

DIFUSIÓN DE CO_2 EN ALIMENTOS EMPAQUETADOS CON ATMÓSFERA MODIFICADA.

PARA OPTAR AL TÍTULO DE TÉCNICO UNIVERSITARIO EN QUÍMICA
MENCION QUÍMICA ANALÍTICA

Marcos Gálvez

Profesor Guía: Gonzalo Sepúlveda



INTRODUCCIÓN

CONTENIDO

1. Fundamento Teórico

- Métodos de conservación
- Almacenamiento con atmósfera controlada
- Empaquetados con atmósfera modificada
- Gases en un EAM
- Empaquetados plásticos

2. Objetivos

3. Parte experimental.

4. Resultados y Discusión

5. Conclusión

FUNDAMENTO TEÓRICO

MÉTODOS DE CONSERVACIÓN

Por frío

- Refrigeración
- Congelación
- Ultracongelación

Por calor

- Escaldado
- Pasteurización
- Esterilización

Por humedad

- Deshidratación
- Liofilización
- Desección

Conservación química

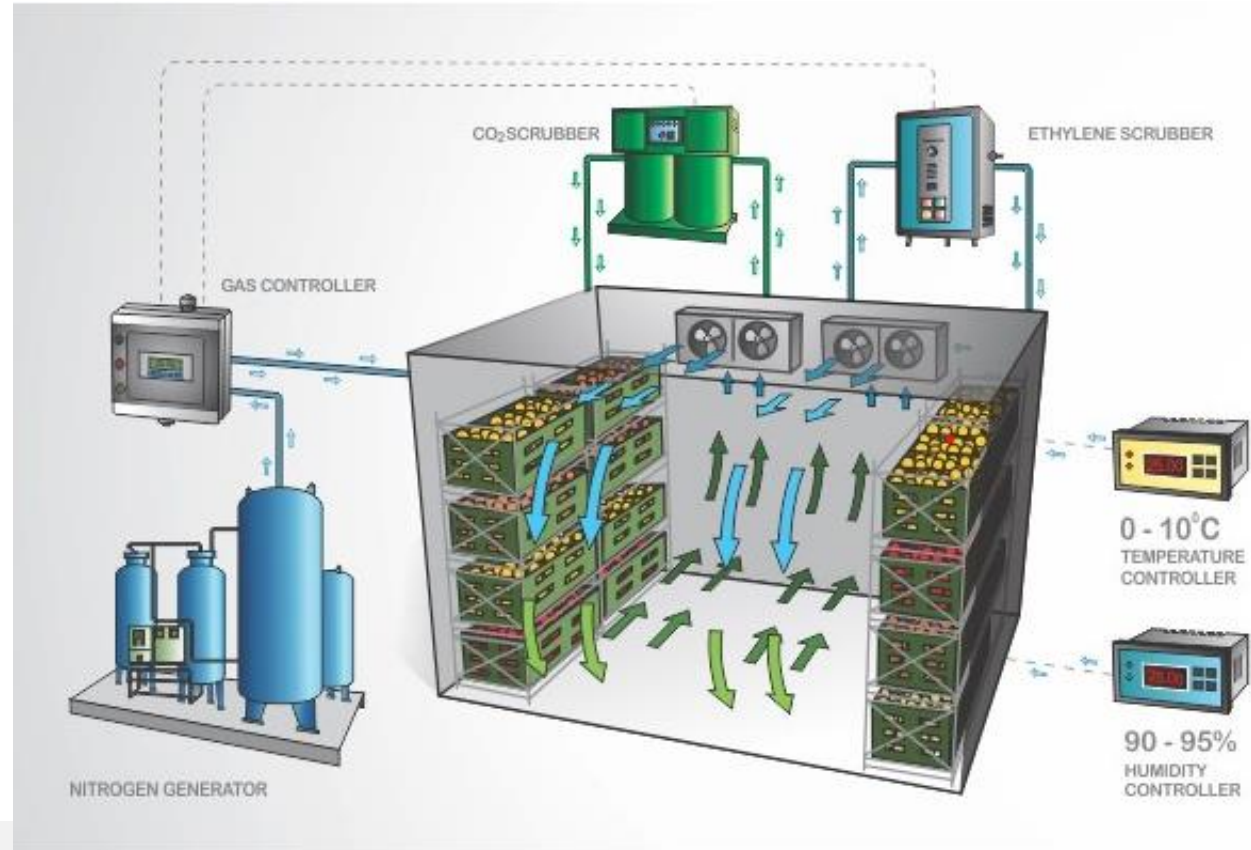
- Salazón
- Acidificación
- Adición de azúcar
- Aditivos alimentarios

Atmósferas protectoras

- Envasado al vacío
- Almacenamiento con atmósfera controlada
- Envasado con atmósfera modificada

ALMACENAMIENTO EN ATMÓSFERA CONTROLADA

- Esta técnica se utiliza en habitaciones de almacenamiento de alimentos, en la que se controla la composición de la atmósfera y se monitorea la temperatura, contenido de humedad y velocidad del flujo de aire.
- Se utiliza acoplada a la técnica de refrigeración.



EMPAQUETADOS EN ATMÓSFERA MODIFICADA

- Los alimentos son empaquetados y luego se modifica la atmósfera del interior
- La modificación a la atmosfera puede ser activa o pasiva

Ventajas Prolonga el periodo de conservación entre un 40-60%

Mantiene a los alimentos con alta calidad

El alimento adquiere mayor resistencia al reinicio del metabolismo luego de la conservación.

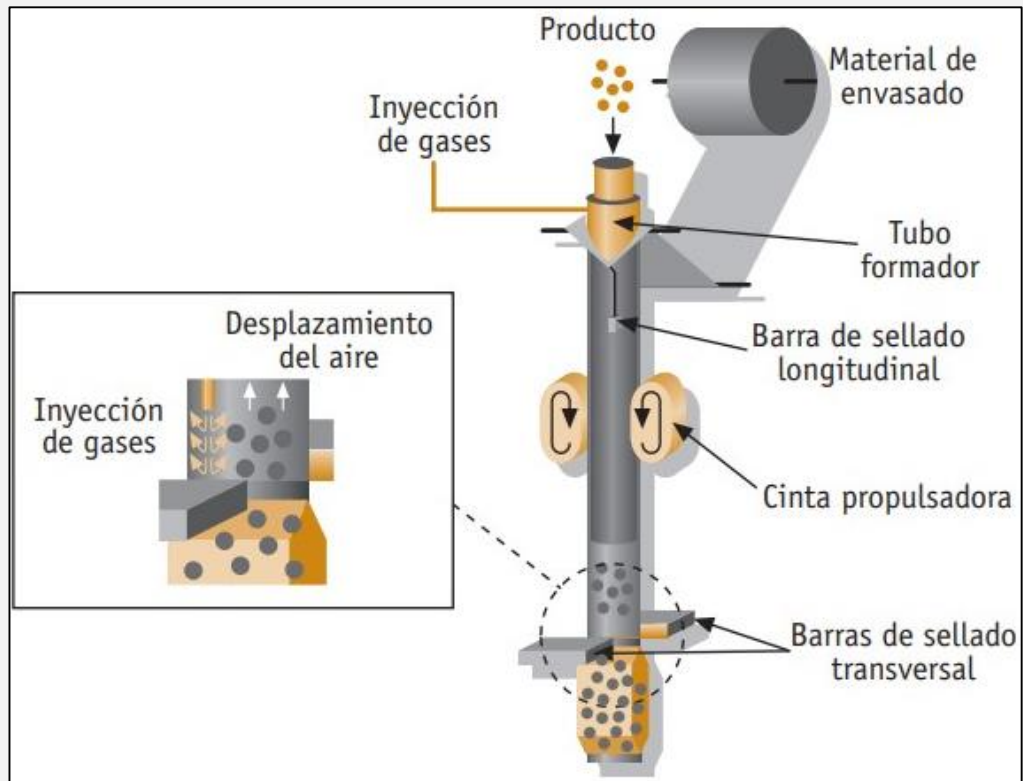
Reduce el flujo de respiración del fruto

La elevada concentración de CO_2 aporta al retardo del desarrollo de microorganismos y mantiene las características organolépticas durante la comercialización.

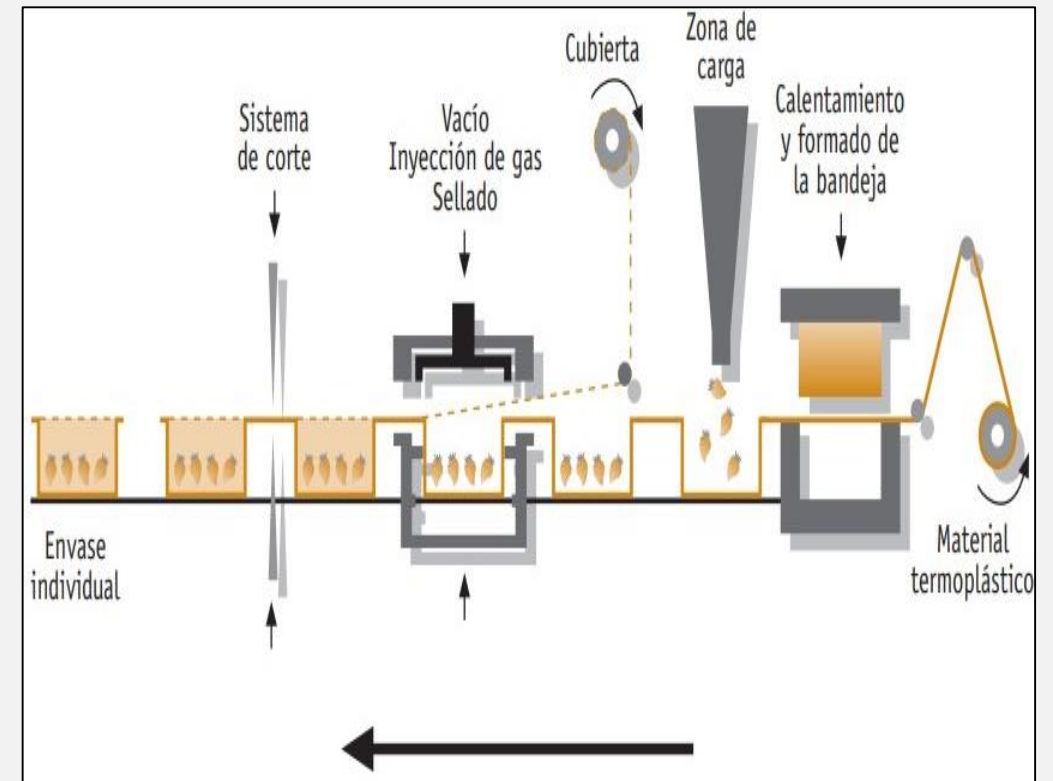
Reduce la producción y la sensibilidad al etileno

MODIFICACIÓN ACTIVA

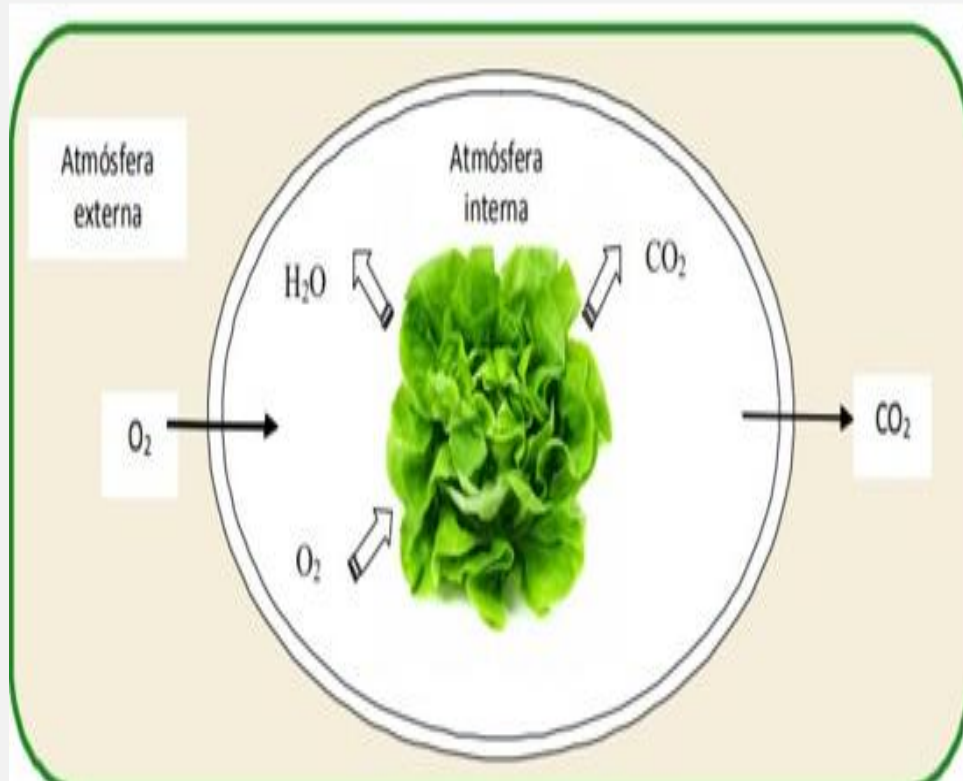
ARRASTRE POR GAS



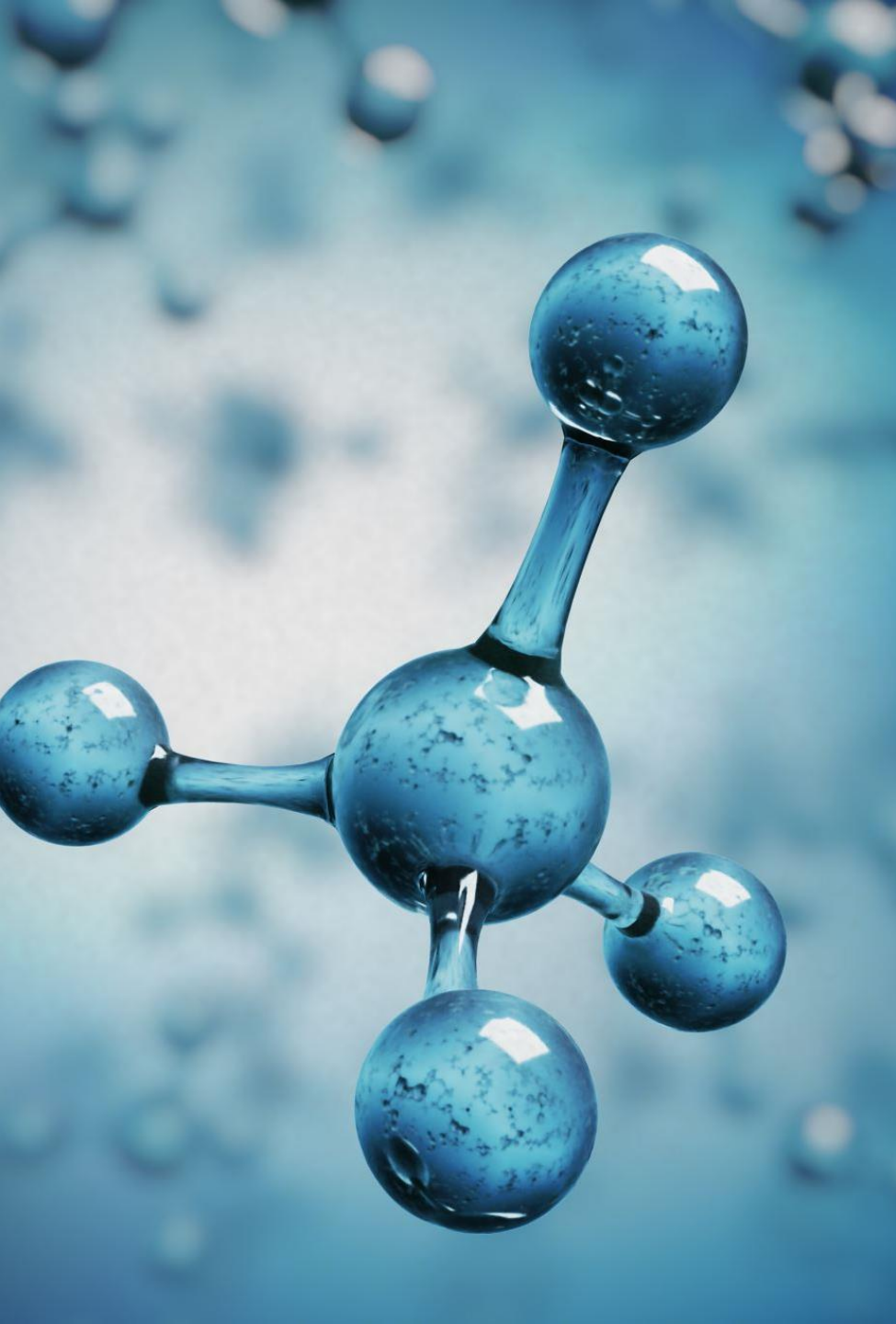
VACÍO COMPENSADO



MODIFICACIÓN PASIVA



- Es importante que la permeabilidad de las películas sea adecuada según el alimento por empacar



GASES QUE COMPONEN LAS ATMÓSFERAS MODIFICADAS

Los gases principales que se utilizan son:

- Dióxido de carbono
- Oxígeno
- Nitrógeno

EMPAQUETADOS PLÁSTICOS

- Son los encargados de separar el alimento del exterior, conteniendo la atmósfera deseada en su interior, con el fin de mantener el alimento limpio y fresco. Existen una gran variedad de polímeros que se utilizan para empacar, los cuales se deben elegir dependiendo del alimento a trabajar.

TIPOS DE POLÍMEROS

- Los polímeros más utilizados son los termoplásticos como :
- Poliestireno (PS),
- Cloruro de polivinilo (PVC),
- Polipropileno (PP)
- Etileno-vinil acetato (EVA),
- Nylon
- Polietileno de baja (LDPE), media (MDPE) y alta densidad (HDPE).
- Poliamidas

DIFUSIÓN Y LAS LEYES DE FICK

Primera Ley de Fick

$$J = -D \frac{\Delta C}{\Delta z}$$

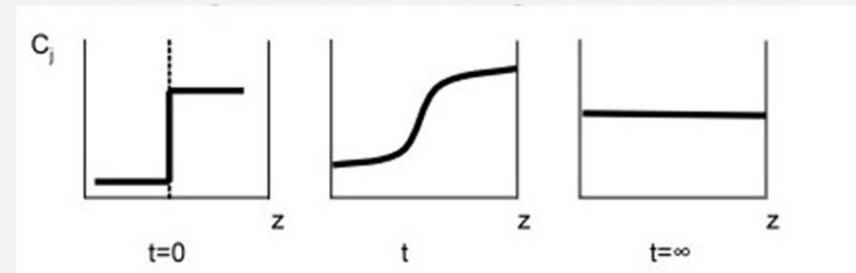
En una difusión intersticial

$$J = -D * A * \frac{\Delta C}{e}$$

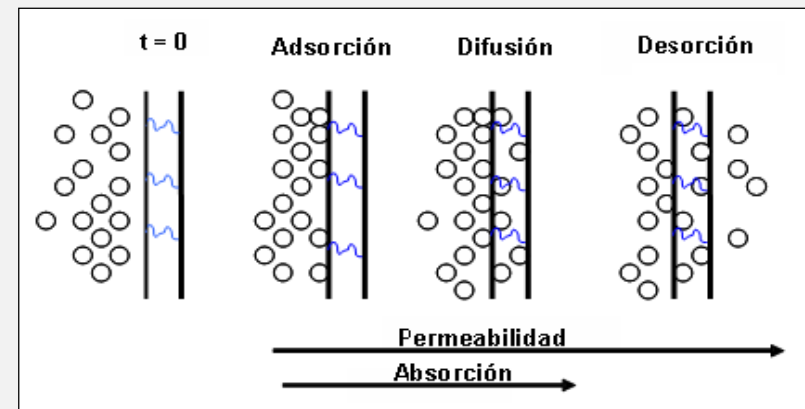
Segunda ley de Fick

$$\frac{dC}{dt} = D \left[\frac{d^2 C}{dz^2} \right]$$

Difusión por vacantes



Difusión intersticial



OBJETIVOS



OBJETIVO GENERAL

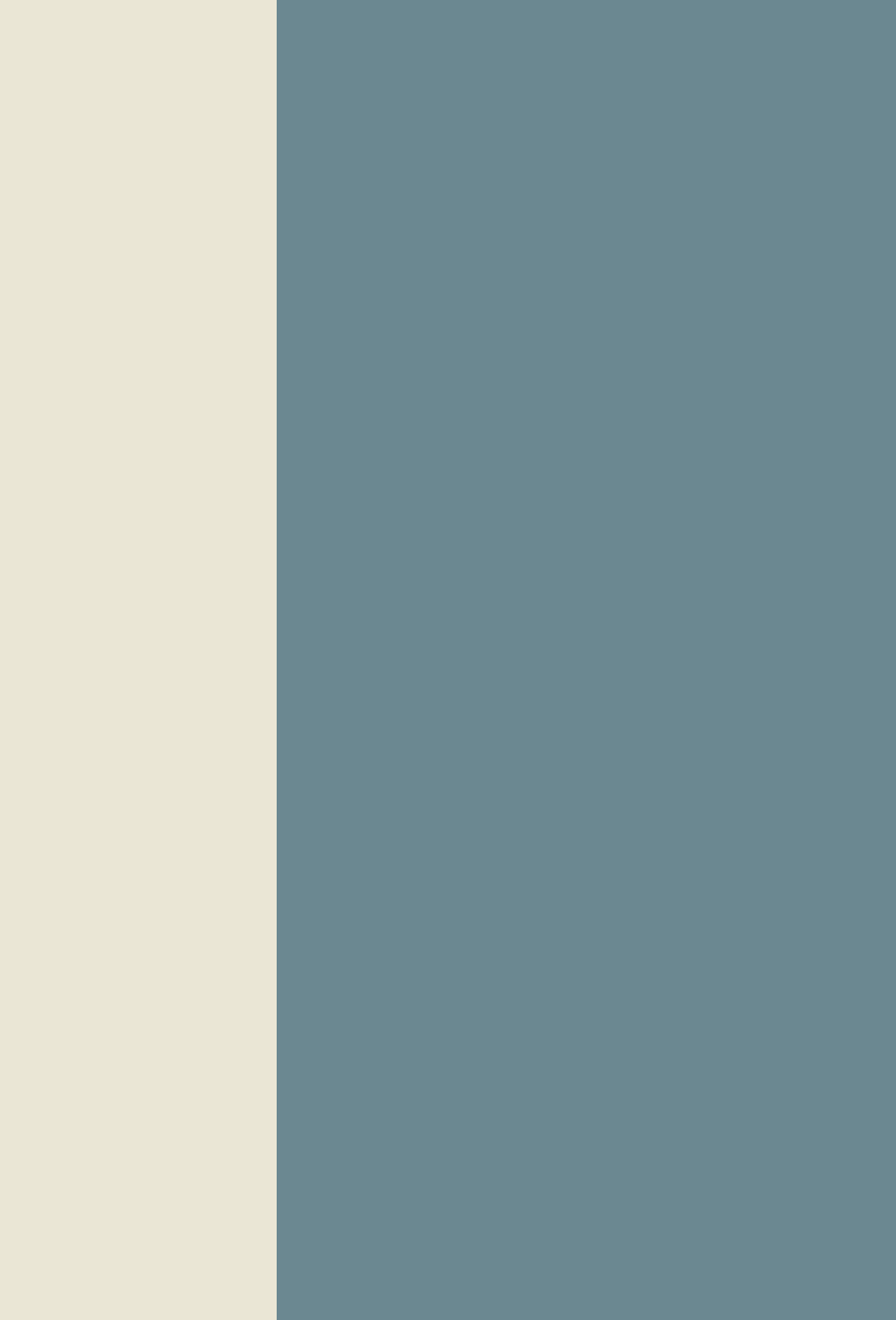
- Aplicar la ley de Fick en los gases que componen la atmosfera modificada de un alimento empaquetado.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Estudiar la ley de Fick

Idear procedimientos para la cuantificación de CO_2 en la atmósfera que recubre a los alimentos.

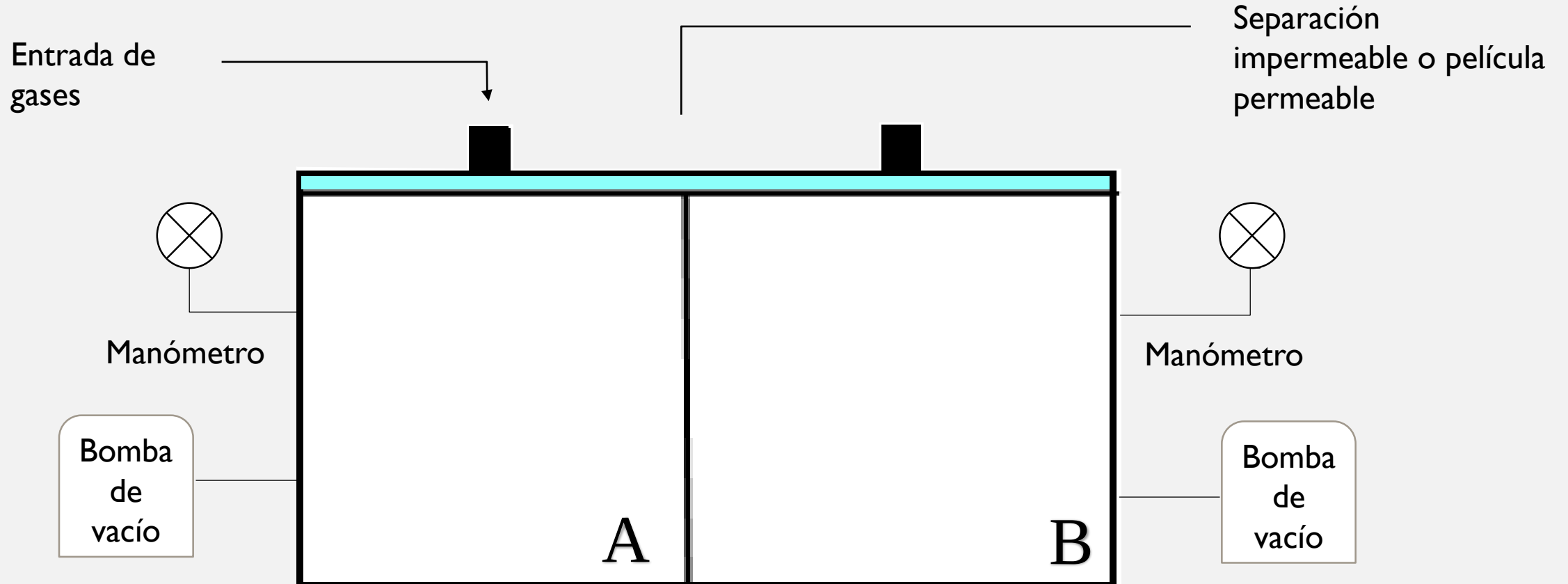
Idear un procedimiento para cuantificar la cantidad del flujo difusivo y el coeficiente de difusión.

The image features two vertical bars on the left side: a thin yellow bar and a wider blue-grey bar. The text is positioned to the right of these bars.

PARTE EXPERIMENTAL

SISTEMA DE DIFUSIÓN

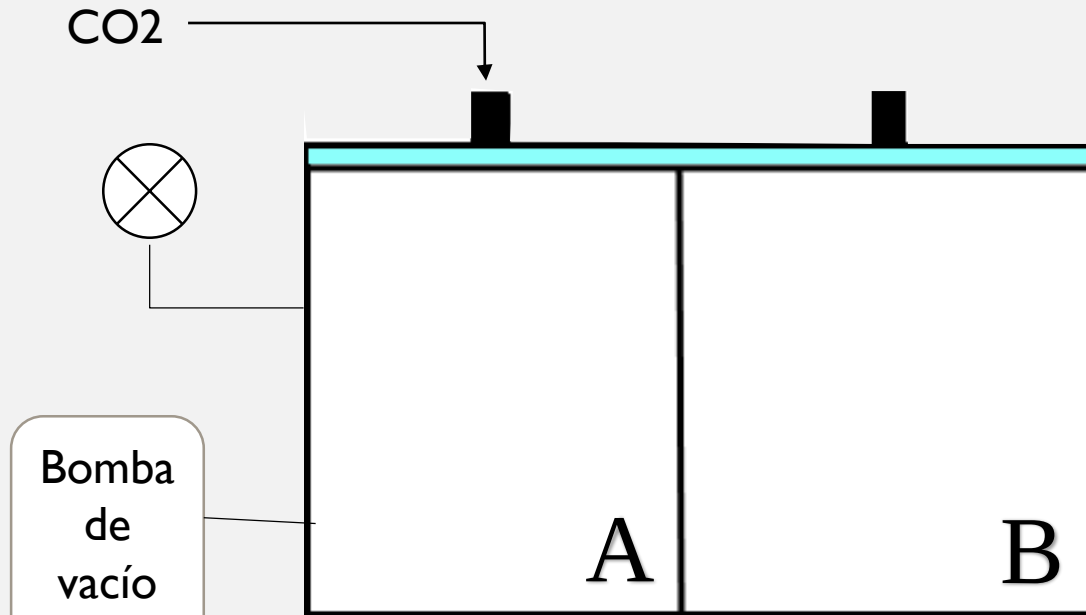
- La cantidad de manómetros y bombas de vacío va a depender del estudio que se desea realizar



DIFUSIÓN POR VACANTE DE CO₂ EN AIRE

Para realizar la experiencia primero hay que comprobar que nuestro equipo de difusión y de medición no presenten fallas en cuanto a impermeabilidad y cuantificación, para esto se lleva a cabo un estudio estadístico para validar el método.

Primero se ingresa un gas puro de CO₂ con una temperatura y presión determinada y con la ecuación de gases ideales se calcula la concentración teórica. Luego con una jeringa se toma una muestra de gas y se cuantifica la concentración experimental a través de la cromatografía de gases.



- Concentración teórica de CO₂

$$PV = nRT \quad (1)$$

$$n = \frac{PV}{RT} \quad (2)$$

$$m = n * PM \quad (3)$$

Estudio estadístico

La medición se realiza en triplicado.

- Precisión

$$CV = \frac{S}{\bar{x}} * 100$$
$$S = \sqrt{\frac{\sum(x - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

- Exactitud

$$E_{abs} = V_{exp} - V_{real}$$

TEORÍA CINÉTICA DE CHAPMAN-ENSKOG

Una vez validado el método, se calcula el coeficiente de difusión de CO₂ frente al aire, donde se tienen los siguientes datos:

Datos	Valores
A	Dióxido de carbono
B	Aire
Temperatura	20°C ; 293,15°K
PM _{CO2}	44 g/mol
PM _{AIRE}	28,96 g/mol
σ _A	3,941
σ _B	3,711
$\frac{\epsilon_A}{K}$	195,2
$\frac{\epsilon_B}{K}$	78,6

Coeficiente de Difusión

$$D_{ab} = \frac{0.002662 * (293,15)^{1.5}}{(34,22)^{0,5} * 14,64 * 1,0129}$$

$$D_{AB} = \frac{0.002662T^{1.5}}{PM_{AB}^{0,5} \sigma_{AB}^2 \Omega_D}$$

$$D_{ab} = 0,1540 \frac{cm^2}{s}$$

Pesos moleculares combinados

$$PM_{AB} = 2 \left[\left(\frac{1}{PM_A} \right) + \left(\frac{1}{PM_B} \right) \right]^{-1}$$

$$PM_{AB} = 2 \left[\left(\frac{1}{44} \right) + \left(\frac{1}{28} \right) \right]^{-1}$$

$$PM_{AB} = 34,22 \frac{g}{mol}$$

Integral de colisión

$$\frac{\epsilon_{AB}}{K} = \left(\frac{\epsilon_A}{K} * \frac{\epsilon_B}{K} \right)^{0.5}$$

$$\frac{\epsilon_{AB}}{K} = (195,2 * 78,6)^{0.5}$$

$$\frac{\epsilon_{AB}}{K} = 123,86$$

Diámetro de colisión

$$\sigma_{AB} = \frac{1}{2} (\sigma_A + \sigma_B)$$

$$\sigma_{AB} = \frac{1}{2} (3,941 + 3,711)$$

$$\sigma_{AB} = 3,826$$

$$\sigma_{AB}^2 = 14,64$$

$$T^* = \frac{T}{\frac{\epsilon_{AB}}{K}}$$

$$T^* = \frac{293,15 K}{123,86}$$

$$T^* = 2,4$$

Según tabla:

$$\Omega_D = 1,01229$$

TABLAS

Parámetros de Lennard – Jones.

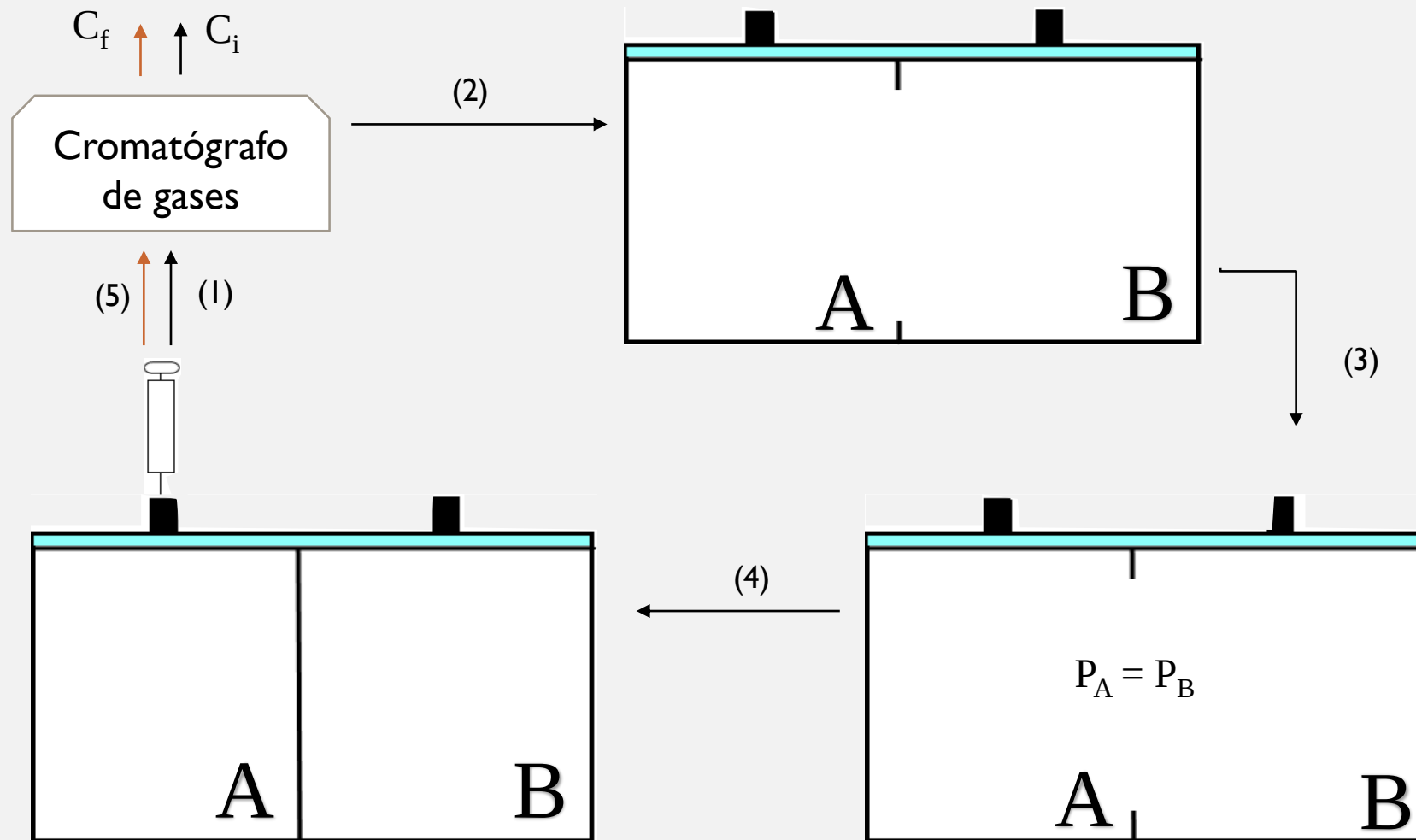
sustancia	σ	ϵ / κ	sustancia	σ	ϵ / κ
	(Å)	(K)		(Å)	(K)
H ₂	2.827	59.7	UF ₆	5.967	236.8
He	2.551	10.22	Hg	2.969	750.0
Ne	2.820	32.8	CH ₄	3.758	148.6
Ar	3.542	93.3	C ₂ H ₆	4.443	215.7
Kr	3.655	178.9	C ₂ H ₄	4.163	224.7
Xe	4.047	231.0	C ₂ H ₂	4.033	231.8
Aire	3.711	78.6	C ₃ H ₈	5.118	237.1
N ₂	3.798	71.4	CH ₃ -CH=CH ₂	4.678	298.9
O ₂	3.467	106.7	CH ₃ -C≡CH	4.761	251.8
H ₂ O	2.649	356	n-C ₄ H ₁₀	4.687	531.4
CO	3.690	91.7	iso-C ₄ H ₁₀	5.278	330.1
CO ₂	3.941	195.2	n-C ₅ H ₁₂	5.784	341.1
COS	4.130	336.0	C(CH ₃) ₄	6.464	193.4
CS ₂	4.483	467.0	n-C ₆ H ₁₄	5.949	399.3
C ₂ N ₂	4.361	348.6	ciclopropano	4.807	248.9
NH ₃	2.900	558.3	ciclohexano	6.182	297.1
NO	3.492	116.7	benceno	5.349	412.3
N ₂ O	3.828	232.4	CH ₃ -OH	3.626	481.8
SO ₂	4.112	335.4	C ₂ H ₅ -OH	4.530	362.6
F ₂	3.357	112.6	CH ₃ -CO-CH ₃	4.600	560.2
Cl ₂	4.217	316.0	CH ₃ -O-CH ₃	4.307	395.0
Br ₂	4.296	507.9	C ₂ H ₅ -O-C ₂ H ₅	5.678	313.8
I ₂	5.160	474.2	CH ₃ Cl	4.182	350.0

Integral de colisión

T^*	$\Omega_{\mathcal{G}}$	T^*	$\Omega_{\mathcal{G}}$	T^*	$\Omega_{\mathcal{G}}$	T^*	$\Omega_{\mathcal{G}}$
0.25	2.8611	1.30	1.2746	2.7	0.9781	4.8	0.8503
0.30	2.6502	1.35	1.2538	2.8	0.9681	4.9	0.8467
0.35	2.4705	1.40	1.2344	2.9	0.9588	5.0	0.8431
0.40	2.3164	1.45	1.2163	3.0	0.9500	6.0	0.8128
0.45	2.1832	1.50	1.1993	3.1	0.9418	7.0	0.7895
0.50	2.0675	1.55	1.1834	3.2	0.9341	8.0	0.7707
0.55	1.9664	1.60	1.1685	3.3	0.9268	9.0	0.7551
0.60	1.8776	1.65	1.1544	3.4	0.9199	10	0.7419
0.65	1.7993	1.70	1.1412	3.5	0.9133	12	0.7201
0.70	1.7299	1.75	1.1287	3.6	0.9071	14	0.7026
0.75	1.6680	1.80	1.1168	3.7	0.9012	16	0.6879
0.80	1.6127	1.85	1.1056	3.8	0.8956	18	0.6753
0.85	1.5630	1.90	1.0950	3.9	0.8902	20	0.6643
0.90	1.5181	1.95	1.0849	4.0	0.8850	25	0.6416
0.95	1.4774	2.00	1.0754	4.1	0.8801	30	0.6236
1.00	1.4405	2.1	1.0576	4.2	0.8753	35	0.6087
1.05	1.4067	2.2	1.0413	4.3	0.8708	40	0.5962
1.10	1.3758	2.3	1.0265	4.4	0.8664	50	0.5758
1.15	1.3474	2.4	1.0129	4.5	0.8622	75	0.5405
1.20	1.3212	2.5	1.0004	4.6	0.8581	100	0.5167
1.25	1.2971	2.6	0.9888	4.7	0.8541	150	0.4850

ETAPAS DEL PROCESO DE DIFUSIÓN

Una vez validado el método se realiza el experimento de difusión.



- (1) Se realiza la primera medición
- (2) Se abre el sistema y se deja difundir
- (3) Se logra el estado estacionario cuando las presiones se igualen
- (4) Se cierra el sistema
- (5) Se realiza la segunda medición

EJEMPLO I

Datos	Valores
Concentración de CO ₂ inicial	5 ppm
Concentración de CO ₂ final	2 ppm
Largo del recipiente	30 cm
Coefficiente de difusión	0,1540 cm ² /s

Flujo difusivo

$$J = -D \frac{\Delta C}{\Delta z}$$

$$J = -D \frac{CO_2 \text{ final} - CO_2 \text{ inicial}}{\Delta z}$$

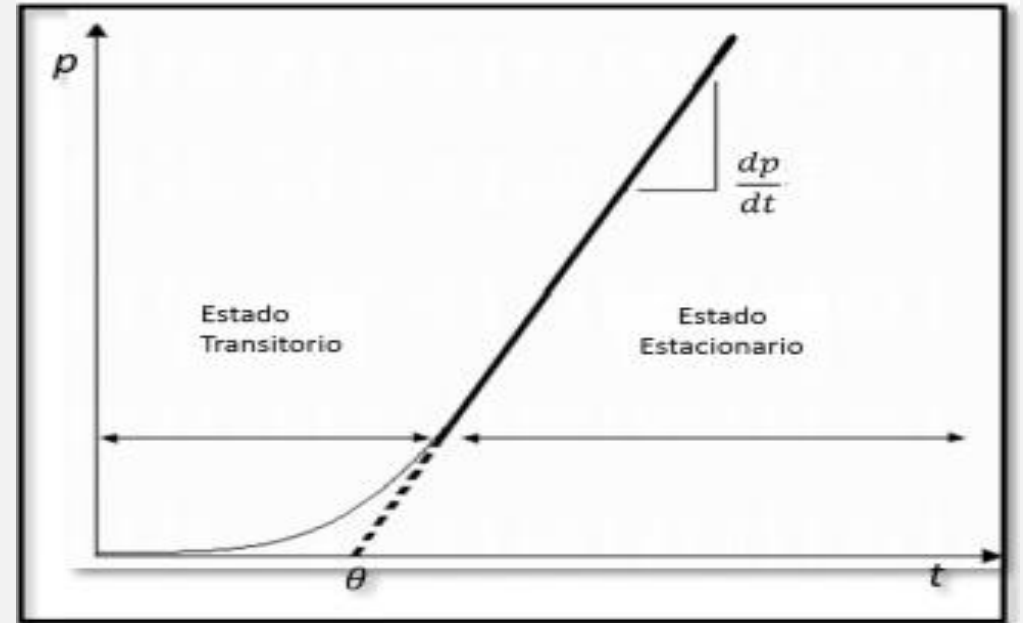
$$J = -0,1540 \frac{\text{cm}^2}{\text{s}} * \frac{0,002 \frac{\text{mg}}{\text{cm}^3} - 0,005 \frac{\text{mg}}{\text{cm}^3}}{30 \text{ cm}}$$

$$J = 0,0000154 \frac{\text{mg}}{\text{cm}^2 * \text{s}}$$

DIFUSIÓN INTERSTICIAL DE CO₂ A TRAVÉS DE PELÍCULA PERMEABLE

Para esta experiencia se utilizará una película permeable con el fin de estudiar el fenómeno de difusión intersticial. En primera instancia se utiliza el método del tiempo de retardo para calcular el coeficiente de difusión de un gas frente a una película permeable. El método del time lag consiste en utilizar el cambio de presión que ocurre al pasar gas a través dos celdas que se encuentran separadas por una membrana permeable para posteriormente con la utilización de fórmulas determinar los coeficientes de difusión

Luego se mide la concentración de CO₂ directamente al alimento empaquetado con un medidor de gases específico para alimentos empaquetados con atmosfera modificada, esta corresponde a la concentración inicial. A continuación se espera un tiempo determinado y se realiza una segunda medición que corresponde a la concentración final.



EJEMPLO 2

Datos	Valores
presión inicial	1520 mmHg
Presión final	760 mmHg
Tiempo de retardo	5 segundos
Espesor del polímero (l)	3,2 mm
Largo del polímero	10 cm
Altura del polímero	15 cm
Área efectiva de permeación	150 cm ²
Volumen de las celdas	4 L
Concentración inicial	4,5 ppm
Concentración final	3,2 ppm

Coeficiente de difusión:

$$D = \frac{l^2}{6\theta}$$

$$D = \frac{(0,32 \text{ cm})^2}{6 * 5 \text{ s}}$$

$$D = 0,0034 \frac{\text{cm}^2}{\text{s}}$$

Flujo difusivo

$$J = -D * A * \frac{\Delta C}{e}$$

$$J = 0,0034 \frac{\text{cm}^2}{\text{s}} * \frac{0,0045 \frac{\text{mg}}{\text{cm}^3} - 0,0032 \frac{\text{mg}}{\text{cm}^3}}{0,32 \text{ cm}}$$

$$J = 0,00001386 \frac{\text{mg}}{\text{cm}^2 * \text{s}}$$

DISCUSIÓN

El primer experimento está diseñado para validar que el sistema de difusión no presente fugas y que el equipo de cromatografía esté cuantificando correctamente, haciendo un estudio estadístico de la exactitud y precisión de los datos.

En el segundo experimento se realiza una difusión intersticial. En primera instancia, se determinan los coeficientes de difusión con el método del tiempo de retardo y finalmente se puede conocer el flujo difusivo del dióxido de carbono en la atmósfera modificada del alimento hacia el exterior del empaquetado.

A 3D-rendered puzzle with white interlocking pieces. One piece in the center is red. Overlaid on the red piece is a black rectangular box with a white border. Inside the box, the word "CONCLUSIÓN" is written in white, uppercase, sans-serif font.

CONCLUSIÓN