



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Estudio y control de la línea de producción del Nuevo-Snack

Máster en Ingeniería de Análisis de Datos, Mejora de
Procesos y Toma de Decisiones

Departamento de estadística e Investigación Operativa Aplicadas y Calidad
Universidad Politécnica de Valencia

Trabajo final de Máster

Valencia, Febrero de 2016

Autor: Tomás Mas, Ana Salomé

Tutor: Aparisi García, Francisco José

Contenido

1.	Objetivos.....	1
2.	Introducción teórica	2
2.1	Definición de Calidad	2
2.2	Inferencia estadística	2
2.2.1	Uso de los P valores para probar hipótesis	5
2.3	Fundamentos estadísticos de los gráficos de control.....	5
2.3.1	Tamaño de muestra y frecuencia de muestreo	8
3.	La empresa.....	10
3.1	Procedimiento actual de control	10
4.	Antecedentes.....	12
4.1	Características del Nuevo-Snack.....	12
4.2	Estudios previos	13
5.	Estudio de la salinidad del Nuevo-Snack	14
5.1	Control mediante las especificaciones técnicas de arranque	14
5.2	Variación de la cantidad de aroma	15
5.3	Software.....	18
5.3.1	Programa para cambiar la salinidad manteniendo constante los kilos de alimentación.....	18
5.3.2	Programa para mantener constante la sal ante un cambio de kilos de alimentación	20
5.4	Diferencias de sal entre el proceso y los paquetes	24
5.5	Verificación del software	27
5.6	Segunda validación del software	28
6.	Estudio de la humedad del Nuevo-Snack.....	29
6.1	Estudio de la calidad de las mediciones de humedad	29
6.1.1	Comparación de las dos máquinas de humedad	32
6.2	Estudio de la humedad	36
6.3	Diferencias de humedad entre proceso y paquete	38

6.4	Diseño de experimentos para la humedad.....	41
6.4.1	Modelo para la humedad en función de los factores significativos.....	49
7.	Tamaño de muestra y frecuencia de muestreo para la salinidad y la humedad ...	50
8.	Propuesta definitiva de control	52
9.	Bibliografía.....	54

1. Objetivos

Este proyecto parte de la necesidad de controlar el proceso de producción del “Nuevo-Snack” para asegurar que el producto de salida tenga las características de calidad deseadas.

El principal problema en la fabricación de este producto reside en las constantes modificaciones de los parámetros de la línea productiva por parte de los operarios, forma de operar que puede llevar a errores de sobreajustes del proceso.

Por tanto, con este trabajo se pretende aplicar distintas técnicas estadísticas a la línea de producción del “Nuevo-Snack” de la empresa Grefusa, con el fin de realizar el control en el proceso de algunas de las características de calidad de interés y así, dejar de inspeccionar el producto una vez envasado antes de que llegue al cliente.

Para ello, en primer lugar se han comprobado los métodos de medición de las características de calidad (sal y humedad) y se han comparado algunos de los equipos de medida disponibles en el laboratorio para garantizar que la relación método-muestra-producto sea satisfactoria, es decir, asegurar que el resultado de la muestra representa a la población con un nivel de confianza elevado.

En el siguiente paso, se ha estudiado la evolución y la estabilidad natural del proceso, se han definido el tamaño y la frecuencia de muestreo adecuadas y se ha pasado a realizar el control de la línea productiva.

A su vez, en los casos en los que ha sido necesario, se han realizado pequeños experimentos para mejorar el uso de los recursos.

Asimismo, se han realizado distintas aplicaciones, tanto para Windows como para Android, en las que el personal del laboratorio y los operarios de la línea productiva puede ajustar algunas de las variables del proceso para llegar al valor de calidad deseado.

2. Introducción teórica

2.1 Definición de Calidad

El concepto de calidad que tiene la mayor parte de la población está relacionado con una o más características deseables que debería poseer un producto o servicio. La calidad se ha convertido, para los consumidores, en uno de los factores de decisión más importantes para elegir entre los distintos productos y servicios que se ofrecen y compiten. Por consiguiente, entender y mejorar la calidad es un factor clave que lleva al éxito, al crecimiento y a una posición competitiva fortalecida.

Con los métodos tradicionales, la adecuación del producto o servicio a las necesidades y exigencias del cliente está asociada a la actividad de evaluación del producto final para separar las unidades que no cumplen tales exigencias. Esta actividad implica una estrategia que asigna recursos para ser invertidos en productos o servicios que posiblemente no van a ser utilizados. Desde todos los aspectos y en particular desde el económico, esta actividad no es eficaz.

Las mejores técnicas son las que, teniendo el mismo fin, están enfocadas hacia la prevención de los problemas y no a corregir y a asignar recursos para detectar y corregir los problemas de calidad del producto o servicio.

El Control y Mejora de Procesos es un método de mejora continua de la calidad que se basa en la reducción sistemática de la variación de aquellas características que más influyen en la calidad de los productos o servicios. Se entiende por variación a los cambios en el valor de la característica medida, siendo esta característica la respuesta de un proceso determinado. La variación respecto a un valor determinado, incluso dentro de las tolerancias especificadas, es la responsable de las pérdidas económicas debidas a la mala calidad del producto (ajustes, recuperaciones, reprocesado de materiales, etc).

Fundamentalmente, las herramientas utilizadas para la reducción de la variación son el seguimiento, el control y la mejora de los procesos.

2.2 Inferencia estadística

El objetivo de la inferencia estadística es sacar conclusiones o tomar decisiones acerca de una población con base a una muestra aleatoria seleccionada.

Se define como estadístico cualquier función de los datos muestrales que no contiene parámetros desconocidos. Por ejemplo, sea que x_1, x_2, \dots, x_n represente a las observaciones de la muestra. Entonces, son estadísticos:

la media muestral

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

la varianza muestral

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}$$

la desviación típica muestral

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

y el rango

$$R = \text{máx}(x_i) - \text{mín}(x_i)$$

El estadístico \bar{x} describe la tendencia central de la muestra y los estadísticos S (o S^2) y R , la variabilidad.

A priori, si se muestrea una población, el estadístico muestral no es conocido puesto que cada vez que se muestrea se obtiene un valor diferente. Así pues, los estadísticos son variables aleatorias con una distribución de valores determinada. Por tanto, interesa hacer inferencias acerca de los parámetros poblacionales para estimarlos a partir de los datos muestrales ya que, por lo general, estos parámetros son desconocidos.

Las técnicas de la inferencia estadística pueden clasificarse en dos categorías: la estimación de parámetros y la prueba de hipótesis.

Los procedimientos para probar hipótesis son muy útiles en muchos tipos de problemas de control estadístico de calidad. Pueden usarse para verificar la conformidad de los parámetros del proceso con sus valores especificados, o como ayuda para modificar el proceso hasta obtener los valores deseados. Asimismo, constituyen el fundamento de la mayoría de las técnicas de control estadístico de procesos.

Una hipótesis estadística es un enunciado acerca de los valores de los parámetros de una distribución de probabilidad. Se le llama hipótesis nula (H_0) a la condición que se toma como base de partida y que, en cierto sentido, refleja nuestro conocimiento previo de la situación. Es la hipótesis que se desea contrastar y se identifica con la hipótesis de “no cambio”. Esta hipótesis se enfrenta a otra que se denomina hipótesis alternativa (H_1).

Para probar una hipótesis, se toma una muestra aleatoria de la población bajo estudio, se calcula un estadístico de prueba apropiado, y después la hipótesis nula H_0 se rechaza o no se rechaza. Al conjunto de valores del estadístico de la prueba que llevan al rechazo de H_0 se llama región crítica o región de rechazo de la prueba.

Cuando se prueban hipótesis pueden cometerse dos tipos de errores. Si la hipótesis nula se rechaza cuando es verdadera, entonces se comete un error de tipo I. Si la hipótesis nula no se rechaza cuando es falsa, entonces se comete un error de tipo II. Las probabilidades de estos dos tipos de errores se denotan como:

$$\alpha = P(\text{rechazar } H_0 | H_0 \text{ es verdadera})$$

$$\beta = P(\text{aceptar } H_0 | H_0 \text{ es falsa})$$

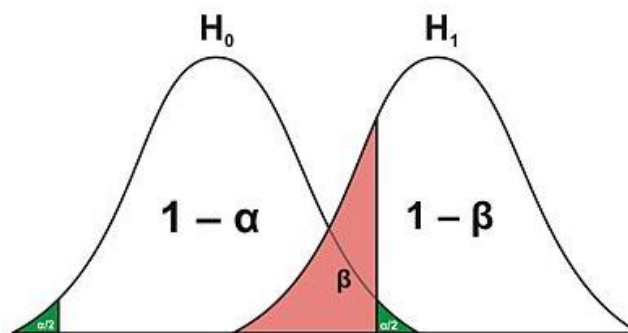


Figura 1: Probabilidades de error tipo I y II

En ocasiones es más conveniente trabajar con la potencia de la prueba:

$$\text{Potencia} = 1 - \beta = P(\text{rechazar } H_0 | H_0 \text{ es falsa})$$

Por tanto, la potencia es la probabilidad de rechazar correctamente H_0 . Normalmente a α se le llama riesgo de primera especie o del productor, porque denota la probabilidad de que un lote bueno sea rechazado. Por otra parte, a β se le llama riesgo de segunda especie o riesgo del consumidor, porque denota la probabilidad de aceptar un lote de calidad pobre, o de permitir que continúe en operación un proceso que está operando de manera insatisfactoria con respecto a alguna característica de la calidad.

El procedimiento general en la prueba de hipótesis es especificar un valor de probabilidad α de error de tipo I, y después designar un procedimiento de prueba para que se obtenga un valor pequeño de la probabilidad β del error tipo II. Por tanto, se habla de controlar o elegir directamente el riesgo α . Por lo general, β es una función del tamaño de la muestra y se controla indirectamente. Cuanto mayor sea el tamaño de la muestra empleado en la prueba, menor será el riesgo β .

2.2.1 Uso de los P valores para probar hipótesis

La manera tradicional de reportar los resultados de una prueba de hipótesis, es decir si la hipótesis nula es rechazada o no con un valor de α o nivel de significación especificado. Esta postulación de las conclusiones suele ser inadecuada ya que si la hipótesis nula es rechazada, no ofrece al analista ninguna idea de si el valor calculado del estadístico de la prueba apenas llegó a la región de rechazo o se adentró bastante en ella. Además, enunciar los resultados de esta manera impone un nivel de significación predefinido sobre otros usuarios de la información. Este enfoque puede ser insatisfactorio ya que algunos responsables de tomar decisiones podrían estar inconformes con los riesgos que implica el valor α .

Para evitar estas dificultades en la práctica se ha adoptado ampliamente el enfoque del p-valor. El p-valor es el nivel de significación menor que llevaría al rechazo de la hipótesis nula. Para un p-valor $< \alpha$, la hipótesis nula se rechaza.

Por tanto, un p-valor transmite mucha información acerca del peso de la evidencia contra H_0 , y así el responsable de tomar decisiones puede sacar una conclusión con cualquier nivel de significación especificado.

Se acostumbra a decir que el estadístico de la prueba (y los datos) es significativo cuando la hipótesis nula es rechazada. Una vez que se conoce el p-valor, el responsable de tomar las decisiones puede determinar por sí mismo en qué medida son significativos los datos sin que el analista de los datos le imponga formalmente un nivel de significación preseleccionado.

2.3 Fundamentos estadísticos de los gráficos de control

Uno de los objetivos principales del control estadístico de procesos es detectar con rapidez la ocurrencia de causas de variabilidad asignables en el desplazamiento del proceso a fin de hacer la investigación pertinente y emprender las acciones correctivas

antes de que se fabriquen muchas unidades disconformes. Los gráficos de control son una técnica en línea que se usa ampliamente para este fin.

Un gráfico de control es una representación gráfica de una característica de la calidad que se ha medido o calculado a partir de una muestra contra el número de muestra o tiempo. El gráfico contiene una línea central que representa el valor promedio de la característica de la calidad que corresponde al estado bajo control. También se muestran dos líneas horizontales, llamadas límite de control superior y límite de control inferior (UCL y LCL respectivamente, por sus siglas en inglés). Estos límites de control se eligen de tal modo que, si el proceso está bajo control, casi todos los puntos se localizan entre ellos. Sin embargo, un punto que se localiza fuera de los límites se interpreta como evidencia de que el proceso está fuera de control y se requiere investigación y acción correctiva para encontrar y eliminar la causa o causas asignables responsables de este comportamiento.

Incluso cuando todos los puntos se localizan dentro de los límites de control, si se comportan de una manera sistemática o no aleatoria, esto podría ser un indicio de que el proceso está fuera de control. Como por ejemplo, que 18 de los 20 últimos puntos se localicen arriba de la línea central pero por debajo del límite de control superior podría sugerir que la media del proceso se ha desplazado a un valor más elevado.

Existe una estrecha relación entre los gráficos de control y la prueba de hipótesis. Si el valor actual de x se localiza entre los límites de control, se concluye que la media del proceso está bajo control, es decir, que es igual a cierto valor μ_0 y por tanto no se puede rechazar la hipótesis nula de control. En cambio, si x excede cualquiera de los límites, se concluye que la media del proceso está fuera de control ($\mu \neq \mu_0$) y la hipótesis nula se rechazaría.

La especificación de los límites de control es una de las decisiones críticas que deben tomarse al diseñar un gráfico de control. Cuando los límites de control se alejan más de la línea de central, se reduce el riesgo de un error tipo I.

Sin embargo, al ensanchar los límites de control se incrementará el riesgo del error tipo II, riesgo de que un punto se localice dentro de los límites de control cuando el proceso en realidad está fuera de control. Si los límites de control se colocan más cerca de la línea central se produce el efecto contrario: el riesgo del error tipo I se incrementa, mientras que el riesgo del error tipo II se reduce.

Si se utilizan límites de control 3 sigma y la característica de calidad tiene una distribución normal, en la tabla de la normal tipificada se encuentra que la probabilidad del error tipo I es 0,0027. Es decir, se producirá una señal incorrecta de fuera de control o falsa alarma sólo en 27 de 10.000 puntos. Además, la probabilidad de que un punto tomado cuando el proceso está bajo control exceda los límites 3 sigma en una sola dirección es de 0,00135.

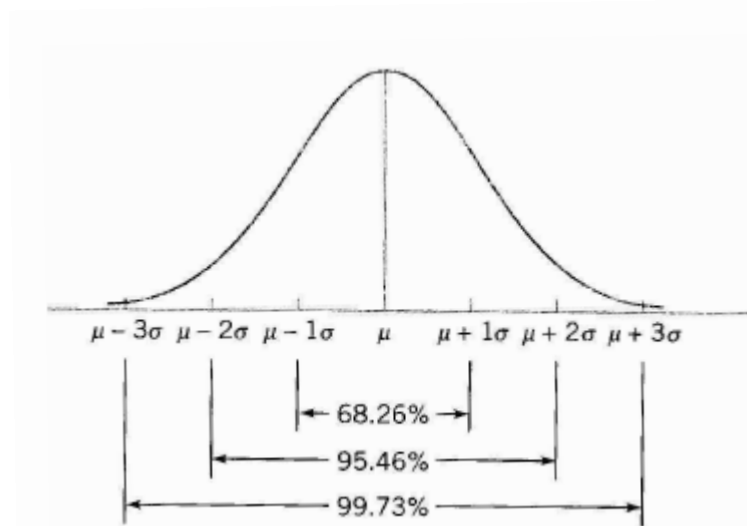


Figura 2: Gráfico de la distribución normal

Cuando se trata de una variable continua, como el peso, el volumen o la concentración, por lo general es necesario monitorizar tanto el valor medio de la característica de calidad como su variabilidad. El control del promedio del proceso, o nivel de calidad medio, suele hacerse con el gráfico de control para medias o gráfico \bar{x} . La variabilidad del proceso puede monitorizarse con un gráfico para la desviación típica o para el rango, llamados gráfico S y R respectivamente, aunque el gráfico R se utiliza con mayor frecuencia.

En este trabajo solamente se va a utilizar el gráfico \bar{x} para controlar la media de las características de calidad. Además, con el gráfico \bar{x} también se puede detectar el cambio en la variabilidad sin necesidad de utilizar dos gráficos. En el caso de que se empleara también el gráfico Ro S, el número de falsas alarmas aumentaría al haber dos gráficos y el gráfico \bar{x} perdería potencia para detectar cambios en la media.

Suponiendo que una característica de calidad tiene una distribución normal con media μ y desviación típica σ , donde tanto μ como σ son conocidas, y si x_1, x_2, \dots, x_n es una muestra de tamaño n , entonces el promedio de esta muestra es:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

Y se sabe que \bar{x} sigue una distribución normal con media μ y desviación típica $\sigma_{\bar{x}} = \sigma / \sqrt{n}$. Además, la probabilidad es de $1-\alpha$ para que cualquier media muestral se localice entre $\mu + Z_{\alpha/2} \cdot \sigma_{\bar{x}}$ y $\mu - Z_{\alpha/2} \cdot \sigma_{\bar{x}}$.

Por lo tanto, si μ y σ son conocidas, la ecuación anterior podría usarse como límites de control superior e inferior en un gráfico de control para las medias muestrales. Normalmente, se sustituye $Z_{\alpha/2}$ por 3, con el fin de trabajar con límites 3 sigma.

2.3.1 Tamaño de muestra y frecuencia de muestreo

Cuando se diseña un gráfico de control, es necesario especificar tanto el tamaño de muestra que debe usarse como la frecuencia de muestreo. En general, las muestras más grandes facilitarán la detección de desplazamientos pequeños en el proceso. Esto se ilustra en la figura 3 donde se grafica la curva de operación característica para diferentes tamaños de muestra.

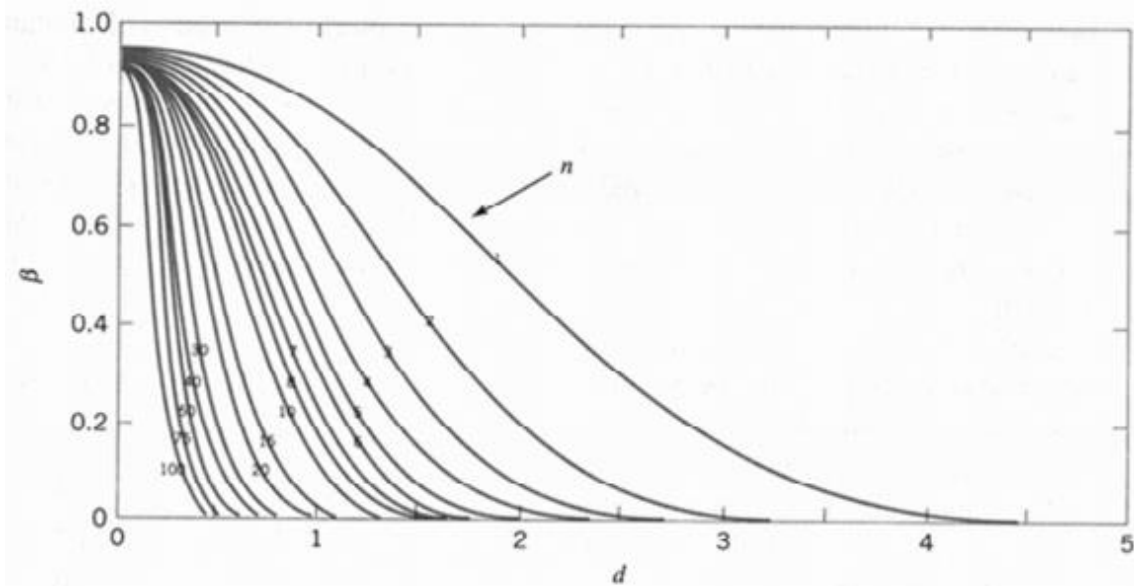


Figura 3: Curva de operación característica para el gráfico de la media con $\alpha=0,05$ y diferentes tamaños de muestra, donde $d = \frac{|m_1 - m_2|}{\sigma}$

Cuando se elige el tamaño de la muestra, debe tenerse presente el tamaño del cambio que está tratándose de detectar (d). Si el cambio en el proceso es relativamente grande, se usan tamaños de muestra más pequeños que los que se habrían empleado si el cambio de interés fuera relativamente pequeño.

También debe determinarse la frecuencia del muestreo. La situación más deseable desde el punto de vista de la detección de desplazamientos sería tomar muestras con mucha frecuencia, sin embargo, esto por lo general no es económicamente factible. El problema general consiste en la asignación del esfuerzo de muestreo. Es decir, se toman muestras pequeñas en intervalos cortos o bien se toman muestras grandes en intervalos más largos. La práctica actual en la industria tiende a favorecer las muestras más pequeñas y más frecuentes, en particular, en los procesos de manufactura de alto volumen, o donde pueden ocurrir diversos tipos de causas asignables. Además, conforme se desarrolla la tecnología automatizada de sondeo y medición, se está haciendo posible agrandar en gran medida las frecuencias de muestreo.

Otra manera de evaluar las decisiones respecto al tamaño de la muestra y la frecuencia de muestreo es con la longitud de racha media (ARL por sus siglas en inglés) del gráfico de control. En esencia, el ARL es el número promedio de puntos que deben graficarse antes de que un punto indique una condición fuera de control. Si las observaciones del proceso son independientes, entonces el ARL puede calcularse como:

$$ARL = \frac{1}{p}$$

donde p es la probabilidad de que cualquiera de los puntos exceda los límites de control.

Para el gráfico con límites 3 sigma, $p=0'0027$ es la probabilidad de que un solo punto se localice fuera de los límites cuando el proceso está bajo control. Por tanto, la longitud de racha media cuando el proceso está bajo control (ARL_0) es:

$$ARL_0 = \frac{1}{p} = \frac{1}{\alpha} = \frac{1}{0,0027} = 370$$

Es decir, si el proceso se mantiene bajo control, se generará, en promedio, una señal de fuera de control cada 370 muestras.

Para un proceso fuera de control:

$$ARL = \frac{1}{1 - \beta}$$

Asimismo, en ocasiones es conveniente expresar el desempeño del gráfico de control en términos de su tiempo medio hasta la señal (ATS, por sus siglas en inglés). Si se toman muestras en intervalos fijos de tiempo que están separados t unidades de tiempo, entonces:

$$ATS = ARL \cdot t$$

Para responder con mayor precisión a la pregunta de la frecuencia del muestreo, es necesario tomar en consideración varios factores, incluyendo el costo del muestreo, las pérdidas asociadas con permitir que el proceso opere fuera de control, la rapidez de la producción y las probabilidades con las que ocurren varios tipos de desplazamientos en el proceso.

3. La empresa

Grefusa es una compañía que nace en 1929 de la mano del fundador, José Gregori Furió y que en la actualidad está dirigida por la tercera generación familiar, bajo la dirección de Agustín Gregori Bernabeu.

Es una empresa que con el tiempo se ha convertido en un auténtico especialista de frutos secos y snacks de cereales. Actualmente cuenta con dos plantas, una en Alcira (Valencia) y otra en Aldeamayor (Valladolid), en las que se diseñan, fabrican y distribuyen casi 17.000 toneladas anuales de frutos secos, snacks y horneados de pan.

Cada año se lanzan al mercado una media de entre 15 y 20 novedades, un esfuerzo que les ha convertido en un referente en innovación. Entre las marcas más conocidas de la compañía destacan las Pipas G, El Piponazo, MisterCorn, Gublins, PapaDelta y los Snatt's. Su gran éxito y su compromiso nutricional se deben principalmente a la selección de ingredientes para la fabricación de sus productos.

El principal objetivo de Grefusa consiste en crear alimentos para disfrutar, divertir y sorprender a los consumidores con productos ricos y sabrosos, compatibles con un estilo de vida saludable.

La empresa ha apostado desde un inicio por mejorar los productos e introducir nuevos sabores y texturas al mercado. Sin embargo, actualmente la mayor preocupación es el control y la posible mejora de sus procesos para ser una empresa más competitiva y más eficaz desde el punto de vista de los recursos utilizados.

3.1 Procedimiento actual de control

El procedimiento actual de control de la empresa para saber que el producto que va a salir al mercado cumple los requisitos de calidad, consiste en medir las características del producto en el proceso cada 4h (2 veces por turno si no hay modificaciones en los parámetros del proceso) y cada 2h del producto envasado.

Todos los productos fabricados vienen definidos por una E.T. (Especificación Técnica) en la que se indican el valor estándar, unos límites de control y otros límites de no conformidad para las variables que caracterizan cada uno de los productos.

El producto solamente se rechaza si supera los valores de no conformidad establecidos en la E.T.

Con el fin de que el producto alcance los valores estandar definidos en la E.T, los operarios modifican las condiciones del proceso “a ojo”, según su experiencia. Esta forma de operar puede llevar a errores de sobreajuste del proceso.

Así pues, y como ya se ha comentado anteriormente, con este trabajo se pretende mejorar el sistema de control; dejar de ajustar la línea de forma intuitiva y realizar el control de las características de calidad de interés durante la fabricación para dejar de inspeccionar el producto una vez envasado.

A continuación, se incluyen los procedimientos llevados a cabo así como los resultados obtenidos al estudiar principalmente la salinidad y la humedad de un producto nuevo, llamado en este documento como Nuevo-Snack.

4. Antecedentes

4.1 Características del Nuevo-Snack

El producto objeto de estudio, es uno de los lanzamientos más recientes, que cuenta con una línea de fabricación propia. Por motivos de confidencialidad, no se utilizará el nombre comercial y se hará referencia al mismo con el nombre de Nuevo-Snack.

Una de sus características de calidad más importantes, es su contenido en aroma ya que es una de las materias primas más caras.

Para conocer el porcentaje de aroma añadido, se calcula el porcentaje de salinidad del producto.

Es importante destacar que, durante el proceso productivo del Nuevo-Snack existen dos adiciones de sal, una de ellas, la aromatización.

Por tanto, el porcentaje de salinidad es, en realidad, una diferencia entre la sal del producto antes y después de añadir el aroma. La fórmula para el cálculo del porcentaje de sal se define como:

$$\% \text{ salinidad} = \% \text{ sal con aroma} - 0,77 \cdot \% \text{ sal sin aroma}$$

Esta fórmula ha sido proporcionada por el Departamento de I+D de Macrosnacks y su origen no se comenta por motivos de confidencialidad. Es el método de cálculo que se utiliza diariamente en el laboratorio.

En la siguiente tabla se muestran los valores establecidos en la E.T. En ella se pueden encontrar los valores límite de control o de aviso (LC) y de no conformidad (NC) para aceptar como bueno el producto.

Tabla 1: Especificaciones Técnicas de la salinidad

NCI	LCI	Estandar	LCS	NCS
1	1,2	1,35	1,5	1,7

Otra característica de calidad importante, es la humedad ya que el producto es muy sensible a ella. La empresa considera que, si el producto tarda más de 5 minutos en envasarse, el producto debe ser rechazado.

Las especificaciones técnicas para la humedad son:

Tabla 2: Especificaciones técnicas para la humedad

NCI	LCI	Estandar	LCS	NCS
producto quemado	1,4	1,7	2	2,2

4.2 Estudios previos

El estudio de la salinidad parte de la información de un Trabajo Final de Máster (TFM) previo, realizado en la misma empresa: “Análisis de la calidad de las mediciones de salinidad para control de procesos en Grefusa S.A”.

En primer lugar, se realizó el estudio sobre la calidad de las mediciones de salinidad para comprobar si el método utilizado hasta el momento era el correcto.

Para ello, se realizó un diseño de experimentos en el que se variaba la cantidad de producto, la temperatura del agua destilada y el tiempo de agitación.

Se concluyó que el método más adecuado era muestrear 25 gramos de producto, introducirlos en 1L de agua destilada caliente y agitar durante 5 minutos para después pipetear 2ml de la disolución y calcular la sal mediante titulación (análisis volumétrico).

También se realizaron pruebas para cuestionar qué era mejor, si pipetear 2ml o 3ml de disolución y se estudiaron los tres tipos de punta de pipeta que se estaban utilizando en el laboratorio de calidad. Al final del estudio, se decidió que la mejor opción era pipetear 3ml y se descartó una punta de pipeta debido a que se obtuvo una mayor variabilidad en los valores.

Una vez estudiados los instrumentos y equipos de medida de la salinidad en el TFM previo, se realizó un largo estudio para determinar si el proceso estaba bajo control. Se concluyó que sí, que el proceso era estable con una variabilidad constante y que se podía pasar a la fase II del control estadístico.

Los parámetros y los límites de control estimados se muestran en la siguiente tabla. Además, se decidió que la mejor opción para realizar el control de la salinidad era tomar muestras de tamaño 2 cada 30 minutos.

Tabla 3: Parámetros para la salinidad del Nuevo-Snack

LCI	Media	LCS	Desviación típica
1,2	1,42	1,64	0,105

A partir de la estimación de estos parámetros y límites de control, se pasa al control de la salinidad del Nuevo-Snack durante su proceso de fabricación.

5. Estudio de la salinidad del Nuevo-Snack

5.1 Control mediante las especificaciones técnicas de arranque

A partir de este momento, se relatan los trabajos realizados en este TFM.

Para este producto, la línea de producción cuenta con muchos sensores de medición y una pantalla donde se pueden controlar todas las variables que intervienen en el proceso. La empresa cuenta con una receta teórica, en la que se fija la cantidad de aroma que se debería dosificar en función de la alimentación de materia prima inicial y del rechazo que se produce antes de llegar a la zona de sazonado.

Objetivo: para comprobar si el proceso se centra alrededor de la media, se decide realizar 20 minutos de producción ajustando los parámetros de la línea a los valores teóricos de la receta.

Procedimiento: el arranque de la línea productiva se realizó con los datos teóricos programados por la empresa y no se modificaron durante los primeros 20 minutos, para observar si la salinidad se estabilizaba y se centraba alrededor de la media estadística.

Se obtuvieron 4 datos (muestreo cada 5 minutos) para una alimentación de materia prima de 250 kg/h y una dosificación de aroma de 52,2 kg/h (dato teórico marcado por la receta).

Al ser la diferencia de sal mayor que el valor no conforme, pasados los 20 minutos se disminuyó de 52,2 a 44 kg/h la cantidad de aroma dosificado.

En el gráfico siguiente se muestra la evolución de la diferencia de sal desde el arranque y en él se observa que una vez se ha disminuido el aroma aportado a 44kg/h, los operarios mantienen la diferencia de sal alrededor de la media.

Conclusión: de esta prueba se puede concluir que los parámetros teóricos programados por la empresa están sobreestimados y no son correctos puesto que, se debe dosificar menor aroma del indicado para una cantidad determinada de materia prima.

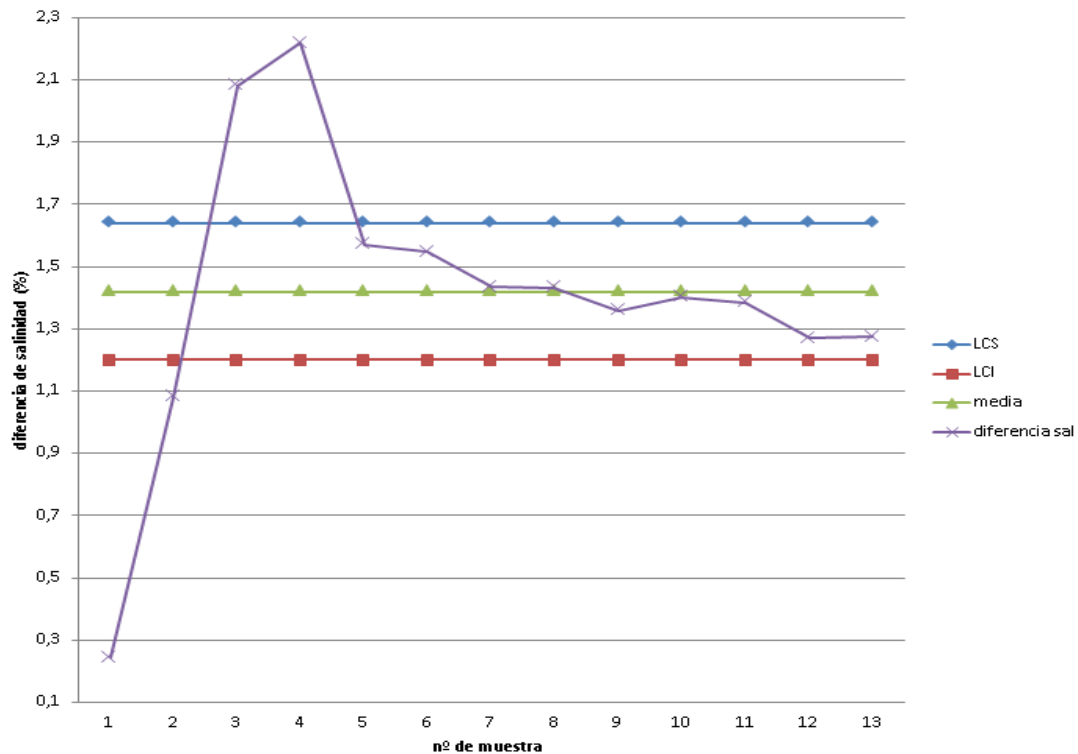


Gráfico 1: Gráfico de control con los datos de la receta teórica y posterior disminución de la dosificación de aroma

5.2 Variación de la cantidad de aroma

Como los resultados de sal al utilizar la receta teórica no salieron satisfactorios, se pasó a realizar variaciones en la velocidad de la bomba de aromatización para observar el efecto que se producía en la salinidad del producto.

Objetivo: se pretende estudiar cómo influye el aumento o disminución de la cantidad de aroma dosificado sobre la salinidad del Nuevo-Snack.

Procedimiento: durante el experimento, para cada velocidad de la bomba distinta, se tomaron dos muestras de tamaño dos, una a los 2 minutos y otra muestra pasados 5 minutos desde el cambio de aroma. La alimentación de materia prima se mantuvo constante a 250kg/h. Los resultados obtenidos se muestran a continuación:

Tabla 4: Resultados del experimento de la variación del aroma dosificado para estudiar cómo afecta a la diferencia de salinidad

Dosificación Aroma		Sal sin aroma (constante)	Tiempo	Sal con aroma		Diferencia % Sal
Hz bomba	Kg/h aroma			%Sal	media	
24,3	47,2	1,05	2 min	2,13	2,12	1,3115
				2,11		
			5min	2,13	2,165	1,3565
				2,19		
27,9Hz	54,1	1,05	2 min	2,17	2,215	1,4065
				2,26		
			5min	2,39	2,37	1,5615
				2,35		
20,7Hz	40,1	1,05	2 min	1,89	1,88	1,0715
				1,87		
			5min	2,01	1,995	1,1865
				1,98		
26,1Hz	50,6	1,05	2 min	2,27	2,255	1,4465
				2,24		
			5min	2,23	2,21	1,4015
				2,19		
22,6Hz	43,8	1,05	2 min	1,98	2,015	1,2065
				2,05		
			5min	2,15	2,165	1,3565
				2,18		

Antes de ordenar los resultados por caudal, ya se observa que la salinidad a los 5 minutos difiere de la medida a los 2 minutos, por lo que el tiempo hasta que se estabiliza es de al menos 5 minutos, es decir, el efecto en el cambio de aroma no es inmediato.

Si se ordenan los datos de caudal a los 5 minutos y se representa la diferencia de sal, se obtiene la siguiente gráfica.

Aunque en un principio parece extraño que haya una meseta en la curva, ésta no se va a cuestionar ya que realizando una revisión bibliográfica se ha encontrado que existen curvas de adsorción del mismo tipo.

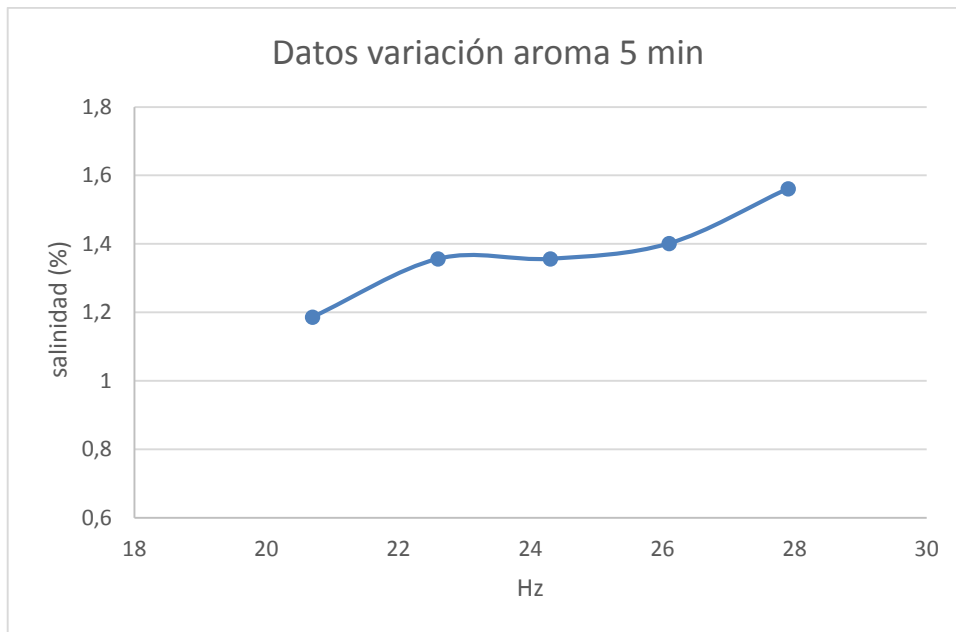


Gráfico 2: Variación de la salinidad (a los 5 minutos) según la velocidad de giro de la bomba

Conclusiones: los resultados de esta gráfica son muy interesantes. En primer lugar, se aprecia que hay una zona donde al aumentar la velocidad de giro de la bomba no aumenta la salinidad. Por otro lado, en los extremos, el aumento de la salinidad sí que es progresivo y de exactamente la misma pendiente.

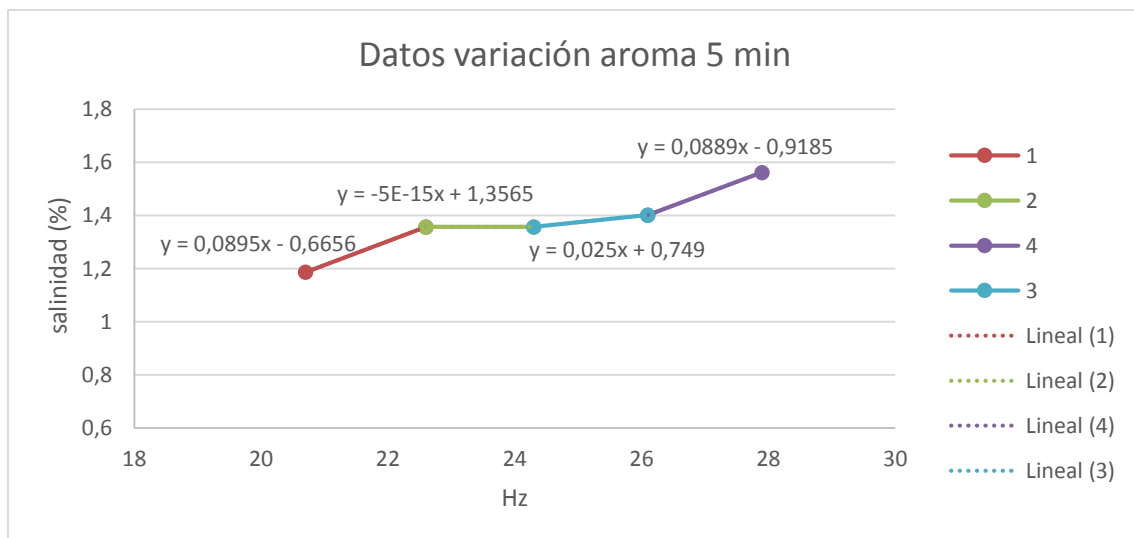


Gráfico 3: Rectas de cada tramo de la salinidad en función de la velocidad de la bomba.

Este comportamiento ha de tenerse en cuenta a la hora de hacer cambios en la salinidad, puesto que la variación de la velocidad de giro de la bomba dependerá de la

posición inicial de Hertzios de la misma. Por ejemplo, viendo la gráfica, si se parte de 23 Hz, se va a tener que aumentar más el caudal de la bomba para conseguir un aumento de la salinidad de 0,2 que si se parte de 26 Hz.

Los resultados de este experimento son de gran importancia ya que, al ser la variabilidad del proceso constante, permite centrar el proceso alrededor del valor objetivo de sal y posteriormente, controlar esta característica de forma ordinaria.

5.3 Software

A partir de los datos anteriores de cómo varía la diferencia de salinidad en función de la cantidad de aroma inyectado, se han desarrollado dos programas tanto para Windows como para Android. A continuación se muestra el desarrollo de los dos programas, uno para cambio de la salinidad manteniendo constante los kilos de alimentación, y otro para mantener constante la salinidad cuando se realice un cambio de kilos.

5.3.1 Programa para cambiar la salinidad manteniendo constante los kilos de alimentación.

En la figura 4 se muestra una imagen de este programa en la que se puede observar un ejemplo. Actualmente, el proceso productivo tiene una diferencia de salinidad de 1,25 y se quiere obtener una diferencia de 1,42. Al indicarle que el caudal de aroma es de 44 kg/h (se puede introducir también en Hertzios), el resultado que devuelve es que hay que cambiar el caudal de aroma a 53,3 kg/h (27,5 Hz).

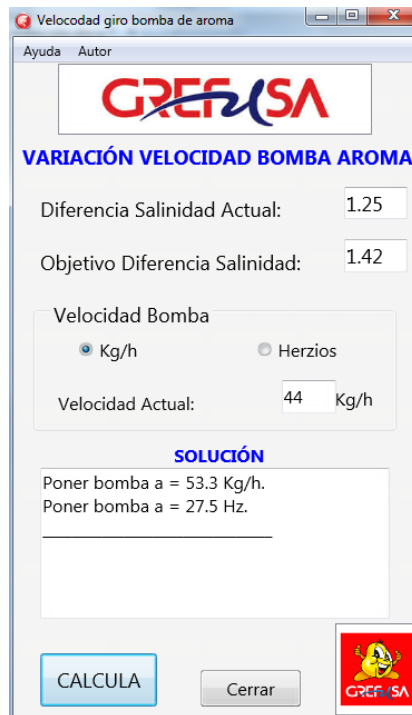


Figura 4: Programa para obtener el caudal de la bomba manteniendo los kilos de alimentación constantes

Los cálculos se realizan de la siguiente forma. En primer lugar se calcula la diferencia entre la salinidad objetivo y la salinidad actual.

$$\Delta sal = \text{salinidad objetivo} - \text{salinidad actual} \quad (\text{Ecuación 1})$$

En el ejemplo mostrado $\Delta sal > 0$, entonces se debe aumentar la velocidad de giro de la bomba. Para encontrar la cantidad a aumentar nos desplazamos por la gráfica, empezando por la velocidad actual y aumentándola, hasta obtener el incremento deseado.

- Si $\Delta sal > 0$

Si se parte del primer tramo cuya ecuación es:

$$\Delta sal = 0,6656 + 0,00895(Hz_{\text{objetivo}} - Hz_{\text{actual}}) \quad (\text{Ecuación 2})$$

$$Hz_{\text{objetivo}} = \frac{\Delta sal - 0,6656 + 0,00895 \cdot Hz_{\text{actual}}}{0,00895} \quad (\text{Ecuación 3})$$

Si $Hz_{\text{objetivo}} > 22,6$, se fija $Hz_{\text{actual}} = 24,3$ y se pasa al tercer tramo puesto que en el intervalo $[22,6, 24,3]$ Hz no se produce un aumento de la salinidad.

$$Hz_{\text{objetivo}} = \frac{\Delta sal - 0,749 + 0,025 \cdot Hz_{\text{actual}}}{0,025} \quad (\text{Ecuación 4})$$

Si $Hz_{\text{objetivo}} > 26,5$, se fija $Hz_{\text{actual}} = 26,5$ y se pasa al cuarto tramo:

$$Hz_{objetivo} = \frac{\Delta sal + 0,9185 + 0,08899 \cdot Hz_{actual}}{0,08899} \quad (\text{Ecuación 5})$$

- Si $\Delta sal < 0$:

Partiendo del cuarto tramo, se utiliza la Ecuación 5. Si $Hz_{objetivo} < 26,5$, se fija $Hz_{actual} = 26,5$ y se pasa al tercer tramo utilizando la Ecuación 4. Si $Hz_{objetivo} < 24,3$, se fija $Hz_{actual} = 22,6$ y se pasa al tercer tramo utilizando la Ecuación 3.

5.3.2 Programa para mantener constante la sal ante un cambio de kilos de alimentación

En primer lugar, indicar que el programa aun no permite la opción de cambiar los kilos y el nivel de salinidad simultáneamente. Es decir, debe ser ejecutado con la opción “No” seleccionada. Si se pide un cálculo con “Sí” seleccionada de momento no realiza ningún cálculo.

En el ejemplo resuelto de la figura 5 se parte de un proceso productivo con una alimentación de 250 kg/h y con una velocidad de la bomba de 45 Kg/h. La solución que da el programa para un cambio a 300 kg de alimentación es que se debe poner la bomba a 56,1 Kg/h (28,9 Hz) para mantener el nivel de salinidad del que se partía.

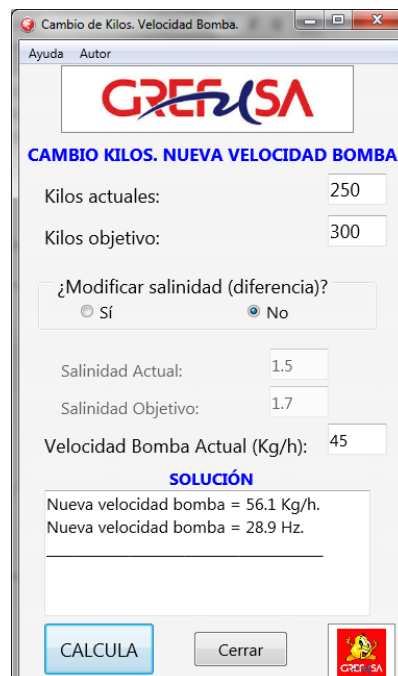


Figura 5: Programa para obtener el caudal de la bomba cuando se produce un cambio de kilos manteniendo constante el porcentaje de salinidad

En este caso, para encontrar la solución se está suponiendo que las mermas o el rechazo en el proceso son proporcionales a los kilos de alimentación ya que los resultados de los datos históricos parecen permitir esta suposición.

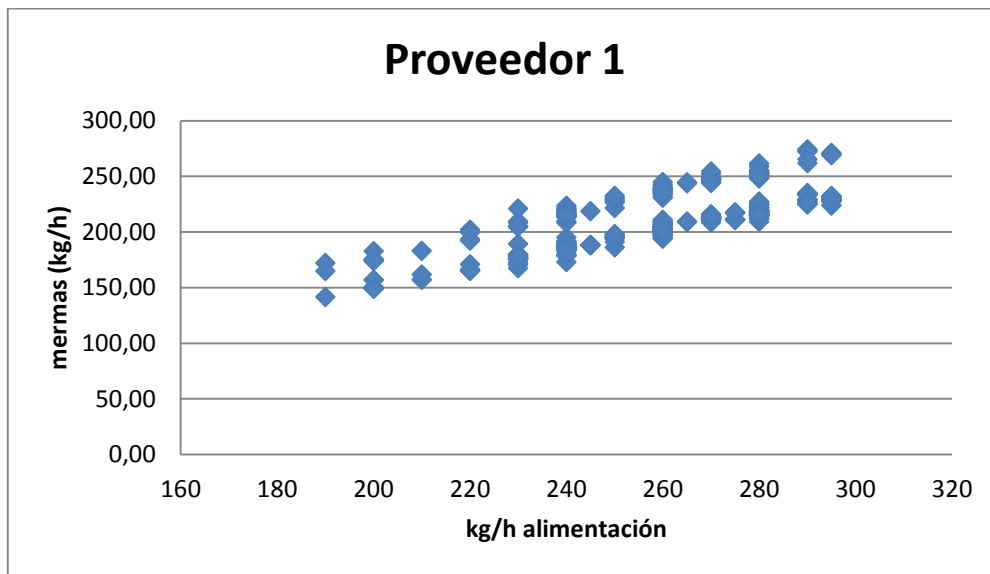


Gráfico 4: Cantidad de rechazo en función de los kilos de alimentación para el Proveedor 1

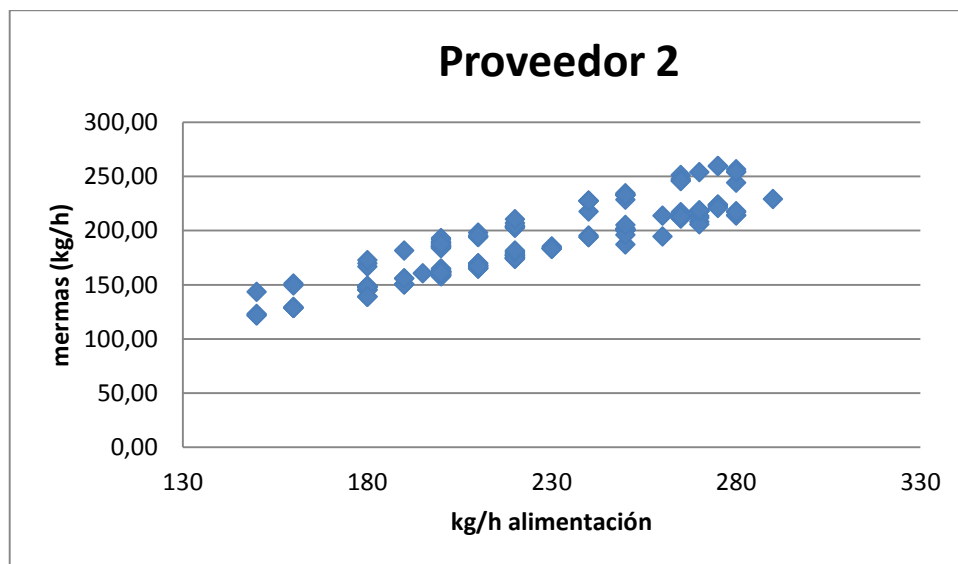


Gráfico 5: Cantidad rechazo en función de los kilos de alimentación para el Proveedor 2

Por tanto, la cantidad de aroma inyectado es proporcional a la producción, es decir, si la producción aumenta un 10%, deberíamos inyectar un 10% más de aditivo. Los cálculos que realiza el programa se muestran a continuación:

Se le llama "Factor" a:

$$\text{Factor} = \text{kilos objetivo} / \text{kilos actuales} \quad (\text{Ecuación 6})$$

La cantidad de aditivo debería ser:

$$\text{Cantidad nueva a inyectar} = \text{factor} \times \text{cantidad inyectada actualmente} \quad (\text{Ecuación 7})$$

Sin embargo, la cantidad inyectada y la velocidad de giro de la bomba no son lineales, como muestra el Gráfico 2 y hay que tener en cuenta esa no linealidad. Es decir, la velocidad de giro nueva no tiene por qué ser igual al factor multiplicado por la velocidad de giro anterior.

Se va a suponer el siguiente procedimiento de cálculo, que luego se probará experimentalmente. Viendo el Gráfico 2, si la velocidad actual de la bomba está en el intervalo [22,6, 24,3] Hz no se produce cambio significativo en la salinidad. Por tanto, el aumento en el caudal debe tener en cuenta el valor actual de caudal de partida y sumarle ese intervalo (o trozo de intervalo) donde la bomba no aumenta la salinidad a la solución final.

Los cálculos que realiza el programa se muestran a continuación:

- En el caso de que $\text{Factor} > 1$:

Si $H_{z_{actual}} > 24,3$ Hz, entonces:

$$H_{z_{objetivo}} = \text{Factor} \cdot H_{z_{actual}} \quad (\text{Ecuación 8})$$

Si $H_{z_{actual}}$ está entre [22,6 - 24,3] Hz, entonces:

$$H_{z_{objetivo}} = \text{Factor} \cdot 24,3 \quad (\text{Ecuación 9})$$

Si $H_{z_{actual}} < 22,6$ Hz, entonces se define Factor_1 como:

$$\text{Factor}_1 = \frac{22,6}{H_{z_{actual}}} \quad (\text{Ecuación 10})$$

- si $\text{Factor}_1 > \text{Factor}$

$$H_{z_{objetivo}} = \text{Factor} \cdot H_{z_{actual}}$$

- si $\text{Factor}_1 < \text{Factor}$

Se define Factor_2 como la cantidad que queda por aumentar:

$$Factor_2 = \frac{Factor}{Factor_1} \quad (\text{Ecuación 11})$$

$$Hz_{objetivo} = Factor_2 \cdot 24,3 \quad (\text{Ecuación 12})$$

- En caso de que $Factor < 1$

Si $Hz_{actual} > 24,3$ Hz, se define $Factor_3$ como:

$$Factor_3 = \frac{24,3}{Hz_{actual}} \quad (\text{Ecuación 13})$$

- si $Factor_3 > Factor$

$$Hz_{objetivo} = Factor \cdot Hz_{actual}$$

- si $Factor_3 < Factor$

Se define $Factor_4$ como la cantidad que queda por disminuir:

$$Factor_4 = \frac{Factor}{Factor_3} \quad (\text{Ecuación 14})$$

$$Hz_{objetivo} = Factor_4 \cdot 22,6 \quad (\text{Ecuación 15})$$

Si Hz_{actual} está entre [22,6 - 24,3] Hz, entonces:

$$Hz_{objetivo} = Factor \cdot 22,6 \quad (\text{Ecuación 16})$$

Si $Hz_{actual} < 22,6$ Hz:

$$Hz_{objetivo} = Factor \cdot Hz_{actual}$$

5.4 Diferencias de sal entre el proceso y los paquetes

Objetivo: en este apartado se va a estudiar si existen diferencias de sal entre el producto que sale de la línea de producción y el producto una vez envasado para poder fijar un valor objetivo de salinidad y unas pautas de control fijas.

Procedimiento: se tomaron un total de 10 muestras de tamaño 2 cada 5 minutos del producto en proceso y una bolsa del producto envasado correspondiente al periodo de fabricación de las muestras tomadas. Los resultados fueron:

Tabla 5: Diferencias de salinidad entre proceso y paquete

	proceso			paquete	
	% sal	media	diferencia	% sal	diferencia
1	2,4	2,585	1,1605	2,2	0,7755
	2,77				
2	2,63	2,62	1,1955	2,58	1,1555
	2,61				
3	2,67	2,655	1,2305	2,61	1,1855
	2,64				
4	2,71	2,735	1,3105	2,7	1,2755
	2,76				
5	2,65	2,655	1,2305	2,7	1,2755
	2,66				
6	2,81	2,815	1,3905	2,96	1,5355
	2,82				
7	2,88	2,89	1,4655	2,89	1,4655
	2,9				
8	3,15	3,04	1,6155	3,01	1,5855
	2,93				
9	3,11	3,105	1,6805	2,99	1,5655
	3,1				
10	2,58	2,57	1,1455	2,77	1,3455
	2,56				

El resumen estadístico de estas dos variables, la sal en el proceso y la del producto envasado, se muestran en la tabla siguiente.

Resumen Estadístico

	<i>proceso</i>	<i>paquete</i>
Recuento	10	10
Promedio	1,3425	1,3165
Desviación Estándar	0,19028	0,245965
Coefficiente de Variación	14,1736%	18,6833%
Mínimo	1,1455	0,7755
Máximo	1,6805	1,5855
Rango	0,535	0,81
Sesgo Estandarizado	1,0733	-1,39968
Curtosis Estandarizada	-0,412358	0,990708

Figura 6: Resumen estadístico de la salinidad en el producto envasado y en el proceso

Como los valores de asimetría y curtosis pertenecen al intervalo (-2,2) se asume la normalidad de los datos y se pasa a realizar el contraste de hipótesis siguiente asumiendo un riesgo de primera especie de $\alpha=0,05$.

$$H_0: m_{sal\ proceso} = m_{sal\ paquete}$$

$$H_1: m_{sal\ proceso} \neq m_{sal\ paquete}$$

Después de realizar el análisis, al ser el p-valor mayor que 0,05, se concluye que no existen diferencias entre las medias de las dos muestras con un nivel de confianza del 95% y, por tanto, se acepta la hipótesis nula.

Prueba t para comparar medias

Hipótesis nula: $media1 = media2$

Hipótesis Alt.: $media1 \neq media2$

suponiendo varianzas iguales: $t = 0,264392$ valor-P = 0,794482

No se rechaza la hipótesis nula para $\alpha = 0,05$.

Figura 7: Test para la comparación de medias de la salinidad entre proceso y paquete

Para una mejor visualización, se grafican los intervalos LSD. En el gráfico se observa que no existen diferencias estadísticamente significativas en el contenido de sal entre el proceso y los paquetes ya que los intervalos se solapan.

Tabla de Medias con intervalos de confianza del 95,0%

			<i>Error Est.</i>		
	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>(s agrupada)</i>	<i>Límite Inferior</i>	<i>Límite Superior</i>
proceso	10	1,3425	0,0695362	1,2392	1,4458
paquete	10	1,3165	0,0695362	1,2132	1,4198
Total	20	1,3295			

Figura 8: Tabla de medias para la comparación de la salinidad entre proceso y paquete

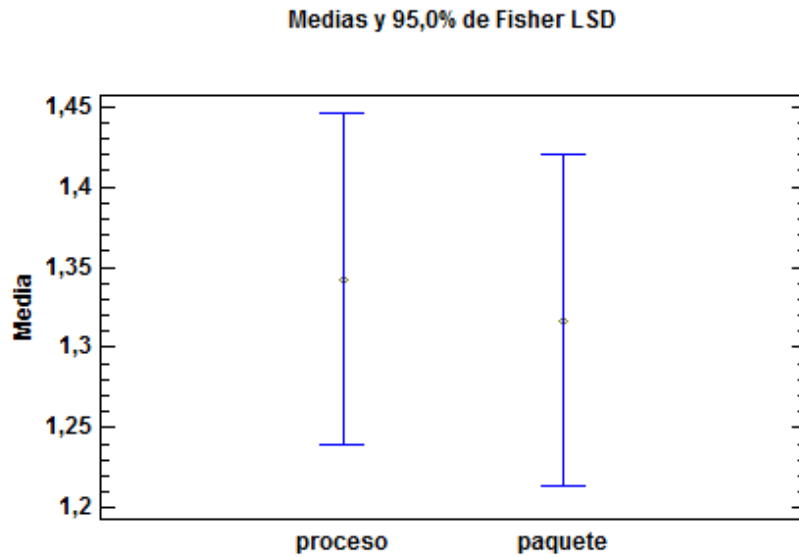


Gráfico 6: Intervalos LSD de la salinidad entre proceso y paquete

Respecto a la variabilidad, tampoco se encuentran diferencias entre las dos muestras ya que el p-valores es superior a 0,05, por tanto, también se acepta la hipótesis nula de que las varianzas son iguales.

Comparación de Desviaciones Estándar

	<i>proceso</i>	<i>paquete</i>
Desviación Estándar	0,19028	0,245965
Varianza	0,0362067	0,0604989
Gl	9	9

Razón de Varianzas= 0,598468

Intervalos de confianza del 95,0%

Desviación Estándar de proceso: [0,130882; 0,347378]

Desviación Estándar de paquete: [0,169184; 0,449037]

Razones de Varianzas: [0,148651; 2,40943]

Prueba-F para comparar Desviaciones Estándar

Hipótesis Nula: $\sigma_1 = \sigma_2$

Hipótesis Alt.: $\sigma_1 < \sigma_2$

F = 0,598468 valor-P = 0,456221

No se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0,05.

Figura 9: Contraste de Varianza para la salinidad entre proceso y paquete

Conclusión: como no existen diferencias entre la sal del producto en proceso y del producto envasado, no se modifica el valor medio de sal (1,42%) para el control.

5.5 Verificación del software

Para la validación del software, después del arranque habitual de la línea de producción (230 kg/h materia prima y 40kg/h aroma), se realizaron unas pequeñas modificaciones, marcadas con una línea negra vertical en el gráfico siguiente. Las muestras se cogieron cada 15-20 minutos.

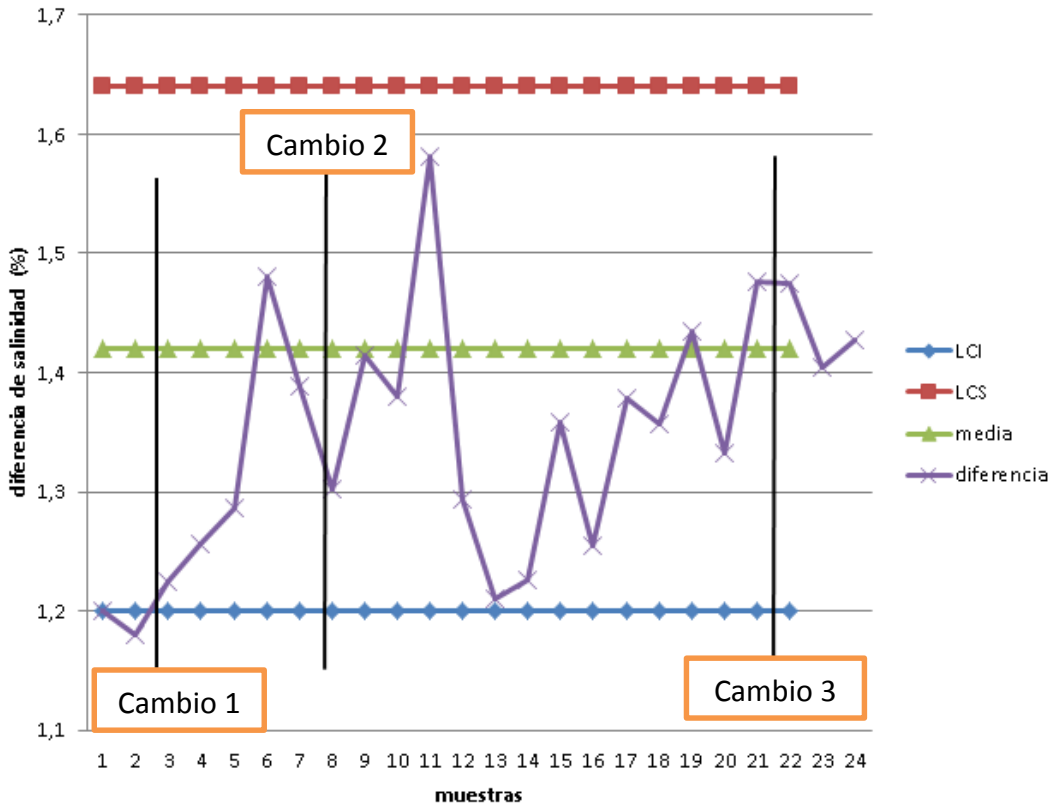


Gráfico 7: Validación del software

En primer lugar, como la diferencia de salinidad tenía un valor menor al LCI, se aumentó la dosificación de aroma de 40 a 43,9 kg/h (dato proporcionado por el software) para que la diferencia de sal fuera de 1,42. Efectivamente, la característica de calidad aumenta y se estabiliza alrededor del valor objetivo.

El segundo cambio que se realizó, fue un aumento de kg de alimentación, pasando de 230 a 270 kg/h. Con el software se calculó la cantidad de aroma que se tenía que inyectar, siendo ésta de 54,7 kg/h, para mantener constante el valor de la diferencia de sal del que se partía.

Por último, se realizó un último cambio, en este caso se aumentaron 10kg la alimentación de maíz a la entrada de la línea, siendo el total de 280 kg/h. Para ello, se fijó la cantidad de aroma en 56,7kg/h según el software. Al ser el aumento mucho

menor que en el caso anterior, la característica de calidad se estabiliza inmediatamente y no se produce ningún cambio brusco de ésta.

5.6 Segunda validación del software

Otro día de producción se realizó una segunda validación del software. Como se puede observar en el gráfico siguiente, la diferencia de salinidad era muy elevada, aproximadamente 1,8%, valor que sobrepasa el límite superior del gráfico de control. La alimentación era de 220kg/h y la dosificación de aroma de 53kg/h. Con la ayuda del software se calculó la nueva dosificación de aroma, 43kg/h. En el gráfico se aprecia que el porcentaje de sal disminuye y se estabiliza alrededor de la media.

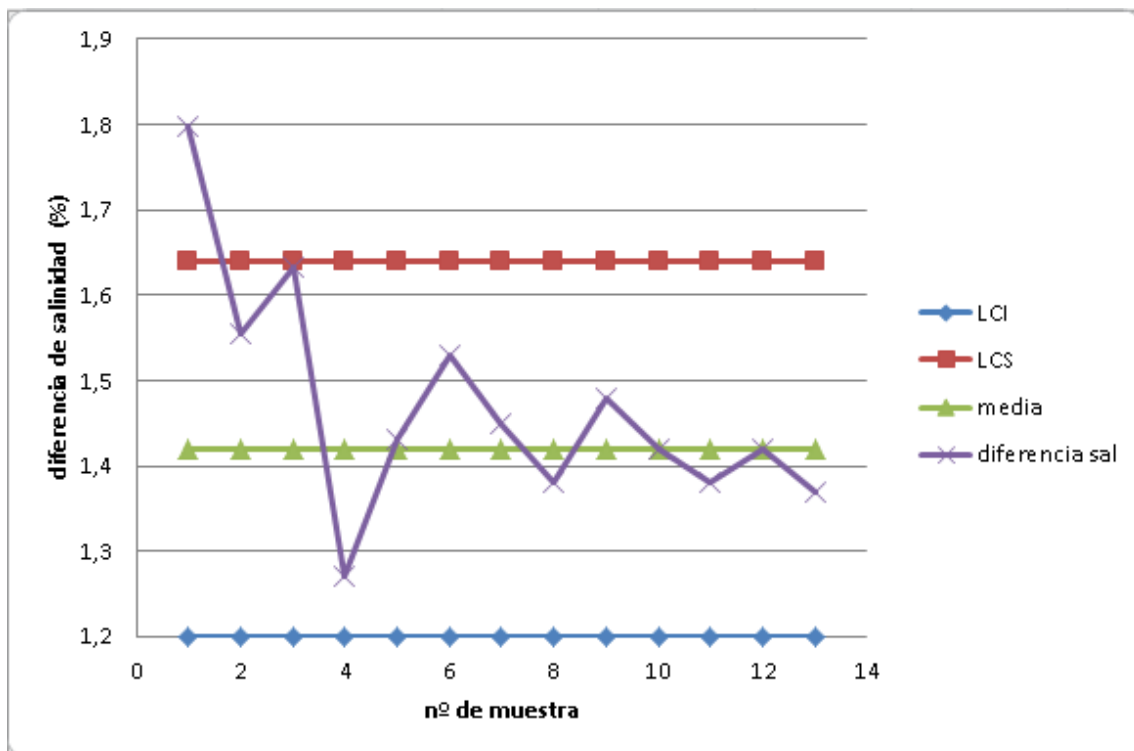


Gráfico 8: Segunda validación del software

A continuación se pasó a estudiar la humedad, ya que es una característica que le afecta muchísimo al producto. Una vez se hayan estudiado las dos características deseadas, se planteará una propuesta de control del proceso para dejar de controlar el producto envasado.

6. Estudio de la humedad del Nuevo-Snack

6.1 Estudio de la calidad de las mediciones de humedad

Para poder realizar un control de calidad de la humedad, es necesario comprobar en primer lugar que los procedimientos de medida en el laboratorio son suficientemente precisos.

El procedimiento habitual de medida de la humedad requiere que el operario deposite una cantidad entre 2 y 3 gramos de producto en la desecadora.

Objetivo: comprobar si la cantidad depositada influye en la precisión del valor de humedad.

Procedimiento: se realizó un diseño de experimentos con un solo factor, cantidad de producto pesado, a dos niveles (2 y 3 gramos). Se realizaron 25 mediciones a cada nivel, alternando éstos para bloquear el posible aumento de humedad en el producto. Del mismo modo, para no tener en cuenta el factor operario, el experimento se realizó por la misma persona y se utilizó un producto que no se tenía que moler para bloquear el efecto del tiempo de molido.

Los resultados de este estudio son muy importantes puesto que si hubiera influencia, se debería fijar el mejor nivel para realizar las mediciones con mayor precisión.

Antes de realizar el contraste, se debe asumir que la variable muestreada se distribuye normalmente para poder aplicar la inferencia estadística. Si se presta atención a los valores de asimetría y curtosis tipificada en el análisis descriptivo que se muestra a continuación, se puede concluir que los datos cumplen con la hipótesis de normalidad puesto que estos valores pertenecen al intervalo (-2,2).

Resumen Estadístico		
	gr2	gr3
Frecuencia	25	25
Media	2,272	2,2612
Mediana	2,36	2,21
Varianza	0,0796	0,0619277
Desviación típica	0,282135	0,248853
Mínimo	1,72	1,81
Máximo	2,72	2,62
Rango	1,0	0,81
Asimetría tipi.	-0,831502	-0,505173
Curtosis tipificada	-0,994627	-1,31956

Figura 10: Análisis descriptivo de la humedad al depositar 2gr y 3gr

Para tener una visión más directa, a continuación se representan los histogramas y el gráfico de probabilidad normal para los dos conjuntos de datos:

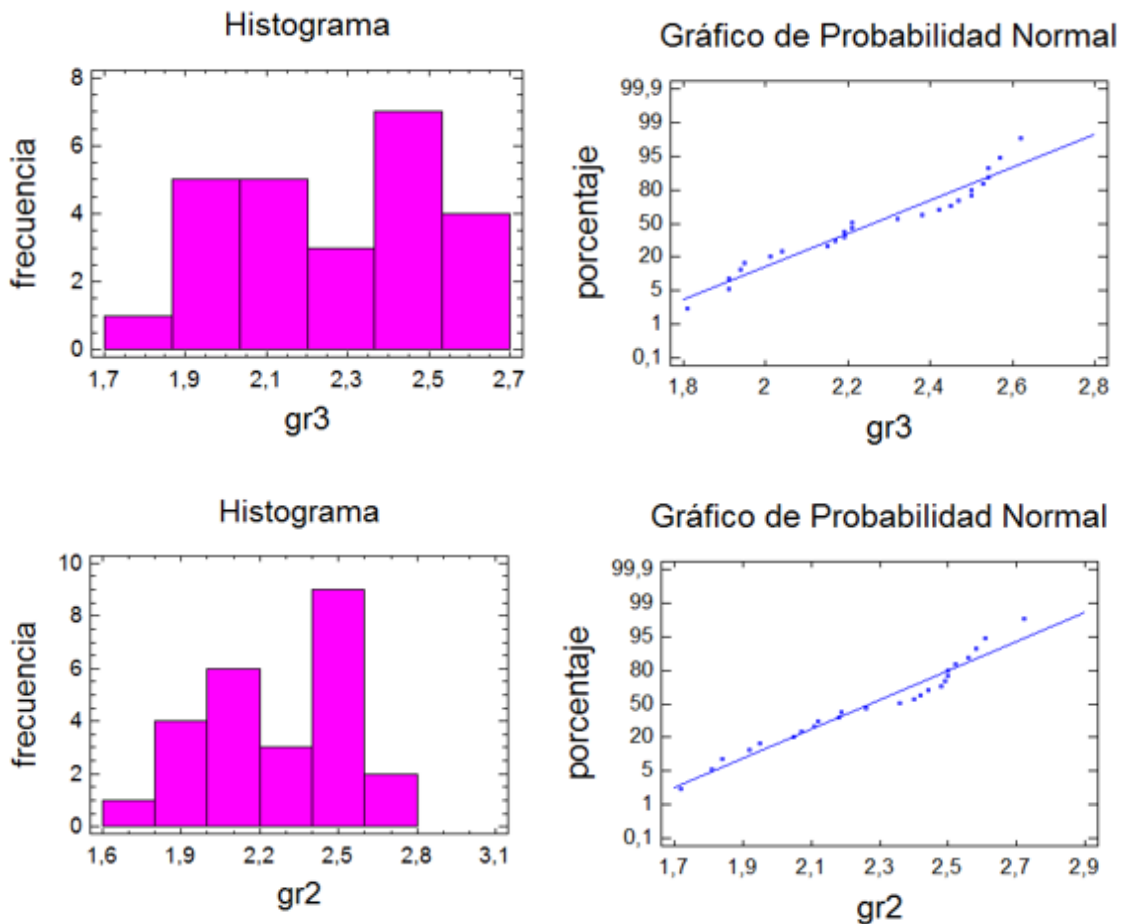


Gráfico 9: Gráficos de probabilidad normal e histogramas para la humedad al depositar 2 y 3 gramos

Por tanto, como no hay evidencia de no normalidad, se asume el modelo normal como adecuado para el análisis posterior.

Una vez realizadas las mediciones de humedad, se compararon las medias y la variabilidad de las dos muestras mediante el siguiente contraste de hipótesis, suponiendo un riesgo de primera especie de $\alpha=0,05$.

Contraste de hipótesis para las medias:

$$H_0: m_{humedad\ 2g} = m_{humedad\ 3g}$$

$$H_1: m_{humedad\ 2g} \neq m_{humedad\ 3g}$$

Contraste de hipótesis para la variabilidad

$$H_0: \sigma_{humedad\ 2g} = \sigma_{humedad\ 3g}$$

$$H_1: \sigma_{humedad\ 2g} \neq \sigma_{humedad\ 3g}$$

Para estudiar si existen diferencias entre de las dos poblaciones, se realizó el test de comparación de medias. Al ser el p-valor mayor que el riesgo de primera especie considerado, se concluye que no hay diferencias entre las dos medias, siendo indiferente la cantidad de producto que se deposite en la desecadora dentro del intervalo estudiado. A continuación, también se adjunta la tabla de medias y los intervalos LSD para observar claramente que éstos se solapan.

Prueba t para comparar medias
 Hipótesis nula: $\mu_1 = \mu_2$
 Hipótesis Alt: $\mu_1 \neq \mu_2$
 suponiendo varianzas iguales: $t = 0,14354$ valor-P = **0,886465**
 No se rechaza la hipótesis nula para $\alpha = 0,05$.

Figura 11: Test para la comparación de medias de la humedad al depositar 2 y 3 gr de producto

Tabla de Medias
con 95,0 intervalos LSD

	Frec.	Media	Error Estándar (s agrupada)	Límite inf.	Límite sup.
gr2	25	2,272	0,0532029	2,19636	2,34764
gr3	25	2,2612	0,0532029	2,18556	2,33684
Total	50	2,2666			

Figura 12: Tabla de medias para la comparación de medias de la humedad al depositar 2 y 3 gr de producto

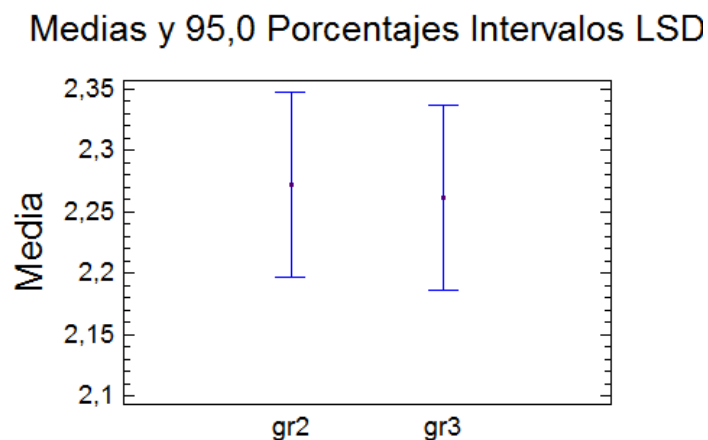


Gráfico 10: Intervalos LSD para la humedad al depositar 2 y 3gr de producto

El contraste de hipótesis sobre la variabilidad de las dos poblaciones, siendo la hipótesis nula de partida que la varianza de las dos poblaciones es la misma, se muestran a continuación:

Comparación de Desviaciones Estándar

	<i>gr2</i>	<i>gr3</i>
Desviación Estándar	0,282135	0,248853
Varianza	0,0796	0,0619277
<u>Gl</u>	24	24

Razón de Varianzas= 1,28537

Intervalos de confianza del 95,0%

Desviación Estándar de *gr2*: [0,220299; 0,392492]

Desviación Estándar de *gr3*: [0,194311; 0,346192]

Razones de Varianzas: [0,566423; 2,91686]

Prueba-F para comparar Desviaciones Estándar

Hipótesis Nula: $\sigma_1 = \sigma_2$

Hipótesis Alt.: $\sigma_1 < \sigma_2$

F = 1,28537 valor-P = 0,543334

No se rechaza la hipótesis nula para $\alpha = 0,05$.

Figura 13: Comparación de varianzas de la humedad al depositar 2 y 3 gr de producto

Al ser el p-valor $> 0,05$, no se puede rechazar la hipótesis nula, por tanto, no hay diferencias en la variabilidad.

Conclusión: la cantidad de producto pesado dentro de este intervalo de estudio es indiferente.

6.1.1 Comparación de las dos máquinas de humedad

Objetivo: una vez es sabido que la cantidad de producto pesado no influye en las mediciones, se procedió a comparar las dos desecadoras que se encuentran en el laboratorio.

Procedimiento: en primer lugar, se llenó un tupper de producto cogido directamente de la línea de producción y seguidamente, se calculó la humedad del producto, alternando cada vez la máquina utilizada para bloquear el posible aumento de humedad del producto durante las mediciones.

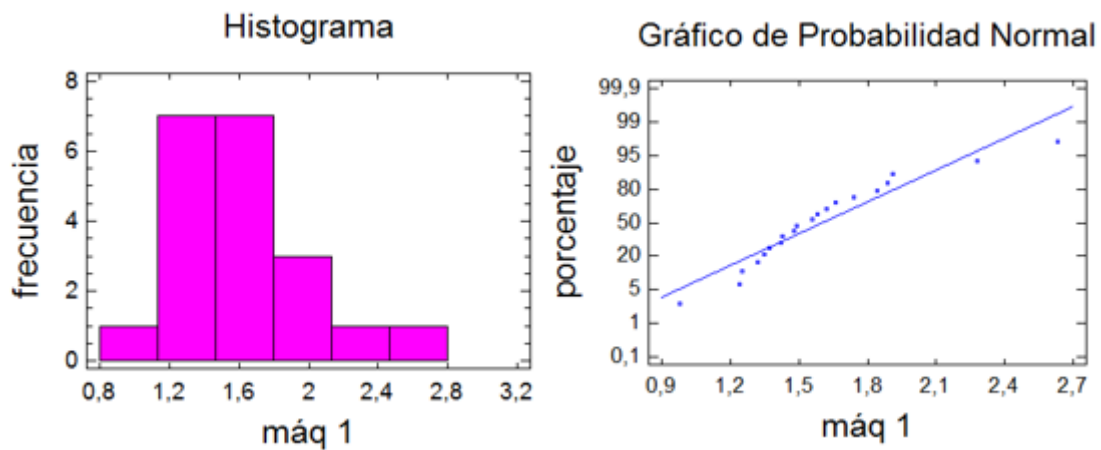
Como en el caso anterior, en primer lugar se muestra un resumen estadístico de los datos y se comprueba que éstos cumplen con la hipótesis de normalidad.

Resumen Estadístico

	<i>máq 1</i>	<i>máq 2</i>
Recuento	20	20
Promedio	1,602	1,611
Desviación Estándar	0,377298	0,347107
Coficiente de Variación	23,5517%	21,546%
Mínimo	0,98	1,23
Máximo	2,63	2,37
Rango	1,65	1,14
Sesgo Estandarizado	2,12787	1,14562
Curtosis Estandarizada	1,79814	-0,515202

Figura 14: Resumen estadístico para la humedad de las dos desecadoras

En este caso, se aprecia que el valor de la asimetría tipificada de la humedad medida en la máquina 1 no está dentro del rango esperado (-2,2) para los datos de una distribución normal. A continuación se muestra el histograma y el gráfico probabilístico normal para los valores de humedad obtenidos en las dos máquinas.



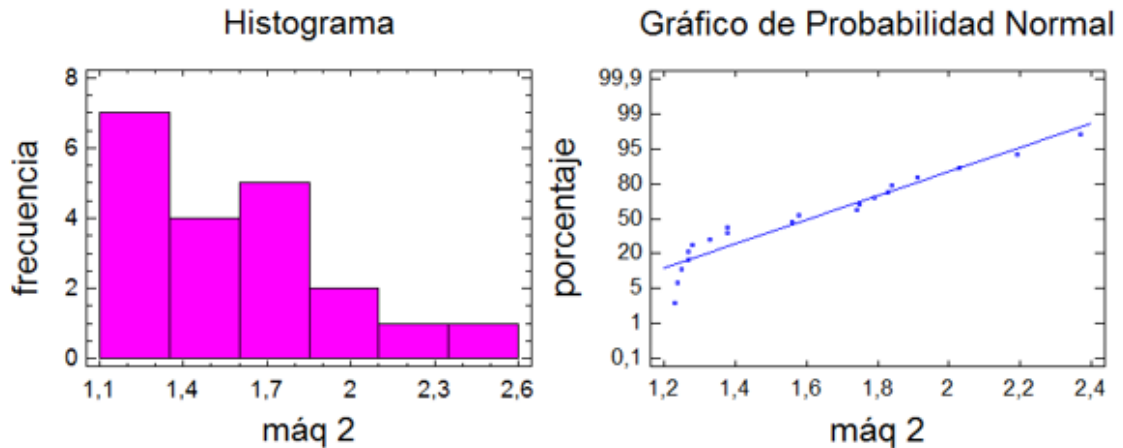


Gráfico 11: Gráficos de probabilidad normal e histogramas para los datos de humedad de las dos desecadoras

Al apreciar que las dos distribuciones tienen una marcada asimetría positiva, se va a realizar la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, recomendada para cuando se dispone de poca cantidad de datos ($N < 50$). El contraste de hipótesis que se pretende comprobar con un nivel de confianza del 95% es:

H_0 : los valores de humedad se distribuyen según la normal

H_1 : los valores de humedad siguen una distribución normal

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
maq1	,139	20	,200*	,921	20	,104
maq2	,197	20	,040	,901	20	,043

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera. a. Corrección de significación de Lilliefors

Figura 15: Prueba de normalidad para los datos de las dos desecadoras

Según los resultados obtenidos, se rechaza la hipótesis nula de normalidad para los valores de humedad de la desecadora 2 ($\text{Sig} < \alpha$) mientras que para un nivel de confianza del 95%, esta hipótesis no se puede rechazar para los datos que proporciona la desecadora 1.

Por tanto, al no cumplir la hipótesis de normalidad, se van a comparar las medianas utilizando un test no paramétrico; el contraste de Mann-Whitney o de Wilcoxon.

El contraste de hipótesis de medianas que se realiza, con un nivel de confianza del 95% es:

$$H_0: \text{mediana}_{\text{humedad máq 1}} = \text{mediana}_{\text{humedad máq 2}}$$

$$H_1: \text{mediana}_{\text{humedad máq 1}} \neq \text{mediana}_{\text{humedad máq 2}}$$

Comparación de Medianas

Mediana de muestra 1: 1,525

Mediana de muestra 2: 1,57

Prueba W de Mann-Whitney (Wilcoxon) para comparar medianas

Hipótesis Nula: $\text{mediana}_1 = \text{mediana}_2$

Hipótesis Alt.: $\text{mediana}_1 \neq \text{mediana}_2$

Rango Promedio de muestra 1: 20,525

Rango Promedio de muestra 2: 20,475

W = 199,5 valor-P = 1,0

No se rechaza la hipótesis nula para $\alpha = 0,05$.

Figura 16: Comparación de medianas de las dos desecadoras

Se concluye que no hay diferencias entre las medianas de las dos desecadoras. Del mismo modo, también se concluye que no existen diferencias en la variabilidad puesto que el p-valor del contraste es superior al riesgo de primera especie $\alpha=0,05$.

Comparación de Desviaciones Estándar

	<i>máq 1</i>	<i>máq 2</i>
Desviación Estándar	0,377298	0,347107
Varianza	0,142354	0,120483
Gl	19	19

Razón de Varianzas= 1,18152

Intervalos de confianza del 95,0%

Desviación Estándar de *máq 1*: [0,286931; 0,551071]

Desviación Estándar de *máq 2*: [0,263971; 0,506974]

Razones de Varianzas: [0,467661; 2,98506]

Prueba-F para comparar Desviaciones Estándar

Hipótesis Nula: $\sigma_1 = \sigma_2$

Hipótesis Alt.: $\sigma_1 \neq \sigma_2$

F = 1,18152 valor-P = 0,719904

No se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0,05.

Figura 17: Contraste de varianzas para la humedad de las dos desecadoras

Conclusión: como no existen diferencias entre ellas, las dos desecadoras dan resultados equivalentes.

6.2 Estudio de la humedad

Objetivo: en primer lugar, se va a realizar la Fase I del control estadístico para estimar la media y la variabilidad de la humedad de un día de producción.

Procedimiento: se cogieron un total de 31 muestras de tamaño 2 y se midió la humedad dentro de la cabina que hay instalada al final de la línea de producción donde las condiciones de temperatura y humedad están controladas. En este caso, la temperatura estaba alrededor de los 31,6°C y la humedad relativa era del 27,6%.

Resumen Estadístico para Humedad Nuevo_Snack

Frecuencia = 62
Media = 1,61484
Mediana = 1,605
Varianza = 0,0190713
Desviación típica = 0,138099
Mínimo = 1,32
Máximo = 1,88
Rango = 0,56
Asimetría tipi. = -0,787339
Curtosis típicada = -1,0703

Figura 18: Resumen estadístico para la Humedad

A continuación se muestran distintos gráficos correspondientes al análisis descriptivo de esta característica de calidad.

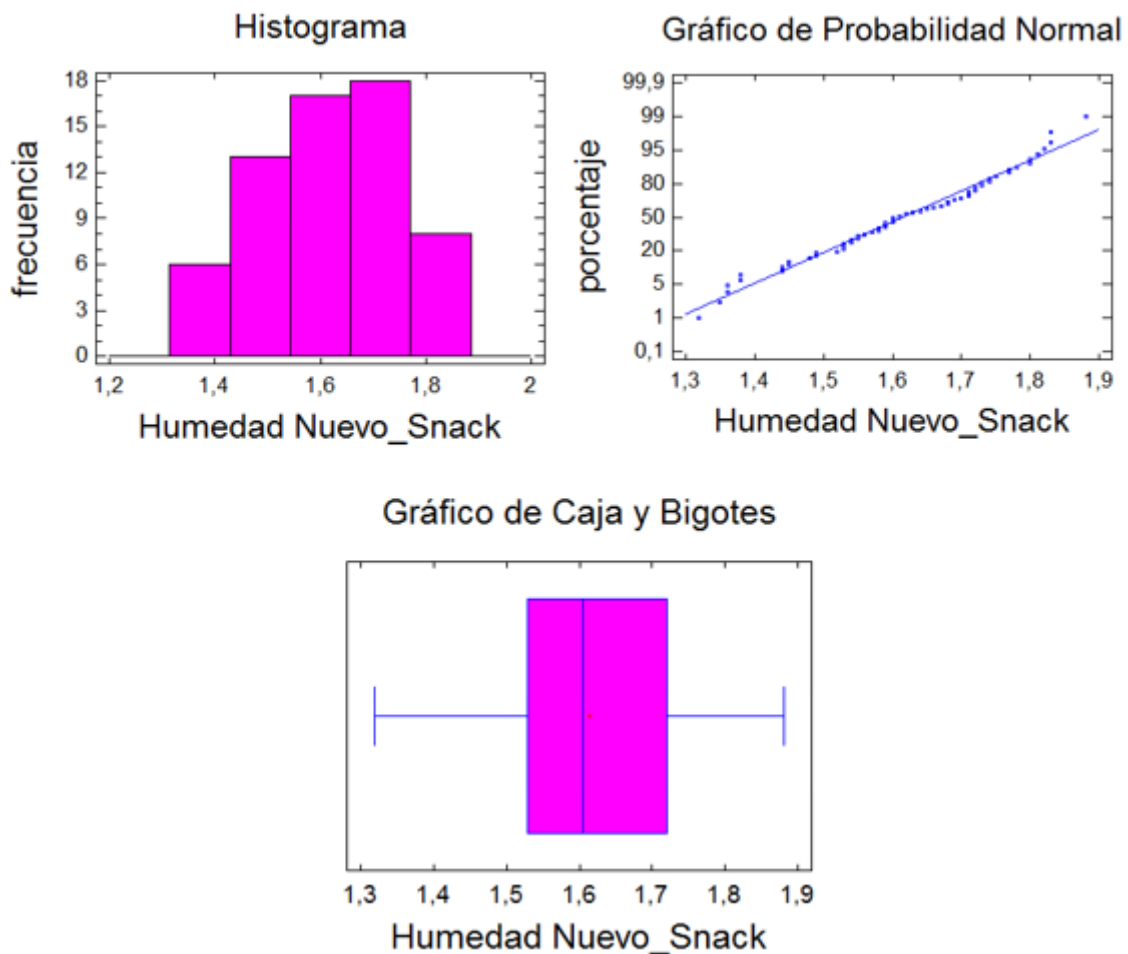


Gráfico 12: Gráficos descriptivos para la variable Humedad

En los gráficos anteriores se puede observar cómo esta característica cumple la hipótesis de normalidad.

Las especificaciones técnicas de la empresa para esta variable son:

Tabla 6: especificaciones técnicas para la humedad

NCI	LCI	media	LCS	NCS
producto quemado	1,4	1,7	2	2,2

Seguidamente, se estiman los límites de control para la humedad y se construye el gráfico de control para la media.

En el gráfico de la media, se observa un cambio en el nivel de la humedad correspondiente al cambio de turno de la mañana a la tarde, además, se ha eliminado un punto que salía por debajo del límite inferior para estimar los estadísticos.

Gráfico X-bar para Humedad Nuevo_Snack

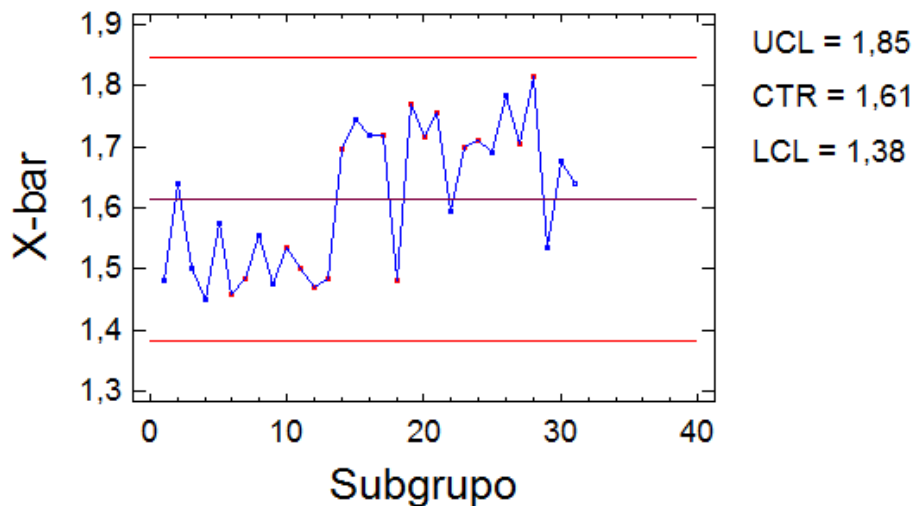


Gráfico 13: Gráfico de la media para la humedad

6.3 Diferencias de humedad entre proceso y paquete

Objetivo: Al igual que con el porcentaje de sal, se estudió si había diferencia entre la humedad del producto que sale del proceso y la humedad del producto una vez envasado.

Procedimiento: se tomaron muestras de tamaño 2 tanto del proceso como del paquete correspondiente. Los resultados se muestran a continuación:

Resumen Estadístico

	<i>proceso</i>	<i>paquete</i>
Recuento	12	12
Promedio	1,51042	1,74833
Desviación Estándar	0,0559406	0,115273
Coefficiente de Variación	3,70366%	6,59331%
Mínimo	1,45	1,55
Máximo	1,64	1,985
Rango	0,19	0,435
Sesgo Estandarizado	1,80035	0,415539
Curtosis Estandarizada	0,891381	0,362087

Figura 19: Resumen estadístico para la humedad en proceso y la humedad en paquete

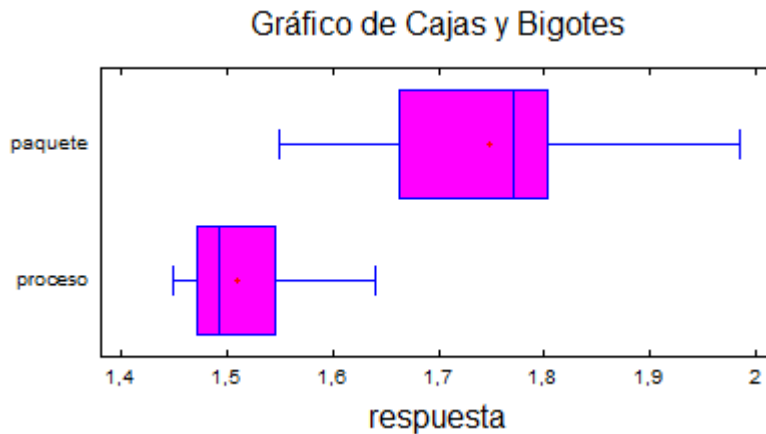


Gráfico 14: Gráfico de Cajas y Bigotes para la humedad en proceso y la humedad en paquete

Con los datos obtenidos se realizó un contraste de hipótesis, en el que en la hipótesis de partida se suponía la igualdad de medias. Utilizando un riesgo de primera especie igual al 5%, se obtuvo el resultado siguiente:

Prueba t para comparar medias

Hipótesis nula: $\mu_1 = \mu_2$

Hipótesis Alt: $\mu_1 < \mu_2$

suponiendo varianzas iguales: $t = -6,43229$ valor-P = **0,00000179809**

Se rechaza la hipótesis nula para $\alpha = 0,05$.

Figura 20: Comparación de medias de la humedad entre proceso y paquete

Se puede concluir que sí que existen diferencias significativas entre las medias con un nivel de confianza del 95% puesto que el p-valor es menor que el riesgo de primera especie considerado. A continuación se muestra la tabla y el gráfico con los intervalos LSD.

Tabla de Medias con 95,0 intervalos LSD					
	Frec.	Media	Error Estándar (s agrupada)	Límite inf.	Límite sup.
paquete	12	1,74833	0,0261544	1,70998	1,78669
proceso	12	1,51042	0,0261544	1,47206	1,54877
Total	24	1,62937			

Figura 21: Tabla de medias para la humedad en proceso y en paquete

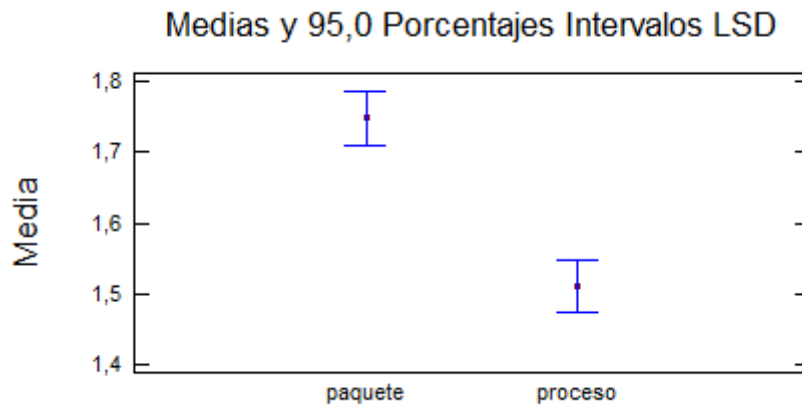


Gráfico 15: Intervalos LSD para la humedad en proceso y en paquete

Para cuantificar la diferencia de humedad, se calcula el cociente siguiente, concluyendo que la humedad en los paquetes es mayor que la del proceso, aproximadamente un 16% más elevada.

$$\frac{\text{media paquete}}{\text{media proceso}} = \frac{1,75}{1,51} = 1,159$$

Se debe tener en cuenta que esta humedad será mayor cuanto más tiempo se tarde en envasar el producto. Al ser un producto muy sensible a la humedad, la empresa impone que, si el producto tarda más de 5 minutos en envasarse, se considera como producto no conforme y se debe desechar.

A continuación se muestra el contraste de varianzas, suponiendo que en la hipótesis nula la variabilidad de la humedad en proceso y en paquete es la misma.

Comparación de Desviaciones Estándar

	<i>proceso</i>	<i>paquete</i>
Desviación Estándar	0,0559406	0,115273
Varianza	0,00312936	0,0132879
Gl	11	11

Razón de Varianzas= 0,235505

Intervalos de confianza del 95,0%

Desviación Estándar de proceso: [0,0396281; 0,0949804]

Desviación Estándar de paquete: [0,0816589; 0,19572]

Razones de Varianzas: [0,0677965; 0,818072]

Prueba-F para comparar Desviaciones Estándar

Hipótesis Nula: $\sigma_1 = \sigma_2$

Hipótesis Alt.: $\sigma_1 < \sigma_2$

F = 0,235505 valor-P = 0,0241534

Se rechaza la hipótesis nula para $\alpha = 0,05$.

Figura 22: Contraste de varianzas para la humedad en proceso y en paquete

Según los resultados, se concluye que también existen diferencias de variabilidad con un nivel de confianza del 95% puesto que el p-valor es inferior al riesgo de primera especie considerado. En la figura siguiente se puede observar que la variabilidad en los paquetes es mayor que la del proceso.

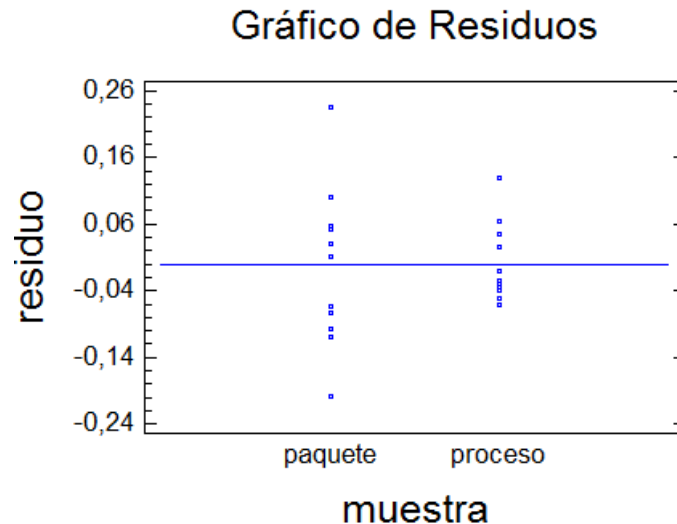


Gráfico 16: Gráfico de los residuos de la humedad en proceso y en paquete

Conclusión: se ha visto que existen diferencias tanto en la media como en la varianza. Por tanto, se deberá tener especial cuidado con esta variable y se tendrá que cumplir el procedimiento que marca la empresa, es decir, que el producto debe envasarse antes de que pasen 5 minutos desde su fabricación para que el producto final cumpla con los requisitos de calidad.

6.4 Diseño de experimentos para la humedad

Un experimento diseñado es de suma utilidad para descubrir las variables clave que influyen en las características de calidad de interés. Es un enfoque para hacer variar de manera sistemática los factores de entrada controlables y determinar el efecto que tienen sobre las características del producto de salida. Los experimentos diseñados estadísticamente sirven para reducir la variabilidad de las características de calidad, así como para determinar los niveles de las variables controlables que optimizan el proceso.

Para poder controlar la humedad cuando los valores no son los deseados, los operarios de la línea modifican los parámetros que se muestran en la tabla siguiente según el orden indicado. Éstos deben ejecutar cada vez una acción y esperar 5 minutos para ver su acción.

Tabla 1: Acciones y prioridad de ejecución para el control de la humedad

Prioridad de las acciones:	Defecto	Temperatura	Ventilador	Tambor	Alimentación
1º	Humedad Alta	Subir	Subir	Bajar	Bajar
2º	Humedad Baja	Bajar	Bajar	Subir	Subir
3º	Producto quemado	Bajar	Bajar	Subir	Subir
4º	Rechazo > 17%	Subir	Bajar	Subir	Bajar

Las variaciones de cada parámetro se realizan según se quiera un ajuste fino o un ajuste más brusco:

Tabla 2: Rango de variación de cada factor

Rango de variación	Ajuste fino	Ajuste grosero
Tª	de 1 en 1ºC	de 2 en 2
Ventilador	de 1 en 1 Hz	de 2 en 2
Tambor	de 0,1 en 0,1 rpm	de 0,2 en 0,2
Alimentador	de 5 en 5 kg/h	de 10 en 10

Objetivo: para comprobar si estos parámetros son los que afectan realmente a la humedad, se realiza un diseño de experimentos para estudiar el efecto de estos cuatro factores: la temperatura de la línea, el ventilador, el tambor y la alimentación de materia prima.

Procedimiento: se consideraron 2 niveles para cada factor, un nivel alto y uno bajo según los niveles habituales de producción. El rango de cada factor para el producto Nuevo-Snack se muestra a continuación:

Temperatura: [220-238] ºC

Ventilador: [35-40,2] Hz

Tambor: [4,1-4,6] rpm

Alimentación [150-295] Kg/h

Por tanto, se realizaron $2^4=16$ experimentos diferentes.

Para cada combinación de factores, se tomó una muestra de tamaño $n=4$ a los 5 minutos después de cada variación.

Los experimentos que se llevaron a cabo y los resultados de humedad en cada uno de ellos se muestran en la tabla siguiente:

Temperatura	Ventilador	Tambor	Alimentación	Humedad
220,0	40,2	4,1	150,0	1,345
220,0	35,0	4,6	295,0	3,078
238,0	35,0	4,1	150,0	1,303
220,0	35,0	4,1	150,0	1,268
238,0	35,0	4,6	150,0	1,408
220,0	40,2	4,1	295,0	2,645
220,0	40,2	4,6	150,0	1,743
220,0	35,0	4,6	150,0	1,795
238,0	40,2	4,1	150,0	1,154
238,0	35,0	4,1	295,0	2,645
220,0	35,0	4,1	295,0	3,17
238,0	35,0	4,6	295,0	1,188
220,0	40,2	4,6	295,0	3,313
238,0	40,2	4,6	150,0	1,485
238,0	40,2	4,6	295,0	2,303
238,0	40,2	4,1	295,0	2,098

Figura 23: Resultado de las pruebas del diseño de experimentos

A continuación se muestra el análisis de la varianza (ANOVA) para la humedad:

Análisis de Varianza para Humedad

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Temperatura	1,42385	1	1,42385	11,40	0,0197
B: Ventilador	0,00333506	1	0,00333506	0,03	0,8766
C: Tambor	0,0293266	1	0,0293266	0,23	0,6484
D: Alimentación	4,99411	1	4,99411	39,99	0,0015
AB	0,0361951	1	0,0361951	0,29	0,6134
AC	0,335531	1	0,335531	2,69	0,1621
AD	0,628453	1	0,628453	5,03	0,0749
BC	0,396585	1	0,396585	3,18	0,1348
BD	0,00660156	1	0,00660156	0,05	0,8273
CD	0,259336	1	0,259336	2,08	0,2091
Error total	0,624364	5	0,124873		
Total (corr.)	8,73768	15			

R-cuadrada = 92,8543 por ciento
R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 78,563 por ciento
Error estándar del est. = 0,353374
Error absoluto medio = 0,164469
Estadístico Durbin-Watson = 2,11796 (P=0,5132)
Autocorrelación residual de Lag 1 = -0,158351

Figura 24: Análisis de la varianza para la humedad

Antes de proponer un modelo, se va a realizar un análisis de los datos para comprobar que cumplen con las hipótesis básicas del análisis de la varianza.

Aunque las pruebas se llevaron a cabo de forma aleatoria, para estudiar la independencia de las observaciones, se grafican los residuos frente al número de fila para estudiar si el orden de las pruebas u otro factor no considerado hubiera podido afectar a la humedad.

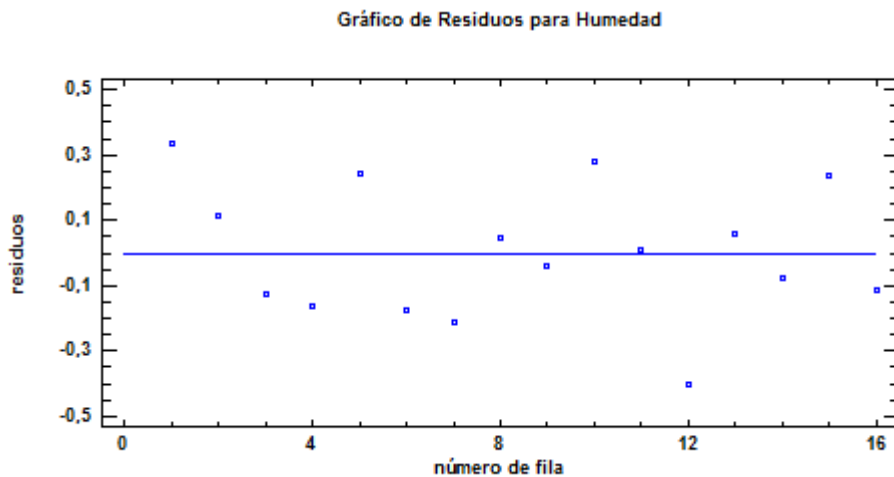


Gráfico 17: Gráfico de los residuos frente al número de fila

En el gráfico no se aprecia ninguna tendencia ya que los residuos se distribuyen de forma aleatoria, por tanto, se acepta la hipótesis de independencia en las observaciones.

Para estudiar la normalidad, se grafican los residuos en papel probabilístico normal:

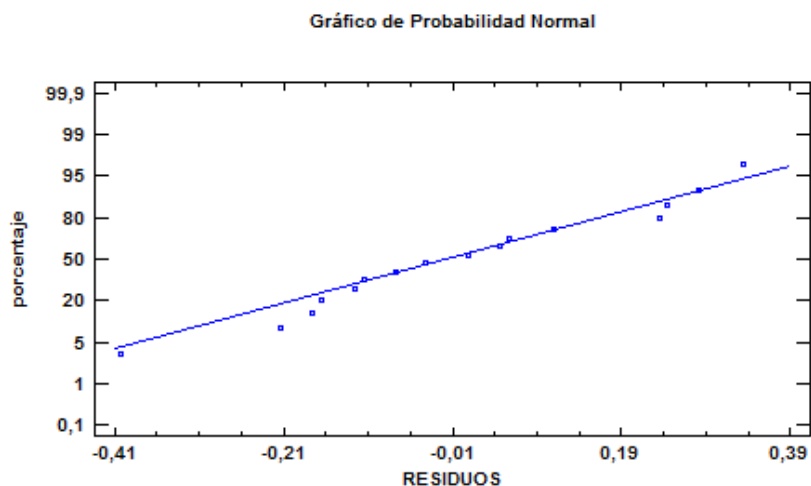


Gráfico 18: Gráfico de los residuos en papel probabilístico normal

Según el gráfico, se puede aceptar la hipótesis de normalidad ya que los puntos se ajustan alrededor de la recta.

La homocedasticidad se va a estudiar realizando un ANOVA a los residuos al cuadrado:

Análisis de Varianza para RESIDUOS² - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Temperatura	0,0015795	1	0,0015795	0,61	0,4506
B:Ventilador	0,000523879	1	0,000523879	0,20	0,6611
C:Tambor	0,000266486	1	0,000266486	0,10	0,7540
D:Alimentación	0,000461673	1	0,000461673	0,18	0,6805
RESIDUOS	0,0283908	11	0,00258099		
TOTAL (CORREGIDO)	0,0312224	15			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Figura 25: Análisis de la varianza a los residuos al cuadrado.

Como se puede observar, ningún factor tiene un efecto significativo sobre la variabilidad de la humedad puesto que todos los p-valores son mayores que el riesgo de primera especie considerado (0,05). Por tanto, la hipótesis de homocedasticidad también se cumple.

Para ver de forma gráfica los factores más significativos que afectan a la humedad, se adjuntan los gráficos siguientes:

Gráfico de Probabilidad normal para Humedad

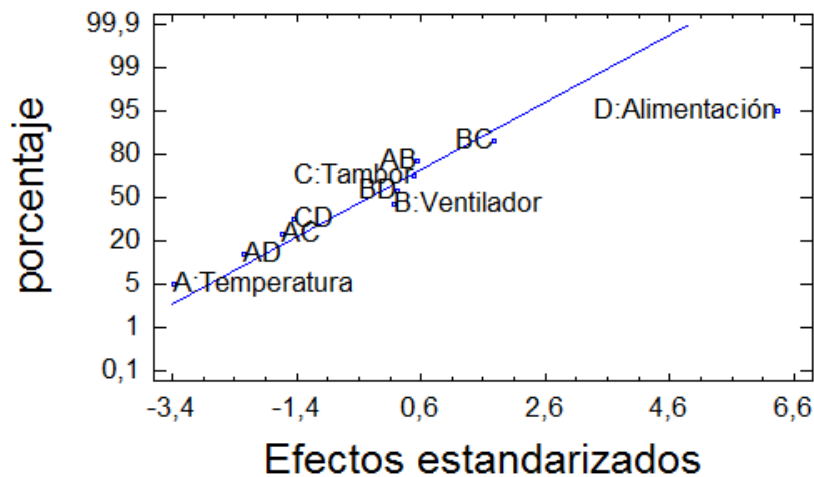


Gráfico 19: Gráfico de Daniel para la humedad

Gráfico de Pareto estandarizado para Humedad

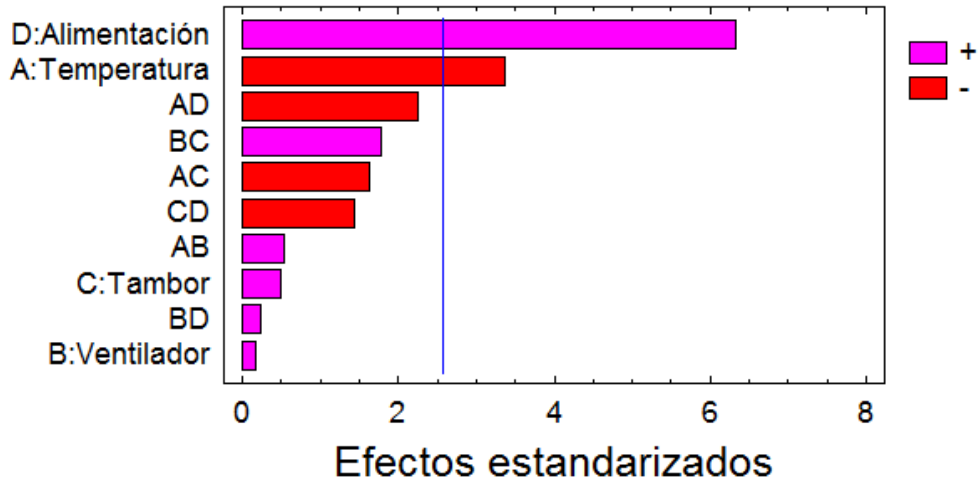


Gráfico 20: Gráfico de Pareto estandarizado para la humedad

Como se puede observar, el factor que más afecta a la humedad es la alimentación de manera positiva, es decir, a mayor alimentación, mayor humedad. Por otro lado, la temperatura afecta de forma negativa (a mayor temperatura, menor humedad).

Gráfico de Efectos principales para Humedad

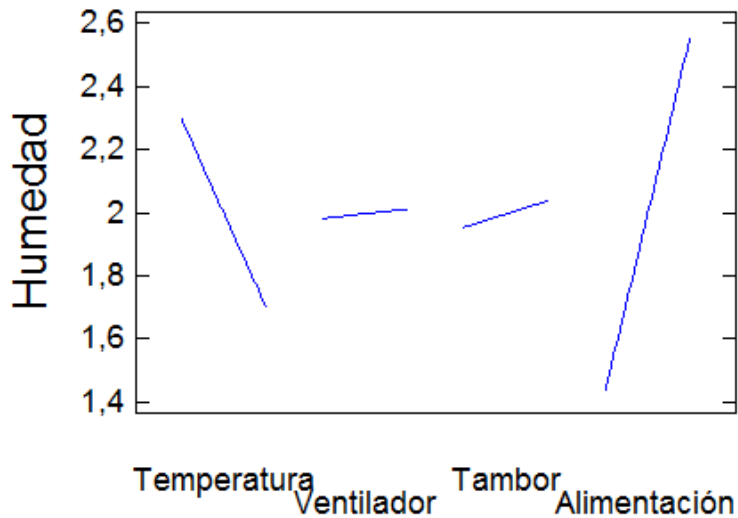


Gráfico 21: Gráfico de los efectos principales para humedad

Se decide realizar otro modelo eliminando el factor B (ventilador), que es el factor con menor cuadrado medio, y sus interacciones AB, BD y BC. En este caso, se obtiene que la interacción AD es significativa:

Análisis de Varianza para Humedad

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Temperatura	1,42385	1	1,42385	12,01	0,0071
C: Tambor	0,0293266	1	0,0293266	0,25	0,6309
D: Alimentación	4,99411	1	4,99411	42,12	0,0001
AC	0,335531	1	0,335531	2,83	0,1268
AD	0,628453	1	0,628453	5,30	0,0468
CD	0,259336	1	0,259336	2,19	0,1733
Error total	1,06708	9	0,118565		
Total (corr.)	8,73768	15			

R-cuadrada = 87,7876 por ciento
R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 79,646 por ciento
Error estándar del est. = 0,344332
Error absoluto medio = 0,193219
Estadístico Durbin-Watson = 2,34238 (P=0,7760)
Autocorrelación residual de Lag 1 = -0,19507

Figura 26: Análisis de la varianza para la humedad, al eliminar el factor B y las interacciones AB, BC y BD

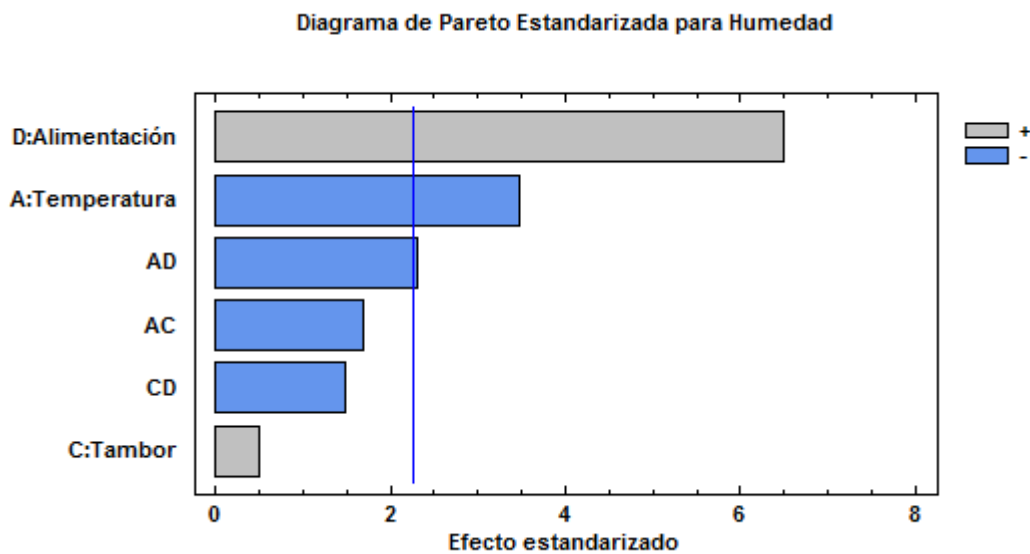


Gráfico 22: Gráfico de Pareto estandarizado para humedad al eliminar el factor B y las interacciones AB, BC y BD

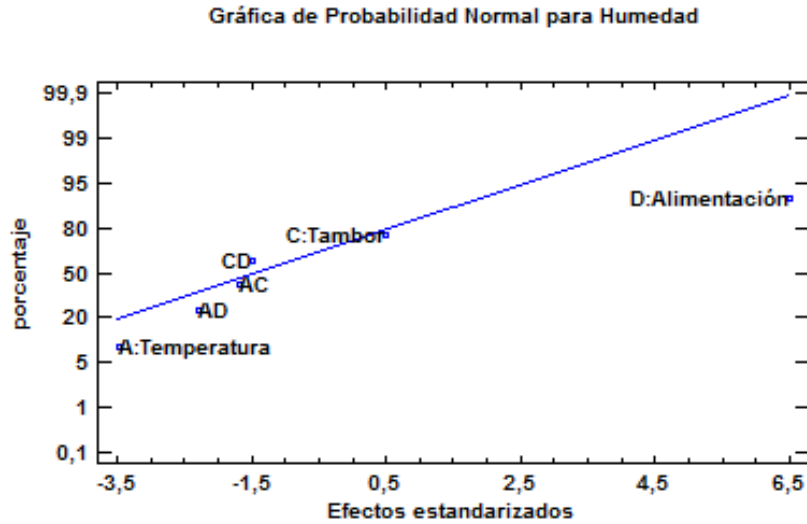


Gráfico 23: Gráfico de Daniel al eliminar el factor B y las interacciones AB, BC y BD

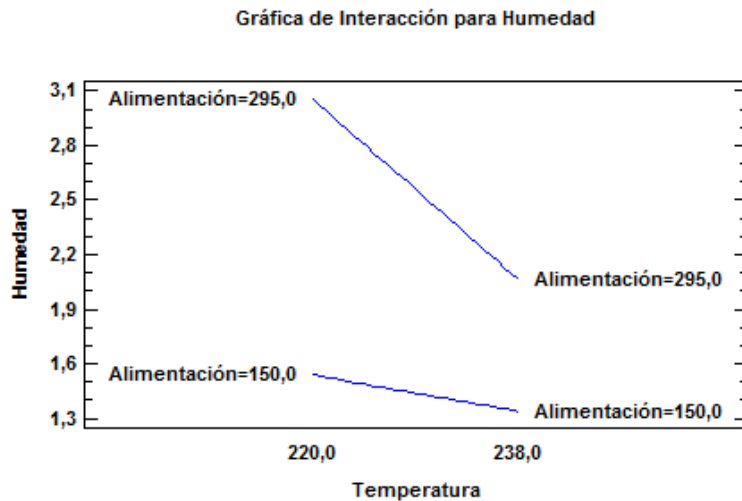


Gráfico 24: Gráfico del efecto de la interacción Temperatura*Alimentación

Como ya se ha comentado, en este caso, se incluye la interacción AD (temperatura x alimentación) como significativa. Los efectos de los factores se muestran a continuación:

Efectos estimados para Humedad

<i>Efecto</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error Estd.</i>
promedio	1,99631	0,086083
A: Temperatura	-0,596625	0,172166
C: Tambor	0,085625	0,172166
D: Alimentación	1,11738	0,172166
AC	-0,289625	0,172166
AD	-0,396375	0,172166
CD	-0,254625	0,172166

Errores estándar basados en el error total con 9 g.l.

Figura 27: Humedad promedio y efectos de los factores

6.4.1 Modelo para la humedad en función de los factores significativos

En este apartado, y según los resultados obtenidos en el diseño de experimentos, se va a proponer un modelo de regresión para la humedad en función de la temperatura, de la alimentación y de su interacción. Los resultados del modelo de regresión que proporciona el Statgraphics son:

Coef. de regresión para Humedad

<i>Coeficiente</i>	<i>Estimado</i>
constante	-7,60397
A: Temperatura	0,0344353
D: Alimentación	0,0772615
AD	-0,000303736

Figura 28: Coeficientes de regresión para los factores que afectan estadísticamente a la humedad

Por tanto, la ecuación del modelo ajustado es:

$$H = -7,60397 + 0,0344353 \cdot T + 0,0772615 \cdot A - 3,03736 \cdot 10^{-4} \cdot T \cdot A$$

siendo H la humedad, T la temperatura y A la alimentación.

Cabe destacar que esta ecuación solamente será válida para el rango de estudio, es decir, cuando la temperatura y la alimentación mínima sea de 220°C y 150kg respectivamente y los valores máximos de 238°C y 295kg.

Con el fin de realizar una propuesta de control para cuando se cambie la alimentación de materia prima o cuando se quiera ajustar la humedad siendo la alimentación constante, la ecuación anterior se operará del siguiente modo:

$$H + 7,60397 - 0,0772615 \cdot A = T \cdot (0,0344353 - 3,03736 \cdot 10^{-4} \cdot A)$$

$$T = \frac{H + 7,60397 - 0,0772615 \cdot A}{(0,0344353 - 3,03736 \cdot 10^{-4} \cdot A)}$$

Ecuación para ajustar la humedad manteniendo constante la alimentación:

$$T_{objetivo} = \frac{H_{objetivo} + 7,60397 - 0,0772615 \cdot A}{(0,0344353 - 3,03736 \cdot 10^{-4} \cdot A)}$$

Ecuación para mantener la humedad ante un cambio en la alimentación de materia prima:

$$T_{objetivo} = \frac{H + 7,60397 - 0,0772615 \cdot A_{objetivo}}{0,0344353 - 3,03736 \cdot 10^{-4} \cdot A_{objetivo}}$$

7. Tamaño de muestra y frecuencia de muestreo para la salinidad y la humedad

Una vez se tiene el gráfico de construido, se pasa a la fase de control. Para ello, se debe definir el tamaño de muestra (n) y la frecuencia de muestreo (t), parámetros que se eligen en función del proceso y del tiempo que se quiera tardar en detectar un cambio desde que ocurrió. Estos parámetros se calculan de la forma siguiente:

ARL: número medio de puntos hasta detectar el cambio.

$$ARL_{d \neq 0} = \frac{1}{1 - \beta}$$

ATS: tiempo medio hasta detectar el cambio.

$$ATS = ARL \cdot t$$

donde β es el error de segunda especie, $d = \frac{|media - NC|}{\sigma}$ es el cambio que se quiere detectar y n el tamaño de la muestra.

En la tabla siguiente se muestra un resumen de los límites de control estadísticos estimados y los de las especificaciones técnicas definidos por la empresa. A partir de estos valores, se calcula el descentrado que se quiere detectar:

Tabla 3: Especificaciones técnicas de la sal y la humedad

Característica	NCI	LCI	Estandar	LCS	NCS
Sal	1	1,2	1,35	1,5	1,7
Humedad	Quemado	1,4	1,7	2	2,2

Tabla 4: Parámetros estimados de la sal y la humedad

Característica	Media	Desviación típica
Sal	1,42	0,105
Humedad	1,61	0,138

Utilizando el criterio 3 sigma (probabilidad de falsa alarma del 0,27%) y sabiendo el descentrado que se quiere detectar en cada caso, se calcula en primer lugar el ARL y en función de éste, el tiempo de muestreo para detectar un cambio:

Tabla 11: ARL y ATS para la salinidad y la humedad en función del tamaño de muestra

Salinidad			Humedad		
Menor descentrado	$d = \frac{ 1,42 - 1,7 }{0,105} = 2,67$		Menor descentrado	$d = \frac{ 1,61 - 2,2 }{0,138} = 4,27$	
n=1	ARL=2,7	Muestreo cada 30min	n=1	ARL=1,11	Muestreo cada 30min
		ATS=81min			ATS=33,3min
		Muestreo cada 60min			Muestreo cada 60min
		ATS=162min			ATS=66,6min
n=2	ARL=1,28	Muestreo cada 30min	n=2	ARL=1	Muestreo cada 30min
		ATS=38,4min			ATS=30min
		Muestreo cada 60min			Muestreo cada 60min
		ATS=76,8min			ATS=60min

Se decide tomar una muestra de tamaño 2 cada 30 minutos para la sal, y de tamaño 1 para la humedad. Se calculan los límites de control considerando una probabilidad de falsa alarma del 2,7 %, que corresponde a un criterio 3 sigma. Para la sal, los cuales ya eran conocidos:

$$LCS = 1,42 + \frac{3 \cdot 0,105}{\sqrt{2}} = 1,64$$

$$LCI = 1,42 - \frac{3 \cdot 0,105}{\sqrt{2}} = 1,2$$

Para la característica de humedad:

$$LCS = 1,61 + 3 \cdot 0,138 = 2,02$$

$$LCS = 1,61 - 3 \cdot 0,138 = 1,38$$

8. Propuesta definitiva de control

En este apartado se proponen las pautas para realizar el control del proceso del Nuevo-Snack, con el fin de dejar de hacer el control del producto una vez envasado.

Procedimiento de control de la sal

- **Durante el arranque (arrancar como se paró la última vez):**

Se cogerán una muestra de tamaño 2 a los 10 minutos del arranque y a los 30min.

- **Durante el resto de la producción:**

Se analizará una muestra de tamaño 2 cada 30 minutos si no hay cambios en los parámetros del proceso.

Si la media de los dos valores de salinidad se encuentra fuera del intervalo [1,2, 1,64], se corregirá la cantidad dosificada de aroma utilizando el software y se medirá la sal pasados los 5 minutos. Se buscará siempre un valor objetivo de salinidad del 1,42%.

- **Si hay un cambio de kg en la alimentación:**

En este caso se modificará la alimentación y se variará la dosificación de aroma según el software correspondiente. El muestreo se realizará pasados los 5 minutos desde el cambio de aroma.

Procedimiento de control de la humedad

- **Durante el arranque (arrancar como se paró la última vez):**

Se cogerán una muestra de tamaño 1 a los 10 minutos del arranque y a los 30min.

- **Durante la producción**

Se analizará una muestra cada 30 minutos. La humedad debe estar comprendida entre 1,38 y 2,02, siendo el valor objetivo de 1,61.

Si la humedad es elevada (mayor que 2,02) se aumentará la temperatura de la línea y se medirá la humedad a los 5min.

Si la humedad es baja (menor que 1,38 o el producto sale quemado), se disminuirá la temperatura y se medirá la humedad a los 5 min.

Para ajustar la temperatura, se utilizará la ecuación siguiente:

$$T_{objetivo} = \frac{H_{objetivo} + 7,60397 - 0,0772615 \cdot A}{(0,0344353 - 3,03736 \cdot 10^{-4} \cdot A)}$$

- **Si hay un cambio de kg en la alimentación:**

En este caso se modificará la alimentación y se ajustará la temperatura para mantener la humedad constante siguiendo la ecuación:

$$T_{objetivo} = \frac{H + 7,60397 - 0,0772615 \cdot A_{objetivo}}{0,0344353 - 3,03736 \cdot 10^{-4} \cdot A_{objetivo}}$$

El muestreo se realizará 5 minutos después de variar la temperatura.

Cabe destacar, que uno de los siguientes pasos para la empresa será la verificación de esta propuesta de control ya que, después de realizar el diseño de experimentos para la humedad, los resultados no se han validado ni se han puesto en práctica en la línea productiva del Nuevo-Snack.

9. Bibliografía

BERTRAND L. HANSEN, PRABHAKAR M. GHARE. (1989). *Control de Calidad: teoría y aplicaciones*.

BLASCO CANTO, J. (2015). *Análisis de la calidad de las mediciones de salinidad para el control de proceso en Grefusa S.A.* Trabajo final de máster. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia

BOX, GEORGE E. P., HUNTER, J. STUART, HUNTER, WILLIAM G. (2005). *Statistics for Experimenters: design, discovery and innovation*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

Capítulo 9. Análisis no paramétrico.

<http://pendientedemigracion.ucm.es/info/socivmyt/paginas/D_departamento/materiales/analisis_datosyMultivariable/19nparam_SPSS.pdf> [Consulta 27 de enero de 2016]

*Elementarwissen medizinische Psychologie und medizinische Soziologie*Test. <https://www.newikis.com/de/books/Elementarwissen_medizinische_Psychologie_und_medizinische_Soziologie/_Test> [Consulta: 27 de enero de 2016]

GREFUSA. < <http://www.grefusa.com/>> [Consulta: 17 de diciembre de 2015]

MONTGOMERY, DOUGLAS C. (2001). *Control estadístico de la calidad*. México: Limusa Wiley.

MONTGOMERY, DOUGLAS C. (2005). *Design and Analysis of Experiments*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

VIADES TREJO, J. Adsorción de agua en alimentos. Isoterma de adsorción de Guggenheim, Anderson y de Boer (GAB).

<http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/11AwGABJV_14227.pdf> [Consulta:15 de abril de 2016]

VILAR BARRIO, J.F., DELGADO TEJADA, T. (2005). *Control estadístico de los procesos. SPC*. Madrid: FC Editorial.