

Modelo estadístico de medición R & R en el pesaje de productos de la preparación de pedidos en un centro de distribución

Revista Soluciones de Postgrado EIA, Número 10. p. 45-64. Medellín, enero-junio de 2013

Rodrigo Andrés Gómez Montoya*

* Profesor Investigador Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Estudiante Doctorado en Ingeniería, Industrias y Organizaciones, Magíster en Ingeniería Administrativa e ingeniero industrial. Correo electrónico: ragomez@elpoli.edu.co

MODELO ESTADÍSTICO DE MEDICIÓN R & R EN EL PESAJE DE PRODUCTOS DE LA PREPARACIÓN DE PEDIDOS EN UN CENTRO DE DISTRIBUCIÓN

Rodrigo Andrés Gómez Montoya

Resumen

El artículo tiene como objetivo adaptar un modelo estadístico R&R para la medición de la precisión de sistemas de pesaje en la preparación de pedidos de productos agroindustriales en Centro de Distribución (CEDI). Como resultado se obtiene la importancia de utilizar modelos estadísticos que permitan evaluar y establecer sistemas de medición válidos y con precisión adecuada en el pesaje de los productos, buscando aumentar potencialmente la satisfacción de las necesidades de los clientes y la eficiencia en el CEDI. Adicionalmente, el modelo adaptado puede considerarse como un aporte al desarrollo de la agenda de investigación del tema en la medición de sistemas de pesaje en el CEDI, ya que se había identificado como una oportunidad de investigación en el estado del arte.

Palabras clave: centro de distribución, estadística industrial, logística, Modelo R&R, preparación de pedidos, precisión.

R & R MEASUREMENT STATISTICAL MODEL IN THE WEIGHING OF PICKING IN THE DISTRIBUTION CENTER

Abstract

The article aims to adapt a statistical model R & R to measure the accuracy of weighing system in agrobusiness products picking in Distribution Center (DC). As a result, you get the importance of using statistical models to assess and to establish valid and accurate measurement adequate weighing of products looking to increase the satisfaction of customer needs and efficiency in the DC. In addition, the adapted model can be considered as a contribution to the development of research agenda on the measurement issue of weighing systems in the CEDI, as it had been identified as a research opportunity in the state of the art.

Keywords: Center, Industrial Statistical, Logistics, Model R & R, picking, Accuracy

Modelo estadístico de medición R & R en el pesaje de productos de la preparación de pedidos en un centro de distribución

Rodrigo Andrés Gómez Montoya

Recibido: 16 de octubre de 2012. Aprobado: 4 de marzo de 2013. En discusión hasta el 30 de junio de 2013
Revista Soluciones de Postgrado EIA, Número 10. pp. 45-63. Medellín, enero-junio de 2013

1. Introducción

La preparación de pedidos o *picking* es una operación del CEDI (centro de distribución), que permite recoger los productos de las posiciones de almacenamiento especificados en las órdenes de pedidos con el fin de atender las necesidades de los clientes garantizando que se preparen los productos de las referencias adecuadas, en la cantidad, tiempo y calidad pactada en la negociación (Frazelle, 2002) (Pan y Shih, 2008).

Esta operación representa aproximadamente un 50% de los costos del CEDI, por lo cual, se considera como un aspecto crítico que afecta la eficiencia de este proceso logístico (Pan y Shih, 2008) (Pan y Wu, 2009).

Dentro de las actividades de la operación de la preparación de pedidos, el pesaje de los productos que conforman el pedido puede considerarse un aspecto determinante en la eficiencia y satisfacción del cliente, especialmente si se trata de productos agropecuarios o del

sector agroindustrial donde la unidad de venta en la negociación es la masa.

Por los motivos expuestos cobra interés el diseño o adecuación de un modelo de medición del pesaje de productos en la preparación de pedidos que garantice la precisión en los pedidos que se entregan a los clientes, buscando el cumplimiento de las condiciones negociadas. Una alternativa es el uso de los modelos estadísticos de reproducibilidad y repetibilidad (R&R) que permitan niveles adecuados de precisión en el sistema de medición de pesaje de los productos (Montgomery, 2008) (Pulido y Sánchez, 2008).

A partir de la información revisada en el estado del arte (ver numeral 2) y la importancia de la medición del pesaje en la preparación de pedidos, el presente artículo tiene como objetivo adaptar un modelo estadístico de medición R&R para el pesaje de productos en una báscula en la operación de preparación de pedidos en el CEDI que garantice niveles adecuados de precisión que impacte en la satisfacción de

los clientes y los costos de operación. El público del artículo son investigadores, profesionales, estudiantes y personas interesadas en la utilización de modelos estadísticos en las operaciones del CEDI buscando que este opere de manera eficiente.

El artículo se estructura en cuatro partes. En la primera parte se presentan los conceptos y una aproximación al estado del arte de la preparación de pedidos y el modelo de R & R aplicado a esta operación del CEDI. En la segunda, se presenta la metodología para adaptación del modelo R&R en el pesaje en la operación de preparación de pedidos. En la tercera parte se realiza el análisis y discusión de la aplicación del modelo R&R en la preparación de pedido en una empresa agroindustrial que procesa y comercializa ensaladas. Finalmente, se establecen las conclusiones y trabajos futuros derivados del artículo.

2. Teoría y exploración del estado del arte de la preparación de pedidos y la relación con el modelo de medición R & R para el pesaje de productos

El CEDI es un proceso logístico que facilita y agiliza la atención de los pedidos de los clientes, buscando reducir los costos de operación y utilizar adecuadamente los recursos. Para alcanzar el

objetivo del CEDI se planifican, ejecutan y controlan diferentes operaciones como: recepción, acomodo, almacenamiento, preparación de pedidos, despacho y *crossdocking*.

La preparación de pedidos o *picking* suele considerarse crítica para la eficiencia por el impacto en los costos y tiempos del CEDI (Pan y Shih, 2008)(Pan y Wu, 2009).

En el artículo se apropia la siguiente definición para la preparación de pedidos establecida por Dekoster, Leduc y Roodbergen (2007): “El proceso de recuperar los productos del sistema de almacenamiento para responder a requerimientos específicos de una orden. Debe considerarse esta operación como la más intensiva en mano de obra”.

En la operación de preparación de pedidos existen diferentes actividades que pueden afectar su eficiencia como: selección de estrategia (pedido a pedido, pedido por zona, olas o *picking list*), recolección de productos de las posiciones de almacenamiento, agrupación o consolidación de productos por pedidos de los clientes (Pan y Shih, 2008) (Dekoster *et al.*, 2007). Respecto a los recursos, esta operación utiliza personal competente, Tecnologías de Información y Comunicaciones (TIC), equipos de manejo de materiales (transpaletas, carretillas, malacates), equipos de pesaje, entre otros.

En empresas agropecuarias y agroindustriales de cárnicos, producción de alimentos, entre otras, la utilización de equipos de pesaje puede ser crítica en la preparación de pedidos, ya que la unidad de venta al cliente puede ser gramos, kilogramos o toneladas, o el comprador pretende utilizarlo como materia prima para otros procesos de producción haciendo fundamental el cumplimiento de la cantidad (Frazelle, 2002).

En el contexto de la preparación de pedidos descrito con anterioridad, se hace necesario garantizar la precisión de equipos de medición o báscula de pesaje. Para esto pueden utilizarse el modelo R & R que permite reducir los errores de medición del equipo (Venosa, King y Sorial, 2002). Este modelo puede ser adaptado a la medición de productos en la preparación de pedidos, permitiendo aumentar la precisión del pesaje, lo cual impacta potencialmente en la satisfacción de los clientes y la eficiencia del CEDI.

En una exploración del estado del arte acerca de la gestión, diseño y mejoramiento de la operación de preparación de pedidos o *picking* en bases de datos como: *Science Direct*, *Taylor and Francis*, *Emerald*, *Google Scholar*, no se identifica ningún artículo científico que desarrolle modelos o metodologías de sistemas de medición o pesaje en la operación de preparación de pedidos, incluyendo modelos estadísticos R&R.

En la literatura científica se identifican principalmente resultados de investigación e innovación relacionados con técnicas y herramientas para diseñar rutas en la preparación de pedidos y evaluación de desempeño considerando autores como: a) Theys, Bräysy, Dullaer y Raa (2010), que utilizan el método TSP (Travelling Salesman Problem) para diseñar estrategia de ruteo en la preparación de pedidos con múltiples pasillos paralelos. Con este enfoque de TSP —y heurísticos— los autores indican que se puede reducir la distancia recorrida en el *picking* en un 47%; b) Pan y Shih (2008) diseñan un modelo para la evaluación del desempeño de un sistema de *picking* con congestión, utilizando simulación discreta, considerando como medidas de eficiencia el tiempo o la distancia de las rutas para recoger los productos; c) Klaus (2010) desarrolla un heurístico de ruteo para la secuenciación por lotes en el *picking* de un CEDI integrado con un sistema de administración de almacenes WMS, el cual tiene como objetivo reducir el tiempo de la operación.

Respecto a los sistemas de medición con pesaje en la preparación de pedidos no se identificaron artículos científicos como se indicó con anterioridad. En el estado del arte, se encontraron propuestas científicas que desarrollan modelos estadísticos R&R aplicados a procesos de producción o manufactura como: a) Hwang (2006) que utiliza

un modelo R&R como estrategia para garantizar la precisión de equipos de pesaje dentro de estudios de seis sigma; b) Vassilakis y Besseris (2009) emplean un modelo R&R en los equipos de medición utilizados el área de mantenimiento de una compañía aeroespacial, con el fin de demostrar la precisión y exactitud que permitan que el proceso que realiza se haga adecuadamente; c) Bevilacqua, Ciarapica, Giacchetta y Marchetti (2011) implementan un procedimiento de calidad basado en el método Delphi y la ISO/TS 16949:2009, que utiliza un modelo estadístico R & R para garantizar la validez de la calidad en las mediciones de la producción de tubo de escape de acero para automóviles.

Aunque ninguno de los artículos revisados realiza una aplicación de modelos R&R a la preparación de pedidos en el CEDI, los resultados de estos reflejan la importancia de la utilización de los modelos para garantizar la validez, la precisión de las mediciones con los equipos de pesaje utilizados. Por tal motivo, con la información del estado arte se puede establecer la importancia de realizar la adaptación del modelo R y R en la preparación de pedidos, lo cual, no solo contribuye potencialmente en el impacto de la eficiencia y satisfacción del cliente a nivel empresarial, sino que también realiza un aporte al desarrollo de la agenda de investigación del tema.

3. Metodología

A continuación se presenta la metodología para adaptar el modelo R & R en el pesaje de productos para la preparación del pedidos en el CEDI. La metodología se basa en cinco componentes que cubren desde la descripción del CEDI y operación de preparación de pedidos hasta la adaptación de las etapas del modelo R y R (ver **Figura 1**). Para la elaboración de la metodología se consideran los aportes de autores como: Montgomery (2008), Gutiérrez y De La Vara(2008), Vassilakis y Besseris (2009), Botero, Arbeláez y Mendoza (2007), que establecen conceptos, adaptaciones y uso del modelo R&R en la medición de productos y procesos. Tales pueden ser enfocados en la preparación de pedidos en el CEDI donde no se identificaron propuestas específicas en la literatura científica.

3.1. Descripción de la empresa y el CEDI de la empresa en estudio

En este componente se realiza una descripción de las generalidades de la empresa como: sector, tamaño, línea de productos, clientes, procesos logísticos. Posteriormente, se establecen las principales características del CEDI como: objetivo, operaciones, principales e importancia de la preparación de pedidos.

Este componente es fundamental en la metodología R&R, ya que permite contextualizar el CEDI y la empresa donde se realiza la operación de preparación

de pedidos, los productos, los clientes, entre otros aspectos que impactan en el sistema de medición.

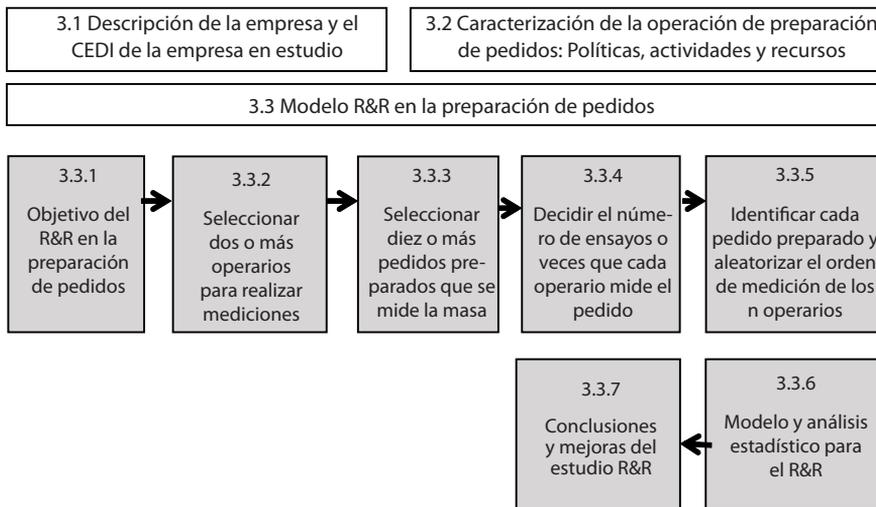
3.2. Caracterización de la operación de preparación de pedidos: políticas, actividades y recursos

Se debe realizar una caracterización de la operación de preparación de pedidos, que debe incluir como mínimo: el objetivo de la operación, alcance, responsable, actividades en secuencia lógica, recursos, indicadores. Para esta operación puede ser adecuado utilizar la herramienta de caracterización de procesos SIPOC (*supplier* o proveedor, *input* o entrada, *process* o proceso, *output* o salida, *customer* o cliente). Otra alternativa es utilizar el VSM (*Value*

Stream Map) o mapa de valor agregado que muestra la secuencia de actividades y recursos de la operación de preparación de pedidos (Hackman *et al.*,2001).

Dentro de la caracterización de la preparación de pedido debe hacerse énfasis en el pesaje de los productos, ya que para esta actividad se realiza el diseño del modelo R & R que permita mediciones con precisión que contribuyan a la eficiencia y la satisfacción de las necesidades de los clientes respecto a las cantidades enviadas. Finalmente, la caracterización de la preparación de pedidos debe permitir identificar las variables de entrada y salida para diseñar el modelo R & R.

Figura 1. Metodología para modelo R & R en la operación de preparación de pedidos



Fuente: Elaboración propia

3.3. Modelo R&R en la operación de preparación de pedidos

Para la adaptación del modelo estadístico R&R se consideran las siguientes subetapas que permiten la utilización en el pesaje o medición en la operación de preparación de pedidos en el CEDI.

3.3.1. Objetivo del R&R en la preparación de pedidos. Se establece el objetivo del modelo R&R que se orienta a la medición y evaluación de la precisión de los siguientes componentes: pedidos o productos, equipo de pesaje y operario que desarrolla la actividad. Este modelo permite realizar una estimación estadística para cada uno —o los tres componentes— de variabilidad o error en las mediciones del sistema de pesaje en la operación de preparación de pedidos en análisis, lo cual es fundamental para establecer y evaluar la precisión.

3.3.2. Seleccionar dos o más operarios para realizar mediciones. Para realizar el pesaje de los productos recolectados en la preparación de pedidos, se deben elegir dos o más operarios que realicen el pesaje de los productos. Cada uno de los operarios debe identificarse y etiquetarse con letras en mayúsculas. Un ejemplo, el primer operario, se identifica como Operario A; el segundo operario como Operario B.

Operarios $i = A, B, \dots, k$ siendo n , letras mayúsculas.

3.3.3. Seleccionar diez o más pedidos. Para un adecuado desarrollo del modelo R&R se hace necesario seleccionar 10 o más pedidos aleatoriamente para medir la masa con la báscula o equipo de pesaje. La cantidad de pedidos escogidos se representa con la letra m . La decisión del tamaño de pedidos se basa en recomendaciones encontradas en la literatura [4][5]. La selección aleatoria de los pedidos es determinante en la validez estadística del análisis de precisión de los sistemas de medición.

3.3.4. Decidir el número de ensayo o veces que cada operario mide el pedido. Cada uno de los k operarios seleccionados debe realizar dos o tres pesajes de los pedidos preparados buscando la validez estadística de los resultados. Esta medición o pesaje se representa con la letra m , y la cantidad de ensayos o pesaje se representa con la letra n .

3.3.5. Identificar cada pedido preparado y aleatorizar el orden de medición de los k operarios. Para cada uno los m pedidos seleccionados para medición del pesaje se asigna un código de tres dígitos que inicia en 000 hasta 999. Posteriormente para cada uno de los n operarios, a través de la utilización de números aleatorios, se asigna el orden de la medición del pesaje para cada uno de los pedidos seleccionados. El resultado de la planeación de asignaciones de la medición de pedidos y operario, se puede representar en una tabla con la estructura que se presenta a continuación (ver **Tabla 1**).

Tabla 1. Planeación de medición de pesaje en los pedidos

Pedido	Operario	Masa(kg)
001	Operario A	Me_1
002	Operario B	Me_2
003	Operario A	Me_3
0XX	Operario i	Me_i
999	Operario i	Me_2

Fuente: Elaboración propia

Del plan de asignación de medición de la masa de los pedidos (ver Tabla 1), debe indicarse que este es fundamental para organizar el orden de la medición de la masa de los productos, considerando la identificación del pedido, el Operario i y el valor obtenido de la medición el pesaje.

Esta etapa de planeación y establecimiento del orden de las mediciones es crítico para garantizar la validez estadística del análisis de la precisión de los equipos de medición y pesaje, de allí la importancia de la adecuada planeación y aleatorización.

3.3.6. *Modelo estadístico R&R para pesaje en la operación de preparación de pedidos.* A continuación, se presenta el modelo R&R basado en un diseño experimental factorial con factores aleatorios relacionados con el pedido preparado, equipo de medición del pesaje y los operarios (ver **Tabla 2**).

El modelo estadístico R&R debe cumplir con los supuestos de normalidad, independencia y varianza constante, lo cual

Tabla 2. Modelo estadístico R&R del sistema de medición de preparación de pedidos

$\sigma^2_{total} = \sigma^2_{pedido(p)} + \sigma^2_{oper(o)} + \sigma^2_{oper(o) \times pedido(p)} + \sigma^2_{báscula(b)}$	
<ul style="list-style-type: none"> Medición de la variación del pesaje de los productos del pedidos en la báscula, considerando repetibilidad y reproducibilidad, lo cual permite establecer la precisión en la medición 	
$\sigma^2_{repetibilidad} = \sigma^2_{báscula(b)}$	<ul style="list-style-type: none"> Se mide la variación o error del pesaje de la báscula de los productos del pedido, cuando lo realiza un mismo operario. Se repite la medición sobre el mismo pedido preparado
$\sigma^2_{reproducibilidad} = \sigma^2_{oper(o)} + \sigma^2_{pedido(p) \times oper(o)}$	<ul style="list-style-type: none"> Se mide la variación cuando se utilizan diferentes operarios que toman la medición del pesaje de los productos en la báscula Se incluye la interacción entre la variabilidad de la del pedido con el operario, debido a que no se puede suponer que no existe la interacción entre estos factores Esta prueba de interacción se realiza con la ANOVA

Fuente: Elaboración propia

garantiza la validez para el análisis de las mediciones del pesaje.

La medición la variación total en el pesaje de los pedidos preparados para atender los requerimientos de los clientes, se realiza en términos de sumas de cuadrados (SC), las cuales se expresan a continuación [4][5].

$$S_{ctotal} = S_{cpedidos} + S_{Coper} + S_{Coperxpedido} + S_{Cerror(bascula)} \quad (2)$$

La repetibilidad de la operación de pesaje es la suma de cuadrados del error, que corresponde a la variabilidad de la báscula utilizada por la empresa. Respecto a los grados de libertad del modelo factorial de efectos aleatorios, se puede indicar que:

$$con-1=(p-1)+(o-1)+(o-1)(c-1)+p.o(n-1) \quad (3)$$

Donde,

p = pedidos preparados

o = operarios

n = número de muestras o ensayos para realizar mediciones o pesaje de los pedidos

Un aspecto clave en el modelo R&R son los cuadrados medios (CM), que permiten establecer estadísticas para evaluar diferencias entre la variabilidad en la medición de los pedidos, operarios y báscula en la fase de preparación de pedidos. Estos se obtienen de dividir la suma de cuadrados y los grados de libertad. A continuación, se presentan los estimadores de la varianza de los pedidos, los operarios y la báscula para el pesaje en la preparación de pedidos [5] (Ver **Tabla 3**).

La estimación de los elementos de la varianza de los componentes se realiza a través del Análisis ANOVA del un modelo

Tabla 3. Estimadores de componentes de varianza de sistema de medición de pesaje

Cuadrado medio del error(CME)	σ^2 báscula(b)=CMerror
Estimador de variabilidad de los pedidos	σ^2 pedidos(c) = $\frac{CMpedidos-CMoperxpedido}{o.n}$
Estimador de variabilidad de los operarios	σ^2 oper(o) = $\frac{CMoper-CMoperxpedido}{n.p}$
	σ^2 carbón(c)x oper (o)= $\frac{CMoperxpedido-CMerror}{n}$
Notación	p =pedidos o =operarios n = número de muestras o ensayos para realizar mediciones o pesaje

Fuente: Elaboración propia

factorial de efectos aleatorios, que puede obtenerse a través de la utilización de *software* estadístico como Minitab 15, Statgraphics, R, entre otros.

Los resultados de la ANOVA se expresan en términos de variabilidad total y de la tolerancia [5] para los componentes relacionados con los pedidos, los operarios y la báscula en la preparación de pedidos.

4. Resultados y discusión

La metodología del modelo R&R para el pesaje en la operación de preparación de pedidos, se implementa en una empresa dedicada al procesamiento y comercialización de ensaladas de frutas, y verduras que permite atender los requerimientos de los clientes en la ciudad de Medellín. A continuación, se utilizan cada una de las etapas de la metodología descrita anteriormente (ver numeral 3).

4.1. Descripción de la empresa y el CEDI de la empresa en estudio

Para el estudio se selecciona una pequeña empresa del sector agroindustrial ubicada en la ciudad de Medellín dedicada al procesamiento y comercialización de ensaladas de frutas, hortalizas y verduras. La empresa de sus diferentes referencias de productos vende aproximadamente por mes 9500 kg a clientes ubicados en Medellín y municipios cercanos, como Itagüí, Envigado, Sabaneta y Bello.

La empresa desarrolla diferentes procesos logísticos como: aprovisionamiento de frutas, verduras y empaques; gestión de inventario y almacenamiento, procesamiento, transporte y distribución de los productos a los clientes institucionales como restaurantes de empresas, negocios de comida rápida, hoteles y supermercados.

La empresa cuenta con CEDI de un área de aproximadamente 900 m² donde se reciben y almacenan las ensaladas de frutas y verduras en sistemas de refrigeración, se preparan los pedidos de los clientes y se realiza el despacho para atender sus requerimientos. Cabe señalar que clientes como restaurantes de empresas, hoteles y negocios de comida rápida realizan pedidos de diferentes masas, medidas en kg.

El CEDI en la empresa en estudio es un proceso logístico clave que impacta en la satisfacción del cliente y la eficiencia de la empresa.

4.2. Caracterización de la operación de preparación de pedidos: políticas, actividades y recursos

A continuación se presenta una caracterización para la operación de preparación de pedidos en el CEDI de la empresa agroindustrial. Como herramienta de caracterización, se utiliza el

Figura 2. Caracterización de operación de preparación de pedidos

N°	Pro-veedor (Proceso)	Entrada información (!) o Producto (P)	Actividades	Salida (información o producto)	Cliente (Proceso)	Responsable
1	Clientes	Pedidos de Clientes	1. Identificar y procesar los pedidos de los clientes	Picking list, incluyendo asignación de recursos	Operación de preparación de pedidos	Coordinador de Logística
			2. Diseñar el <i>picking list</i> o lista de recogida para la preparación de pedidos, incluyendo asignación de recursos			
	Operación preparación de pedidos	Pedidos de clientes y <i>picking list</i>	3. Recoger las referencias de las ensaladas de las posiciones de almacenamiento considerando condiciones de cantidad, calidad y tiempo.	Pedidos de los clientes preparados, pesados y empacados		Operarios de preparación de pedidos y CEDI
			4. Pesar en la báscula los pedidos recogidos y garantizar que cumplan con las condiciones pactadas con el cliente			
			5. Empacar los pedidos por cliente, incluyendo el envío a la operación de despacho.			
Recursos utilizados				Indicadores		
Transpaleta				Cantidad de pedidos atendidos por día		
Báscula				Cantidad de errores en la preparación de pedidos		
Sistema de almacenamiento con refrigeración				Tiempo promedio de preparación de pedidos		
Personal y Sistema de Información Logística				Costos de la preparación de pedidos		

Fuente: Elaboración propia

modelo SIPOC que permite establecer y describir el objetivo, actividades y recursos del CEDI (ver **Figura 2**).

En la caracterización de la preparación de pedidos, la actividad de pesaje de las ensaladas de frutas, hortalizas y verduras es vital en la atención de los requerimientos de los clientes y la eficiencia de la empresa, ya que los pedidos se realizan en cantidades medidas en kilogramos. En la actualidad, la empresa cuenta con una báscula electrónica

industrial para el pesaje de los pedidos con capacidad de 1500 kg, marca Jaz.

4.2.1. Objetivo del R&R en la preparación de pedidos. La empresa agroindustrial tiene como objetivo diseñar un modelo estadístico R&R para el pesaje en la báscula de los encargos con ensaladas buscando aumentar la precisión. En el análisis de las mediciones de la masa se consideran tres componentes que pueden afectar la variación: los operarios, los pedidos y la báscula.

Con los resultados del modelo se busca impactar en la satisfacción de los requerimientos del cliente respecto al cumplimiento de las cantidades pactadas en pedido y la eficiencia de la empresa.

4.2.2. Seleccionar dos o más operarios para realizar mediciones. Para realizar el pesaje de los pedidos en la báscula se eligen los dos operarios asignados en el CEDI. Ellos, en términos del modelo, se identifican como Operario A y Operario B.

4.2.3. Seleccionar la cantidad de pedidos. Para el estudio se seleccionan doce pedidos de la referencia "ensalada de hortalizas y verduras", las cuales se venden principalmente a restaurantes empresariales y negocios de comidas rápidas en bolsas plásticas de 15 a 25 kg, lo cual representa, aproximadamente, el 65 % de ventas de la empresa

En términos del modelo se tiene $m=10$ pedidos seleccionados para el pesaje en la báscula.

4.2.4. Decidir el número de ensayos o veces que cada operario mide el pedido. Cada uno de los operarios A y B realizarán cuatro mediciones sobre cada uno de los doce pedidos seleccionados para el pesaje en la báscula Jaz de la empresa.

Por estos motivos, se realizaron en total 48 mediciones ($n=48$) de la masa de los pedidos en kg para analizar la precisión de la báscula.

4.2.5. Identificar cada pedido preparado y aleatorizar el orden de medición de los operarios. Para cada una de las 20 mediciones de la masa que realizan los operarios A y B a los 10 pedidos seleccionados, se utiliza la siguiente metodología para asignar el orden para la medición de la masa en kg en la báscula.

- A los primeros 10 pedidos preparados de ensalada de hortalizas y verduras, se les establece un código de identificación de 001 hasta 012.

- Utilizando la función aleatorio de Excel que genere un número de 1 a 12 para los operarios A y B, se establece el orden de las tres mediciones de la masa de cada uno de los 12 pedidos en la báscula JAZ. Debe recordarse que en total cada operario realiza 48 mediciones.

- El encargado de coordinar la recolección de los datos debe garantizar que los operarios no se enteren del número del pedido al que están midiendo la masa, ya que esto puede afectar la validez y confiabilidad de los datos.

- La medición de cada masa en kg del pedido consiste en realizar una lectura del valor generado por la báscula, y registrarlo en el formato de mediciones según el encargo.

A continuación se presentan los resultados de la medición de los 48 pedidos de las ensaladas (ver **Tabla 4**).

Tabla 4. Planeación de medición de pesaje en los pedidos

Pedido	Operario	Peso (kg)	Pedido	Operario	Peso (kg)	Pedido	Operario	Peso (kg)
1	OperarioA	15,2	1	OperarioB	15,14	1	OperarioB	15,15
3	OperarioB	15,5	2	OperarioB	15,36	3	OperarioB	15,45
10	OperarioA	15,1	4	OperarioB	15,4594	5	OperarioA	14,671
8	OperarioA	15,21	5	OperarioA	14,94	4	OperarioB	14,81
2	OperarioA	15,5	7	OperarioB	15,02	6	OperarioA	14,87
10	OperarioB	15,14	6	OperarioB	15,01	2	OperarioA	15,1429
3	OperarioA	15,7251	4	OperarioA	15,1429	5	OperarioB	15,03
5	OperarioB	14,94	10	OperarioA	14,90	9	OperarioA	14,89
12	OperarioB	15	11	OperarioB	14,88	11	OperarioA	15
3	OperarioA	15,45	6	OperarioA	14,78	9	OperarioB	15
7	OperarioB	14,94	12	OperarioB	15	4	OperarioA	15,1025
8	OperarioB	15,1	9	OperarioA	15,1448	2	OperarioB	15,1628
12	OperarioA	15,1	7	OperarioA	15,02	12	OperarioA	15,5018
8	OperarioA	15,2	10	OperarioB	15,03	11	OperarioA	15,4257
6	OperarioB	15	7	OperarioA	15,1448	9	OperarioB	15
8	OperarioB	15,1	1	OperarioA	15,18	11	OperarioB	14,9

Fuente: Elaboración propia

Figura 3 ANOVA modelo R & R pesaje de pedidos

Fuente	GL	SC	CM	F	p
Pedido*	11	0,86208	0,0783709	2,62957	0,062
Operarios	1	0,11002	0,0001188	0,0063	0,960
Pedidos * Operarios	11	0,32784	0,0298037	1,22769	0,322
Repetibilidad	24	1,58263	0,0242763		
Total	47	1,77257			

Fuente: Elaboración propia, Minitab 16®

4.2.6. Modelo estadístico R&R para pesaje en la operación de preparación de pedidos. El modelo estadístico R&R que se plantea para medir la variabilidad en el pesaje de los pedidos de ensalada (Ver Tabla 2), permite medir la variabilidad total de la operación de pesaje en la preparación de pedidos. Se compone por σ^2 báscula (b) que permite medir la repetibilidad, y σ^2 oper(o) + σ^2 pedido (p) x oper(o) representa la reproducibilidad.

A continuación, se presentan la ANOVA del modelo estadístico R&R y la estimación de los componentes de la varianza, que permiten realizar un análisis de la repetibilidad, reproducibilidad y variabilidad asociada al pesaje de los pedidos en la empresa agroindustrial. Para realizar los cálculos estadísticos se utiliza una versión de prueba del Software Minitab 16® (ver Figura 2).

De la ANOVA del modelo R&R (ver Figura 2) puede indicarse que no existe interacción significativa entre los factores *pedidos preparados* y los *operarios* que realizan el pesaje. Esto permite establecer que la precisión o variabilidad en el sistema de medición de pesaje depende los factores *pedidos*, *operarios*

y *báscula*, los cuales se calculan a partir de los valores obtenidos de la ANOVA.

Para analizar la precisión y variabilidad de las mediciones del pesaje en la operación de preparación de pedidos en la empresa agroindustrial, se utilizan los estimadores estadísticos de contribución porcentual y variación del estudio para el sistema de medición (repetibilidad y reproducibilidad) y los pedidos preparados (ver **Tabla 4**). Estos estimadores son fundamentales para determinar la variación de las mediciones obtenidas en los pedidos que permiten atender los requerimientos de ensaladas de los clientes.

Del análisis del % de contribución puede concluirse que un 33,47% de la variabilidad de las mediciones de los pedidos preparados se debe a errores en la cantidad empacada de ensalada para atender el pedido en kg. Por su parte, el 66,53% restante de la variabilidad se debe al sistema de medición o

báscula utilizada en el pesaje, ya que el componente que causa la variabilidad en el pesaje es la repetibilidad. Debe resaltarse que la repetibilidad es el error o variación en la medición del pesaje de los productos debido a la báscula.

Del estimador de % de variación del estudio puede indicarse que el 90,81% de los errores en la medición del pesaje, se debe a la variabilidad asociada a la repetibilidad, es decir, a la báscula utilizada en la operación de preparación de pedidos, lo que confirma la conclusión estadística establecida con el estimador del % contribución.

Otro criterio de análisis es la evaluación de la capacidad del sistema de medición de la báscula en la preparación de pedidos basado en el estimador de % variación del estudio. Para esto se utilizan los criterios establecidos por Botero, Arbeláez y Mendoza [13] (ver **Tabla 6**).

Tabla 5. Estimadores de % de contribución y % de variación en estudio para el pesaje de pedidos

<i>Fuente</i>	<i>% de contribución</i>	<i>% de variación en estudio</i>
R&R del sistema de medición total	66,53	90,81
Repetibilidad	66,53	90,81
Reproducibilidad	0	0
Operarios	0	0
Pedido a pedido	33,47	41,88
Variación total	100	100

Fuente: Elaboración propia, Software Prueba Minitab 16®

Tabla 6 Criterios de evaluación de calidad de sistema de medición

Si % R & R < 10%	El sistema de medición es aceptable
10% <= R & R < 30%	Si el sistema de medición puede ser aceptable según su uso, aplicación, pero puede ser poco apropiado para algunas mediciones con clientes u operaciones de preparación
R & R > 30%	El sistema de medición es considerado como no aceptable y requiere mejoras en cuanto al operador, equipo, método, condiciones, etc.

Fuente: Adaptado de Botero, Arbeláez y Mendoza [13]

Para el modelo estadístico R&R de la medición en el pesaje de la preparación de pedidos, se tiene un % variación del estudio de 90,81%, lo que permite establecer que el sistema de medición de la empresa agroindustrial, no es aceptable y puede afectar la eficiencia y la calidad en esta operación del CEDI.

De los resultados estadísticos del estudio R&R en el pesaje en la preparación de pedidos puede concluirse que el error en las mediciones se debe a problemas técnicos o calibración de la báscula utilizada en la operación, ya que la variabilidad resultante de los estimadores de % de contribución y % de variación en estudio generaron variabilidad en el componente de repetibilidad que se asocia con el instrumento o equipo de medición antes descrito. De otra parte, puede indicarse, del análisis de

los dos estimadores, que los operarios no están afectando significativamente la medición de las masas de los pedidos, ya que el % de reproducibilidad fue igual 0.

Finalmente, a partir del análisis estadístico realizado con el modelo R&R adaptado para la medición del pesaje en la operación de preparación de pedidos, se identifican las siguientes propuestas de mejora y recomendaciones.

- Realizar una revisión técnica a la báscula utilizada en la preparación de pedidos para determinar las causas de los errores de medición, lo cual afecta la atención de los requerimientos de los clientes en cantidades, o pérdidas económicas para la empresa, ya que se puede estar despachando mayor cantidad de ensalada a los clientes, lo cual impacta en la rentabilidad y sostenibilidad de la empresa agroindustrial.
- Diseñar un plan de seguimiento, mantenimiento preventivo y calibración de la báscula utilizada en la preparación de pedidos y demás operaciones del CEDI, como la recepción, que garanticen niveles adecuados de precisión buscando reducir los errores del pesaje, lo cual impacta en la eficiencia de los procesos logísticos.
- Elaborar un plan de entrenamiento al personal de la operación de preparación de pedidos que garantice que estos desarrollen adecuadamente las actividades y la medición del pesaje de pedidos, dado que ello afecta la satisfacción del cliente y la eficiencia.

5. Conclusiones

Del artículo puede indicarse la importancia de un adecuado diseño, mejoramiento y gestión de la operación de preparación de pedidos, ya que representa aproximadamente el 50% de los costos del CEDI, y tiene impacto en la satisfacción del cliente. Ello debido a que en esta operación se preparan los pedidos que permiten atender los requerimientos, considerando aspectos de referencia, cantidad y calidad.

La selección del método de R&R se justifica en el hecho de que es un modelo estadístico, que permite medir la variabilidad en los sistemas de medición de pesaje en procesos logísticos, lo cual es determinante en la eficiencia y satisfacción de los pedidos, de los clientes, ya que garantiza la entrega de las cantidades solicitadas.

Dentro de la preparación de pedidos de productos cuya unidad de venta se realiza en masa (kilogramos) cobra importancia la actividad de pesaje que garantice el cumplimiento de las condiciones acordadas con el cliente.

Como resultado relevante del artículo, se obtiene la adaptación del modelo estadístico R&R para la medición de la precisión del sistema de pesaje en la operación de pedidos, que permite evaluar su capacidad de contribuir al desarrollo de una operación eficiente y orientada a la atención adecuada de los requerimientos de los clientes.

La metodología tiene un enfoque integral, puesto que cubre desde la descripción de la empresa, el CEDI, la caracterización de la operación de la preparación de pedidos, realizando énfasis en la actividad de pesaje, hasta a la adaptación de las etapas de un modelo R&R para la operación del CEDI en estudio. Con la metodología adaptada del modelo R&R se contribuye al desarrollo de la agenda de investigación del tema, ya que en la exploración del estado del arte no se identificaron propuestas para evaluar la precisión en sistemas de medición de pesaje en la operación de preparación de pedidos y el CEDI.

De la aplicación del modelo estadístico R&R en la operación de preparación de pedidos de una empresa agroindustrial que procesa y comercializa ensalada de frutas, hortalizas y verduras, se obtiene como resultado una metodología de investigación aplicada, que permite medir y evaluar la precisión del sistema de medición del pesaje en la preparación de pedidos de forma cuantitativa, basándose en estimadores estadísticos. Del caso se concluye que la báscula utilizada en el pesaje de los pedidos está causando variabilidad y errores en las mediciones, lo cual afecta potencialmente la eficiencia de la empresa y la capacidad para atender los requerimientos de los clientes, debido a que pueden prepararse pedidos de ensaladas con menores o mayores cantidades de lo solicitado.

El desempeño de la utilización del modelo R&R en la preparación es adecuado, ya que logra medir y analizar los factores en la variabilidad de los pedidos de manera cuantitativa, lo cual impacta en la eficiencia y la eficacia del proceso logístico.

Finalmente, como trabajo futuro se plantea aumentar la capacidad del sistema de medición de la precisión en el pesaje de la preparación de pedidos complementando el modelo estadístico R&R con otros diseños de experimentos que permitan identificar los factores que contribuyan al aumento de la precisión.

Referencias

- Bevilacqua, M., Ciarapica, F. E., Giacchetta, G., & Marchetti, B. (2011). Implementation of a quality procedure based on Delphi method and the ISO/TS 16949:2009 in the production of stainless steel tubes for automotive exhaust systems. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 28, 841–866.
- Dekoster, R., Leduc, T., & Roodbergen, K. (2007). Design and control of warehouse order picking: A literature review. *European Journal of Operational Research*, 182, 481–501.
- Frazelle, E. (2002). *World-class warehousing and material handling*. The United States: McGraw-Hill Professional.
- Hackman, S. T., Frazelle, E. H., Griffin, P. M., Griffin, S. O., & Vlasta, D. A. (2001). *Benchmarking Warehousing and Distribution Operations: An Input-Output Approach*. *Journal of Productivity Analysis*, 16(1), 79–100.
- Hwang, Y. D. (2006). The practices of integrating manufacturing execution systems and Six Sigma methodology. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 31(1), 145–154.
- Klaus, M. (2011). Increasing warehouse order picking performance by sequence optimization. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 20, 177–185.
- Montgomery, D. C. (2008). *Design and analysis of experiments*. The United States: John Wiley and Sons.
- Pan, J., & Shih, P. (2008). Evaluation of the throughput of a multiple-picker order picking system with congestion consideration. *Computers & Industrial Engineering*, 55, 379–389.
- Pan, J. C.-H., & Wu, M.-H. (2009). A study of storage assignment problem for an order picking line in a pick-and-pass warehousing system. *Computers & Industrial Engineering*, 57(1), 261–268.
- Pulido, H. G., & Sánchez, M. O. (2008). *Análisis y diseño de experimentos*. Mc Graw-Hill.
- Theys, C., Bräysy, O., Dullaert, W., & Raa, B. (2010). Using a TSP heuristic for routing order pickers in warehouses. *European Journal of Operational Research*, 200, 755–763.
- Vargas, J. A. M., Arbeláez, M. B., & Salazar, O. A. (). *Método Anova utilizado para realizar el estudio de repetibilidad y reproducibilidad dentro del control de calidad de un sistema de medición*. *Scientia et Technica*, 37, 533-537
- Vassilakis, E., & Bessier, G. (2009). An application of TQM tools at a maintenance division of a large aerospace company.

- Journal of Quality in Maintenance Engineering, 15(1), 31–46.
- Venosa, A. D., King, D. W., & Sorial, G. A. (2002). The baffled flask test for dispersant effectiveness: A round robin evaluation of reproducibility and repeatability. *Spill Science & Technology Bulletin*, 7(5-6), 299–308

