



INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA
PASCUAL BRAVO®

Metodologías y herramientas para la organización eficiente:

Proyectos de investigación realizados por estudiantes del Departamento
de Calidad y Producción del Instituto Tecnológico Metropolitano

Editores

Cristian Giovanni Gómez Marín

Juan Miguel Cogollo Flórez



Alcaldía de Medellín



INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA
PASCUAL BRAVO®

Metodologías y herramientas para la organización eficiente

Proyectos de investigación realizados por estudiantes
del Departamento de Calidad y Producción del
Instituto Tecnológico Metropolitano

Editores

Cristian Giovanni Gómez Marín
Juan Miguel Cogollo Flórez



Alcaldía de Medellín

658.1

M37

Metodologías y herramientas para la organización eficiente Proyectos de investigación realizados por estudiantes del Departamento de Calidad y Producción del Instituto Tecnológico Metropolitano / Editores Cristian Giovanni Gómez Marín. Juan Miguel Cogollo Flórez.—Medellín: IUPB, 2020

86 Páginas.-- (Serie Memorias)

ISBNe: 978-958-53606-3-1

1.PRODUCTIVIDAD

2.MANUFACTURA INTELIGENTE

3.CONTROL DE CALIDAD

4.METODOLOGIAS 5S

Catalogación en la publicación Biblioteca en Ciencia y Tecnología

Metodologías y herramientas para la organización eficiente

Proyectos de investigación realizados por estudiantes del Departamento de Calidad y Producción del Instituto Tecnológico Metropolitano

Serie Memorias

Institución Universitaria Pascual Bravo

Autores

Ana Carolina Chalarca Santa

Carolina Muñoz Mazo

Cristian Giovanni Gómez Marín

Daniel Duarte Bedoya

Daniela Espinosa Jaramillo

Didier Alexix Arango-Ríos

Edilson Delgado Trejos

Ekaterina Castañeda Ospina

Esneider Molina Bustamante

Gloria Stella García

José Adrián Tamayo Sepúlveda

Juan Miguel Cogollo Flórez

Kelly Johanna Mesa-Cano

Leydy Tatiana Fernández

Leydy Yasmín Ortiz Gómez

Libia María Baena Pérez

Luz Mirian Marín

Mateo Riascos

Narciso Alcides Alzate Carmona

Rodrigo Jaramillo Gómez

Santiago Gil Durán

Yesica Mariana Cano Restrepo

Yhonatan Estiven CórdobaGallego

Yonatan González Arango

Primera edición: diciembre de 2021

ISBNe: 978-958-53606-3-1

Editores

Cristian Giovanni Gómez Marín

Juan Miguel Cogollo Flórez

Rector

Juan Pablo Arboleda Gaviria

Vicerrectora de Investigación y Extensión

Carmen Elena Úsuga Osorio

Coordinación editorial: Johana Martínez Ramírez

Corrección de texto: María Edilia Montoya Loaiza

Diagramación: Leonardo Sánchez Perea

Editado en Medellín, Colombia

Fondo Editorial Pascual Bravo

Institución Universitaria Pascual Bravo

Calle 73 No. 73A – 226 – Tel. (604) 4480520

fondoeditorial@pascualbravo.edu.co

www.pascualbravo.edu.co

Medellín – Colombia

Las ideas expresadas en la obra aquí contenida son manifestaciones del pensamiento individual de sus autores, en esa medida, no representan el pensamiento de la Institución Universitaria Pascual Bravo, siendo ellos los únicos responsables por los eventuales daños o perjuicios que pudieran causar con lo expresado o por la vulneración de los derechos de autor de terceros en los que hubiesen podido incurrir en su creación.

Está prohibido todo uso de la obra que atente contra los derechos de autor y el acceso abierto. Esta obra está protegida a través de la licencia Creative Commons: Reconocimiento-No comercial 4.0 Internacional.



Contenido

Prefacio	6
Capítulo 1	
Mejoramiento del proceso y disminución de la rotura del material de empaque de producto terminado en una empresa de productos cárnicos	9
Daniel Duarte-Bedoya, Yonatan González-Arango, Yhonatan E. Córdoba-Gallego y José A. Tamayo	
Capítulo 2	
Vigilancia tecnológica de mapas de corrosión atmosférica de materiales metálicos para la industria de la construcción	18
Ana C. Santa, José A. Tamayo, Maryory A.Gómez, Juan G.Castaño y Libia M. Baena	
Capítulo 3	
Estado del arte de la técnica de manufactura aditiva fusión por haz de electrones EBM, en el desarrollo de prototipos de prótesis para la industria biomédica en la aleación Ti6Al4V	26
Mateo Riascos, José A. Tamayo y Libia M. Baena	
Capítulo 4	
Herramienta para determinar el impacto de planeación de requerimiento de materiales usando Demand Driven (DDMRP)	35
Yesica Mariana Cano Restrepo, Narciso Alcides Álzate Carmona y Santiago Gil Durán	
Capítulo 5	
Implementación de metodología cross - docking con una distribución ágil y funcional en la empresa Transportempo S. A. S. para el abastecimiento de cemento de su cliente principal	44
Daniela Espinosa Jaramillo, Carolina Muñoz Mazo, Leydy Yhasmin Ortiz Gómez y Ekaterina Castañeda Ospina	

Capítulo 6

Modelo de localización de instalación de máxima cobertura asociado a logística humanitaria para la atención a pacientes con covid-19 54

Leydy Tatiana Fernández-Pulgarín, Gloria Stella García-Gómez, Luz Mirian Marín-Cárdenas y Cristian G. Gómez-Marín

Capítulo 7

Implementación de la metodología 5s en una productora de materiales de fricción nacional (RECO S.A) 63

Rodrigo Jaramillo-Gómez, Esneider Molina-Bustamante y Cristian G. Gómez-Marín

Capítulo 8

Perspectivas de la manufactura inteligente para la Industria 4.0 basada en mediciones derivadas de soft metrología 70

Kelly Johanna Mesa-Cano y Edilson Delgado-Trejos

Capítulo 9

Mejoramiento del proceso de termoformado de gabinetes usando cartas de control 78

Didier A. Arango-Ríos y Juan M. Cogollo Flórez

Prefacio

El mundo globalizado en el que se desenvuelven actualmente las organizaciones empresariales exige de estas una búsqueda permanente de metodologías y herramientas que les permita mejorar su eficiencia, productividad y competitividad. La existencia de gran cantidad de este tipo de herramientas, las cuales abarcan un amplio abanico de posibilidades como la optimización, soporte a la toma de decisiones, métodos de control, diseño de procesos y productos, entre otros; permite a las organizaciones enfocar sus esfuerzos en diferentes aspectos, los cuales pueden ir dirigidos a procesos de innovación y creación de nuevos productos o materiales para el mejoramiento de los ya existentes; a procesos logísticos que favorezcan mejores desempeños y niveles de servicio superiores; a técnicas de mejoramiento de puestos de trabajo y de niveles de prestación de servicio y, por último, a métodos de control de calidad y de medición de variables suaves o difíciles de medir, entre otros.

En este contexto, valga destacar la importancia de generar una conexión entre las diferentes necesidades de las organizaciones públicas y privadas, para alcanzar procesos más eficientes, con iniciativas de investigación formativa donde se articulan la práctica y la academia.

Dicho lo anterior, este documento está dirigido a académicos y profesionales interesados en conocer enfoques teóricos y prácticos de algunas de las herramientas utilizadas por las organizaciones para mejorar su eficiencia. Está organizado por capítulos; en cada uno de ellos se muestra el desarrollo de una herramienta y su aplicación en las organizaciones, con el fin de lograr desempeños superiores y resolver problemas en situaciones específicas.

En el capítulo uno se aborda la disminución del desperdicio en el material de empaque de productos cárnicos y su respectivo ahorro en costos para la organización, basado en la caracterización del material por medio de espectrometría y la mejora de los protocolos de funcionamiento de las emparadoras.

En el capítulo dos se muestra la importancia del estudio de los mapas de corrosión atmosférica en los materiales metálicos y el desarrollo investigativo de este tema a nivel mundial, con el fin de identificar tendencias y líneas futuras de investigación que, a su vez, admitan evidenciar posibles soluciones al problema de corrosión por variables externas.

En el capítulo tres se presentan las ventajas del uso de la técnica de manufactura aditiva, mediante la utilización de una aleación de materiales con base en titanio. Su uso en la industria biomédica permite cumplir con los requerimientos mínimos para implantes quirúrgicos con mayor estabilidad en las prótesis óseas. Ya en el capítulo cuatro se presenta el desarrollo de una herramienta ofimática para el apoyo a la toma de decisiones de gestión de inventario bajo el enfoque Demand Driven Material Requirement Planning (DDMRP) y comparan las ventajas que tiene este enfoque respecto al enfoque tradicional de MRP. En el capítulo cinco, se muestran las ventajas en los procesos de distribución de productos de la metodología *cross-docking*. Con esta metodología es posible disminuir los tiempos y los costos de distribución para vehículos completamente cargados de producto a granel, utilizando tolvas como elementos de almacenamiento temporal del concepto de *cross-docking*, con lo cual facilita el cumplimiento de los niveles de servicio y la disminución de los riesgos y costos para la organización que lo implementó.

En el capítulo seis, se desarrolla una propuesta de un modelo matemático para la localización de centros de atención de emergencias en logística humanitaria, con el propósito de optimizar la cobertura de la población atendida y minimizar las distancias recorridas. El modelo es aplicado en la ciudad de Medellín y permite determinar la mejor ubicación de una instalación para atención a pacientes en el contexto de la pandemia de Covid-19.

En el capítulo siete se describe el plan de implementación de la metodología 5s en una empresa de materiales de fricción, con el fin de mejorar los indicadores de limpieza, la organización y la productividad. Se hace el diagnóstico de la situación inicial en cada uno de los puestos de trabajo y se evidencia una mejora significativa en los indicadores de rendimiento, luego de la implementación.

En el capítulo ocho se hace una revisión de las perspectivas de la manufactura inteligente, teniendo como referente las mediciones derivadas de la

soft metrología, cuyo rol se destaca en la Industria 4.0, para la medición de magnitudes no observables, complejas y subjetivas, en nuevos modelos de manufactura intensivos en analítica de datos y toma de decisiones multiobjetivo.

Finalmente, en el capítulo nueve se presentan los resultados obtenidos con la implementación del plan de monitoreo y control de la calidad de un proceso de termoformado de gabinetes para refrigeradores, usando cartas de control. La implementación de las cartas de control facilitó una mejora significativa en la estabilidad del proceso y en el indicador de rendimiento en calidad, disminuyendo, así, la variabilidad y aumentando el porcentaje de producto conforme.

Capítulo 1

Mejoramiento del proceso y disminución de la rotura del material de empaque de producto terminado en una empresa de productos cárnicos

Improvement of the process and reduction of breakage of finished goods packaging material in a meat cold cuts company

Daniel Duarte-Bedoya*

Yonatan González-Arango**

Yhonatan E. Córdoba-Gallego***

José A. Tamayo****

Resumen

La falta de estandarización en alguna de las etapas productivas de una compañía, como en el caso particular del proceso de empaque en una planta de derivados cárnicos, puede provocar una gran cantidad de desperdicio en la materia prima y en película de empaque. En este sentido, se pueden presentar falencias en los cambios de referencias en la línea de las diferencias en el tipo de material utilizado y baja sincronización de las máquinas empacadoras durante la jornada laboral. Por ello, se implementó una mejora en las condiciones del proceso de empaque y en el aprovechamiento de los residuos generados mediante la aplicación de metodologías de producción esbelta aplicada en una línea de empaque en una empresa productora de derivados

* Estudiante Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas, Instituto Tecnológico Metropolitano (ITM), Medellín – Colombia. Correo electrónico: danielduarte55902@correo.itm.edu.co

** Estudiante Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas, Instituto Tecnológico Metropolitano (ITM), Medellín – Colombia. Correo electrónico: yonatangonzalez181069@correo.itm.edu.co

*** Estudiante Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas, Instituto Tecnológico Metropolitano (ITM), Medellín – Colombia. Correo electrónico: yhonatancordoba191327@correo.itm.edu.co

**** Grupo de Calidad, Metrología y Producción, Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas, Instituto Tecnológico Metropolitano ITM. Medellín- Colombia. Correo electrónico: josetamayo@itm.edu.co

cárnicos. Para ello, se desarrolló una herramienta de medición de rotura del material de empaque, lo que permitió la obtención de resultados confiables en el control del proceso, la modificación de los equipos, la selección adecuada del material de empaque y la correcta programación. Mediante los resultados se logró una reducción promedio de desperdicio del material de empaque de 36.8% mensual, adicional a la estandarización del proceso.

Así mismo, se realizaron ensayos de caracterización de los residuos de rotura del material de empaque por Espectroscopia Raman, Espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR), calorimetría diferencial de barrido (DSC) y análisis termogravimétrico (TGA), logrando determinar que el material de partida está compuesto de un film multicapa de polímeros como poliamida, polietileno de alta y baja densidad (PA, PEHD y PELD). Estos son materiales poliméricos termoplásticos, lo cual permite ser reciclados, de manera que se pueda proponer un subproducto para su reutilización como madera plástica para fabricación de estibas y contenedores de almacenamiento, ampliando así su ciclo de vida.

Palabras claves: derivados cárnicos, material de empaque, rotura, subproducto.

1.1 Introducción

En Colombia, actualmente el número de empresas que producen derivados cárnicos rondan las seiscientas empresas. Ahora bien, para estos alimentos cárnicos se utilizan diferentes sistemas de empackado; dentro de ellos se pueden mencionar el sistema de atmósfera controlada (AC) o el sistema de atmósfera modificada —AM— (Pinto y otros, 2017). El método de empaque y conservación de alimentos de AM, consiste en empackar los productos frescos de forma individual (Heywood, 2004). En este sistema de empaque se deben tener en cuenta cuatro componentes básicos: el producto empleado, la mezcla de gases, los materiales y los equipos (Meneses y Valenzuela, 2008).

Los sistemas de empaques flexibles son cuerpos tridimensionales hechos de materiales poliméricos que se dejan enrollar, doblar, formar y fraccionar. Los empaques flexibles deben cumplir varias funciones —como contener, proteger, ser procesable, amigable con el medio ambiente, ofrecer una buena presentación al producto final. Dichas funciones pueden ser cumplidas gracias a las propiedades de polímeros utilizados en el diseño de los empaques (Borràs, Gimeno y Moñoz, 2016).

El componente principal del sistema de empaque es el tratamiento de la película flexible. La diferenciación y estructuración técnica de una película

flexible da la posibilidad de ser utilizado como material de empaque al vacío y empaque en sistemas de atmósfera de protección modificada (MAP), lo que trae como consecuencia aumentar los niveles productivos, incorporados a líneas de envasado automático para entregar productos con el mayor grado de frescura original (Esparza, 2004). La tendencia actual es el reemplazo de los envases rígidos a empaques flexibles, ya que son más económicos por la tendencia en la reducción de espesores, mantienen su funcionalidad, se adaptan para empaques de todo tipo de productos. Al respecto cabe mencionar la utilización de materiales como el etil vinil alcohol (EVOH), cloruro de polivinilideno (PVDC), polietileno (PE) y poliamida (PA), materiales que proporcionan barrera y conservan las características del producto empacado (Esparza, 2004).

1.2 Planteamiento del problema

En la planta de derivados cárnicos de la compañía de alimentos procesados donde se realizó este trabajo, se encuentra un proceso de empaque con alto desperdicio de materia prima; lo anterior, posiblemente debido a los diversos cambios en la línea de producto terminado o a diferencias no programadas en el tipo material a procesar. La línea de empaque cuenta con tres máquinas empacadoras, las cuales tienen un tiempo laborable de dieciséis horas diarias. Cada operario, por turno laboral, debe diligenciar un documento en el cual describe el número de productos empacados, el tipo de producto y la cantidad de rotura por presentación. Este documento se diligencia en la base de datos de la empresa y se hace un análisis respectivo en relación con el comportamiento del proceso, en cual se evidencia una oportunidad de mejora debido a la gran cantidad de residuo generado en el proceso.

Por todo lo anterior, con el desarrollo de este trabajo se busca establecer una mejora en las condiciones del proceso de empaque de producto terminado y aprovechamiento de los residuos generados mediante la aplicación de diferentes metodologías de administración de la producción, aplicadas en una etapa de empaque de derivados cárnicos de la compañía. Igualmente, se busca desarrollar una propuesta de mejoramiento del modelo de productividad laboral, mediante la implementación de una herramienta de medición que permita obtener resultados confiables de acuerdo con el sector específico de la

organización en el que se aplique, y definir un plan de mejoramiento soportado en la disminución de residuos, por la estandarización del proceso de empaque.

1.3 Objetivos

1.3.1 General

Establecer una mejora en el proceso de empaque de producto terminado en una empresa de productos cárnicos, con lo cual se busca una disminución de residuos de material de empaque por rotura y alternativas de aprovechamiento del residuo generado en el proceso.

1.3.2 Específicos

- Proponer una metodología de mejora aplicable al proceso de empaque de derivados cárnicos que disminuya la rotura de material de empaque en el área producto terminado.
- Caracterizar los residuos generados en el proceso de empaque mediante ensayos de laboratorios, identificando la familia de polímeros componentes de los empaques flexibles.
- Evaluar una alternativa de recuperación del material de empaque como subproducto, aplicando una propuesta de ciclo de vida del producto.

1.4 Métodos

- a. *Intervención del proceso de empaque:* se realizó seguimiento en el proceso de empaque para determinar el histórico de rotura de material y realizar una intervención de mejora en la metodología de proceso a través de análisis de reducción de la rotura y análisis económico por buenas prácticas.
- b. *Material de empaque de productos cárnicos:* se tomaron muestras de residuos del material de rotura de la línea de empaque de producto terminado de embutidos, los cuales se dividieron en trozos pequeños, se limpiaron y se tomaron las muestras para realizar la caracterización química y composicional de acuerdo con las siguientes técnicas:

- RAMAN: los análisis se realizaron en un Espectrómetro Raman confocal marca Horiba Jobin Yvon, Modelo Labram HR de alta resolución.
- FTIR: los análisis se realizaron en un espectrofotómetro infrarrojo marca SHIMADZU modelo IRTracer-100, para observar las características estructurales y los grupos funcionales.
- DSC: las medidas se realizaron en un equipo modelo SDT-Q600. Todas las medidas fueron llevadas a cabo en atmósfera de Nitrógeno.
- TGA: las medidas se realizaron en un Analizador Termogravimétrico TGA: equipo Discovery 550, marca TA Instruments.

1.5 Resultados y discusión

Para el seguimiento y análisis de rotura del material de empaque, primero se reunió el histórico desde la semana 1 del año 2020, hasta la semana treinta y siete, encontrando un total de 102.282 kg de desperdicio (figura 1a)¹, y presentando una mayor rotura en la empacadora 2 (figura 1a). De acuerdo con estos resultados, se realizó una capacitación, reinducción y divulgación del protocolo, mediante secuencias coordinadas para la planeación del proceso y se realizó acompañamiento a partir de la semana treinta y ocho, en cada puesta a punto, para garantizar que todos los pasos fueron asimilados. Con esta propuesta de mejoramiento y seguimiento, se calculó de nuevo la cantidad de roturas después de la intervención al proceso, obteniendo un desperdicio menor del material promedio al mes de 362 kg (figura 1b); este valor es inferior al valor encontrado antes de la intervención: 362 kg/mes < 573 kg/mes (figura 1b), lo que significa una reducción del 36.8% de rotura (211 kg).

1 Cabe advertir que la figura 1, *Seguimiento rotura de material en proceso de empaque de productos cárnicos*, está conformada por: figura 1a) *rotura histórica de empaque*; figura 1b) *promedio de rotura antes y después de intervención de mejora*.

Figura 1 Seguimiento rotura de material en proceso de empaque de productos cárnicos

Figura 1a) rotura histórica de empaque

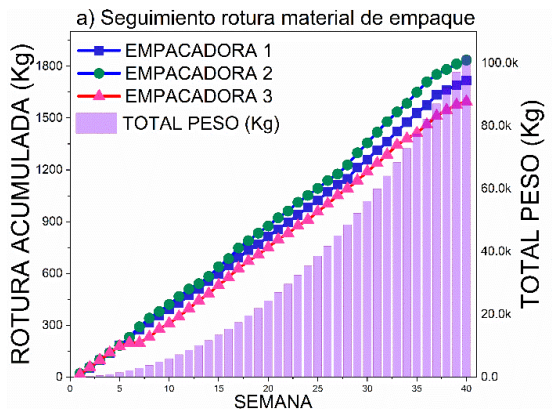
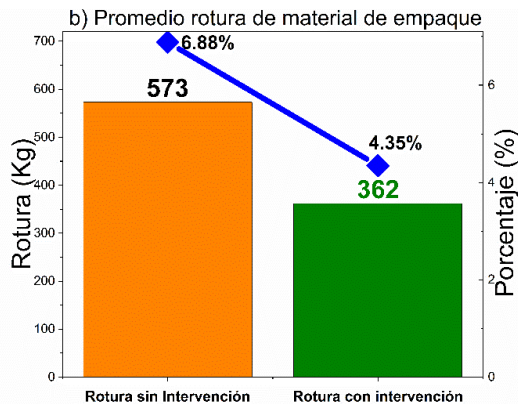


Figura 1b) promedio de rotura antes y después de intervención de mejora.



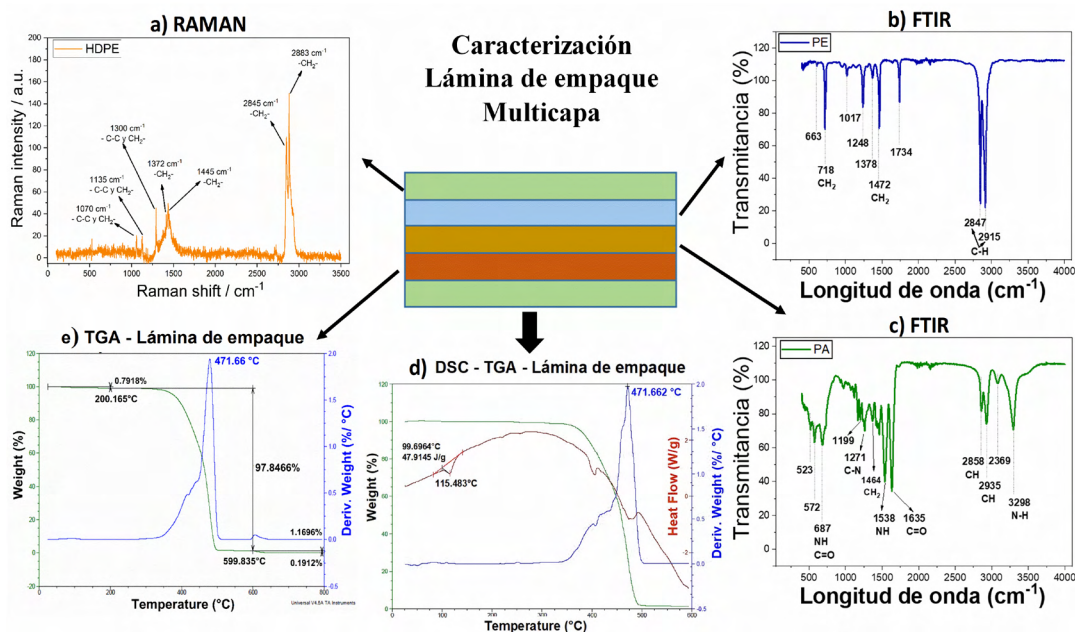
Fuente: Elaboración propia

Este resultado corresponde un ahorro tanto de la cantidad de material de empaque desperdiciado, el cual pasó de un desperdicio promedio al año de 6.88% a 4.35% (figura 1b); como en los costos asociados a la compra de materia prima establecidos en un valor mensual medio de \$5.200.000.

En la figura 2² se resumen los resultados de las diferentes técnicas de caracterización realizada a muestras de residuo del material de empaque:

2 Cabe advertir que la figura 2, Caracterización residuos de laminadas de empaque, está conformada por: Figura 2a) Espectroscopia Raman; figura 2b) Espectroscopia FTIR; figura 2c) Espectroscopia FTIR; figuras 2d y 2e) DSC y TGA

Figura 2 Caracterización residuos de laminadas de empaque *Figura 2a) Espectroscopia Raman; figura 2b) Espectroscopia FTIR; figura 2c) Espectroscopia FTIR, figura 2d y 2e) DSC y TGA*



Fuente: Elaboración propia

En el espectro Raman (figura 2a), se encuentran los desplazamientos característicos para el PEHD; con vibraciones principales de estiramiento asimétrica, ondulante y de torsión para los enlaces -C-C, CH₂- a 1070, 1135, 1300, 1175, 1372, 1445, 2845 y 2883 cm⁻¹ que han sido reportados en la literatura (Silva & Wiebeck, 2019).

En las figuras 2b y 2c se muestran los espectros infrarrojos, a su vez, de dos muestras de los films de empaque. En el espectro de la figura 2b se definen claramente tres grupos de bandas correspondientes a movimientos de tensión de los enlaces C-H a 2847 y 2915 cm⁻¹ y bandas de flexión del CH₂ a 1472 y 718 cm⁻¹. Estas bandas son asociadas a la caracterización del polietileno (PE) realizado por Cabra (2017). Así mismo, en el espectro de la figura 2c se observan las bandas características de la poliamida (PA) para los grupos N-H (3238, 1538

y 687 cm^{-1}), CH ($2935, 2858\text{ cm}^{-1}$), C-O (1635 y 687 cm^{-1}) y C-N (1271 cm^{-1}), que han sido reportados en estudios de Jung *et al.* (2018).

En el termograma DSC de la muestra (figura 2d) se observa la caracterización de una muestra de empaque donde se presentan dos picos: un pico endotérmico (temperatura de fusión) alrededor de $115.4\text{ }^{\circ}\text{C}$; y un pico exotérmico (temperatura de cristalización) alrededor de $99.7\text{ }^{\circ}\text{C}$; adicionalmente, se presenta la entalpía de cristalización de 47.95 J/g . De acuerdo con el estudio de Guzmán y Murillo (2014), los datos corresponden al polietileno (PE), que presenta una temperatura de fusión alrededor de los $114\text{ }^{\circ}\text{C}$ y una temperatura de cristalización de $93.2\text{ }^{\circ}\text{C}$. En el análisis termogravimétrico-TGA (fig. 2d), se encuentra una pérdida de peso de 0.7918% alrededor de los $200\text{ }^{\circ}\text{C}$, y una temperatura de degradación térmica a $471.66\text{ }^{\circ}\text{C}$; la cual corresponde con lo reportado por Guzmán y Murillo (2014) para una muestra de PEBD (Guzmán & A Murillo, 2014).

1.6 Conclusiones

Los resultados obtenidos en la propuesta de mejoramiento del proceso de empaque mostraron una reducción del material de desperdicio alrededor de 36.8% , lo cual supone un ahorro importante en material y costos para la compañía ($\$5\,200\,000/\text{mes}$). Adicional al ahorro de material, se cuenta con personal capacitado y concientizado en mantener una metodología estándar en el proceso.

Con las diferentes técnicas de caracterización de RAMAN, FTIR DSC y TGA realizadas a las muestras del material de rotura, se logró identificar el material de empaque las películas, compuesto por un film flexible multicapa de polímeros como PE y PA. Estos son poliméricos termoplásticos reciclables, con buenas propiedades térmicas, reológicas y mecánicas, propiedades que consienten su posterior uso en aplicaciones como madera plástica para fabricación de estibas y cajas de almacenamiento al interior de la compañía, lo que posibilita ampliar su ciclo de vida.

Referencias bibliográficas

- Borràs, V. F., Gimeno, O. Á. F. y Moñoz, N. M. (2016). *Caracterización de materiales poliméricos*. Editorial Universitat Politècnica de València. Valencia-España.
- Cabra, J. R. V. (2017). Identificación de polímeros por espectroscopía infrarroja. *Revista Ontare*, 5, pp. 115-140.
- Esparza, J. F. I. (2004). *Envases flexibles plásticos: Uso y aplicación en la industria alimentaria* (Doctoral dissertation, Universidad Austral de Chile). no mezclar idiomas. Es preferible traducir al español.
- Guzmán, M. y Murillo, E. (2014). Funcionalización de polietileno de baja densidad con anhídrido maleico en estado fundido. *Polímeros*, 24(2), 162–169.
- Heywood, M. J. (2004). Atmósferas protectoras para alimentos. *Frío-Calor y Aire Acondicionado*, (358), 15–24.
- Jung, M. R., Horgen, F. D., *et al.* (2018). Validation of ATR FT-IR to identify polymers of plastic marine debris, including those ingested by marine organisms. *Marine Pollution Bulletin*, 127, 704–716.
- Meneses, S. M. O. y Valenzuela, J. R. C. (2008). La atmósfera modificada: una alternativa para la conservación de los alimentos. *Revista Lasallista de Investigación*, 5(2), 112–123.
- Pinto, N., de la Vega, J. y Cañarejo, M. (2017). Utilización del método de conservación bajo atmósferas controladas en frutas y hortalizas. *Agroindustrial Science*, 6(2), 231–238.
- Silva, D. J. D. & Wiebeck, H. (2019). Predicting LDPE/HDPE blend composition by CARS-PLS regression and confocal Raman spectroscopy. *Polímeros*, 29(1). <https://doi.org/10.1590/0104-1428.00218>

Capítulo 2

Vigilancia tecnológica de mapas de corrosión atmosférica de materiales metálicos para la industria de la construcción

Technological survival atmospheric corrosion of metallic materials for the construction industry

Ana C. Santa^{*}

José A. Tamayo^{**}

Maryory A. Gómez^{***}

Juan G. Castaño^{****}

Libia M. Baena^{*****}

Resumen

Los parámetros climáticos y la contaminación ambiental son elementos relevantes cuando de degradación de materiales se trata. Actualmente, el costo por reparación, mantenimiento y sustitución de metales en la industria de la construcción, debido a daños por corrosión atmosférica es igualmente importante y por ello se han empezado a construir mapas de corrosión atmosférica y estudios con este enfoque. En este trabajo se realiza un análisis bibliométrico sobre los fundamentos de mapas de corrosión atmosférica de metales, con el objetivo de identificar las

^{*} Estudiante Doctorado Facultad de Ingenierías, Instituto Tecnológico Metropolitano (ITM), Medellín-Colombia. Correo electrónico: anasanta304720@correo.itm.edu.co

^{**} Grupo de Calidad, Metrología y Producción, Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas, Instituto Tecnológico Metropolitano ITM. Medellín- Colombia. Correo electrónico: josetamayo@itm.edu.co

^{***} Centro de Investigación, Innovación y Desarrollo de Materiales-CIDEMAT, Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia

^{****} Centro de Investigación, Innovación y Desarrollo de Materiales-CIDEMAT, Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia

^{*****} Grupo de Calidad, Metrología y Producción, Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas, Instituto Tecnológico Metropolitano ITM. Medellín- Colombia. Correo electrónico: libiabaena@itm.edu.co

palabras claves mencionadas por los diferentes autores, los principales países con publicaciones en el tema y las redes de coautoría y, de esta manera, poder conocer acerca de los principales contaminantes atmosféricos, técnicas y ensayos de laboratorio y en campo, que sirviesen como estado del arte para posibles futuras investigaciones en el tema.

Palabras claves: vigilancia tecnológica, corrosión atmosférica, mapas de corrosión, contaminantes atmosféricos.

2.1 Introducción

El deterioro de los materiales metálicos dentro de la industria de la construcción es una problemática que cada vez se torna más preocupante, debido a los problemas que causa en la infraestructura, ateniéndose a reformas y daños estructurales que finalmente se vuelven significativos en materia económica (Ivaskova *et al.*, 2015). La preocupación por la degradación de los materiales expuestos a la contaminación atmosférica se ha hecho realidad.

Los dos últimos siglos han sido testigos de la degradación de los diferentes materiales, no solo como consecuencia de la meteorización natural y el envejecimiento, sino también como resultado de una industria en constante crecimiento y la evolución de la vida social y económica que compromete la calidad del aire y las condiciones ambientales, encontrando ambientes con altos niveles de dióxido de carbono, dióxido de azufre y dióxido de nitrógeno, donde este último sigue una tendencia de aumento en los últimos años (Dan *et al.*, 2012).

Actualmente, dichas industrias buscan entender y comprender el efecto, tanto técnico como económico, del deterioro atmosférico de los diversos materiales de ingeniería, como el acero al carbono, el acero galvanizado y el aluminio.

En este contexto se propone realizar una revisión bibliográfica con el fin de entender, conocer y establecer formas de exposición y ensayos de laboratorio para diferentes materiales metálicos frente a la corrosión atmosférica, que sirvan como base futura para la construcción de mapas de deterioro para la ciudad de Medellín, ya que dichos mapas son el instrumento principal para evaluaciones de programas de mantenimiento y vida útil de la infraestructura

en la industria de la construcción. Para ello también se revisa cómo los autores recolectan información meteorológica y de contaminación en diferentes lugares; esto, con el propósito de evaluar diferentes materiales en ambientes de diferente agresividad. Conociendo los altos costos en que incurren las empresas de diferentes sectores, en la solución y prevención de problemas relacionados con el efecto de la atmósfera y el cambio climático sobre la infraestructura, consideramos que un estudio como el que se plantea redundará en un mejor planteamiento de propuestas para ensayos de corrosión y elaboración de mapas de corrosión.

2.2 Planteamiento del problema

El conocimiento de los avances de la investigación en el tema de interés de todo investigador es la base o pilar fundamental para el desarrollo de su estudio. Se hace necesario conocer los principales autores, centros de investigación y países que investigan en el tema de interés, esto es un insumo importante a la hora de encontrar información. En este tema en particular se hace necesario conocer qué han encontrado los diferentes autores debido a que se estudian los parámetros ambientales, cambiantes con el tiempo; así que una mayor variación en la agresividad implica un aumento en los costos relacionados con la solución de los problemas de deterioro generados (Dan *et al.* 2012; Grøntoft, 2018).

La determinación del efecto de la atmósfera, en la estabilidad de un material dado, depende de varios factores entre los cuales podemos mencionar algunos inherentes al medio ambiente y otros al material. Respecto al medio ambiente, por ejemplo, es importante conocer los diferentes factores que determinan la climatología del lugar, así como la composición de la atmósfera, en cuanto a presencia de especies agresivas contaminantes que promuevan o aceleren la corrosión de los materiales expuestos. De otro lado, la naturaleza del material expuesto determinará las características cinéticas y morfológicas del ataque. El comportamiento y vida útil de los materiales, por supuesto, depende de la atmósfera en la que se encuentra expuesto. Información preliminar de todo ello contribuirá de manera significativa a la adopción de las medidas más adecuadas desde el punto de vista técnico-económico con relación al montaje de ensayos de corrosión, para posteriores trabajos.

2.3 Objetivo

Realizar una revisión bibliográfica de mapas de corrosión de materiales metálicos, para la fundamentación de la construcción de mapas y ensayos de corrosión en futuros trabajos de investigación.

2.4 Métodos

En este trabajo se utilizó Scopus®, bien reconocida como base de datos referencial en la que se encuentran los resúmenes completos y las citaciones de literatura revisada por pares que cubre una amplia gama de temas y fuentes.

Se realizó una búsqueda enfocada en la revisión de las principales áreas que estudian el tema de interés, así como la afiliación de los investigadores en términos de países donde se realiza el estudio, para tratar de entender las tendencias globales en materia de construcción de mapas de corrosión atmosférica de materiales metálicos, con la intención de conocer también los principales agentes atmosféricos, categorización de las atmósferas y modelos de corrosión atmosférica.

Esta investigación se realizó con la información adquirida el 31 de octubre de 2020 en la base de datos Scopus®. La información fue recopilada y se filtró por los últimos 25 años (1995-2020). La búsqueda avanzada fue limitada a corrosión atmosférica/mapas /materiales metálicos. La ecuación de búsqueda utilizada fue: (Q): TITLE-ABS-KEY (“atmospheric corrosion”AND “map*”AND “metals”). Esta búsqueda arrojó un total de cincuenta y dos documentos.

2.5 Resultados y discusión

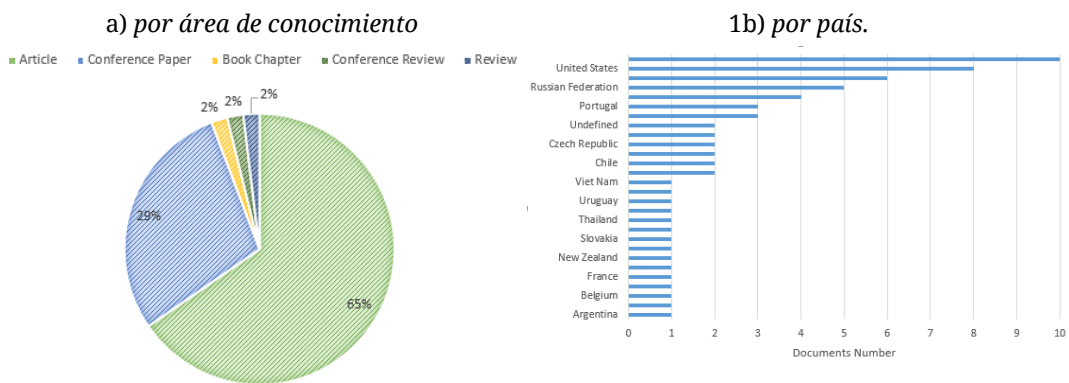
Los materiales de construcción son las materias primas o productos manufacturados utilizados para tal fin. Se encuentran en edificaciones, puentes, carreteras y cobran importancia, ya que generalmente hacen parte de la infraestructura de cualquier nación. La mayoría de los materiales experimentan algún tipo de interacción con los diversos ambientes. A menudo, estas interacciones modifican las características del material provocando el deterioro de sus propiedades, de su apariencia o de ambas. Frecuentemente, la degradación

de los materiales en algunas aplicaciones es ignorada y las consecuencias son adversas (Callister, 2020).

La corrosión atmosférica es un proceso muy importante que causa deterioro de las estructuras, máquinas y materiales puestos en ambientes externos. Constituye un proceso electroquímico que requiere del metal, sus productos de corrosión, un electrolito (una fina película húmeda en la superficie) y la atmósfera. La composición de los electrolitos depende de la tasa de deposición de los contaminantes del aire y cambia con las condiciones de humedad de la atmósfera (Han *et al.*, 2007; Morales *et al.*, 2005).

Un resumen de los tipos de documentos encontrados en esta vigilancia tecnológica y la afiliación de los autores se pueden ver en la figura 1¹.

Figura 1. Análisis de documentos



Fuente: Elaboración propia

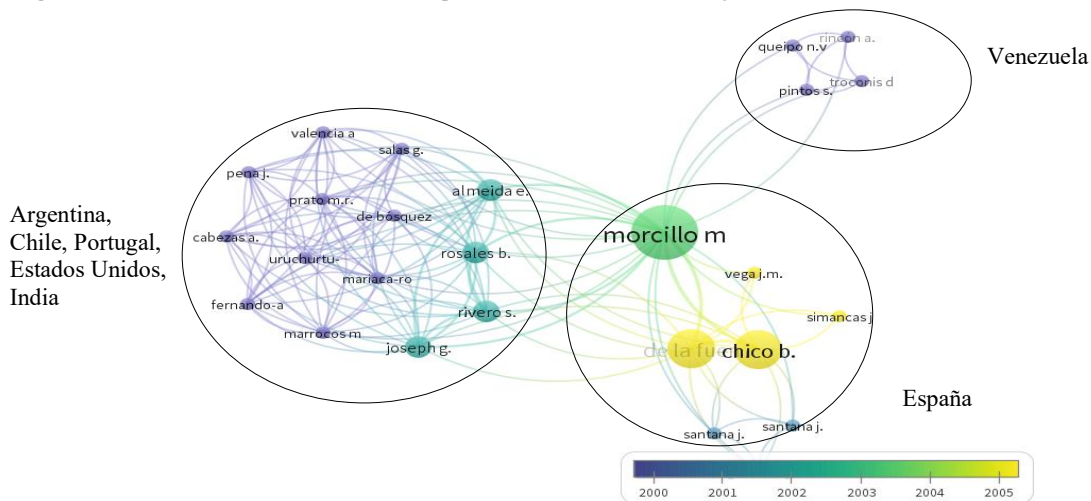
En la figura 1a se puede observar que las principales fuentes de publicación son artículos que representan el 29% de un total de cincuenta y dos encontrados con la ecuación de búsqueda mencionada. En la figura 1b se observan los principales países que publican acerca del tema de interés. Valga advertir que varios países aparecen con una sola publicación, debido a que en la mayoría de estos países se ha desarrollado un mapa de corrosión

¹ Cabe advertir que la figura 1, Análisis de documentos, está conformada por: Figura 1a) análisis de documentos por área de conocimiento; figura 1b) análisis de documentos por país.

atmosférica en sus ciudades principales, o para todo el país. Colombia no aparece con publicaciones; significa, entonces, que desarrollar este mapa en la ciudad de Medellín será algo innovador.

Para realizar un análisis bibliométrico adicional se hizo uso del software VOSviewer 1.6.13 con el cual se pudieron analizar las redes de coautoría y fue relacionado con el momento en el tiempo en el que se publicó en los temas de interés. Dicho análisis se realizó mediante recuento fraccionado como se muestra en la figura 2:

Figura 2. Redes de coautoría en mapas de corrosión atmosférica.



Fuente: Elaboración propia

En la figura 2 se puede observar que los principales autores se encuentran en España. las líneas de conexión de las redes de coautoría permiten conocer la relación entre los trabajos y citas de los diferentes autores.

Finalmente, en la figura 3 se muestra el mapa de palabras claves:

Referencias bibliográficas

- Dan *et al.* (2012). Effects of Environmental Factors on Atmospheric Corrosion of Aluminium and Its Alloys under Constant Dew Point Conditions. *Corrosion Science*, 57, 22–29.
- Grøntoft, T. . (2018). Maintenance Costs for European Zinc and Portland Limestone Surfaces Due to Air Pollution since the 1980s. *Sustainable Cities and Society*, 39,1-15.
- Han, W., Guocai, Y, Zhenyao, W., and Jun W. (2007). Characterisation of Initial Atmospheric Corrosion Carbon Steels by Field Exposure and Laboratory Simulation. *Corrosion Science*, 49(7), 2920–2935.
- Ivaskova, M. *et al.* (2015). Air pollution as an important factor in construction materials deterioration in Slovak Republic. *Procedia Engineering*, 108, 131-138.
- Morales, J. *et al.* (2005). Atmospheric Corrosion in Subtropical Areas: Influences of Time of Wetness and Deficiency of the ISO 9223 Norm. *Corrosion Science*, 47(8), 2005–2019.
- Callister, W. D. (2020). *Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales*. Reverté.

Capítulo 3

Estado del arte de la técnica de manufactura aditiva fusión por haz de electrones EBM, en el desarrollo de prototipos de prótesis para la industria biomédica en la aleación Ti6Al4V

State-of-the-art “EBM electron beam fusion” additive manufacturing technique in the development of prototype prostheses for the biomedical industry in the Ti6Al4V alloy

Mateo Riascos*

José A. Tamayo**

Libia M. Baena***

Resumen

La manufactura aditiva conduce una amplia variedad de procesos nuevos para las industrias del siglo XXI. Esta variedad obliga a las industrias a adaptarse a las nuevas exigencias del mercado y utilizar las mejores opciones que ofrezca el panorama actual, lo que puede evidenciarse en el sector biomédico y sus prototipos de prótesis en aleación Ti6Al4V, una aleación de Titanio Aluminio Vanadio (TiAlV), los cuales hoy están siendo procesados, principalmente, mediante dos técnicas de manufactura aditiva: electron beam melting y selective laser melting. Se ha reportado que el proceso de manufactura aditiva EBM ha despertado un gran interés en la creación de prototipos de prótesis biomédicas hechas en Ti6Al4V, utilizando diversas bases de datos, tanto digitales como físicas, obteniendo resultados que permiten verificar sus propiedades biomecánicas, así como las capacidades y restricciones de la técnica. Adicionalmente, los

* Estudiante Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas, Instituto Tecnológico Metropolitano (ITM), Medellín – Colombia. Correo electrónico: mateoriascos263877@correo.itm.edu.co

** Grupo de Calidad, Metrología y Producción, Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas, Instituto Tecnológico Metropolitano ITM. Medellín- Colombia. Correo electrónico: josetamayo@itm.edu.co

*** Grupo de Calidad, Metrología y Producción, Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas, Instituto Tecnológico Metropolitano ITM. Medellín- Colombia. Correo electrónico: libiabaena@itm.edu.co

casos de aplicación de la técnica en prótesis reales también evidencian su viabilidad para la realización de prototipos óseos funcionales y de buena durabilidad.

Palabras claves: Manufactura aditiva (Additive Manufacturing), Fusión por haz de electrones (Electron Beam Melting), Impresión 3D (3D Printing), Aleación de titanio (Titanium alloy), Fusión de láser selectiva (Selective Laser Melting).

3.1 Introducción

La manufactura ha acompañado a la humanidad desde sus inicios, por cuanto responde a la necesidad de adaptar los diversos elementos del mundo a sus necesidades; por tanto, puede definirse como el proceso de transformar la materia prima en un producto. La manufactura involucra las actividades, cuando el propio producto fabricado es utilizado para elaborar otros productos (Kalpakjian *et al.*, 2014). Siendo esta una herramienta directamente ligada a la humanidad se ve obligada a evolucionar en igual medida que ella, lo que significa que a medida que avanza, surgen nuevas necesidades y nuevos procesos de manufactura. Dentro de los tipos de manufactura actuales se encuentra la manufactura aditiva, la cual permite materializar objetos diseñados por medio de un software CAD (Computer Aided Design) o escaneados de un objeto ya existente (Gómez y de la Peña, 2017).

A diferencia de la manufactura tradicional o sustractiva, cuyos procesos se basan en la extracción de material hasta lograr la forma (ejemplo de esto es el corte láser), la manufactura aditiva, como su nombre lo indica, basa sus procesos en la adición de materia por diversos métodos, por lo general, en capas, hasta obtener la geometría deseada.

La técnica de manufactura aditiva denominada fusión por haz de electrones (Electron Beam Melting [EBM], por sus siglas en inglés) es un método que se basa en la fusión por lecho de polvo, el cual ha tenido cada vez más acogida en el sector manufacturero por su gran versatilidad y por el control de geometría que ofrece. EBM suele ser utilizada en la creación de partes metálicas para diversos campos, siendo el campo médico uno de los que más se ha visto beneficiado, siendo utilizado para la creación tanto de prótesis como de herramientas complejas (Sing *et al.*, 2016). En este trabajo se documenta la revisión bibliográfica de la producción de prototipos de prótesis obtenidas en

la aleación Ti6Al4V por el proceso de fabricación de manufactura aditiva (AM) de fusión por haz de electrones como aporte significativo para la industria biomédica. Se realizó un estado del arte extendido con el fin de exponer las aplicaciones de la EBM y dar a conocer a la comunidad académica las ventajas que ofrece este método, que destaca en la creación de piezas con geometrías complejas, ya sea por su estructura en sí o por la especificidad que se requiere en la pieza. Un ejemplo puede ser una prótesis quirúrgica, que requiere tener las medidas específicas del paciente y mantener propiedades similares a las del hueso que debe reemplazar; lo anterior, con el propósito de no generar incompatibilidades o rechazos a la prótesis.

3.2 Planteamiento del problema

La manufactura aditiva está ocupando cada vez más espacios en las industrias modernas, y no es de extrañar, pues ofrece opciones que parecían impensables. Unas de las principales ventajas de este tipo de manufactura, en comparación con la sustractiva, es la mínima cantidad de residuos que genera por pieza, lo que la hace amigable con el medio ambiente y la notoria disminución en los tiempos de fabricación, además de su facilidad para elaborar geometrías complejas, como ya se indicó.

Al realizar una búsqueda bibliográfica sobre la manufactura aditiva, se pueden encontrar numerosos artículos de diversos autores, cada uno de los cuales se enfoca en un área específica; sin embargo, son pocos los que abordan un panorama amplio sobre la aplicación de la EBM en la producción de prótesis en la aleación TiAlV. Por tanto, esta revisión pretende recopilar información valiosa sobre el tema mencionado en diferentes bases de datos para facilitar así su divulgación en la comunidad científica.

3.3 Objetivos

3.3.1 General

Documentar el proceso de manufactura aditiva de EBM en el desarrollo de prototipos de prótesis para la industria biomédica en la aleación Ti6Al4V.

3.3.2 Específicos

- Identificar las necesidades biomecánicas de un prototipo quirúrgico metálico.
- Documentar las capacidades, ventajas y aplicaciones del proceso EBM en la conformación de prótesis en la aleación Ti6Al4V.
- Analizar casos de prótesis obtenidas en la aleación Ti6Al4V mediante la técnica de manufactura aditiva EBM desde el punto de vista de propiedades y biocompatibilidad.

3.4 Métodos

La metodología que se implementó en este trabajo fue de tipo exploratorio; dicho en otras palabras, se hizo tipo documental, a modo de estado del arte, lo planteado por diversos autores en sus publicaciones científicas.

3.4.1 Identificación de variables

Se describió el EBM en el desarrollo de prótesis biomédicas en Ti6Al4V, a la vez que las propiedades resultantes de las mismas, con el propósito de verificar su biocompatibilidad.

3.4.2 Fuentes

Se emplearon bases de datos científicas como Science direct, Scopus, Springer link y Scielo así como libros y revistas indexadas que provean información pertinente al tema.

3.5 Resultados y discusión

3.5.1 Manufactura aditiva

Las técnicas de manufactura aditiva consisten en generar una pieza totalmente desde 0, por medio de un modelo previamente diseñado en un programa CAD, ejemplos de este tipo de software son 3D Slash, 3DPrinterOS, 3D-Tool Free Viewer, Blender, Cura, Figuro, FreeCAD, Fusion 360, MakePrintable, MatterControl 2.0, Slic3r, entre otros (Costa 2019) generalmente por capas. El funcionamiento de este método consta de siete variantes:

- *Inyección de aglutinante*: método utilizado generalmente en la creación de piezas cerámicas. El cabezal de la máquina va depositando un agente polimérico en el material pulverizado que va definiendo la forma de la pieza por capas horizontales.
- *Fusión de lecho de polvo*: este método se utiliza, principalmente, en metales. Consiste en un lecho de material pulverizado que va siendo fusionado de forma selectiva por capas. En este estado del arte se tratará el método de fusión utilizando un haz de electrones como fuente de energía.
- *Batea de fotopolimerización*: este método utiliza una resina polimérica fotosensible que se va solidificando, debido a una luz ultravioleta (UV) que se apunta de forma selectiva (Mohammed *et al.*, 2020).
- *Deposición directa de energía*: este método utiliza una fuente directa de energía (láser, electrones o arco de plasma) para derretir el material, que a su vez va siendo depositado en la bandeja de construcción (Zhang *et al.*, 2018).
- *Extrusión de material*: es tal vez el método más conocido. Consiste en un extrusor que va distribuyendo el material capa por capa sobre una bandeja, generalmente a altas temperaturas, para asegurar la sujeción de la pieza. Se utiliza, principalmente, con materiales poliméricos (Mohammed *et al.*, 2020).
- *Laminación de hojas*: en este proceso se recortan láminas con la forma de cada capa del material que, posteriormente, se unen entre sí con un agente adherente. El corte es hecho con un láser de CO2 (Zhang *et al.*, 2018).
- *Inyección de material*: este método, al igual que la extrusión de material, se utiliza con materiales poliméricos. Consiste en un cabezal que va goteando el material (un fotopolímero de consistencia similar a la cera) en un patrón determinado, de modo que forma cada capa (Mohammed *et al.*, 2020).

3.5.2 Fusión por haz de electrones (EBM)

La fusión por haz de electrones es un método de manufactura aditiva que se basa en el principio de fusión de lecho de polvo (Power Bed Fusion, en inglés). Su funcionamiento se da de forma cíclica y rota entre los siguientes cuatro pasos:

- *Aplicación del material granulado*: Se crea un lecho de polvo en el área de trabajo esparciendo el material granulado en el área de trabajo (Frazier, 2014). Esta superficie deberá estar precalentada para garantizar la estabilidad de la pieza.

- *Calentamiento del polvo:* Una vez que se tenga la capa ya distribuida en la placa de construcción, se empieza a calentar esta con dos propósitos, el primero es el de mantener constante la temperatura en el volumen de construcción y el segundo es el de sinterizar ligeramente la capa, este último siendo muy importante para aumentar la conductividad eléctrica del polvo para evitar que se generen inestabilidades, o lugares en los que la fusión no se concrete.
- *Fundido/fusión del polvo:* El haz de electrones escanea la capa de polvo a una velocidad baja (generalmente de 4 mm/s) y funde las partículas de polvo en las zonas donde deber permanecer sólido (Körner, 2016).
- *Renovación de la capa:* Después de que la capa es fundida, la placa reinicia su posición, pero ubicando la capa recién creada al nivel de los alimentadores de material granulado, después de esto, se regresa al paso 1.

3.5.3 Propiedades biomédicas de una prótesis quirúrgica

Uno de los factores principales a considerar, previa realización de prótesis quirúrgicas es tener clara la composición química específica que deberá tener la aleación; esto, para garantizar que haya la correcta recepción por parte del cuerpo, ya que un rechazo biológico podría desencadenar un efecto contrario al que se busca con una prótesis. En el caso de la aleación Ti6Al4V, es la norma ASTM en su formato F1108-04 (ASTM International, 2010) la que nos dicta la composición adecuada, siendo esta la siguiente:

Tabla 1. ASTM para prótesis T16AL4V

Elemento	Porcentaje %
Nitrógeno, max	0.05
Carbono, max	0.10
Hidrógeno, max	0.015
Hierro, max	0.30
Oxígeno, max	0.20
Aluminio	5.5-6.75
Vanadio	3.5-4.5
Titanio	Balance

Fuente: ASTM International. (2010). Standard Specification for Titanium-6Aluminum-4Vanadium Alloy Castings for Surgical Implants (UNS R56406). In Astm F1108-04 (Vol. 04, Issue Reapproved 2009). www.astm.org

Adicionalmente, es importante garantizar que se complete la oseeintegración, ya que esta es la que garantiza la unión total e inquebrantable, sin generar fracturas. Esta se obtiene una vez que la capa de óxido es tratada por las proteínas corporales, creando una capa de óxido/proteínas.

3.5.4 Aplicaciones de la técnica EBM

Debido a su libertad en la generación de formas, la técnica EBM posee muchas aplicaciones en el medio industrial. Ejemplo de ello son los rodetes industriales que se hacen mediante este método (Kok *et al.*, 2015). En el campo de la medicina se puede aprovechar mucho, ya que el titanio (material utilizado en implantes e implementos quirúrgicos) se oxida durante la fabricación si tiene contacto con el aire y, como se mencionó anteriormente, la pieza fabricada mediante EBM se trabaja en un entorno sellado al vacío; a estas piezas, incluso, se les puede dar un recubrimiento polimérico, con el fin de facilitar la adaptabilidad de la pieza al cuerpo (Koptioug *et al.*, 2014).

A menudo, la industria automotriz hace uso de este método. Juechter *et al.* (2018) realizaron una caracterización de la aleación Ti-45Al-4Nb-C utilizada en una rueda de turbo y logró resultados positivos. La industria aeroespacial implementa de forma constante esta técnica en sus piezas, pudiendo ser utilizado, por ejemplo, para fabricar y reparar hojas de turbinas. Esta técnica ha ido reemplazando a las tradicionales e, incluso, a técnicas como el SLM (Joshi y Sheikh, 2015).

3.5.5 Prótesis biomédicas en la aleación Ti6Al4V mediante EBM

En un estudio reciente, Yan *et al.* (2018) describieron el proceso de fabricación de una prótesis de mandíbula, hasta el seguimiento posoperación. Inicia con el modelo 3D el cual fue realizado en conjunto, gracias a la tecnología TC que permitió escanear el cráneo de un voluntario; seguidamente, fue procesado con el software MIMICS, el cual generó un archivo 3D STL apto para ser pulido en un software CAD. El software utilizado fue un GeMagic Studio v12.0; se retocó el modelo obtenido por la tomografía del voluntario y se retiraron los dientes del modelo, ya que no hacían diferencia con la mandíbula.

Dentro del diseño del modelo hubo datos importantes que debieron ser considerados en la geometría, como la porosidad y el tamaño de los poros. Posteriormente, se obtuvo una malla de elementos finitos (FEM, por sus siglas en inglés) y, mediante su análisis, se obtuvo la geometría óptima. Más adelante, para dejar el modelo listo para imprimir, se emplearon tres softwares: Magics, Arcam Build Assembler y Ebm Control Simulator (Yan *et al.*, 2018). En los meses 1,3, 6 y 12, posteriores a la cirugía, se realizó seguimiento en el que se pudo observar un correcto desarrollo de los injertos. En otro estudio reciente, se describió el procedimiento de implantación de una prótesis maxilofacial en la zona izquierda de la mandíbula de una mujer de ochenta y cuatro años, quien, debido a un carcinoma había sufrido daños en la zona (Suska *et al.*, 2016).

3.6 Conclusiones

Los prototipos de prótesis biomédicas realizadas por medio de la técnica de manufactura aditiva EBM muestran propiedades que no solo cumplen los requisitos mínimos de una prótesis, sino que los exceden, revelando así el motivo de su auge en el sector quirúrgico y en el mundo de las prótesis. Aquellas prótesis que fueron realizadas mediante EBM muestran mejores propiedades que aquellas realizadas mediante SLM y no exhiben tanta porosidad, lo que le garantiza a la pieza una estabilidad superior. Las personas que recibieron prótesis óseas de Ti6Al4V han sufrido muy pocas, e incluso nulas, consecuencias negativas y han reportado una adecuada adaptación de las prótesis a su estructura corporal.

Referencias bibliográficas

- ASTM International. (2010). Standard Specification for Titanium-6Aluminum-4Vanadium Alloy Castings for Surgical Implants (UNS R56406). In *Astm F1108-04 04*. Issue Reapproved 2009). www.astm.org,
- Brånemark, R. *et al.* (2001). Osseointegration in skeletal reconstruction and rehabilitation: A review. In *Journal of Rehabilitation Research and Development*, 38(2), pp. 175-181.
- Costa, J. A. (2019). Procesos de Manufactura con tecnología 3D. *CTS Cafe*, 7, 40-49.
- Gómez Muñoz, J. D., de la Peña, J. A. (2017). Manufactura aditiva para prototipado rápido. *Jóvenes en la Ciencia*, 3(2), 2230-2234.

- Frazier, W. E. (2014). Metal additive manufacturing: a review. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 23(6), 1917-1928.
- Juechter, V. et al. (2018). Additive manufacturing of Ti-45Al-4Nb-C by selective electron beam melting for automotive applications. *Additive Manufacturing*, 22, 118-126. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2018.05.008>
- Joshi, S. C., Sheikh, A. A. (2015). 3D printing in aerospace and its long-term sustainability. *Virtual and Physical Prototyping*, 10(4), 175-185.
- Kalpakjian, S. et al. (2014). Manufacturing Engineering And Technology (7a ed). *Pearson Education South Asia Pte Ltd*.
- Kok, Y. et al. (2015). Fabrication and microstructural characterisation of additive manufactured Ti-6Al-4V parts by electron beam melting.. *Virtual and Physical Prototyping*, 10(1), 13-21.
- Koptioug, A. et al. (2014). Osteoblast Ingrowth into Titanium Scaffolds Made by Electron Beam Melting. *Materials Science Forum*, 783-786, 1292-1297.
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.783-786.1292>
- Körner, C. (2016). Additive manufacturing of metallic components by selective electron beam melting—a review. *International Materials Reviews*, 61(5), 361-377.
- Mohammed, A. et al. (2020). Additive manufacturing technologies for drug delivery applications. *International journal of pharmaceutics*, 580, 119245.
- Murr, L. E. et al. (2012). Metal Fabrication by Additive Manufacturing Using Laser and Electron Beam Melting Technologies. In *Journal of Materials Science and Technology* (Vol. 28, Issue 1, pp. 1-14).
- Sing, S.L. et al. (2016). Laser and electron-beam powder-bed additive manufacturing of metallic implants: A review on processes, materials and designs. *J. Orthop. Res.*, vol. 34, no. 3, pp. 369-385, Mar. 2016, doi: 10.1002/jor.23075.
- Suska, F. et al. (2016). Electron beam melting manufacturing technology for individually manufactured jaw prosthesis: a case report. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 74(8), 1706-e1.
- Yan, R. et al. (2018). Electron beam melting in the fabrication of three-dimensional mesh titanium mandibular prosthesis scaffold. *Scientific Reports*, 8(1), 1-10. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-15564-6>
- Zäh, M. F., & Lutzmann, S. (2010). Modelling and simulation of electron beam melting. *Production Engineering*, 4(1), 15-23. <https://doi.org/10.1007/s11740-009-0197-6>
- Zhang, Y. et al. (2018). Additive manufacturing of metallic materials: a review. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 27(1), 1-13.

Capítulo 4

Herramienta para determinar el impacto de planeación de requerimiento de materiales usando Demand Driven (DDMRP)

Tool to determine the impact of materials requirement planning using Demand Driven

Yésica Mariana Cano Restrepo*

Narciso Alcides Alzate Carmona**

Santiago Gil Durán***

Resumen

La herramienta DDMRP (Planeación de Requerimiento de Materiales Demand Driven) es construida con el fin de ayudar a compañías en la toma de decisiones acertadas y con criterios en la actividad de la planeación de requerimiento de materiales; con ello, busca la visibilidad completa de la cadena de suministro, así como impactar directamente en el desempeño de indicadores como nivel de servicio a los clientes, rentabilidad, días de inventario y asertividad de los pronósticos. De modo que esta robusta herramienta es diseñada a través de conceptos estadísticos, matemáticos, dominio de Excel avanzado y profunda investigación de la metodología DDMRP para, con la combinación de estos, poner en evidencia, de forma general y detallada, la aplicación de esta metodología en los productos que se deseen analizar. De esta manera, se pueden obtener múltiples escenarios e iteraciones que son evaluadas y manipuladas de acuerdo con la necesidad del usuario. Para este caso, se realiza un análisis de sensibilidad que muestra como las variables críticas se afectan al decidir una situación particular; así pues, en el mejor

* Estudiante Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas, Instituto Tecnológico Metropolitano (ITM), Medellín – Colombia. Correo electrónico: yesicacano165940@correo.itm.edu.co

** Estudiante Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas, Instituto Tecnológico Metropolitano (ITM), Medellín – Colombia. Correo electrónico: narcisoalzate127358@correo.itm.edu.co

*** Grupo de Calidad, Metrología y Producción, Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas, Instituto Tecnológico Metropolitano ITM. Medellín- Colombia. Correo electrónico: santiagogil@itm.edu.co

escenario evaluado, se observa cómo el nivel de servicio aumenta en 12% y los días de inventario se reducen en un 58%, al compararlos con los resultados de la metodología Planeación de Requerimiento de Materiales (MRP).

Palabras claves: planeación de requerimiento de materiales Demand Driven (DDMRP), planeación de requerimiento de materiales (MRP), Planeación de la producción, inventarios, demanda.

4.1 Introducción

Hoy las empresas se ven enfrentadas a retos como la incertidumbre de la demanda, la satisfacción de los clientes y la generación de utilidades (Chase *et al.*, 2009). Las decisiones sobre estos temas impactan la planeación de la producción y el inventario, lo que hace que cada vez se requieran modelos de gestión que permitan tener en cuenta las fluctuaciones de la demanda, para satisfacer los objetivos de las empresas (Bustos y Chacón, 2007; Plossl y Orlicky, 1994).

En este trabajo se comparó la metodología de DDMRP con la MRP, con el fin de evaluar qué beneficios se podrían obtener con la utilización de la primera metodología. Compañías como Wa-Armonía y multidimensionales en Colombia, y MIC e Inko en el extranjero, coinciden en que al implementar el DDMRP se ha observado que hay mejor flujo de caja, pues se tienen inventarios óptimos y necesarios para la operación, sin poner en riesgo la venta; se disminuyen los días de inventarios; igualmente, se logran mejores tiempos de respuesta a las necesidades de los clientes; es decir, se aumenta el nivel de servicio lo que les permite ser más competitivos y garantizar el mantenimiento de los clientes con el paso del tiempo, lo que a su vez genera incrementos significativos de las ventas; de igual forma, se evidencia mayor estabilidad en la cadena de abastecimiento al lograr que todas las áreas de la compañía estén sincronizadas. Por último, otro beneficio observado al implementar esta metodología es que permite mantenerse a la vanguardia del mercado, al hacer seguimiento en tiempo real para corregir desviaciones de la demanda (Linares y Mayorga, 2017; Cubillos y Garzón, 2019).

Inicialmente, se profundizó en los temas que intervienen en el DDMRP y se plantearon los criterios diferenciadores con MRP para que esta metodología sea apetecida por el mercado actual. Posteriormente, se seleccionó la información

de una base de datos idónea, es decir, que tuviera todas las variables requeridas para la implementación y análisis del DDMRP. Es así como, luego de obtener los resultados arrojados por la herramienta construida, se realizó un análisis de sensibilidad entre el MRP y el DDMRP en el que se logró visualizar el impacto en temas de costos, nivel de servicio, inventarios y rentabilidad.

4.2 Planteamiento del problema

Actualmente, la planeación de la producción de la mayoría de las compañías está basada en modelos MRP, los cuales traen consigo algunas falencias que no favorecen el balance de indicadores, ya que se presentan cambios inesperados en la demanda que generan bajos niveles de servicio, ruptura de negociaciones comerciales, altos tiempos de fabricación y de suministro, sobre stocks de inventarios terminados y en proceso, entre otros. Estos desaciertos influyen en los resultados financieros de las compañías; por esto, se hace necesario plantearse: ¿cómo identificar si el DDMRP es una metodología que genera beneficios en las organizaciones?

4.3 Objetivos

Como objetivo general se propone plantear una herramienta lógica y de control de la planeación de requerimiento de materiales usando el modelo DDMRP, que permita la identificación de su impacto en cuestión de días de inventario, nivel de servicio, rentabilidad y variabilidad de la demanda al compararla con el método de planeación MRP.

En cuanto a los objetivos específicos, son los siguientes:

- a) Realizar una revisión bibliográfica del DDMRP, con el fin de identificar las variables que afectan este modelo;
- b) Diseñar una herramienta ofimática que permita la simulación de la planeación de demanda usando Demand Driven MRP;
- c) Determinar la influencia del DDMRP en indicadores como nivel de servicio, días de inventario, asertividad, rentabilidad, a través de un análisis de sensibilidad que permita la evaluación de diferentes escenarios con respecto al MRP.

4.4 Métodos

La metodología adoptada se basó en la realización de una herramienta que permitiera la planeación de requerimiento de materiales mediante el uso del modelo DDMRP, para después determinar su impacto al comparar los resultados obtenidos con la metodología MRP. Es importante aclarar los resultados de la metodología MRP fueron obtenidos de una base de datos existente y por tanto no se calcularon puesto que no son el objetivo propuesto en esta investigación.

4.4.1 Conceptualización del DDMRP

Para mitigar las falencias del MRP, surge una metodología llamada Demand Driven MRP (DDMRP), que incorpora conceptos Lean, TOC y MRP. Este permite a las organizaciones una producción alineada con la demanda real del mercado, la cual se actualiza una y otra vez, siendo un facilitador para una mejor y más ágil toma de decisiones, tanto a nivel de planificación como de ejecución (Miclo *et al.*, 2019; White *et al.*, 1982). De esta manera, se contrarrestan las metodologías convencionales ejecutadas mediante modelos estadísticos no dotados para enfrentar tanto dinamismo (Ptak y Smith, 2016).

El DDMRP tiene cinco componentes: posicionamiento estratégico del inventario (en dónde se van a ubicar los puntos de desacople; qué tanto y cuándo generar suministro), perfiles y niveles del *buffer* (la planeación de los *buffers* de inventario para absorber la demanda de cada proceso, en cada nivel y zona), ajustes dinámicos (los *buffers* establecidos para una referencia pueden cambiar a lo largo del tiempo, lo que puede deberse al atributo de la referencia o al perfil del *buffer*), planeación Demand Driven (la ubicación de los *buffers* en los puntos de desacoplamiento crea órdenes de suministros de una forma más elegante y visible); finalmente, la ejecución visible y colaborativa se refiere al manejo de las órdenes de suministros abiertas con unos criterios relevantes, los cuales se definen en dos categorías básicas para proteger y promover el flujo: el estado del *buffer* y la sincronización (Ptak y Smith, 2016).

4.4.2 Selección de la base de datos

La base de datos a la que se tuvo acceso contiene información de una empresa manufacturera que tiene un proceso productivo definido claramente. Su objetivo

primordial es la venta de productos fabricados y comprados que son despachados directamente a los clientes. La información allí relacionada es una foto del sistema a marzo del 2020 y los datos son una muestra aleatoria de ciento diez productos terminados de dicha compañía. Para estos solo se indicará un código alusivo por confidencialidad. El archivo tiene la siguiente información: código, tipo de referencia, costo unitario, *lead time*, desviación del *lead time*, cantidad mínima de pedido, vida útil, histórico de ventas y registros de inventarios.

4.4.3 Implementación del Demand Driven MRP

Esta fase consiste en la construcción de una herramienta en Excel, la cual utiliza las definiciones y conceptos teóricos de la metodología del DDMRP en su configuración interna, por lo que, a continuación, se describe la definición y el funcionamiento de las hojas del archivo que involucran directamente las etapas del DDMRP:

- *Hoja DDMRP*. En esta hoja se condensa el detalle de cada producto de la base de datos que se va a analizar. Está compuesta por las siguientes secciones: Datos generales (código, costo, tipo de referencia, MOQ); consumo promedio (mensual, semanal, diario); *lead time* (*lead time*, desviación del *lead time*, factor y categoría de *lead time*); variabilidad (coeficiente de variación, factor y categoría de variabilidad); *buffer* (perfil del *buffer*, zona roja, zona amarilla, zona verde y criterio de selección de la zona verde); decisiones de órdenes de pedido (cantidad, frecuencia y mensaje de las órdenes); inventario (inventario disponible y desfase entre inventario y tope verde); *input* de indicadores (venta y demanda); indicadores (rentabilidad, *forecast accuracy*, OTIF y DIO). Adicionalmente, se cuenta con mensajes ilustrativos de error, de advertencia y de información-definición, al igual que formatos condicionales que dan al usuario mayor visibilidad de las alertas importantes de los análisis realizados.
- *Hoja escenarios*. En esta hoja se encuentra la configuración interna y la programación matemática más relevante de la herramienta, donde se podrán manipular múltiples iteraciones de acuerdo con la necesidad del usuario. En la figura 1 se puede observar cómo se configuran los escenarios al definir las variables tipo y periodo de consumo promedio, factor de *lead time*, factor de variabilidad:

Figura 1. Hoja escenarios

CÁLCULO DEL CPM	
Combinaciones	Mes
	Mes: <input type="text"/> 9
	Semana: <input type="text"/> 9
LONGITUD DEL PERIODO	
Año Presente	2020
Año Inicio	2020
Año Fin	2020

CÁLCULO DEL CPM	
Combinaciones	Mes
	Multivariado
	Univariado
LONGITUD DEL PERIODO	
Año Presente	2020
Año Inicio	2020
Año Fin	2020

FACTOR DE LEAD TIME								
Tipo de referencia	Clasificación	Rango		Valor mínimo de lead time	Valor máximo de lead time	Porcentaje de acción	Número de productos	Porcentaje de participación
Fabricado	Lead time largo	20%	40%	10	14	5%	2	2%
	Lead time medio	41%	60%	6	9	5%	20	22%
	Lead time corto	61%	100%	2	5	5%	69	76%
Comprado	Lead time largo	20%	40%	100	105	5%	1	1%
	Lead time medio	41%	60%	95	99	5%	0	0%
	Lead time corto	61%	100%	90	94	5%	18	20%

FACTOR DE VARIABILIDAD							
Clasificación	Rango		Valor mínimo de CV	Valor máximo de CV	Porcentaje de acción	Número de productos	Porcentaje de participación
Variabilidad alta	100%	61%	6,9293	7,94	5%	3	3%
Variabilidad media	60%	41%	3,30	6,919	5%	8	7%
Variabilidad baja	40%	0%	0	3,288	5%	99	90%

Fuente: Elaboración propia

Hoja comportamiento de ventas. Contiene todos los históricos de ventas y proyecciones de cada uno de los productos. Son cantidades mensuales de todos los años que se quieren analizar.

4.5 Resultados y discusión

Los resultados se dan a través de un análisis de sensibilidad, por lo que el objetivo de este capítulo es mostrar, a través de un escenario completo, la

sensibilidad de las variables del DDMRP aplicadas en la herramienta construida con respecto a los indicadores obtenidos con la metodología del MRP, los cuales, en este caso, serán: nivel de servicio, asertividad del pronóstico, días de inventario y rentabilidad. Por lo tanto, se podrá observar el impacto al efectuar cambios determinantes en las posibles combinaciones que se pueden realizar por el dinamismo y generalidad de la plantilla.

Al realizar el análisis de los indicadores para el nivel de servicio, se evidencia un mejor resultado del DDMRP al compararlo con el MRP, y esto se debe a que la demanda utiliza internamente la variabilidad de cada producto construida a partir del coeficiente de variación obtenido de los históricos de venta, lo que consiente un impacto positivo al generar que la demanda esté más cercana al valor de la venta real y esto se traduce en mejor nivel de servicio a los clientes.

En un escenario se evidencia que el menor cumplimiento es del 60% y solo se presenta en una referencia de todas las estudiadas. En la asertividad del pronóstico se crearon dos formas de medir la asertividad: una con respecto a las ventas y, otra, a la demanda. Ahora bien, la opción de comparar el plan con las ventas arroja resultados más bajos que si se realiza la medición frente a la demanda. Esto se debe a varias razones; una de ellas es que se toman las ventas reales sin importar verdaderamente cuánto demandó el cliente.

Se evidencia el impacto que tiene el plan de ventas en el indicador de asertividad del pronóstico, debido a que los históricos de ventas generan el consumo promedio, las proyecciones y las combinaciones del periodo a utilizar. Los escenarios donde el plan se asemeja más a la demanda real son aquellos en los cuales se toma en cuenta un periodo más extenso que combina el pasado, el presente y el futuro.

En cuestión de rentabilidad, son fundamentales las variables unidades vendidas (valor de la venta) y los costos generados, que entre menores sean, mayor rentabilidad se podrá obtener. En consecuencia, es indispensable que se atienda la mayor cantidad de productos, ya que las unidades que no se logran despachar generan penalización lo cual se convierte en costo y se minimizan las ganancias. En este caso, los valores arrojados también dependerán de la variable de demanda que trae consigo la variabilidad de los productos, y es en este punto donde inciden directamente los conceptos del DDMRP vistos.

Particularmente, se observa que el MRP resulta estar muy por debajo a lo calculado con la metodología en evaluación; sin embargo, si se aumentan las cantidades no atendidas, esta cifra podría tener el comportamiento totalmente contrario. Por último, al considerar los días de inventario, se nota que en general este indicador tiene mejor comportamiento al usar la combinación de todas las unidades de stock (SKU) que oscilan en valores desde 0 hasta 6975 días. Este máximo se debe a un material que no tuvo venta en el periodo analizado y hace que el inventario disponible no tenga patrón de consumo o indicación del momento que rotará dicha cantidad. Esta situación se presenta con el 20% de los productos de esta base de datos.

Puesto en estos términos, al abordar de forma lógica y consciente las combinaciones de periodos, históricos de venta, cantidades mínimas de pedido, variabilidad, sincronía del periodo del consumo promedio y la venta, se podrá obtener el resultado óptimo que genera mejor flujo de caja a las compañías. En la tabla 1 se muestran los resultados de los indicadores obtenidos en cada una de las metodologías, en el escenario seleccionado para este análisis de sensibilidad.

Tabla 1. Resultados en los indicadores

Indicador Metodología	Rentabilidad	Exactitud del pronóstico	Pedidos completos y a tiempo (OTIF)	DIO
MRP	\$936.014.483	18%	75%	656
DDMRP	\$1.320.673.411	15%	87%	276

Fuente: Elaboración propia

4.6 Conclusiones

Este proyecto tiene como resultado una herramienta ofimática, dinámica y automática para el análisis de resultados de indicadores en diferentes escenarios que ayudan a determinar el impacto en nivel de servicio, días de inventario, rentabilidad y asertividad del pronóstico del DDMRP con el MRP. Ambas metodologías ayudan a la planeación de requerimiento de materiales, pero el DDMRP se concentra en la variabilidad de escenarios que se pueden analizar para tomar decisiones más acertadas y con mayor visibilidad de lo que puede suceder, al

estar monitoreando los consumos reales que se dan de todos los materiales. Es, precisamente, lo dicho, lo que lo diferencia de la usual metodología MRP.

Adicionalmente, en el análisis de sensibilidad que se presenta, se observa el impacto en las variables de los indicadores seleccionados, que dependen en gran medida de un buen entendimiento y aplicación de los conceptos del DDMRP y de las tendencias y comportamientos regulares de cada SKU, para de esta forma determinar qué es lo más conveniente de acuerdo con cada situación particular y general. Importante tener claridad y concordancia en los periodos, conversiones e información obtenida de cada cálculo. En la teoría del DDMRP se informa que existen diferentes tipos de *buffer* (de tiempo, de capacidad y de inventario). Para este proyecto se trabajó únicamente con los *buffers* de inventario, posicionados en el producto terminado. Finalmente, se sugiere extender la aplicación a todos los tipos.

Referencias bibliográficas

- Chase, R. B. *et al.* (2009). *Administración de Operaciones: Producción y Cadena de Suministros* 12.ª ed.). McGraw-Hill.
- Cubillos, E. y Garzón, M (2019). Implementación de metodología Demand Driven para la planeación de la producción en multidimensionales S. A. S. [tesis de pregrado]. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia.
- Bustos, C.E y Chacón, G.B. (2007). El MRP en la gestión de inventarios. *Visión Gerencial*, (1), 5-17.
- Linares, M y Mayorga, D (2017). Diseño del modelo DDMRP para la planeación de la producción en la empresa Wa-Armonía [tesis de pregrado]. Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá (Colombia).
- Miclo, R. *et al.* (2019). Demand Driven MRP: assessment of a new approach to materials management. *International Journal of Production Research*, 57(1), 166-181. doi: 10.1080/00207543.2018.1464230
- Plossl, G. W., & Orlicky, J. (1994). *Orlicky's Material Requirements Planning*. McGraw-Hill.
- Ptak, C & Smith, C. (2016). *Demand Driven Material Requirements Planning (DDMRP)*. Industrial Press.
- White, E. M. (1982). A study of the MRP implementation process. *Journal of Operations Management*, 2(3), 145-153. doi:10.1016/0272-6963(82)90002-X

Capítulo 5

Implementación de metodología cross - docking con una distribución ágil y funcional en la empresa Transportempo S. A. S. para el abastecimiento de cemento de su cliente principal

Implementation of the cross – docking methodology with an agile and functional distribution in the company Transportempo S. A. S. for the supply of cement of its main customer

Daniela Espinosa Jaramillo*

Carolina Muñoz Mazo**

Leydy Yhasmin Ortiz Gómez***

Ekaterina Castañeda Ospina****

Resumen

La logística de distribución es un proceso trascendental en la satisfacción del cliente, por cuanto favorece reducir tiempo y costos. Lo anterior se logra a través de metodologías que permiten un proceso más ágil que beneficia a ambas partes. En este estudio se analiza la viabilidad de implementar una metodología de *cross-docking*, que cumple con una necesidad atípica del cliente A que requiere un flujo constante de producto. Para comprobar que la metodología es la

* Estudiante Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas, Instituto Tecnológico Metropolitano (ITM), Medellín – Colombia. Correo electrónico: danielaespinosa225241@correo.itm.edu.co

** Estudiante Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas, Instituto Tecnológico Metropolitano (ITM), Medellín – Colombia. Correo electrónico: carolinamunoz225312@correo.itm.edu.co

*** Estudiante Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas, Instituto Tecnológico Metropolitano (ITM), Medellín – Colombia. Correo electrónico: leydyortiz223123@correo.itm.edu.co

**** Departamento de Calidad y Producción, Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas, Instituto Tecnológico Metropolitano ITM. Medellín- Colombia. Correo electrónico: ekaterinacastaneda@itm.edu.co

adecuada, se investigó la información actual, se estudió la dinámica del proceso, se analizaron un conjunto de riesgos con el fin de evaluar diferentes escenarios que permitieron identificar la mejor opción para el manejo de la plataforma *cross-docking*.

Palabras claves: logística de distribución, carga masiva, *cross-docking*, *hub* de almacenamiento, cemento a granel.

5.1 Introducción

Es habitual que las empresas busquen mejorar el proceso de logística de distribución, debido a la importancia que en los últimos años ha tenido la promesa de cumplimiento hacia el cliente, con una entrega oportuna y en el momento adecuado. Esta tendencia se traduce, en tener menos inventarios y un proceso más ágil que beneficie a ambas partes.

Visto así, la empresa Transportempo, actualmente presenta una problemática con el abastecimiento constante de cemento en la planta de Ituango. A través de los indicadores de cumplimiento, se evidencia la falta de entrega de cemento que se tiene pactado con el cliente en dicha planta. Con esta información, se inicia a evaluar todo el proceso logístico para identificar las fallas o debilidades que no están permitiendo que el proceso se realice correctamente. Además, se evalúa la programación de los turnos de los conductores, los cuales están interfiriendo en la puntualidad de la entrega y afectando el bienestar de los conductores al tener turnos sobrecargados.

Por ello, se ve en la necesidad de analizar e implementar una metodología de distribución que se adecue a la negociación pactada con el cliente, manteniendo existencia acordada. Una alternativa viable para cumplir con lo pactado es evaluar el *cross-docking* como una estrategia de trabajo idónea para solucionar la dificultad aludida.

Sin duda, en la actualidad se ha convertido en una estrategia de almacenamiento innovadora, que facilita la disminución de los costos de transporte y mantiene la satisfacción del cliente. Sumando a lo anterior, tiene una ventaja en relación con el almacenamiento tradicional, puesto que se elimina el tiempo de almacenaje, logrando que el producto permanezca alrededor de veinticuatro horas y que su flujo de entrega sea constante. Por esta razón, la empresa

decide utilizarla, ya que tiene un fin táctico al estar enfocada al transporte de carga masiva y un cargue y descargue permanente de camiones, siendo este el principal requerimiento del cliente (Rodríguez y otros, 2019).

Así pues, en este trabajo se aborda el problema de una logística de distribución que debe ser de forma constante y de gran volumen de cemento para la planta Ituango, con el propósito de cumplir con la disponibilidad del producto. Para esta metodología, se tiene en cuenta el personal que interviene directa e indirectamente en el proceso para lograr, mediante un trabajo colaborativo, la solución del problema y el beneficio para las partes relacionadas.

5.2 Planteamiento del problema

Actualmente, la logística de distribución tiene un lugar relevante en la cadena de suministro, debido a que es un proceso que requiere un plan bien estructurado para poder cumplir con la entrega satisfactoria al cliente, desde el momento en que finaliza la fabricación del producto, hasta que se almacena para ser transportado al cliente final, con mínimos tiempos y con calidad de servicio. Esto quiere decir que las empresas deben evaluar y desarrollar una planeación que posibilite cumplirle al cliente, mediante la implementación del ciclo PHVA (planear, hacer, verificar y actuar) para analizar el proceso constantemente y ajustarlo a la necesidad de los clientes con una mejora continua. Una forma de controlar la logística de distribución es desarrollando indicadores de gestión logística que permiten evaluar y analizar en tiempo real el cumplimiento, la satisfacción del cliente, la entrega oportuna y el transporte (Ramírez-Noreña, 2012).

De acuerdo con la explicación anterior, el problema se desarrolla en la empresa Transportempo S. A. S. la cual busca solucionar una necesidad logística de su cliente principal para su cliente ubicado en Ituango. Dicha necesidad consiste en mantener un inventario constante de mil toneladas diarias de cemento para realizar un relleno durante cuatro meses. Parte de este problema es el desplazamiento para llegar hasta donde está ubicado el cliente, en la planta Ituango. Este recorrido inicia en Medellín, de donde sale el tractocamión vacío, con capacidad de carga de 34,5 toneladas hasta la planta en Río Claro. Allí es cargado con el cemento y este proceso de llenado de la tolva tiene una duración de dos horas. Luego, el camión lleno se devuelve hasta Medellín y

un nuevo conductor se encarga de hacer la entrega de cemento a la planta de Ituango, donde se encuentran tres silos de almacenamiento con capacidad de 900 toneladas. El descargue se ejecuta en dos horas. El tiempo promedio que demora el desplazamiento de un punto a otro, con una distancia de 698 km, es de diez horas máximo, lo que causaría un tiempo de ciclo total de veinticuatro horas. Valga advertir que es perentorio cumplir con un factor importante: no exceder los tiempos de jornada laboral de los colaboradores (conductores) por su bienestar y seguridad. Es recomendable tener en cuenta estas consideraciones en la entrega de un servicio de logística de distribución oportuno para que el cliente cuente con un inventario a la mano con el propósito de no quedarse sin stock (Briones-Loor y Coello-Gómez, 2015).

La propuesta requiere la investigación y posterior análisis de varios escenarios con el propósito de encontrar, de una parte, el que mejor se adapte al cumplimiento de las necesidades del cliente y, de otra, que disminuya los costos del proyecto. Por lo tanto, se puede realizar la siguiente pregunta: *¿cuál es la logística de distribución que se debe ejecutar para el cumplimiento de entrega de cemento constante?*

5.3 Objetivos

5.3.1 General

Implementar la metodología *cross-docking* con una distribución ágil y funcional en la empresa Transportempo S. A. S. para el abastecimiento de cemento de su cliente principal en Hidroitango.

5.3.2 Específicos

- Identificar los factores que intervienen en el proceso logístico de entrega al cliente.
- Investigar la metodología más adecuada para el proceso logístico, teniendo en cuenta los costos y restricciones asociados.
- Proponer un modelo de simulación de la metodología *cross-docking* para el mejoramiento de la cadena de distribución ágil y funcional para el abastecimiento de cemento.

- Validar mediante un caso aplicado cuál es el escenario más eficiente de distribución y almacenamiento de cemento.

5.4 Métodos

Se aplicó un tipo de investigación descriptiva a través de la cual se realizó una aproximación a las cualidades del objeto de estudio, es decir, a la metodología de entrega *cross-docking*. Además, se investigó acerca de variables asociadas al montaje del proyecto logístico como: el cumplimiento del flujo constante solicitado por el cliente, los costos de distribución, los tiempos de recorrido, la cantidad de vehículos necesarios, el espacio requerido para la plataforma y las distancias recorridas (Rojas-Zanabria y Caldas-Cancino, 2017).

El método de investigación que se usó fue mixto, por cuanto se recopiló información y datos de artículos científicos, libros y tesis, con el fin de conocer e interpretar la logística de distribución aplicada a la necesidad de la empresa Transportempo S. A. S. Además, se realizaron cálculos de inventario, dimensionamiento de equipos y análisis de costos de implementación inicial y de transporte (Briones-Loor y Coello-Gómez, 2015).

Se realizó la identificación de un conjunto de riesgos asociados al proceso logístico por medio de una matriz de riesgo que permitió evaluar, por categorías, los riesgos que más generan afectación en el desarrollo normal del proceso. De acuerdo con esta información, se realizaron cálculos y flujos de la cantidad necesaria de inventario que se debía mantener en el *hub* con metodología *cross-docking* de enganche y desenganche de tolvas o cisternas que transportan el cemento a granel.

Para la realización de este trabajo, se cotizaron las rutas que podrían generarse con el planteamiento de enganche y desenganche, analizando los tiempos, distancia, dimensionamiento de tractocamiones, tolvas y conductores necesarios; igualmente, analizando costos asociados a las rutas (gastos de viaje, combustible, arrendamiento de los vehículos, laborales y mantenimiento) para la operación logística. Todos estos datos fueron obtenidos mediante herramienta Excel realizada por la empresa.

Según los datos obtenidos de los ejercicios anteriores se dimensiona el espacio necesario para realizar el *hub* con la cotización de los costos para el

montaje (puesta a punto con señalizaciones, cumplimiento de iluminaciones, oficina de operarios).

Finalmente, se realiza una simulación con el software Simul 8 para analizar los resultados de diferentes escenarios que consideran el flujo normal de la operación y además algunas restricciones en la misma como las cantidades de producto transportado, determinando así la mejor propuesta para el planteamiento inicial.

5.5 Resultados y discusión

Se identificaron catorce riesgos posibles en los procesos de abastecimiento, gestión humana, seguridad vial, operaciones, mantenimiento y logística (tabla 1):

Tabla 1. *Análisis de probabilidad de riesgos*

No.	Riesgo	Probabilidad (1-5)	Impacto (1-5)	Perfil del riesgo (1-100)	Zona Riesgo
R1	Derrumbes o cierres en la vía causado por daños climáticos	3	4	48	Zona Riesgo Extrema
R2	Accidentes en la vía o daños mecánicos	3	4	48	Zona Riesgo Extrema
R3	Contratación de personal sin las habilidades requeridas	1	3	12	Zona Riesgo Moderada
R4	Problemas en planta de origen (Cargue)	3	4	48	Zona Riesgo Extrema
R5	Problemas en planta de Destino (Descargue)	2	4	32	Zona Riesgo Alta
R6	Devolución por problemas de calidad del producto	1	4	16	Zona Riesgo Alta
R7	Variación en demanda	2	4	32	Zona Riesgo Alta
R8	Lesiones personales durante la manipulación de materiales y herramientas	3	4	48	Zona Riesgo Extrema
R9	Daños por terremoto	1	2	8	Zona Riesgo Baja

No.	Riesgo	Probabilidad (1-5)	Impacto (1-5)	Perfil del riesgo (1-100)	Zona Riesgo
R10	Daños en productos durante el transporte	2	3	24	Zona Riesgo Moderada
R11	Hurto de producto	1	3	12	Zona Riesgo Moderada
R12	Daños en las instalaciones de desenganche (Hub)	2	3	24	Zona Riesgo Moderada
R13	No tener fletes competitivos en el mercado	1	3	12	Zona Riesgo Moderada
R14	Presencia de grupos armados al margen de la ley.	1	4	16	Zona Riesgo Alta

Fuente: Elaboración propia

Con base en la matriz de riesgos (tabla 1) y la necesidad del cliente A de contar con producto de manera constante, se identificaron tres posibles escenarios de evaluación que permitieran mantener un inventario para abastecer la demanda de forma ininterrumpida, tal como se observan en la tabla 2:

Tabla 2. Escenarios de inventario

Datos	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
Consumo diario cliente A	1000	1000	1000
Días con producto	1	1.5	2
Inventario por mantener	1000	1500	2000
Inventario Silos	810	810	810
Inventario tolvas	190	690	1190
Cantidad Tolvas	6	20	34
Espacio m ²	891	3234	5577

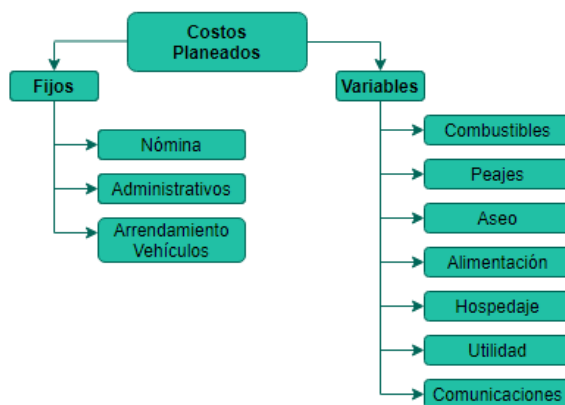
Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con la evaluación de la matriz de riesgos realizada en la tabla 1, se identifica el escenario 2, con mil quinientas toneladas, como el escenario adecuado para cumplir con el requerimiento del cliente, ya que permite tener un tiempo de reacción de doce horas, tomando como referencia que el

cliente consume mil toneladas del producto en veinticuatro horas; además, arroja una cantidad óptima de veinte tolvas, de acuerdo con el espacio y la disponibilidad de equipos. Tener este inventario permite mitigar los riesgos que se encuentran indicados en la zona de riesgo extremo como: derrumbes o cierres en la vía causados por daños climáticos, accidentes en la vía o daños mecánicos, problemas en cargue y descargue que generan, al final, un efecto látigo, al impactar directamente en los tiempos de retorno de la flota en cada uno de los puntos.

Tomando como premisa que se debe mantener el inventario a mil quinientas toneladas iniciales, y partiendo de cero, se necesita llenar completamente los silos de almacenamiento con ochocientas diez toneladas, que en rutas de transporte significan veintitrés desplazamientos realizados en dos días, por los tiempos de descargue. En un solo día se pueden descargar, máximo doce vehículos, en un lapso de veinticuatro horas. Adicionalmente, se deben llevar las veinte tolvas que serán almacenadas en el *hub* y que serán transportadas en el mismo tiempo del abastecimiento a los silos. Es importante resaltar que los tractocamiones que transporten estas tolvas al desengancharlas se devolverán vacíos. En resumen, se necesitan como mínimo dos días para abastecer el inventario inicial, partiendo de cero; el costo es de 160 millones de pesos, teniendo en cuenta la estructura de costos relacionada en la figura 1:

Figura 1. Estructura de costos



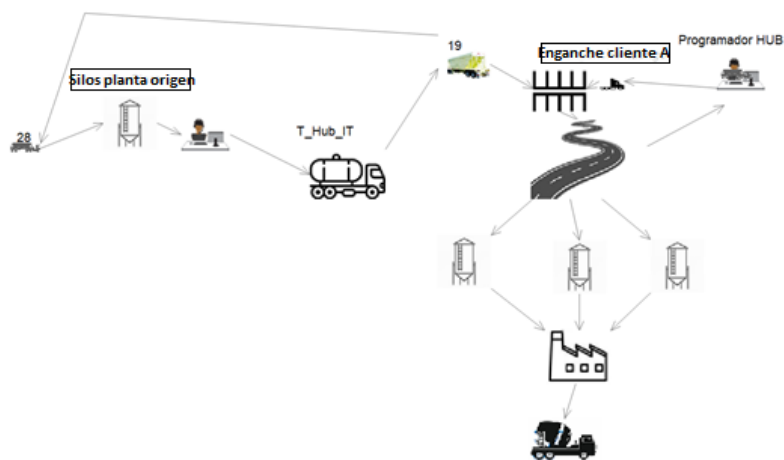
Fuente: Elaboración propia

Para las adecuaciones del espacio, es necesario organizar la oficina de los operarios y los equipos de oficina necesarios para la actividad administrativa. En el terreno, lo requerido por el área de seguridad y salud en el trabajo como señalizaciones, iluminación y elementos de seguridad, todos necesarios en cualquier *hub* o espacio de trabajo, además de los implementos claves para el enganche y desenganche como son los topellantas y bloques para el tren de apoyo de la tolva, con un costo estimado de \$76.572.000. El tiempo promedio para esta adecuación es de un mes, aproximadamente.

El término de duración de las contrataciones de conductores y administrativos es por el tiempo del proyecto y debe conocerse su requerimiento, con mínimo dos meses para iniciar con la selección del personal.

La figura 2 representa el esquema a simular con el escenario planteado. Se estima que en seis meses, desde Río Claro se cargarán un total de 5111 vehículos y 5102 serán enganchadas y desenganchadas en el *hub*. Su diferencia radica en el inventario con el que se inicia la operación. Se entregarán al cliente un total de 169.680 toneladas y, según su consumo, al cumplir los seis meses se tendría en inventario 168 toneladas en los silos, lo cual indica que para evitar transportar producto adicional el cliente debe mantenernos informados de las toneladas que estima consumir a medida que avance el relleno.

Figura 2. Flujo del proceso enganche y desenganche hub.



Fuente: Elaboración propia

5.6 Conclusiones

En cualquier proyecto es importante analizar los riesgos a los que se exponen los diferentes procesos y, dependiendo del tipo de proyecto, se encuentran una serie de factores que permiten conocer detalladamente las particularidades del problema, objeto de estudio. Para este caso se logró realizar la visualización en diferentes escenarios, lo que permitió, finalmente, tener un criterio de decisión donde lo más conveniente es implementar un modelo de inventario para dar solución al requerimiento de abastecimiento constante hecho por el cliente.

En esta investigación se logró establecer los costos fijos y variables inherentes al proyecto; así mismo, se identificaron las restricciones que se presentan según la matriz de riesgos.

Considerando los diferentes escenarios, se puede definir que con un inventario de mil quinientas toneladas distribuidas en tolvas desenganchadas y en tres silos, es el más apropiado para cubrir la demanda del cliente, ya que en este se mitigan los espacios de almacenamiento y los costos.

Teniendo en cuenta el análisis de la metodología *cross-docking*, con la implementación planteada en este proyecto, se logra un abastecimiento constante de la materia prima requerida por el cliente; de esta manera se satisfacen las necesidades de este.

Referencias bibliográficas

- Briones-Loor, F. F., Coello-Gómez, J. A. (2015). Estudio del proceso de los problemas de la logística e incidencia en la distribución y entrega de productos de la empresa Avipriloor S. A., del Cantón Guayaquil, provincia del Guayas y propuesta de un plan de Mejoras [Tesis de pregrado]. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Ecuador.
- Ramírez-Noreña, C. (2012). Diseño e Implementación de Indicadores de gestión logísticos en el área logística de distribución en la empresa Carvajal Pulpa y Papel S. A. [Tesis de pregrado] Universidad Autónoma de Occidente, Santiago de Cali.
- Rodríguez, S. L. y otros. (2019). Model of dynamic allocation of storage places in Cross Docking centers. *TecnoLógicas*, 22(44), 47-62.
- Rojas-Zanabria, C. A., Caldas-Cancino, J. M. (2017). El *cross-docking* como instrumento de distribución logística en una empresa distribuidora de productos para frenos por fricción [Tesis de pregrado]. Universidad San Ignacio de Loyola, Perú.

Capítulo 6

Modelo de localización de instalación de máxima cobertura asociado a logística humanitaria para la atención a pacientes con covid-19

Maximum coverage facility location model associated with humanitarian logistics for the care of covid-19 patients

Leydy Tatiana Fernández-Pulgarín*

Gloria Stella García-Gómez**

Luz Mirian Marín-Cárdenas***

Cristian G. Gómez-Marín****

Resumen

Una de las principales problemáticas al momento de atender un desastre está relacionado con la localización de las instalaciones para atender de manera oportuna y eficiente estos eventos. La pandemia de la covid-19 mostró que a nivel mundial ningún país del orbe estaba preparado para ello. En este documento se presenta un modelo matemático para la localización de instalaciones, asociado a logística humanitaria, en la cual se conjugan el máximo beneficio, tanto a nivel humanitario como empresarial, incurriendo en los mínimos costos posibles. Es de

* Estudiante Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas, Instituto Tecnológico Metropolitano (ITM), Medellín – Colombia. Correo electrónico: leydyfernandez28053@correo.itm.edu.co

** Estudiante Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas, Instituto Tecnológico Metropolitano (ITM), Medellín – Colombia. Correo electrónico: gloriagarcia80977@correo.itm.edu.co

*** Estudiante Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas, Instituto Tecnológico Metropolitano (ITM), Medellín – Colombia. Correo electrónico: luzmarin127266@correo.itm.edu.co

**** Grupo de Calidad, Metrología y Producción, Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas, Instituto Tecnológico Metropolitano ITM. Medellín- Colombia. Correo electrónico: cristiangomez@itm.edu.co

resaltar que el modelo diseñado debe tener una visión prospectiva que le permita ser aplicado en cualquier tipo de contingencias futuras, no solo a nivel regional sino también a nivel estatal.

Palabras claves: localización de instalaciones, maximización de cobertura, minimización del costo, atención de desastres.

6.1 Introducción

La preparación para la respuesta a emergencias aumenta la resiliencia ante desastres y mitiga sus posibles impactos, principalmente en emergencias de salud pública. La pronta activación de estos planes de respuesta y la rápida optimización de los modelos de entrega son esenciales para la gestión eficaz de emergencias y desastres (Akwafo *et al.*, 2020). Dicho tipo de situaciones aboca a los diferentes gobiernos a diseñar e implementar diferentes estrategias de respuesta inmediata para afrontar, en su momento, cualquier tipo de emergencias.

La contingencia de la covid-19 puso en alerta al gobierno colombiano, pues se reveló que ninguna ciudad del país estaba preparada para enfrentar un hecho de tal magnitud (Ministerio de Salud y Protección Social, 2020). Así pues, este trabajo se elabora para llevar a cabo la localización de un centro de emergencias en la ciudad de Medellín, dado que, aunque dicha ciudad cuenta con infraestructura hospitalaria, los hospitales no cuentan con un equipamiento que permita la eficiente y eficaz atención de problemáticas como una pandemia. La ubicación de las instalaciones y su adecuación es uno de los retos de decisión estratégica más importantes para los gobiernos.

La localización adecuada de los centros de emergencia permite maximizar la cobertura de las zonas afectadas y, por lo tanto, una atención más eficiente de la población aquejada. Esta problemática puede ser analizada y modelada matemáticamente desde varias perspectivas, entre las que se encuentran: instalaciones de servicios médicos de emergencias (EMS), entre sitios potenciales para proporcionar servicios eficientes y efectivos en un área con demandas distribuidas espacialmente; el problema de cobertura del conjunto de ubicaciones (LSCP), el modelo con problema de ubicación de cobertura máxima (MCLP), el modelo estándar doble (DSM), el problema de ubicación de cobertura máxima esperada (MEXCLP), el problema de ubicación de disponibilidad máxima,

modelos de colas de hipercubos, modelos de asignación dinámica, modelos de cobertura gradual (Li *et al.*, 2011) y el problema de localización máxima cobertura (PLMC), modelo este que es desarrollado en la presente investigación. Los anteriores métodos se basan en la minimización de la suma de los costos y la maximización de la cobertura de la localización.

El objetivo del PLMC consiste en encontrar las mejores localizaciones para un número fijo de instalaciones conocidas *a priori*, con lo cual se maximice la cobertura de la demanda con una distancia o tiempo crítico predefinido. Dado que en este problema se considera la importancia del punto, todos aquellos puntos de mayor importancia estarán siempre cubiertos, mientras que aquellos que están a una distancia más allá de la predefinida, no estarán cubiertos. Un punto de demanda se considera cubierto si existe una instalación que pueda proporcionarle el servicio requerido dentro de la distancia predefinida (Guzmán *et al.*, 2017).

6.2 Planteamiento del problema

Las emergencias y desastres son acontecimientos de los que no se tiene certeza cuándo va a ser el momento exacto de su ocurrencia y, en general, ningún gobierno del mundo está preparado para llevar a cabo una atención inmediata a hechos de gran magnitud. Una de las principales falencias que se han detectado a la hora de atender un desastre es la ausencia o poca presencia de infraestructura física idónea, con la capacidad suficiente para atender un hecho fortuito de grandes proporciones; igual, si bien pueden existir centros de atención inmediata, es posible que estos se encuentren muy alejados del lugar del desastre.

A partir de estas dos falencias, distancia y cobertura, en este documento se aborda la siguiente pregunta: *¿cómo se puede optimizar la cobertura de la población, y minimizar las distancias recorridas en la ciudad de Medellín para la localización de un centro de atención de emergencias?*

6.3 Objetivo

Estructurar un modelo matemático de localización de instalaciones para la atención de contingencias, que considere la localización geográfica de los

actores asociados, la demanda a atender y las distancias entre localidades, para la asignación óptima de una instalación central que preste servicios durante la contingencia.

6.4 Métodos

En esta ponencia se abordaron dos etapas para dar respuesta, tanto a la pregunta como al objetivo planteados. La primera etapa es la construcción de la matriz de las distancias y la ponderación de la población a través del método de Ardalan; la segunda etapa consiste en la solución del problema de la máxima cobertura a través de la aplicación del PLMC.

En el método de Ardalan (Duarte *et al.*, 2005) se toman las distancias entre las dieciséis comunas de Medellín y sus respectivas cantidades poblacionales (Alcaldía de Medellín, 2020), se calcula la ponderación y luego se multiplican estos tres factores para hallar el costo de cada comuna., encontrando 4 comunas que cumplen con el criterio de menor costo a saber: la comuna 5 Castilla, la comuna 10 La Candelaria, la comuna 11 Laureles y la comuna 12 La América.

La formulación del método Ardalan se basa en la ecuación (1), y los datos obtenidos, de acuerdo con las localizaciones geográficas del centro de las comunas, se muestra en la tabla 1:

$$(C = D * P * Pd) \quad (1)$$

Donde, *C* es el costo, *D* la distancia, *P* la población (en miles), *Pd* la ponderación

El PLMC fue planteado por Church & Davis (1992). En este problema se considera un conjunto de puntos de demanda y un conjunto de instalaciones a localizar. Cada punto de demanda tiene asociado un valor, el cual representa la importancia del punto; por ejemplo, la demanda generada en el punto de demanda. Las instalaciones pueden ser localizadas en cualquiera de los puntos demanda (Guzmán *et al.*, 2017). En la figura 1 se muestra una solución factible para el PLMC con una instalación, la cual cubre un total de dieciséis puntos de demanda. El tamaño de los puntos indica su nivel de importancia (demanda). Hay una ubicación potencial para localizar la instalación.

Tabla 1. Matriz de distancias y población por comunas

Comunas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	P	Pd
1. Popular	0	2,8	5,3	4,6	5,9	6,8	12,6	6,7	13,3	7,4	12	11,8	15	15,6	16,5	14	132,9	0,06
2. Santa Cruz	2,8	0	6,3	2,7	2,8	4,6	7,1	5,1	10,7	6,9	8,2	9,7	11,8	12,2	12,8	13,6	114,0	0,05
3. Manrique	5,3	6,3	0	5,8	4,6	6,9	7,1	5,4	8,1	4,3	6,7	7,5	9,9	9,6	10,7	7,8	162,9	0,07
4. Aranjuez	4,6	2,7	5,8	0	2,7	3,8	8,1	3,5	5,6	5,9	6,8	8,7	10,4	11,4	12	9,5	163,7	0,07
5. Castilla	5,9	2,8	4,6	2,7	0	1,8	4,6	6,7	10,8	6,6	6,6	8,3	10,2	12,3	12,5	10,3	152,2	0,07
6. Doce de octubre	6,8	4,6	6,9	3,8	1,8	0	4,6	12,3	12,4	7	7,7	6,9	12,9	13	14,1	11	196,3	0,09
7. Robledo	12,6	7,1	7,1	8,1	4,6	4,6	0	11	8,2	7,2	4,1	3,6	5,8	10,9	11,1	6,6	177,9	0,08
8. Villa Hermosa	6,7	5,1	5,4	3,5	6,7	12,3	11	0	3,4	3,3	6,1	7,9	10,8	11,2	11,4	9,2	139,9	0,06
9. Buenos Aires	13,3	10,7	8,1	5,6	10,8	12,4	8,2	3,4	0	4,5	4,9	6,6	8,1	6,5	7,8	6,2	137,5	0,06
10. La Candelaria	7,4	6,9	4,3	5,9	6,6	7	7,2	3,3	4,5	0	3,7	5,3	8	7,2	7,5	4,8	85,8	0,04
11. Laureles	12	8,2	6,7	6,8	6,6	7,7	4,1	6,1	4,9	3,7	0	2,5	4,8	7,7	7,6	3,9	123,4	0,05
12. La América	11,8	9,7	7,5	8,7	8,3	6,9	3,6	7,9	6,6	5,3	2,5	0	2,9	8,8	7,4	4,1	97,8	0,04
13. San Javier	15	11,8	9,9	10,4	10,2	12,9	5,8	10,8	8,1	8	4,8	2,9	0	9,9	10,2	5,6	140,7	0,06
14. El Poblado	15,6	12,2	9,6	11,4	12,3	13	10,9	11,2	6,5	7,2	7,7	8,8	9,9	0	4,2	6,8	134,9	0,06
15. Guayabal	16,5	12,8	10,7	12	12,5	14,1	11,1	11,4	7,8	7,5	7,6	7,4	10,2	4,2	0	3,9	96,5	0,04
16. Belén	14	13,6	7,8	9,5	10,3	11	6,6	9,2	6,2	4,8	3,9	4,1	5,6	6,8	3,9	0	197,1	0,09

Fuente: Elaboración propia basada en datos de Alcaldía de Medellín (2020) y Google Maps

Figura 1. Problema PLMC con una instalación y cuatro localizaciones potenciales

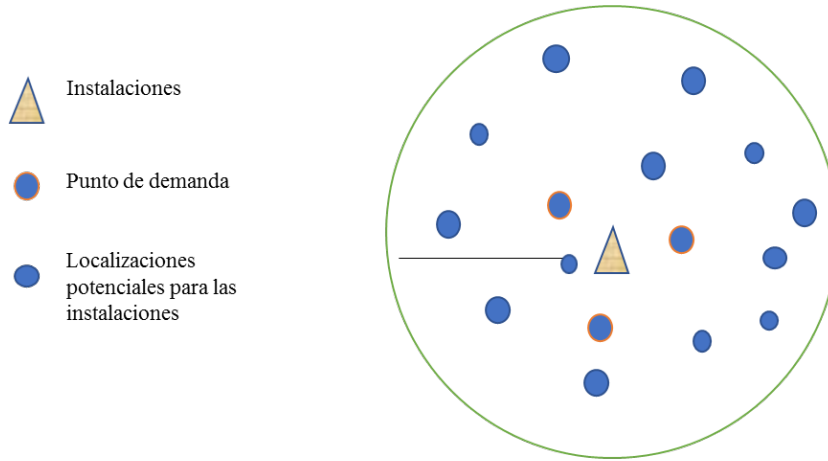


Fig 1. Problema PLMC con una instalación, cuatro localizaciones potenciales

Fuente: Elaboración propia, adaptada de Guzmán Guzmán, V.C. y otros. (2017). Un modelo de localización de máxima cobertura difuso para el despliegue óptimo de ovitrampas para monitorear al *Aedes Aegypti*. En *VII Taller Latino-Iberoamericano de Investigación Operacional Economía Social, Innovación y Emprendimiento* (pp. 1-9).

La formulación del PLMC es como sigue (Guzmán *et al.*, 2017).

i, I índice y conjunto de los puntos de demanda

j, J índice y conjunto de las localizaciones potenciales para las instalaciones.

N_i $\{j \in J \mid dij \leq S\}$ el conjunto de localizaciones potenciales que pueden cubrir el punto i dentro del tiempo o distancia S , dij es la distancia entre el punto i y la ubicación potencial para la instalación.

S distancia máxima establecida para responder a una demanda.

P número fijo de instalaciones a localizar

w_i valor que representa la demanda asociada al punto i .

x_j 1 si una instalación es ubicada en la localización j , 0 en otro caso.

y_i representa la cobertura del punto i , 1 si está cubierto ($\exists j \mid x_j = 1 \quad \forall j \in N_i$), 0 en otro caso.

Función objetivo:

$$\max \sum_{i \in I} w_i y_i \quad (1)$$

Sujeto a:

$$\sum_{j \in N_j} x_j \geq y_i \quad \forall i \in I \quad (2)$$

$$\sum_{j \in J} x_j = p \quad (3)$$

$$x_j \quad \forall j \in J \quad (4)$$

$$y_i \in \{0,1\} \quad \forall i \in I \quad (5)$$

La función objetivo maximiza la demanda cubierta por el conjunto de instalaciones. La restricción (2) establece que una o más instalaciones estarán localizadas dentro de la distancia o tiempo de viaje predefinido S , a partir del punto de demanda i . La restricción (3) asegura que el número de instalaciones a localizar sea p . Por último, las restricciones (4) y (5) indican el carácter binario de las variables x_j e y_j .

El problema de localización para la instalación de un centro de atención de desastres en la ciudad de Medellín tiene dos objetivos: maximizar la cobertura de la población ubicada dentro de S kilómetros, y minimizar la distancia que debe recorrer la población para llegar a la localización. Para resolver este problema se utiliza la formulación matemática a través de programación lineal entera mixta y se resuelve mediante el Solver de Excel. Como parámetro de ingreso de distancia de cobertura, para una distancia media de 7 km. Esta distancia se calcula así: de 16,5 km, que es la mayor distancia, se resta 1,8 km, que es la menor distancia y la se divide entre dos, lo que da como resultado 7,35 km.

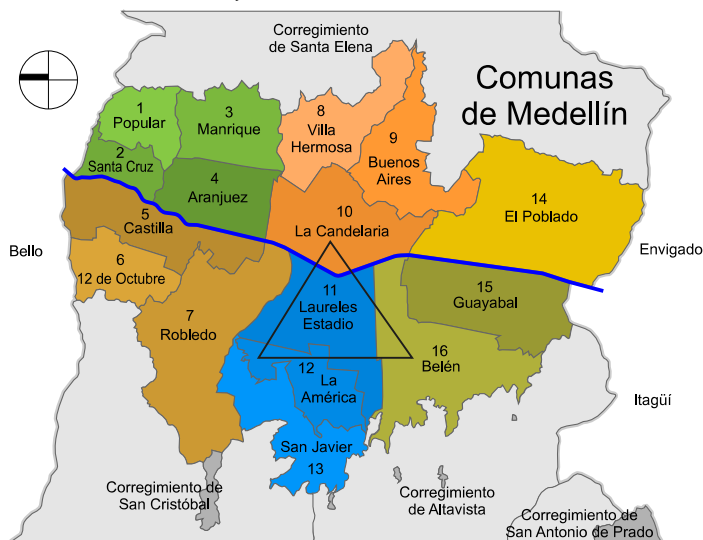
6.5 Resultados y discusión

En este análisis se consideran las dieciséis comunas de Medellín y la población contagiada de covid-19 en el transcurso de los últimos meses (MEData, 2020), y a través del método de Ardalan ($C = D * P * P_d$), donde C : es el costo, D : la distancia, P : la población y P_d la ponderación. Se encuentran las comunas que tienen mayor peso, en conjunto, entre distancia y población. Se halla, entonces,

que las comunas 5 (Castilla), 10 (La Candelaria), 11 (Laureles) y 12 (La América) son las que cumplen con dicho criterio para atender debidamente cualquier ocurrencia de desastre.

Partiendo de dicho resultado, se calculan las formulaciones planteadas en el PLMC, resolviendo en Solver la función objetivo con sus restricciones, para una distancia media de 7 km, y se halló que la comuna 11, Laureles, es la que tiene mayor capacidad de cobertura: 1597 de los 2227 contagiados que había en Medellín con corte al 11 de octubre de 2020 (MEData, 2020), por lo que se elige la misma como el *Centro Piloto de atención en desastres*, y está ubicada cerca del centro de la ciudad, como se puede apreciar en la figura 2.

Figura 2. Mapa comunas de Medellín y cobertura de la instalación encontrada



Fuente: Adaptado a partir de File:Comunas de Medellin.svg. (2020, September 14). Wikimedia Commons, the free media repository. Retrieved 13:58, May 22, 2021 from https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:Comunas_de_Medellin.svg&oldid=459199371.

6.6 Conclusiones

De las cuatro comunas evaluadas, la comuna 11, Laureles, es la que mayor capacidad de cobertura tiene para la atención de desastres. Luego de resolver

el problema, se encontró que está en capacidad de atender 1597 pacientes de los 2227 que se tienen a corte de 11 de octubre de 2020.

El modelo facilita la toma de decisiones en cuanto al mejor punto de ubicación de instalación para atención de desastres que permite una máxima cobertura de la población en estudio, de acuerdo con las demandas; además, permite la disminución de distancias (costos) entre cada una de las comunas.

Los métodos de Ardalan y el PLMC ayudan a visualizar una localización que no solo tenga los mínimos costos, sino que, a la vez, cuente con una mayor cobertura, lo que le garantiza al paciente una atención más rápida y eficaz.

Referencias bibliográficas

- Akwafuo, S. E. *et al.* (2020). Optimization models for emergency response and post-disaster delivery logistics: a review of current approaches. *International Journal of Engineering Technologies and Management Research*, 7(8), pp. 35-49. doi: 10.29121/ijetmr.v7.i8.2020.738.
- Alcaldía de Medellín. (2020). Proyecciones de población 2016 a 2020 de Medellín. <https://www.medellin.gov.co/irj/portal/medellin?NavigationTarget=navurl://06bdb4d911e35cb9d-3de717115deedc3>
- Church, R. L. & Davis, R. R. (1992). The fixed charge maximal covering location problem. *Papers in Regional Science*, 71(3), 199-215. <https://doi.org/10.1007/BF01434264>
- Colombia. Ministerio de Salud y Protección Social. (2020). Colombia supo comprar tiempo para enfrentar el covid-19. <https://www.minsalud.gov.co/Paginas/Colombia-supó-comprar-tiempo-para-enfrentar-el-covid-19.aspx>
- Duarte, J. y otros. (2005). Modelo heurístico-matemático para la localización de instalaciones industriales. *Revista UIS Ingenierías*, 4(1), 9-15.
- File:Comunas de Medellin.svg. (2020, September 14). Wikimedia Commons, the free media repository. https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:Comunas_de_Medellin.svg&oldid=459199371
- Guzmán, V.C. y otros. (2017). Un modelo de localización de máxima cobertura difuso para el despliegue óptimo de ovitrampas para monitorear al *Aedes Aegypti*. En VII Taller Latino-Iberoamericano de Investigación Operacional Economía Social, Innovación y Emprendimiento (pp.1-9).
- Li, X. *et al.* (2011). Covering models and optimization techniques for emergency response facility location and planning: A review. *Mathematical Methods of Operations Research*, 74(3), 281-310. <https://doi.org/10.1007/s00186-011-0363-4>
- MEData (2020). COVID 19 Medellín. Medellín-en-cifras/covid-19-medellín. Consultado el 20 de octubre de 2020. <http://medata.gov.co/medell%C3%ADn-en-cifras/covid-19-medell%C3%>

Capítulo 7

Implementación de la metodología 5s en una productora de materiales de fricción nacional (RECO S.A)

Implementation of the 5s methodology in a national friction materials producer (RECO S.A)

Rodrigo Jaramillo-Gómez*

Esneider Molina-Bustamante**

Cristian G. Gómez-Marín***

Resumen

Este trabajo fue realizado como una propuesta de mejora basada en la metodología 5s, ante la problemática de organización y factores higiénicos que se presentaban en el área de producción de la empresa Reco S.A. Se identificaron los puntos críticos respecto a orden, limpieza y organización, se conformó un equipo para el planteamiento de la estandarización y el plan de auditoria y mejoramiento continuo. En cada proceso se establecieron los indicadores para medir el nivel de cumplimiento de las 5S y, finalmente, se auditó el área con respecto a cada S, con el fin de validar los resultados del programa y comparar el antes y el después del desarrollo de la metodología. Se logró una disminución de los tiempos y el aumento de los indicadores de orden, limpieza y estandarización.

Palabras claves: metodología 5S, ambiente laboral, mejoramiento continuo, indicadores, productividad.

* Estudiante Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas, Instituto Tecnológico Metropolitano (ITM), Medellín – Colombia. Correo electrónico: rodrigojaramillo144926@correo.itm.edu.co

** Estudiante Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas, Instituto Tecnológico Metropolitano (ITM), Medellín – Colombia. Correo electrónico: esneidermolina97382@correo.itm.edu.co

*** Grupo de Calidad, Metrología y Producción, Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas, Instituto Tecnológico Metropolitano ITM. Medellín- Colombia. Correo electrónico: cristiangomez@itm.edu.co

7.1 Introducción

Una de las formas en que las organizaciones pierden en índices de calidad, se debe a desperdicios generados por falta de orden y de limpieza en el lugar de trabajo, afectando directamente el alcance de los objetivos. Una respuesta a esta problemática es el uso de herramientas de Lean Manufacturing. Particularmente, las 5S son una herramienta basada en los principios de la filosofía Kaizen que proviene de los cinco principios japoneses organización o selección: (*Seiri*), orden (*Seiton*), limpieza (*Seiso*), estandarización (*Seiketsu*) y disciplina (*Shitsuke*), basados en la eliminación planeada de desperdicios y de toda operación que no agregue valor al producto, al respeto por el equipo de trabajo, y a la mejora de la producción y la calidad (Serrano y Suárez, 2004).

Este trabajo se realizó como alternativa propuesta de mejora, ante la problemática de organización y factores higiénicos que se presentaban en la empresa Reco S.A. y que afectaban de forma directa el área operativa de la compañía, en cuanto a tiempos de producción, rendimiento laboral, calidad del producto, cumplimiento y satisfacción del cliente; sin contar los sobrecostos, en razón a los reprocesos o pérdidas que se presentaban por falta de un plan de trabajo que garantizara mejores condiciones de orden, limpieza y seguridad.

El contenido del capítulo se estructura de la siguiente forma. En primer lugar, se contextualizaron las problemáticas que interfieren en la realización de las operaciones de la empresa, dado que esta no cumplía con los estándares de producción. En segundo lugar, se sustentaron desde una perspectiva conceptual, la importancia de las mejoras a proponer en la empresa, bajo la explicación teórica que definen la eficiencia operativa y organizacional; por último, se buscó mediante su aplicación dentro de la organización, la implementación de soluciones a nivel técnico, basándose, principalmente, en la optimización del espacio de operación y la estandarización del proceso de producción.

7.2 Planteamiento del problema

Reco S. A. es una empresa que produce y comercializa productos automotores e industriales. Durante sesenta años ha producido material de fricción con un excelente índice de desgaste. Su visión está centrada en satisfacer las expec-

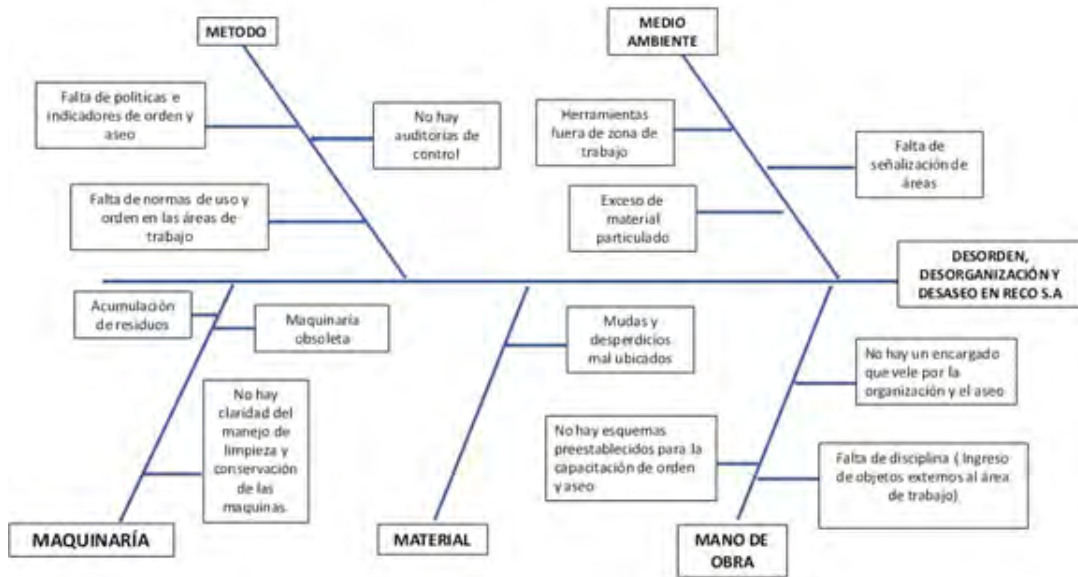
tativas de los clientes, brindando confort, calidad y durabilidad, en busca del posicionamiento en el mercado por medio del crecimiento y sostenibilidad. Dicho propósito se ha visto afectado por diversos factores, entre ellos, la prohibición del asbesto que suspendió la certificación de calidad, la falta de acompañamiento a los procesos por parte de las directivas, la falta de continuidad en proyectos de mejoramiento. Asimismo, su producción en línea se ha visto afectada por otros aspectos relacionados con la organización, el aseo, el movimiento, el inventario, el exceso de proceso, el reproceso y la sobreproducción.

Se ha identificado que en el área de producción de la empresa Reco S.A. es necesario implementar una metodología que integre los conceptos de limpieza, eficiencia y capacitación de personal para cada puesto de trabajo, con lo cual se busca mejorar el clima organizacional (Arriola y otro, 2011; Hernández et al., 2015; Sousa, 2014).

En el área almacenamiento de materias no se tiene una debida demarcación y organización para el reparto durante el proceso; por tanto, no es posible saber en qué orden se pueden utilizar las mismas, es decir, no existe diferenciación en el orden de entrada y salida del almacén.

Dentro de las diferentes etapas de línea productiva, se observan pasillos obstruidos por moldes o carros de mezclas mal ubicados, falta de demarcación y marcación en todo el proceso y la maquinaria, herramientas obsoletas en diferentes centros de trabajo, calzas, sobrantes o desperdicios en estanterías que generan desorden. En la figura 1 se encuentran ilustrados los problemas que hay dentro del área de producción:

Figura 1. Diagrama causa/efecto



Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con lo planteado, surge la pregunta ¿cómo dar solución a los problemas de desorganización, desorden y suciedad, en el área de producción de Reco S.A., como base del mejoramiento continuo?

7.3 Objetivos

7.3.1 General

Desarrollar un plan de implementación de la metodología 5S en el área de producción de la empresa RECO, de manera que se logre la correcta utilización de los recursos en las áreas de trabajo que apunten a la reducción de la desorganización, el desorden y la suciedad.

7.3.2 Específicos

- Diagnosticar el estado actual del área de producción con fin de listar las prioridades a intervenir de las áreas de trabajo.

- Estructurar un plan de aplicación y capacitación de la metodología 5s al personal operativo y al área de producción
- Diseñar un plan de auditorías para la evaluación continua y permanente de la metodología en la organización.

7.4 Métodos

El desarrollo de esta propuesta se llevó a cabo mediante una investigación documental y experimental, basada en fuentes conceptuales que versan en torno a la aplicación de la metodología 5s. Estas fueron el punto de partida para implementarla en la organización y, posteriormente, evaluar los resultados en función del alcance.

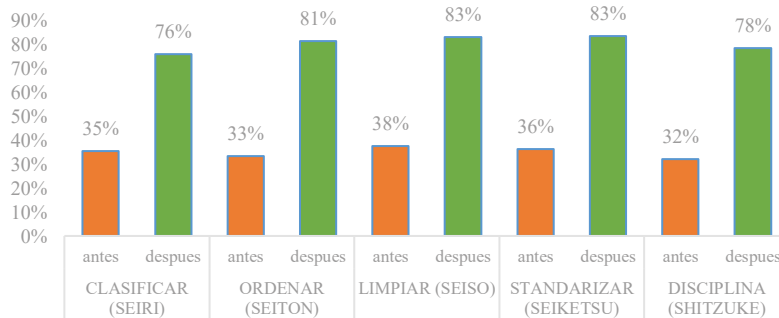
Se desarrolló a través de métodos cuantitativos y cualitativos. El estudio cualitativo permitió identificar algunas variables relacionadas con el problema y fue la base para un proceso de investigación documental, con el fin de identificar la base teórica que sustenta los cambios sugeridos (Abarca-Rodríguez *et al.*, 2013). A partir de los resultados de la observación inicial, se realizó una evaluación cuantitativa de rendimiento, con el objeto de evaluar la eficiencia individual y conjunta de todo el proceso y diseñar las estrategias de aplicación de las 5s. Posteriormente, se evaluó y comparó el rendimiento con los resultados previos a la intervención mediante una serie de indicadores que se instauraron como parte de la evaluación constante en la organización. La metodología se resume en las siguientes actividades:

- A. Análisis y elaboración del diagnóstico del estado actual de la operación
 - Evaluación actual de la metodología 5s en los puestos de trabajo.
 - Revisión de tiempos estándar del método actual
- B. Construcción del método propuesto
 - Presentación de la metodología
 - Capacitación del personal
 - Implementación de la metodología 5S
 - Verificación de funcionalidad de la metodología
- C. Establecimiento del plan de auditorías.
 - Determinación de indicadores, periodicidad y puntos de evaluación

7.5 Resultados y discusión

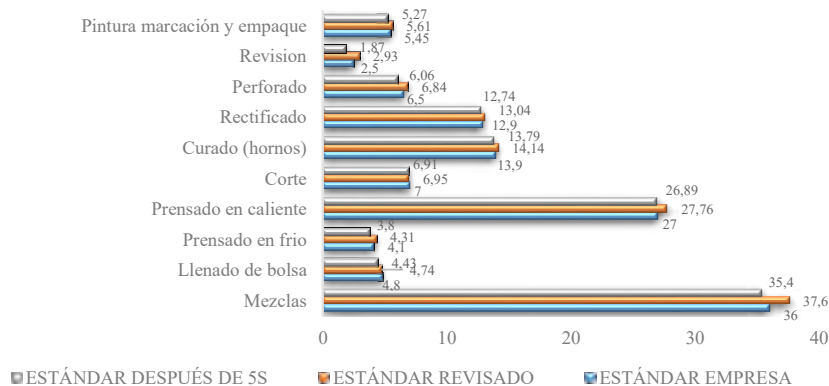
El diagnóstico de la situación actual, mediante la aplicación de un instrumento de valoración, permitió identificar las falencias en cada una de las 5S en el área de producción. Esta valoración inicial permite comparar los resultados de la situación inicial *versus* el resultado final, una vez se implementan las propuestas de mejora en las 5S, lo cual se puede observar en la figura 2. Un resultado importante es la disminución de los tiempos estándar, en comparación con los tiempos de la situación inicial. Esto se puede observar en la figura 3:

Figura 2. Comparación de valoración en cada puesto de trabajo



Fuente: Elaboración propia

Figura 3. Comparación tiempos estándar



Fuente: Elaboración propia.

7.6 Conclusiones

La disminución de los tiempos y el aumento de los indicadores de orden, limpieza y estandarización fueron algunos de los principales logros a nivel operativo. Asimismo, el haber vinculado a este proceso, tanto a administrativos como a operarios, permitió el trabajo en equipo para la consecución del objetivo general de este proyecto, cuya finalidad es la correcta utilización de los recursos en las áreas de trabajo y, en consecuencia, la reducción de la desorganización, el desorden, la suciedad y con ello la disminución del riesgo de accidentalidad.

En cuanto a las recomendaciones, se quiere establecer una capacitación para los operarios nuevos en la cual se dé a conocer en qué consiste y cómo se ejecuta cada fase de esta herramienta de Lean Manufacturing, para asegurar la continuidad de la metodología 5S en la compañía. Esto también debe conducir a desarrollar herramientas promocionales, como simbolismos, infogramas y post que faciliten la comprensión de la metodología 5S y generen retentiva en quienes hacen parte del área de producción, con el fin de que este tipo de proyectos no sean de momento, sino que puedan conservarse para contribuir al mejoramiento continuo de la empresa.

Referencias bibliográficas

- Abarca-Rodríguez, A. *et al.* (2013). *Técnicas cualitativas de investigación*. UCR.
- Arriola, M. A., Salas, É. y Bernabé, T. (2011). El clima como manifestación objetiva de la cultura. *Revista Ciencias Estratégicas*, 19, 109-127.
- Hernández, E. J. *et al.* (2015). Impacto de las 5S en la productividad, calidad, clima organizacional y seguridad industrial en la empresa Cauchometal Ltda. *Revista Chilena de Ingeniería*, 23, 107-117. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052015000100013.107->
- Serrano Arenas, A. y Suárez González, A. (2004). *Análisis y evaluación de los elementos generales de la teoría de manufactura esbelta que pueden generar desarrollo en una empresa del sector de transformación de plásticos* [Tesis de pregrado]. Pontificia Universidad Javeriana. <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/7131>
- Sousa Combe, L. (2014). Eficiencia con las 5'S Limpieza y orden eficientes, clave del desarrollo japonés. *Hospitalidad ESDAI*, 25, 33-53. <https://revistas.up.edu.mx/ESDAI/article/view/1525>

Capítulo 8

Perspectivas de la manufactura inteligente para la Industria 4.0 basada en mediciones derivadas de soft metrología

Perspectives of smart manufacturing for Industry 4.0 based on measurements derived from soft metrology

Kelly Johanna Mesa-Cano*

Edilson Delgado-Trejos**

Resumen

En este estudio se presenta un marco de actualidad en cuanto a las perspectivas de la aplicación de las técnicas de soft metrología en la manufactura inteligente como una forma de aprovechamiento de las oportunidades que ofrece la industria 4.0, a fin de identificar tendencias de investigación.

Palabras claves: Industria 4.0, manufactura inteligente, soft metrología, sistemas de soporte de decisión.

8.1 Introducción

La soft metrología se define como el conjunto de modelos y técnicas que permiten la cuantificación de magnitudes que son subjetivas, difíciles o muy costosas de medir, como son aquellas relacionadas con la percepción humana

* Lab AMYSOD, Semillero Metrología Científica, Departamento de Calidad y Producción, Instituto Tecnológico Metropolitano ITM. Medellín-Colombia. Correo electrónico: kellymesa249188@correo.itm.edu.co

** Lab AMYSOD, Semillero Metrología Científica, Departamento de Calidad y Producción, Instituto Tecnológico Metropolitano ITM. Medellín-Colombia. Correo electrónico: edilsondelgado@itm.edu.co

o están embebidas en la dinámica de procesos muy complejos (Vallejo *et al.*, 2020), como los de manufactura. Así también la industria 4.0 y la manufactura inteligente configuran nuevos esquemas de operación que abren la puerta a sistemas novedosos y eficientes de fabricación, maximizando la flexibilidad y la capacidad de respuesta a las necesidades del mercado (Ynzunza-Cortés *et al.*, 2017).

En el sector manufacturero existe el reto asociado con los datos procedentes del proceso de producción, donde la aplicación de técnicas de soft metrología, basada, por ejemplo, en *big data analytics* (Tabares y Hernández, 2015), permite inferir el análisis efectivo de la demanda y la producción óptima, minimizando el desperdicio y el retrabajo, y convirtiendo este sistema de datos, caracterizado por ser pesado y altamente complejo, en un sistema de soporte para la toma de decisiones.

En este escrito, se presenta una revisión sobre las perspectivas de la manufactura inteligente, en el marco de las oportunidades que ofrece la Industria 4.0, en donde las estructuras metodológicas formales de la soft metrología soportan la construcción de espacios de representación, a través de esquemas de medición apoyados en inteligencia computacional, para sistemas de soporte de decisión.

8.2 Planteamiento del problema

La manufactura inteligente está en constante avance, dado el surgimiento de nuevas tecnologías en red basadas en el internet de las cosas (IoT), las implementaciones inalámbricas y la potencia informática debida al análisis de datos y modelos predictivos, con lo que se configura un horizonte no antes imaginado y sin precedentes (He y Wang, 2018). Sin embargo, la toma de decisiones en los sistemas de manufactura inteligente para la Industria 4.0 requiere información y conocimiento intrínseco en grandes cantidades de datos extraídos de los procesos de producción (Zheng, et al., 2018), y los modelos de decisión exigen alto tiempo de cómputo para converger en soluciones consistentes desde bases de datos grandes (Zhong, et al., 2014).

Por esta razón, en una encuesta reportada por Xin *et al.* (2015), el 55% de los encuestados consideró que la toma de decisiones no es visible en los niveles

superiores de sus organizaciones, en virtud de las dificultades de monitorear de manera comprensible sistemas de alta complejidad. En este sentido, las estructuras de soft metrología tienen la capacidad de adaptar espacios de representación para facilitar el monitoreo y alimentar sistemas de soporte de decisión (Vallejo, *et al.*, 2020), aunque se requiere conocimiento *a priori* de la naturaleza de los datos para optimizar las rutinas de predicción, regresión o detección de estados funcionales del sistema de análisis, asociados a los recursos compartidos de fabricación, para el uso completo de los equipos y servicios de fabricación, por lo que se requiere de un nuevo paradigma de fabricación.

8.3 Objetivos

El objetivo general del estudio se esboza en los siguientes términos: establecer el marco de actualidad sobre la manufactura inteligente basada en mediciones derivadas de la soft metrología en el marco de las oportunidades que ofrece la Industria 4.0. Los objetivos específicos son: a) Analizar las implicaciones en la manufactura inteligente que provocan los nuevos esquemas de la Industria 4.0, y la manera en que se puede obtener mayor provecho; b) Describir las posibilidades organizacionales donde se integran, efectivamente, la manufactura inteligente y la Industria 4.0; c) Determinar el papel de la soft metrología en el nuevo ecosistema compuesto por la manufactura inteligente y la Industria 4.0.

8.4 Métodos

La metodología de estudio se conformó de tres etapas: revisión, análisis y discusión (figura 1), usando las siguientes fuentes de información: Science Direct y Google Scholar. En los buscadores, se usaron las siguientes palabras claves en inglés: *soft metrology*, *smart manufacturing*, *Industry 4.0* y *neural network*; mientras en idioma español: soft metrología, manufactura inteligente, industrias 4.0 y redes neuronales. De la búsqueda exhaustiva se eligieron los artículos y actas de conferencia publicadas entre los años 2014 y 2020. La revisión y análisis se hizo en el marco de las siguientes preguntas de investigación:

- ¿De qué manera la manufactura inteligente puede ser potenciada por los nuevos esquemas de la Industria 4.0?

- ¿Qué tipo de tecnologías integran la manufactura inteligente basada en esquemas de la Industria 4.0 y cómo esa integración repercute organizacionalmente?
- ¿Qué aportan las mediciones derivadas de la soft metrología en las nuevas estructuras de la manufactura inteligente?

Figura 1. Metodología para la selección de información relevante para el estudio



Fuente: Elaboración propia

8.5 Resultados y discusión

Los resultados de esta investigación evidencian el avance logrado sobre la manufactura inteligente y la importancia que ha tenido en los diferentes sectores de las grandes industrias, además del impacto en la revolución digital, asociado a nuevas tecnologías, para el mejor aprovechamiento de la automática, informática, comunicación inalámbrica, inteligencia computacional y soft metrología.

8.5.1 El ecosistema de la manufactura inteligente en la Industria 4.0

La manufactura inteligente está definida por la habilidad de representar digitalmente, desde el diseño hasta el proceso de fabricación, cada aspecto de un proceso de producción, mediante el uso de herramientas de monitoreo y control computacional con enlace multiobjetivo y multiestructural, dentro de topologías de conectividad multisensorial y remota (Ynzunza-Cortés, *et al.*, 2017).

Por su parte, el concepto de Industria 4.0 surgió en Alemania, en 2011, como una política económica gubernamental basada en estrategias de alta tecnología, en función de una manufactura que aprovecha el poder de los nuevos avances de la automatización, la informática y las comunicaciones (Roblek *et al.*, 2016), como también la personalización de la producción, los servicios y el valor agregado, a fin de potenciar el intercambio de información entre humanos y máquinas, de forma más humana (Sommer, 2015).

Los principales países que han logrado un ecosistema de manufactura inteligente son: China, Alemania, Estados Unidos y Japón, puesto que han alcanzado a revolucionar la dinámica automotriz, aeronáutica y aquellas asociadas a las nuevas tecnologías digitales. Por ejemplo, entre 2000 y 2015, los fabricantes de vehículos que se sostuvieron en la cúspide de la industria automotriz fueron: la japonesa Toyota, la alemana Volkswagen y las estadounidenses General Motors y Ford Motor (Castillo, 2017). Su estrategia consistió en generar capacidades y conocimientos basados en la plataforma tecnológica de la Industria 4.0, moviendo el paradigma dominante del motor de combustión interna hacia la cultura del software y la conectividad.

Un nuevo ecosistema exige nuevos espacios de representación y decisión, en los cuales surgen nuevas visiones con nuevos retos y dificultades. El eje transversal de todos estos cambios es el concepto de medida para valorar, comprender y tomar decisiones que, para los procesos de producción, se deben sumar también las mediciones del bienestar de los trabajadores. La soft metrología ingresa a este nuevo ecosistema para caracterizar estos nuevos espacios de decisión, en los cuales surgen los retos de integración entre las mediciones de lo objetivo y lo subjetivo (Rossi, 2016).

8.5.2 Tecnologías que integran la manufactura inteligente con la Industria 4.0

La manufactura inteligente y la industria 4.0 incorporan de manera complementaria nuevas tecnologías que involucran simulación, fabricación aditiva, integración horizontal y vertical en fábricas inteligentes, ciberseguridad, realidad aumentada, computación en la nube, robótica autónoma, internet de las cosas, analítica avanzada y big data (Zheng, et al., 2018). También, toman

relevancia las tecnologías sociales, los sistemas ciberfísicos y de colaboración abierta, las plataformas móviles y las aplicaciones tecnológicas basadas en inteligencia artificial y tecnologías de la información (Roblek *et al.*, 2016).

La integración de tecnologías transforma el proceso de producción a una red que permite predecir, controlar y planear mejor los negocios y los resultados organizacionales. Estos cambios en la manufactura exigen un nuevo nivel de pensamiento en la organización de la cadena de valor y gestión, reconfigurando la forma en que operan los procesos, la cadena de suministro y los modelos de negocio (Blanchet, *et al.*, 2014). Por esta razón, es imperativo el surgimiento de líneas de investigación alrededor de estos conceptos y aplicaciones en cuanto a interoperabilidad, virtualización, descentralización, capacidades en tiempo real, orientación al servicio, y capacidades de autogestión, optimización y toma de decisiones en tiempo real.

8.5.3 Retos de la soft metrología con la manufactura inteligente en industrias 4.0

La soft metrología provee mediciones de magnitudes que pueden ser no observables, altamente complejas, subjetivas o de percepción humana, para la toma de decisiones sobre infraestructura, eficiencia organizacional, tiempos de operación y calidad del producto, a fin de crear nuevos modelos de manufactura basados en analítica de datos y espacios de decisión multiobjetivo (Vallejo *et al.*, 2020).

Desde esta perspectiva, el aumento de la productividad no solamente se refiere a estrategias de comunicación, inteligencia artificial, robótica, entre otras, con lo cual se logran mayores ingresos, sino también al potencial humano que involucra otros ejes asociados con su bienestar y crecimiento dentro de la empresa (Sánchez-Márquez, *et al.*, 2020). En este sentido, la metrología convencional debe trascender su objetivo tradicional de ayudar a especificar y comprender la realidad objetiva, y dar paso a la *soft* metrología que investiga el dominio de la percepción humana, como es la medición sicométrica (derivado de la percepción de los sentidos), las mediciones cualitativas (calidad percibida, satisfacción del cliente, entre otros), la econometría y sociometría y, en general, mediciones de capital humano como la biometría,

la inteligencia, el comportamiento, etc. (Fanton, 2019). Estas nuevas variables de medición son soportadas por la inteligencia computacional, que procesa los datos en espacios multivariados, donde se involucran los procesos de producción mediante información extraída de sensores y mediciones cualitativas del personal; y el entorno mediante soft sensores, donde se debe relacionar cada vez mejor el bienestar, la productividad y la planta de producción en el mismo espacio de decisión.

8.6 Conclusiones

De la primera pregunta de investigación se concluye que el nuevo ecosistema de manufactura inteligente, bajo plataformas de la Industria 4.0, puede ser potenciado en tanto la soft metrología contribuya a la representación conjunta compuesta por las variables técnicas, los índices de productividad y los indicadores de capital humano, provocando una verdadera comprensión de las dimensiones intrínsecas de la competitividad y productividad, en función de la toma de decisiones. En este sentido, se suscitan oportunidades de investigación alrededor de preguntas abiertas sobre enfoque, alcance y métodos.

La segunda pregunta de investigación conlleva a concluir que la manufactura inteligente soportada en la plataforma de la Industria 4.0 obliga a un nuevo pensamiento en cuanto a orden, proceso, flujo y dirección de la cadena de valor y estructura de gestión, a fin de lograr estabilidad de la operación dinamizada por las nuevas tecnologías, y su relación multipropósito con la cadena de suministro y los modelos de negocio, lo cual se convierte en un tema abierto de la literatura.

Finalmente, la tercera pregunta de investigación permite concluir que los mecanismos que provee la *soft* metrología abren un camino promisorio de investigación en cuanto a la generación de espacios de representación con nuevos métodos de medición inspirados en la percepción humana, de manera que es alcanzable la transformación de los planos subjetivos y complejos en esquemas de entrenamiento, que pueden dar información valiosa de inferencia y pronóstico computacional.

Referencias bibliográficas

- Blanchet, M., Rinn, T., Von-Thaden, G., y De-Thieulloy, G. (2014). *INDUSTRY 4.0 The new industrial revolution: How Europe will succeed*. Munich-GERMANY: Roland Berger Strategy Consultants GMBH.
- Castillo, M. (2017). El estado de la manufactura avanzada: Competencia entre las plataformas. *Desarrollo Productivo*, 217, 1-48.
- Fanton, J.-P. (2019). A brief history of metrology: past, present, and future. *International Journal of Metrology and Quality Engineering*, 10(5), 2019005 pp.
- He, Q., y Wang, J. (2018). Statistical process monitoring as a big data analytics tool for smart manufacturing. *Journal of Process Control*, 67, 35-43.
- Roblek et al. (2016). A Complex View of Industry 4.0. *SAGE Open*, 6(2), 1-11.
- Rossi, L. (2016). Objectifying the Subjective: Fundamentals and Applications of Soft Metrology. En L. Cocco, *New Trends and Developments in Metrology*. London, UK: IntechOpen Limited.
- Sanchez-Marquez, R., Albarracín-Guillem, J., Vicens-Salort, E., y Jabaloyes-Vivas, J. (2020). Diagnosis of quality management systems using data analytics – A case study in the manufacturing sector. *Computers in Industry*, 115, 103183 pp.
- Sommer, L. (2015). Industrial Revolution - Industry 4.0: Are German Manufacturing SMEs the First Victims of this Revolution? *Journal of Industrial Engineering and Management*, 8(5), 1512-1532.
- Tabares, L., y Hernández, J. (2015). *Big Data Analytics: Oportunidades, Retos y Tendencias*. Cali, Colombia: Repositorio de la Especialización en Procesos para el Desarrollo de Software, Universidad San Buenaventura.
- Vallejo, M., de la Espriella, C., Gomez-Santamaria, J., Ramirez-Barrera, A., y Delgado-Trejos, E. (2020). Soft metrology based on machine learning: a review. *Measurement Science and Technology*, 31(032001), 16pp.
- Xin, J., Zong, S., Li, Y., Wu, S., Yin, W., y Ge, W. (2015). A Domain Knowledge Based Method on Active and Focused Information Service for Decision Support within Big Data Environment. *Procedia Computer Science*, 60, 93-102.
- Ynzunza-Cortés, C., Izar-Landeta, J., Bocarando-Chacón, J., Aguilar-Pereyra, F., y Larios-Osorio, M. (2017). El Entorno de la Industria 4.0: Implicaciones y Perspectivas Futuras. *Conciencia Tecnológica*, 54, 33-45.
- Zheng, P., Wang, H., Sang, Z., Zhong, R., Liu, Y., Liu, C., . . . Xu, X. (2018). Smart manufacturing systems for Industry 4.0: Conceptual framework, scenarios, and future perspectives. *Frontiers of Mechanical Engineering*, 13, 137-150.
- Zhong, R., Huang, G., Dai, Q., y Zhang, T. (2014). Mining SOTs and dispatching rules from RFID-enabled real-time shopfloor production data. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 25, 825-843.

Capítulo 9

Mejoramiento del proceso de termoformado de gabinetes usando cartas de control

Improving Cabinet Thermoforming Process using Control Charts

Didier A. Arango-Ríos*

Juan M. Cogollo Flórez**

Resumen

El objetivo de este trabajo es analizar la mejora del rendimiento en calidad de un proceso de termoformado de gabinetes para refrigeradores a través del diseño e implementación de cartas de control. La metodología utilizada consiste en i) caracterizar las variables de control del proceso, ii) determinar el plan de muestreo, iii) realizar monitoreo del proceso usando cartas de control, y (iv) verificar la efectividad del uso de las cartas de control. Los resultados obtenidos evidencian una mejora en la estabilidad y la capacidad del proceso para el cumplimiento de las especificaciones y un aumento de *Quality Yield* del 80% al 97%.

Palabras claves: mejoramiento de procesos, termoformado, gabinetes, cartas de control.

9.1 Introducción

En el pasado, la fabricación de gabinetes termoformados para refrigeradores dependía de la experticia de los operarios para la producción y la inspección del producto terminado para descartar aquellos productos que no cumplían las especificaciones y reprocesarlos. Esto implicaba inspecciones y reinspecciones

* Estudiante Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas, Instituto Tecnológico Metropolitano (ITM), Medellín – Colombia. Correo electrónico: didierarango218855@correo.itm.edu.co

** Grupo de Calidad, Metrología y Producción, Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas, Instituto Tecnológico Metropolitano ITM. Medellín- Colombia. Correo electrónico: juancogollo@itm.edu.co

ineficientes que se reflejaban en altos costos de no calidad por la inspección, el costo del reproceso y el costo de las materias primas (Moreno, 2013).

Es evidente que es más adecuado implementar sistemas de control de calidad de manufactura de gabinetes orientados a evitar desperdicios y reprocesos y reducir costos de no calidad (Montgomery, 2013; Slack *et al.*, 2016). Esto se logra implementando una estrategia de manufactura centrada en “hacerlo bien desde la primera vez”, donde todo el personal de la organización se comprometa a crear calidad y que comprenda e interiorice, a plenitud, todos los elementos de las herramientas de Control Estadístico de la Calidad (Jaramillo, 2017). Así, se podrá determinar en tiempo real la estabilidad del proceso y su capacidad para el cumplimiento de las especificaciones de diseño y, en general, tomar acciones correctivas o preventivas basadas en información clara y veraz, a partir de datos confiables estadísticamente (Hausmann, 2019).

Con base en lo anterior, en este artículo se muestran los resultados de una investigación aplicada en el proceso de fabricación de gabinetes para refrigeradores de una empresa colombiana, cuyo nombre se omite debido a compromisos de confidencialidad. En los siguientes apartados se describen la metodología utilizada y los resultados de la implementación de un plan de monitoreo y control basado en cartas de control X-s, logrando mejoras significativas en la estabilidad del proceso y en los indicadores de productividad en calidad.

9.2 Planteamiento del problema

El proceso de fabricación de gabinete termoformado, objeto de estudio, hace parte de la cadena productiva de manufactura de un refrigerador. Este proceso tiene un alto grado de complejidad debido a sus condiciones y a las variables involucradas (Moscoso y Yalan, 2013). De acuerdo con los resultados obtenidos de un diagnóstico de las condiciones iniciales del proceso, se evidencia la falta de una herramienta que permita controlar efectivamente los espesores del gabinete cuando sale de la máquina termoformadora. Así, se han generado impactos negativos en la productividad, con costos de no calidad elevados (el monto se omite debido a compromisos de confiabilidad con la empresa) y un indicador *Quality Yield* del 80%.

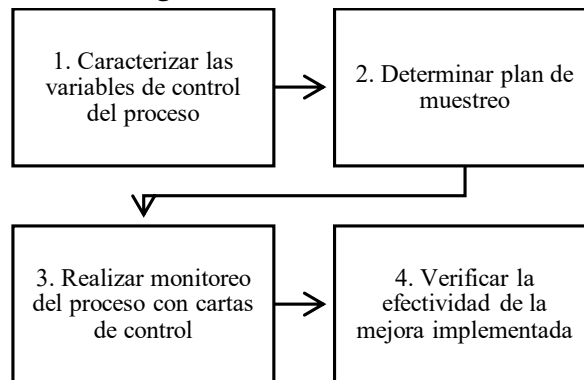
9.3 Objetivo

El objetivo del trabajo es analizar la mejora del desempeño en calidad del proceso de termoformado en la fabricación de gabinetes para un tipo de electrodomésticos de la línea blanca, mediante la aplicación de cartas de control.

9.4 Metodología

Este trabajo es de tipo descriptivo, ya que se analizó el proceso de termoformado y las variables que afectan la calidad del proceso y el producto final en cuanto a su espesor. También, es de tipo cuantitativo, dado que se enfoca en la aplicación de herramientas estadísticas (cartas de control) para el monitoreo, control y mejora del proceso en estudio. El alcance de la metodología es la identificación oportuna de causas especiales de variabilidad en el proceso y el cumplimiento de las especificaciones de diseño de los gabinetes. La metodología utilizada para la mejora del proceso de termoformado de gabinetes se centró en la aplicación de cartas de control a través de cuatro etapas enunciadas en la figura 1: 1) caracterizar las variables de control del proceso, 2) determinar plan de muestreo, 3) realizar monitoreo del proceso usando cartas de control, y 4) verificar la efectividad del uso de las cartas de control.

Figura 1. *Etapas de la metodología*



Fuente: Elaboración propia

9.5 Resultados y discusión

9.5.1 Caracterización de las variables del proceso

El proceso de termoformado del gabinete inicia con una lámina extruida, previamente fabricada, que pasa por una máquina termoformadora que cuenta con un molde en aluminio con la forma de la referencia a elaborar. Antes de que la lámina copie la forma requerida, esta pasa por un precalentamiento a 50°C con el fin de modificar la estructura de las partículas del material hasta volverlo maleable. Luego, unas pinzas transportadoras la llevan al molde, el cual consta de noventa resistencias de calor a diferentes temperaturas; allí, una ráfaga de aire genera un vacío y con este una burbuja en la lámina previamente precalentada. Esta burbuja cae al molde copiando la forma establecida y se transforma en el producto final, en un tiempo de residencia de tres segundos. En la tabla 1 se muestran los parámetros de operación de la variable *presión de la termoformadora*.

Tabla 1. Parámetros de presión de operación de la termoformadora

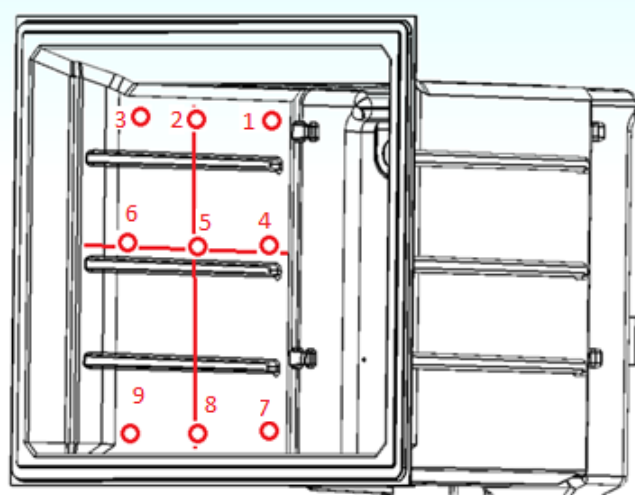
Parámetro	Especificación
Retardo subido plano formado inferior	19 ± 3 PSI
Burbuja	6 ± 1 PSI
Retardo vacío lento	3 ± 1 PSI
Retardo vacío rápido	9 ± 3 PSI
Vacío	125 ± 10 PSI
Descarga de vacío	14 ± 2 PSI
Aire de deslizamiento	19 ± 3 PSI
Aire de separación	26 ± 2 PSI

Fuente: Elaboración propia

La variable respuesta del proceso es el espesor del gabinete, el cual tiene como especificación objetivo: 1,0 ± 0,2 mm. Las muestras para el análisis de dicha variable se tomaron de la siguiente forma: el gabinete superior está divi-

dido en cuatro partes con nueve puntos de medición; adicionalmente, cuenta con tres puntos de medición en el bisel frontal. El gabinete inferior está dividido en cuatro partes con nueve puntos de medición y, adicionalmente, nueve puntos en la parte interna. A manera de ejemplo, en la figura 2 se muestra la zonificación del gabinete superior con sus puntos de medición del espesor.

Figura 2. Zonificación de gabinete superior y puntos de medición del espesor



Fuente: Elaboración propia

9.5.2 Determinación de plan de muestreo

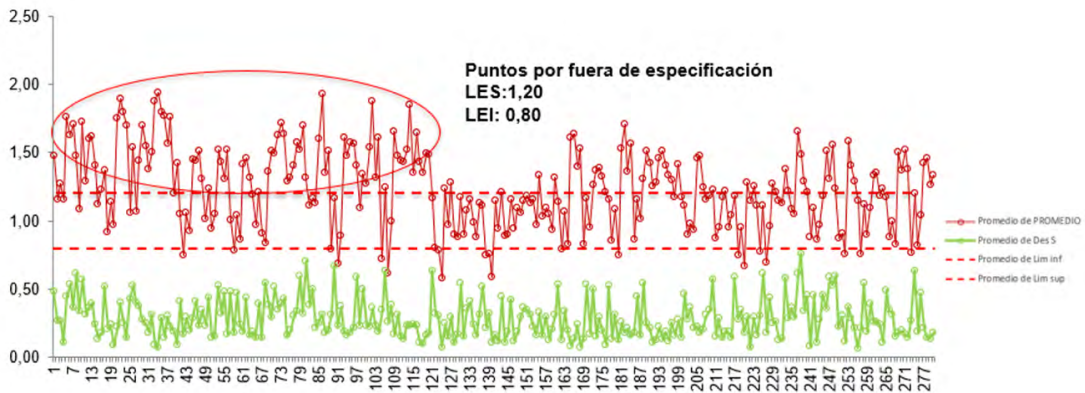
Se tomó aleatoriamente una muestra cada 15 minutos en promedio y, luego, se realizaron las mediciones del espesor definidas en el gabinete en los nueve puntos diferentes de acuerdo con la zona que se estaba midiendo. Se tomaron muestras de dos turnos consecutivos (10:00 p.m. a 6:00 a.m. y de 6:00 a.m. a 2:00 p.m.).

9.5.3 Monitoreo del proceso con cartas de control

Se diseñaron cartas de control -s para el monitoreo del proceso, por cuanto son las adecuadas, considerando el alto número de observaciones (puntos de medi-

ción) por muestra y que estas detectan con mayor facilidad pequeños cambios en el proceso (Gutiérrez y De La Vara, 2013). En la Figura 3 se muestra la carta de control del proceso, antes de la implementación del plan de monitoreo y control descrito en el numeral anterior, donde se evidencia que la mayoría de las muestras están por fuera del límite de especificación superior (1,2 mm) y tienen una alta variabilidad, con una desviación estándar de 0,50 mm.

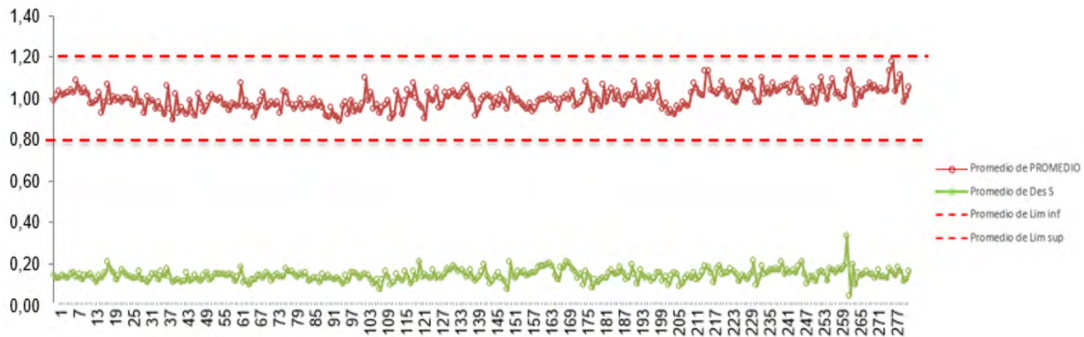
Figura 3. Gráfica -s antes de la mejora



Fuente: Elaboración propia

9.5.4 Verificación de la efectividad de la mejora

En la figura 4 se muestra la carta de control después de la implementación, donde se evidencia una mejora considerable en cuanto a la estabilidad del proceso, ya que no se presentan puntos por fuera de los límites de especificación y la desviación estándar bajó de 0,50 a 0,15 mm, lo cual confirma la reducción de la variabilidad del proceso. Adicionalmente, el indicador *Quality Yield* aumentó del 80%, antes de la implementación, hasta un 97% luego de la implementación.

Figura 4. Gráfica -s después de la implementación

Fuente: Elaboración propia

9.6 Conclusiones

El uso de herramientas del control estadístico de la calidad permitió identificar las variables críticas que afectaban el proceso de termoformado de gabinetes, facilitando la identificación de parámetros y niveles de operación óptimos. Con ello, se determinó de manera acertada hacia dónde enfocar los esfuerzos para una adecuada implementación de las cartas de control. La metodología utilizada favoreció el logro del objetivo de la investigación, dado que fue posible caracterizar las variables y los factores que influían en la calidad del producto final. Se desarrollaron cartas de control -s y se evaluó el impacto de estas en el funcionamiento y rendimiento del proceso.

La formación continua del personal en temas de control estadístico de la calidad representa un reto en la implementación de técnicas de mejoramiento continuo. También se debe trabajar en expandir la cultura de calidad total en los procesos y subprocesos de las plantas de manufactura, incluyendo las personas que conforman la cadena logística en cada uno de los procesos de transformación, desde la entrada de las materias primas hasta la entrega del producto final al cliente.

Referencias bibliográficas

- Gutiérrez, H., y De La Vara, R. (2013). *Statistical Quality Control and Six Sigma* (3rd ed.). McGrawHill.
- Hausmann, J. (2019). Sistema de control de calidad basado en modelos para la reducción de errores en el proceso de termoformado. *Materiales clave de ingeniería*, 809, 598-603. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/kem.809.598>
- Jaramillo, J. (2017). *Diseño de un modelo de control estadístico de la calidad al proceso productivo de película de poliestireno en la empresa Plastic Pac Cali S. A. S.* [Tesis de pregrado], Universidad Autónoma de Occidente. <https://red.uao.edu.co/bitstream/10614/9590/1/T07261.pdf>
- Moreno, L. (2013). *Estrategias de mejoramiento del proceso productivo de la línea de termoformado en la empresa Creapack Ltda.* [Tesis de pregrado]. Universidad Libre. <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/9394/Proyecto.pdf?sequence=1>
- Moscoso, J., y Yalan, A. (2013). *Mejora de la calidad en el proceso de la fabricación de plásticos flexibles de la empresa MARPLAST utilizando six sigma basado en la metodología DAMAIC* [Tesis de pregrado]. Universidad de San Martín de Porres. https://www.usmp.edu.pe/PFII/pdf/20132_7.pdf
- Montgomery, D. C. (2013). *Introduction to Statistical Quality Control* (7th ed.). John Wiley y Sons.
- Slack, N., Brandon-Jones (2016). *Operations Management* (8th ed.). Harlow, UK: Pearson.

En este libro se resalta la importancia de generar una conexión de las diferentes necesidades de las organizaciones públicas y privadas para alcanzar procesos más eficientes con iniciativas de investigación formativa que involucran la integración entre la práctica y la academia. Se pretende proveer un marco conceptual y práctico del uso de algunas de las herramientas utilizadas por las organizaciones para mejorar su eficiencia. En este sentido, el libro está organizado por capítulos en los que se desarrolla una herramienta y se expone su aplicación en las organizaciones con el fin de lograr desempeños superiores o resolver problemas en situaciones específicas.



Alcaldía de Medellín

VIGILADA Mineducación

Más información:

Teléfono: (604) 448 0520

Calle 73 # 73a - 226 Robledo, Vía El Volador

Medellín-Colombia



www.pascualbravo.edu.co