

MEDICIÓN DE LA CAPACIDAD DE LA EMPRESA MANUFACTURERA PARA ANALIZAR SUS PROCESOS DESDE LA FALLA

JORGE IVÁN PÉREZ*
CARMEN ELENA PATIÑO**

RESUMEN

Se propone un modelo de base heurística para determinar la capacidad de las empresas manufactureras para analizar sus procesos a partir de la falla. Su elaboración se basa, entre otros, en un estudio transversal descriptivo en 30 firmas manufactureras del valle de Aburrá (Antioquia, Colombia). El modelo es una función de 16 ítems alusivos a recolección, documentación y actualización de información relacionada con posibles eventos de falla. Para la validación, se recurre al coeficiente alfa de Cronbach (0,85) y a la comparación entre la clasificación arrojada por el modelo (alto, relativo y bajo nivel de capacidad) y la descripción de cinco características en las empresas estudiadas: antigüedad, uso de SGC ISO 9000, rotación de empleados, herramientas de documentación de fallas e intereses competitivos. Al abordar las empresas, en 57 % de ellas se infiere alta capacidad, en 26 % relativa y en 17 % baja; las pymes evidencian desventajas. Con dicho modelo pueden identificarse empresas con madurez en el tema, y otras que ameritan apoyo para analizar y responder con datos y hechos a la eliminación de las causas raíz de sus problemas.

PALABRAS CLAVE: modelo heurístico; confiabilidad; análisis de fallas; pymes; mejoramiento de procesos.

* Ingeniero Industrial, Universidad de Antioquia; Magíster (c) en Sistemas, Universidad Nacional de Colombia. Docente Investigador, Grupo de Investigación Gestión de la Calidad, Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia. investigagcalidad@udea.edu.co

** Ingeniera Industrial, Universidad Nacional de Colombia; Magíster y Doctora (c) en Ingeniería Mecánica, Universidade de São Paulo. Docente Investigadora, Grupo de Investigación Gestión de la Calidad, Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia. cpatino@udea.edu.co

MEASURE OF THE CAPACITY OF THE MANUFACTURING COMPANY TO ANALYZE ITS PROCESS FROM THE FAILURE

ABSTRACT

A heuristic model is proposed to determine the capacity of the manufacturing companies to analyze their processes from the failure. For its development, thirty companies, located in the Aburrá Valley (Antioquia, Colombia), were analyzed through descriptive transverse study. The model is a function of 16 items about collecting, documenting, and updating of information relating to possible failure events. For validation are selected two methods: first, the Cronbach's alpha coefficient (0.85) approach; second, the comparison between answer categories (low, medium, and high) and description of five industrial features: age, utilization of SGC ISO 9000, employee turnover, failure records, and competitive interests. This study shows that 57 % of enterprises studied were classified as high capacity, 26 % as medium capacity and 17 % as low capacity. SMEs show disadvantages. With this model can be identified mature companies in the field and others that deserve support to analyze and respond with data and facts to the elimination of the root causes of their problems.

KEY WORDS: heuristic model; reliability; failure analysis; SMEs; process improvement.

MEDIÇÃO DA CAPACIDADE DA EMPRESA MANUFATUREIRA PARA ANALISAR SEUS PROCESSOS DESDE A FALHA

RESUMO

Propõe-se um modelo de base heurística para determinar a capacidade das empresas manufatureiras para analisar seus processos a partir da falha. Sua elaboração baseia-se, entre outros, em um estudo transversal descritivo em 30 empresas manufatureiras do vale de Aburrá (Antioquia, Colômbia). O modelo é uma função de 16 itens alusivos a recolhida, documentação e atualização de informação relacionada com possíveis eventos de falha. Para a validação, recorre-se ao coeficiente alfa de Cronbach (0,85) e à comparação entre a classificação dada pelo modelo (alto, relativo e baixo nível de capacidade) e a descrição de cinco características nas empresas estudadas: antiguidade, uso de SGC ISO 9000, rotação de empregados, ferramentas de documentação de falhas e interesses competitivos. Ao abordar as empresas, em 57 % delas se infere alta capacidade, em 26 % relativa e em 17 % baixa; as pemes evidenciam desvantagens. Com dito modelo podem ser identificadas empresas com maturidade no tema, e outras que merecem apoio para analisar e responder com dados e fatos à eliminação das causa raiz de seus problemas.

PALAVRAS-CHAVE: modelo heurístico; confiabilidade; análise de falhas; pemes; melhoria de processos.



1. INTRODUCCIÓN

En los procesos productivos, lograr un desempeño favorable en calidad, costos, seguridad, tiempo de procesamiento y plazos de entrega es fundamental para obtener ventajas competitivas y clientes satisfechos. Estas ventajas pueden alcanzarse, entre otras maneras, por medio de la reducción de la posibilidad de falla en los procesos o productos, a fin de prolongar el cumplimiento de la función para la cual fueron diseñados.

La falla, al concebirse como algo inherente a los procesos, es fundamental no ocultarla o negar su existencia, sino al contrario, convertirla en objeto de estudio para así desarrollar mecanismos prácticos que permitan mejorar los niveles de desempeño de las organizaciones. De ahí la importancia del análisis de falla (AF), ya que posibilita identificar los factores que causan dichas anomalías y facilita la adopción de acciones para contener el problema actual y prevenir su repetición (Hernández y Espejo, 2002; Rojas, 2007).

En la adopción de esta técnica por parte de las organizaciones, como no todas tienen el mismo nivel de capacidad, y por lo mismo, se justifican acciones diversas a la hora de desplegar este tipo de iniciativas. Esto se fundamenta en que las diferencias existentes entre las empresas (tamaños, sectores económicos, antigüedad, estrategias, direccionamiento, recursos, personal, tecnología,...) pueden llevar a variaciones respecto a la manera como recolectan, documentan, actualizan y estandarizan la información clave para la toma de decisiones relacionadas con los eventos de falla. Por ello, el presente artículo, con interés en diferenciar entre grandes y medianas organizaciones, ha sistematizado el problema objeto de estudio en la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuál es el nivel de capacidad de las empresas manufactureras para analizar sus procesos a partir de la falla?

El interés de segmentar según el tamaño de la empresa, aparte de estar motivado por las diferencias entre grandes empresas y pymes: configuración, actuar, desarrollo y necesidades (Andriani, Biasca y

Rodríguez, 2004; Soto, 2004; Pérez, Patiño y Úsuga, 2010), se debe a dos razones más, al auge que desde los años noventa ha tomado este tipo de diferenciación en el ámbito académico (Manso, 1991; Villarán, 2000; Pla-Barber, Villar y Escibá, 2010), y porque las pymes representan un motor de desarrollo socioeconómico para las naciones y son las más vulnerables ante los retos de la globalización (Andriani, Biasca y Rodríguez, 2004; Soto, 2004; Pérez, Patiño y Úsuga, 2010).

La importancia, para el Gobierno, la academia y las mismas firmas, de obtener conocimiento sobre la capacidad de las empresas manufactureras para analizar sus procesos desde la falla radica en la posibilidad de detectar y aprender de las empresas más promisorias en el tema, y a su vez, de identificar las menos ventajosas. Esto a fin de focalizar recursos y esfuerzos hacia aspectos que limitan en las organizaciones la solución de problemas con base en datos y hechos, posibilitando llegar a las causas raíz y, por tanto, reduciendo comportamientos propios del arquetipo sistémico “soluciones rápidas que fallan” (Senge, 1990), donde se “apagan incendios” con soluciones sintomáticas, como es característico en las pymes (Andriani, Biasca y Rodríguez, 2004).

Para la comunidad científica este tema es importante, en el sentido de tener una mejor comprensión de un problema de investigación complejo, considerando el amplio conjunto de dimensiones que permitirían explicarlo con exactitud, las cuales, por su extensión y naturaleza multifacética, no es posible observar en totalidad, ya que comprenden fenómenos racionales y no racionales, cuantitativos y cualitativos, controlables y no controlables, internos y externos, económicos y no económicos, culturales, individuales y colectivos, entre otros. De ahí la necesidad de abordar dicho problema por medio del “método de ingeniería”, cuyo enfoque se basa en el paradigma heurístico (Koen, 1985), con el fin de hacer contribuciones paulatinas y eficientes, que no llegan a la optimalidad, pero que sí mejoren la comprensión actual del problema, ante un entorno con limitantes de recursos y de acceso a todas las características que lo explican.

Bajo esta mirada y con el ánimo de obtener una primera aproximación a la capacidad de la empresa manufacturera para analizar sus procesos desde la falla, se ha avalado el diseño de un modelo de base heurística, soportado en experiencia, creatividad, conocimiento de los autores y de personal externo al proyecto, en revisión de literatura, en elementos estadísticos y en un estudio transversal descriptivo sobre una muestra de 30 empresas manufactureras del Área Metropolitana del Valle de Aburrá (Antioquia, Colombia).

En este primer apartado se introdujo la importancia, la necesidad, la pregunta de investigación, el objetivo del estudio y la perspectiva adoptada, el segundo contiene los aspectos teóricos, el tercero describe los materiales y métodos utilizados para la construcción del modelo. El cuarto apartado expone los resultados de aplicación del modelo en un grupo de 30 empresas manufactureras del Valle de Aburrá, incorporando los respectivos análisis. El artículo finaliza con las conclusiones y discusión y con las referencias bibliográficas.

2. ASPECTOS TEÓRICOS

Cuando se introduce en la gestión de operaciones, es necesario identificar, planear, implementar y controlar los procesos que se llevan a cabo en la organización considerados fundamentales para que ésta cumpla su misión (Agudelo y Escobar, 2007). Esto merece especial atención para evitar que las fallas en los procesos ocasionen productos fuera de las especificaciones de calidad, funcionalidad y cumplimiento. De ahí la importancia del AF, ya que en el aspecto del plano metodológico posibilita identificar los factores que causan dichas anomalías en el proceso y facilita la adopción de contramedidas para contener el problema actual y prevenir su repetición en el futuro (Hernández y Espejo, 2002; Rojas, 2007); en el aspecto del impacto en el desempeño de las firmas, esta práctica posibilita la disminución de accidentes y pérdidas humanas, el descenso de costos de mantenimiento y la reducción de la probabilidad de

pérdidas, tanto materiales como financieras (Rojas, 2007). A lo anterior se le suman estudios empíricos que reflejan una correlación positiva entre la gestión de procesos y el éxito empresarial (McCormack y Johnson, 2001).

Vale anotar que la falla no necesariamente es una situación catastrófica, sino que corresponde a una desviación en al menos una característica o parámetro del proceso, que lo lleva a alejarse de una condición estándar. Esto se traduce en un problema para la organización, entendiéndolo como una diferencia entre el comportamiento obtenido y el deseado (Trkman, 2010).

A pesar de la importancia del AF, son de considerar las diferencias existentes entre las empresas según tamaño, sector económico, antigüedad, estrategias, direccionamiento, recursos, personal o tecnología. Por ejemplo, Pérez, Patiño y Úsuga (2010), estudiando el uso y beneficio de diversas herramientas de gestión, encuentran que, en las firmas grandes, el beneficio percibido con el uso de herramientas de mejoramiento es mayor que en las medianas y formulan vacíos de conocimiento en cuanto a los factores causales, que pueden ir desde la misma motivación para implementar las herramientas hasta la calidad y el compromiso durante el despliegue. Las diferencias entre las empresas hacen probable que no todas tengan el mismo nivel de capacidad para adoptar el AF y, por lo mismo, ameriten acciones diversas a la hora de desplegar este tipo de iniciativas.

El AF exige, como mínimo, considerar la historia del elemento objeto de estudio, los planes de mantenimiento, la hoja de vida del operario/equipo relacionado con la falla, los tipos de materiales y la estructura del componente afectado, lo cual redundará en la necesidad de prácticas favorables sobre la manera como se recolecta, documenta, actualiza y estandariza la información clave para la toma de decisiones relacionadas con los eventos de falla en las componentes de sus procesos (materiales, máquinas, métodos, personas, software), constituyéndose en



un medio de valor científico y técnico para llegar al conocimiento del origen de los problemas, en favor de conducir contramedidas de mejoramiento (Patiño y Souza, 2010).

Como soporte a la importancia del AF para el progreso empresarial y también a la exigencia, en términos de la gestión de la información, que esta técnica merece para el despliegue en la empresa, se describen algunos de los estudios que, en el ámbito de ingeniería, tratan como eje central el análisis de falla, extraídos a partir de Scopus, uno de los buscadores científicos más posicionados de la web (Codina, 2005).

Vallett (1996) dirige su estudio al diseño en el campo de la microelectrónica, brindando un panorama general del proceso de AF en circuitos semiconductores complementarios de óxido metálico de integración de muy alta escala (CMOS VLSI en inglés), el cual reúne, para la extracción de datos relevantes, actividades propias de verificación, caracterización y localización de las fallas; señala esta última como una de las más cruciales, debido a que si no se tiene claro dónde buscar, carecería de sentido llevar a cabo otras acciones. También resalta la importancia de determinar rápidamente la causa raíz de las fallas en los dispositivos electrónicos de interés y la definición y aplicación de acciones correctivas para contener el problema y eliminar la reiteración, lo cual redundaría en beneficios asociados a los tiempos y los costos implícitos. El mismo autor, Vallett (2002), enfocado en el campo de los circuitos integrados, enmarca la posibilidad de fallas durante el ciclo de vida de dichos componentes, en las etapas de desarrollo tecnológico, diseño, manufactura, cualificación y campos de aplicación. Destaca las bondades del AF para la detección y aplicación de acciones correctivas, posibilitando la reducción del tiempo de comercialización, el control de costos de manufactura y la fiabilidad.

Zschech *et al.* (2003), orientados al sector de semiconductores, estudiando fallas en las interconexiones de cobre, enfatizan en la importancia de

su análisis para garantizar un alto rendimiento y la fiabilidad de los productos. Discuten los retos y las funciones típicas del AF, como la localización de la falla y el análisis de defectos, reflejando la utilidad de información sobre fases del proceso, rutinas de software y datos de defectos para el seguimiento del rendimiento de los procesos y su control. Wu *et al.* (2005) exponen un procedimiento de AF combinado con otros métodos como caracterización eléctrica y microscopía óptica para identificar la causa de cortos en píxeles de pantallas con tecnología PLED (diodo orgánico emisor de luz basado en polímeros), a lo cual atribuyen consecuencias de bajo rendimiento y fiabilidad. Enfatizan en la complejidad para intervenir en este tipo de problemas, ya que solo se hacen evidentes una vez la falla se ha materializado por completo; defienden que el procedimiento seguido en su estudio, que emplea datos de la ocurrencia de cortos en dichos dispositivos, ha posibilitado identificar la causa raíz antes de que el impacto sea considerado como catastrófico.

Jang *et al.* (2006) desarrollan y aplican un modelo predictivo de elementos finitos para analizar las causas de problemas de ruptura de plomo en procesos de fabricación de pantallas de cristal líquido. Mediante el AF, vinculando pruebas y simulaciones, logran llegar a las causas raíz del problema. Este análisis posibilitó proponer directrices para el diseño de dispositivos electrónicos propios del campo de aplicación citado, de modo que se evite la repetición de la falla. Aubert, Dantas de Moraes y Rebrassé (2008) orientan el estudio hacia la ablación con láser, una técnica reciente que aporta rapidez y precisión en la preparación de muestras para el AF, dos características que son claves para la oportuna observación y localización de las fallas. Justifican el estudio en las oportunidades de mejoramiento de dicha técnica, en términos de la reducción de las tensiones térmicas que su uso genera en los componentes; por ello, se enfocan en investigar los métodos para controlar el efecto térmico causado por el láser y analizan los efectos de diversos parámetros durante el proceso. Al final, destacan la temperatura como

un factor determinante para superar la oportunidad de mejoramiento de dicha técnica y describen un método para controlarla durante el proceso, a fin de interrumpirlo, en el mejor resultado posible, antes del daño térmico.

En estos trabajos se destaca la efectividad del AF para llegar a las causas raíz de los problemas presentes en diferentes ámbitos, impactando favorablemente, sobre todo en los niveles de fiabilidad de los componentes estudiados; pero además, subyace como requisito para una intervención pragmática del análisis de falla la necesidad de variedad de mecanismos para la gestión de los datos asociados a los eventos de falla, lo cual amerita un determinado grado de madurez por parte de las empresas, con el fin de poder recolectar información, archivarla, procesarla, analizarla y utilizarla en los momentos oportunos. El estudio de este último enfoque no fue encontrado en la búsqueda de literatura realizada, puesto que prevalecen trabajos dedicados a desarrollos metodológicos para el uso de esta técnica en dispositivos o campos específicos, en estados del conocimiento y aplicaciones prácticas, del tipo estudios de caso.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

En términos algebraicos, el modelo planteado puede expresarse como en la ecuación 1.

$$Y_{cap} = f(C_1, C_2, \dots, C_n) \quad (1)$$

Donde Y_{cap} representa el nivel de capacidad de una determinada empresa para analizar sus procesos desde la falla, el cual está en función de una serie de características C_i , con $i=1, \dots, n$.

Para cada empresa, dependiendo de las características de interés, dicho nivel de capacidad puede tomar una de las siguientes categorías de respuesta: alto, relativo, bajo. En la tabla 1 se presentan las 16 características sometidas a ensayo consideradas en el modelo propuesto.

El establecimiento de las anteriores características se basó en el conocimiento y la experiencia de los autores, en revisión de literatura y en consultas a expertos; estas características, entre otras, fueron sometidas a ensayo por medio de un extenso cuestionario publicado en el sitio <http://jaibana.udea.edu.co/gestion>, como parte de un macroproyecto de análisis empresarial, cuyo segundo producto es este artículo. Dicho cuestionario fue aplicado a una muestra de empresas manufactureras que al 2004 figuraban en la Cámara de Comercio de Medellín para Antioquia.

La población (337 empresas) se abordó mediante un muestreo aleatorio estratificado proporcional, cuyos criterios de estratificación fueron: división de la actividad industrial según la Clasificación Industrial Internacional Uniforme de 2003 (CIIU Rev3) y el tamaño de la empresa. La unidad de análisis fue el establecimiento industrial y el cuestionario fue dirigido, a partir de marzo de 2005, al jefe de producción o responsable del proceso productivo.

La muestra correspondió a 127 empresas, obteniéndose un índice de respuesta del 45 % (57 encuestas). Luego de control de calidad y de incluir solo casos completos en los 16 ítems de interés (tabla 1) para este artículo en particular, la muestra se redujo a 30 empresas.

Tras aplicar el cuestionario, de transformar las respuestas a la puntuación atribuida en el modelo (ver tabla 1), generando un rango entre 1 y 5, se aplicó la prueba alfa de Cronbach para analizar la consistencia interna (Hernández, Fernández y Baptista, 1998) del conjunto de ítems considerados y se obtuvo un coeficiente de 0,85, que permite deducir un resultado favorable (Garmendia, 2007).

Hasta el ítem 9, las características que definen cada nivel de capacidad (alto, relativo o bajo) se tomaron exactamente como se preguntó en el cuestionario administrado. Del ítem 10 al 14, el gerente/director o jefe de producción de cada empresa calificó de 1 (muy bajo) a 5 (muy alto) el nivel de actualización de los aspectos que figuran en dichos



Tabla 1. Características objeto de estudio en el modelo planteado para explorar la capacidad de las empresas para analizar sus procesos desde la falla

ID	Puntuación de cada característica	Nivel de capacidad (Ycap)		
		5	3	1
	Descripción de los ítems	Alto	Relativo	Bajo
1	En la empresa, la mayoría de las acciones de mejora están orientadas a:	Maquinaria/ equipo, proceso o herramienta	Personal o software	No hay planes de mejora
2	¿En cuántos procesos la empresa conoce las consecuencias de sus fallas?	Todos	Algunos	Ninguno
3	¿En cuántos procesos la empresa posee algún sistema para detectar sus fallas?	Todos	Algunos	Ninguno
4	¿Generalmente quién emite el mensaje de alarma cuando se presenta una falla en la maquinaria?	Máquina o sistema de control	Operario, Depto. de Calidad o de Mantenimiento	Depto. de Ventas
5	¿Generalmente quién emite el mensaje de alarma cuando se presenta una falla en el producto?	Máquina o sistema de control	Operario, Depto. de Calidad o de Mantenimiento	Depto. de Ventas
6	¿Generalmente quién emite el mensaje de alarma cuando se presenta una falla en el proceso?	Máquina o sistema de control	Operario, Depto. de Calidad o de Mantenimiento	Depto. de Ventas
7	En su empresa, las actividades de mantenimiento se realizan a través de:	Departamento interno	Subcontratación	No se realizan
8	En su empresa, las actividades de reparaciones se realizan a través de:	Departamento interno	Subcontratación	No se realizan
9	En su empresa, las actividades de mantenimiento son ocasionadas por:	Funcionamiento anormal de máquina/ equipo (ruidos, vibraciones,...)	Planeación y Programación del mantenimiento	Falla total en máquina/ equipo
10	Nivel de actualización de procedimientos para ejecutar las operaciones	Alto	Medio	Bajo
11	Nivel de actualización de procedimientos para ejecutar las operaciones para verificar la conformidad del producto	Alto	Medio	Bajo
12	Nivel de actualización de documentos escritos sobre el número de piezas/productos defectuosos	Alto	Medio	Bajo
13	Nivel de actualización de procedimientos que definan los ensayos, inspecciones y mediciones durante el proceso	Alto	Medio	Bajo
14	Nivel de actualización de registros históricos de averías de la maquinaria/equipos	Alto	Medio	Bajo
15	Grado en que se documentan respuestas a preguntas clave cuando se presenta una falla en proceso/producto/ equipo: ¿Qué falló?, ¿por qué falló?, ¿cuándo?	Entre 75 % y 100 %	Entre 50 % y 74 %	Entre 0 % y 49 %
16	Grado en que la empresa posee información escrita sobre maquinaria/equipo (año de adquisición, tiempo de reparación, estado actual,...)	Entre 75 % y 100 %	Entre 50 % y 74 %	Entre 0 % y 49 %

ítems, entre ellos, los procedimientos para ejecutar las operaciones (ver tabla 1).

Para llevar esta puntuación a los niveles de capacidad de interés, en este tipo de escala una calificación de 2 o menos representa un resultado desfavorable (bajo nivel de capacidad) hacia el constructo subyacente, 3 infiere un nivel relativo y 4 o más, un desempeño favorable (alto nivel de capacidad).

Con relación a los dos últimos ítems considerados en el modelo (15 y 16), el procedimiento fue diferente. La pregunta original que se administró mediante el ítem 15 fue “Cuando se presenta una falla en proceso/producto/equipo, etc., ¿cuál o cuáles de las siguientes preguntas se procura responder y documentar”, con categorías de respuesta ¿Qué falló?, ¿Por qué falló? y ¿Cuándo falló? Allí las respuestas proporcionadas por el gerente/director o jefe de producción, dependiendo de la situación de la empresa, podían ser una o más de las opciones proporcionadas.

Para determinar las componentes de los niveles de capacidad a partir de la información recolectada en este ítem (el 15), se utilizó el método de comparaciones pareadas (Córdoba, 2006), donde, aplicado al presente caso, para cada pareja de opciones el equipo investigador analizó, desde la perspectiva de madurez en análisis de fallas, qué tan relevante era responder y documentar las preguntas sometidas a prueba. En cada caso se asignó el valor de 1 a la más importante y 0 a la otra, o también, la asignación de 1 a ambas, lo que significa que eran consideradas igualmente relevantes. El número de comparaciones pareadas fue 3, que resulta de la combinatoria aC_2 , donde a es el número de alternativas que se tienen, en este caso, 3. Considere el ejemplo de la tabla 2 para una mejor comprensión.

En la tabla 2, por ejemplo, puede verse que en la primera comparación, entre B y C, ésta última fue considerada más importante que la otra.

Tabla 2. Ejemplo de asignación de importancia relativa bajo el método de comparaciones pareadas

Alternativas	Comparaciones			Total	%
	1	2	3		
B	0	1		1	25%
C	1		0	1	25%
D		1	1	2	50%
Total				4	100%

A partir de lo anterior, fue posible llevar las respuestas que cada empresa dio al ítem de interés (el 15), a un porcentaje entre 0 % y 100 %, que luego permitió definir los niveles de capacidad para analizar sus procesos desde la perspectiva de la falla, como se expresa en la tabla 1: bajo (menor o igual de 49 %), relativo (entre 50 % y 74 %) y alto (75 % o más).

El mismo procedimiento fue utilizado en el último ítem (el 16), el cual se administró a la fuente de información bajo la siguiente pregunta: “Con relación a la maquinaria/equipo, ¿que información escrita posee actualmente la empresa?”, con las siguientes opciones de respuesta: estado actual de funcionamiento, año de adquisición, mejoras tecnológicas, adquisición de repuestos por periodo, año de fabricación, tiempo de reparación, número de reparaciones por periodo e instrucciones de manejo/manual de procedimiento. Para este número de alternativas, fue necesario realizar ${}^8C_2 = 28$ comparaciones entre parejas.

Cada una de las características de interés tiene una puntuación determinada por la categoría de capacidad donde se ubican. Así, la categoría “alto” genera 5 puntos, “relativo” proporciona 3 puntos y “bajo”, un solo punto. Para determinar el nivel de capacidad de cada empresa se empleó la ecuación 2.

$$Y_{cap} = \sum_{i=1}^{16} I_i \times PC_i \tag{2}$$

Donde I_i es la importancia relativa de la i-ésima característica y PC es la puntuación que la empresa obtuvo en ella. Para efectos de la validación empírica del modelo, todas las características fueron consideradas de igual importancia relativa, por lo



que la ecuación 2 equivale a un promedio aritmético. Dicha ecuación da como resultado puntuaciones que van de 1 (la menor capacidad) a 5 (la mayor). Así, hasta 2,9 puntos se consideró bajo nivel de capacidad de la empresa en el constructo de interés, entre 3,0 y 3,9 relativo, y 4 o más, alto nivel de capacidad.

Como se nota en lo expuesto, recurriendo a revisión de literatura, experiencia y conocimiento de los investigadores y de personal externo al proyecto, y mediante la realización de un estudio transversal descriptivo para una muestra final de 30 empresas manufactureras, se construyó un modelo de base heurística que, atendiendo a la definición de este término, también exige creatividad, reglas simples, sentido común, y en casos, uso de ciencias exactas. Este modelo posibilita explorar el nivel de capacidad de las empresas para analizar sus procesos desde la perspectiva de la definición de falla.

Cabe anotar que los resultados y conclusiones de aplicación del modelo se refieren a la muestra específica de las 30 empresas.

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.1 Descripción de la muestra

Las 30 empresas objeto de estudio forman parte de los siguientes sectores manufactureros: confección (30 %), sustancias/químicos (13 %), alimentos/bebidas (13 %), ediciones/impresiones (10 %), caucho/plástico (10 %), minerales no metálicos (7 %), metalmecánica (7 %), y muebles, cuero/calzado y automotor, cada uno con el 3 %.

La mayoría de las empresas reportaron ubicación en Medellín (73 %), las restantes se distribuyeron básicamente entre Bello, Copacabana, Girardota e Itagüí.

El 43 % de las organizaciones, con base en la cantidad de empleados y activos totales, se clasificaron como “grandes”, en tanto que las demás son “pymes”. Entre las “grandes”, la antigüedad varió desde 15 hasta 129 años, con un promedio de 60 años de haber sido consolidadas. En las pymes, dicha

antigüedad osciló entre 9 y 87 años, con un promedio de 35 años de existencia.

4.2 Nivel de capacidad

Aplicando el modelo a la muestra de interés, se encontró que el 57 % de las empresas permite inferir “alto” nivel de capacidad para analizar sus procesos desde la perspectiva de la falla, el 26 % un nivel relativo y el 17 % bajo nivel. Llama la atención que entre las grandes empresas el nivel de capacidad “alto” estuvo representado por el 85 %, mientras que en las pymes este porcentaje fue tan solo del 35 %. Igualmente, respecto a “baja” capacidad para analizar procesos, ninguna de las empresas “grandes” se ubicó en esta categoría, a diferencia de las pymes, que participaron con el 29 % en este nivel.

4.3 Características de las empresas a partir de la clasificación arrojada por el modelo

4.3.1 Antigüedad

Con el objeto de explorar la coherencia del modelo, se procedió a observar la antigüedad de las empresas y relacionarlas con los niveles de capacidad arrojados. Como era de esperarse, las empresas con mayor antigüedad reflejaron mayor grado de madurez para analizar sus procesos desde la falla, pues en aquellas cuya antigüedad no superó los 40 años de consolidación solo el 27 % se ubicó en un nivel alto de capacidad, en tanto que en las creadas hace más de 40 años, el 81 % mostró este amplio grado de madurez en el tema. Del mismo modo, entre las menos antiguas, el 27 % fue clasificado en bajo nivel de capacidad, mientras que en las de mayor antigüedad, esta cifra solo fue del 7 %.

A partir de la figura 1, se observa que en las empresas grandes este comportamiento es equivalente al fenómeno global, puesto que entre las más jóvenes (40 años o menos) sólo el 33 % reflejó alto nivel de capacidad, a diferencia de las más antiguas, donde esta cifra fue del 100 %. Observando sólo las pymes, el mismo comportamiento se repite, con

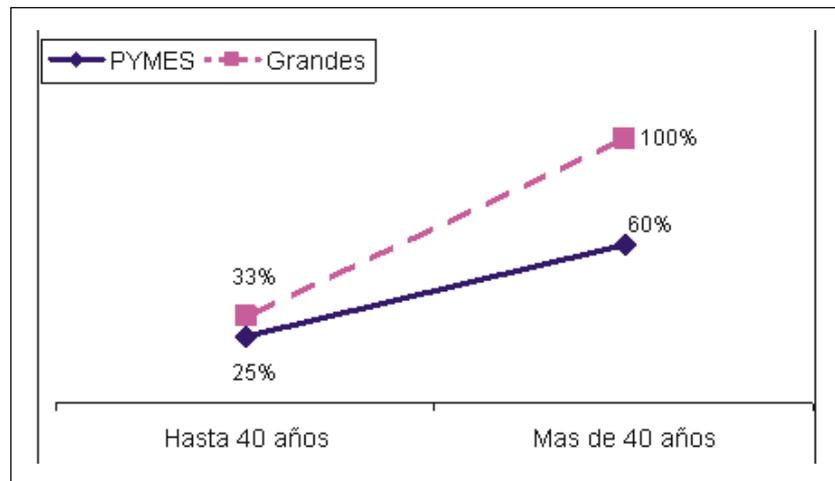


Figura 1. Nivel alto de capacidad para cada tipo de empresa según la antigüedad

25 % en nivel alto para empresas con máximo 40 años en el mercado y 60 % para aquellas que superaron dicha antigüedad.

Esto permite inferir que cuanto más antigua es la empresa en el mercado, mayor tiende a ser su capacidad para analizar sus procesos desde la perspectiva de la falla. Lo anterior es un indicador de que la antigüedad de la organización tiene una influencia directa sobre el grado de capacidad con que las empresas analizan sus procesos con la perspectiva de la falla.

4.3.2 *Uso del SGC bajo ISO 9000*

El entorno empresarial presenta exigencias por implementar el sistema de gestión de la calidad bajo ISO 9000, siendo la documentación de la operación misional de la empresa que adopte este sistema uno de los requisitos. En ese sentido, si la empresa ha aplicado dicho sistema (independiente de su certificación), se esperaría que tenga mayor capacidad para analizar sus procesos desde la perspectiva de la falla. Ahora bien, con el modelo planteado, ¿esta creencia se mantiene? Para aportar a dicho interrogante, los resultados del modelo se contrastaron con la pregunta ¿En los últimos tres años, ha implementado el SGC ISO 9000/2000? (vigente en aquella época).

Como resultado, nótese que, entre aquellas empresas que sí han implementado este sistema en tal periodo, 87,5 % clasificaron en alto nivel de capacidad; mientras que en aquellas que no lo han hecho el nivel de alta capacidad sólo llegó al 23 %. En este mismo contexto, entre las empresas que han implementado el sistema, ninguna reflejó baja capacidad, a diferencia de las que no lo hicieron, donde este valor fue del 38,5 %.

Tanto entre las empresas grandes como en las pymes, este hallazgo es coherente con lo esperado, pues también el uso del sistema reflejó, con el modelo empleado, mayor nivel de capacidad para analizar sus procesos desde la perspectiva de la falla, como se observa en la figura 2.

4.3.3 *Rotación de empleados*

Otro de los hallazgos encontrados, haciendo “minería de datos”, fue respecto a la variable rotación de personal, con categorías: “siempre”, “a veces”, “nunca”. Entre las empresas donde la rotación es constante, reflejando madurez en la polivalencia, se notó que para una mayor rotación de puestos de trabajo, mayor fue el nivel de capacidad con el modelo expuesto. Por ejemplo, entre las empresas donde los empleados rotan bajo la categoría “siempre” el

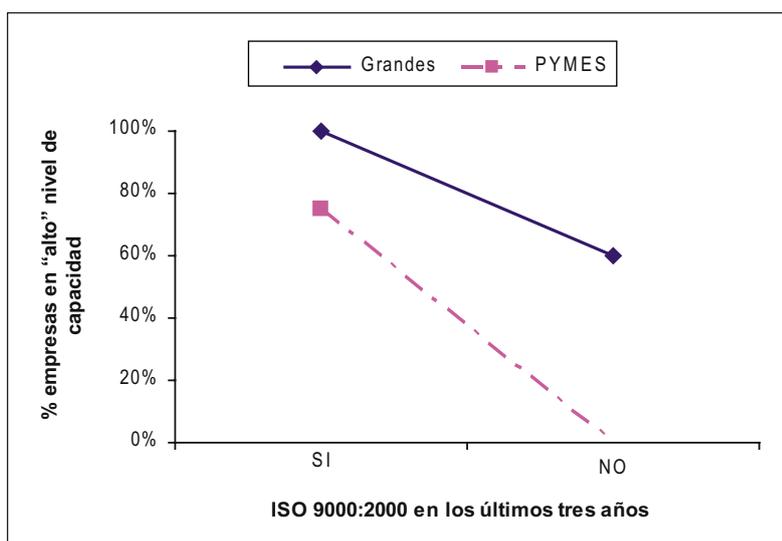


Figura 2. Empresas con alto nivel de capacidad según tamaño y uso de ISO 9000:2000

87,5 % se ubicó en alto nivel de capacidad; en cambio, entre las que manifestaron una rotación de “a veces” este porcentaje fue del 50 % y, más aún, en las empresas donde “nunca” se rota de puesto, ninguna calificó en alto nivel.

En la figura 3 se muestra la proporción de empresas que presentaron alto nivel de capacidad, contrastado con la rotación y el tamaño de la empresa, resaltando que ninguna de las “grandes” reportó la opción “nunca”.

4.3.4 Herramienta de documentación de fallas

Otra componente importante para juzgar sobre el modelo empleado fue la herramienta con que las empresas documentan sus fallas, probando tres categorías: manual, Excel y mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM).

Para las que manifestaron utilizar un reporte manual, el 44 % reflejó bajo nivel de capacidad; para las que respondieron que Excel, este porcentaje fue del 10 %, en tanto que entre las que manifestaron RCM ninguna quedó en este nivel.

Es de anotar que ninguna de las empresas “grandes” reportó utilizar un sistema manual, lo cual refleja que las pymes, con una alta participación en el nivel bajo de capacidad para analizar sus procesos desde la falla, aún utilizan en gran medida el sistema manual como herramienta para documentar aspectos importantes de sus empresas, y que la sistematización y la utilización de métodos más complejos aún es incipiente.

4.3.5 Intereses competitivos

Explorando características sobre los intereses competitivos de las empresas para relacionarlos con la clasificación dada por el modelo planteado, se analizaron los siguientes factores de éxito sometidos a ensayo en el cuestionario administrado: rapidez en entrega, diseño/innovación, calidad, servicio posventa, flexibilidad en procesos/productos y precios bajos, los cuales también fueron medidos en una escala de 1 (muy poco importante) a 5 (muy importante). En ello se encontraron resultados significativos respecto a precios bajos y flexibilidad.

Empleando ANOVA y teniendo como factores el nivel de capacidad y el tamaño de empresa, se encontraron diferencias significativas en la posición

de las empresas frente a precios bajos ($p=0,04$) y flexibilidad (0,0036) respecto al nivel de capacidad de la empresa para analizar sus procesos.

Como se observa en la figura 4, un nivel bajo de capacidad estuvo asociado a menor interés por mantener precios bajos y flexibilidad, a diferencia

de las empresas que se ubicaron en alto nivel de capacidad, donde tendió a ser alta la importancia que asignaron a estas estrategias competitivas.

La figura 4 permite inferir asociación entre la madurez que, por medio del modelo, fue atribuida a la capacidad de las empresas para analizar sus

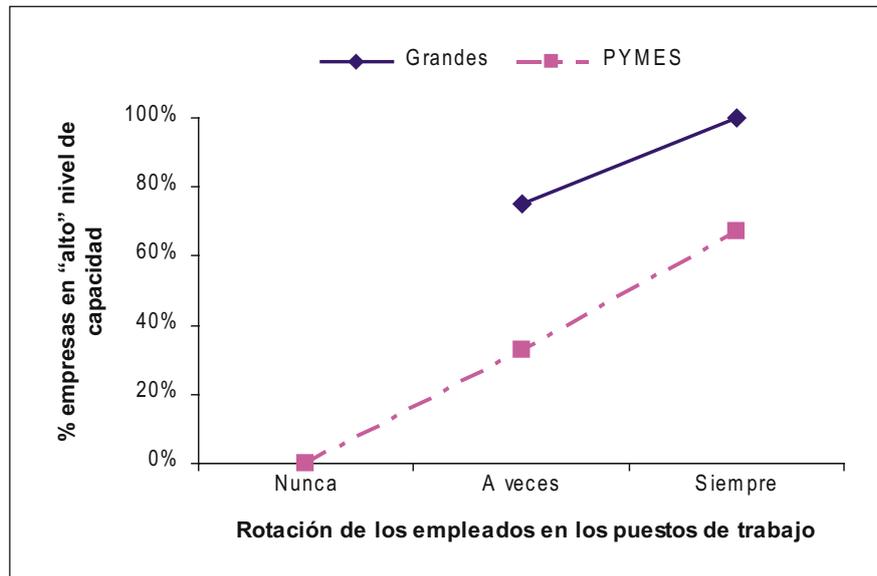


Figura 3. Empresas con alto nivel de capacidad según rotación de puestos y tamaño

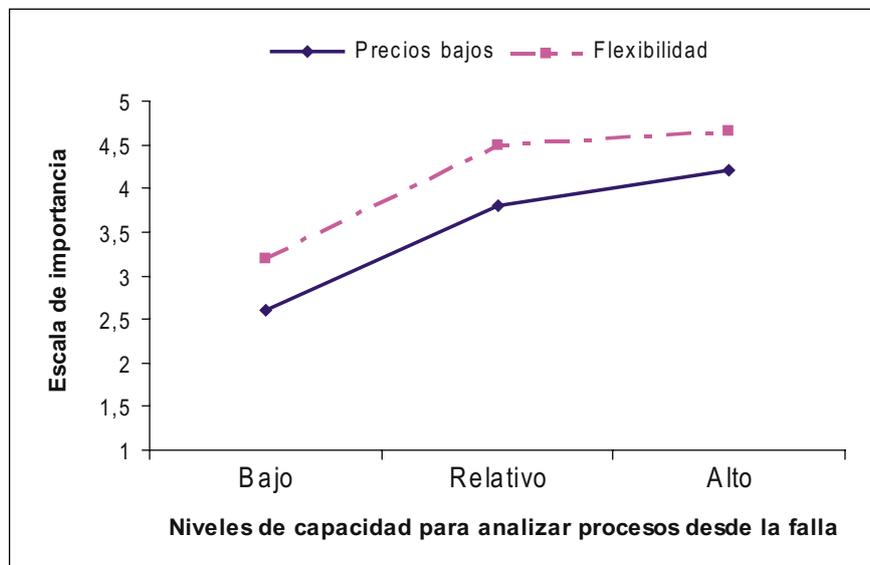


Figura 4. Importancia de precios bajos y de flexibilidad según nivel de capacidad



procesos desde la falla y el cambio de visión en las organizaciones, las cuales buscan adaptarse a las nuevas exigencias del mercado. En empresas con alto nivel de capacidad, se deduce interés por prepararse para dar a los clientes, aparte de precios bajos, otras características de valor agregado, por medio de la flexibilidad en los procesos y productos. Además, muestra una adaptación al panorama mundial que se transforma de manera permanente, exigiendo un continuo reajuste del sistema productivo para responder con éxito, así como el uso eficiente y en mayor escala de los recursos.

5. CONCLUSIONES Y DISCUSIÓN

No es posible hablar de una respuesta “exacta” sobre la capacidad de la empresa manufacturera para analizar sus procesos desde el evento de falla, debido a que dicha necesidad es propia del “método de ingeniería”, donde la “verdadera” respuesta puede variar dependiendo de la visión adoptada y de innumerables factores cuyo control empresarial y estudio se imposibilita desde el punto de vista práctico. Por ello, se propone un modelo de base heurística que, luego de diversos análisis para explorar su coherencia con el constructo subyacente, entre ellos, coeficiente alfa de Cronbach y comparación entre características de las empresas y la clasificación arrojada por el modelo, permite de manera razonable aportar respuestas a la necesidad manifiesta. Este trabajo es útil para docentes, estudiantes, investigadores y empresarios y proporciona una guía para desplegarse en otros ámbitos geográficos y contrastar sus resultados; también para generar otras maneras de aportar respuestas a constructos que ameritan un tratamiento propio del “método de ingeniería”.

Es notoria una vez más la madurez de las grandes empresas respecto a las pymes, gran parte de las cuales se posicionó en un bajo nivel de capacidad para analizar sus procesos desde la falla. Esto es coherente con resultados de estudios latinoamericanos propios de la gestión empresarial donde, de manera general, las pymes presentan necesidades

en cuatro dimensiones estructurales: lado humano, sistema de información, procesos y sistema de gestión (Andriani, Biasca, y Rodríguez, 2004). El bajo nivel de capacidad de estas empresas para analizar sus procesos desde el evento de falla es una deficiencia a la que de manera prioritaria debe prestarse atención, puesto que lleva a continuar generando procesos de toma de decisiones con base en sentido común, creencias, experiencia, etc., alejados de una componente objetiva basada en datos y hechos. La vinculación de esta componente, por medio del AF, como lo demuestran otros estudios (Vallett, 1996, 2002; Zschech *et al.*, 2003; Wu *et al.*, 2005; Jang *et al.*, 2006; Aubert, Dantas de Moraes y Rebrassé, 2008) posibilita identificar las causas raíz de los problemas, para eliminarlas y asegurar que sus efectos no se repitan. De lo contrario, en las pymes se continuará apagando incendios o actuando bajo arquetipos sistémicos propios de “soluciones rápidas que fallan” (Senge, 1990).

Mediante el uso del modelo expuesto en este artículo, tanto el Gobierno como la academia y organismos de apoyo empresarial pueden identificar fácilmente empresas con madurez en el tema, para tomarlas como referentes y aprender de ellas. A su vez, focalizar firmas que justifiquen apoyo desde el punto de vista de la capacidad para analizar sus procesos y responder con datos y hechos a la disminución de las causas de situaciones no deseadas. Esta identificación también posibilita un mejor aprovechamiento de los recursos escasos de apoyo a la empresa. Igualmente, el acompañamiento por parte de la academia y el Gobierno es fundamental, ya que las pymes no están en capacidad de implementar de manera aislada acciones de mejoramiento que les permitan un progreso competitivo (Pérez, Patiño y Úsuga, 2010).

El modelo propuesto permitió cuantificar la capacidad de las empresas para abordar sus procesos desde una perspectiva diferente, que requiere una serie de condiciones en recolección, actualización, documentación, procesamiento de datos y estandarización de procesos, que se consideran necesarios

para hacer análisis de fallas. Estas condiciones se presentan de forma más estructurada en los procesos productivos de las grandes firmas que en las pymes.

Este artículo posibilita inferir que la aplicación de las técnicas de la Ingeniería de la Confiabilidad, en aras de analizar y documentar los procesos desde la perspectiva de la falla, puede convertirse en una estrategia competitiva para que las empresas no sólo pretendan asegurar la supervivencia en el mercado, sino que generen nuevos paradigmas de competitividad; a su vez, que sea entendida como una rama de la ingeniería que impacta los procesos, al conocer factores asociados a resultados no deseados (fallas), permitiendo minimizarlos y establecer planes correctivos y preventivos para elevar la calidad, la productividad y la seguridad en las empresas, llevándolas a mejores niveles de desempeño. El aumento de la competitividad y la generación de empleo son fundamentales para el desarrollo del país, lo cual sustenta la relevancia de orientar investigaciones en este sentido, sobre todo con intervención en las pymes.

REFERENCIAS

- Agudelo, L. F. y Escobar, J. *Gestión por procesos*. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. 4^a ed. Bogotá: Icontec, 2007. 302 p.
- Andriani, C. S.; Biasca R. y Rodríguez, M. Un nuevo sistema de gestión para lograr pymes de clase mundial. 2^a ed. Bogotá: Norma, 2004. 416 p.
- Aubert, A.; Dantas de Morais, L. and Rebrassé, J. P. (2008). "Laser decapsulation of plastic packages for failure analysis: Process control and artefact investigations". *Microelectronics Reliability*, vol. 48, No. 8-9 (August-September), pp. 1144-1148.
- Codina, L. (2005). "Scopus: El mayor navegador científico de la web". *El Profesional de la Información*, vol. 14, No. 1 (enero-febrero), pp. 44-49.
- Córdoba, M. *Formulación y evaluación de proyectos*. Bogotá: Ecoe, 2006. 234 p.
- Garmendia, M. (2007). "Análisis factorial: una aplicación en el cuestionario de salud general de Goldberg, versión de 12 preguntas". *Revista Chilena de Salud Pública*, vol. 11, No. 2, p. 57-65.
- Hernández, H. y Espejo, E. *Mecánica de fractura y análisis de falla*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia (Sede Bogotá), 2002. 376 p.
- Hernández, S.; Fernández, C. y Baptista, P. *Metodología de investigación*. México: McGraw-Hill, 1998, pp. 410-411.
- Jang, C.; Han, S.; Kim, H. and Kang, S. (2006). "A numerical failure analysis on lead breakage issues of ultra fine pitch flip chip-on-flex and tape carrier packages during chip/film assembly process". *Microelectronics Reliability*, vol. 46, No. 2-4 (February-April), pp. 487-495.
- Koen, B. V. *Definition of the engineering method*. Washington, D.C.: American Society for Engineering Education, 1985. 97 p.
- Manso, J. (1991). *La importancia de las pymes en la industria centroamericana, estrategias para su desarrollo*. Seminario Regional Las Bolsas de Subcontratación Industrial. San Salvador, 28-29 noviembre, pp. 77-95.
- McCormack, K. and Johnson, W. *Business process orientation: Gaining the E-business competitive advantage*. Boca Raton FL, Florida: CRC, 2001. 208 p.
- Patiño, C. E. and Souza, G. F. M. de (2010). "Reliability concepts applied to cutting tool change time". *Reliability & System Safety*, vol. 95, No. 8 (August), pp. 866-873.
- Pérez, J.; Patiño, C. y Úsuga, O. (2010). "Uso de herramientas de mejoramiento y su incidencia en costos, fallas y factores de éxito de grandes y medianas empresas industriales del valle de Aburrá". *Gestão & Produção*, vol. 17, No. 3 (setembro), pp. 589-602.
- Pla-Barber, J.; Villar, C. y Escribá, A. (2010). "La influencia de las características y percepciones directivas en los nuevos modelos de internacionalización. Una aplicación en la pyme manufacturera tradicional". *Economía Industrial*, No. 375, pp. 101-112.
- Rojas, M. (2007). Análisis de falla: Un viaje a la raíz del problema y la solución. *Revista Metal Actual*, No. 5. pp. 42-48.
- Senge, P. *The fifth discipline: the art and practice of the learning organization*, 1st ed. New York: Doubleday/Currency, 1990. 371 p.
- Soto, E. (2004). *Las pymes ante el desafío del siglo XXI: Los nuevos mercados globales*. México: Thomson Learning, pp. 24-26.
- Trkman, P. (2010). "The critical success factors of business process management". *International Journal of Information Management*, vol. 30, No. 2, pp 125-134.
- Vallett, D. (1996). *An overview of CMOS VLSI failure analysis and the importance of test and diagnostics*. Proceedings of the International Test Conference (ITC'96). IEEE Computer Society.



Vallett, D. (2002). "Failure analysis requirements for nano-electronics". *IEEE Transactions on Nanotechnology*, vol. 1, No. 3 (September), pp. 117-121.

Villarán, F. *Las pymes en la estructura empresarial peruana*. Lima: SASE, 2000. 37 p.

Wu, L.; Johnson, A.; Kolosov, D.; Parker, I. and Trujillo, J. (2005). "Failure analysis of pixel shorting problems in polymer light emitting diode (PLED) displays". *IEEE 43rd*

Annual International Reliability Physics Symposium, San Jose, CA. (17-21 April), pp. 618-619.

Zschech, E.; Langer, E.; Engelmann, H.-J. and Dittmar, K. (2003). "Physical failure analysis in semiconductor industry: Challenges of the copper interconnect process". *Materials Science in Semiconductor Processing*, vol. 5, No. 4-5 (August-October), pp. 457-464.