



Optimización de un Proceso de Congelación en Patacón Congelado IQF

S. Villacreses, P. Castillo

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

Escuela Superior Politécnica del Litoral, Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral, 09-015863

Guayaquil, Ecuador

sara_villacreses@hotmail.com, pcastil@espol.edu.ec

Resumen

El objetivo de este trabajo de investigación es la evaluación de un proceso de elaboración de patacón congelado IQF en una industria. Para esto se realizó un análisis de la situación actual presentada mediante la determinación de causas que producen las fallas en el proceso. Una vez determinada la etapa donde se presentó el mayor porcentaje de defectos, se analizó los motivos que llevan a obtener un producto de menor calidad. Para poder realizar un análisis en el proceso de congelación se tomaron en cuenta tres parámetros en la operación del túnel de congelación: velocidad de aire dentro del túnel, temperatura de entrada del producto al mismo y flujo del producto. Se realizó un monitoreo de datos basados en estos parámetros para determinar y caracterizar el comportamiento del túnel. Este análisis permitió conocer los diferentes casos que se presentaban a diario en el mismo. Una vez estudiados los casos presentados en el túnel IQF, se determinó el tiempo de congelación en minutos necesarios para el proceso. Se realizó un modelo matemático que permita determinar de forma rápida y segura el tiempo necesario de congelación para un caso específico.

Palabras Claves: Túnel de congelación IQF, patacón, velocidad de aire, temperatura, flujo, tiempo de congelación.

Abstract

The objective of this investigation in the evaluation of a process of frozen IQF “patacón” in an industry. An analysis of the actual situation was carried out; through the determination of the causes that made the process fail. Once we determined the stage where the biggest percentage of defects were presented; we analyzed the reason that carried to obtain a less quality product. In order to make an analysis in the freezing process, we considered three parameters in the tunnel’s operation: air velocity in the tunnel, temperature of the product before entering the tunnel and product’s flow into the tunnel. A data monitoring based on these parameters was performed to determined and characterized the behavior of the tunnel. This analysis let know the different cases presented daily on the tunnel. Once these cases were studied, we determined the freezing time in minutes necessary for the process. A mathematical model was realized, this model allows determining quickly and safely the freezing time that is necessary for each specific case.

Key Words: Freezing IQF tunnel, patacón, air velocity, temperature, flow, freezing time.

1. Introducción

El plátano verde es uno de los cultivos de mayor extensión y producción en el Ecuador, su consumo ha sido ancestral principalmente internamente. La presión de la demanda étnica en países como Estados Unidos y otros en Europa, han estimulado la producción de plátano de buena calidad para la exportación, esto ha requerido que se utilicen métodos de conservación del mismo sin alterar las características organolépticas del producto en su estado original.

En la actualidad uno de los métodos de conservación más usados para alimentos sin que estos pierdan sus características propias, es la congelación.

2. Análisis del Caso

2.1 Situación Actual

La tabla 1 muestra que la producción de patacón ha disminuido debido al decrecimiento de pedidos de producto, sin embargo el rendimiento del mismo se mantiene cercano al 41 %. Por lo que el objetivo de este sector industrial es incrementar el rendimiento, mediante la disminución de la merma, y mejorar la calidad final del producto.

Tabla 1. Producción de Patacón Congelado IQF en el año 2007.

AÑO 2007	Producción (TM)	MP (TM)	CASCARA (TM)	MERMA (TM)	RENDIMIENTO %
Enero	455,00	1.110,50	555,25	100,25	40,97%
Febrero	522,00	1.254,00	627,00	105,00	41,63%
Marzo	435,00	1.050,00	525,00	90,00	41,43%
Abril	328,00	788,00	394,00	66,00	41,62%
Mayo	389,00	930,00	465,00	76,00	41,83%
Total	2.129,00	5.132,50	2.566,25	437,25	41,48%

2.2 Identificación de Problemas de Calidad

Los defectos de calidad registrados en el producto final se presentan en la tabla 2, los cuales son producto aguado, pegado, crudo y no uniforme.

Tabla 2. Defectos de calidad de patacón congelado IQF

Porcentaje de Defectos				
Merma	Producto Aguado	Producto poco uniforme	Producto Crudo	Producto Pegado
8.40%	5.20%	1%	0.30%	1.90%
100%	61.90%	11.90%	3.57%	22.62%

Es importante reconocer que los dos defectos principales ocurren durante la etapa de congelación. Es decir el análisis de esta etapa, llevará a la detección de causales en la operación del túnel de congelación de lecho fluidizado.

2.3 Descripción de causales de defectos de Calidad en la etapa de congelación

2.3.1 Producto Pegado

En el defecto de producto pegado como se muestra en la figura 1, los causales del mismo son dos factores que son máquina y equipo y procedimiento de operación.

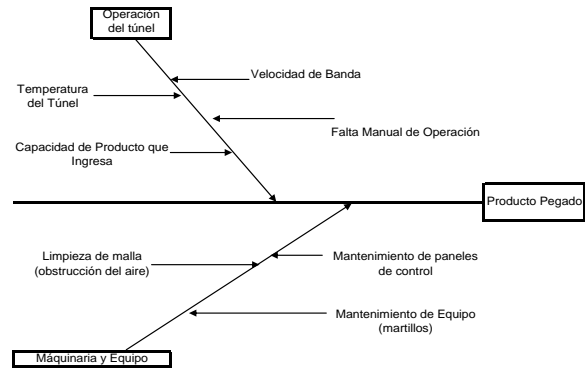


Figura 1. Diagrama Causa Efecto para producto pegado

Operación; este causal es importante debido a que no está determinado el tiempo que debe pasar el producto por el túnel de congelación, de acuerdo al flujo de patacón, cuando pasa mucho producto, para que este no se acumule, el tiempo de retención en las bandas es mínimo, por lo tanto en la primera banda no se logra congelar la superficie del producto, que es lo que ocasiona que el mismo se pegue.

2.3.1 Producto Aguado

Como apreciamos en la figura 2, las causales principales para que se produzca un producto aguado son la capacidad, la temperatura de ingreso del producto al túnel de congelación IQF y el procedimiento de operación.

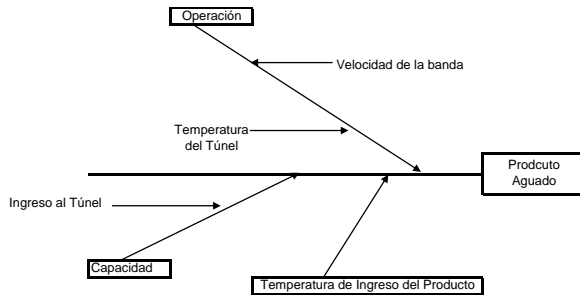


Figura 2. Diagrama Causa Efecto para producto aguado

La falta del manual de procedimiento de operación ocasiona que los operadores manejen el túnel por simple experiencia, sin tener una guía de parámetros de operación para cada cantidad de producto que ingresa en el mismo.

La temperatura de Ingreso del Producto al Túnel de congelación es un factor de suma importancia, ya que de la temperatura con que ingresa el producto, depende su temperatura de salida, y si esta es demasiado elevada para congelar el producto se necesitaría un mayor tiempo de residencia en el mismo, este aumento del tiempo de retención en las bandas del túnel, ocasiona acumulación de producto y disminución de la eficiencia de operación, por lo que la solución tomada en la industria es operar el túnel siempre con los mismos parámetros y dejar el producto no totalmente congelado, para que se termine de congelar en la cámara de almacenamiento.

3. Materiales y Métodos

3.1 Descripción del Túnel IQF

El congelador utilizado en este estudio, es de marca FRIGOSCANDIA™.

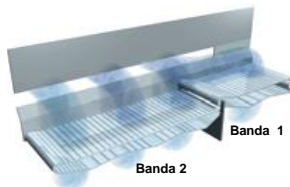


Figura 3. Túnel de Congelación

3.2 Determinación de Parámetros

Se tomaron en cuenta tres parámetros: velocidad del aire en el túnel en las dos bandas, temperatura

tanto de entrada como de salida del producto al túnel IQF, y capacidad del mismo.

Velocidad del aire: se dividió el túnel en dos secciones, como se observa en la figura 3 es decir se registraron las velocidades de aire en dos puntos distintos del túnel que fueron en el centro de cada banda, esto se hizo para tomar dicha velocidad siempre en el mismo punto del túnel y no tener variaciones en el registro, el cual se llevó a cabo cada hora.

Temperatura: se tomaron tres distintas temperaturas, temperatura del producto a la entrada del túnel, temperatura del producto a la salida del túnel y temperatura del aire dentro del túnel.

Capacidad: se realizó un estudio de tiempos, que consiste en determinar el tiempo que se demora un operador en realizar cada tarea en el proceso de patacón congelado y a las distintas horas del día. Para llevar a cabo un registro completo se tomaron los datos de capacidad por cada hora de proceso.

3.2 Determinación de Tiempos de Congelación

El tiempo de congelación de un producto depende de su naturaleza y del procedimiento empleado. Para un producto determinado, de forma y tamaño definidos, el tiempo de congelación depende solamente de las características del proceso, por lo que se hace necesario conocer en detalle la composición del producto.

3.2.1 Composición del Producto

Para determinar la temperatura a la cual comienza a cambiar de estado el alimento, es presentada como temperatura de depresión de una solución ideal

$$\ln X_a = \frac{\lambda}{R} 0,018 \left(\frac{1}{T_{ao}} - \frac{1}{T_a} \right)$$

Ecuación 1

La ecuación 1 demuestra la relación entre la fracción mol de agua (X_a) dentro del producto y la temperatura absoluta (T_a) a la cual la formación de cristales ocurre como una función del calor latente de fusión (λ) y la constante universal de los gases (R).

Para determinar la fracción masa de agua no congelada en el alimento (X_a) se utiliza la ecuación 2 que indica una relación masa/ peso molecular del agua y los sólidos del producto.

$$Xa = \frac{ma/Ma}{ma/Ma + mb/Mb}$$

Ecuación 2

3.2.2 Cálculo de Propiedades Térmicas

Para el cálculo de las propiedades térmicas del patacón se utilizó la composición de la tabla 3; los coeficientes para calcular las propiedades de los alimentos de las fórmulas de Choi and Okos (1986), además de las siguientes fórmulas descritas a continuación:

Tabla 3. Composición del Patacón

Composición Plátano Verde Frito		
Humedad	g%	55,4
Materia Seca	g%	44,6
Grasa	g%	4,87

Calor Específico: capacidad de un material para almacenar energía interna en forma de calor. Conociendo el calor específico de cada componente de un alimento es suficiente para predecir el calor específico del mismo.

$$Cp = cp_{nocong}m_{nocong} + cp_{hielo}m_{hielo} + cp_{carb}m_{carb} + cp_{gram}m_{gra}$$

Ecuación 3

Densidad: es una magnitud referida a la cantidad de masa contenida en un determinado volumen.

$$\frac{1}{\rho} = \frac{m_{nocong}}{\rho_{nocong}} + \frac{m_{hielo}}{\rho_{hielo}} + \frac{m_{gra}}{\rho_{gra}} + \frac{m_{car}}{\rho_{car}}$$

Ecuación 4

Conductividad Térmica: propiedad física de los materiales que mide la capacidad de conducción de calor.

$$k = k_{nocong}m_{nocong} + k_{hielo}m_{hielo} + k_{car}m_{car} + k_{gra}m_{gra}$$

Ecuación 5

3. 2.3 Cálculo de Tiempo de Congelación

Para esta investigación se utilizó la ecuación de Clealand and Earle, este método utiliza los siguientes números adimensionales:

Numero de Biot: es el ratio entre resistencias conductivas y convectivas en los alimentos.

$$Bi = \frac{hL}{K}$$

Ecuación 6

$$h = 6.8 + 0.85 v$$

Ecuación 7

Donde:

h: Coeficiente de transferencia de calor

v: Velocidad del Aire

L: Longitud menor

K: Conductividad Térmica

Stephan

$$\Delta H^m = m_{hielo} * \lambda$$

Ecuación 8

$$Ste = \frac{cp_{hielo} (a - T_{\infty})}{\Delta H^m}$$

Ecuación 9

Donde:

ΔH^m : Entalpía del producto congelado

Plank

$$Pk = \frac{cp_{nocong} (i - T_a)}{\Delta H^m}$$

Ecuación 10

Una vez obtenidos los valores de Stephan y Plank, se determina P y R mediante las siguientes ecuaciones:

$$P = 0.5072 + 0.2018Pk + Ste \left(0.3224Pk + \frac{0.0105}{Bi} + 0.0681 \right)$$

Ecuación 11

$$R = 0.1684 + Ste (0.2740Pk - 0.0135)$$

Ecuación 12

Número de Fourier: es el ratio del tiempo actual al tiempo para alcanzar el estado estacionario.

$$Fo = \frac{\alpha_f}{a^2} = P \frac{1}{BiSte} + \frac{R}{Ste}$$

Ecuación 13

$$\alpha = \frac{k}{cp\rho}$$

Ecuación 14

Donde:

Fo: Número de Fourier

Para calcular el tiempo de congelación en cualquier geometría se emplea la siguiente ecuación:

$$tf = \frac{tf_{placaplana}}{E}$$

Ecuación 15

Debido a que el patacón no tiene una forma exacta, para calcular el factor de equivalencia E y obtener un valor más exacto se empleó el método modificado de Pham, mediante su aproximación a un elipsoide.

Se debe determinar β_1 y β_2 , para esto se estableció el área y volumen del patacón mediante las siguientes ecuaciones:

$A = bxh$ **Ecuación 16**

$V = \pi \cdot 2h$ **Ecuación 17**

$A = \pi\beta_1r^2$ **Ecuación 18**

$V = \pi\beta_1\beta_2r^3$ **Ecuación 19**

Por último para calcular el factor E y poder obtener el tiempo real de congelación del patacón se utilizó la siguiente ecuación:

$$E = 1 + \left(\frac{1 + \frac{2}{Bi}}{\beta_1^2 + \frac{2\beta_1}{Bi}} \right) + \left(\frac{1 + \frac{2}{Bi}}{\beta_2^2 + \frac{2\beta_2}{Bi}} \right)$$

Ecuación 20

El espesor promedio de un patacón es de 7 mm, pero al momento en que el producto entra al túnel de congelación, no lo hace sólo, pues existe un flujo determinado. Para conocer el verdadero comportamiento de los patacones al entrar al túnel se simuló su caída utilizando un pyrex y midiendo la altura que se formó al juntarse unos sobre otros. En el peor de los casos se juntan 4 patacones, obteniéndose una altura de 28 mm.

4. Resultado y Análisis de Resultados

4.1 Estudio de Tiempo

Se establecieron las horas donde existe la mayor cantidad de producto al ingreso del túnel IQF, esta hora, llamada “hora pico” es entre 11 y 12 del día, esto se debe a que en esta hora previa a la hora del almuerzo, los operadores trabajan con mayor rapidez para poder cubrir la producción del día, existiendo una baja considerable durante y después de la hora del almuerzo.

4.1 Velocidad de Aire

Las figuras 4 y 5, correspondientes a la velocidad de aire en la banda 1 y la velocidad de aire en la banda 2 respectivamente, muestran que los datos fuera de los límites corresponden al 20% del total de datos tomados. Mediante estos gráficos se pudo encontrar que la media de velocidad de aire en la banda 1 fue de 8.83 m/s y la velocidad de aire media en la banda 2 fue de 9.86 m/s.

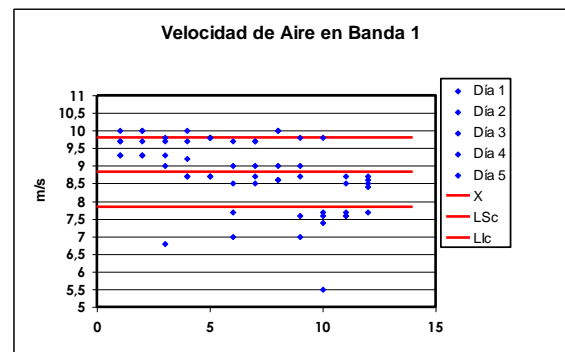


Figura 4. Gráfica de Control de Velocidad de Aire en banda 1 del túnel de congelación

El límite superior crítico encontrado en la banda 1 fue de 9.81 m/s, mientras que el límite inferior crítico encontrado fue de 7.84 m/s.

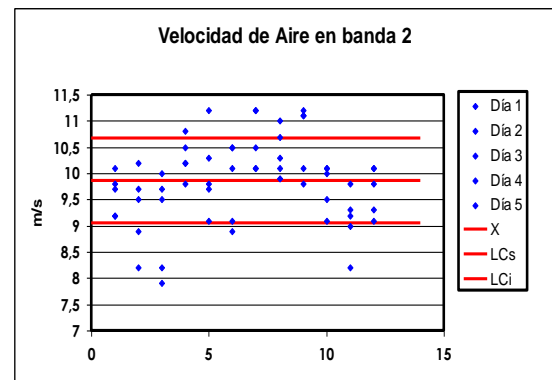


Figura 5. Gráfica de Control de velocidad de aire en banda 2 del túnel de congelación

El límite superior crítico de la banda 2 determinado mediante la figura 4.2 fue de 10.67 m/s, mientras que el límite inferior crítico determinado fue de 9.04 m/s.

Como se observa existe una diferencia de velocidad de aire en ambas bandas de 1.03 m/s, siendo la velocidad de aire en la banda 2 mayor a la velocidad de aire en la banda 1, esto se debe a que la velocidad de la banda 1 es menor a la velocidad de la banda 2, por lo tanto mayor cantidad de producto se acumula en la banda 1, esto conlleva a la disminución de la eficiencia del túnel de congelación, afectando directamente al valor de velocidad de aire.

4.2 Velocidad de Aire vs Tiempo

La figura 6 muestra el comportamiento de la velocidad de aire dentro del túnel a través del tiempo, esta velocidad de aire está dada en m/s. Como se puede observar en la curva la velocidad de aire, esta se mantiene casi constante a través del tiempo, con excepción de la hora 4, determinada anteriormente como hora pico.

Esto se explica porque en esta hora existe mayor cantidad de producto, ocasionando que el mismo se apile, y disminuyendo la eficiencia del túnel de congelación. Por esta razón el producto no sale del túnel de congelación totalmente congelado, si no que sale a la temperatura media de -14°C , ya que al estar apilado su espesor ya no es de 7 mm, si no en los peores casos donde se apilan hasta cuatro patacones es de 28 mm.

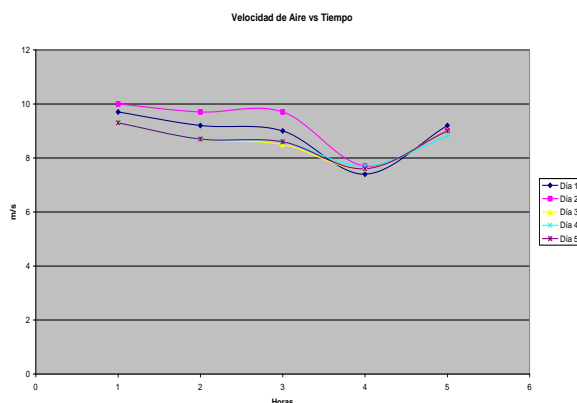


Figura 6. Velocidad de Aire vs Tiempo

4.3 Temperatura de Entrada del producto

En la figura 7 se observa la media de temperatura de entrada del producto al túnel de congelación que dio como resultado un valor de 54°C . Adicionalmente se pudo determinar el límite

superior y el límite inferior crítico, dando como resultado los valores de 59°C y 48°C respectivamente

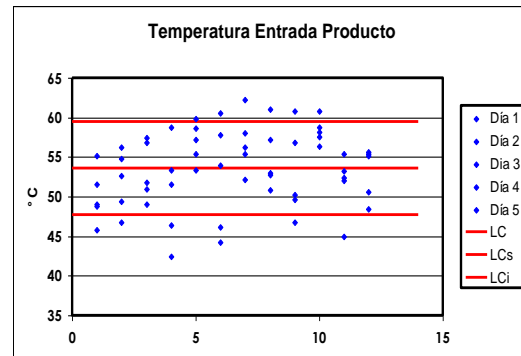


Figura 7. Gráfica de Control de temperatura de entrada del producto al túnel de congelación

4.4 Temperatura de Salida del producto

La media de temperatura de salida del producto al túnel de congelación fue determinada mediante la figura 8, esta dio como resultado un valor de -14°C .

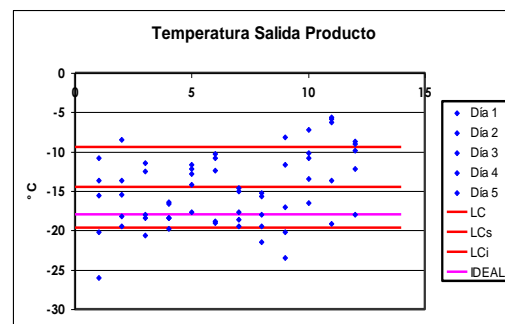


Figura 8. Gráfica de Control de temperatura de salida del producto del túnel de congelación

Es importante reconocer que la temperatura ideal de salida del producto del túnel de congelación es de -18°C .

4.5 Coeficiente de Transferencia de Calor

El coeficiente de transferencia de calor está en función de la velocidad de aire, para realizar la gráfica de control de este parámetro primero se tuvo que obtener el coeficiente de transferencia de calor teórico, mediante la ecuación 7, los resultados se pueden observar en la figura 9 y 10, que corresponden a coeficiente de transferencia de calor en banda 1 y coeficiente de transferencia de calor en banda 2 respectivamente.

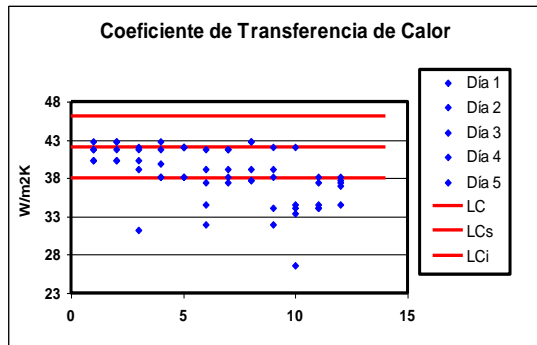


Figura 9. Gráfica de Control de coeficiente de transferencia de calor en banda 1 del túnel de congelación

La media obtenida del coeficiente de transferencia de calor en la banda 1 fue de 42.10 W/m²K, mientras que el límite superior crítico y el límite inferior crítico fue de 46.12 W/m²K y 38.07 W/m²K respectivamente.

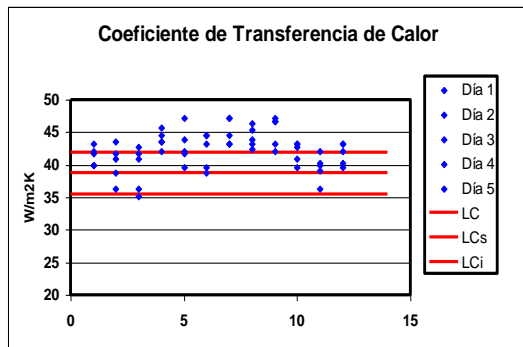


Figura 10. Gráfica de Control de coeficiente de transferencia de calor en banda 2 del túnel de congelación

La media obtenida del coeficiente de transferencia de calor en la banda 2 fue de 46.14 W/m²K, mientras que el límite superior crítico y el límite inferior crítico fue de 49.33 W/m²K y 42.95 W/m²K respectivamente.

4.5 Coeficiente de Transferencia de Calor vs Tiempo

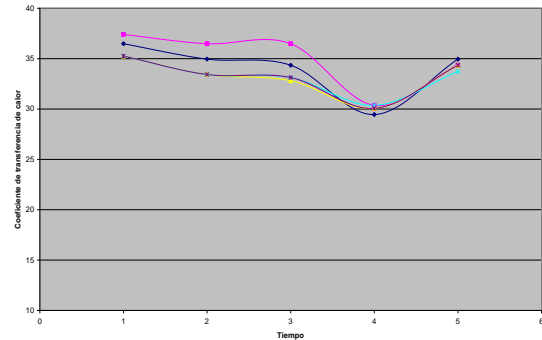


Figura 11. Coeficiente de Transferencia de Calor vs Tiempo

4.5 Flujo vs Tiempo

La figura 12 muestra la relación entre el flujo y el tiempo de operación del túnel, el eje x, indica las horas de operación del mismo, siendo 1 la primera hora de funcionamiento y así sucesivamente, el eje y indica el flujo de patacón dado por kg/h.

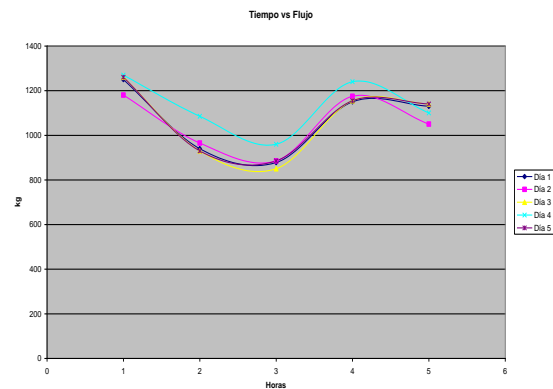


Figura 12 Tiempo vs Flujo

Como podemos observar en la hora 1 es donde ingresa la mayor cantidad de producto, esto se debe a que el túnel comienza a operar cuando existe una cantidad mínima de 1000 kg de patacón, más una vez que comienza a funcionar no se detiene hasta que haya pasado por el todo el producto proveniente del freidor.

A partir de la hora 1 se ve un claro descenso en el flujo de producto, lo cual se puede explicar porque ya no existe una acumulación de producto antes de ingresar el túnel como sucedía en la hora 1.

En la hora 4, que corresponde a las 11 de la mañana se ve un ascenso de ingreso de producto al túnel por lo que podríamos decir que esta es nuestra hora pico. Se puede observar que existe una estrecha relación entre el flujo del producto y la velocidad de aire en el túnel de congelación, siendo en la hora pico, donde hay mayor ingreso de producto y por lo tanto la eficiencia del túnel disminuye, lo que trae como consecuencia la disminución de la velocidad de aire dentro del mismo. Al disminuir la velocidad de aire, disminuye la transferencia de calor en el mismo.

4.5 Desarrollo Manual de Operación del Túnel

4.5.1 Estudio de Casos en la Operación del Túnel IQF

Se realizaron tres gráficas, tomando en consideración los cuatro flujos más repetidos, estos son: 900 kg, 1000 kg, 1100 kg y 1200 kg. Se relacionó el flujo a través del tiempo para obtener una media del comportamiento de cada uno de los mismos.

En la gráfica 13 podemos observar la tendencia del comportamiento para un flujo de 1000 kg.

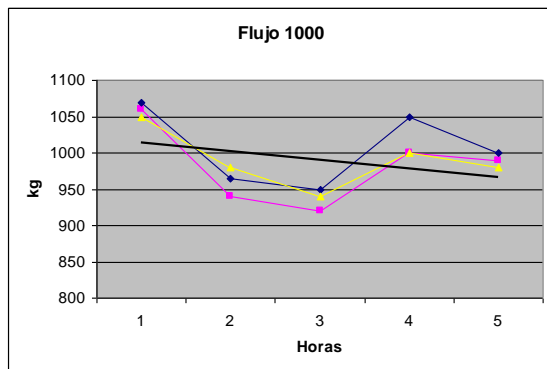


Figura 13. Tendencia comportamiento para un flujo de 1000 kg.

Una vez realizadas estas gráficas, se elaboró una agrupando estas cuatro tendencias, obteniendo un diagrama de relación entre el coeficiente de transferencia de calor y flujo a través del tiempo. Esta relación la observamos en la gráfica 14.

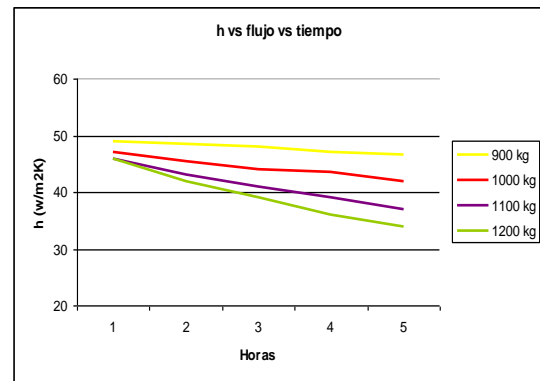


Figura 14. Relación de transferencia de calor y flujo a través del tiempo.

4.5.2 Modelo Matemático

Se elaboró un modelo matemático en donde el operador sólo tiene que ingresar ciertos parámetros y automáticamente obtiene el tiempo necesario de congelación, con este dato, puede operar el túnel IQF mediante velocidad de banda del mismo.

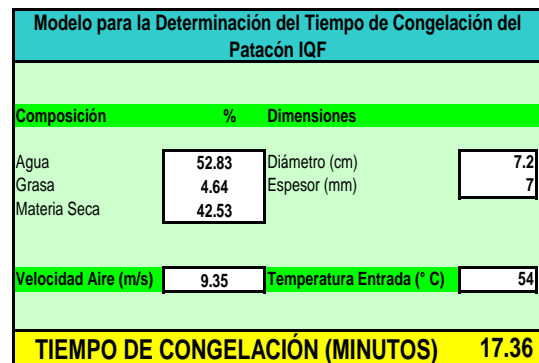


Figura 15. Modelo Matemático

4.5.2 Validación de Resultados

Para validar los resultados obtenidos a lo largo de este estudio, se midió el porcentaje de error obtenido del tiempo calculado mediante nuestro modelo matemático, y el tiempo real obtenido en el proceso para parámetros determinados en un día de trabajo. La tabla 4 muestra los porcentajes de error obtenidos.

Tabla 4 Validación de Resultados

T inicial (°C)	h (W/M ² k)	T final (°C)	tiempo (min)	Tiempo real (min)	% error
48	42,43	20,40	30	34	11,76
49	44,56	20,20	32	35	8,57
53	42,43	15,00	31	35	11,43
49,8	39,23	11,4	32	36	11,11
48,8	35,31	20,20	35	39	10,26
51,6	46,67	17,00	30	32	6,25
52,2	41	12,4	32	36	11,11
49	38,87	20,00	35	37	5,41
49,4	34,96	18,00	37	40	7,50
59	38,16	11,00	38	40	5,00
58,2	39,94	12,40	37	39	5,13
56,2	41	12,00	33	37	10,81

5. Conclusiones y Recomendaciones

De acuerdo a los análisis llevados a cabo a lo largo de este trabajo, se determinó que las causas de la calidad baja en el proceso de elaboración de patacón congelado IQF en una industria, son ocasionadas mayormente por una mala operación en la etapa de congelación, ya que no existe parámetros que indiquen como operarlo de acuerdo al caso que se presente.

Mediante un estudio de tiempo; realizado al inicio de este trabajo, se pudo determinar las llamadas “horas pico”, que son las horas donde existe mayor ingreso del producto al túnel, por lo tanto una disminución considerable en el coeficiente de transferencia de calor. Gracias a esta determinación se relacionó como se comporta el túnel a través del tiempo, determinando cuáles son los parámetros más influyentes en su operación.

En un proceso de congelación existen tres parámetros de suma importancia que son: velocidad de aire en el túnel de congelación, pues de ésta depende el coeficiente de transferencia de calor, que no es más que la velocidad para remover el calor del alimento; temperatura de entrada del producto al túnel, pues mientras es más alta, mayor tiempo tardará el mismo en congelarse y la cantidad de alimento que ingresa al túnel, ya que a mayor cantidad del mismo, la eficiencia de operación va disminuyendo.

El tiempo de congelación determinado en este trabajo para las características del patacón elaborado en la industria nacional es de 17 minutos, siendo este ideal.

Se realizó un modelo matemático que permita de manera rápida y confiable determinar el tiempo de congelación necesario en los diferentes casos presentados en el proceso de elaboración de patacón congelado, de esta manera, se obtienen datos más

precisos reduciendo pérdidas a causa de la baja de calidad del producto.

La validación de resultados demuestra un error promedio del 8.69%, indicando que el modelo matemático desarrollado es una buena herramienta de ayuda para la determinación de tiempos de congelación en este proceso.

La temperatura de entrada del producto al túnel de congelación es uno de los parámetros que influye considerablemente en la remoción de calor del alimento, por esto, se recomienda colocar dos ventiladores en la banda transportadora antes de la entrada al túnel, para disminuir la temperatura del patacón, pues quedó demostrado que 1°C puede influir mucho en el tiempo de residencia de congelación.

Un dato importante a tomar en cuenta, es el espesor del patacón, pues para realizar los cálculos no se debe tomar en cuenta este dato, sino la suma del espesor de dos patacones.

6. Agradecimientos

Mis sinceros agradecimientos a la Ing. Priscila Castillo, por su continuo apoyo y asesoramiento para la realización de este estudio.

7. Referencias

- [1] HELDMAN, DR, Food Properties during freezing, Food Technology, 1982
- [2] PERRY, R Y CHILTON, C, Chemical Engineers Handbook, Quinta Edición, Editorial Mc Graw Hill.
- [3] UNIVERSIDAD CATOLICA DE VALPARAISO, FACULTAD DE RECURSOS NATURALES, ESCUELA DE ALIMENTOS, Tópicos en Transferencia de Calor y Propiedades Termofísicas en Refrigeración y Congelación de Alimentos, Editorial Maval, 1986, Chile.
- [4] INSTITUTO NACIONAL DEL FRIO, Alimentos congelados procesado y distribución. Traducido por León Villanúa Fungairiño, Editorial Acribia S.A Zaragoza, España
- [5] RAMÍREZ JUIDIAS, E; LEÓN BONILLO, MJ. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola de la Universidad de Sevilla. Predicción de Tiempos de Congelación y Descongelación de Alimentos.