
HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS DE LA CALIDAD PARA LA DIAGNOSIS: ESTUDIO DE UN CASO EN LA INDUSTRIA DE PRODUCTOS CÁRNICOS

Ronald Maldonado y Lucía Graziani

RESUMEN

La diagnosis es una estrategia metodológica gerencial utilizada para enfrentar los problemas de tolerancia e identificar las causas de las desviaciones o defectos. Se aplicaron algunas herramientas de la calidad (histogramas de frecuencia, diagrama de Ishikawa, Pareto y AMEF de mantenimiento) como estrategia de diagnosis en una empresa de productos cárnicos enlatados (PCE) con problemas de tolerancia en los pesos netos. Los resultados demostraron que los mayores problemas de calidad a nivel de fallas internas son generados en un 75%, en promedio, por el bajo peso, equivalente a 0,55 de defectuoso con respecto al total producido. El 58% de las observaciones estuvo fuera de las especificaciones, lo que genera una capacidad de proceso real de 0,004. El 80% del problema de

bajo peso en un PCE son provocados por: relación tiempo-temperatura de mezclado, cantidad de vapor, diseño de puestos de trabajo, velocidad de las aspas (rpm), diseño de las aspas y calidad de vapor. Los componentes y procesos más críticos son: relación tiempo-temperatura de mezclado, baja y alta velocidad de las aspas y diseño de las mismas, válvulas de control de vapor y calibración de los equipos de calentamiento en el control de temperatura de las mezcladoras, representando un 80% de los modos de falla. En la gestión de calidad de la empresa se debe incorporar un programa de mejoramiento basado en la reducción de la variabilidad inherente a nivel de proceso en un 83% y que la media poblacional se desplace hacia la izquierda en un 98%.

STATISTICAL TOOLS FOR QUALITY DIAGNOSIS: A CASE STUDY IN THE MEAT PRODUCT INDUSTRY

Ronald Maldonado and Lucía Graziani

SUMMARY

Diagnosis is a methodological management strategy used to solve tolerance problems and to identify the causes of deviations or defects. Some quality tools (histograms, Ishikawa diagrams, Pareto diagrams, maintenance failure mode effects analysis; FMEA) were applied as a diagnostic strategy at a canned meat enterprise (CME) with net weight problems. The results showed that an average of 75% of the biggest quality problems due to internal defects are caused by low weight, equivalent to a 0.55% defective production with regard to the total production. Of the observations made, 58% were outside specifications; which leads to a real capacity process of 0.004. The low weight problems in

a CME are caused in an 80% by the following problems: time-temperature ratio of the mixture, vapor amount, floor plan of the work place, velocity (rpm) and design of the mixing blades, and vapor quality. The most critical components and processes are: time-temperature ratio of the mixture, high and low velocity and design of the mixing blades, vapor control valves and calibration of the heating equipment in the control of the mixing machines; these represent 80% of the fault modes. The quality control system of a CME should include an improvement program based on reduction of the inherent process variability by 83%, displacing the population mean to the left by 98%.

Introducción

El jamón endiabado (producto cárnico para untar), que en el presente trabajo denominaremos producto cárnico enlatado (PCE), es un producto elaborado a base de carne proveniente de pernil y paleta de cerdo o de muslo de pierna de aves y grasa de la especie correspondiente; curado y cocido, finamente picado y/o molido, adicionado de especias, esterilizado o pasteurizado, envasado

en tripas artificiales, recipientes metálicos u otros aprobados por la autoridad sanitaria competente (COVENIN, 1998).

Las herramientas de calidad son útiles para encontrar las causas probables de un problema en un PCE, como primera fase para poder lograr el mejoramiento de la calidad. Sin embargo, hay pocos ejemplos en la literatura de cómo estas pueden aplicarse de manera practica en una industria de alimentos (Bisgaard y Kulahci, 2000).

Una alternativa para enfrentar los problemas de conformidad es identificar las causas de las desviaciones o defectos, lo que se logra a través del diagnóstico o diagnosis, el proceso de estudiar los síntomas de un problema y de determinar sus causas. Existe una herramienta fundamental empleada para este tipo de estudio y es el diagrama causa-efecto; sin embargo, la complejidad de los procesos pueden llegar a requerir, más que un procedi-

miento general, la participación de muchas herramientas de calidad (Juran y Gryna, 1995; Smith, 2000).

Parte del mejoramiento de la calidad consiste en el cambio del diagnóstico del síntoma a la causa, y para ello se disponen de técnicas de análisis en las que se incluyen las siete herramientas de la calidad (gráficas de control, hojas de revisión, histograma, diagrama de Pareto, diagrama de causa-efecto, gráfica de dispersión y diagrama de flujo). A

PALABRAS CLAVE / Calidad / Diagnosis / Mejoramiento de la Calidad / Productos Cárnicos /

Recibido: 06/03/2007. Modificado: 28/08/2007. Aceptado: 10/09/2007.

Ronald Maldonado. Ingeniero Agrónomo y M.Sc. en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Universidad Central de Venezuela

(UCV). Profesor, UCV, Venezuela. Dirección: Instituto de Química y Tecnología. Facultad de Agronomía, UCV. Apdo. 4579. Maracay

2101. Aragua, Venezuela. e-mail: maldonador@agr.ucv.ve

Lucía Graziani. Licenciada en Química y y M.Sc. en Ciencia y

Tecnología de Alimentos, Universidad Simón Bolívar, Venezuela. Profesora, UCV, Venezuela.

FERRAMENTAS ESTATÍSTICAS DA QUALIDADE PARA A DIAGNOSE: ESTUDO DE UM CASO NA INDÚSTRIA DE PRODUTOS CÁRNICOS

Ronald Maldonado e Lucía Graziani

RESUMO

A diagnose é uma estratégia metodológica gerencial utilizada para enfrentar os problemas de tolerância e identificar as causas dos desvios ou defeitos. Aplicaram-se algumas ferramentas da qualidade (histogramas de frequência, diagrama de Ishikawa, Pareto e AMEF de manutenção) como estratégia de diagnose em uma empresa de produtos cárnicos enlatados (PCE) com problemas de tolerância nos pesos netos. Os resultados demonstraram que os maiores problemas de qualidade no nível de falhas internas são, em média 75% gerados pelo baixo peso, equivalente a 0,55 de defeituoso do total produzido. 58% das observações estiveram fora das especificações, o que gera uma capacidade de processo real de 0,004. 80% do problema de

baixo peso em um PCE são provocados por: relação tempo-temperatura de mistura, quantidade de vapor, desenho de postos de trabalho, velocidade das pás (rpm), desenho das pás e qualidade do vapor. Os componentes e processos mais críticos são: relação tempo-temperatura de mistura, baixa e alta velocidade das pás e desenho das mesas, válvulas de controle de vapor e calibração dos equipamentos de aquecimento no controle de temperatura das misturadoras, representando 80% dos modos de falha. Na gestão de qualidade da empresa se deve incorporar um programa de melhoramento baseado na redução da variabilidade inerente no nível de processo em 83% e que a média populacional se desloque para a esquerda em 98%.

través de estas herramientas se lleva a cabo una recopilación eficiente de datos, identificación de patrones de éstos y medición de la variabilidad. De hecho, hasta un 95% de los problemas de las empresas pueden ser resueltos con las herramientas de calidad (Ishikawa, 1994; Juran y Gryna, 1995; Jackson y Frigon, 1998; Czarnecki *et al.*, 2000).

El análisis de modo y efecto de fallas (AMEF) es una herramienta sistemática para evaluar los modos de fallas y las causas asociadas con los procesos de diseño y manufactura de un nuevo producto. En ella se hace una lista de los modos de falla potenciales de cada componente o sub-ensamblaje y se le asigna a cada uno una calificación numérica para la frecuencia de ocurrencia, el aspecto crítico y la probabilidad de detección. Por último, estas tres cifras se multiplican para obtener el número de prioridad de riesgo (NPR), que se utiliza para guiar el esfuerzo de diseño al problema más crítico. Los casos con los más altos valores de NPR deben ser considerados primero a fin de recomendar acciones específicas con la intención de reducir los niveles de severidad, ocurrencia y/o detección (Soin, 1997).

Hay antecedentes que demuestran la aplicación de las herramientas de calidad para ayudar a los gerentes en el desarrollo de estrategias del control y mejoramiento en la industria de alimentos, tal como lo demuestran Mitchell y Lavelle (1995), quienes las usaron para el control

del peso neto en las líneas de operación de cartones de cuarto, medio y un litro de leche entera, semi-descremada y descremada. Estos autores mostraron que los histogramas de frecuencia para leche entera estaban desplazados hacia el límite de especificación superior, además de presentar una forma bimodal debido al desajuste de la mitad de las válvulas empleadas para el llenado.

En muchas industrias de alimentos el bajo peso neto representa un problema importante debido a que genera pérdidas a las empresas y es solo la punta de iceberg, ya que a este se suman los costos de reproceso, pérdida de tiempo, aumento de desperdicio material y humano, así como problemas legales por incumplimiento de las especificaciones exigidas por el cliente. El objetivo del presente estudio fue determinar las causas probables del bajo peso neto existentes en un PCE para untar, con base en la aplicación de las herramientas para el diagnóstico de la calidad, como los histogramas de frecuencia, el diagrama de causa-efecto y diagrama de Pareto. Además se propone un programa de mejoramiento a través del desplazamiento de la media y reducción de la variabilidad, tomando como base la capacidad de proceso 1.33, esto garantiza que el 99,99% de los valores de peso neto estén dentro de los límites de tolerancia establecidos por el cliente y, finalmente, se aplica el análisis de modo de efecto y fallas (AMEF) de mantenimiento.

El estudio fue realizado en la empresa General Mills de Venezuela C.A., en las operaciones de mezclado y llenado de la línea de procesamiento de productos cárnicos enlatados para uso comestible (jamón endiablado) ubicada en Cagua, Edo. Aragua, Venezuela.

Materiales y Métodos

Materiales

El producto cárnico enlatado (PCE) para untar es una combinación de carne de cochino deshuesado (pernil o paleta madre o regular) con sales y especies aromáticas, que es luego molido, mezclado, llenado, envasado en latas de 55g contenido neto y esterilizado, con la finalidad de obtener un producto cárnico untable conservado a temperatura ambiente, apto para el consumo humano desde el punto de vista físico, químico, microbiológico, nutricional y sensorial.

Diagnóstico de los defectos

El diagnóstico de los defectos fue realizado con los datos de las retenciones y revisiones del PCE, obtenidos del informe mensual del Departamento de Aseguramiento de la Calidad de la empresa en julio, agosto y septiembre 2005.

Capacidad de proceso y metas para su mejoramiento

Para determinar la capacidad del proceso real (C_p) se tomaron datos históricos, estando el

proceso bajo control estadístico (Montgomery, 1997). El intervalo de tolerancia de la variable peso neto ($55 \pm 1,65g$) determina el límite de especificación inferior (LEI) en valor nominal (T) y el límite de especificación superior (LES). Los cálculos y la elaboración de los histogramas de frecuencia fueron realizados utilizando el paquete estadístico Statgraphics Plus para Windows, versión 2.1. Las metas a considerar en un programa de mejoramiento para el proceso de llenado de un PCE fueron establecidas como

a) la reducción de la variabilidad (%R) expresada como

$$\% \text{ Reducción} = R/\sigma_r \times 100$$

donde $R = \sigma_r - \sigma_m$; siendo $\sigma_m = (LES - LEI)/C_{p_0} \times 6$ la variabilidad mejorada, tomando como base una capacidad de proceso objetivo $C_{p_0} = 1,33$; y $\sigma_r = 2,41$ la variabilidad real; y

b) el desplazamiento de la media poblacional (%K) basado en el índice

$$K = (\bar{x} - \mu)/(LSE - LIE)$$

donde $\mu =$ valor nominal, y $\bar{x} = 55,72$ (promedio real de un proceso bajo control estadístico). Con valores positivos de K la media se desplaza hacia la derecha y con valores negativos la media se desplaza a la izquierda. El porcentaje de desplazamiento (%K) es expresado de manera que cada incremento en 0,1 unidad de K representa 10% del desplazamiento de la media con respecto a la media nominal ($T = 55g$).

Para el cálculo del porcentaje de latas que están fuera de especificaciones se procedió a efectuar los cinco pasos siguientes: 1) se determinó la media y la varianza poblacional de la variable peso neto, 2) se calculó la capacidad de proceso real inferior como

$$C_{pk} = \frac{\bar{x} - LEI}{3\sigma}$$

3) se calculó la capacidad de proceso real superior como

$$C_{pk} = \frac{LES - \bar{x}}{\sigma}$$

4) se determinó el valor de Z para cada uno de los C_{pk} calculados con la fórmula $Z=3C_{pk}$, y finalmente 5) se determinó la fracción del universo que está fuera de las especificaciones, con los valores de Z obtenidos en las tablas de distribución de Z (Canavos, 1988).

Análisis de los defectos

El análisis de los defectos fue realizado usando el diagrama de causa-efecto según Ishikawa (Ishikawa, 1994), complementado con la técnica de grupos nominales (TGN) según procedimiento publicado por Gutiérrez (1994) y priorizadas las causas a través del diagrama de Pareto (Kume, 1992).

AMEF de mantenimiento

Con el fin de analizar las fallas y sus causas en la operación de llenado del PCE, se construyó el AMEF de mantenimiento según lo señalado por Cotnareanu (1999), incorporando además el diagrama de Pareto (Kume, 1992) para priorizar los procesos críticos y medidas preventivas.

Resultados y Discusión

Diagnóstico de los defectos

En la Figura 1 se muestran los defectos, en porcentaje de cajas, que generaron retenciones en julio, agosto y septiembre 2005. Se evidencia que el bajo peso fue el defecto predominante, con valores de 79; 80 y 62%, respectivamente, durante los meses en estudio, lo que a su vez representó el 0,82; 0,43 y 0,39% del total de cajas producidas en cada mes. Estos por-

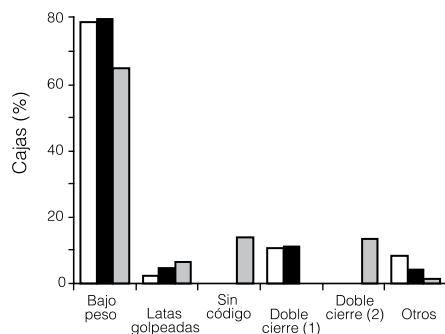


Figura 1. Principales defectos encontrados en un PCE durante los meses de julio, agosto y septiembre 2005 en una industria de alimentos.

centajes, aunque en apariencia bajos, surgen de un proceso de reinspección al 100% de los lotes rechazados, donde cada lote está conformado por 1000 cajas. La detección y denuncia de este defecto por parte de los clientes puede generar para la empresa un problema de tipo legal (legislación metrológica), sin contar la pérdida de confianza por parte de los clientes y el incremento de los costos.

Capacidad de proceso y metas para su mejoramiento

La Figura 2 muestra la distribución de frecuencia de la variable peso neto de un PCE. El histograma muestra que los datos se aproximan a una distribución normal y el estadístico de Shapiro-Wilks= 0,96 lo confirma. La curva de distribución de los pesos netos está desplazada hacia la derecha del valor nominal ($T= 55g$) en un 98% (valor K), detectándose que el 58% de las observaciones realizadas no cumplen con las especificaciones (%FE), el 49% presenta fallas de sobre peso ($>LES= 56,65g$) y el 9% de bajo peso ($<LEI= 53,35g$). El desplazamiento de la media del proceso por encima del valor

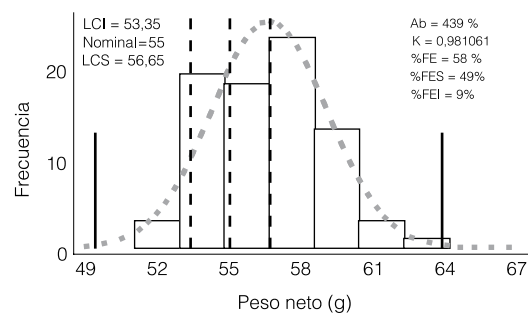


Figura 2. Distribución de frecuencia de la variable peso neto de un PCE.

nominal es atribuido a que la acción correctiva implementada ante la no conformidad del bajo peso consiste en mezclar producto cárnico frío con producto caliente, lo que provoca un aumento del peso específico de la mezcla y por ende del peso de las latas. Lo anterior conlleva a que el índice de capacidad de proceso real (C_{pk}) sea de 0,004, indicando que el proceso operando en las condiciones actuales es incapaz de cumplir con los requisitos exigidos por el cliente, el cual es adquirir latas de un PCE con un peso neto que esté entre 53,35 y 56,65g. Según Jackson y Frigon (1998) en el ambiente competitivo actual, la capacidad mínima del proceso debe ser mayor de 2, lo que significa $0,0018 \times 10^{-4}$ % de defectos. Por lo tanto, las cifras encontradas en el presente estudio son elevadas, pudiendo crear problemas de competitividad a la empresa. Para que la empresa pueda plantearse la posibilidad de cumplir con las exigencias del cliente y estar a un nivel de capacidad altamente competitivo en el mercado, deben establecerse nuevas metas (Tabla I) basadas en la reducción de la variabilidad inherente del proceso en un 83% y que la media

poblacional se desplace hacia la izquierda en un 98% (centrar el proceso). Una forma de lograrlo de manera inmediata es a través de la compra de una nueva llenadora, y a mediano plazo a través de la implementación de un mejoramiento continuo de los procesos (Deming, 1991; Hammer y Champ, 1993).

Análisis de los defectos

La relación que existe entre los factores causales y el bajo peso de un PCE, es expresada en forma de diagrama causa-efecto en la Figura 3. Las posibles causas están agrupadas en cuatro categorías: mano de obra, máquina, materia prima y métodos. La categoría 'máquina' contiene 14 fuentes de variación que representan el 47% del total de las posibles causas de bajo peso, mientras que las otras tres categorías: mano de obra, materia prima y métodos tienen el 17, 13 y 23%, respectivamente.

En la Figura 4 se jerarquizan las causas a través del diagrama de Pareto, observándose que seis son las causas que contribuyen en un 80% a ocasionar el bajo peso en el producto: i) Ausencia de control en relación tiempo-temperatura

TABLA I
METAS A CONSIDERAR EN UN PROGRAMA DE MEJORAMIENTO PARA EL PROCESO DE LLENADO DE UN PCE

Límite de especificaciones (g)			Variabilidad del proceso		R	%R	K	%K
Inferior LEI	μ	Superior LES	Actual (σ_r)	Mejorado (σ_m)	2	83	0,98	98
53,35	55	56,65	2,41	0,41				

μ : media nominal; $\sigma_m = (LES-LEI)/C_{po} \times 6$, donde $C_{po} = 1,33$; $R = \sigma_r - \sigma_m$; $\% R = R/\sigma_r \times 100$; K: desplazamiento de la media, calculado como $K = (\bar{X} - \mu)/(LSE - LIE)$, donde μ : valor nominal y $\bar{X} = 55,72$; valores de K positivos: media se desplace hacia la derecha, K negativo: media se desplace a la izquierda; $\%K$: cada incremento en 0,1 unidad de K representa 10% del desplazamiento de la media con respecto a la media nominal ($T=55g$)

TABLA II
ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA POTENCIAL (AMEF) DE MANTENIMIENTO
DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DE UN PCE EN BASE AL PESO NETO

Equipos / Procesos	Modo de falla	Efecto de falla	Causa de la falla	Controles actuales	Acción correctiva	Acciones preventivas	Condiciones existentes ¹			NPR ²
							O	S	D	
Mezcladora / Homogenización	Falta de control del tiempo de vaciado y llenado de las mezcladoras, deficiente, control de temperatura	Rompimiento de la estructura, reproceso y sobrepeso	Ausencia de registros de tiempo y temperatura	Empíricos. Es visual y depende de la pericia del operador	Mezclar producto frío con producto caliente	Automatización	6	6	6	216
	Alta rpm	Sobre mezclado	Desconoci-miento del rpm ideal	Control por ensayo y error	Menor tiempo de mezclado	Instalar controles de velocidad / estandarizar procesos	6	3	5	90
	Baja rpm	Sobrepeso	Mezclado deficiente	Control por ensayo y error	Mayor tiempo de mezclado	Instalar controles de velocidad / estandarizar procesos	6	4	5	120
	Falta de uniformidad de las aspas	Rompimiento de la estructura	Diferentes diseños de aspas	Control por ensayo y error	Mayor o menor tiempo de mezclado	Unificar el diseño de las aspas	5	3	5	75
Varios, vapor de calentamiento / control de temperatura a nivel de las mezcladoras	Mal funcionamiento de las trampas de condensado	Disminuye la calidad del vapor	No hay control de la cantidad de condensado a desalojar	Aumento del tiempo de proceso	Limpieza del sistema	Mejora del sistema, instalar un regulador de presión	3	5	4	60
	Mal funcionamiento de las válvulas de control	Deficiencia de la cantidad de vapor	Falta de ajuste	Se sigue un programa de servicio	Servicio de mantenimiento mensual/ automatización	Válvulas de vapor por mezcladora	4	5	4	80
	Falta de calibración	No se reflejan las temperaturas reales del proceso	Ausencia de un programa de seguimiento de calibración	Ninguno	Ajustes en el equipo	Programa de calibración	4	4	4	64
Llenadora Envasado / Dosificación	Desgastes en las válvulas	Alta variabilidad en el peso	No baja la leva de la válvula, depende de la calidad del producto	Ninguna	Reparación al momento de ocurrir el problema	Revisar periódicamente	2	3	4	24
	Desgaste en el O-ring de los pistones	Alta variabilidad en el peso	Falla en el vacío por avería en el O-ring	Cambio según cronograma		Programa de mantenimiento, probar otros proveedores	2	3	4	24

¹ O: ocurrencia, S: severidad, D: detección; ² NPR: número de prioridad de riesgo (O×S×D).

izquierda en un 98% a través de la automatización del proceso de control de temperatura de las mezcladoras y tiempos de vaciado-llenado, así como instalar controles de velocidad de las aspas, válvulas de vapor por mezcladora, unificar el diseño de las aspas y establecer un programa de calibración periódica de las válvulas de control de presión de vapor y condensado.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la empresa General Mills de Venezuela C.A. por el apoyo y los recursos necesarios para la realización de este estudio.

REFERENCIAS

- Deming WE (1991) Control de calidad total. Deming: gerencia en acción. *Estrategias ejecutivas* 1(16): 1-4.
- Gutierrez M (1994) *Administrar para la Calidad. Conceptos Administrativos del Control Total de la Calidad*. 2ª ed. Limusa. México. 297 pp.
- Hammer M, Champ J (1993) *Reingeniería*. Norma. Caracas, Venezuela. 223 pp.
- Ishikawa K (1994) *Introducción al Control de Calidad*. Díaz de Santos. Madrid, España. 500 pp.
- Jackson H, Frigon N (1998) *Logrando la Ventaja Competitiva. Una Guía Hacia la Calidad de Clase Mundial*. Prentice Hispanoamericana. México. 651 pp.
- Juran J, Gryna F (1995) *Análisis y Planeación de la Calidad*. 3ª ed. McGraw-Hill. Madrid, España. 633 p.
- Kume H (1992) *Herramientas Estadísticas Básicas para el Mejoramiento de la Calidad*. Norma. Bogotá, Colombia. 236 pp.
- Mitchell P, Lavelle P (1995) Statical tools for net quantity control in the dairy industry. *J. Soc. Dairy Technol.* 48: 13-19.
- Montgomery D (1997) *Introduction to statical quality control*. 3ª ed. John Wiley and Sons, Inc. Nueva York, EEUU. 676 p.
- Smith G (2000) Too many types of quality problems. *Qual. Progr.* 33: 43-49.
- Soin S (1997) *Control de Calidad Total. Claves, Metodologías y Administración para el Éxito*. McGraw-Hill. Caracas, Venezuela. 305 pp.
- Bisgaard S, Kulahci M (2000) Finding assignable causes. *Qual. Eng.* 12: 633-640.
- Canavos G (1988) *Probabilidad y Estadística. Aplicaciones y Métodos*. McGraw-Hill Interamericana. Mexico. 651 pp.
- Cotnareanu T (1999) *Old tools. New uses: equipment FMEA. A tool for preventive maintenance*. Quality Progress. December: 48-52.
- COVENIN (1998) *Norma 1784. Jamón endiablado (2ª rev.)*. Comisión Venezolana de Normas Industriales. Caracas, Venezuela. 7 pp.
- Czarnecki H, Schroer B, Adams M, Spann M (2000) Continuous process improvement when it counts most. *Qual. Progr.* (May): 74-80.