

# Diseño de un tubo de retención para la fabricación de un jugo de naranja y zanahoria estabilizado con goma xantana y CMC

## Design of a retention tube for the manufacture of an orange and carrot juice stabilized with xantana and CMC gum

Gabriela Diaz<sup>1</sup>, Iris Espinosa<sup>1</sup>, Alberto Tuy<sup>1</sup>, Estrella Villalaz<sup>1</sup>, Lloyd Gardner<sup>1</sup>, Salvador Rodriguez<sup>1\*</sup>,  
<sup>1</sup>Licenciatura en Ingeniería en Alimentos, Facultad de Ciencia y Tecnología  
<sup>1\*</sup> Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de Panamá

**Resumen** Este proyecto se basa en la utilización de aditivos alimentarios para mejorar la viscosidad de un producto y diseñar un sistema para la producción de este. Nuestro producto es un jugo natural de zanahoria y naranja, al cual se le añade goma xantana y carboximetil celulosa (CMC) como aditivo y luego se hicieron los cálculos pertinentes para poder diseñar el sistema de producción para el mismo, específicamente, el tubo de retención. Además, evaluamos cómo estos aditivos pueden mejorar el mezclado de la zanahoria y la naranja, ya que originalmente el jugo presenta dos fases.

**Palabras clave** Aditivos alimentarios, goma xantana, CMC, tubo de retención.

**Abstract** This project is based on the use of food additives to improve the viscosity of a product and design a system for its production. Our product is a natural carrot and orange juice, to which Xantana gum and CMC are added as an additive, and then the pertinent calculations were made to be able to design the production system for it, specifically, the retention tube. In addition, we evaluated how these additives can improve the mixing of carrots and oranges, since the juice originally had two phases.

**Keywords** Food additives, Xanthan gum, CMC, retention tube.

\* Corresponding authors: salvador.rodriguez@utp.ac.pa

### 1. Introducción

Un aditivo alimentario es cualquier sustancia que no se consume normalmente como alimento, ni tampoco se usa como ingrediente básico en alimentos, tenga o no valor nutritivo, y cuya adición intencionada al alimento con fines tecnológicos (incluidos los organolépticos) en sus fases de fabricación, elaboración, reparación, tratamiento, envasado, empaquetado, transporte o almacenamiento, resulte o pueda preverse razonablemente que resulte (directa o indirectamente) por sí o sus subproductos, en un componente del alimento o un elemento que afecte a sus características [1].

En la industria alimentaria se hace uso de distintos aditivos para mejorar el producto final, ya sea para extender la vida útil del producto, mejorar las características y propiedades de este como la viscosidad (al tratarse de un fluido), sabor, color, entre otros.

El presente trabajo trata sobre mejorar la viscosidad de un jugo empleando dos aditivos diferentes, xantana y CMC (carboximetilcelulosa), que son polisacáridos que cumplen la función de estabilizar y emulsionar sustancias para que se presente en una sola fase [2], y diseñar un tubo de retención

para simular el procesamiento de este jugo. Los fluidos en plantas de procesamiento de alimentos son transportados por medio de tuberías. Un sistema de tuberías para el transporte de fluidos generalmente se diseña tomando en cuenta componentes esenciales como son: acero inoxidable, diámetro, que puede variar entre dos a diez centímetros, dependiendo de las características físicas del fluido, una válvula accionada por aire para controlar el caudal del líquido y más importante, el diseño del sistema de tuberías debe contribuir a mantener buenas prácticas de higiene al tratar el producto [3].

Para el diseño del sistema de tubería para el procesamiento de este producto, se partió de las propiedades físicas del fluido, como la densidad y viscosidad y los números adimensionales de Reynolds, Prandtl, Nusselt, Fourier y Biot.

Las características de flujo para un flujo laminar están determinadas por las propiedades del líquido, el caudal y las dimensiones de la interface líquido- sólido. Al incrementarse el flujo másico, las fuerzas de momento o inerciales incrementan, estas a la vez son retenidas por fuerzas de fricción o viscosidad propias del líquido. Cuando estas fuerzas opositoras alcanzan un cierto tipo de equilibrio, comienzan a

cambiar las características de flujo en el líquido. Por los experimentos llevados a cabo por Osborne Reynolds, las fuerzas inerciales están dadas en función de la densidad del líquido, el diámetro del tubo y la velocidad promedio del líquido; las fuerzas viscosas están dadas en función de la viscosidad del líquido. El número de Reynolds (NRe) está definido como la relación de las fuerzas inerciales y viscosas en un fluido. Este número permite conocer la energía que se disipa por efecto de fuerzas viscosas. Valores menores o iguales a 2100 en el número de Reynolds indican un flujo laminar, entre 2100 y 4000 sería un flujo de transición y mayor a 4000 indica que el flujo es turbulento [3].

El flujo de un fluido dentro de un sistema de tuberías desarrolla un perfil de velocidad. Del mismo modo, se desarrolla un perfil de temperatura a medida que el líquido fluye por la tubería. Este perfil de temperatura se desarrolla debido a que el contacto del fluido con las paredes de la tubería alcanza la temperatura de la pared, estableciéndose un gradiente de temperatura y desarrollándose una capa límite de temperatura ver figura 1.

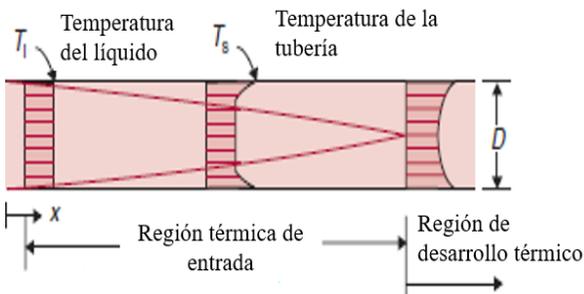


Figura 1. Región térmica de entrada para un líquido fluyendo en una tubería.

Al final de la región térmica de entrada, la capa límite se extiende a lo largo del eje central de la tubería. Por lo tanto, cuando se calienta o enfría un fluido al pasar por una tubería, se desarrollan dos capas límites, una hidrodinámica y otra térmica. Estas capas tienen una gran influencia en la tasa de transferencia de calor entre la superficie de la tubería y el fluido. Mediante un acercamiento empírico, se puede determinar esta tasa de transferencia de calor convectivo haciendo uso de los números de Reynolds, descrito anteriormente, Nusselt y Prandtl. El número de Nusselt (NNu) es un número adimensional para la tasa de transferencia de calor causada por convección sobre la conducción. El número de Prandtl (NPr) describe el espesor de la capa límite hidrodinámica, comparada con la capa térmica y se define como la relación entre la difusión molecular del momento y la difusión molecular del calor. Si  $NPr = 1$ , entonces el espesor de la capa hidrodinámica y térmica límite son iguales, pero si  $NPr \ll 1$  entonces la difusión molecular del calor será más grande que la del momento, por lo que el calor se disipará más rápido [3].

El número de Fourier (NFo) caracteriza la conducción de calor. Conceptualmente, es la relación entre la velocidad de la conducción de calor y la velocidad del almacenamiento de energía. El número de Biot (NBi) es usado para realizar cálculos de transmisión de calor. Este número establece la relación de transferencia de calor por conducción en la materia, así como también la transferencia de calor por convección en la superficie de esta.

## 2. Metodología

En la figura 2 se muestra el diagrama de flujo del Proceso para crear las muestras que se estudiarán y sus propiedades.

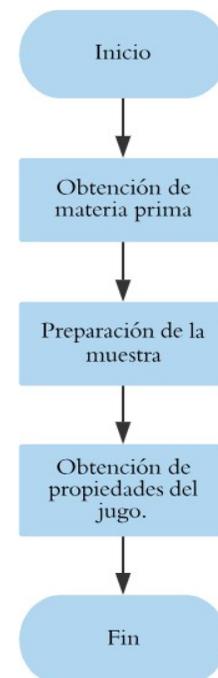


Figura 2. Diagrama de flujo.

### 2.1 Obtención de la materia prima

El jugo de zanahoria se obtuvo triturando la zanahoria en una licuadora para posteriormente colar el zumo, evitando que queden partículas grandes. El jugo de naranja es extraído de la naranja primeramente cortando la naranja en dos y extrayendo las semillas que puedan encontrarse, para luego exprimir la fruta y colar el zumo.

### 2.2 Preparación de la muestra

Preparación del jugo de zanahoria con naranja y carboximetil celulosa ver figura 3 y figura 4.

- Se agrega 20 ml de jugo de naranja y 20 ml de jugo de zanahoria a una probeta de 100 ml, colocar los 40 ml de jugo de naranja con zanahoria en un vaso químico de 100 ml.

- Medir 25 ml de agua en una probeta de 100 ml.
- Calentar los 25 ml de agua en una olla hasta 80 °C.
- Añadir 0.08 g de carboximetil celulosa al agua.
- Agitar hasta disolver todas las partículas del CMC.
- Añadir la disolución de CMC al jugo de naranja con zanahoria.
- Agitar.

### 2.3 Preparación del jugo de zanahoria con naranja y goma xantana

- Se agrega 20 ml de jugo de naranja y 20 ml de jugo de zanahoria a una probeta de 100 ml, colocar los 40 ml de jugo de naranja con zanahoria en un vaso químico de 100 ml.
- Medir 25 ml de agua en una probeta de 100 ml.
- Calentar los 25 ml de agua en una olla hasta 80 °C.
- Añadir 0.3 g de goma xantana al agua ver figura 5.
- Agitar hasta disolver todas las partículas de la goma xantana.
- Añadir la disolución de la goma al jugo de naranja con zanahoria.
- Agitar ver figura 6.

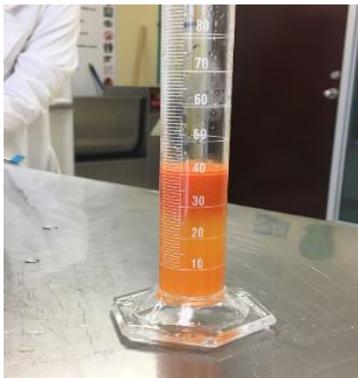


Figura 3. Jugo de zanahoria con naranja sin aditivos.



Figura 4.: Carboximetil celulosa (CMC).



Figura 5. Goma Xantana.

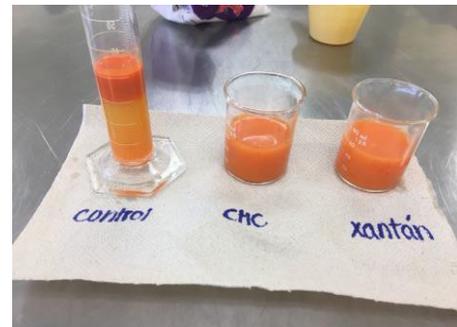


Figura 6. Muestras del jugo de naranja con zanahoria.

### 2.4 Propiedades del jugo de naranja con zanahoria

Densidad:

- Pesar el líquido en una balanza.
- Dividir el peso del jugo entre su volumen (65 ml)

Viscosidad:

- Medir el radio de la esfera (utilizar un vernier).
- Vertir el líquido a una probeta de 25 ml.
- Dejar caer la esfera en el líquido contenido la probeta y determine el tiempo requerido.
- para que la esfera se desplace entre dos puntos de distancia conocida de la probeta.
- Determinar la velocidad de la esfera dividiendo el desplazamiento entre el tiempo medido.
- Utilizar la siguiente fórmula:

$$\mu = \frac{2(PS-P1)ga^2}{9v} \quad (1)$$

## 3. Resultados

En la tabla 1 se presentan los resultados de pruebas fisicoquímicas aplicadas al jugo de naranja-zanahoria para determinar el contenido nutricional. Estos resultados son iguales para ambas muestras (CMC y xantán), pues los estabilizantes no representan una adición calórica significativa.

**Tabla 1.** Contenido nutricional

Macronutriente	Porcentaje (%)
Carbohidratos (XH)	10.2
Proteínas (XP)	1.0
Grasas (XF)	0.25
Cenizas (XA)	0.75
Agua (XW)	87.8

A partir de estos resultados, se calcula el calor específico (Cp) y (K), mediante las ecuaciones:

Número de Biot: conductividad superficial

$$K=0.25X_h+0.155X_p+0.16X_r+0.135X_a+0.58X_w \quad (2)$$

$$C_p=1,424X_h+1.549X_p+1.675X_r+0.837X_a+4.187X_w \quad (3)$$

Los resultados fueron los siguientes:

$$C_p=3.85 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \quad \text{y} \quad K=0.54 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}}$$

Mediante métodos de volumetría y gravimetría y el método de la bola que cae, se determinó la densidad y viscosidad del jugo con goma xantana y CMC, presentadas en la tabla 2:

**Tabla 2.** Densidad y viscosidad de jugos con goma xantana

Propiedad	Xantana	CMC
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	861.54	876.92
Viscosidad (Pa*s)	0.070	0.064

A partir de los datos de las tablas 1 y 2, se calculan propiedades de los fluidos a partir de los números adimensionales. Los resultados se muestran en la tabla 3:

Número de Reynolds: determina fuerza inercial y viscosa de un fluido.

$$N_{Re} = \rho * v * L \mu \quad (4)$$

Número de Prandtl: convección forzada y natural

$$N_{Pr} = \mu * C_p K \quad (5)$$

Número de Nusselt: coeficiente de conductividad

$$N_{Nu} = 2 + 2.82 \times 10^{-3} * N_{Re}^{1.16} * N_{Pr}^{0.89} \quad (6)$$

h: coeficiente de transferencia de calor

$$h = N_{Nu} * K D_c \quad (7)$$

donde Dc: 0.25 mm

Número de Fourier: transferencia de calor

$$N_{FO} = \alpha * t r^2 \quad (8)$$

Donde,

$$\alpha = k_p * C_p \text{ (m}^2\text{/s)}$$

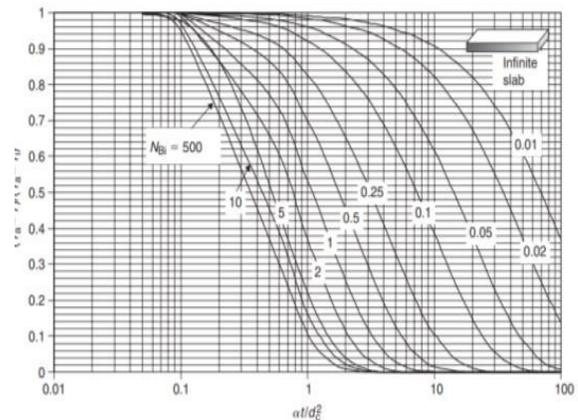
Número de Biot: conductividad superficial

$$N_{BI} = h * L K \quad (9)$$

**Tabla 3.** Números adimensionales

Número	CMC	Xantán
Reynolds	0.34	0.31
Prandtl	0.46	0.50
Nusselt	2.00	2.00
Biot	40.01	40.01
h	4320.87	4320.84
$\alpha$	1.60E-07	1.63E-07

Con la gráfica de temperaturas a continuación, se saca el perfil de temperaturas utilizando el Número de Froude (7) y un rango de tiempo en (s). A partir de este dato, se obtiene la temperatura de muerte térmica, presentados en las tablas 4 y 5.



**Figura 7.** Gráfica del comportamiento del número de Froude.

A partir de datos experimentales, se obtienen valores de tiempo de reducción decimal (D) y grados de reducción de carga bacteriana (z) para el E. coli. Con esto, se determina el factor F de muerte térmica, mediante la ecuación

Donde

El número de Froude se calcula con la fórmula:

$$N_{fr} = t * \alpha L^2 \quad (10)$$

**Tabla 4.** Cálculo de la temperatura del tubo de retención para Xantan

Tiempo (s)	Nfo	Proporción de temperatura	Temperatura (°C)
0	0.000	1	40
20	0.130	0.92	46.8
40	0.260	0.7	65.5
60	0.391	0.48	84.2
80	0.521	0.4	91
100	0.651	0.25	103.75
120	0.781	0.18	109.7
140	0.912	0.13	113.95
160	1.042	0.1	116.5
180	1.172	0.09	117.35
200	1.302	0.06	119.9

**Tabla 5.** Cálculo de la temperatura del tubo de retención para CMC

Tiempo (s)	Nfo	Proporción de Temperatura	Temperatura (°C)
0	0.000	1	40
20	0.128	0.94	45.1
40	0.256	0.62	72.3
60	0.384	0.55	78.25
80	0.512	0.48	84.2
100	0.640	0.31	98.65
120	0.768	0.2	108
140	0.896	0.15	112.25
160	1.024	0.1	116.5
180	1.152	0.09	117.35
200	1.280	0.054	120.41

A partir de datos experimentales se obtienen valores de tiempo de reducción decimal (D) y grados de reducción de carga bacteriana (z) para el *E. coli*.

Con esto, se determina el factor F de muerte térmica, mediante la ecuación 11.

$$F = 12 * D_{121} \quad (11)$$

Donde  
 D = 1.665 s  
 Z = 10°C  
 Por lo tanto:  
**F = 19.98 s**

Luego, se determina la letalidad, a partir de las temperaturas calculadas en la tabla 4 y 5. Utilizando la fórmula 12:

$$Lr = 10^{(T-121)/z} \quad (12)$$

D = 1.665 s Z = 10°C

Por lo tanto:

$$F = 19.98 s$$

Luego, se determina la letalidad, a partir de las temperaturas calculadas en la tabla 4 y 5. Utilizando la fórmula 12:

$$Lr = 10^{(T-121)/z} \quad (12)$$

**Tabla 6.** Determinación de la letalidad a diferentes tiempos para mezcla con goma xantán

t (s)	T(°C)	LR
0	40	7.94E-09
20	46.8	3.80E-08
40	65.5	2.82E-06
60	84.2	0.0002
80	91	0.0010
100	103.75	0.02
120	109.7	0.07
140	113.95	0.20
160	116.5	0.35
180	117.35	0.43

**Tabla 6.** Determinación de la letalidad a diferentes tiempos para mezcla con CMC

t(s)	T(°C)	LR
0	40	7.94E-09
20	45.1	2.57E-08
40	72.3	1.35E-05
60	78.25	5.31E-05
80	84.2	0.00
100	98.65	0.01
120	108	0.05
<b>140</b>	<b>112.25</b>	<b>0.13</b>

Para calcular la Letalidad (L) se aplica la fórmula 12:

**Donde LR < 1**

**(El último tiempo donde se aplique la condición, será tmáx)**

L restante es el tiempo de letalidad añadido para cada proceso. Se determina con la fórmula 13:

$$L_{\text{restante}} = F - L \quad (13)$$

Por lo que es requerido encontrar el tiempo necesario a través de la fórmula 14:

$$T = L_{\text{restante}} \sum LR \quad (14)$$

Por lo que el tiempo total de residencia en el tubo será:

$$T_{\text{residencia}} = tmáx + t \quad (15)$$

T=(min)

Se aplicará un caudal de 1.5 Litros/hora, por lo que se aplica la fórmula:

$$\bar{u} = Q / \pi r^2 \quad (16)$$

$\bar{u}$  =(metros/min)

Al ser un flujo laminar, se utiliza:

$$\bar{u} = \bar{u}0.5 \quad (17)$$

$\bar{u}$  =(metros/min)

Por último, para determinar la longitud del tubo de retención, se aplica:

$$\text{Longitud} = \bar{u} \cdot t \text{ residencia} \quad (18)$$

**Tabla 8.** Determinación de la longitud del tubo de retención para mezcla con goma xantán

<b>L (s)</b>	12.92
<b>Restante (s)</b>	7.06
<b>T Adicional (s)</b>	10.92
<b>T Residencia (s)</b>	171
<b>T Residencia (min)</b>	2.8
<b>Caudal (m3/h)</b>	1.50
<b>U (m/h)</b>	190.99
<b>U (m/min)</b>	3.18
<b>u laminar (m/min)</b>	6.37
<b>L tubo (m)</b>	18.13

**Tabla 8.** Determinación de la longitud del tubo de retención para mezcla con CMC

<b>L (s)</b>	19.52
<b>Restante (s)</b>	0.46
<b>T Adicional (s)</b>	0.47
<b>T Residencia (s)</b>	180
<b>T Residencia (min)</b>	3.0
<b>Caudal (m3/h)</b>	1.5
<b>U (m/h)</b>	190.99
<b>U (m/min)</b>	3.18
<b>u laminar (m/min)</b>	6.37
<b>L tubo (m)</b>	19.15

#### Análisis de resultados

Tanto con la goma xantán como con el carboximetil celulosa (CMC), se consiguió la homogenización de la mezcla de naranja y zanahoria. Ambos presentan texturas y colores similares. La diferencia entre las densidades y viscosidades es bastante cercana.

Al momento de realizar los cálculos para el tubo de retención, para el producto estabilizado con goma xantán, el tiempo de residencia y la longitud del tubo son menores, a pesar de que su viscosidad es mayor que la muestra con CMC, lo que indica que el aumento de la viscosidad implica una menor longitud del aparato. Sin embargo, es importante considerar factores como muerte térmica y las propiedades organolépticas para esta medida, pues un tubo muy corto implicaría un mayor tratamiento de calor para conseguir la esterilización, y así posibles daños en el producto o la maquinaria por las temperaturas muy elevadas.

## 4. Conclusiones

- Dependiendo del tamaño o longitud del tubo, podemos concluir que de esto depende la calidad del jugo, ya que si el tubo es muy extenso, el jugo podría perder gran parte de sus propiedades.
- A través de los números adimensionales podemos calcular la longitud del tubo de retención que es utilizado para la producción de un jugo.
- Añadiendo los dos tipos de aditivos alimentarios (CMC y goma xantán), pudimos lograr el homogenizado de los jugos y la mejora de la textura.
- Se debe tener en cuenta que, al tener un fluido muy viscoso, este no podría pasar fácilmente por el tubo de retención y podría causar pérdidas en las producción y daños en la maquinaria.

## REFERENCIAS

- [1] Comisión del Codex Alimentarius (CAC). (1995). Última revisión 2016). Norma General para Aditivos Alimentarios. Recuperado de: [http://www.fao.org/gsfaonline/docs/C\\_XS\\_192s.pdf](http://www.fao.org/gsfaonline/docs/C_XS_192s.pdf)
- [2] Comisión del Codex Alimentarius (CAC). (1989. Última enmienda 2015). Nombres Genéricos y Sistema Internacional de Numeración de Aditivos Alimentarios. Recuperado de: [www.fao.org/input/download/standards/13341/CXG\\_036s\\_2015.pdf](http://www.fao.org/input/download/standards/13341/CXG_036s_2015.pdf)
- [3] Singh, P., Heldman, D., (2009), Introduction to Food Engineering, (País), Elsevier. Chapter 2: Fluid Flow in Food Processing, page 67. Chapter 4: Heat Transfer in Food Processing, pages 285 – 287