

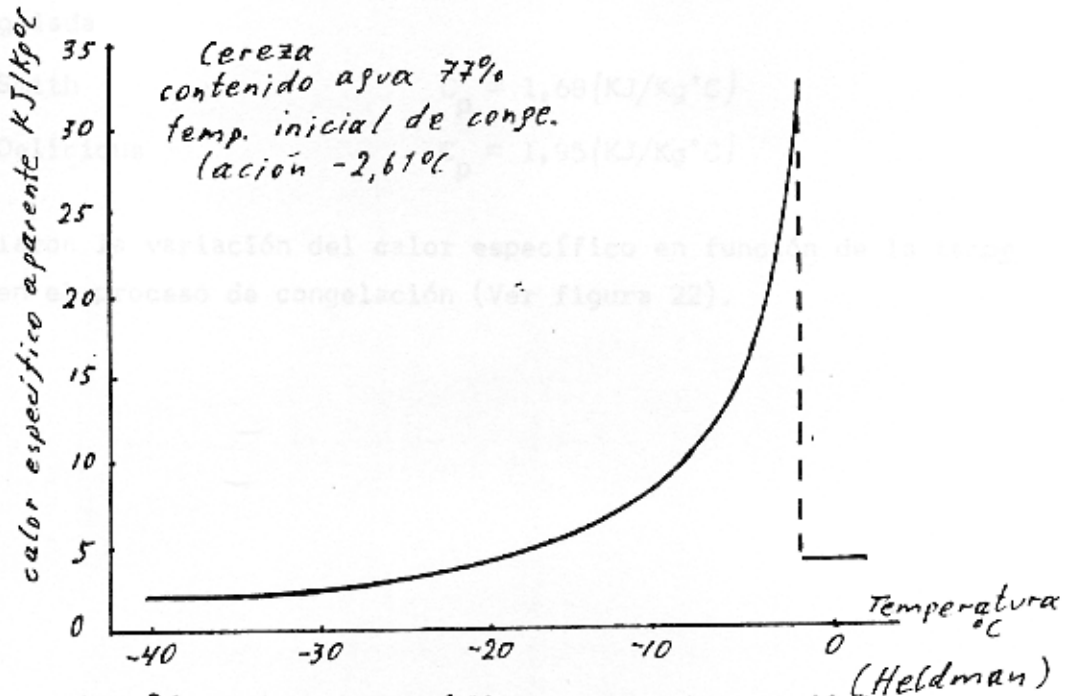


Fig. 21: Calor específico aparente predicho de cereza congelada en función de la temperatura.

Ramaswamy y Tung obtuvieron los valores siguientes para manzanas

No Congelada

Granny Smith  $C_p = 3,58 \text{ (KJ/Kg}^\circ\text{C)}$ .

Golden Delicious  $C_p = 3,69 \text{ (KJ/Kg}^\circ\text{C)}$

Congelada

Granny Smith  $C_p = 1,68 \text{ (KJ/Kg}^\circ\text{C)}$

Golden Delicious  $C_p = 1,95 \text{ (KJ/Kg}^\circ\text{C)}$

y estudiaron la variación del calor específico en función de la temperatura en el proceso de congelación (Vér figura 22).

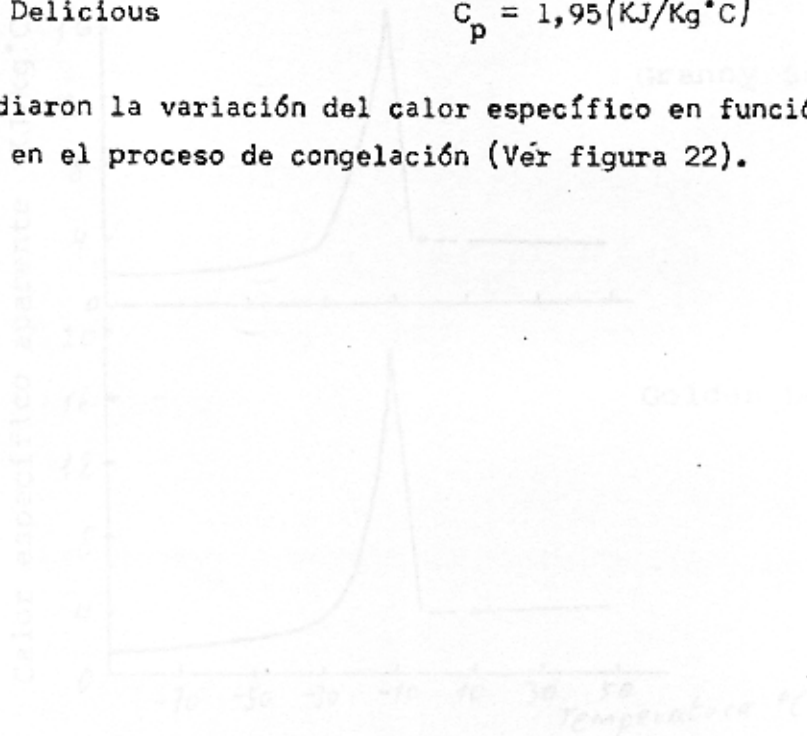


Fig. 22. Calor específico medio de manzana

Obtuvieron las siguientes correlaciones:

Granny Smith

$$C_p = 3,40 + 0,0007T \text{ (KJ/Kg}^\circ\text{C) para } -1 < T < 10^\circ\text{C}$$

$$C_p = 3,65 - 0,0007T \text{ (KJ/Kg}^\circ\text{C) para } -10 < T < 10^\circ\text{C}$$

$$C_p = 2,49 + 0,0007T \text{ (KJ/Kg}^\circ\text{C) para } -25 < T < -10^\circ\text{C}$$

$$C_p = 2,20 + 0,0018T \text{ (KJ/Kg}^\circ\text{C) para } T < -25^\circ\text{C}$$

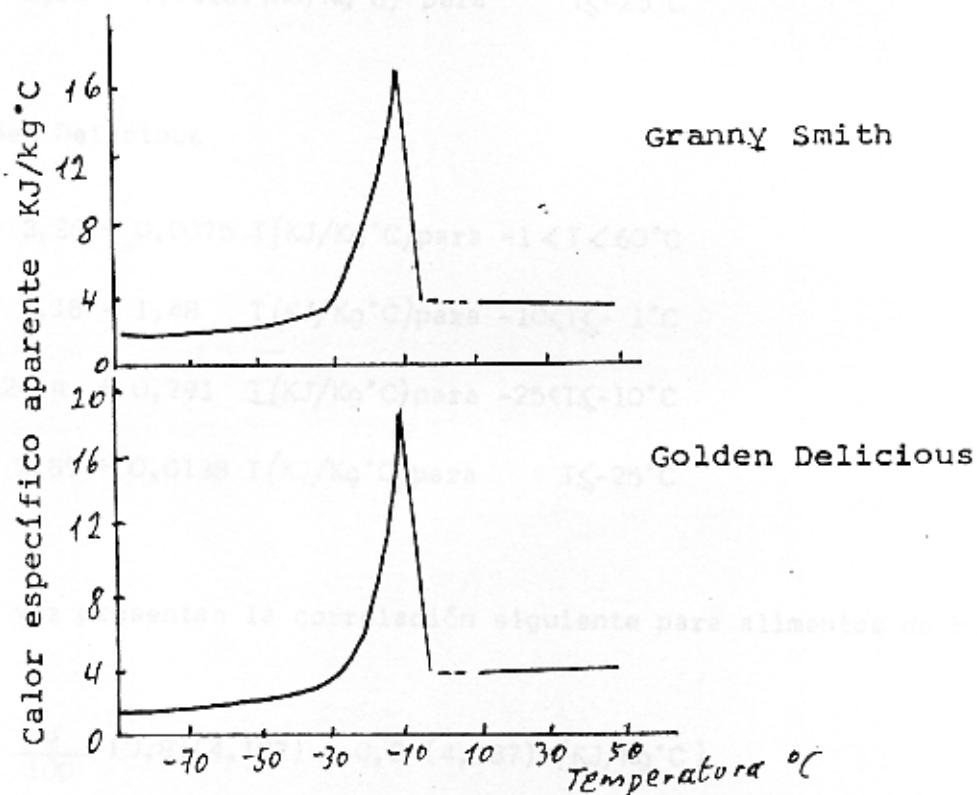


Fig.22 Calor específico medio de manzana

Obtuvieron las siguientes correlaciones:

Granny Smith

$$C_p = 3,40 + 0,0049T \text{ (KJ/Kg}^\circ\text{C)} \text{ para } -1 < T < 60^\circ\text{C}$$

$$C_p = 2,65 - 1,42T \text{ (KJ/Kg}^\circ\text{C)} \text{ para } -10 < T \leq -10^\circ\text{C}$$

$$C_p = 2,49 + 0,760 T \text{ (KJ/Kg}^\circ\text{C)} \text{ para } -25 < T \leq -10^\circ\text{C}$$

$$C_p = 2,50 + 0,0118T \text{ (KJ/Kg}^\circ\text{C)} \text{ para } T \leq -25^\circ\text{C}$$

Golden Delicious

$$C_p = 3,36 + 0,0075 T \text{ (KJ/Kg}^\circ\text{C)} \text{ para } -1 < T < 60^\circ\text{C}$$

$$C_p = 2,18 - 1,48 T \text{ (KJ/Kg}^\circ\text{C)} \text{ para } -10 < T \leq -1^\circ\text{C}$$

$$C_p = 24,4 + 0,791 T \text{ (KJ/Kg}^\circ\text{C)} \text{ para } -25 < T \leq -10^\circ\text{C}$$

$$C_p = 2,89 + 0,0138 T \text{ (KJ/Kg}^\circ\text{C)} \text{ para } T \leq -25^\circ\text{C}$$

A su vez presentan la correlación siguiente para alimentos de humedad alta

$$C_p = \frac{M}{100} (0,8)(4,187) + 0,2 (4,187) \text{ (KJ/Kg}^\circ\text{C)}$$

en que

M : humedad

Para queso Curd Cottage, Bressan y Canoad obtuvieron

$$C_p = 0,4 + 0,006 (\% \text{ contenido de agua})$$

$$C_p = 0,34X_c + 0,37X_p + 0,4 X_f + 0,2X_a + X_m$$

donde:

$X_c$  : fracción de masa de carbohidratos

$X_p$  : fracción de masa de proteínas

$X_f$  : fracción de masa de grasas

$X_a$  : fracción de masa de cenizas

$X_m$  : fracción de masa de humedad

Para pasta de tomate Chen y otros obtuvieron

$$C_p = 1 - 0,67X_s$$

en que

$X_s$  : contenido de sólidos decimal

TABLA 14 CALOR ESPECIFICO

	Temp. °C	Calor específico cal/g°C	Contenido humedad base seca
Tomate, variedad Ace	39,3	0,953	
Harina flor	78,3	0,410	13,6
Cracker	78,3	0,381	2,80
Cracker	61,1	0,375	2,62
Cookie, base cacao	117,7	0,448	3,25
Cookie, base azúcar	115,0	0,464	3,66
Cookie, base azúcar	115,6	0,462	4,03

Como en alimentos se ocupan soluciones de sacarosa en la Tabla 15 se presentan los valores de calor específico.

TABLA 15 CALOR ESPECIFICO APARENTE DE SOLUCIONES DE SACAROSA

Rango de temperatura	Concentración porcentaje de sacarosa							
	2	4	10	16	20	25	30	35
-40 a -35°F	0,43	0,44	0,46	0,44	0,43	0,44	0,44	0,44
-35 a -30°F	0,43	0,44	0,46	0,46	0,44	0,45	0,45	0,44
-30 a -25°F	0,45	0,46	0,48	0,51	0,52	0,51	0,53	0,56
-25 a -20°F	0,46	0,48	0,52	0,55	0,55	0,57	0,62	0,64
-20 a -15°F	0,46	0,48	0,52	0,57	0,58	0,59	0,63	0,65
-15 a -10°F	0,47	0,50	0,54	0,59	0,60	0,63	0,67	0,72
-10 a -5°F	0,47	0,49	0,55	0,62	0,63	0,67	0,70	0,75
-5 a 0°F	0,48	0,52	0,59	0,67	0,68	0,73	0,79	0,84
0 a 5°F	0,50	0,53	0,64	0,74	0,76	0,82	0,93	0,97
5 a 10°F	0,51	0,55	0,68	0,85	0,85	0,97	1,08	1,17
10 a 15°F	0,54	0,60	0,80	0,99	1,05	1,21	1,38	1,53
15 a 20°F	0,58	0,68	1,02	1,36	1,50	1,71	2,05	2,28
20 a 25°F	0,70	0,92	1,71	2,43	2,79	3,26	3,76	4,16

(Rha)

A su vez en muchos casos hay que tomar en cuenta los calores de disolución y en la Tabla 16 se encontraron los de mayor uso.

TABLA 16 CALORES DE DISOLUCION DE ALGUNOS MATERIALES FRECUENTES EN ALIMENTOS

Sustancia	Calor de disolución cal/g mol <sup>1</sup>
Acético	-2251
Dextrina	+ 268
Etanol	+3200
Lactosa	-3705
Cloruro de sodio	-1164
Sacarosa	-1319
Acido Vainilic	-5160

(Rha)

1 a dilución infinita y temperatura ambiente

+ desprende calor

- absorbe calor

Calor específico de aceites

En la siguiente tabla se presentan los calores específicos y calores latentes de ácidos grasos saturados.

Tabla 17 Calor latente y calor específico de ácidos grasos saturados

Acido graso	Calor latente (cal/g)	Calor específico (cal/g)	
		Sólido	Líquido
Caproico	31,2	0,4495(-33 a -10°C)	0,5105(0 a 23°C)
Caprílico	35,4	0,4650(0 a 12°C)	0,5050(18 a 46°C)
Cáprico	38,9	0,5009(0 a 24°C)	0,4989(35 a 65°C)
Láurico	43,7	0,5116(19 a 39°C)	0,5146(48 a 78°C)
Mirístico	47,1	0,5209(24 a 43°C)	0,5157(hasta 84°C)
Palmítico	50,6	0,4920(22 a 53°C)	0,5416(hasta 68°C)
Araquídico	54,2	0,4597(20 a 56°C)	0,5663(hasta 100°C)
Behénico	55,1	0,5854(18 a 71°C)	0,5556(hasta 109°C)
Lignocérico	57,3	0,4656(18 a 78°C)	0,5855(hasta 109°C)

Para aceites de algodón se tienen las relaciones siguientes  
(t : temperatura en °C)

Para aceite líquido (Índice de yodo 108,3), 15°C a 60°C

$$C_p = 0,462 + 0,00061 t$$

Para aceites líquidos hidrogenados en forma parcial, 40°C a 70°C (Índice de yodo 59,5)

$$C_p = 0,475 + 0,00055 t$$



Para aceite líquido hidrogenado (índice de yodo 0,85), 60°  
a 80°C

$$C_p = 0,458 + 0,00097 t$$

Para mezclas de aceite líquido y solvente (52 % aceite de  
algodón 48 % nafta de petróleo) 0°C a 40°C

$$C_p = 0,476 + 0,00065 t$$

Para aceite sólido, -100°C a 55°C  $C_p = 0,442 + 0,00172T$

Para aceite sólido parcialmente hidrogenado, -80°C -35°C

$$C_p = 0,406 + 0,00155 t$$

Para aceite sólido hidrogenado, -80°C a -10°C

$$C_p = 0,364 + 0,00135 t$$

Para mezclas de solventes (52 % aceite de algodón, 48 % nafta  
de petróleo) y aceite sólido, -95°C a 65°C

$$C_p = 0,456 + 0,00108 t$$

Para aceites el calor de fusión es  $20,6 \left( \frac{\text{cal}}{\text{g}} \right)$

Para aceite hidrogenado en forma parcial el calor de fusión  
es  $27,4 \left( \frac{\text{cal}}{\text{g}} \right)$

Para aceite hidrogenado, el calor de fusión es  $44,3 \left( \frac{\text{cal}}{\text{g}} \right)$

También existen correlaciones para el aceite de maní (Índice de  
yodo 94,0) y para el aceite de maní hidrogenado selectivamente (Índice  
de yodo 62,5).

Para aceite líquido, 27°C a 57°C

$$C_p = 0,4914 + 0,0004 t$$

Para aceite sólido, -163°C a -33°C

$$C_p = 0,5042 + 0,00195 t$$

Para aceite líquido hidrogenado, 47°C a 77°C

$$C_p = 0,4715 + 0,00117 t$$

Para aceite hidrogenado sólido, -189°C a -43°C

$$C_p = 0,4418 + 0,00159 t$$

Los calores de fusión para aceite líquido es 21,70 (cal/g) y para aceite hidrogenado es 24,7 (cal/g.)

Para triglicéridos saturados se presentan datos en las tablas siguientes:

Tabla 18 Calor específico de triacilicéridos saturados (cal/g)

Producto	Estado	Temp. (°C)	C <sub>p</sub>
Trilaurina	Líquido	66.0	0.510
		73.7	0.515
		81.9	0.519
Trilaurina	Líquido	89.5	0.524
		97.1	0.530
		104.8	0.535
Trimiristina	Líquido	58.4	0.514
		65.3	0.518
		72.2	0.522
Trimiristina	Líquido	79.1	0.528
		86.0	0.532
		92.9	0.536
Tripalmitina	Líquido	65.7	0.519
		72.6	0.523
		79.5	0.527
Tripalmitina	Líquido	86.4	0.533
		93.3	0.537
		100.2	0.541
Triestearina	Líquido	96.0	0.539
		102.9	0.543
		109.8	0.547
Triestearina	Líquido	116.6	0.553
		123.5	0.557
		130.4	0.561
Triestearina	Sólido-Forma $\beta$	-177.3	0.160
		-145.6	0.196
		-116.4	0.224
		- 77.1	0.259
		- 59.6	0.277
		- 30.3	0.310
Triestearina	Sólido-Forma $\alpha$	- 81.0	0.273
		- 54.5	0.316
		- 36.5	0.346

(Swern)

Tabla 19 Calores de fusión y transformación de triglicéridos saturados

Triglicéridos	Transformación	Temp. (°C)	Calor (cal/g)
Trilaurina	forma $\beta$ a líquido	46.3	46.2
Trimiristina	forma $\beta$ a líquido	57.0	50.3
	forma $\alpha$ a líquido	32.3	34.6
	forma $\alpha$ a forma $\beta$	32.3	-12.6
Tripalmitina	forma $\beta$ a líquido	65.7	53.1
	forma $\alpha$ a líquido	44.7	37.4
	forma $\alpha$ a forma $\beta$	44.7	-13.3
Triestearina	forma $\beta$ a líquido	72.5	54.4
	forma $\alpha$ a líquido	54.0	38.9
	forma $\alpha$ a forma $\beta$	54.0	-13.7

(Swern)

A continuación se presentan datos de calor específico para aceites vegetales.

Tabla 20 Calor específico de aceites vegetales (cal/q)

Temperatura			Temperatura		
°C	°F	C <sub>p</sub>	°C	°F	C <sub>p</sub>
Aceite de algodón hidrogenado (Índice de Yodo 6,5)			Aceite de Tung		
79.6	175.3	0.520	21.5	70.7	0.435
119.8	247.4	0.544	37.3	99.1	0.463
160.4	320.7	0.570	79.3	174.7	0.486
201.4	394.5	0.584	120.5	248.9	0.515
219.4	426.9	0.595	160.3	320.5	0.535
270.3	518.5	0.643	190.6	375.1	0.549
Aceite de ricino (Índice de Yodo 83,0)			Aceite de linaza (Índice de Yodo 172,1)		
29.9	85.8	0.495	30.2	86.4	0.463
79.8	176.7	0.539	70.7	159.3	0.491
120.9	249.6	0.565	110.4	230.7	0.510
172.4	342.3	0.588	150.2	302.4	0.537
209.8	409.6	0.603	191.1	376.0	0.554
219.7	427.5	0.595	240.1	464.2	0.591
250.7	483.3	0.633	270.5	518.9	0.636
271.2	520.2	0.657			
Aceite de perilla (Índice de Yodo 186,2)			Aceite de soya (Índice de Yodo 128,3)		
6.4	43.5	0.414	1.2	34.2	0.448
36.9	98.4	0.436	38.6	101.5	0.469
79.9	175.8	0.454	80.4	176.7	0.493
151.5	304.7	0.481	130.9	267.7	0.526
199.6	391.3	0.515	172.3	342.1	0.558
270.4	518.7	0.575	209.6	409.3	0.590
			240.2	464.4	0.617
			271.3	520.3	0.666

(Swern)

y en la Tabla 21 se entregan datos para ácidos grasos.

Tabla 21 Calor específico de ácidos grasos a temperatura elevada (cal/g)

Temperatura (°C)	Estearico	Laurico	Oleico
10	-	-	0.462
50	-	0.513	0.489
100	-	0.543	0.549
150	0.585	0.596	0.638
200	0.660	0.674	-
250	0.775	0.776	-

(Swern)

Calores específicos del aceite de soya se presentan en la siguiente Tabla.

Tabla 22 Calores específicos del aceite de soya con un índice de yodo

de 128.3<sup>1</sup>

Temperatura		Calor específico, cal/g/°C
°C	°F	
1.2	34.2	0.448
19.7	67.5	0.458
38.6	101.5	0.469
60.9	141.6	0.479
70.5	158.9	0.490
80.4	176.7	0.493
90.4	194.7	0.504
100.4	212.7	0.508
120.8	249.4	0.527
141.3	286.4	0.531
161.9	323.4	0.550
182.7	360.9	0.567
200.1	393.6	0.595
250.5	483.8	0.621

<sup>1</sup>Clark y col.1946

(Erickson)

Tabla 23. Calor específico de grasas fundidas.

Calor específico a diferentes temperaturas.  
 Unidades: cal/g/°C.

A su vez Eckey publica los datos siguientes sobre calor específico de grasas fundidas.

Grasa	Calor específico (cal/g/°C)
Capríco	
Láurico	0.51
Láurico, comercial	0.50
Palmitico	
Estearico	0.50
Arácido	
Linoléico	
Linolénico	
Oléico	0.49
Oléico, comercial	0.52
Grasas artificiales	
Adipato	
Sebacato	
Alcáridos	
Cetina	0.515 0.517
Miristina	0.516 0.518
Palmitina	0.529 0.532
Stearina	0.531 0.543
Ceras	
Cera de abejas	0.492
Algodón hidrógeno	
C.A., 0.65	0.536
Algodón hidrógeno	
C.A., 0.5	0.52 0.53 0.54
C.A., 0.4	0.475 0.49 0.51 0.52
C.A., 0.3	0.48 0.49 0.51 0.52
C.A., 0.2	0.51 0.53 0.55 0.56
C.A., 0.1	0.511
C.A., 0.05	0.530 0.563
C.A., 0.025	0.518 0.55



Tabla 23 Calor específico de grasas fundidas

Material	Calor específico a diferente temperatura cal/g/°C				Valor medio + 30°C
	50	80	100	200	
	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	
<b>Acidos</b>					
Cáprico					0.50
Láurico	0.51			0.67	0.51
Láurico, comercial		0.50		0.69	
Palmítico					0.54
Estearico				0.66	
Araquídico					0.57
Lignocérico					0.59
Oleico	0.49			0.71	
Oleico, comercial		0.52		0.74	
<b>Esteres metílicos</b>					
Palmitato					0.52
Estearato					0.51
<b>Triglicéridos</b>					
Laurina		0.519	0.531		
Miristina		0.526	0.538		
Palmitina		0.529	0.542		
Estearina		0.531	0.543		
<b>Aceites</b>					
Algodón	0.492				
Aceite algodón hidrogenado I.Y., 0.85		0.536			
Aceite algodón hidrogenado I.Y., 6,5		0.52	0.53	0.58	
Soja	0.475	0.49	0.51	0.59	
Linaza	0.48	0.49	0.51	0.56	
Ricino	0.51		0.55	0.59	
Maní	0.511				
Maní hidrogenado I.Y.62,5	0.530	0.565			
Tung	0.519	0.55			

( Eckey)

y de grasa sólidas en la tabla 24

Tabla 24 Calor específico de grasas sólidas

Material	Calor específico, cal/g/°C		
	-80 (°C)	-20 (°C)	Otras temperaturas (°C)
<b>Acidos</b>			
Cáprico			0.501 (Media, 0 a 24°)
Láurico			0.512 (Media, 19 a 39°)
Palmítico			0.492 (Media, 22 a 53°)
Estearico	0.285	0.391	0.4272 + 0.0018t (-120 a 65°)
Araquídico			0.460 (Media, 20 a 56°)
Lignocérico			0.466 (Media, 18 a 78°)
<b>Esteres metílicos</b>			
Palmitato			0.44
Estearato			0.43
<b>Gliceridos</b>			
Trilaurina(forma $\beta$ )	0.257	0.33	
Trimyristina(forma $\beta$ )	0.257	0.323	
Tripalmitina(forma $\alpha$ )	0.278	0.379	
Tripalmitina(forma $\beta$ )	0.257	0.323	
Tristearina (forma $\alpha$ )	0.276	0.379	
Tristearina (forma $\beta$ )	0.257	0.323	
<b>Grasas</b>			
Aceite algodón <sup>a</sup>	0.305		0.442 + 0.00172t (-100 a -55°)
Aceite algodón hi drogenado I.Y. 0.85	0.256	0.338	0.364 + 0.00135t (-80 a -10°)
Aceite maní	0.348		0.504 + 0.00195t (-163 a -33°)
Aceite maní <sup>c</sup> I.Y., 62,5	0.315		0.442 + 0.0139t (-189 a -63°)
Aceite Tung	0.324		0.404 + 0.001t (-184 a -43°)

<sup>a</sup> Solidificado levemente hasta estar en forma estable (Eckey)

<sup>b</sup> Hidrogenado en forma estable

<sup>c</sup> Parcialmente hidrogenado

Debido a que en el procesamiento de alimentos se ocupa vapor y en la mayor parte de la industria se utiliza petróleo N<sup>o</sup> 6 & Bunker C en la caldera, se entrega el valor de Cp:

$$C_p = \frac{0,388 + 0,00045 t}{S}$$

S

en que

t : temperatura a la que se inyecta el quemador (°F)

S : gravedad específica 60°/60°F

IV Difusividad térmica

En casos de transmisión de calor en estado transiente, la difusividad térmica es una propiedad térmica importante, que queda definida por:

$$\frac{\partial T}{\partial \theta} = \alpha \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right)$$

y a su vez se cumple

$$\alpha = \frac{K}{\rho C_p}$$

Hay que recordar que la ecuación de transmisión de calor supone que el material es homogéneo, lo que no sucede en los alimentos ya que estos son heterogéneos en general.

Así por ejemplo Jaffuey y Baird encontraron valores diferentes de difusividad térmica para el tejido de uva de las variedades Marsh.

$$\begin{aligned} \text{pulpa } \alpha &= 1,27 (10^{-7}) \text{ (m}^2/\text{s)} \\ \text{piel } \alpha &= 1,09 (10^{-7}) \text{ (m}^2/\text{s)} \end{aligned}$$

La difusividad térmica puede ser predicha como función del contenido de agua por medio de la ecuación de Riedel.

$$\alpha = 0,088 \times 10^{-6} + (\alpha_w - 0,088 \times 10^{-6}) W \text{ (m}^2/\text{s)}$$

en que:

$\alpha_w$  : difusividad térmica del agua a la temperatura deseada (m<sup>2</sup>/s)

W: contenido de agua, % en peso

Este modelo fué probado con varias carnes por Dickerson y Read, quienes encontraron que representaba bien los valores experimentales.

Martens propone el siguiente modelo para predecir la difusividad térmica, lo obtuvo de 246 valores publicados .

$$\alpha = [0,057363w + 0,000288(T + 273)] \times 10^{-6} \text{ (m}^2/\text{s)}$$

T : Temperatura en °C

El error estandar del valor predicho fué de  $0,014 \times 10^{-6} \text{ (m}^2/\text{s)}$ . Al aplicar la ecuación de Riedel a los productos de Martens dió un error estandar de  $0,017 \times 10^{-6} \text{ (m}^2/\text{s)}$  para el valor predicho.

La ecuación de Riedel la aplicó Hayes a papaya para predecir el valor de la difusividad térmica y la comparación con el valor experimental; fué bastante bueno.

Difusividad térmica experimental para pulpa de papaya:

$$1,52 \times 10^{-3} \pm 0,11 \times 10^{-3} \text{ (cm}^2/\text{s)}$$

Difusividad térmica experimental para las semillas de papayas:

$$1,60 \times 10^{-3} \pm 0,165 \times 10^{-3} \text{ (cm}^2/\text{s)}$$

El contenido de agua de la pulpa de papaya fué  $87,6 \% \pm 1,3 \%$ .

La ecuación de Riedel aplicada a la pulpa, da

$$\alpha = 1,45 \times 10^{-3} \pm 0,01 \times 10^{-3} \text{ (cm}^2/\text{s)}$$

La difusividad predicha con la determinada experimentalmente no presentó diferencia significativa al aplicar el test de Student "t".

En la tabla siguiente Singh presenta valores recopilados de la difusividad térmica

Tabla 25 Difusividad térmica de algunos alimentos

Producto	Contenido de agua(% peso)	Temperatura (°C)	Difusividad térmica ( $10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ )
<u>Frutas, vegetales y subproductos</u>			
Manzana, entera, Red Delicious	85	0-30	1,37
Manzana, salsa	37	5	1,05
	37	65	1,12
	80	5	1,22
	80	65	1,40
	-	26-129	1,67
Palta, pulpa	-	(24),(0)	1,24
Cuesco	-	(24),(0)	1,29
Entero	-	(41),(0)	1,54
Plátano, pulpa	76	5	1,18
	76	65	1,42
Porotos, cocinados	-	4-112	1,68
Guindas, tarta, pulpa	-	(30),(0)	1,32
Uva, Marsh, pulpa	88,8	-	1,27
Uva, Marsh, piel	72,2	-	1,09
Limón, entero	-	40	1,07
Habas, puré	-	26-122	1,80
Arvejas, puré	-	26-128	1,82
Durazno, entero	-	(27),(4)	1,39
Papas, pulpa	-	25	1,70
Papas, molidas, cocidas	78	5	1,23
	78	65	1,45
Nabo	-	(48),(0)	1,34
Calabaza, entera	-	(47),(0)	1,71

(Continuación Tabla 25)

Producto	Contenido de agua(% peso)	Temperatura (°C)	Difusividad térmica (10 <sup>-7</sup> m <sup>2</sup> /s)
Frutilla, pulpa	92	5	1,27
Betarraga	-	(14),(60)	1,26
Camote, entero	-	35	1,06
	-	55	1,39
	-	70	1,91
Tomate, pulpa	-	(4),(26)	1,48
<u>Carne y productos cárneos</u>			
Bacalao	81	5	1,22
Golden Delicious (no congelada)	81	65	1,42
1 Carne salada de vacuno	65	5	1,32
	65	65	1,18
1 Vacuno, trozos	66	40-65	1,23
1 Vacuno, tajada redonda	71	40-65	1,33
1 Vacuno, lengua	68	40-65	1,32
	76	40-65	1,47
Jamón ahumado	64	5	1,18
Jamón ahumado	64	40-65	1,38
Agua	-	30	1,48
	-	65	1,60

(Singh)

NOTA: Las temperaturas separadas por una coma indican lo siguiente, el primer valor es la temperatura inicial de la muestra y el segundo valor es el de los alrededores.

<sup>1</sup> Los datos se pueden aplicar si el jugo exudado durante el calentamiento permanece junto a la muestra.

Para la carne (Rizvi y otros) estudiaron modelos análogos en forma experimental y se presentan tres correlaciones para predecir el valor de la difusividad según los rangos de temperaturas considerados.

$$\alpha = 0,0318 + 0,074 W/100 \text{ para } 71,1^{\circ}\text{C a } 82,2^{\circ}\text{C.}$$

$$\alpha = 0,0394 + 0,063 W/100 \text{ para } 93,3^{\circ}\text{C}$$

$$\alpha = 0,0123 + 0,095 W/100 \text{ para } 104,4^{\circ}\text{C a } 115,6^{\circ}\text{C}$$

en que W: contenido de agua (%)

$$\alpha = 0,082 \text{ cm}^2/\text{min} \text{ válida entre } 40 \text{ a } 65^{\circ}\text{C y } 65\% \text{ de humedad}$$

Para manzanas Ramaswamy y Tung dan los siguientes valores y correlaciones

$$\text{Manzana no congelada desde } 0 \text{ a } 32^{\circ}\text{C} = 1,265 \cdot 10^{-7} (\text{m}^2/\text{s})$$

$$\text{Granny Smith (no congelada)} = 1,34 \cdot 10^{-7} (\text{m}^2/\text{s})$$

$$\text{Granny Smith (congelada)} = 9,26 \cdot 10^{-7} (\text{m}^2/\text{s})$$

$$\text{Golden Delicious (no congelada)} = 1,37 \cdot 10^{-7} (\text{m}^2/\text{s})$$

$$\text{Golden Delicious (congelada)} = 9,43 \cdot 10^{-7} (\text{m}^2/\text{s})$$

$$\text{Granny Smith} = (0,0056 T + 1,31)(10^{-7}) (\text{m}^2/\text{s}) \text{ para } T > T_f$$

$$= (-0,130 T + 4,75)(10^{-7}) (\text{m}^2/\text{s}) \text{ para } T \leq T_f$$

Golden Delicious

$$= (0,00278 T + 1,39)(10^{-7}) (\text{m}^2/\text{s}) \text{ para } T > T_f$$

$$= (-0,109 T + 5,09)(10^{-7}) (\text{m}^2/\text{s}) \text{ para } T \leq T_f$$

$$\text{Granny Smith} = (0,399 T + 3,66)(10^{-7}) (\text{m}^2/\text{s}) \text{ para } -10^{\circ}\text{C} < T \leq T_f$$

$$= (-0,123 T - 0,603)(10^{-7}) (\text{m}^2/\text{s}) \text{ para } -25^{\circ}\text{C} < T < -10^{\circ}\text{C}$$

Golden Delicious

$$= (0,437 T + 4,37)(10^{-7}) (\text{m}^2/\text{s}) \text{ para } -10^{\circ}\text{C} < T \leq T_f$$

$$= (-0,187 T - 1,22)(10^{-7}) (\text{m}^2/\text{s}) \text{ para } -25^{\circ}\text{C} < T < -10^{\circ}\text{C}$$



Bressan y Canoad obtuvieron:

- i) para productos lácteos  $\alpha = 1,20(10^{-3}) (cm^2/s)$
- ii) para queso curd cottage  $\alpha = 1,32(10^{-3}) (cm^2/s)$

y obtuvieron para masitas y galletas según la formulación empleada:

- fórmula AACC  $\alpha = 0,134 (cm^2/s)$
- fórmula hard-sweet  $\alpha = 0,15 (cm^2/s)$

En la tabla 26 Rha presenta los valores de difusividad térmica de soluciones de sacarosa.

Tabla 26 Difusividad térmica de soluciones de sacarosa (pie<sup>2</sup>/h)

Intervalo de temperatura	Concentración de sacarosa (%)									
	2	4	10	14	16	20	25	30	35	
-40 a -35°F	0,43	0,44	0,46	0,45	0,44	0,43	0,44	0,44	0,44	0,44
-35 a -30°F	0,43	0,44	0,46	0,46	0,46	0,44	0,45	0,45	0,45	0,44
-30 a -25°F	0,45	0,46	0,48	0,51	0,51	0,52	0,51	0,53	0,53	0,56
-25 a -20°F	0,46	0,48	0,52	0,54	0,55	0,55	0,57	0,62	0,62	0,64
-20 a -15°F	0,46	0,48	0,52	0,55	0,57	0,58	0,59	0,63	0,63	0,65
-15 a -10°F	0,47	0,50	0,54	0,58	0,58	0,60	0,63	0,67	0,67	0,72
-10 a - 5°F	0,47	0,49	0,55	0,61	0,62	0,63	0,67	0,70	0,70	0,75
- 5 a 0°F	0,48	0,52	0,59	0,65	0,67	0,67	0,73	0,79	0,79	0,84
0 a 5°F	0,50	0,53	0,64	0,72	0,74	0,76	0,82	0,93	0,93	0,97
5 a 10°F	0,50	0,55	0,68	0,80	0,85	0,85	0,97	1,07	1,07	1,17
10 a 15°F	0,54	0,60	0,80	0,95	0,99	1,05	1,21	1,38	1,38	1,53
15 a 20°F	0,58	0,68	1,02	1,28	1,36	1,50	1,70	2,02	2,02	2,28
20 a 25°F	0,70	0,92	1,71	2,23	2,43	2,79	3,26	3,76	3,76	4,16

(Rha)

### V Densidad

Como ya se estudió  $K$  y  $C_p$ , faltaría tener datos sobre la densidad  $\rho$

Para jugos de frutas, Dickerson presenta el siguiente método para evaluar su densidad a partir de medidas del índice de refracción; Glantone dedujo que

$$\left[ \frac{(n^2 - 1)}{(n^2 + 2)} \right] \frac{1}{\rho} = \text{refracción específica}$$

$n$  : índice de refracción

La refracción específica del azúcar es 0,206 reemplazando en la ecuación anterior se tiene

$$\rho = \left[ \frac{(n^2 - 1)}{(n^2 + 2)} \right] \frac{62,4}{0,206} \left( \frac{\text{lb}}{\text{pie}^3} \right)$$

Todos los valores de la Tabla 27 fueron calculados aplicando la fórmula deducida.

Las densidades de los siguientes productos son:

Carne de vacuno	72,4 (lb/pie <sup>3</sup> )
Carne de pollo	66,8 (lb/pie <sup>3</sup> )
Carne de pescado	61,8 (lb/pie <sup>3</sup> )

y estos valores son los usados en el cálculo de la difusividad térmica de la Tabla 27.

PROPIEDADES TERMICAS DE FRUTAS, VEGETALES Y JUGOS FRESCOS

Producto	Contenido de agua (% en peso)	Contenido de sólidos que no es jugo (% en peso)	Conductividad térmica a 60°F. Btu/in pie°F	Densidad aparente lb/pie <sup>3</sup>	Calor específico medio 32° a 90°F Btu/lb°F	Difusividad térmica pie <sup>2</sup> /h	Nota
Manzana	-	-	0,24	54,8	0,9	0,0049	2
Jugo manzana	87,2	0	0,32	65,6	0,92	0,0053	3,4,5
Jugo concentrado manzana	49,8	0	0,25	76,6	0,72	0,0045	3,4,5
Salsa manzana	82,8	2,4	-	-	0,89	-	-
Espárrago (pelado)	92,6	1,4	-	-	0,95	-	-
Betarraga (azúcar)	-	-	-	-	-	0,0049	-
Jugo arándano	89,5	0	0,32	65,0	0,93	0,0053	3,4,5
Zanahoria	87,5	2,3	-	-	0,93	-	-
Jugo guinda	86,7	0	0,32	65,7	0,92	0,0053	3,4,5
Uva	-	-	0,23	55,2	0,9	0,0047	2
Jugo uva	84,7	0	0,31	66,3	0,91	0,0051	3,4,5
Cebollas	85,5	1,5	-	-	0,91	-	-
Naranja	-	-	0,24	54,8	0,9	0,0049	2
Jugo naranja	89,0	0	0,32	65,1	0,93	0,0053	3,4,5
Duraznos descarozado	85,1	1,2	-	-	0,90	-	-
Peras, Bartlett	83,8	2,0	-	-	0,89	-	-

Producto	Contenido de agua ( % en peso)	1Contenido de sólidos que no es jugo (% en peso)	Conductividad térmica a 60°F Btu/h pie°F	Densidad aparente lb/pie <sup>3</sup>	Calorespecífico medio 32° a 90°F B Btu/lb°F	Difusividad térmica pie <sup>2</sup> /h
Ciruelas des carozadas	80,3	0,5	-	-	0,87	-
Fresa	82,7	5,8	-	-	0,89	-
Jugo de Fresas	88,5	0	0,32	65,3	0,93	0,0053
Espinaca	90,2	4,3	-	-	0,93	-
Frutilla	89,3	2,4	-	-	0,94	-
Jugo frutilla	91,7	0	0,33	64,5	0,95	0,0054
Jugo cereza sin corazón	77,0	2,0	-	-	0,86	-
Arvejas	75,8	8,2	-	-	0,85	-
Pulpa tomate	92,9	0,3	-	-	0,96	3,4,5

(Dickerson)

Notas:

- 1.- Sólidos que quedan cuando el jugo es extraído (fibras, piel, membranas, pedúnculos, semillas)
- 2.- Medidas realizadas en una fruta o vegetal Gane (1936) supone un calor específico de 0,9 para calcular la conductividad térmica.
- 3.- Se calcula la conductividad térmica a 60°F aplicando la ecuación de Riedel  $K = [307 + 0,645T - 0,00104T^2] [0,46 + 0,0054 (\% \text{ agua en peso})] \times 10^3$  (Btu/h pie°F)
- 4.- La densidad se calculó a partir del índice de refracción a 68°F aplicando el procedimiento de Riedel.
- 5.- Se calculó la difusividad térmica aplicando  $\alpha = \frac{K}{\rho C_p}$

La densidad de los productos congelados está influida por el proceso de congelación, Hsieh estableció la siguiente relación

$$\frac{1}{\rho} = M_U \left( \frac{1}{\rho_U} \right) + M_S \left( \frac{1}{\rho_S} \right) + M_I \left( \frac{1}{\rho_I} \right)$$

en que:

$\rho$  : densidad del producto congelado

$\rho_U$  : densidad del agua no congelada

$\rho_I$  : densidad del hielo

$M_U$  : fracción de masa del agua no congelada

$M_S$  : fracción en masa del sólido del producto

$M_I$  : fracción en masa de hielo

Para predecir la fracción en masa de agua no congelada se aplica el procedimiento de Heldman.

Aplicando los procedimientos indicados se pudo calcular la densidad de frutilla y la propiedad disminuye a medida que la temperatura baja desde el punto inicial de congelación hasta cuarenta grados bajo cero.

Ver Figura 23

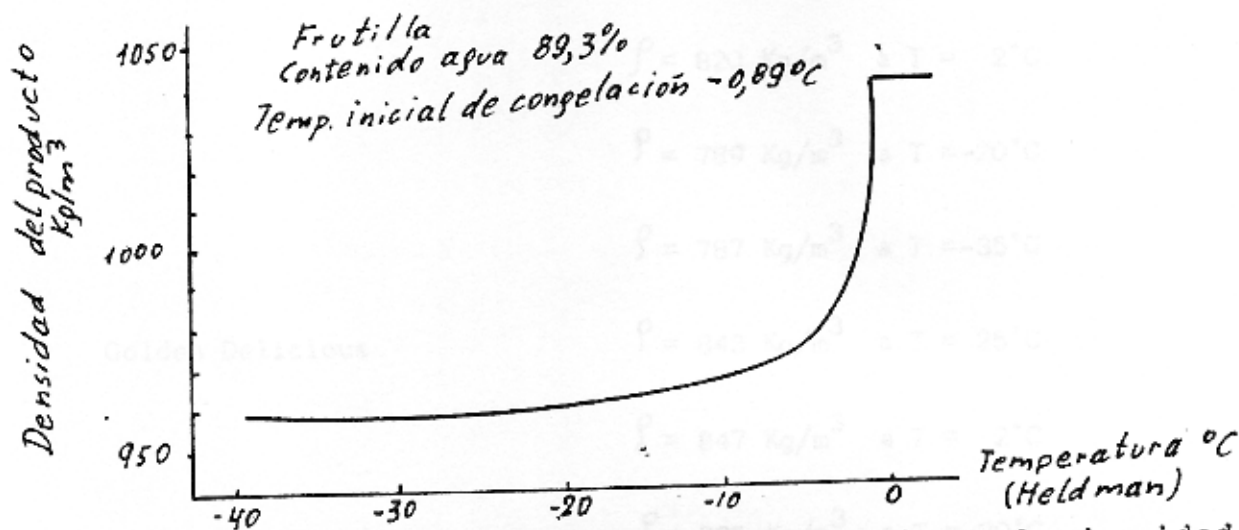


Fig. 23: Influencia de la congelación en la densidad predicha de frutilla.

Ramaswamy y Tung encontraron para manzana los valores siguientes:

No congelado

Granny Smith  $\rho = 829 \text{ (Kg/m}^3\text{)}$

Golden Delicious  $\rho = 845 \text{ (Kg/m}^3\text{)}$

Congelado

Granny Smith  $\rho = 786 \text{ (Kg/m}^3\text{)}$

Golden Delicious  $\rho = 788 \text{ (Kg/m}^3\text{)}$

Para manzanas verdes y rojas a  $28^{\circ}\text{C}$  establecen los valores de  $790 \text{ Kg/m}^3$  y  $840 \text{ Kg/m}^3$  respectivamente.

En función de la temperatura se tiene:

Granny Smith  $\rho = 837 \text{ Kg/m}^3$  a  $T = 25^\circ\text{C}$

$$\rho = 820 \text{ Kg/m}^3 \text{ a } T = 2^\circ\text{C}$$

$$\rho = 789 \text{ Kg/m}^3 \text{ a } T = -20^\circ\text{C}$$

$$\rho = 787 \text{ Kg/m}^3 \text{ a } T = -35^\circ\text{C}$$

Golden Delicious  $\rho = 843 \text{ Kg/m}^3$  a  $T = 25^\circ\text{C}$

$$\rho = 847 \text{ Kg/m}^3 \text{ a } T = 2^\circ\text{C}$$

$$\rho = 785 \text{ Kg/m}^3 \text{ a } T = -20^\circ\text{C}$$

$$\rho = 791 \text{ Kg/m}^3 \text{ a } T = -35^\circ\text{C}$$

A su vez, para manzana no congelada, establecen la relación siguiente

$$\rho = \frac{4 \text{ (Masa)}}{\pi d^2 l}$$

donde:

d : diámetro del cilindro

l : altura del cilindro

y el calor latente de fusión es:

$$L = \frac{\% \cdot M}{100} 334,9 \text{ (KJ/Kg)}$$



Para productos lácteos (tales como queso) obtuvo  $\rho = 1,062 \text{ (g/m}^3\text{)}$   
 Rebellato y otros obtuvo para hueso de pierna el valor de  
 $\rho = 8,8 \cdot 10^5 \text{ (KJ/m}^3\text{K)}$ .

Fleming, obtuvo para carne de vacuno =  $1,006 \text{ (Kg/m}^3\text{)}$  válidos entre  
 $-1^\circ\text{C}$  y  $-8^\circ\text{C}$ .

Para manzana se puede emplear la correlación de Lozano y otros  
 en la densidad por unidad de cambio en la temperatura

$$\rho = 0,636 + 0,102 L X \quad \text{con } r^2 = 0,978$$

donde:

X : contenido de humedad (g de agua/g de materia seca)

Para pasta de tomate Chen y otros obtuvieron la correlación  
 siguiente:

$$\rho = 62,4 (0,44 X_s + 0,997)$$

donde

Xs : contenido de sólidos decimal

Hsieh estimó que la variación de la densidad del hielo en fun-  
 ción de la temperatura era

$$\rho_{\text{hielo}} = 0,0001555996T + 0,916901556$$

También Succar y Hayakawa dedujeron la expresión siguiente para calcular la densidad de productos congelados.

$$\rho = X_r + S_d (T_{sh} - T) + (\rho_I - X_r) \frac{(T_{sw} - T_{sh})}{(T_{sw} - T)}$$

donde:

$X_r$  : constante empírica ( $\text{Kg}/\text{m}^3$ )

$S_d$  : cambios en la densidad por unidad de cambio en la temperatura ( $\text{Kg}/\text{m}^3 \cdot ^\circ\text{C}$ )

$T_{sh}$  : temperatura más alta de congelamiento ( $^\circ\text{C}$ )

$T_{sw}$  : temperatura normal de congelamiento del agua pura ( $^\circ\text{C}$ )

$\rho$  : densidad ( $\text{Kg}/\text{m}^3$ )

$\rho_I$  : densidad del alimento en etapa de deshielo

$T$  : temperatura de trabajo ( $^\circ\text{C}$ )

Sus valores se encuentran en la Tabla siguiente.

Solución de sacarosa -0,21  
-4,36

También se aplica a frutas y vegetales frescos.

Los aceites vegetales están entre 0,20 y 0,30 y la siguiente correlación puede predecir su valor a 20°C para aceites con estructuras comunes.

$$\rho_{20} = 0,8475 + 0,0030 (\text{Índice de saponificación}) + 0,0005 (\text{Índice de yodo})$$

Los valores típicos de densidad se presentan en la Tabla siguiente.

Tabla 28 Parámetros empíricos para la predicción de la densidad de algunos productos alimenticios y tylosa

	$T_{sh}$ (°C)	$\rho_T$ (Kg/m <sup>3</sup> )	$X_n$ (Kg/m <sup>3</sup> )	$S_d$ (Kg/m <sup>3</sup> ·°C)
Tylosa MH 1000	-0,60	1006	938	0,1542
Carne de vacuno magra	-1,01	1070	1012	0,0056
	-1,76	1075	1019	0,2027
	-2,96	1080	1025	0,3322
	-4,09	1090	1057	0,1104
Carne de pescado magra	-0,80	1060	985	0,2036
	-1,00	1070	1008	-0,0426
	-1,95	1075	1016	0,2000
	-2,96	1080	1030	0,2437
<sup>1</sup> Jugo de frutas y de vegetales	-0,39	880	817	0,1348
	-1,38	943	943	0,1079
	-3,19	1100	1030	-0,1079
	-6,98	1227	1145	0,2248
Solución de sacarosa	-0,21	1000	921	0,0566
	-4,36	1009	957	0,2737

<sup>1</sup>También se aplica a frutas y vegetales frescos.

Los aceites vegetales están entre 0,90 y 0,95 a 25°C y la siguiente correlación puede predecir su valor a 15°C para los aceites con estructuras comunes.

$$d_{15}^{15} = 0,8475 + 0,00030 (\text{Índice de saponificación}) + 0,00014 (\text{Índice de yodo})$$

Valores típicos de densidad se presentan en la tabla siguiente.

TABLA 29 DENSIDAD DE GRASA Y ACEITE COMERCIAL

Temp. (°F)	ml/g	lb/pie <sup>3</sup>	Temp. (°F)	ml/g	lb/pie <sup>3</sup>
0	0.942	58.8	260	0.848	52.9
10	0.938	58.5	270	0.844	52.6
20	0.934	58.3	280	0.840	52.4
30	0.931	58.1	290	0.837	52.2
40	0.927	57.9	300	0.833	52.0
50	0.923	57.7	310	0.829	51.7
60	0.920	57.4	320	0.826	51.5
70	0.916	57.2	330	0.822	51.3
80	0.913	56.9	340	0.819	51.1
90	0.909	56.7	350	0.815	50.9
100	0.905	56.5	360	0.811	50.6
110	0.902	56.3	370	0.808	50.4
120	0.898	56.0	380	0.804	50.2
130	0.895	55.8	390	0.801	50.0
140	0.891	55.6	400	0.797	49.8
150	0.887	55.4	410	0.793	49.5
160	0.884	55.1	420	0.790	49.3
170	0.880	54.9	430	0.786	49.1
180	0.877	54.7	440	0.782	48.9
190	0.873	54.4	450	0.779	48.6
200	0.869	54.2	460	0.775	48.4
210	0.866	54.0	470	0.772	48.2
220	0.862	53.8	480	0.768	47.9
230	0.858	53.8	490	0.764	47.7
240	0.855	53.3	500	0.760	47.5
250	0.851	53.1	550	0.742	46.3

Las densidades a dos temperaturas diferentes de un aceite pueden ser correlacionadas por

$$d_2 = d_1 - k (t_2 - t_1)$$

el valor de k para aceite de algodón oscila entre 0,00065 a 0,00067. Para aceite de maní es 0,00065 y para otros aceites Eckey dice que está entre 0,00061 y 0,0007 y que para la gran mayoría de los aceites naturales k vale 0,0007 o 0,00065.

Para aceite de soya se tiene la siguiente Tabla.

Tabla 30 Densidad del aceite de soya a diferentes temperaturas

<u>Temperatura °C</u>	<u>Densidad (g/ml)</u>
-10,0	0,9410
0,0	0,9347
10,0	0,9276
25,0	0,9175
37,8	0,9087
40,0	0,9075
50,0	0,9004

Para las miscelás se tiene

$$\frac{1}{d} = a - (a - b + 4K) x + 4K x^2$$

d : densidad

a : volumen específico del solvente

b : volumen específico del aceite

x : fracción en peso del aceite en la mezcla

Para el hexano comercial, el valor de  $k$  puede considerarse como idéntico para aceites de pescado y vegetales, incluyendo el de soya, linaza y tung.

<u>Temperatura, °C</u>	<u><math>k</math>, (ml/g)</u>
10	0,0062
25	0,0080
40	0,0098

A su vez Eckey presenta las densidades de varios materia les grasos en la Tabla siguiente.

Tabla 31 Densidad de varios materiales grasos

<u>Material</u>	<u>Densidad a <math>-38,4 \text{ } ^\circ\text{C} \pm 0,4 \text{ } ^\circ\text{C}</math></u>
<u>Glicéridos</u>	
Trilaurina	1,057
Trimiristina	1,050
Tripalmitina	1,047
Triestearina en forma $\beta$	1,043
Triestearina en forma $\beta'$	1,017
Triestearina en forma $\alpha$	1,014
Trielaidina	1,012
	1,017
<u>Grasas</u>	
Aceite de algodón hidrogenado, IY = 0,85	1,022
Aceite de algodón hidrogenado, IY = 59,5	1,000
Manteca IY = 66,6	1,005

La densidad de la carne cocida puede ser calculada con las fórmulas de Pérez y Calvelo

$$\rho = \frac{\rho_o (1 - Y_o)}{(1 - Y) \left[ 1 - \frac{\rho_o Y_o}{\rho_w} + \frac{\rho_o Y (1 - Y_o)}{\rho_w (1 - Y)} + m(Y_o - Y)^n \right]} \left( \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right)$$

en que:

$\rho$  : densidad aparente de la carne

$\rho_o$  : densidad de la carne fresca

$\rho_w$  : densidad del agua

$Y$  : contenido de agua en base húmeda

$Y_o$  : contenido de agua de la carne fresca en base húmeda

$m, n$  : parámetros

Quando la formación de burbujas de aire no es tomada en cuenta  $m = 0$  y  $\rho = \rho'$

$$\rho' = \frac{1}{\frac{Y}{\rho_w} + \frac{(1 - Y)}{(1 - Y_o)} \left[ \frac{1}{\rho_o} - \frac{Y_o}{\rho_w} \right]}$$

$$\text{y } V_a/V_o = m (Y_o - Y)^n$$

en que:

$V_o$  : volumen carne fresca ( $\text{m}^3$ )

$V_a$  : volumen aire ( $\text{m}^3$ )

experimentalmente se obtiene para  $m = 0,186$  y  $n = 1,74$

Los valores de  $\rho$  y  $\rho'$  están en la Tabla 32

ESCUELA CIENCIAS QUIMICAS  
Y FARMACEUTICAS  
BIBLIOTECA

TABLA 32 DENSIDAD DE CARNE COCIDA CON DIFERENTES CONTENIDOS

DE AGUA

Contenido de agua (base húmeda)	( $10^{-3}$ ) Kg/m <sup>3</sup>	Contenido de agua (base húmeda)	( $10^{-3}$ ) Kg/m <sup>3</sup>
0,047	0,920	0,005	1,180
0,048	0,860	0,140	1,190
0,080	0,870	0,170	1,180
0,105	0,900	0,205	1,178
0,120	0,950	0,265	1,162
0,170	0,960	0,294	1,130
0,260	0,980	0,298	1,128
0,270	1,016	0,410	1,130
0,410	1,065	0,440	1,128
0,422	1,047	0,490	1,110
0,490	1,062	0,530	1,122
0,580	1,065	0,554	1,083
0,600	1,080	0,560	1,117
0,620	1,065	0,570	1,099
0,640	1,072	0,590	1,101
0,740	1,053	0,627	1,057
		0,724	1,050
		0,740	1,053

(Pérez y Calvelo)



TABLA 33 DENSIDAD DE ALGUNAS GRASAS, ACIDOS Y ESTERES A 80°C<sup>a</sup>

Tipo de Acido	Densidad $d_4^{80}$			Cambio en densidad/1°Cx10 <sup>5</sup>		
	Acidos libres	Esteres metilicos	Trigli céridos	Acidos libres	Ester metílico	Trigli céridos
Butírico	0.899	0.831		99		
Caproico	0.875	0.827		89	95.6	
Caprilico	0.862	0.824		79	89.5	
Caprico	0.854	0.823	0.891	73	83.9	73
Laurico	0.847	0.822	0.880		79.5	71
Mirístico	0.844	0.821	0.872		76.5	69
Palmítico	0.841	0.821	0.867	69	73.7	67
Estearico	0.839	0.821	0.863	67	72.8	67
Oleico	0.850		0.870	68		68
Elaídico			0.870			69

<sup>a</sup>Algunos de estos valores se obtuvieron por interpolación o extrapolación.

VI Alimentos liofilizados

La conductividad térmica de varios alimentos liofilizados se encuentra en la Tabla 26.

De acuerdo a los datos presentados por Dickerson el parámetro más importante es la presión de gas que llena los poros del material. Influye fuertemente a presión atmosférica y se anula su influencia a una presión de 0,1 mm de Hg haciendo independiente la conductividad térmica del tipo de gas que llena los poros del alimento liofilizado.

TABLA 34 CONDUCTIVIDAD TERMICA DE ALIMENTOS LIOFILIZADOS

Conductividad térmica Btu/h pie<sup>2</sup>F  
a diferentes presiones absolutas

Producto	Gas en que se secó el material	Temperatura °F	Conductividad térmica Btu/h pie <sup>2</sup> F a diferentes presiones absolutas					Nota		
			0,001 mm Hg	0,01 mm Hg	0,1 mm Hg	1 mm Hg	10 mm Hg		100 mm Hg	760 mm Hg
Vacuno, posta comercial	aire	0-110	0,022	0,022	0,024	0,028	0,035	0,037	0,037	1
Manzana	aire	0-110	0,009	0,009	0,010	0,015	0,022	0,024	0,024	1
Durazno	aire	0-110	0,009	0,009	0,010	0,015	0,023	0,025	0,025	1
Merluza		20-120			0,011					2
Perca		20-120			0,013					2
Vacuno	CO <sub>2</sub>	80-110			0,023	0,026	0,030	0,032	0,032	1
Vacuno	He	80-110	0,022	0,022	0,024	0,036	0,066	0,094	0,098	1
Vacuno	N <sub>2</sub>	80-110	0,022	0,022	0,023	0,028	0,035	0,038	0,038	1
Manzana y pera	CO <sub>2</sub>	80-110			0,013	0,016	0,021	0,023	0,023	1 3
Manzana y pera	He	80-110			0,015	0,023	0,049	0,090	0,098	1 3
Manzana y pera	N <sub>2</sub>	80-110	0,013	0,013	0,014	0,018	0,025	0,029	0,029	1 3

Notas: 1 Medidas realizadas por Harper

(Dickerson)

2 Calculadas en base a los datos del proceso. Presión cámara 0,09 mmHg y tiempo secado fué 30

3 Los datos para manzana y pera difieren menos que 5 %.

## VII Emisividad

La emisividad del alimento juega un rol importante en el caso de los alimentos sometidos a calor radiante.

Si se está empleando radiaciones de la misma longitud de onda la absorptividad y la emisividad de una sustancia son las mismas.

En la Tabla 35 se encuentran valores de emisividad para alimentos liofilizados y se pueden emplear los mismos valores para la absorptividad en el rango de temperaturas empleadas en liofilización.

Tabla 35 Emisividad de Vacuno

Producto	Temperatura °F	Emisividad
Vacuno, magro, contenido agua 69,5%	70	0,74
	80	0,74
	90	0,73
Grasa vacuno	70	0,78
	95	0,77
Carne vacuno liofilizado	70	0,75

(Dickerson)

<sup>1</sup>En cálculos de liofilización la propiedad es absorptividad pero se puede suponer igual a la emisividad.

Tabla 36 Emisividad de materiales de interés en procesamiento de alimentos

Producto	Temperatura °F	Emisividad
Agua	32-212	0,95-0,963 (1)
Hielo	32	0,97 (2)
Papel	66	0,924 (3)
Aluminio (altamente pulido)	440-1070	0,039-0,057(2)
Cobre (pulido)	242	0,023 (2)
Ladrillo rojo (áspero)	70	0,93 (1)

- 1) Perry, Jhon H. 1950 Chemical Engineers Handbook, McGraw-Hill Book Company, Inc. New York 3rd. Ed.
- 2) Kreith, Frank 1963 Principles of Heat Transfer International Textbook Company, Scranton, Pa. 7th Printiny
- 3) Charm, Stanley E.(1963). Fundamentals of Food Engineering The AVI Publishing Company, Inc. Wesport. Conn.

Debido a que los alimentos tienen agua es conveniente contar con valores de las propiedades térmicas del agua líquido (Tabla 37) sólido-vapor en la Tabla 38 y del vapor de agua en la Tabla 39.

A su vez los alimentos están envasados y es necesario considerar el efecto de los envases al realizar cálculos de ingeniería en transmisión de calor. Datos sobre propiedades térmicas de los materiales de envase se entregan en la Tabla 40.

TABLA 37

## PROPIEDADES TERMICAS DEL AGUA

Temperatura °F	Conductividad térmica Btu/h pie°F	Calor específico Btu/Lb°F	Densidad Lb/pie <sup>3</sup>	<sup>1</sup> Difusividad térmica pie <sup>2</sup> /h
32	0,320	1.008	62.4	0.00509
40	0,326	1.005	62.4	0.00520
50	0,333	1.002	62.4	0.00533
60	0,340	1.000	62.3	0.00546
70	0,347	0.999	62.3	0.00558
80	0,352	0.999	62.2	0.00566
90	0,357	0.999	62.1	0.00576
100	0.362	0.999	62.0	0.00585
110	0.367	0.999	61.8	0.00595
120	0.371	0.999	61.7	0.00602
130	0.375	1.000	61.5	0.00610
140	0.378	1.000	61.4	0.00616
150	0.381	1.001	61.2	0.00622
160	0.384	1.002	61.0	0.00628
170	0.387	1.002	60.8	0.00635
180	0.389	1.003	60.6	0.00640
190	0.391	1.005	60.3	0.00640
200	0.392	1.006	60.1	0.00648

1. Calculado  $\alpha = K/\rho C_p$ 

(Dickerson)

TABLA 38

## PROPIEDADES TERMICAS DEL AGUA (SOLIDO-VAPOR)

Tempe- ratura °F	Presión absoluta Psia	Densidad lb/pie <sup>3</sup>		Calor latente Btu/Lb		
		hielo	vapor	Fusión	Vaporización	Sublimación
32	0.0885	57.2	0.000303	143.35	1075.8	1219.1
30	0.0808	57.2	0.000277	143.35	1074.9	1219.3
20	0.0505	57.3	0.000177	149.31	1070.6	1219.9
10	0.0309	57.3	0.000111	154.17	1066.2	1220.4
0	0.0185	57.4	0.000068	158.93	1061.8	1220.7
-10	0.0108	57.4	0.000041	163.59	1057.4	1221.0
-20	0.0062	57.5	0.000024	168.16	1053.0	1221.2
-30	0.0035	57.5	0.000014	172.63	1048.6	1221.2
-40	0.0019	57.6	0.000008	177.00	1044.2	1221.2

(Dickerson)

TABLA 39

## PROPIEDADES TERMICAS DEL VAPOR DE AGUA EN LA SATURACION

Tempe- ratura °F	Presión absoluta Psia	Conductividad térmica Btu/ pie°F	Calor específico Btu/Lb°F	Densidad Lb/pie <sup>3</sup>	<sup>1</sup> Difusividad térmica pie <sup>2</sup> /h
32	0.0885	0.0092	0.466	0.000303	65.2
50	0.1781	0.0096	0.458	0.000587	35.7
100	0.949	0.0108	0.441	0.002854	8.57
150	3.718	0.0121	0.432	0.0103	2.72
200	11.526	0.0135	0.423	0.0297	1.07

1. Calculado  $\alpha = k/\rho C_p$ 

(Dickerson)

Tabla 40 Propiedades térmicas de los materiales para envasar alimentos

	Conductividad térmica Btu/h pie °F	Calor específico Btu/Lb°F	Densidad aparente Lb/pie <sup>3</sup>	Difusividad térmica pie <sup>2</sup> /h
Acero inoxidable (302) Tipo 18-8 austenítico	9,17	0,118	499	0,157
Vidrio (borosilicato)	0,65	0,20	140	0,023
Nailon (tipo 6/6)	0,14	0,40	70	0,0050
Poliétileno (alta densidad)	0,28	0,55	60	0,0085
Poliétileno (baja densidad)	0,19	0,55	58	0,0060
Polipropileno	0,068	0,46	57	0,0026
Politetrafluoretileno (teflón)	0,15	0,25	130	0,0046
Aluminio	117-155	0,12-0,26	2,6-2,8	208
Acero inoxidable (302) Tipo 18-8 austenítico	9,17	0,118	494	0,157
Acero	21-26	0,12	7,0-7,2	28,2
Estaño	33-36		6,4-7,5	

(Rha)



Coefficiente de convección de distintos medios calefactores

Aire, convección libre	1-3	(Ejemplo)
Vapor sobrecalentado o aire, convección forzada	5-25	(Ejemplo)
Aire, convección forzada	10-30	(Ejemplo)
Agua, convección forzada	10-100	(Ejemplo)
Agua, en ebullición	100-1000	(Ejemplo)
Vapor, condensación en gotas	500-1000	(Ejemplo)

ANEXO:

COEFICIENTE DE CONVECCION DE DISTINTOS MEDIOS CALEFACTORES

USADOS EN ALIMENTOS

Coefficiente de convección de distintos medios calefactores

Aire, convección libre	1-5	( Btu/h pie <sup>2</sup> ·F )
Vapor sobrecalentado o aire, convección forzada	5-50	( Btu/h pie <sup>2</sup> ·F )
Aceite, convección forzada	10-300	( Btu/h pie <sup>2</sup> ·F )
Agua, convección forzada	50-2000	( Btu/h pie <sup>2</sup> ·F )
Agua, en ebullición	300-10000	( Btu/h pie <sup>2</sup> ·F )
Vapor, condensación en gotas	5000-20000	( Btu/h pie <sup>e</sup> ·F )
Vapor, condensación en película	1000-3000	( Btu/h pie <sup>2</sup> ·F )
Vapores orgánicos condensado	200-400	( Btu/h pie <sup>2</sup> ·F )

(Rha)

## B I B L I O G R A F I A

- 1) BRESSAN, J.A. y CANOAD, P.A. (1979). "Heat transfer during the washing of small curd cottage cheese". Journal of Food Science 47, 89.
- 2) CHARM, STANLEY E. (1963) "The fundamental of Food Engineering" The AVI Publishing Company, Inc. Westport, Connecticut.
- 3) CHEN, C.S., LIMATHAN, U.M. y MARSAIOLI (1979) "A heat transfer correlation for rotary steam coil vaccum evaporation of tomato paste". Journal of Food Science 49, 1219
- 4) DICKERSON, R.W. Jr. (1969) "Thermal properties of food" Chapt 2 in "The freezing preservation of foods" 4th. Ed.
- 5) ECKEY, E.W.(1954) "Vegetable fats and oils" Edit. Reinhold Publishing Corporation, New York.
- 6) ERICKSON, DAVID R. et al (1980) "Manual de procesamiento y utilización de aceite de soya". Editorial American Soybean Association, St. Louis, Missouri.
- 7) HAYES, CHARLES F. (1984). "Thermal diffusivity of Papaya fruit (Carica papaya L., Var. Solo) Journal of Food Science 49 1219-1221
- 8) HELDMAN, DENNIS R. (1982) "Food properties during freezing. Food Technology 92-96.
- 9) HELDMAN, D.R. (1983) "Factors influencing food freezing rates" Food Technology 37, 103.
- 10) HELDMAN, DENNIS R. (1976). "Food process engineering" Rep. Ed. The AVI Publishing Company, Inc. Westport, Connecticut.
- 11) HELDMAN y GORBY D.P. (1975) "Prediction of thermal conduction frozen foods" Trans. ASAE 18:156

- 12) HSIEH, R.G., LEREW, L.E. and HELDMAN, D.R. (1977) "Prediction of freezing times for foods as influenced by product properties". J. Food Proc. Eng. 1, 183.
- 13) GAFFNEY, J.J. and BAIRD C.D. (1980). "Physical and thermal properties of Florida Valencia Oranges and Marsh grapefruit as related to heat transfer" Paper Nº 80-611, Am. Soc. of Agric. Engineers, St. Joseph, Mich.
- 14) KREITH, FRANK (1963). "Principles of heat transfer" International Text book Company, Scranton, Pa. 7th. Printing.
- 15) KULACKY, F.A. y KENNEDY, S.C. (1978). "Measurement of the thermophysical properties of common cookie dough" Journal of Food Science 49 380.
- 16) LONCIN, MARCEL y MERSON, RICHARD LARRY (1979). "Food Engineering. Principles and selected Applications" Academic Press, New York.
- 17) LONG, R.A. (1955) "Some thermodynamic properties of fish and their effect on the rate of freezing" J. Sci. Food Agr. 6, 621.
- 18) LOZANO, J.E.; UBILAIN, M.J. y ROTSTEIN, E. (1979). "Thermal conductivity of apples as a function of moisture content". Journal of Food Science 44, 198.
- 19) MARTENS T. (1980). "Mathematical model of heat processing in flat containers" Ph. D. thesis Katkoleike Univ. Lewen, Bélgica.
- 20) PEREZ, M.G.R. and CALVELO, A. (1984). "Modeling the thermal conductivity of cooked meat" Journal of Food Science 49, 152-156.
- 21) PERRY, JOHN H. (1950). "Chemical engineers handbook" McGraw-Hill Book Company, Inc. New York, 3rd. Ed.
- 22) POLLEY, S.L.; SNYDER, O.P. and KOTMOUR, P. (1980). "A compilation of thermal properties of foods" Food Technology 34, 76-94.
- 23) RAMASWAMY, H.S. y TUNG, M.A. (1981). "Thermophysical properties of apples in relation to freezing". Journal of Food Science 46, 724

- 24) REBELLATO, L., GUIDICE DEL, S, y COMINI, G. (1978). "Finite element analysis of freezing processes in foodstuffs" Journal of Food Science 43, 239.
- 25) RHA, CHOKYUN (1975). "Theory, Determination and control of physical properties of Food Materials". D. Reidel Publishing Company, Durdrecht-Holland.
- 26) Riedel, L. (1956) "Calorimetric investigation of the freezing of fish meat" Kaltetechnik 9, 38-40 (German).
- 27) RIEDEL, L. (1957A). "Calorimetric investigation of the meat freezing process" Kaltetechnik 9, 38-40 (German).
- 28) RIEDEL, L. (1957B). "Calorimetric investigation of the freezing of egg whites and yolks" Kaltetechnik, 9, N° 11, 342-345 (German).
- 29) RIZVI, S.S.H., BLAISDELL, S.L. y HARPER, W.J. (1980). "Thermal diffusivity of model meat analog systems" Journal of Food Science 45, 1727.
- 30) SNEAT, V.E. (1974). "Experimental values of thermal conductivity of selected fruits and vegetables". J. Food Science 39, 1080.
- 31) SINGH, R. PAUL (1982). "Thermal diffusivity in food processing". Food Technology 36, 87-91
- 32) SWERN, D. "Bailey's industrial oil and fat products" (1964). 3<sup>r</sup> Ed. John Wiley & Sons. Inc. New York.
- 33) SUCCAR, J. y HAYAKAWA (May 1983) "Empirical formulae for predicting thermal physical properties of food at freezing, or defrosting temperatures". Lebensm. U. Technol. 16, 3261.
- 34) UNKLESBAY, N. UNKLESBAY, K., NAHAISI, M. y KRAUSE, G. (1982). "Thermal conductivity of white bread during convective heat processing" Journal of Food Science 47, 249.
- 35) UNO, J. y HAYAKAWA, K. (1980). "A method for estimating thermal diffusivity of heat conduction food in a cylindrical can". Journal of Food Science 45, 692.