

# **Diseño E Implementación De Un Sistema De Control Para El Proceso De Deshidratación De Cárnicos**

**Juan David Maya**

**Email: *juanmaya@javerianacali.edu.co***

**Director:**

**Alexánder Martínez**

## **Resumen**

Este proyecto busca acelerar el proceso de deshidratación de un producto cárnico mediante una estrategia de control la cual se escoge dependiendo del estudio del comportamiento de las variables que afecta directamente este producto.

Para poder entender el comportamiento de las variables implicadas en el proceso de deshidratación, se identifica la teoría disponible en deshidratación de cárnicos y curvas de secado, luego se elabora una base de datos en donde se cruza la información obtenida directamente de los sensores con los datos del producto arrojados por el laboratorio, posteriormente se reconocen los límites en los cuales estas variables pueden interactuar con el producto.

Se usan herramientas informáticas en el diseño de los modelos para obtener una simulación adecuada del comportamiento de estas variables a partir de datos de almacenamiento del producto cárnico y posteriormente identificando dicho comportamiento, se escoge una estrategia de control y se simula para ver si causa algún efecto de aceleración en la deshidratación.

Después de haber detectado la estrategia correcta y de obtener una simulación exitosa, se procede con la implementación de esta estrategia de control detallando cada uno de los componentes implicados y los resultados finales obtenidos.

Finalmente se concluye a partir de los resultados obtenidos y se generan recomendaciones para futuros trabajos que se puedan desarrollar en el tema.

## **Introducción**

Hoy en día las industrias adquieren tecnología para satisfacer de manera rápida y eficaz una demanda de producto que se incrementa con los años de manera exponencial y es así como la industria cárnica en Colombia ha venido tecnificando e innovando en sus procesos para obtener productos en masa sin variar sus estándares de calidad. La importancia de este proyecto radica en que se busca una estrategia de control que se equipare a la de grandes empresas en las cuales el tiempo es esencial para aminorar costos y establecer índices de producción mayores. El origen del proyecto nace de la necesidad de Carnes Frías Enriko de abastecer a un nuevo mercado con un producto saludable en forma de snack, el cual no necesite refrigeración y sea fácil de llevar. Gracias a un estudio y la inversión necesaria para lograr técnica, logística y materialmente el producto, el resultado fue el de kábano deshidratado en forma de snack.

Después de estudiar concienzudamente los datos obtenidos por los cuartos en donde se deshidrata el producto se nota que puede existir una aceleración en la obtención del mismo manipulando los parámetros controladamente. Son pocos los estudios encontrados sobre las estrategias de control para la aceleración de deshidratación de cárnicos y es limitado el avance industrial en la aplicación de estas técnicas ya que cada marca utiliza su propio método artesanal sin importar la cantidad de horas en la etapa de deshidratación. A partir de esta necesidad se establece como objetivo general diseñar e implementar un sistema de control para un cuarto piloto de deshidratación con el fin de acelerar la curva de secado de kábanos. El beneficio primordial es económico ya que si se acelera el secado, se obtiene producto más rápido, el cuarto de deshidratación se puede llenar con más producto llegando así a los índices de productividad esperados y posiblemente sobrepasándolos.

### **1. Marco teórico y conceptual**

Uno de los factores claves que hay que tener en cuenta es la *cinemática del secado*, es de gran utilidad porque permite el estudio del proceso de secado bajo condiciones controladas. Además es esencial para un correcto diseño del proceso de secado, lo que permite obtener un producto de calidad.

Es muy poca la información encontrada acerca de la tecnología empleada para el secado de productos cárnicos y cabe mencionar que el avance tecnológico en esta materia es reducido, el estándar mundial exige un control básico de temperatura y humedad en los cuartos, aunque muchas empresas que producen cárnicos deshidratados lo hacen de una manera más artesanal utilizando equipos que no cuentan con ningún tipo de control. Aun así existe maquinaria para madurado de productos cárnicos que, aun siendo un proceso diferente el cual no lleva a cabo una cocción del producto, comparte técnicas de secado similares y que cuenta con métodos innovadores para acelerar los procesos de obtención. Esta maquinaria de madurado carece de cuartos de almacenamiento, se hace por medio de bandas transportadoras y la mayoría de ellos no ejercen ningún tipo de control sobre las variables que intervienen en el proceso, le ameritan a esto su sabor distintivo ya que el éxito de estos procesos es el toque artesanal que le da la carencia de control.

Hay empresas como Metalquimia que si ejercen estrategias de control sobre las variables para acelerar el proceso de secado en la maduración, estos incluyen un control sobre la temperatura, humedad relativa y velocidad del aire. Aunque son procesos muy diferentes debido a que las estrategias de control utilizadas son más enfocadas al riesgo microbiológico que puede tener un producto que no ha sido sometido al proceso de cocción, se debe hacer énfasis en el uso de una variable importante para el secado o deshidratación que es la velocidad del aire, la cual se puede replicar para este proyecto en la implementación de una estrategia de control robusta para la aceleración del tiempo de deshidratación del kábano (Montserrat Corominas, 2004). Lo anterior permite resaltar que para la realización del proyecto se tomaron diferentes muestras y se observó el comportamiento del producto sometido a diferentes valores de humedad relativa, velocidad de aire y temperatura y dependiendo de este comportamiento se escogió una estrategia de control que aprovechó estas variables y aceleró el proceso de deshidratación para posteriormente en el proyecto detallar la manera más óptima para la construcción de un piloto que optimizó las condiciones con las cuales cuenta Carnes Frías Enriko hoy por hoy.

### **2. Resultados**

Carnes frías Enriko es una planta de manufactura cárnica caleña que decidió poner en venta un producto cárnico deshidratado con el fin de ingresar en el segmento de snack saludable; el proceso

cuenta con 50 horas, cumple con los estándares básicos de calidad a nivel mundial, el control de las variables dentro del proceso de deshidratación es poco robusto ya que es ON/OFF lo cual da a entender que es un proceso el cual puede ser optimizado.

El objetivo general es el diseño e implementación de un sistema de control que acelere la deshidratación de kábano y unos específicos que se explican uno por uno a continuación. Los pasos fueron:

Número uno, análisis de las características y variables que afectan el producto, entre las características están los valores de proteína mayor a 14%, grasa menor a 28% y los valores que establece Carnes frías Enriko de humedad o actividad de agua como también la longitud final del producto que es de 19.5 a 20cm. Para obtener estas características se debe garantizar que las variables se muevan dentro de estos parámetros, humedad relativa de 50 - 70%RH, temperatura de 14 - 19°C, actividad de agua entre los valores que establece la empresa como parámetro de calidad, velocidad del aire de -5 y 5(m/s).

Número dos, se analiza el comportamiento de las variables dentro del cuarto donde se ve afectada la humedad y temperatura por los ciclos de frío y calor dentro del cuarto.

También se confirma la relación que tiene la actividad de agua en ambos lotes de las dos muestras anteriores con el comportamiento del peso en estos mismos dos lotes, su comportamiento es directamente proporcional. Este comportamiento del peso según las curvas de velocidad de secado puede ser mejorado.

Número tres, se explica el diseño y construcción de un sistema de control de las variables anteriormente analizadas. Para este diseño primero se deben modelar las variables anteriores, para esto se usa IDENT de MATLAB, luego se simulan los modelos para comprobar un comportamiento similar al del cuarto de deshidratación, para esta tarea se usa SIMULINK de MATLAB y finalmente se desarrolla el sistema de control que para esta tarea se usa FIS y SIMULINK de MATLAB.

Los datos que se usan para la obtención y validación de los modelos son los datos de la primera muestra en donde se promedian los datos atípicos para evitar el ruido en las muestras y obtener modelos aceptables. Para facilitar el ingreso de los datos a IDENT de MATAB el aire ahora es expresado por un vector que cambia de valor de -5 cuando es ciclo de inyección frío y 5 cuando es ciclo de inyección de calor. La mitad de estos datos se usan para obtener los modelos y la otra mitad para validar que los modelos son aceptables. También se pasa a usar la pérdida de peso en vez del comportamiento del peso dado a que su pendiente positiva facilita la obtención del modelo.

El sistema propuesto para el diseño de control cuenta con dos bloques nuevos, el bloque de reglas de lógica difusa y el bloque de cálculo de velocidad de pérdida de peso que junto con el comportamiento de la humedad y la temperatura hacen parte de la entrada para el conjunto de reglas para la lógica difusa. Aquí se enseña la configuración final del sistema en el cual se recurre al cálculo del error en la velocidad de pérdida de peso para facilitar el desarrollo de las reglas de lógica difusa. Por medio de FIS de MATLAB se desarrolla el sistema de control a partir de los modelos obtenidos anteriormente y del juego de reglas. Las entradas del bloque de lógica difusa son la temperatura, la humedad y en error en la pérdida de peso y la salida es la inyección de aire. Las funciones de membresía para los valores establecidos de temperatura y humedad los cuales están separados por rangos en donde la calidad del producto no se ve afectada, siendo el conjunto normal de en medio el conjunto ideal.

El comportamiento de la temperatura y humedad anterior da como resultado una pérdida de peso más rápida mediante el control difuso, se muestra que en aproximadamente 35 horas se obtiene el peso que anteriormente se obtenía en 50 lo cual indica que virtualmente hay una aceleración en la curva de secado.

Número cuatro, se diseña e implementa un sistema de monitoreo el cual cuenta con una parte de hardware el cual adquiere los datos, y una parte de software el cual interpreta y registra estos datos para posteriormente visualizarlos. La parte de adquisición de datos cuenta con una parte de recepción de datos que mediante una rutina implementada de start stop se sincroniza el hardware utilizado con el ordenador, para esto se hace uso del puerto serie el cual recibe datos codificados provenientes del hardware a una tasa de muestreo definida por el sensor más lento.

Número cinco, se acopla y se deja en funcionamiento un prototipo en donde el control desarrollado sea implementado; para esto se empieza a estudiar los datos obtenidos de los sensores implementados y se evidencia que el comportamiento del cuarto piloto es diferente al simulado en los modelos lo que requiere que se haga un cambio en las reglas de lógica difusa para tener un comportamiento mas aproximado al simulado; además la señal recibida del sensor de peso hizo necesario que se implementaran funciones de promediado para tener datos mas estables de porcentajes de pérdida de peso y cálculos de aproximación discreta de derivada. Se definió que el lote para realizar las pruebas debe tener un peso de 250 gramos.

Se muestran entonces los resultados de la primera prueba pero a pesar de haber cambiado algunas reglas no se presenció ninguna acción de control que propiciara una mejor deshidratación del producto. Así que se generó un cambio adicional en las reglas y el resultado de esto se evidencia en esta gráfica, en la segunda prueba el producto llegó al porcentaje de peso perdido deseado en 40 horas. Se realizó una prueba adicional pero no se usó pantallazos para evidenciar el comportamiento de las variables, en cambio se usaron los datos registrados que la aplicación permite exportar y se generaron graficas para apreciar el comportamiento de la humedad y la temperatura. También para evidenciar la pérdida de peso, el proceso culminó en 38 horas y como se puede apreciar la pérdida de peso cuenta con una aceleración inicial. Para seguir confirmando los resultados se realizaron dos pruebas adicionales, en la primera el producto culminó en proceso en 38 horas y media. Aquí se aprecian los valores de temperatura y humedad registrados. La pérdida de peso nuevamente cuenta con una aceleración inicial.

En la segunda prueba el proceso fue un poco más demorado, culminó en 41 horas pero se evidencia en esta imagen que el cuarto piloto tiene una temperatura final elevada con el fin de acelerar un poco la deshidratación. El comportamiento de la pérdida de peso evidencia que hay una aceleración inicial y una leve aceleración final, resultado del control implementado. El producto deshidratado mediante la prueba piloto pasó las pruebas de calidad de la empresa, esta es la carta de constancia que el producto se encuentra dentro de los parámetros de calidad establecidas por Enriko.

### **3. Conclusiones**

Al diseñar el sistema se contempló que la relación temperatura/humedad se comportaría de manera inversamente proporcional en cualquier cuarto piloto, pero se evidenció que el tamaño del cuarto juega un papel importante en esta relación, además los valores de humedad fluctuaron muy por debajo de lo esperado y aun cambiando las reglas de lógica difusa, estos valores llegaban a alcanzar picos que no estaban contemplados en el diseño.

El cuarto piloto utilizado no fue el adecuado para realizar el desarrollo del proyecto, este causó que las variables fluctuaran de manera inesperada dentro de los rangos de operación. Este comportamiento fue debido a la manera en la que funciona la nevera, la cual por protección anula el enfriamiento cuando se producían cambios repentinos y constantes en las acciones de control.

Se evidenció que se puede construir un sistema de control manteniendo un bajo presupuesto ya que con el uso de un microcontrolador de gama baja y un módulo de relés se puede implementar un controlador difuso robusto que ayude a resolver un sistema de control complejo.

Utilizar aplicaciones FREEWARE como la aplicación desarrollada mediante VISUAL BASIC fue de alta practicidad ya que se pueden ejecutar en cualquier computador que cuente con sistema operativo WINDOWS, el uso del puerto serial aunque es práctico y cumplió con las condiciones esperadas dentro del piloto, no es el ideal debido a que al haber cualquier ruido en el hardware, este puede interrumpirse evitando así la continua toma de datos.

### **Bibliografía**

Casp Vanaclocha, A., & Abril Requena, J. (2003). *Procesos de conservación de alimentos* (Segunda ed.). Madrid: Ed. Mundi-Prensa.

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2010). *Metodología de la Investigación*. México: McGraw Hill.

Investigación y Desarrollo Carnes Frías Enriko. (2017). *Ingredientes y caducidad*. Interno, Santiago de Cali.

Lara Chiliquinga, J. I., & Toapanta Guacapiña, A. (2016). *Diseño e implementación de una cámara de secado de productos cárnicos*. Quito: EPN.

Mc.Cabe, W. L., Smith, J., & Harriott, P. (1991). *Operaciones unitarias en ingeniería química* (Cuarta ed.). España: McGrawHill

Montserrat Corominas, J. B. (2004). *Secado rápido de productos cárnicos crudos curados. Tecnología Quick-Dry-Slice process*. Obtenido de <http://es.metalquimia.com/upload/document/article-es-18.pdf>

National Aeronautics and Space Administration - NASA. (2016). *I'd Like to See a Menu, Please*. Obtenido de [spaceflight.nasa: http://.gov/shuttle/support/processing/spacefood/menus.html](http://spaceflight.nasa.gov/shuttle/support/processing/spacefood/menus.html)

UCONN University of Connecticut. (2017). *Uso del gráfico psicrométrico*. Obtenido de [http://web.uconn.edu/poultry/NE-127/NewFiles/psychrometric\\_inset.html](http://web.uconn.edu/poultry/NE-127/NewFiles/psychrometric_inset.html)

Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agrarias. (2013). *Fisicoquímica de Alimentos*. Obtenido de [http://www.medellin.unal.edu.co/~labcca/index.php?option=com\\_content&view=article&id=7&Itemid=19](http://www.medellin.unal.edu.co/~labcca/index.php?option=com_content&view=article&id=7&Itemid=19)