

## Mejora de la fiabilidad humana de un proceso de envasado<sup>1</sup>

Ramón Ángel Pons Murguía<sup>2</sup>, Eulalia María Villa González del Pino<sup>3</sup>, Harold Pérez Olivera<sup>4</sup>, Pedro Galo Pombar Vallejos<sup>5</sup>

Artículo recibido: 20 de agosto de 2013 / Artículo aceptado: 12 de diciembre de 2013

### RESUMEN

El análisis probabilístico de riesgos aplicado a la mejora de procesos y sistemas sociotécnicos demuestra la importancia de la cuantificación del error humano, aunque su exactitud es dudosa. Las técnicas actuales para el modelado y cálculo de los errores humanos presuponen la elección de modelos de comportamiento humano parcial o general que presentan limitaciones porque adolecen aún de desarrollo metodológico. En la actualidad, cualquier esfuerzo de mejora en la fiabilidad de un proceso o sistema de producción, tiene en la acción humana un gran nicho de posibles logros, por lo que se deben incluir desde su inicio la identificación de los eventos no deseados producidos por dicha acción humana y el establecimiento de acciones para eliminar la recurrencia de los mismos o para mitigar sus consecuencias cuando el riesgo asociado es tolerable. Es por esto que se requiere un enfoque integrado, que incluya un diagnóstico general apoyado en técnicas de cuantificación del error humano, cohesionado con el diseño de soluciones de mejora, su implementación y el monitoreo de sus resultados. Este artículo muestra cómo aplicar este enfoque integrado, con el fin de eliminar o mitigar y controlar los efectos del error humano en los procesos productivos, desde una visión más amplia que la utilizada hasta ahora.

**Palabras clave:** fiabilidad humana, error humano, comportamiento humano, mejora continua, gestión por procesos, análisis probabilístico de riesgos.

1 Producto derivado del Proyecto de investigación "Fiabilidad de Sistemas", Guayaquil, Ecuador, 2014-2017

2 Doctor en Ingeniería Industrial. Docente Investigador, Facultad de Ingeniería Industrial, Universidad de Guayaquil. Avenida las Aguas S/N. Guayaquil. Ecuador. Correo: rpons2015@gmail.com

3 Doctora en Ciencias Técnicas. Docente Investigadora, Universidad de Guayaquil. Correo: euliamariavilla7258@gmail.com

4 Magíster en Ingeniería Industrial. Decano Facultad de Ingeniería, Corporación Universitaria Americana, Barranquilla, Colombia. Correo: hperez@coruniamericana.edu.co

5 MSc en Educación. Vicedecano de la Facultad de Ingeniería Industrial. Universidad de Guayaquil. Correo: galo.pombarv@ug.edu.ec

## Improvement of Human Reliability in a Packaging Process

### ABSTRACT

The probabilistic risk analysis applied to the improvement of socio - technical processes and systems demonstrates the importance of human error quantification; although its accuracy is doubtful. Current techniques for the modeling and calculation of human errors presuppose the choice of partial or general human behavior models, which have limitations because they still lack methodological development. At present, any effort to improve the reliability of a production process or system has a great niche of possible achievements in human action, so that from its inception it must include the identification of undesired events produced by human action and the defining of actions to eliminate their recurrence, or to mitigate their consequences when the associated risk is tolerable. For this reason, an integrated approach is required, including a general diagnosis based on human error quantification techniques, which must be coherent with the design of improvement solutions, their implementation and the monitoring of their results. This article shows how to apply this integrated approach, in order to eliminate or mitigate and control the effects of human error in productive processes, from a broader view than the one used so far.

**Keywords:** human reliability, human error, human behavior, continuous improvement, process management, probabilistic risk analysis.

## Melhora da fiabilidade humana de um processo de envasado

### RESUMO

A análise probabilístico de riscos aplicado na melhora de processos e sistemas sociotécnicos demonstra a importância da quantificação do erro humano, embora sua exatidão é duvidosa. As técnicas atuais para o modelado e cálculo dos erros humanos pressupõem a eleição de modelos de comportamento humano parcial ou geral que apresentam limitações porque sofrem ainda de desenvolvimento metodológico. Na atualidade, qualquer esforço de melhora na fiabilidade de um processo o sistema de produção, tem na ação humana um grande nicho de possíveis conquistas, pelo que se devem incluir desde seu início a identificação dos eventos não desejados produzidos por dita ação humana e o estabelecimento de ações para eliminar a recorrência dos mesmos ou para mitigar suas consequências quando o risco associado é tolerável. É por isto que se requiere um enfoque integrado, que inclua um diagnóstico geral apoiado em técnicas de quantificação do erro humano, consistente com o desenho de soluções de melhora, sua implementação e a monitoração dos seus resultados. Este artigo mostra como aplicar este enfoque integrado, com o fim de eliminar ou mitigar e controlar os efeitos do erro humano nos processos produtivos, desde uma visão mais ampla que a utilizada até agora.

**Palavras chave:** fiabilidade humana, erro humano, comportamento humano, melhora

continua, gestión por procesos, análisis probabilístico de riesgos.

## ■ INTRODUCTION

En los procesos productivos es posible distribuir los elementos influyentes en la fiabilidad total en dos grandes aspectos: aquellos de origen físico o intrínsecos de la infraestructura (instalaciones, sistemas, equipos y dispositivos) con una contribución actual en el orden del 30%, y los atribuibles al aspecto humano, como elemento que la afecta en todo el ciclo de vida y cuya influencia puede ser hasta del 70%. Aunque este último aspecto muestra más oportunidades de mejora, es más difícil de resolver por su alta complejidad, heterogeneidad y variabilidad.

En las últimas décadas, los esfuerzos han estado orientados a mejorar el desempeño de los elementos físicos lo que, junto a los avances en tecnología, ha permitido hacer máxima su disponibilidad y confiabilidad. En consecuencia, las oportunidades en este aspecto siguen siendo importantes pero requieren cada vez mayores esfuerzos para lograr efectos significativos.

Sin embargo, los esfuerzos pierden significado cuando el diagnóstico es insuficiente o no está cohesionado con las acciones correctivas y mitigantes. Es por esto que en la investigación desarrollada por los autores de este trabajo, se propone que el análisis de fiabilidad humana (AFH) sea parte de este esfuerzo y se haga desde un enfoque integrado que incluya: un diagnóstico general apoyado en técnicas de cuantificación del error humano, un diagnóstico específico para identificar causas físicas, organizacionales y neurofisiológicas favorecedoras de la

ocurrencia de desviaciones en la acción humana, el análisis y diseño de soluciones factibles y viables, la implementación de dichas soluciones y el monitoreo de sus resultados. Este artículo muestra cómo aplicar este enfoque integrado, desde una visión holística.

## ■ MATERIALES Y MÉTODOS

Los estudios sobre la fiabilidad humana reflejan que la contribución de los errores humanos es muy significativa y, de forma casi unánime, exponen que las cantidades estimadas para estas contribuciones incluyen grandes incertidumbres (Kirwan, 1994; Rea & Sandoval, 2000; Creus, 2001; Johnson, 2003; Maluf et.al., 2008).

Por otra parte, las técnicas de modelado y cálculo de los errores humanos, incluidas en los estudios de fiabilidad de sistemas, guardan relación con los modelos de comportamiento humano que subyacen en ellas, aunque presentan limitaciones porque adolecen de desarrollo metodológico (Ruiz & Trujillo, 2012).

En los últimos años el avance de los estudios sobre fiabilidad humana va muy de la mano con las aportaciones en la fundamentación de los modelos de comportamiento humano que subyacen en las técnicas de análisis de la fiabilidad y, por otro, en la crítica de estas mismas técnicas, en especial hacia las simplificaciones de tipo operativo, que tienen como efecto negativo un encubrimiento de las causas de origen psicológico del error, lo que a la vez impone una restricción considerable al desarrollo de mejoras en los sistemas.

En los denominados modelos generales de Rasmussen, Norman, Shallice, entre

otros autores, radican los mayores aportes en cuanto a la representación del comportamiento humano como solución a los defectos de los modelos mecanicistas (Ruiz & Trujillo, 2012).

Por consiguiente, todo proceso general de mejora de la fiabilidad humana debe acceder, inicialmente, al conocimiento del hombre así como al de las desviaciones que están presentes en el proceso, y la comprensión de los efectos que estas manifiestan en la seguridad, el medio ambiente y la rentabilidad del negocio, para entender la necesidad de acometer un proceso de mejora que busque eliminar de raíz los defectos y fallas del proceso. Como en todo proceso de mejora, se requiere una prueba de la necesidad para desarrollar un proceso de comunicación en toda la organización que permita vencer la resistencia cultural al cambio (Ruiz & Trujillo, 2012; Armendola & Depool, 2005; Cantú, 2011; Pons, 2013a).

Teniendo en cuenta lo anterior, en este trabajo se aplicó un procedimiento cuyas bases de funcionamiento radican en la concepción sistémica e integral de todas las variables organizacionales que intervienen en el desempeño de los sistemas socio-técnicos, comenzando con la incorporación de los aspectos cognitivos del comportamiento humano. El mismo consta de cinco etapas fundamentales, desde el diagnóstico, apoyado en técnicas de cuantificación del error humano, un diagnóstico específico para identificar causas físicas, organizacionales y neurofisiológicas favorecedoras de la ocurrencia de desviaciones en la acción humana; el análisis y diseño de soluciones factibles y viables, la implementación de dichas soluciones y el monitoreo de sus resultados (Bermúdez, 2008).

Las variables consideradas en el diagnóstico manifiestan total interdependencia entre factores claves tales como el clima laboral, la cultura organizacional, el liderazgo, los métodos de trabajo y de dirección, así como las actitudes y comportamientos ante el conocimiento y las habilidades necesarias. Se contó con el interés y compromiso de la Dirección de la Empresa de Bebidas y Licores para el desarrollo del trabajo. Esto permitió organizar el proceso de mejora, para lo cual se tomó como base el método general que se muestra en la figura 1, el cual ha sido utilizado en investigaciones anteriores (Pons et. al., 2013b), en diferentes objetos de estudio, con resultados favorables en cuanto a la reducción del error humano en el desempeño de los procesos.

Más abajo, en la tabla 1 se describen las actividades y herramientas de cada una de las etapas de la metodología,

Figura 1. Proceso de mejoramiento de la fiabilidad humana



**Tabla 1.** Etapas del procedimiento de mejora de la fiabilidad humana

ETAPAS	ACTIVIDADES	HERRAMIENTAS
DIAGNÓSTICO	Determinación de los niveles de ocurrencia de los errores humanos en el proceso; determinación de recursos para el proyecto	Estadística de fallos; criterios de expertos, entrevistas selectivas; comparación con mejores prácticas
IDENTIFICACIÓN DE PROBLEMAS	Identificación y jerarquización de los problemas detectados en función de los riesgos estimados	Métodos de jerarquización basados en riesgo; FMEA
DETERMINACIÓN DE CAUSAS RAÍCES	Identificación de las causas raíces que producen los eventos no deseados de error humano, medición del clima organizacional	Árboles de fallos; análisis causa raíz, análisis socio métrico; escalas WES de Mocs, análisis clúster; análisis factorial, componentes principales
DISEÑO Y EJECUCIÓN DE PLANES DE MEJORA	Elaboración del plan jerarquizado de medidas; cuantificación de recursos y establecimiento de compromisos	Planes de mejora; planes de comunicación; diseño de experimentos, benchmarking; trabajo en equipo; gestión de barreras
VALIDACIÓN, IMPLANTACIÓN Y MONITOREO	Validación de resultados; ajustes de planes; establecimiento de indicadores, control de gestión; elaboración de planes futuros de mejora	Criterios de expertos; planes de control, análisis económico; análisis Pareto; series cronológicas; FMEA, técnicas de evaluación de riesgos

**Figura 2.** Diagrama de flujo general del proceso productivo

No	ACTIVIDAD (QUÉ)	DESCRIPCIÓN (CÓMO)	FLUJOGRAMA	RESPONSABLE (QUIÉN)
1	Seleccionar el tubo de llenado	Se escoge entre los diferentes diámetros de tubos el más adecuado para el tipo de producción que se va a realizar, dependiendo del tamaño de la bolsa	Inicio	Operario
2	Ajustar el material plástico en el tubo de llenado	Este procedimiento se realiza manualmente tratando de acuñar el plástico sin ocasionarle ningún rompimiento	Seleccionar el tubo de llenado	Operario
3	Instalar el tubo de llenado en el tanque de almacenamiento	Se procede a encajar el tubo en el tanque que contiene el líquido a envasar, verificando que ajuste perfectamente para que no se produzcan derrames de producto	Ajustar el material plástico en el tubo de llenado	Operario
4	Ajustar la temperatura de sellado en la máquina selladora	En la máquina selladora en el botón de temperatura, esta se debe ajustar antes de comenzar a trabajar debe mantenerse entre 120°C y 140°C	Instalar el tubo de llenado en el tanque de almacenamiento	Operario
5	Graduar la velocidad de llenado	Una vez graduada la temperatura se ajusta la velocidad con que se realizará el llenado en la parte frontal del tanque de llenado dependiendo de la producción que se requiera	Ajustar la temperatura de sellado en máquina selladora	Operario
6	Se realiza el llenado de la bolsa hasta el nivel indicado en el material plástico	Manualmente por gravedad la bolsa se llena del producto hasta el nivel que indica el plástico.	Graduar la velocidad del llenado	Operario
7	Apretar el pedal de la máquina para cerrar y cortar la bolsa llena	Una vez se llena la bolsa el operario presiona el pedal de la máquina selladora y esta, por acción del calor, cierra y corta el plástico que contiene el líquido	Se realiza el llenado de la bolsa hasta el nivel indicado en el material plástico	Operario
8	Verificar el sellado de la bolsa	Sellada la bolsa se realiza la inspección del sellado verificando que no se presenten filtraciones de líquido	Apretar el pedal de la máquina de sellado para cerrar y cortar la bolsa llena	Operario
			Verificar el sellado de la bolsa	Técnico calidad
			Fin	

La metodología expuesta fue aplicada en esta investigación al proceso de envasado en bolsas de una bebida de agua saborizada, cuyo diagrama de flujo se muestra en la figura 2. En esta, se describen las actividades generales del

proceso de envasado en bolsas del agua saborizada

En la tabla 2 se describen en detalle, las actividades de dicho proceso en las que existe predominio del talento humano.

**Tabla 2.** Actividades del proceso con predominio del talento humano

No	ACTIVIDAD (QUÉ)	DESCRIPCIÓN (CÓMO)	RESPONSABLE (QUIÉN)
1	Captación del agua	Captando el agua de la planta de tratamiento del acueducto de Barranquilla. Realizando una medición de cloro libre residual y Ph constatando que se encuentren en los límites establecidos por ley	Operario
2	Almacenamiento	El agua captada pasa a los tanques de almacenamiento con capacidad de 9 mt <sup>3</sup> , este sirve además como sedimentador por gravedad	Operario
3	Filtración	El agua es bombeada desde el tanque de almacenamiento a las unidades de filtración compuesta por filtros (arena y carbón activado), por medio del cual se logra la retención de partículas de hasta veinte micras de tamaño	Operario
4	Desinfección	Este proceso consta de un sistema de cloración, a través de una bomba de cloro, de esta forma se eliminan los microorganismos que afectan la calidad del agua	Operario
5	Saborización	Al agua tratada se le adicionan los ingredientes para lograr el sabor que se requiera	Técnico químico
6	Envasado y sellado	El producto final recorre la tubería de llenado para ser envasadas en plástico tubular de acuerdo con sus diferentes presentaciones	Operario

## RESULTADOS

### Diagnóstico

La tabla 3 muestra la cantidad de bolsas que resultaron con fallos, durante el período comprendido entre los meses de enero y mayo de 2015, en el proceso de llenado de bolsas de agua saborizada.

**Tabla 3.** Cantidad de bolsas producidas con fallos

MES	TOTAL PRODUCCIÓN	CANTIDAD BOLSAS CON FALLOS
Enero	160 800	6780
Febrero	174 750	7370
Marzo	135 070	8433
Abril	159 679	8229
Mayo	170 089	8222

### Identificación de problemas

Para identificar el problema más relevante en el proceso, se realizó la revisión de los registros de producción, lo cual permitió elaborar la tabla 4, en la cual se muestran los tipos de fallos durante el período de análisis.

**Tabla 4.** Bolsas producidas por tipos de fallos

MES	ERRORES	BOLSAS CON FILTRACIONES	BOLSAS CON CORTES DESIGUALES
	BOLSAS MAL LLENADAS		
Enero	1915	3097	1768
Febrero	2010	4015	1345
Marzo	2678	3987	1768
Abril	1860	4235	2134
Mayo	2248	3876	2098
TOTAL	10711	19210	9113

El diagrama Pareto que se muestra en la figura 3 indica que el fallo más frecuente es la filtración en las bolsas. Por tanto, las acciones de mejora deben estar encaminadas a la eliminación de las causas que provocan este tipo de fallo.

### Determinación de las causas raíces

Se recopiló la información contenida en los registros de fallos del proceso y se construyó la tabla 5 que permitió establecer la correlación entre los errores humanos y los fallos del proceso, así como el árbol de fallos de la figura 4.

Figura 3. Diagrama Pareto de los fallos del proceso

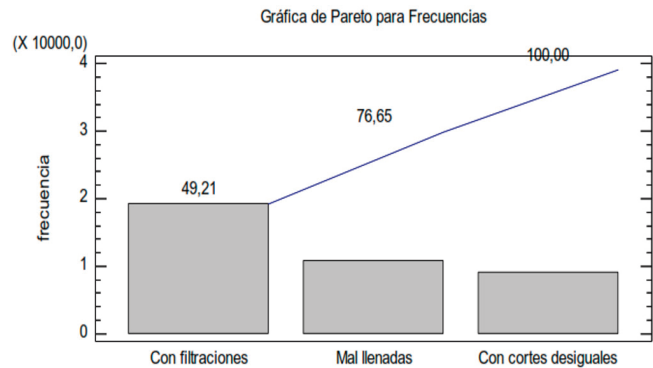


Tabla 5. Correlación entre los errores humanos y los fallos del proceso

Errores/fallos	Bolsas mal llenadas	Bolsas con filtraciones	Bolsas con cortes desiguales	Totales
Selección inadecuada del tubo de llenado	6441	-	-	6441
Ajuste incorrecto del material plástico en el tubo de llenado	-	-	6040	6040
Selección incorrecta del flujo de llenado	4330	-	-	4330
Graduación incorrecta de la temperatura de sellado según el calibre del plástico	-	11 426	-	11 426
Verificación incorrecta del sellado de las bolsas	-	77 784	3013	10 797
Totales	10 771	19 210	9053	39 034

Se observó que el evento de fallo fue la bolsa con filtraciones, por tanto, fue colocado en la parte superior del árbol de fallos. Continuando la búsqueda retrospectiva de la causa y las relaciones de efectos, se plantearon las posibles hipótesis: problemas con la máquina de sellado, estado de las instalaciones y equipos y fallo humano.

Un estudio de capacidad de procesos arrojó que la máquina de sellado y las instalaciones se encontraban operando en condiciones óptimas, por lo cual se procedió a investigar la incidencia del fallo humano en la producción de bolsas con fugas. Para esto se analizó

cómo puede ocurrir un fallo. Las hipótesis formuladas fueron: errores de omisión, de ejecución y de corrección.

El análisis de la calidad del proceso arrojó que los errores de ejecución fueron predominantes en la producción de las bolsas defectuosas. ¿Cuáles fueron las causas de estos errores? El diagrama Pareto de causas que se muestra en la figura 5, reveló que las causas raíces que provocaron el fallo más frecuente (bolsas con filtraciones) fueron la incorrecta graduación de la temperatura de sellado y la no verificación del sellado de las bolsas

Figura 4. Árbol de fallos para la determinación de las causas raíces de los fallos.

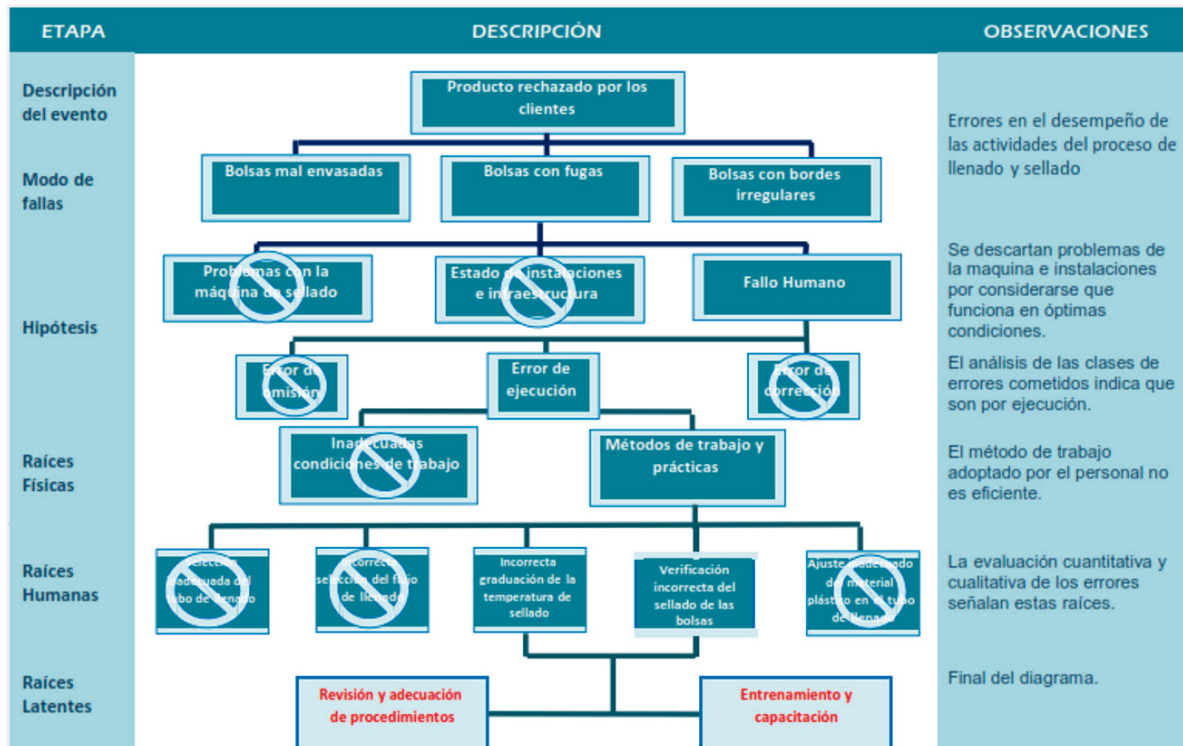
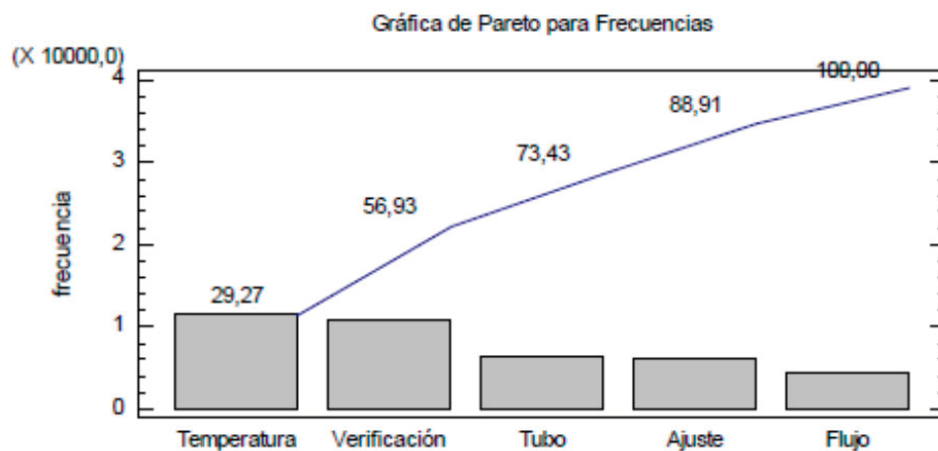


Figura 5. Diagrama Pareto de las causas raíces que provocan los defectos





Estos resultados permitieron estimar la probabilidad de fallo del proceso por la ocurrencia de errores humanos de ejecución, que se muestra en la tabla 6.

**Tabla 6. Probabilidades de éxito y fallo del proces**

Bolsas producidas	800 388
Bolsas con fallos provocados por errores humanos	39 034
Probabilidad de error humano	0,04877
Probabilidad de éxito	0,95123

### Ejecución de planes de mejora

La rastreabilidad de cada tipo de error y la elección de las medidas de mejora para prevenir su ocurrencia, se realizaron mediante el empleo de un Diagrama de Control de Fallos del Proceso de Producción, adaptado de Sebastián (2009), por Pons y colaboradores (2013b).

Las medidas de mejora que se aplicaron para la eliminación de las bolsas con filtraciones (fallo más frecuente) fueron el control estricto de la temperatura de sellado, en correspondencia con el espesor del calibre del material plástico disponible y, además, la introducción de cambios en el procedimiento de verificación de la calidad de las bolsas selladas.

Se capacitó al personal que labora en el proceso, como medida de mejora fundamental, atendiendo a los errores detectados, con lo que se logró generar su compromiso y participación activa en la solución de los problemas.

### Validación, control y monitoreo

Se logró una reducción de 3,5% de fallos en el proceso, en los siguientes 4 meses, después de aplicadas las medidas de mejora, con lo cual se obtuvo un ahorro de 3000 dólares. La preservación del efecto de las medidas de mejora se ha logrado mediante la implementación del autocontrol y el empleo de métodos de control estadístico del proceso.

### CONCLUSIONES

El análisis del desempeño de los procesos a nivel internacional, especialmente en los países que marchan a la vanguardia en estos estudios, presta cada vez más atención a la incidencia del factor humano en la fiabilidad de los mismos.

El enfoque en sistema que caracteriza el desempeño de los procesos es el que sirve de base a la metodología aplicada en el presente trabajo. Lo anterior ha permitido abordar los fallos humanos, no de forma aislada, sino como parte del inadecuado desempeño de los sistemas sociotécnicos y sus procesos, en los que inciden directamente diversas variables, tangibles e intangibles, tales como los hábitos y costumbres, los métodos, los estilos de dirección y los procedimientos en general. Ello exige un análisis multivariado.

De esta manera, la puesta en práctica de la metodología permitió el diseño de planes de mejora que integraron acciones dirigidas a gestionar las variables de diferente naturaleza que actúan en los tres niveles de dirección, como causas de los errores

humanos y que, por consiguiente, hacen complejo su seguimiento y control. Todo ello permitió obtener mejoras significativas en el proceso de envasado y preservar las mismas, mediante el autocontrol y el uso de métodos de control estadístico de procesos.

## ■ REFERENCIAS

- Armendola L. y Depool, T. (2005). Modelo de confiabilidad humana en la gestión de activos. VII Congreso de Confiabilidad, Asociación Española de la Calidad, Madrid. España. Recuperado de: [https://www.aec.es/c/document\\_library/get\\_file?uuid=76ae9240-7c79-4dda-8410-00e6c63625b2&groupId=10128](https://www.aec.es/c/document_library/get_file?uuid=76ae9240-7c79-4dda-8410-00e6c63625b2&groupId=10128)
- Bermúdez, et al. (2008). Aplicación de un procedimiento para la Gestión del Proceso de investigación en un Departamento Docente. Congreso Internacional de Gestión Tecnológica e Innovación. Bogotá. Colombia.
- Cantú, H. (2011). *Desarrollo de una cultura de calidad*. México: Mac Graw Hill.
- Creus, A. (2001). *Fiabilidad y seguridad. Su aplicación en procesos industriales*. Barcelona: Marcombo.
- Elsayed, A. (1999). *Reliability Engineering*. New Jersey: John Wiley and sons.
- Johnson, C. (2003). *Failure in safety-critical systems: A handbook of incident and accident reporting*. Glasgow: Glasgow University Press.
- Kirwan, B. (1994). *A Guide to Practical Human Reliability Assessment*. London: Taylor & Francis.
- Maluf, D.; Gawdiak, Y. & Bell, D. (2008). *On Space Exploration and Human Error. A Paper on Reliability and Safety*. Recuperado de: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=?doi=10.1.1.111.3314>.
- Palencia, O. (2012). La confiabilidad humana: elemento esencial en la gestión de activos. Recuperado de: <http://www.slideshare.net/OliverioGarciaPalencia/confiabilidad-humana-elemento-esencial-de-la-gestion-de-activos-ogp-2012-15691834#>.
- Pons, R. (2013). Notas de clase de Fiabilidad de Procesos. Especialización en Gestión de la Calidad. Universidad del Atlántico, Barranquilla, Colombia. Marzo.
- Pons, R.; Villa, E. y Bermúdez, Y. (2013). El análisis de la fiabilidad humana en la mejora de procesos. *Prospect*, 11 (2), 61-67.
- Rea, R. y Sandoval, S. (2000). Análisis de riesgos en la industria química. Boletín IIE-México, [24], 110-118. Recuperado de: <http://www.iie.org.mx/calidad2000/aplica.pdf>
- Ruiz-Moreno, J. y Trujillo, H. (2012). Modelos para la evaluación del error humano en estudios de fiabilidad de sistemas. *Revista Anales de Psicología*, 28 (3), 963-977.
- Sebastián, M. (2009). Fallo humano: la quiebra de un paradigma. *Revista Apuntes de Psicología*, 27 (1), 3313-3334