



FACTORES RELEVANTES DE LA COMPLEJIDAD EN EL PROCESO DE REMANUFACTURA: CASO DE LA INDUSTRIA METALMECÁNICA

KARINA CECILIA ARREDONDO SOTO*, ENRIQUETA SALAZAR RUÍZ,
TERESA CARRILLO GUTIÉRREZ, MARCELA SOLÍS QUINTEROS

RESUMEN

Este artículo presenta los resultados de un proyecto realizado en el sector de remanufactura, abordando la gestión de la complejidad. El objetivo de la investigación es identificar los factores que crean complejidad en el proceso de producción. El grado de complejidad asociado a los procesos de remanufactura es superior que en la manufactura convencional. El estudio se realiza en la frontera norte de México analizando las prácticas de tres compañías del área metalmeccánica y aplica una metodología alemana para la identificación de las características más importantes y efectos de la complejidad. Los resultados permiten seleccionar los factores relevantes de complejidad que intervienen y que pueden ser controlados por tomadores de decisiones para mejorar los indicadores de desempeño en el sector industrial remanufacturero.

M.I.I. KARINA CECILIA ARREDONDO SOTO
Universidad Autónoma de Baja California
Correo: karina.arredondo@uabc.edu.mx
M.C.I. TERESA CARRILLO GUTIÉRREZ
Universidad Autónoma de Baja California
Correo: tcarrillo@uabc.edu.mx

DRA. ENRIQUETA SALAZAR RUÍZ
Instituto Tecnológico de Mexicali,
Correo: esalazar@itmexicali.edu.mx
M.C.A. MARCELA SOLÍS QUINTEROS
Universidad Autónoma de Baja California
Correo: marcela.solis@uabc.edu.mx

*Autor para correspondencia: Karina Cecilia Arredondo Soto
Correo electrónico: karina.arredondo@uabc.edu.mx
Recibido: 14 de marzo de 2013
Aceptado: 05 de mayo de 2014
ISSN: 2007-4530



INTRODUCCIÓN

Entendiendo como complejidad el nivel de variación en el número de elementos y las relaciones existentes entre éstos en un sistema, se tiene que en México los estudios sobre complejidad asociada a sistemas productivos existen, pero son escasos. De lo que prácticamente no se ha encontrado evidencia es de investigaciones que asocien la complejidad específicamente con remanufactura. Por lo que se puede asumir que existe una debilidad general para reconocer y controlar la complejidad y sus efectos desde el enfoque de la Teoría de la Complejidad en el sector industrial tanto de manufactura como el de remanufactura.

Sin embargo, esto no significa que el análisis de la complejidad en manufactura no sea importante. Por ejemplo, la filosofía de Manufactura esbelta reconoce el impacto de la complejidad y se ha centrado en la simplificación del sistema de manufactura. Las organizaciones que adoptan la filosofía mencionada están, en parte, tratando de reducir la complejidad en sus procesos. La simplificación de productos y la manufactura celular han sido asociadas a la reducción de la Complejidad y la variación, las cuales pertenecen al área de la administración de operaciones. Garbie y Shikdar (1) afirman que la complejidad ha empezado a considerarse como una nueva forma de evaluación de las empresas industriales, siendo además una de las herramientas útiles para el análisis de mejoras y la reestructuración empresarial.

Alemania es un país pionero en la generación y aplicación de técnicas de análisis de complejidad en el sector remanufacturador y sus compañías identifican los efectos negativos de la presencia de altos niveles

de complejidad y en su incremento no controlado. Adicionalmente; de acuerdo al estudio Control de la complejidad (del inglés, Mastering complexity) (2), se ha detectado que aproximadamente el 6% de la compañías estudiadas afirmaron que aplican apropiadamente instrumentos para su control. Por lo tanto y tomando en cuenta los estudios previos mencionados, el presente trabajo muestra los resultados del diagnóstico de tres empresas del área metalmeccánica y de remanufactura, que se espera sea de utilidad para ayudar a introducir en México las técnicas de gestión de la complejidad desarrolladas por la Universidad de Bayreuth, en Alemania (3, 4).

ANTECEDENTES

La remanufactura es un proceso que permite recuperar componentes que antes habrían sido considerados como desecho, pero que ahora se aprovechan en la fabricación de productos con la misma garantía que los nuevos. La remanufactura como estrategia de fin de vida presenta mayor recuperación de componentes, conserva su geometría original y mantiene precios entre veinte y ochenta por ciento más económicos que los productos nuevos (5). Las condiciones actuales del mercado han orillado a las empresas a considerar la remanufactura como una opción, no solo para el planeta, sino para el desarrollo de su negocio y de ser competitivos, manteniendo precios más bajos. El producto recolectado al que se le realiza la remanufactura se le llama core (en español núcleo). El proceso de remanufactura incluye operaciones de limpieza, desmontaje, inspección, reacondicionamiento o reparación y montaje. La figura 1 muestra la secuencia común en los procesos de remanufactura.

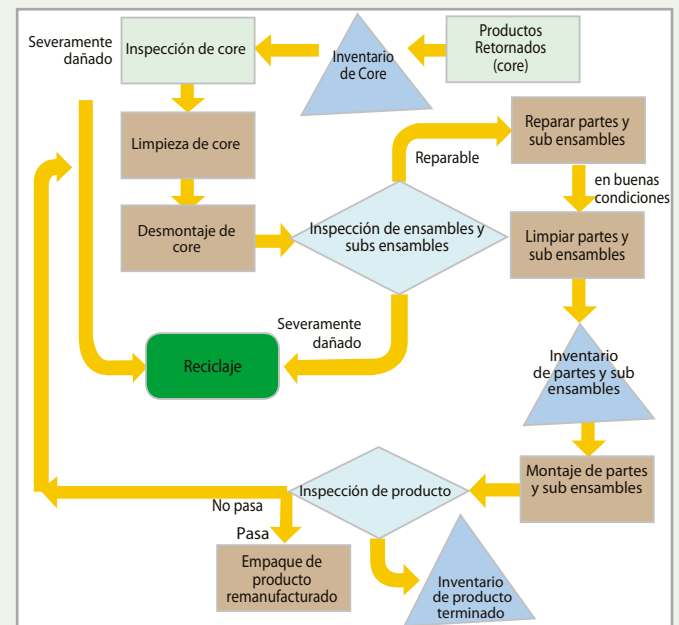


Figura 1. Operaciones del proceso de remanufactura (Fuente propia).

Actualmente, muchos de los productos que son remanufacturados no fueron diseñados para tener una segunda vida útil y existe un desconocimiento general de las herramientas que facilitarían el control del proceso, por lo que éste se vuelve complejo. Éstos son sólo dos de los factores que influyen en el aumento de la complejidad del proceso de remanufactura.

Normalmente el término “complejo” se aplica a todo aquello que no se comporta de manera fácil de entender, por lo tanto es un concepto difícil de definir. Simon (6) define complejidad diciendo que un sistema complejo tiene una gran cantidad de variables, cuyas relaciones no son simples. En el estudio de la complejidad deben considerarse la cantidad y diversidad de elementos y las relaciones existentes entre estos. Existen diferentes tipos de complejidad considerando su relación con la empresa, su dependencia del tiempo y con respecto a su comportamiento asociado. Las generalidades de la complejidad se muestran en la figura 2. En el caso de estudio se considera la complejidad estática (también llamada complejidad estructural) interna en relación a las empresas.

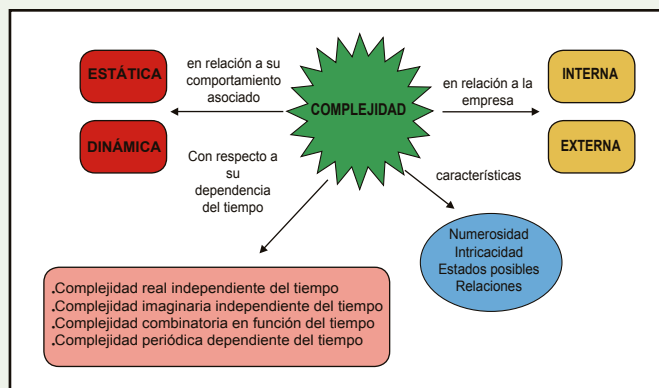


Figura 2. Generalidades de la complejidad (Fuente propia).

Los expertos afirman que existen tres estrategias principales para combatir los efectos negativos de la complejidad: evitarla, reducirla o controlarla (7). Estudios de Bick y Drexl-Wittbecker (7) afirman que el 25% de los costos totales de las compañías manufactureras se deben a la complejidad relacionada con el producto y el proceso. Se requiere un conocimiento objetivo de los efectos negativos de la complejidad y en qué áreas se genera. Dos grandes áreas de oportunidad son el producto y el proceso de producción, en las cuales se pueden considerar elementos como el tiempo, los costos y la calidad.

En relación a remanufactura, Lundmark y Sundin (8) encontraron que la incertidumbre y la complejidad son los factores más difíciles que deben abordarse en futuras investigaciones. Sin embargo, no se ha encontrado el desarrollo de un enfoque para la gestión de la complejidad específica a las necesidades de la industria de la remanufactura, salvo el propuesto por el grupo de investigadores de la Universidad de Bayreuth en Alemania, tampoco se ha encontrado evidencia de que las empresas mexicanas conozcan dicho enfoque. Por lo tanto, la propuesta para la introducción de una nueva metodología para la gestión de la complejidad en las empresas remanufacturadoras del norte del país, busca reducir esta brecha existente. En este enfoque, es necesario tener en cuenta las diferentes características de la empresa como: su tamaño, tipo, variedad y tamaño del producto, el tipo de producción, debido a que diferentes configuraciones requieren distintas soluciones y limitan la aplicación de ciertos métodos. Este estudio muestra un enfoque para gestionar la complejidad del proceso identificando los factores relevantes asociados y los efectos identificados, que inciden en los indicadores de desempeño. El análisis de los resultados apoya a los administradores de las empresas para tomar decisiones tendientes a reducir o controlar los niveles de complejidad.





METODOLOGÍA

El estudio aplica la metodología para análisis de la complejidad de empresas remanufacturadoras de la Universidad de Bayreuth. La recolección de datos se generó mediante la aplicación de cuestionarios y análisis de los datos de las tres compañías participantes, las cuales se denominan como empresa X, Y y Z respectivamente por acuerdos de confidencialidad solicitados por las mismas, a fin de hacer públicos los resultados del estudio. El primer paso consistió en recabar las características de cada una de las empresas, como: la cantidad de empleados directos en producción, la variedad de productos fabricados, el tipo de componentes utilizados, si su producción es continua, el tamaño de los lotes, si sus productos se recuperan en forma continua, si su proceso utiliza secuencias repetitivas, la cantidad de clientes y la utilización o no de un paquete computacional para la planeación y control de la producción.

En segundo lugar, se analizan los efectos que se producen por el incremento de la complejidad en cada una de las compañías, mediante entrevistas a expertos de las empresas incluidas en el estudio. Después de la identificación y análisis de los efectos se realizó una sesión de lluvia de ideas y un análisis causa-efecto para determinar los métodos que sirven para contrarrestar cada uno de los efectos generados por la complejidad del proceso.

Posteriormente se identifican los factores que inciden en la variabilidad del proceso y por ende del producto, aportando complejidad. Considerando los factores desde diferentes enfoques: a) de la administración del core, b) identificación del proceso-producto, c) área de planeación y control, y d) organización de la producción, considerando los factores de manera integral.

Finalmente, se identifican los factores de desempeño clave que debe considerar de manera particular cada compañía en su esfuerzo por gestionar la complejidad. Estos se determinan considerando los factores y efectos de la complejidad encontrados con anterioridad en el estudio.

RESULTADO

En primera instancia se identificaron las características de las tres empresas objeto de estudio, las cuales son diferentes entre sí, en aspectos como el tamaño, cantidad de productos que fabrican, tipo de componentes y respecto al uso de un sistema computacional para la planeación y control de la producción. La tabla 1 muestra a detalle sus características.

Tabla 1. Características de las empresas objeto de estudio.

Características de la empresa	X	Y	Z
Número de empleados en producción	< 10	> 500	> 500
Diferentes tipos de productos terminados	< 100 productos terminados	> 100 productos terminados	> 100 productos terminados
¿La producción involucra más de uno de los siguientes tipos de componentes: mecánico, electrónico y/o mecatrónico?	Solo componentes mecánicos	Solo componentes mecánicos	Componentes Mecánicos y electrónicos
¿Es una línea de producción continua en su proceso de fabricación?	No	No	No
¿Diferentes tamaños de lote de los productos terminados?	Sí	Sí	Sí
¿Tiene productos que se recuperan en forma continua?	No	Sí	Sí
¿Es su producción un proceso de pasos repetitivos?	Sí	Sí	Sí
Cantidad de clientes	> 10	> 10	> 10
¿Utiliza un programa computacional para la planeación y control de la producción?	No	Sí	Sí

En segundo lugar, al aplicar el análisis con expertos se determinaron los efectos que se producen por el incremento de la complejidad en cada una de las compañías estudiadas, los cuales se encuentran enlistados en la tabla 2. Estos efectos se identificaron mediante entrevistas con ingenieros y trabajadores con experiencia mayor a 10 años de cada una de las empresas seleccionadas. En el caso de las empresas Y y Z, por ser compañías de más de 500 empleados y tener áreas múltiples, fue seleccionada solo una familia de productos para el estudio de cada una.





Tabla 2. Efectos de la complejidad en las diferentes tipos de compañías remanufacturadoras analizadas.

Efectos de la complejidad en la empresa		
X	Y	Z
<ul style="list-style-type: none"> • Se requiere una amplia gama de habilidades • Se requiere experiencia basada en conocimiento • No se aplica la estandarización • Necesidad de capacitación continua • Sobrecapacidad en algunas áreas • Difícil rastreabilidad de los productos • Ordenes de producción pequeñas • Muchas instrucciones de trabajo • Compleja administración del conocimiento • Core dañado en el almacenaje y manejo 	<ul style="list-style-type: none"> • Se requiere una amplia gama de habilidades • Se requiere experiencia basada en conocimiento • Cuellos de botella en algunas áreas • Tiempos de entrega largos • Incremento del esfuerzo en la adquisición de datos • Sobrecapacidad en algunas áreas • Baja utilización de las estaciones de trabajo y maquinaria • Manejo de materiales diferenciado • Esfuerzos intensivos en la capacitación a los empleados • Esfuerzo mayor en las búsquedas • Requerimientos elevados de espacio • Esfuerzos elevados en la administración y mantenimiento de las bases de datos • Compleja administración del conocimiento • Muchas instrucciones de trabajo • Variación en el tamaño de las ordenes • Diferentes flujos de materiales • Pérdida de tiempo, ineficiencia de los procesos 	<ul style="list-style-type: none"> • Se requiere una amplia gama de habilidades • Se requiere experiencia basada en conocimiento • Cuellos de botella en algunas áreas • Manejo de materiales diferenciado • Esfuerzos intensivos en la capacitación a los empleados • La secuencia de producción no puede ser predicha con seguridad • Compleja administración del conocimiento • Muchas instrucciones de trabajo • Pérdida de tiempo, ineficiencia de los procesos • Variación en el tamaño de las ordenes

Una vez identificados los efectos de la complejidad se realizó una lista con los métodos que se aplican o podrían ser aplicados para contrarrestarlos. Los métodos que aparecen en la tabla 3, en el caso de la compañía X no han sido aplicados en su mayoría, mientras que en el caso de las compañías Y y Z han sido aplicados solo de manera parcial en proyectos específicos y solo hasta que llegan a la fase

de control, por lo que es común que los efectos reincidan. Se observa que las tres compañías comparten métodos comunes para abordar los problemas de complejidad.

Tabla 3. Métodos aplicados para gestionar la complejidad.

Métodos aplicables para contrarrestar la complejidad en la empresa considerando los efectos		
X	Y	Z
5's, Benchmarking, FIFO, JIT, Poka Yoke, Kanban, VSM, administración de proveedores, visualización, almacén de core desensamblado, registro multifuncional, división de la producción y logística, agilización del área de producción, trabajo grupal, trabajo múltiple de máquinas, producción con intervalos constantes, Shojinka, ensamble para ordenes, Kaizen, Matriz de entrenamiento del empleado, Heijunka, optimización del tamaño del lote, Planeación y control de la producción, teoría de restricciones, SGAR, TPM, estandarización, aplicación de auto identificación, entrenamiento a empleados, producción de jalón, SMED, estudio de mercados, calidad del core orientado a la cadena de suministros, incentivos, empresa wiki, identificación automática del core, administración de las relaciones con los clientes, Jishu Hozen, MTM, administración del desempeño, Control Total de la Calidad, SPC, división del trabajo, sistema interno de incentivos, integración de los empleados, Flujo de producción continua.	5's, FIFO, JIT, Poka Yoke, Kanban, VSM, administración de proveedores, visualización, almacén de core desensamblado, registro multifuncional, agilización del área de producción, trabajo múltiple de máquinas, producción con intervalos constantes, ensamble para ordenes, Kaizen, Matriz de entrenamiento del empleado, Heijunka, optimización del tamaño del lote, teoría de restricciones, SGAR, TPM, estandarización, aplicación de auto identificación, entrenamiento a empleados, SMED, estudio de mercados, calidad del core orientado a la cadena de suministros, incentivos, empresa wiki, identificación automática del core, administración de las relaciones con los clientes, Jishu Hozen, MTM, administración del desempeño, Control Total de la Calidad, SPC, división del trabajo, Flujo de producción continua.	5's, FIFO, Poka Yoke, Kanban, VSM, administración de proveedores, visualización, almacén de core desensamblado, registro multifuncional, agilización del área de producción, trabajo múltiple de máquinas, producción con intervalos constantes, ensamble para ordenes, Kaizen, Matriz de entrenamiento del empleado, Heijunka, optimización del tamaño del lote, teoría de restricciones, SGAR, TPM, estandarización, entrenamiento a empleados, SMED, estudio de mercados, calidad del core orientado a la cadena de suministros, incentivos, empresa wiki, identificación automática del core, administración de las relaciones con los clientes, Jishu Hozen, MTM, administración del desempeño, Control Total de la Calidad, SPC, división del trabajo, Flujo de producción continua.

La tabla 4 enlista los factores encontrados que inciden en la variabilidad del proceso y por ende del producto, aportando complejidad. Considera los factores desde diferentes enfoques: de la administración del core, identificación del proceso-producto, área de planeación y control, y organización de la producción, considerando los factores de manera integral.

Tabla 4. Factores que crean complejidad en las compañías remanufactureras.

Factores conductores de la complejidad en la empresa X, Y e Z			
Administración del core	Identificación	Planeación y control	Organización de la producción
-# de empleados	-# de partes por producto	-# de asignación de recursos	-# de clientes
-# modelos o series, generaciones de productos	-# de pasos por proceso	-# de clientes	-# de empleados
-# modificaciones	- Disponibilidad de la información	-# de sistemas de información	-# de máquinas
-# grupo de productos	- Cambios en técnicas y procedimientos	-# de partes por producto	-# de materiales diferentes
-# de proveedores	- Requerimientos del cliente	-# de grupos de productos	-# de modelos o series, generaciones de productos
- Disponibilidad de core	- Grado de contaminación	-# de procesos de producción	-# de modificaciones
- Disponibilidad de repuestos	- Grado de corrosión	-# de proveedores	-# de pasos en el proceso
- Competencia	- Experiencia de los empleados	-# de instrucciones de trabajo	-# de grupos de producto
- Calidad del core	- Innovación	-# de proveedores	-# de procesos de producción
- Material	- Legislación	- Lista de materiales	-# de proveedores
- Tipos de core	- Cambios en el mercado	- Disponibilidad del core	-# de estaciones de trabajo
- Volumen del producto	- Información del producto	- Disponibilidad de la información	- Capacidad
- Precio del mercado	- Desgaste mecánico	- Disponibilidad de partes de repuesto	- Cambios en técnicas y procedimientos
- Precio de compra	- Calidad del core	- Cambios en las técnicas y procedimientos	- Innovación
- Tamaño, peso, forma	- Cambios tecnológicos	- Competencia	- Niveles de jerarquía
- Área de almacenaje	- Tipo de marca de identificación	- Requerimientos del cliente	- Administración
- Tiempos de entrega	- Cambios en el mercado	- Tiempos de entrega	- Número, tipo y secuencias de procesos
- Experiencia de los empleados	- Demanda del mercado	- Disponibilidad de empleados	- Tiempo de proceso
- Innovación	- Tamaño de la compañía	- Legislación	- Desarrollo de productos
- Legislación	- Rango vertical de manufactura	- Disponibilidad de la maquinaria	- Espacio de producción
		- Cambios en el mercado	- Demanda del mercado
		- Tiempos de proceso	- Calidad del core
		- Calidad del core	- Tamaño, peso y forma
		- Demanda del mercado	- Cambios Tecnológicos
		- Tamaño de la compañía	
		- Rango vertical de manufactura	

Finalmente, la tabla 5 ordena los factores de desempeño clave que debe considerar de manera particular cada compañía en su esfuerzo por gestionar la complejidad. Estos fueron determinados tomando en cuenta los factores y efectos de la complejidad encontrados en las tablas 2 y 4.

Aún y cuando se desarrolla el proceso de remanufactura en tres compañías diferentes se pueden encontrar contrastes al analizar sus características de forma individualizada. Quedan evidenciadas las diferencias y similitudes entre las compañías, objeto de estudio. El resultado final es un análisis que proporciona la oportunidad de establecer un sistema de gestión de la complejidad consistente basado en métodos e indicadores clave a la medida de los efectos de la complejidad que se producen en las empresas.



Tabla 5. Factores de desempeño para gestionar la complejidad.

Factores de desempeño clave para gestionar la complejidad en la empresa KPI (Key Performance Indicators)		
X	Y	Z
Nivel de desempeño de la capacidad	Cantidad de horas extras	Nivel de desempeño de la capacidad
Grado de utilización por unidad de transporte	Proporción de área utilizada	Adaptación de habilidades por empleado y año
Adaptación de habilidades por empleado y año	Adaptación de habilidades por empleado y año	Esfuerzo en las instrucciones por pedido
Esfuerzo en las instrucciones por pedido	Tiempos de entrega promedio por producto	Tiempos de entrega
Proporción de rechazos	Nivel de desempeño de la capacidad	Proporción de entregas a tiempo
Proporción de desperdicios	Esfuerzos en el entrenamiento de empleados	Tiempo de proceso de las ordenes
Costos de preparación de equipo	Esfuerzo en las instrucciones por pedido	Tasa de pedidos urgentes en producción
Participación de los costos en logística	Tiempos de entrega	Proporción de desperdicio
Nivel de estandarización	Registros multifuncionales	Nivel de estandarización
Esfuerzos en entrenamiento por empleado y año	Proporción de entregas a tiempo	Esfuerzos en entrenamiento por empleado y año
Instrucciones de trabajo por empleado	Tiempo de proceso de una orden	Instrucciones de trabajo por empleado
	Áreas de disposición de partes	
	Proporción de desperdicios	
	Costos de preparación de equipo	
	Tamaño de la fuerza de trabajo	
	Nivel de estandarización	
	Nivel de rendimiento	
	Esfuerzos en entrenamiento por empleado y año	
	Instrucciones de trabajo por empleado	

CONCLUSIONES

Al aplicar la metodología propuesta se lograron identificar los efectos de la complejidad en las compañías seleccionadas. Se identificaron los métodos que podrían servir, considerando la situación particular de cada compañía. Asimismo, se logró el objetivo de identificar los factores que crean complejidad. Los resultados permiten hacer una selección de los factores relevantes de complejidad que intervienen y que pueden ser controlados por tomadores de decisiones, administradores y directivos para mejorar los indicadores de desempeño en el sector industrial remanufacturero. Se identificaron los indicadores de desempeño existentes según el tipo de compañía, los cuales no habían sido considerados como clave, normalmente las compañías utilizan como máximo cuatro factores y los proyectos de mejora se enfocan en estos, por lo que al identificar otros indicadores de desempeño se puede dar atención a nuevas áreas de oportunidad.

Este trabajo presentó un enfoque que no había sido considerado antes por las empresas de remanufactura del norte del país para manejar los efectos inducidos por la complejidad en el proceso, proporcionando métodos de optimización emergentes adaptados y desarrollados recientemente. Sin embargo, al aplicar el método alemán de la Universidad de Bayreuth, se concluye que el análisis no tiene en cuenta las interacciones causales e interdependencias entre los conductores de complejidad, o los efectos detectados. Este es un tema de interés que puede ser considerado en futuras investigaciones. Además, sería interesante analizar los costos de la complejidad en la

remanufactura para que los conductores de complejidad y sus efectos sean monetariamente evaluables.

BIBLIOGRAFÍA

- 1) Garbie, I.H., Shikdar, A. (2011). Analysis and estimation of complexity level in industrial firms. *Int. J. of Industrial and System Engineering*. 8(3):1-23.
- 2) Schey, V., Roesgen, R. (2012). *Mastering Complexity*. Camelot Management Consultants AG, November.
- 3) Haumann, M., Westermann, H.H., Seifert, S. Butzer, S. (2012). *Managing complexity—A methodology, exemplified by the industrial sector of remanufacturing*. Proceedings of the^h Fifth International Swedish Production Symposium, Linköping, October 2012.
- 4) Seifert, S., Butzer, S., Westermann, H.H., Steinhilper, R. (2013). *Managing complexity in Remanufacturing*. Proceedings of the 2013 World Congress on Engineering, London, U.K.
- 5) Ijomah, W.A. (2002). Model-Based definition of the generic remanufacturing business process. Tesis doctoral, The University of Plymouth.
- 6) Simon, H. A. (1962). The architecture of complexity " Proceedings of the American philosophical society. 106(6) 467-482.
- 7) Bick, W., Drexel-Wittbecker, S. (2008). Komplexität reduzieren - Konzept. Methoden. Praxis. LOG_X Verlag GmbH, Stuttgart.
- 8) Lundmark, P., Sundin, E., Björkman, M. (2009): Industrial Challenges within the Remanufacturing System. Proceedings of Swedish Production Symposium, Stockholm, Sweden, pp. 132-138.

