

ANÁLISIS DE LA VARIABILIDAD DEL PROCESO DE REMANUFACTURA ASOCIADO A LA TOMA DE DECISIONES

*Analysis of variability in the remanufacturing process
associated and decision making*

POR

Karina Cecilia **ARREDONDO SOTO**¹

Enriqueta **SALAZAR RUÍZ**²

Rosa María **REYES MARTÍNEZ**³

Jaime **SÁNCHEZ LEAL**³

¹ Universidad Autónoma de Baja California. Mexicali, México.

² Instituto Tecnológico de Mexicali. Mexicali, México.

enriqueta.salazar@gmail.com

³ Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez. Ciudad Juárez, México.

pp. 94–107

RECIBIDO 12/02/2016

ACEPTADO 21/10/2016

ISSN 1856-9552

RESUMEN

La remanufactura como una estrategia de fin de vida ha resultado impactar en los enfoques del desarrollo sustentable, configurando el escenario económico, tecnológico y normativo para desarrollar un sistema de producción más limpia. Sin embargo, las operaciones implicadas son complejas. Existe mucha variabilidad en las actividades desarrolladas y en los recursos consumidos de un producto a otro; aún en una misma familia de productos y hasta en un mismo número de partes. En primera instancia para la recuperación del producto al final de su vida útil (núcleo), mediante tácticas de logística inversa. En segundo lugar, cuando las plantas remanufactureras ya tienen el núcleo, la condición de origen es incierta, lo que dificulta las actividades de planeación de recursos humanos, máquinas y compras de materia prima. Así mismo, los tiempos de proceso son variables pues también están en función de la condición de origen. El éxito en la toma de decisiones para la aceptación o rechazo de productos en cada fase está basado en la experiencia y habilidad del operador. Por lo tanto, se realizó una encuesta para gestionar el conocimiento de los expertos e identificar la forma en la que evalúan el producto y toman decisiones en el proceso de remanufactura. Para el análisis de los resultados y su interpretación, se utilizó el modelado de ecuaciones estructurales, que permitió identificar las relaciones y efectos entre las variables intervinientes en el sistema.

PALABRAS CLAVE

Remanufactura, Variabilidad, Modelado de Ecuaciones Estructurales.

KEY WORDS

Remanufacturing, variability, structural equation modelling.

SUMMARY

Remanufacturing as an end of life strategy has influenced sustainable development approaches, impacting on the set of standards and the economic and technological aspects required for the development of cleaner production systems. However, these issues are complex. There is a wide variability in the activities and the resources used from one product to the other; even if they belong to the same family of products or have the same number of parts. First, is the recovery of an end-of-life product (core) through reverse logistics tactics. Second, once the remanufacturing plants have recovered the core, the uncertainty of its origin hinders the planning activities concerning human resources, machinery and raw material purchases. In addition, the processing times are variable as they are based on the origin conditions. Success in making decisions about acceptance or rejection of products in each phase is based on the experience and skill of the operator. Therefore, a survey to assess the knowledge of the experts and to identify how they evaluate the product and make decisions in the remanufacturing process was undertaken. Data were analysed and interpreted using structural equation modelling which identified the relationships and effects between the variables.

1. INTRODUCCIÓN

Existe un creciente interés en las estrategias de fin de vida (EOL, por sus siglas en inglés *End Of Life*). Factores como la creciente preocupación por el deterioro del medio ambiente, la escasez de los recursos, la crisis energética, las constantes presiones por disminuir costos y ser más competitivos han dirigido los esfuerzos de las empresas a trabajar en proyectos relacionados al área ambiental. Además se han creado leyes que regulan el manejo de los productos al final de su vida útil (Brañes, 2000; Chucciella *et al.*, 2015 y Hsing *et al.*, 2004), y algunos países como Colombia y México hasta han propuesto incentivos de índole fiscales, financieros y de mercado a las empresas que demuestren tener una buena gestión medio ambiental. Dentro de las estrategias de fin de vida se encuentra la remanufactura.

La remanufactura es un proceso en el que se utiliza como materia prima, productos al final de su vida útil. Estos pasan por las actividades de inspección, desensamble, limpieza, maquinados, ensamble e inspección final; logrando así llevar cada uno de los componentes a especificaciones originales de diseño, obteniendo productos tan buenos como los nuevos pero a un precio mucho menor, que van entre un veinte y ochenta por ciento menos que el precio de uno nuevo (Lund, 2010). Estos márgenes de utilidad son posibles principalmente en la industria automotriz, aeroespacial y metalmecánica, donde la materia prima son en su mayoría metales. Los cuales, además de ser costosos tienen la ventaja de que al ser remanufacturados conservan su geometría original, evitando así el costo asociado a fundiciones, a la vez que se reducen los procesos de deformación volumétrica y de maquinados. Todo esto permite reducir el consumo energético.

La **FIG. 1** muestra el proceso general de la remanufactura, incluyendo las actividades logísticas. El proceso es considerado complejo por lo altos niveles de variabilidad asociados en cada fase del proceso. Primero en el proceso de logística inversa, el cual consiste en la recuperación del *core* o núcleo (producto EOL, a partir del cual se busca aprovechar la mayor cantidad de componentes) de la zona de clientes. Existe incertidumbre en cuanto a cuándo terminará su vida útil, dónde y en qué condiciones está el *core*. Posteriormente, existe variabilidad respecto a los estados posibles del *core* en las diferentes operaciones de remanufactura en sí (inspección, desensamble, limpieza, maquinado o cambio de componentes, ensamble e inspección final), respecto a sí continúa o no en la siguiente fase del proceso.

Existen diferentes factores que intervienen en el desempeño de las plantas remanufacturadoras. Algunos son difíciles de medir, pero deben ser considerados por su importancia respecto a la toma de decisiones. Es por eso que este estudio se enfoca en aplicar un modelo para la medición de estas variables mediante el modelado de ecuaciones estructurales (SEM, por sus siglas en inglés *Structural Equation Modelling*). El objetivo del estudio fue conocer las relaciones entre estas variables y sus efectos, tomando como base el marco teórico existente al respecto, pero aplicando una herramienta matemática con poder explicativo.

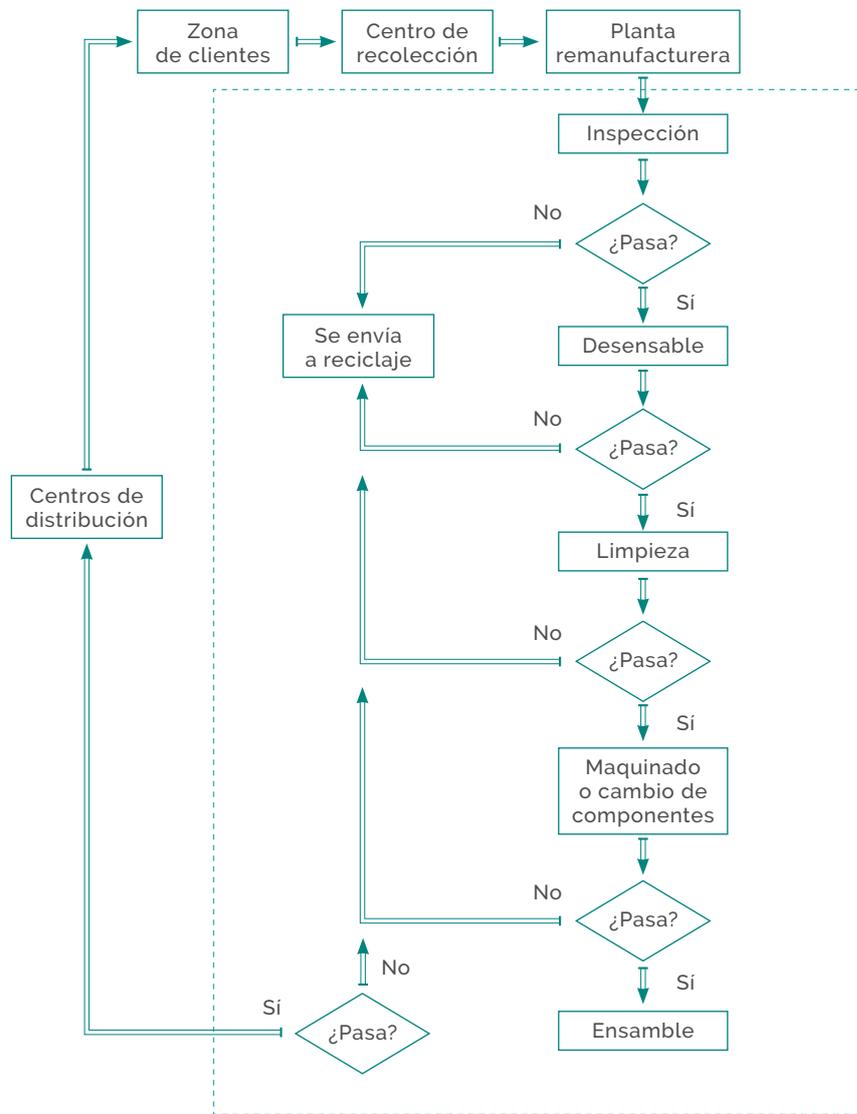


FIG. 1
Proceso general de la remanufactura.
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Este importante estudio permite hacer una interpretación del conocimiento de los expertos en el proceso, lo que de otro modo sería difícil de obtener. Se utiliza la técnica SEM al ser una herramienta de análisis multivariante que estudia relaciones entre variables latentes (o constructos), y variables observadas, que constituyen un modelo. Las variables latentes son de interés pero no pueden ser medidas directamente, por lo que se utilizan las variables observadas para este fin. La técnica aplica métodos estadísticos avanzados como el Análisis Factorial Confirmatorio, Análisis Exploratorio de Factores, Análisis de Senderos y Análisis de Regresión Múltiple (Qureshi y Kang, 2015; Voth-Gaeddert y Oerther, 2014).

Estas técnicas tienen la ventaja de medir el error. La correlación estadística no prueba la causalidad o influencia, más bien apoya una creencia lógica de su presencia, por lo que el sustento teórico del modelo propuesto es elemental para el éxito en la aplicación del SEM.

En el desarrollo del proyecto de investigación se propone la aplicación de la secuencia de técnicas para el análisis de datos siguientes: **a.** Diseño, validación y aplicación de la encuesta; **b.** Análisis de senderos; **c.** Análisis factorial; **d.** Modelo de ecuaciones estructurales (SEM). El desglose de actividades se muestra en la **TABLA 1**.

TABLA 1

Metodología propuesta para la investigación. Fuente: Elaboración propia.

La encuesta	Análisis de senderos	Análisis factorial	Modelado SEM
Definición del constructo o aspectos a medir.	Interpretación de resultados de la encuesta.	Identificación de variables	Especificación
Propósito de la escala.	Estadísticos descriptivos.	Matriz de correlaciones	Identificación
Composición de los ítems.	Verificar linealidad.	Extracción de factores	Estimación de parámetros
Número de ítems (10 a 90).	Diagrama de senderos.	Verificación de linealidad	Evaluación del ajuste
Contenido (evaluación de dimensiones).	Identificación de variables endógenas y exógenas.	Extracción de factores	Re especificación del modelo
Definición y ordenación.	Determinación de ecuaciones estructurales	Rotación de factores	Validación del modelo
Prevención de los sesgos.	Calcular coeficientes de Wright	Puntuaciones factoriales	Interpretación de resultados.
Codificación de las respuestas.			
Puntuación de los ítems.			
Proceso de validación.			
Prueba piloto.			
Evaluación de las propiedades métricas de la escala (Fiabilidad).			

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se presenta la metodología aplicada y desarrollada para el proyecto de investigación, cuyo objetivo es proponer un modelo que permita: identificar las variables que inciden en la variabilidad del proceso desde la experiencia del experto; medir y analizar sus interrelaciones, considerando el diseño del sistema de producción y la experiencia de los trabajadores involucrados. Así mismo, pretende ser útil en la toma de decisiones en base a una representación confiable del proceso.

3.1. LA ENCUESTA

Con la finalidad de realizar un sondeo sobre el tema y conocer la opinión de los expertos en el proceso de remanufactura, se les invitó a participar en un panel. Para el análisis se seleccionaron 6 familias de productos y 206 muestras en total.

Fueron evaluadas características físicas (condición de origen, nivel de: corrosión, contaminación y desgaste), seguridad en la manufactura del producto (posibilidad de accidentes en ese producto), nivel de disponibilidad (del empleado, de las máquinas y de las partes de repuesto), el nivel de complejidad percibido por el experto, así como el nivel de remanufacturabilidad (**TABLA 3**).

TABLA 2

Características de los productos evaluados y de los encuestados. Fuente: Elaboración propia.

Giro	Producto	Muestra	Sexo	Escolaridad	Experiencia
Componentes de Turbinas	Inyectores	25	Masculino	Posgrado	18 años
	Carcásas	25	Masculino	Ingeniería	5 años
	Cámaras de combustión	25	Masculino	Ingeniería	10 años
Taller Diesel	Componentes de motores diesel	14	Masculino	Preparatoria	10 años
Taller Gasolina 1	Autopartes	25	Masculino	Técnico con preparatoria	8 años
Moldeo de Polímeros	Moldes para moldeo de plásticos	47	Masculino	Ingeniería	9 años
Taller 2	Autopartes	13	Masculino	Ingeniería	7 años
Taller 3	Autopartes	32	Masculino	Técnico con preparatoria	5 años
Muestreo en seis empresas diferentes		206	Masculino	Técnico con preparatoria a posgrado	5-18 años
Variedad de productos					
Transmisiones, flechas radiadores, turbinas industriales de gas, motores diesel, moldes para inyección de plástico.					

TABLA 3

Variables categóricas ordinales evaluadas y estadísticos de fiabilidad. Fuente: Elaboración propia.

a. Variables categóricas ordinales		
1. Grado de corrosión o erosión	4. Nivel de seguridad	7. Condición de origen
2. Grado de contaminación	5. Disponibilidad del empleado	8. Disponibilidad de las máquinas
3. Grado de desgaste mecánico y/o fracturas	6. Disponibilidad de las partes de repuesto	9. Nivel de complejidad
		10. Remanufacturabilidad

b. Estadísticos de fiabilidad		
Alfa de Cronbach	Alfa de Cronbach basada en los elementos tipificados	N de elementos
.759	.879	11

c. Coeficiente de correlación intraclase							
	Correlación intraclase ^b	Intervalo de confianza 95%		Prueba F con valor verdadero 0			
		Límite inferior	Límite superior	Valor	gl1	gl2	Sig.
Medidas individuales	.223 ^a	.180	.273	4.155	205	2050	.000
Medidas promedio	.759 ^c	.708	.805	4.155	205	2050	.000

Modelo de efectos mixtos de dos factores en el que los efectos de las personas son aleatorios y los efectos de las medidas son fijos:

a. El estimador es el mismo, ya esté presente o no el efecto de interacción. **b.** Coeficientes de correlación intraclase de tipo C utilizando una definición de coherencia, la varianza inter-medidas se excluye de la varianza del denominador. **c.** Esta estimación se calcula asumiendo que no está presente el efecto de interacción, ya que de otra manera no es estimable.

Los productos fueron evaluados en una escala del 1 al 5, donde 1 es una evaluación negativa respecto a la variable en cuestión y 5 es una perspectiva muy positiva. Al evaluar la fiabilidad se obtuvo un valor de 0.759 el cual se considera aceptable, así como un índice de correlación intraclass sustancial. El test KMO muestra que las relaciones entre las variables son notables, con un valor de 0.79. Los resultados de la prueba de esfericidad de Barlett demuestran que el modelo es significativo y que el análisis factorial es factible

(TABLA 4).

TABLA 4

KMO y prueba de Bartlett. Fuente: Elaboración propia.

KMO y prueba de Bartlett		
Medida de adecuación muestral de Kaiser-Meyer-Olkin.		.790
Prueba de esfericidad de Bartlett	Chi-cuadrado aproximado	1204.665
	gl	45
	Sig.	.000

3.2. ANÁLISIS DE SENDEROS

La encuesta aportó información respecto a la percepción de los expertos sobre las variables seleccionadas respecto a los productos analizados (FIG. 2). La TABLA 5, muestra que el coeficiente de variación es moderado para la mayoría de las variables. Se asumen que los datos son bastante homogéneos en general.

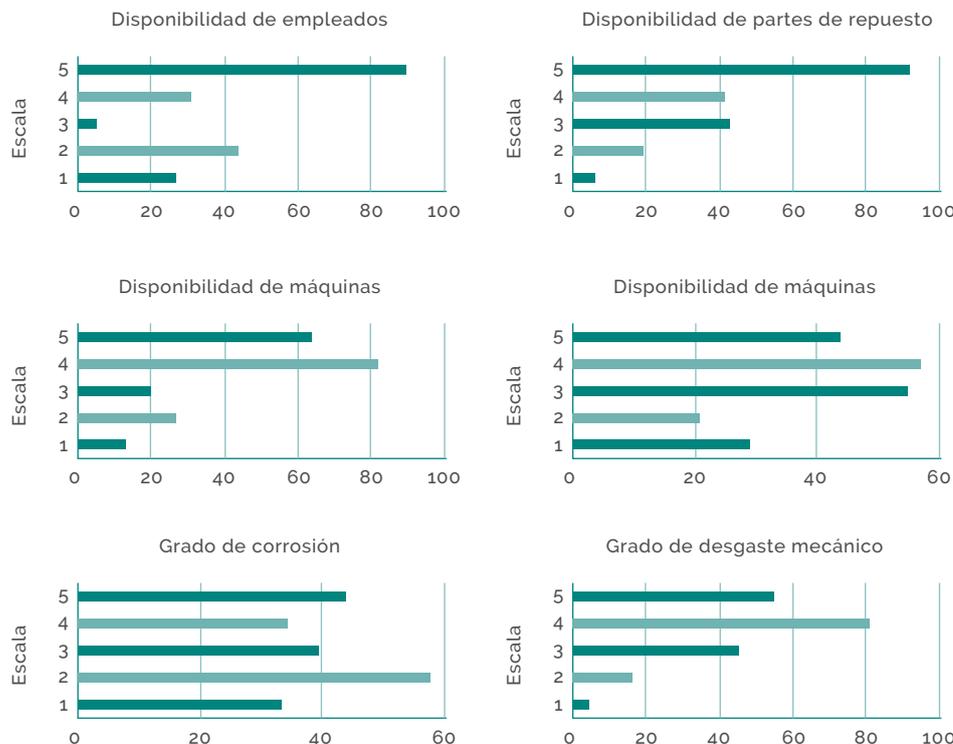


FIG. 2

Gráficos de frecuencias por variable. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Mediante la matriz de correlaciones se pueden observar las influencias probables entre las variables y se propone un diagrama de senderos inicial (FIG. 3). El diagrama de senderos muestra las relaciones probables para el modelo.

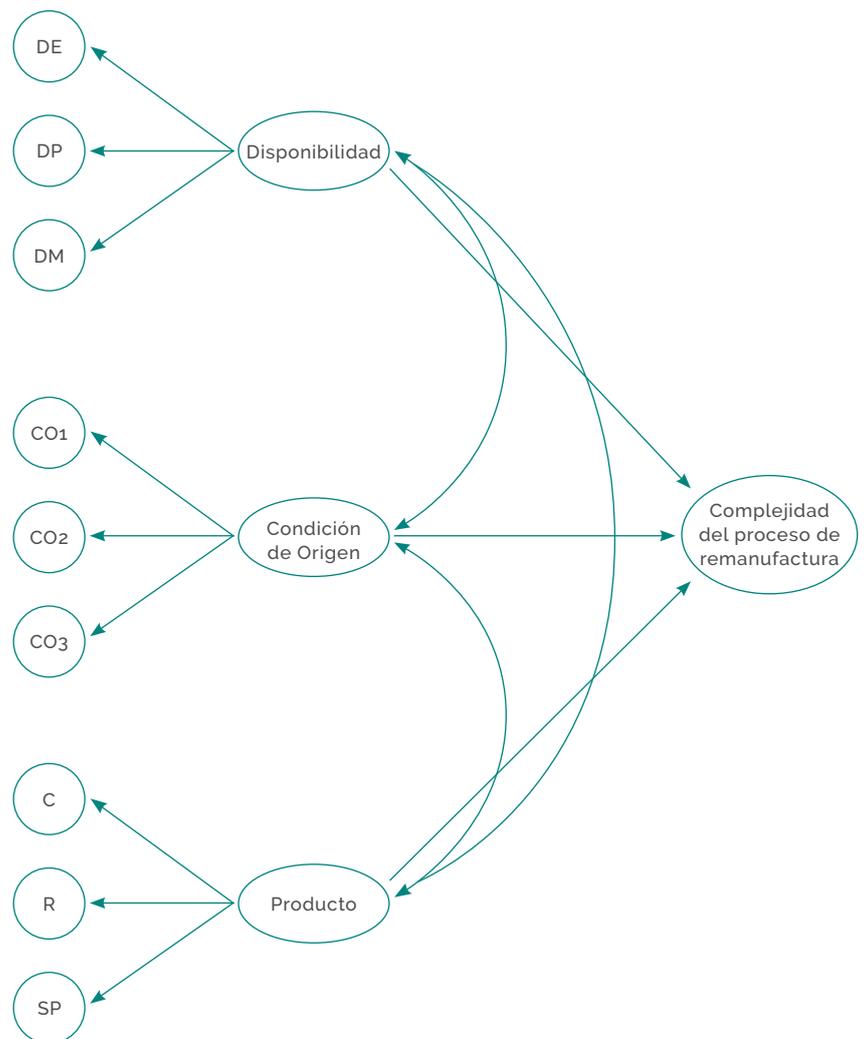
TABLA 5

Estadísticos descriptivos de los ítems. Fuente: Elaboración propia.

	Código	N	Media	Desv. típ.	Coefficiente de Variación
Disponibilidad del empleado	DE	206	3.6359	1.55500	0.427679
Disponibilidad de partes de repuesto	DP	206	3.9417	1.16724	0.296126
Disponibilidad de máquinas	DM	206	3.7621	1.20435	0.320127
Grado de contaminación	CO2	206	3.3204	1.30450	0.392874
Grado de corrosión	CO1	206	2.9854	1.38803	0.464939
Grado de desgaste mecánico	CO3	206	3.8107	1.00636	0.264087
Condición de origen	CO	206	3.0825	1.18032	0.382909
Nivel de seguridad del producto	SP	206	3.6699	1.31326	0.357846
Remanufacturabilidad	R	206	2.7573	1.24129	0.450183
Complejidad	C	206	3.1602	1.03054	0.326099

FIG. 3

Diagrama de sendero inicial.
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.



3.3. ANÁLISIS FACTORIAL

El análisis factorial se basa en la interpretación de la matriz de correlaciones. Se observa que los coeficientes de correlación aceptables (TABLA 6). El índice KMO y la prueba de esfericidad de Barlett demuestran que el modelo es significativo y que el análisis factorial es factible (TABLA 7). Los factores que se obtienen con el método de componentes principales se encuentran en las TABLAS 8 y 9. La tabla de comunalidades contiene el porcentaje que aporta cada variable al modelo. Hay tres componentes con autovalores iniciales superiores a uno. Con aproximadamente un 25 % de pérdida de información, se puede expresar cada una de las variables como combinación lineal de estos tres factores o variables latentes.

TABLA 6

Matriz de correlaciones inter-elementos. Fuente: Elaboración propia.

	DE	DP	DM	CO ₂	CO ₁	CO ₃	CO	SP	R	Complejidad	suma
DE	1.000	.881	.829	.404	.479	.143	.447	.340	.366	.140	.803
DP	.881	1.000	.809	.403	.460	.136	.489	.325	.384	.202	.805
DM	.829	.809	1.000	.325	.395	.120	.336	.154	.248	.074	.682
CO ₂	.404	.403	.325	1.000	.517	.411	.189	.224	.115	.060	.575
CO ₁	.479	.460	.395	.517	1.000	.459	.367	.380	.318	.138	.712
CO ₃	.143	.136	.120	.411	.459	1.000	.116	.155	.162	-.159	.381
CO	.447	.489	.336	.189	.367	.116	1.000	.452	.640	.338	.676
SP	.340	.325	.154	.224	.380	.155	.452	1.000	.690	.598	.667
R	.366	.384	.248	.115	.318	.162	.640	.690	1.000	.461	.674
C	.140	.202	.074	.060	.138	-.159	.338	.598	.461	1.000	.426
suma	.803	.805	.682	.575	.712	.381	.676	.667	.674	.426	1.000

TABLA 7

Matrices Anti-imagen. Fuente: Elaboración propia.

		DE	DP	DM	CO ₂	CO ₁	CO ₃	CO	SP	R	C
Covarianza anti-imagen	DE	.166	-.096	-.093	-.026	-.027	.035	-.011	-.055	.002	.058
	DP	-.096	.184	-.069	-.039	-.003	.004	-.053	.011	-.008	-.038
	DM	-.093	-.069	.260	.021	-.020	-.013	.030	.069	-.015	-.019
	CO ₂	-.026	-.039	.021	.623	-.150	-.175	.008	-.030	.079	-.032
	CO ₁	-.027	-.003	-.020	-.150	.525	-.190	-.067	-.065	.021	-.007
	CO ₃	.035	.004	-.013	-.175	-.190	.648	.022	-.041	-.071	.184
	CO	-.011	-.053	.030	.008	-.067	.022	.507	.035	-.199	-.037
	SP	-.055	.011	.069	-.030	-.065	-.041	.035	.359	-.175	-.207
	R	.002	-.008	-.015	.079	.021	-.071	-.199	-.175	.371	-.031
C	.058	-.038	-.019	-.032	-.007	.184	-.037	-.207	-.031	.544	
Correlación anti-imagen	DE	.791 ^a	-.549	-.449	-.081	-.091	.106	-.039	-.225	.009	.192
	DP	-.549	.836 ^a	-.317	-.116	-.009	.012	-.172	.044	-.030	-.120
	DM	-.449	-.317	.831 ^a	.053	-.053	-.033	.084	.225	-.049	-.051
	CO ₂	-.081	-.116	.053	.828 ^a	-.262	-.276	.013	-.063	.165	-.054
	CO ₁	-.091	-.009	-.053	-.262	.866 ^a	-.326	-.130	-.149	.047	-.012
	CO ₃	.106	.012	-.033	-.276	-.326	.619 ^a	.038	-.085	-.145	.310
	CO	-.039	-.172	.084	.013	-.130	.038	.840 ^a	.081	-.458	-.070
	SP	-.225	.044	.225	-.063	-.149	-.085	.081	.718 ^a	-.479	-.467
	R	.009	-.030	-.049	.165	.047	-.145	-.458	-.479	.760 ^a	-.070
C	.192	-.120	-.051	-.054	-.012	.310	-.070	-.467	-.070	.677 ^a	

a. Medida de adecuación muestral

TABLA 8

Varianza total explicada. Fuente: Elaboración propia.

Componente	Autovalores iniciales			Sumas de las saturaciones al cuadrado de la extracción			Suma de las saturaciones al cuadrado de la rotación		
	Total	% de la varianza	% acumulado	Total	% de la varianza	% acumulado	Total	% de la varianza	% acumulado
1	4.302	43.025	43.025	4.302	43.025	43.025	2.873	28.734	28.734
2	1.815	18.153	61.178	1.815	18.153	61.178	2.639	26.390	55.124
3	1.350	13.495	74.673	1.350	13.495	74.673	1.955	19.549	74.673
4	.739	7.392	82.065						
5	.499	4.987	87.052						
6	.432	4.320	91.372						
7	.356	3.560	94.932						
8	.235	2.354	97.286						
9	.163	1.634	98.920						
10	.108	1.080	100.000						

Método de extracción: Análisis de Componentes principales.

TABLA 9

Matriz de componentes. Fuente: Elaboración propia.

	Componente		
	1	2	3
DE	.837	-.292	-.344
DP	.843	-.250	-.353
DM	.723	-.398	-.433
CO2	.538	-.389	.398
CO1	.687	-.220	.403
CO3	.327	-.349	.729
CO	.689	.309	-.038
SP	.641	.564	.230
R	.670	.535	.100
C	.406	.698	-.049

Método de extracción: Análisis de componentes principales.

a. 3 componentes extraídos

En la **FIG. 4** (sedimentación) se encuentra una representación gráfica de estos resultados, en la abscisa figuran el número total de factores y en la ordenada el valor propio de cada uno de ellos. Mediante este gráfico es posible determinar el número de factores que mejor representan toda la varianza significativa descrita por la matriz de correlaciones. Se aprecia que hay tres factores que explican la principal varianza significativa en la matriz de correlaciones. Ya que, a partir del factor cuatro y los subsiguientes factores, la cantidad de la varianza explicada es baja y prácticamente equivalente. En el análisis factorial se busca encontrar un modelo en el cual todas las variables saturan en algún factor, es decir, pesos factoriales altos en uno y bajos en el resto.

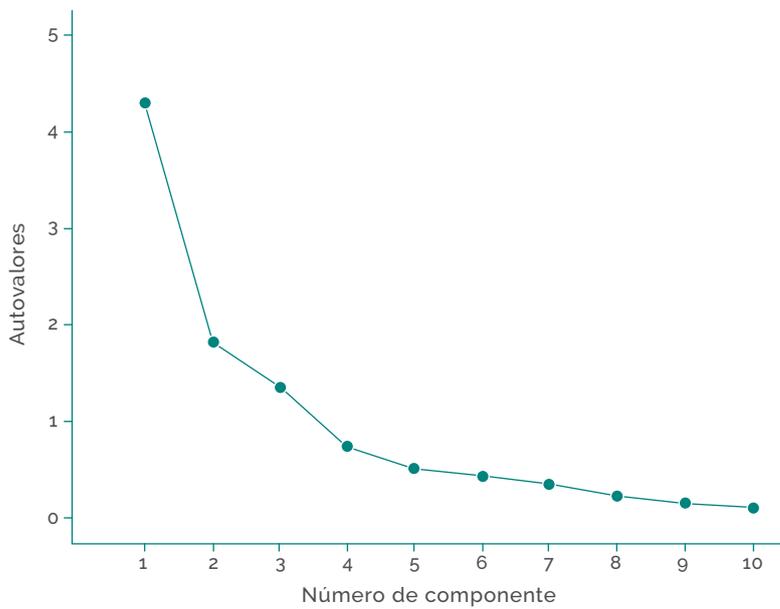


FIG. 4
Gráfico de sedimentación.
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

En el análisis de componentes principales, los factores se extraen en orden según la cantidad de la varianza que explican, no en términos de qué tan bien describen realmente las relaciones entre las variables. Por tal motivo, se recomienda rotar los ejes de modo que se acerquen más a los puntos que representan las variables.

A partir de la información que se encuentra en la **TABLA 10** se puede realizar la siguiente asignación y en la **TABLA 11** la transformación.

TABLA 10
Asignación. Fuente: Elaboración propia.

Variables		
Factor 1 Disponibilidad	Factor 2 Condición de Origen	Factor Producto
Disponibilidad del empleado (DE)	Grado de Corrosión (CO1)	Condición de origen percibida (CO)
Disponibilidad de partes de repuesto (DP)	Grado de Contaminación (CO2)	Seguridad del producto (SP)
Disponibilidad de máquinas (DM)	Grado de desgaste mecánico (CO3)	Remanufacturabilidad (R)
		Complejidad Percibida (C)

TABLA 11
Transformación. Fuente: Elaboración propia.

Matriz de Transformación de las Componentes			
Componente	1	2	3
1	.699	.578	.422
2	-.417	.808	-.416
3	-.581	.115	.806

Método de extracción: Análisis de componentes principales.
Método de rotación: Normalización Varimax con Kaiser.

2.3. SEM

Se realizaron varias iteraciones para alcanzar una bondad de ajuste recomendada, buscando explicar la complejidad del proceso de remanufactura, analizando las variables intervinientes, sus relaciones y efectos. El modelo resultante tiene una chi cuadrada de 25.256, con 20 grados de libertad y un valor p de 0.192, lo que indica un buen ajuste. Específicamente, respecto al ajuste global, el CMIN/DF es de 1.263, por debajo de 3 que es el límite; así como un GFI de 0.974, por encima del 0.90 mínimo. Dentro de las medidas comparativas de ajuste el NFI (índice normado de ajuste) es de 0.977, siendo el valor mínimo aceptable 0.90. El RMSEA (por sus siglas en inglés *Root Mean Square Error Approximation*) tiene un valor de 0.036 que está por debajo del nivel de corte 0.10. Lo que proporciona suficiente evidencia de que el modelo es aceptable (Molenaar *et al.*, 2000 y Ong y Musa, 2012) (TABLA 12) (FIG. 5).

TABLA 12

Comparación de medidas de bondad de ajuste entre el modelo final y los estimadores deseables. Fuente: Elaboración propia.

Medidas de Bondad de Ajuste	Niveles recomendables de las Medidas de Bondad de Ajuste	Medidas de Bondad de Ajuste del Modelo Final
rMSEA (<i>Root Mean Square Error Approximation</i>)	< 0.10	0.036
CMIN/DF	< 3	1.263
GFI (<i>Goodness on Fit Index</i>)	> 0.90	0.974
NFI (<i>Normal Fit Index</i>)	> 0.90	0.977
CFI (<i>Comparative Fix Index</i>)		
TLI (<i>Tucker-Lewis Index</i>)		
PGFI (<i>Parsimonious Goodness on Fit Index</i>)		
PNFI (<i>Parsimonious Normal Fit Index</i>)		

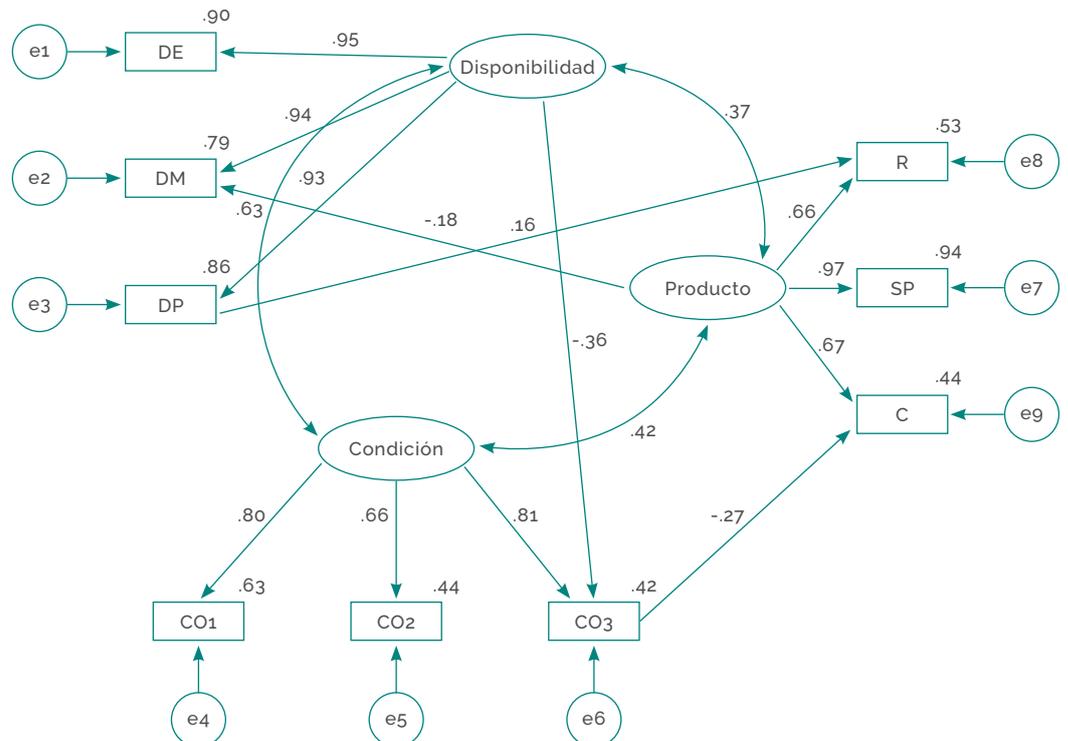


FIG. 5

Modelo de ecuaciones estructurales con valores de los coeficientes, donde las correlaciones presentadas son significativas a un nivel del 0.05.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El estudio se enfoca en la modelización de los factores de la complejidad en las operaciones de remanufactura desde el punto de vista de los dueños del proceso: personal técnico especializado e ingenieros de proceso, diseño y desarrollo de remanufactura. Esta investigación no se enfoca en un tipo de remanufactura en específico, pero sí considera productos elaborados con materiales de aleaciones metálicas de la industria automotriz y metal-mecánica. Esto le permite flexibilidad para interpretar los resultados en este contexto. Aunque se han encontrado estudios que modelan la complejidad en manufactura, la remanufactura es considerada un área novedosa, y más aún al abordar temas de complejidad.

La técnica SEM permitió identificar los factores y las relaciones entre las variables de interés. En primer lugar, la teoría ya había identificado la condición de origen como un factor clave que incide en la variabilidad y complejidad del proceso de remanufactura. Acotando el proceso de remanufactura a las actividades internas propias de la empresa remanufacturera (inspección, desensamble, limpieza, maquinado o cambio de componentes, ensamble e inspección final). En segundo lugar, al hacer el análisis con los expertos se identificó la disponibilidad (de partes de repuesto, máquinas y empleados) como otro factor relevante, la cual fue evaluada subjetivamente aprovechando el conocimiento de los trabajadores. Finalmente, el producto como tal pudo identificarse como complejo por el nivel de seguridad al ser procesado, por su remanufacturabilidad y complejidad percibida.

El estudio se enfoca en identificar la manera en la que percibe el proceso el personal especializado, para tratar de identificar, analizar e interpretar la manera en la que toman decisiones en la operación y concientizarlos de los elementos que exigen su atención de forma relevante. El modelo fue formulado teórico-práctico, y fue validado de igual forma utilizando el software AMOS ® versión 23. El modelo final mantiene las relaciones identificadas en el modelo inicial pero incluye otras no identificadas previamente. Muestra que la disponibilidad y la condición de origen están correlacionados significativamente, siendo la disponibilidad del empleado clave por encima de la disponibilidad de máquinas y de partes de repuesto.

Así mismo, aunque la condición de origen es afectada principalmente por el nivel de corrosión y de desgaste mecánico, esta última afecta de forma inversa la disponibilidad, lo cual es lógico, a mayor desgaste menor disponibilidad de empleados, máquinas y partes de repuesto. El grado de desgaste mecánico afecta la complejidad de forma negativa, sin embargo, no es definitiva en la decisión de si será o no remanufacturable el producto. En la evaluación del producto se consideró de mayor peso la seguridad del producto, sobre su complejidad y remanufacturabilidad, lo cual es muy favorable al analizar lo que piensan los dueños del proceso acerca del mismo.

Así mismo, aseveran que esto tiene una ligera influencia inversa en la disponibilidad de las máquinas, por lo que contar con suficiente equipo parece dar mejor control sobre la seguridad el producto. La condición de origen, nivel de desgaste mecánico, parece ser la que más complejidad aporta al proceso, sin embargo, esta no puede ser controlada por el operador y/o la empresa remanufacturera. El modelo muestra una correlación importante entre la disponibilidad y la condición de origen, que era predecible empíricamente.

El modelo fue desarrollado considerando solo unas pocas variables cualitativas desde el punto de vista del dueño del proceso, por lo que un análisis más exhaustivo que considere variables cuantitativas podría proporcionar mayor información de lo que sucede con los indicadores clave de desempeño en la planta remanufacturadora, logrando un análisis más integral.

5. AGRADECIMIENTOS

Se agradece la colaboración y disponibilidad de las empresas participantes para la realización de esta investigación, así mismo el apoyo de las instituciones educativas que proporcionaron los recursos necesarios: el Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez, la Universidad Autónoma de Baja California y el Instituto Tecnológico de Mexicali.

De igual forma, los autores confirman que no hay conflictos conocidos de interés asociados con esta publicación, y no ha habido un apoyo financiero importante para este trabajo, lo que podría tener influencia en su resultado.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRAÑES, R. 2000. *Manual del derecho ambiental mexicano*. Fondo de Cultura Económica. México D.F., México. 166 p.
- CUCCHIELLA, F. I., I. D'ADAMO, S. L. KOH y P. ROSA. 2015. Recycling of WEEEs: An economic assessment of present and future e - waste streams. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 51: 263-272.
- HSING, H. J., F. K. WANG, P. C. CHIANG y W. F. YANG. 2004. Hazardous wastes transboundary movement management: a case study in Taiwan. *Resources, conservation and recycling* 40(4): 329-342.
- LUND, R. T. y W. M. HAUSER. 2010. Remanufacturing: An American perspective. Boston University International. Conference on Responsive Manufacturing. Ningbo, China. 158 p.
- MOLENAAR, K., S. WASHINGTON y J. DIEKMANN. 2000. Structural equation model of construction contract dispute potential. *Journal of Construction Engineering and Management* 126: 268/277.
- ONG, T. F. y G. MUSA. 2012. Examining the influences of experience, personality and attitude on SCUBA divers' underwater behaviour: A structural equation model. *Tourism Management* 33: 1521/1534.
- QURESHI, S. M. y C. KANG. 2015. Analysing the organizational factors of project complexity using structural equation modelling. *International Journal of Project Management* 33(1): 165-176.
- VOTH - GAEDDERT, L. E. y D. B. OERTHER. 2014. Utilizing Structural Equation Modeling in the Development of a Standardized Intervention Assessment Tool. *Procedia Engineering* 78: 218-223.
- HACIENDA. 2015. Incentivos fiscales para la inversión y la gestión ambiental. En línea: <http://www.hacienda.go.cr/centro/datos/Articulo/Incentivos%20fiscales%20para%20la%20inversi%C3%B3n%20y%20la%20gesti%C3%B3n%20ambiental.pdf> [Consultado: 05/11/2015].
- INCENTIVOS AMBIENTALES. 2015. Catalizadores de negocios verdes. En línea: http://www.ceja.org.mx/IMG/INCENTIVOS_AMBIENTALES.pdf [Consultado: 04/11/2015].