

Nota de Aceptación:

Proyecto de Diseño Aprobado. en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Pontificia Universidad Javeriana Cali para optar el título de Ingeniero Industrial.



HERNAN CAMILO ROCHA NIÑO
Decano de la Facultad de Ingeniería y Ciencias



JORGE ENRIQUE ÁLVAREZ PATIÑO
Director Carrera Ingeniería Industrial



LUZ ELENA VINASCO ISAZA
Director(a) Proyecto de Diseño



MARIA ISABEL DIAZ VEGA
Jurado 1



LUIS ALONSO VELASCO ROLDÁN
Jurado 2

Santiago de Cali, Enero del 2023

Ingeniero

Jorge Enrique Álvarez Patiño

Director de la carrera Ingeniería Industrial Pontificia Universidad Javeriana Cali

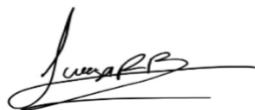
Asunto: Carta de aval para la entrega final del proyecto de diseño del grupo 2022101

Por medio de la presente, doy aval para la entrega final a la carrera del documento que soporta el Proyecto de diseño final 2022101 bajo mi dirección, desarrollado por los estudiantes Juan Esteban Tascón, Luisa Rodríguez, José Valencia y Sofía Ledesma, titulado “Rediseño de las condiciones de operación de la máquina dosificadora para el cumplimiento de los estándares de peso en un ingenio azucarero”.

Cordialmente



Luz Elena Vinasco
Directora del proyecto



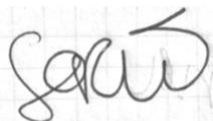
Luisa Rodríguez Barahona
Estudiante 1



Juan Esteban Tascón Jiménez
Estudiante 2



José Valencia Mina
Estudiante 3



Sofía Ledesma Bauer
Estudiante 4

Rediseño de las condiciones de operación de la máquina dosificadora para el cumplimiento de los estándares de peso en un ingenio azucarero.

Sofía Ledesma Bauer ^{a,c}, Luisa Johana Rodríguez Barahona ^{a,c}, Juan Esteban Tascón Jiménez ^{a,c}, José Ignacio Valencia Mina ^{a,c}

Luz Elena Vinasco Isaza ^{b,c}, Karla Bauer ^d

^aEstudiante de Ingeniería Industrial

^bProfesor, director del Proyecto de Grado, Departamento de Ingeniería Civil e Industrial

^cPontificia Universidad Javeriana, Cali, Colombia

^dLA EMPRESA

Resumen en español

Para la mejora continua dentro de una empresa, es necesario el control de los procesos que les permita competir en el mercado con productos de calidad acorde a los requerimientos del cliente y las regulaciones establecidas. Es por esto que LA EMPRESA transmitió al equipo de trabajo la necesidad que tenía de cumplir con los estándares del cliente, y es así como por medio de la recolección y análisis estadístico de una muestra, se detectó un alto grado de variación y un incumplimiento de las especificaciones de peso en la dosificación de azúcar blanca de 500 g, debido a la ausencia de un método adecuado a lo largo del proceso de llenado, ocasionando “riesgo por incumplimiento”, es decir pérdidas de recursos monetarios, materia prima, entre otros. Esto se logró, gracias a la utilización del análisis estadístico y de herramientas tales como Cinco porqué’s y Análisis de causa y efecto, entre otros.

Después de realizar el respectivo diagnóstico, se procedió a plantear diferentes alternativas de solución mediante un análisis multicriterio, el cual demostró que el diseño de experimentos sería la mejor alternativa. Esta metodología, permitió rediseñar las condiciones de proceso de acuerdo a las variables que se identificaron que afectaban en mayor medida el peso de las bolsas de azúcar, en este caso fueron la Resistencia Horizontal, la Resistencia Vertical, la Resistencia de Corte y la dosificación. Finalmente, por medio de una prueba piloto se comprobó un cumplimiento mayor al 70% en cuanto a los indicadores que fueron desarrollados con relación a los requerimientos de los grupos de interés y el alcance del proyecto.

Palabras clave: DOE, Condiciones de Operación, subdosificación, variables de entrada.

Abstract (in English)

For continuous improvement within a company, it is necessary to control the processes that allow them to compete in the market with quality products according to customer requirements and established regulations. This is why THE COMPANY transmitted to the team the need to fulfill the client's standards, and this is how, through the recollection and statistical analysis of a sample, a high variation and non-compliance with the weight specifications in the dosage of 500 g of white sugar was detected, due to the absence of an adequate method throughout the filling process, causing "economic benefits for non-compliance", loss of monetary resources, raw material, among others. This was achieved thanks to the use of engineering tools such as 5 Why's and Cause and Effect Analysis, among others.

After carrying out the respective diagnosis, different solution alternatives were proposed by means of multicriteria analysis, which showed that the Design of Experiments would be the best alternative of solution. This methodology allowed redesigning the process conditions according to the variables that were identified as affecting the weight of the sugar bags to a greater extent, in this case Horizontal Resistance, Vertical Resistance, Shear Resistance and Dosage. Finally, by means of a pilot test, a satisfactory improvement in terms of the indicators that were developed in relation to the requirements of the stakeholders and the scope of the project was verified.

Key words: DOE, Operating Conditions, Under-dosing, input variables

Tabla de Contenido

I. PROJECT CHARTER	6
II. DEFINIR	8
A. Contexto y Justificación	8
B. Grupos de interés	10
C. Requerimientos	12
III. MEDIR	15
A. Plan de recolección de datos	15
B. Medición del sistema actual	16
IV. ANALIZAR	23
A. Análisis de Causas	23
B. Revisión de literatura	26
C. Exploración de ideas y selección de alternativa	30
D. Objetivos	32
E. Plan de trabajo (PdT)	33
V. MEJORAR	33
A. Desarrollo del diseño de la solución	33
B. Validación del diseño propuesto	37
VI. CONTROLAR	41
A. Medición de los impactos	41
B. Estandarización de la solución – POE’S	42
C. Conclusiones	44
D. Recomendaciones	45
VII. GLOSARIO	46
VIII. REFERENCIAS	46
IX. ANEXOS	49

FIGURAS

Fig. 1. Producción por grupos de cultivos (toneladas) Total nacional 2020. Mod [1]	8
Fig. 2. Encadenamiento de la industria azucarera [3].....	8
Fig. 3. Matriz Poder – Interés para grupos de interés identificados	11
Fig. 4. Matriz Poder – Interés explicación Mod [6].....	12
Fig. 5. Caracterización del proceso de dosificación	17
Fig. 6. Mapa de procesos de LA EMPRESA.....	17
Fig. 7. Diagrama de flujo del proceso de dosificación	20
Fig. 8. Fórmulas para cálculo OEE Mod[11].....	22
Fig. 9. Diagrama de Causa y Efecto	23
Fig. 10. 5’s Porqués	24

Fig. 11. Análisis de correlación PESO – RESISTENCIA HORIZONTAL	24
Fig. 12. Análisis de correlación PESO – RESISTENCIA DE CORTE	25
Fig. 13. Análisis de correlación PESO – DOSIFICACIÓN	26
Fig. 14. Factores y variable de respuesta en el proceso de dosificación de azúcar blanca de 500 g	34
Fig. 15. Análisis de varianza ANOVA.	34
Fig. 16. Gráfico de cubos (medidas ajustadas) de peso	35
Fig. 17. Gráficos de contorno	36
Fig. 18. Compresor de aire.....	36
Fig. 19. Gráfico de control en Minitab Antes y Después de la prueba piloto.....	38
Fig. 20. Gráfico de intervalos de confianza del peso.....	39
Fig. 21. Comparación de los costos antes y después de la mejora	42
Fig. 22. POE para el proceso de dosificación de azúcar blanca de 500 g.....	43
Fig. 23. Continuación del POE para el proceso de dosificación de azúcar blanca de 500 g.	43

TABLAS

TABLA I : DEFINICIÓN Y PONDERACIÓN DE GRUPOS DE INTERÉS	10
TABLA II: REQUERIMIENTOS DE LOS GRUPOS DE INTERÉS.....	13
TABLA III: INDICADORES DE DESEMPEÑO SITUACIÓN ACTUAL.....	21
TABLA IV: DESCRIPCIÓN REVISIÓN DE LITERATURA	27
TABLA V: COTIZACIÓN DE BALANZAS	31
TABLA VI: DESCRIPCIÓN DE CRITERIOS PARA MATRIZ DE ANÁLISIS JERÁRQUICO	32
TABLA VII: PLAN DE TRABAJO.....	33
TABLA VIII: MEJORES CONDICIONES DE OPERACIÓN	36
TABLA IX: DISEÑO PROPUESTO PARA EL CUMPLIMIENTO DE LAS RESTRICCIONES SEGÚN LAS ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN	37
TABLA X: RESUMEN PRUEBAS DE HIPÓTESIS MEDIA Y VARIANZA (ANTES Y DESPUÉS)	39
TABLA XI: RESUMEN DE RESULTADOS: INDICADORES DE DESEMPEÑO.....	40
TABLA XII: INDICADOR % DE CUMPLIMIENTO A LO LARGO DEL PROYECTO.....	45
TABLA XIII: TABLA DE ANEXOS	49

I. PROJECT CHARTER

Descripción (<i>Business case</i>)				Planteamiento del problema (<i>Problem statement</i>)		
<p>La empresa es una compañía del sector agroindustrial ubicada en Chocoso, Valle del Cauca que se dedica a la producción y comercialización de azúcar, pertenece al sector privado y es considerada una PYME.</p> <p>De acuerdo con el análisis de los datos recolectados durante las visitas a la empresa en los meses de marzo-octubre del año 2022, se detectó el incumplimiento de los estándares de peso en la presentación de azúcar en arroba x 25 unidades (500g), debido a la ausencia de un método estandarizado de condiciones de proceso, hecho que ocasiona un riesgo por incumplimiento, pérdidas de recursos monetarios, materia prima entre otros.</p>				<p>En los seguimientos que se realizaron entre marzo y octubre de 2022 en el proceso de dosificación de azúcar se encontró que hay una sobredosificación del 9,5% de la muestra piloto con unos costos promedios anuales de \$96 994, 95 y un promedio de 0,86 g en gramos sobredosificados de la producción total. Por otro lado, el 77,5% (\$ 50.949.364,89) se subdosifica, es decir que incumple con las especificaciones por el límite inferior, con un riesgo a un incumplimiento por parte legal de la empresa con 7,10g subdosificados en promedio por producción. De lo anterior se puede concluir que se pueden incurrir en problemas legales y descontento por parte del mercado, ocasionando desaprovechamiento de recursos e incumplimiento de las especificaciones establecidas.</p>		
Impacto de los actores (<i>Stakeholder's business needs</i>)				Restricciones	Especificaciones	Marco legal
<p>GERENCIA Requisito: Reducción de los errores en las condiciones de operación en el proceso de llenado. Ver Anexo 2. Grupos de Interés, entrevista Karla Bauer</p> <p>Operarios Requisito: Disminución del estrés y carga laboral por los reprocesos, Ver anexo 2, grupo de interés, operario</p>				<p>Falta de estandarización del proceso No se cuenta con equipos de medición de alta sensibilidad y precisión.</p> <p>Falta de estandarización del método y equipos de medición no adecuados</p>	<p>Disminución del desperdicio del producto terminado y de su material de empaque Disminución en la variación del producto terminado.</p> <p>Establecimiento de un método para trabajar de la manera correcta disminuyendo los errores y reprocesos.</p>	<p>Resolución 32209 de 2020 Resolución 16379 de 2003 Artículo 78 de la constitución política NTC 1706</p> <p>Resolución 1016 de 1989</p>
Indicadores de Desempeño (<i>KPI's</i>)						
Variable		Actualidad		Meta		
Calidad del producto, respecto a sus especificaciones		13%		>50%		
Porcentaje de material de empaque desperdiciado		28,5%		< 20%		
Eficiencia de la dosificadora (OEE)		6,4%		>20%		
Nivel de calidad del sistema con respecto a 4σ		21,09		<8		
Objetivo general (<i>Goal statement</i>)						
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Rediseñar las condiciones de operación del proceso de la máquina dosificadora de azúcar para el cumplimiento de los estándares de peso en LA EMPRESA. 						
Objetivos específicos (<i>Project scope</i>)						
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Determinar el estado actual del proceso de dosificación de LA EMPRESA por medio de herramientas estadísticas. ➤ Evaluar alternativas de solución al problema con un análisis multicriterio, teniendo en cuenta las restricciones y requerimientos de los grupos de interés. ➤ Proponer las mejores condiciones de operación asociadas al proceso de dosificación ➤ Validar la propuesta a través de una prueba piloto comparando los escenarios actuales y los propuestos mediante los indicadores de desempeño. 						
Plan de Trabajo (<i>Project Plan</i>)				Equipo de trabajo (<i>Team members</i>)		
Actividad	Fecha Inicio	Fecha Fin	Area IISE	Nombre	Rol	
Observar la situación actual de LA EMPRESA.	25/02/22	21/04/22	<i>Work Design and Measurement</i>	Luisa	Evaluator	
Identificar puntos críticos en el proceso de dosificación.	14/03/22	8/04/22	<i>Quality & Reliability Engineering</i>	José	Evaluator	
Describir las variables y su impacto en la problemática.	31/05/22	31/05/22	<i>Quality & Reliability Engineering</i>	Juan Esteban	Elaborator	
Identificar cuáles son las variables de entrada que impactan el proceso	22/04/22	24/05/22	<i>Quality & Reliability Engineering</i>	José	Evaluator	
Buscar alternativas de solución acordes a la	8/06/22	14/06/22	<i>Product Design & Development</i>	Sofía	Initiator	

problemática					
Encontrar la relación de los factores con la variable de respuesta	11/05/22	27/05/22	<i>Quality & Reliability Engineering</i>	Luisa	Opinion Seeker
Realizar un análisis multicriterio con las valoraciones del equipo de trabajo	25/06/22	27/06/22	<i>Engineering economic analysis</i>	José	Coordinator
Implementar el diseño de Experimentos para encontrar las mejores condiciones de proceso	25/08/22	25/09/22	<i>Quality & Reliability Engineering</i>	Todos	Initiator
Seleccionar la alternativa de solución	20/05/22	22/05/22	<i>Product Design & Development</i>	Sofía	Coordinator
Analizar la viabilidad de la alternativa en términos financieros y de la estructura de LA EMPRESA	14/07/22	14/07/22	<i>Engineering economic analysis</i>	Juan Esteban	Evaluator
Verificar las mejoras implementadas con el diseño propuesto	2/09/22	26/10/22	<i>Systems Design & Engineering</i>	Luisa	Initiator
Comparar la situación actual con la mejorada, teniendo en cuenta la tabla de KPI's	7/11/22	7/11/22	<i>Systems Design & Engineering</i>	Luisa	Opinion seeker

II. DEFINIR

A. Contexto y Justificación

Colombia es un país privilegiado, su ubicación, variedad cultural, climas diversos, fauna y flora, lo hacen más rico y aprovechable en cuanto al uso de su tierra fértil. Es por esto que el sector agroindustrial en Colombia es de suma importancia para el crecimiento económico, debido a que pertenece al sector primario, que realiza la transformación de recursos naturales en materias primas, el cual es el principal eje de la cadena productiva. Se puede ver en la *Fig. 1*, que el sector agroindustrial tiene el 66,73 % de la producción total en toneladas en el año 2019. Por esta razón seguir incentivando el empleo y el desarrollo en el sector agroindustrial es vital, además es parte de la economía del país que genera empleos directos e indirectos. Además del sector agroindustrial en el 2019, dato más actualizado hasta el momento, se evidencia cómo el clúster de la industria azucarera es parte fundamental de la economía en el Valle del Cauca y en Colombia como tal, la participación de esta producción por toneladas en el sector agroindustrial es de 42 208 363 ton dentro de ese valor está el de la industria azucarera con 31 490 498 ton, es decir el 74,61% de dicha producción.[1]

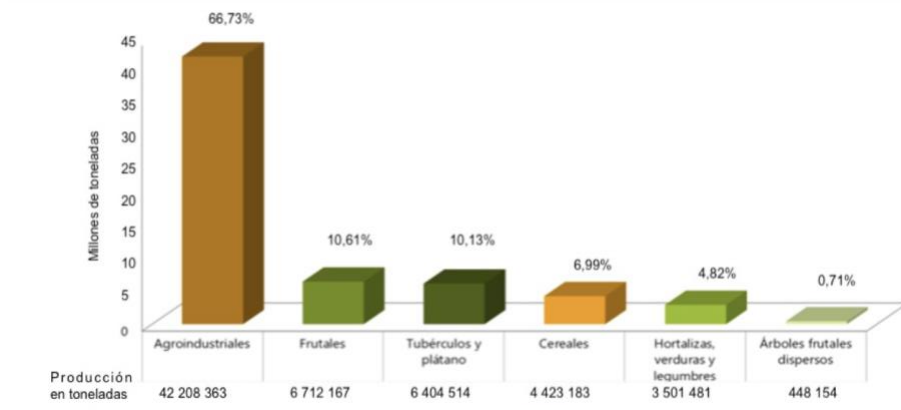


Fig. 1. Producción por grupos de cultivos (toneladas) Total nacional 2020. Mod [1]

Partiendo de esto, es necesario seguir incentivando el apoyo al sector azucarero en el desarrollo económico del país, debido a que suministra y provee a más sectores. Como se muestra en la columna izquierda de la *Fig. 2*, para producir caña son necesarios ciertos factores, en la columna siguiente se observan los productos derivados de la caña y en la parte final de la figura, se demuestra que el sector azucarero es proveedor de productos necesarios de los sectores que también dinamizan la economía colombiana. Por lo anterior, se necesita amparo por parte del gobierno para el crecimiento de la industria, más en específico en el Valle Del Cauca. De acuerdo con las estadísticas suministradas de la Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA) de 2020 en el tipo de siembra en cultivo, las hectáreas de caña de azúcar en el país son de 299 407 ha y sólo en el Valle del Cauca está el 75,89% de esa área, lo cual es de 227 245 ha. [2] (No existe actualización del ENA, además la tendencia sigue siguiendo la misma).

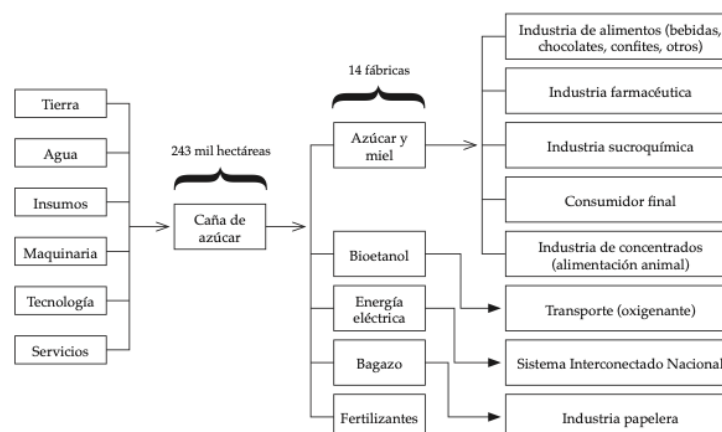


Fig. 2. Encadenamiento de la industria azucarera [3]

LA EMPRESA es uno de los ingenios azucareros en el Valle del Cauca, que cuenta con una producción anual de 350 000 toneladas molidas de caña de azúcar. Esta compañía inicialmente fue un trapiche panelero pero debido a los requerimientos de la sociedad para seguir evolucionando, se compraron diferentes insumos y maquinaria para empezar la producción de azúcar en el 2004, siendo uno de los ingenios más nuevos y también, más pequeños en capacidad de Colombia. Esta compañía está clasificada como una empresa mediana (planta de personal de 51 a 200 trabajadores en empleo directo según la ley 905 de 2004) tiene como productos la azúcar blanca, morena y la melaza en diferentes presentaciones como lo son el bulto por 50 kg, paca por 25 kg (25 unidades de 1 kg) y arroba por 12,5 kg (25 unidades por 500g) en los azúcares y en la melaza solo se despacha producto en presentación de 30 kg. [4]

Se busca cumplir con los estándares de peso para satisfacer las regulaciones y normas según lo que establece el Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos (INVIMA) y la Superintendencia de Industria y Comercio (SIC). Estas organizaciones brindan los requerimientos necesarios para la circulación de los productos y sus empaques, para su posterior comercialización en Colombia y la protección al consumidor, teniendo un estándar alto en calidad e inocuidad de los alimentos de consumo humano.

En LA EMPRESA existe una instalación adicional que funciona como bodega y como zona de empaque, donde se realiza el maquilado del azúcar en paca y arroba, consiste en una máquina dosificadora en la que se ajustan las variables de entrada, como lo son la dosificación aspectos de cortes del material de empaque para cada bolsa y el arranque de la dosificadora. Sin embargo, la gerencia presenta una inconformidad con el desperdicio o reprocesos que hay en esta área, tanto de azúcar como de material de empaque, después de hablar con el operario que maneja la máquina, se identifica que es un proceso empírico, algo que ha aprendido por experiencia y no por método. Es por esto, que el equipo de trabajo considera enfocarse en la máquina dosificadora para realizar un rediseño y cumplir con los estándares de la empresa que tienen con respecto a la presentación de azúcar de 500g.

Actualmente el proceso consiste en suministrar el bulto de 50 kg en un compartimiento, el cual debe subir por el elevador de cangilones. Este dispositivo eleva el producto a 2 metros de altura en una plataforma, para que en las tolvas el azúcar descienda por gravedad y después pueda suministrarse a una última tolva para su posterior empaquetado, el cual se define por las variables de entrada que se seleccionen en el computador de la máquina.

Luego de tomar aleatoriamente una muestra piloto de 15 bolsas de azúcar, se procedió a realizar los respectivos análisis de datos y se tuvo en cuenta las diferentes variables de entrada tales como, resistencia vertical y horizontal, resistencia de corte, el material de empaque, sellado de la bolsa, cantidad de bolsas por minuto y dosificación superior. El propósito de tener en cuenta las variables de entrada del proceso es analizar cómo estas varían el proceso de llenado en la máquina dosificadora, permitiendo que haya agentes externos que modifiquen los resultados finales del producto.

El costo promedio por gramo en 2021 de una bolsa de 500 g es de \$ 1,94 COP para azúcar blanca y para azúcar morena \$ 2,41 COP, lo que ocasiona que el costo total de una arroba tenga un valor de \$ 24 343,75 COP en azúcar blanca y \$ 30 125 COP en azúcar morena. Después de analizar las especificaciones que se tienen en la empresa de los pesos con sus límites inferiores y superiores (LIE y LSE respectivamente), se identificó que las bolsas de azúcar de 500g no cumplen con los límites de especificación en un 60,42%, donde el 32,25% de los pesos incumplen con el LIE (502 gr) y el 28,17% incumple con el LSE (504 gr). Teniendo en cuenta lo anterior, se desarrolló un análisis del costo por sobrepeso y del riesgo por incumplimiento, que refiere al peso del producto entregado al cliente final que se encuentra por debajo del LIE, que también se considera como subdosificación, lo que puede incurrir en un riesgo en términos legales con instituciones reguladoras.

Del estudio de la muestra, se obtuvo que el costo promedio por sobrepeso fue de \$ 4,28 por gramo y el riesgo por incumplimiento en subdosificación fue de \$ 2,36 por gramo, dicho esto la cantidad promedio en gramos por sobredosificación fue de 1,78 gr y para subdosificación por 0,98 gr como se evidencia en el ANEXO 1, pestaña: Análisis de costos. Si se escala este análisis teórico, se obtienen unos costos y beneficios por incumplimiento anuales promedios que ascienden a \$ 24 095 165 millones por sobredosificación y de \$ 15 212 030 por subdosificación, sabiendo que en promedio se vendieron 3 844 arrobas por año entre el 2019 y 2022. El objetivo es disminuir los costos a los que la empresa está incurriendo por sobredosificación de azúcar en las bolsas de 500 gramos, además de los riesgos en términos legales por no cumplir con el LIE debido a las fallas en el control de las variables de entrada en el proceso.

El enfoque del equipo de trabajo es rediseñar las condiciones del proceso que afectan el estándar de peso del azúcar. Hasta el momento se observa que, en el proceso de llenado en la empresa, existe una subdosificación y sobredosificación por unidad de gramo que está incrementando los costos por el gasto de material de empaque y de producto, adicionalmente beneficios por incumplimiento que producen pérdidas económicas y un riesgo en términos legales por la falta de estandarización del proceso en el área de llenado.

B. Grupos de interés

Los grupos de interés son todas aquellas personas u organizaciones que podrían o están interesados en la realización de este proyecto, de forma directa o indirecta. Los resultados del proyecto afectarán también a los grupos ya que son quienes se verán beneficiados o afectados por la solución que se plantee. Así pues, el equipo de trabajo deberá entender y comprender cada una de las necesidades de los interesados para satisfacerlas de la mejor manera, también, deberá atender de forma equitativa el tiempo y requerimientos de estos, para el buen manejo de los resultados y respuestas a dichas necesidades.

En la TABLA I están los actores involucrados, acompañados por su definición, además de la ponderación que está definida por el poder, que significa la capacidad de tomar decisiones sobre el proyecto, teniendo en cuenta su habilidad o voluntad sobre el mismo, la legitimidad que es el valor de la sociedad frente a la opinión de este grupo de interés, además se encuentra aprobación en ellos mediante leyes, normas, regulaciones y resoluciones. Por otro lado, la urgencia se entiende como el nivel de atención por parte de los actores involucrados en busca de una pronta solución al problema. Por último, se tiene al interés, que es el valor que le da esa persona al ser beneficiado en la realización del proyecto.

TABLA I : DEFINICIÓN Y PONDERACIÓN DE GRUPOS DE INTERÉS

ORDEN	ACTORES DE INTERÉS	DESCRIPCIÓN	PODER	LEGITIMIDAD	URGENCIA	INTERÉS
1	Equipo 2022101	Son los estudiantes que aspiran el título de Ingenieros Industriales que para su finalización requieren realizar el proyecto de diseño.	8	6	10	10
2	Gerencia	Carlos Ledesma el cual está al tanto del proyecto, beneficiado mayor del proyecto.	10	8	8	8
3	Operarios del proceso de llenado	Grupo de trabajo en el cual está enfocado el problema del proyecto, brindan información para la realización del mismo	10	8	8	10
4	Colaboradores del proyecto	Brindan información vital para el desarrollo del proyecto, son los profesores de la universidad que aportan retroalimentación, críticas constructivas y aportes significativos.	8	8	4	4
5	Contabilidad	Es el área de la información contable de la empresa, controla y realiza las cuentas de la empresa en cuanto a lo económico.	2	6	8	8
6	INVIMA	Es la autoridad pública que verifica el cumplimiento de lo sanitario en una empresa productora de alimentos para consumo humano.	8	10	4	2
7	Área de producción	Es el área en el cual la materia prima se transforma al producto final.	6	2	0	2
8	Cientes	Son los usuarios del producto terminado de la empresa.	2	6	4	6

10	SIC	La Superintendencia de Industria y Comercio es la autoridad que controla la competitividad entre empresas y la metrológica legal que se debería cumplir, también defiende los derechos de los consumidores.	6	10	8	2
11	ICONTEC	Instituto Colombiano de Normas Técnicas (ICONTEC) el cual brinda normalización, certificación validación y acreditación de la calidad.	8	10	6	2
12	Proveedores	Suministran las materias primas de los productos fabricados por LA EMPRESA	2	4	2	6

En la Fig. 3 y 4. Se puede observar que cada uno de los cuadrantes refiere a la relevancia de los actores interesados y los agrupa basándose en su nivel de autoridad (poder) y su nivel de preocupación (interés) con respecto al proyecto [6]. Cada uno de los grupos de interés cumple un rol en el cual se va a ver implicado y así mismo, afectado con en el desarrollo del proyecto. Mantener una relación positiva y colaborativa es uno de los pilares más importantes para cumplir con los objetivos planteados.

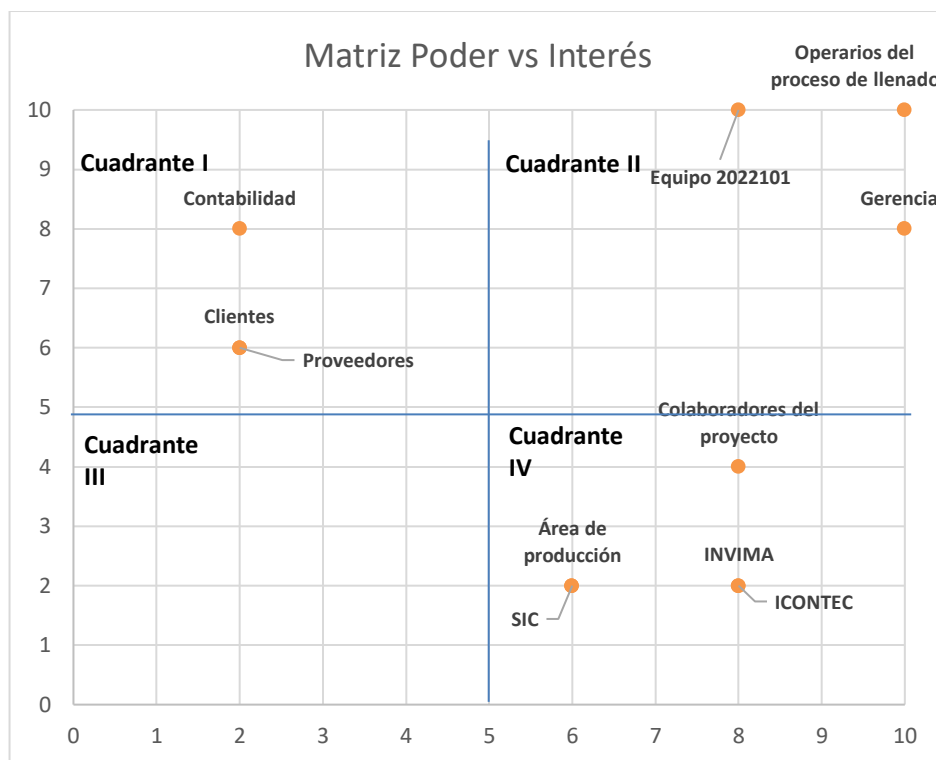


Fig. 3. Matriz Poder – Interés para grupos de interés identificados

Matriz de Relevancia de actores de interés			
Autoridad (poder)- Preocupación (interés)			
Poder	Positivo	Cuadrante I Mantener satisfechos	Cuadrante II Atender estrechamente
	Negativo	Cuadrante III Supervisar eventualmente	Cuadrante IV Mantener informado
		Negativo	Positivo
	Interés		

Fig. 4. Matriz Poder – Interés explicación Mod [6]

En el cuadrante 3, de interés y poder negativo, se refiere a la supervisión eventual de estos grupos de interés que se encuentran en este rango, es decir, el aseguramiento de que su poder no varía con el desarrollo del proyecto y, a su vez, su interés no cambia a lo largo del mismo, todo esto, con el fin de mantenerlos en su posición y no aumentar el riesgo. Dentro de este cuadrante no está ninguno de los interesados identificados. [7]

En el cuadrante de interés positivo y poder negativo, se describe que debe mantenerse informado a todos los grupos de interés que se encuentren aquí. Su estrategia radica en darles la información requerida, pero no negociar ni consultar con ellos, es decir, mantener la relación netamente informativa. En este cuadrante se encuentran los clientes, proveedores y contabilidad. [7]

El cuadrante de poder positivo e interés negativo, tienen como estrategia principal el mantener satisfechos a todos los grupos de interés que se encuentren ahí, es decir, seguir intentando que se mantengan en esa sección negativa por las decisiones del proyecto, porque estas decisiones no los van a afectar. Dentro de este cuadrante están categorizados la SIC, el área de producción, el INVIMA y los colaboradores del proyecto. [7]

Por último, está el cuadrante de interés y poder positivo, en el cual la estrategia principal que se tienen en cuenta es la de atender estrechamente, es decir, de los actores clave, estos, van a intervenir de manera activa en las decisiones que se van a tomar, se debe negociar y llegar a acuerdos para dichas tomas de decisiones, para satisfacer a todas las partes. Aquí, se encuentra el equipo de trabajo 101, la gerencia y los operarios del proceso de llenado. [7]

C. Requerimientos

Es importante que antes de poner en práctica una solución a la problemática, se analicen las necesidades de los interesados y se conviertan en requisitos para el proyecto. Lo anterior se hace para establecer un punto de partida y determinar el alcance del proyecto, esto con el objetivo de que el equipo sea capaz de analizar las alternativas que puedan satisfacer las necesidades con mayor relevancia en el proyecto con el fin de cumplir con los resultados del rediseño de las condiciones de operación del proceso de llenado.

Los equipos de trabajo que van a ser considerados en los requerimientos fueron los que en la matriz poder-interés quedaron en el cuadrante 2, de interés positivo y poder alto, la razón es porque son los que más se ven afectados por los resultados del proyecto; Además, con los cuales hay que colaborar, tener una comunicación asertiva y clara para cumplir esos requisitos que se planteen. En este caso se realizaron entrevistas para identificar los requerimientos evidenciados en el **ANEXO 2**.

TABLA II: REQUERIMIENTOS DE LOS GRUPOS DE INTERÉS

GRUPOS DE INTERÉS	VoC (REQUISITOS GRUPOS DE INTERÉS)	RESTRICCIONES DE DISEÑO	ESPECIFICACIONES DE DISEÑO	LEYES, NORMAS Y ESTÁNDARES	
				Legislación y Requisitos Aplicables	Importancia o Efecto
Equipo 2022101	Atención eficaz de LA EMPRESA al equipo que desarrolla el proyecto. Los requisitos se identifican desde el primer contacto con la empresa, se necesita una respuesta rápida para poder cumplir con los tiempos de entrega establecidos en la universidad.	Disponibilidad de LA EMPRESA para atender a los estudiantes en los horarios que más se les facilite.	Un tiempo máximo de respuesta por parte de LA EMPRESA de dos días por solicitud realizada.	Cronograma de actividades	Definición de fechas y visitas con funcionarios de LA EMPRESA para el cumplimiento del cronograma de actividades para que los resultados del proyecto sean adecuados
		La ubicación de LA EMPRESA no está en la ciudad de Cali, por lo que el tiempo de desplazamiento es mayor a 3 horas por día de visita.	Se necesita transporte propio para realizar las visitas a la empresa, sino el tiempo no rinde lo suficiente.		
Gerencia	Reducción de los errores en las condiciones de operación en el proceso de llenado. Ver Anexo 2. Grupos de Interés, entrevista Karla Bauer	No se cuenta con equipos de medición de alta sensibilidad y precisión.	Disminución del desperdicio del producto terminado y del material de empaque.	Especificaciones internas	Define las especificaciones dentro de LA EMPRESA para la presentación del producto, teniendo en cuenta peso neto y peso bruto.
		Falta de estandarización del proceso	Disminución en la variación del producto terminado.	Resolución 32209 de 2020 Resolución 16379 de 2003 Artículo 78 de la constitución política	Reglamentan el control de los productos pre empacados en Colombia en cuestión del etiquetado, empaque, sistema de medición, cantidades neta y el control metrológico. Por lo cual, se debe tener en cuenta el cumplimiento de las resoluciones para no incurrir en sanciones legales
	Confidencialidad con el manejo de los datos internos de LA EMPRESA. Ver Anexo 3. Acta de confidencialidad	La privacidad de LA EMPRESA es vital para la realización del proyecto	Reemplazo del nombre real de la compañía por "LA EMPRESA"	Acta de confidencialidad	Esta norma establece el método de ensayo que debe aplicarse en el muestreo del azúcar.
Operarios	Disminución del estrés y carga laboral por los reprocesos. Ver Anexo 2. Grupos de Interés, entrevista operario	Falta de estandarización del método y equipos de medición no adecuados	Establecimiento de un método para trabajar de la manera correcta disminuyendo los errores y reprocesos al mínimo.	Resolución 1016 de 1989	Define estándares para el método del operario, dejando de lado la práctica y el error lo cual permite menor carga laboral.

Resolución 32209 de 2020. Esta resolución abarca los parámetros establecidos en la **Resolución 16379 de 2003**, en donde de reglamenta los requisitos metrológicos para productos pre empacados, con relación al peso volumen, medida lineal, cantidad o área, al igual que los procedimientos y planes de muestreo que deben ser utilizados por las autoridades encargadas del control metrológico,

verificando las cantidades en los productos pre empacados. Porque unos de los objetivos de la SIC es la protección al consumidor, lo cual fundamenta que se entreguen los productos de la manera en que están establecidas las leyes y normas adscritas a Colombia. Siguiendo también el **artículo 78 de la constitución política** que regula la comercialización de bienes y servicios que atenten contra la salud y seguridad del consumidor final. [8]

NTC 1706. Esta norma técnica colombiana reglamenta los procedimientos y métodos a seguir en el ensayo para el muestreo de azúcar. [9]

Acta de Confidencialidad. Contrato legal entre dos o varias entidades que limita el uso de información confidencial o conocimientos con relación a diversos aspectos restringiendo del conocimiento público, revisar ANEXO 3.

Resolución 2404 de 2019. Determina la obligación de prevenir, controlar y monitorear los riesgos psicosociales en el trabajo. Por lo que es importante para el desarrollo del proyecto para cumplir con el requerimiento del operario de estandarizar el método de llenado para eliminar reprocesos. [10]

III. MEDIR

A. Plan de recolección de datos

El plan de recolección de datos (ANEXO 5) es de vital importancia, puesto que permite identificar, medir y analizar las variables que intervienen en el proceso de llenado y el método de empaque, con el objetivo de conocer las condiciones actuales de desempeño. En este orden de ideas, para ejecutar la toma de datos de las variables presentes en el proceso de dosificación, se registraron los pesos del producto final, en este caso las bolsas de azúcar blanca de 500 g. Para la ejecución del muestreo, no se hizo uso de la báscula de la empresa, ya que no cuenta con la sensibilidad adecuada debido a que no permite detectar la variación real entre los pesos de las bolsas de azúcar, porque en LA EMPRESA se utiliza una báscula con precisión de 0,1 kg.

De esta forma, se procedió a utilizar la balanza digital de la Pontificia Universidad Javeriana de Cali, la cual se encuentra calibrada (ANEXO 6) y ajustada. Este instrumento cuenta con una precisión de 0,01 g, lo que permite tener un sistema de medición con mayor confiabilidad. Con el fin de evaluar si el instrumento de medición es confiable, se realizó el estudio de estabilidad, reproducibilidad y repetibilidad (ANEXO 4).

Con el plan de recolección de datos, se identifican las posibles variables relacionadas con el proceso de dosificación de azúcar. Los datos experimentales recolectados en esta etapa provienen de fuentes primarias, por lo que es una identificación de la problemática de subdosificación y sobredosificación dentro de la empresa. Es necesaria una base de datos de la presentación de la arroba (25 unidades de 500g de azúcar) como objeto de estudio del proyecto, en este caso como la empresa no cuenta con datos históricos del proceso de dosificación, es necesaria realizar la toma de una muestra.

Para lo anterior, se tiene en cuenta la observación como método de obtención de datos, debido a que es importante identificar factores externos para analizarlos porque pueden ser la causa del no cumplimiento de los estándares de peso en LA EMPRESA También, como fuente primaria se tienen las encuestas realizadas al operario y gerencia de la empresa, ver ANEXO 2. Es fundamental revisar el entorno en donde se desarrolla el proceso, puesto que de aquí se pueden evidenciar factores tales como: método, mediciones, mano de obra, recursos, administración, maquinaria, medio ambiente y materiales que pueden variar las condiciones del proceso. Como fuente secundaria están los informes corporativos de la empresa, en los cuales se brindan las ventas históricas y costos de la presentación utilizada para el estudio.

Para el muestreo es necesario validar el tamaño de muestra representativo con el fin de obtener resultados confiables y cercanos a la realidad de la producción de arrobas en la empresa. Es así, como se procedió a calcular el tamaño de muestra con la siguiente ecuación:

$$n_0 = \frac{Z_{\alpha/2}^2 \cdot (S^2)}{\epsilon^2} \quad (1)$$

Donde ϵ es el error máximo que el investigador está dispuesto a permitir al estimar intervalos de confianza para los pesos de las bolsas de azúcar blanca de 500 g, en este caso es del 2,92 g. Por otro lado, se tiene en cuenta un nivel de confianza del 95% (en la mayoría de los casos se utiliza este porcentaje debido a que es el rango medio de confiabilidad para aquellas variables que el impacto, en sus resultados no ponen en riesgo la integridad de las personas), un valor de Z de 1,96. Finalmente, el valor de la varianza muestral (S) es de 21,0 (ver ANEXO 1, pestaña: Cálculo tamaño de muestra).

Por otro lado, es necesario realizar esquemas y diagramas con el fin de visualizar de forma detallada el proceso del azúcar y así poder analizar de mejor manera los pasos que componen cada actividad. De esta forma, para una mayor comprensión de la integración de las áreas de la empresa, se utiliza un diagrama SIPOC que se muestra en la Fig.5 para identificar los proveedores, entradas, procesos, salidas y clientes que están relacionados en el proceso productivo. Adicionalmente, se realiza un mapa de procesos Fig. 6, con el fin de relacionar los diferentes sectores que componen la empresa, para obtener detalles adicionales e indicar o resaltar las responsabilidades funcionales de cada etapa del proceso de llenado del azúcar. Por último, para poder obtener un registro de las diferentes acciones realizadas en la dosificación del azúcar, se realiza un diagrama de flujo evidenciado en la Fig.7, 8 y 9 para obtener una vista detallada de las condiciones de operación.

Para analizar las variables estudiadas se organizó un procedimiento de recolección de datos en el que se obtuvieron variables cuantitativas discretas: Dosificación, baches, resistencia de corte, resistencia horizontal, resistencia vertical (revisar glosario) y bolsas defectuosas. Como variables continuas se obtiene la siguiente información: peso, tiempo bolsas sin defectos, es decir el tiempo que transcurrió hasta salir una bolsa defectuosa y tiempo de arranque hasta defecto, lo que significa los segundos transcurridos desde el encendido de la maquina hasta que se presentó una bolsa con algún tipo de defecto. Como variables cualitativas se consideran los tipos de defecto con el que sale la bolsa, los cuales pueden ser: rota, quemada, mal corte o no defecto.

Finalmente se identifica que no se registra información para el cálculo de indicadores, que evalúe el seguimiento de las condiciones de operación para la mejora continua. Es por esto, que el equipo considera importante el desarrollo de la descripción del sistema actual,

en conjunto con indicadores que permitan cuantificar la situación vigente.

B. Medición del sistema actual

Es importante identificar y caracterizar el estado actual del proceso de dosificación de las bolsas de azúcar de 500 g, mediante la utilización de herramientas como: mapa de procesos, SIPOC y diagrama de flujo, de tal forma que se puedan identificar puntos críticos, puntos de mejora, cuellos de botella, entre otros. Esta información permitirá verificar que el sistema actual haya cambiado. Se realiza la caracterización del proceso de producción mediante un diagrama SIPOC con la intención de obtener una visión detallada que ayude a comprender los elementos claves que están involucrados (proveedores, entradas, procesos, salidas y consumidores) en cada uno de los procesos de producción de azúcar. En nuestro caso, el diagrama SIPOC no es para un área específica, sino para todo el proceso de producción.

S	I	P	O	C
SUPPLIER	INPUTS	PROCESS	OUTPUTS	CUSTOMER
Cañaduzales propios	Cosecha de caña o Caña de azúcar	Recolección de caña	Trozos de caña (tallos de caña 20cm)	Ingenio Azucarero Transportadores de caña
Transportadores de caña	Trozos de caña (tallos de caña 20cm)	Lavado de la caña	Trozos de caña (tallos de caña 20cm, eliminación de impurezas)	Operarios encargados
Operadores de desmenución	Trozos de caña limpios (tallos 20 cm)	Desmenuzación de la caña	Trozos de caña (tallos de caña 15cm)	Operarios de molienda
Operarios de molienda	Trozos de caña (tallos de caña 15cm)	Molienda de la caña	Jugo de caña (con lodo) Bagazo de la caña	Área de clarificación
Área de concentración	Jugo de caña de azúcar purificado(15% de concentración de azúcar)	Concentración de azúcar (Utilización de evaporadores)	Jugo de caña de azúcar (60% de concentración de azúcar)	Área de clarificación
Área de clarificación	Jugo de la caña(con lodo)	Clarificación de la caña (eliminación de suciedad, encimas y microorganismos del jugo)	Jarabe de caña de azúcar (sirope purificado) Impurezas del jugo	Operarios de extracción
Operarios de Extracción	Jarabe de caña de azúcar Cristales de sacarosa	Extracción de Azúcar del jarabe	Cristales de Azúcar Melaza	Área de secado
Área de secado	Cristales de azúcar	Secado del azúcar	Cristales de Azúcar (reducción de la humedad a un 0,02%)	Area de empaquetado
Área de empaquetado proveedor de material de empaque	Cristales de Azúcar (reducción de la humedad a un 0,02%)	Empaquetado del azúcar	Costales de 50kg de azúcar?	Bodega del ingenio
Operador de producción	Costales de 50kg de azúcar	Llenado de la dosificadora de azúcar (Llenado de la tolva)	Llenado de las bolsas de azúcar (500gr y 1000gr)	Operador de producción
Operador de producción	Llenado de las bolsas de azúcar (500gr y 1000gr)	Llenado de las presentaciones	Paca de azúcar (25 unidades de 1000gr) Arroba (25 unidades de 500gr)	Operador de empaque
Operador de empaque	Paca de azúcar (25 unidades de 1000gr) Arroba (25 unidades de 500gr)	Almacenamiento	Pedidos	Clientes

Fig. 5. Caracterización del proceso de dosificación

En la Fig. 6 se representan los procedimientos que componen LA EMPRESA mediante el mapa de procesos, utilizando la clasificación estándar para cada tipo (Procesos estratégicos, Misionales y de apoyo). Los primeros, son aquellos que toman decisiones claves y direccionan las operaciones. Los Misionales, son los recursos operativos necesarios para la realización del producto y el último es el responsable de proveer a la organización los recursos necesarios. Por otro lado, se identificó que LA EMPRESA realiza dos procesos estratégicos; Gestión Gerencial y planeación estratégica, así mismo los procesos misionales son; Gestión de pedidos, Centro de llenado, Logística de entrada, Producción, Almacén PT, Despacho y facturación, Gestión de venta. Finalmente, en el de soporte, se detallaron 4 de ellos; Gestión humana, Gestión de compras, Gestión de mantenimiento y Gestión financiera.

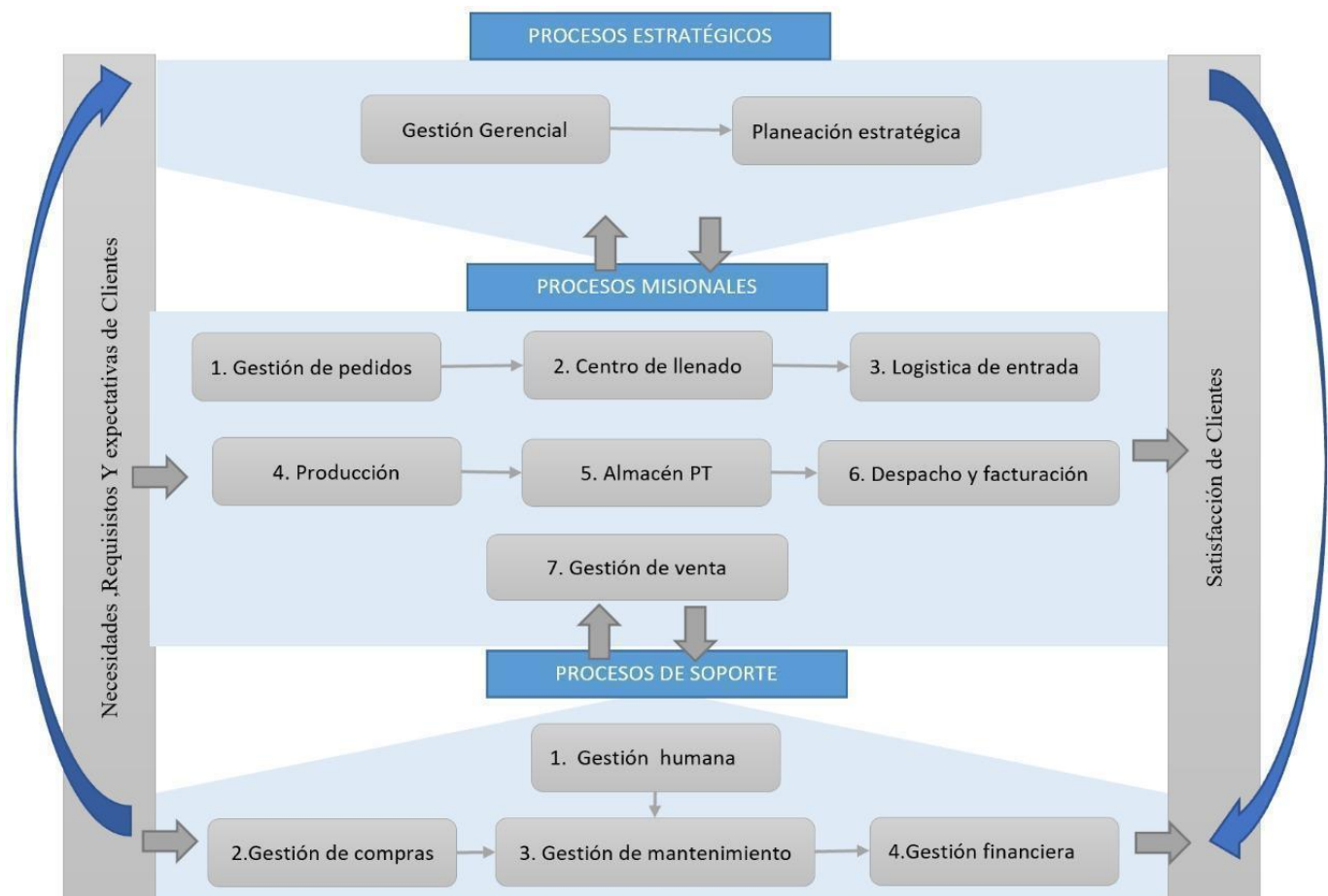


Fig. 6. Mapa de procesos de LA EMPRESA

Para realización del diagrama de flujo se hizo uso de la metodología de ISO con sus respectivos significados para visualizar el proceso de la máquina dosificadora (ver Fig. 7) de LA EMPRESA, es por esto que se tiene como un factor primordial evaluar cómo los cambios a realizar en la máquina varían significativamente el peso de cada bolsa de azúcar, ya que es un proceso continuo con 32 bolsas por minuto en el caso de la presentación de 500g. Se deben de evaluar cuáles condiciones de proceso son las necesarias a tener en cuenta para que las bolsas estén dentro de los límites de especificación y no se realice el llenado de manera empírica.

Además, se puede identificar que existen varias inspecciones dentro del procedimiento que conlleva a menor eficiencia, debido a que esto incurre en realizar cambios que toman tiempo o hasta reprocesos de devolución de producto, entre esos, que su peso no esté dentro de los límites, lo anterior son cuellos de botella que además de retrasar el proceso con los tiempos adicionales que son necesarios para realizar los cambios en las variables de entrada genera material desperdiciado en el momento del arranque el cual es necesario para el calentamiento de las resistencias y que se realice el corte de manera adecuada para cada bolsa según la fotocelda presente, en este orden de ideas, a pesar de tener este calentamiento en el arranque se presentan bolsas rotas, mal selladas y/o quemadas, siendo necesario disminuir el desperdicio de material en esta fase. Para lo anterior, se debe tomar información de las condiciones de proceso utilizadas actualmente y evaluar la cantidad de bolsas desperdiciadas a causa de la no estandarización del proceso.

Diagrama de flujo del proceso de dosificación de azúcar

Realizado por: Sofía Ledesma, Luisa Rodríguez, Juan Esteban Tascón y José Valencia

Fecha: 16 de Abril de 2022

Método: Actual

Página 1 de 3

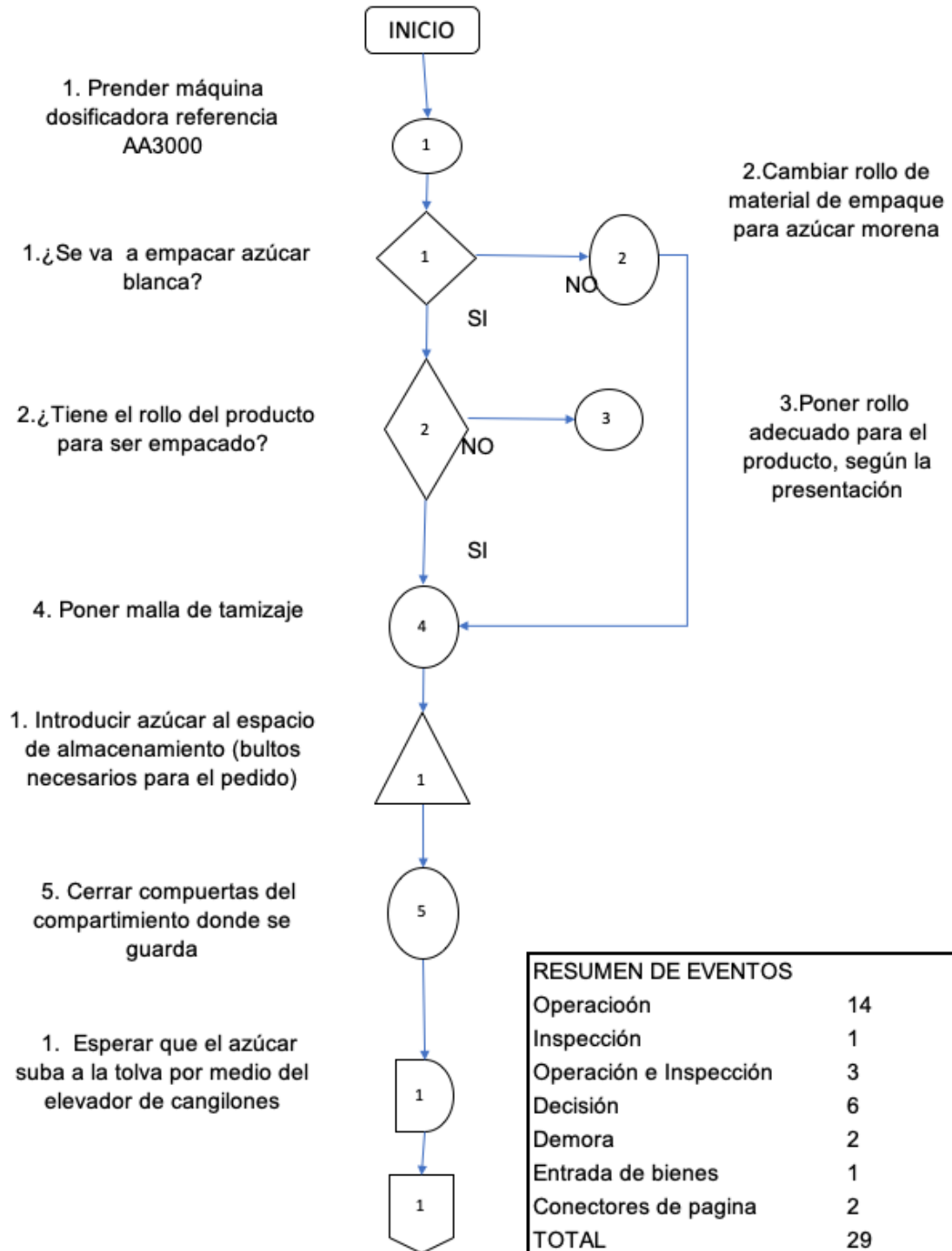


Diagrama de flujo del proceso de dosificación de azúcar

Realizado por: Sofía Ledesma, Luisa Rodríguez, Juan Esteban Tascón y José Valencia

Fecha: 16 de Abril de 2022

Método: Actual

Página 2 de 3

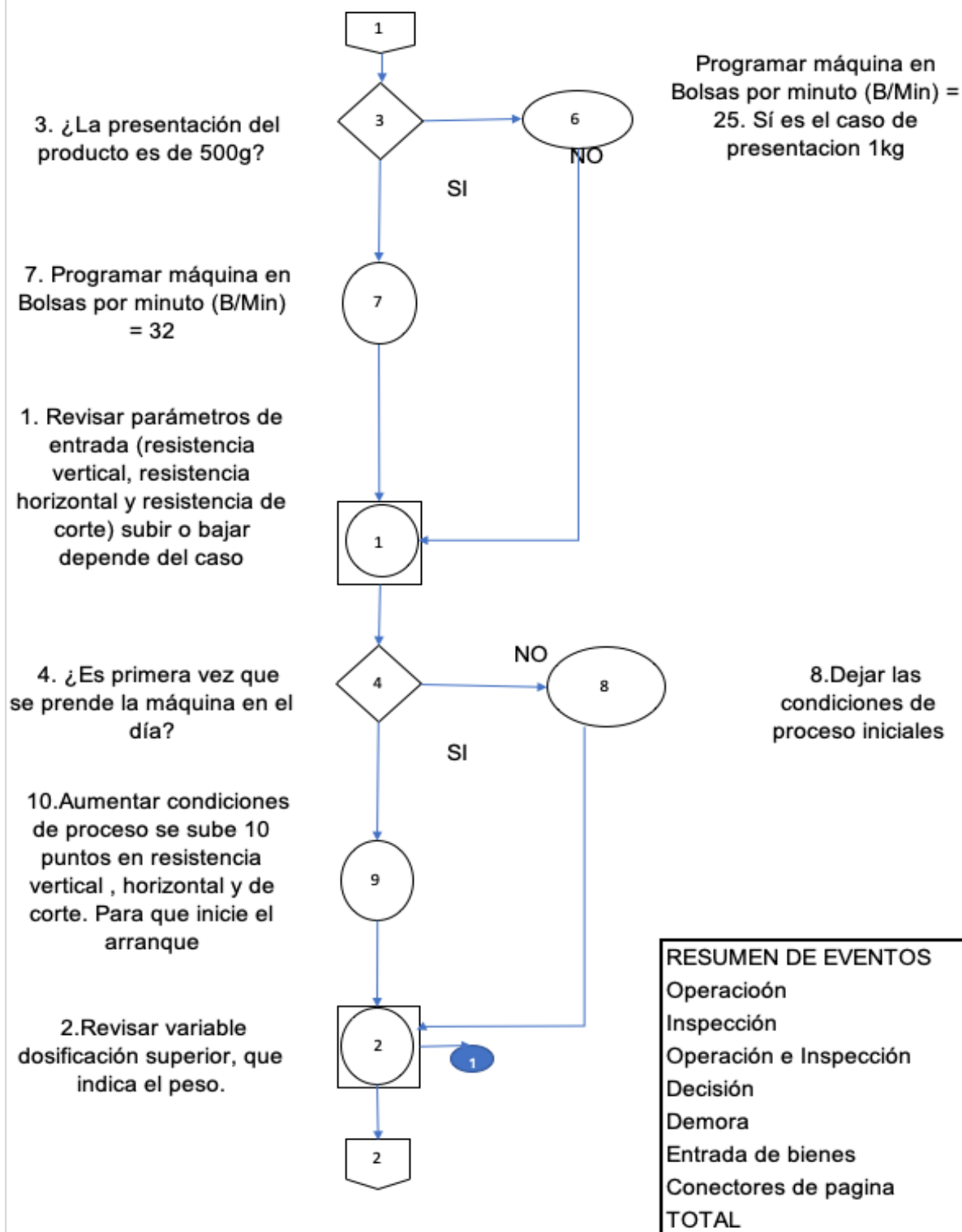


Diagrama de flujo del proceso de dosificación de azúcar

Realizado por: Sofía Ledesma, Luisa Rodríguez, Juan Esteban Tascón y José Valencia

Fecha: 16 de Abril de 2022

Método: Actual

Página 3 de 3

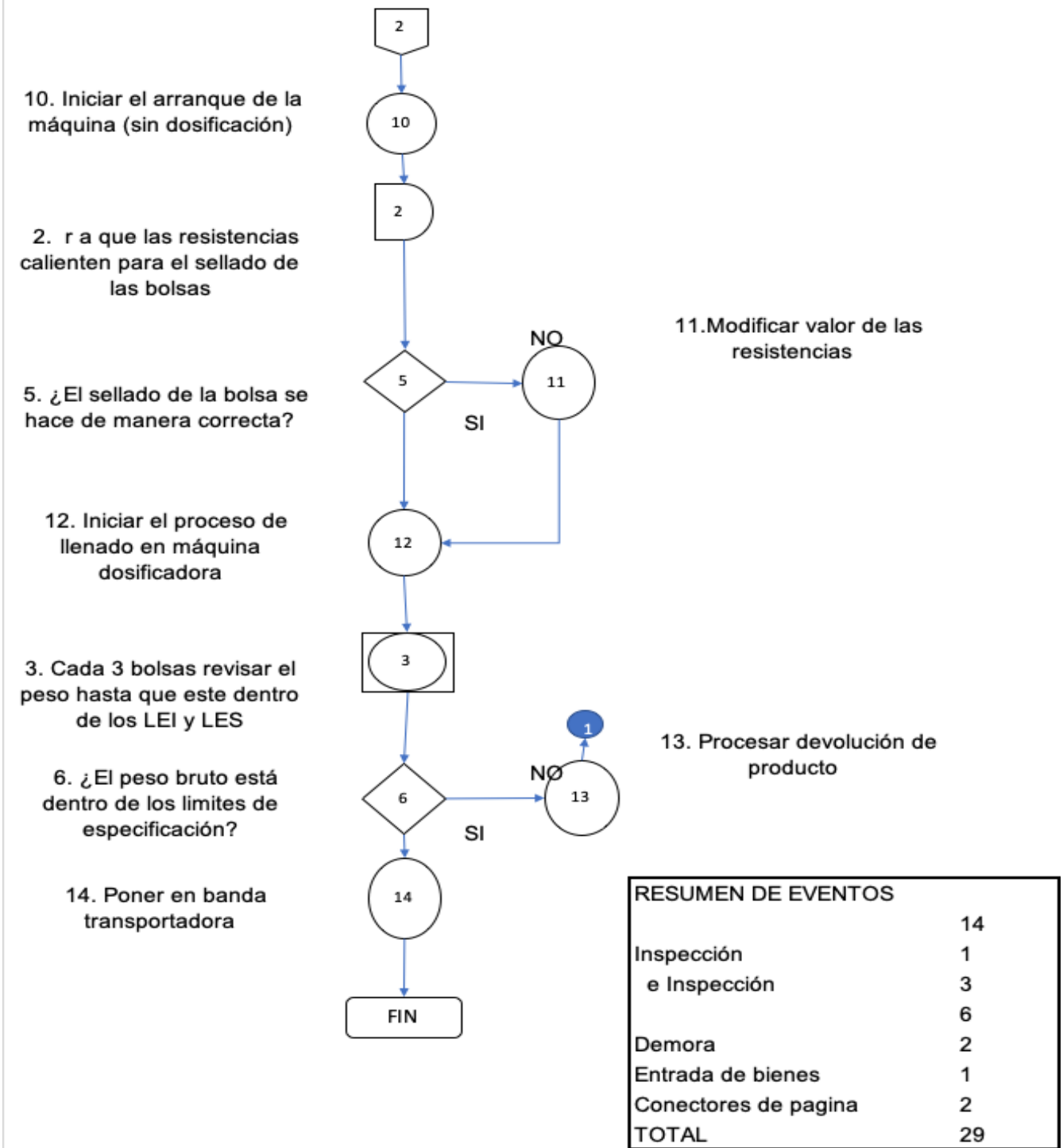


Fig. 7. Diagrama de flujo del proceso de dosificación

Después de haber identificado las variables a analizar del proceso de dosificación en el plan de recolección de datos (ANEXO 5), se evaluaron los indicadores de desempeño a tener en cuenta en el proyecto, con su resultado en la situación actual y la meta propuesta por los requerimientos del grupo de interés solicitado.

TABLA III: INDICADORES DE DESEMPEÑO SITUACIÓN ACTUAL

Variable	Indicador	Actualidad	Meta	Anexo
Cumplimiento del producto, respecto a sus especificaciones	% cumplimiento= pesos que cumplen con las especificaciones / pesos de la producción actual o total de productos	13%	>50%	Anexo 1, pestaña: % de no cumplimiento Medir. Anexo 2, Entrevista Grupos de Interés
Nivel de calidad del sistema con respecto a 4σ (Desviación estándar)	$\sigma = \frac{LSE - LIE}{8}$	21,09	< 8	Anexo 1, pestaña: cumplimiento nivel 4 sigma.
Confiabilidad del sistema de medición	Estabilidad R&R	El sistema de medición de LA EMPRESA no es confiable (no cumple con exactitud, preciso, estable, ni reproducible ni repetible)	Que el sistema de medición produzca medidas de peso iguales entre una bolsa y otra dentro de las especificaciones	Anexo 4
Porcentaje de material de empaque desperdiciado	Cantidad de bolsas de material de empaque desperdiciadas=Número total de bolsas producidas-Número de bolsas sin ningún defecto. % Bolsas desperdiciadas=(cantidad de bolsas de material de empaque desperdiciadas/total de material de empaque utilizado en producción) X 100%	28,5%	<20%	Anexo 1, pestaña: material de empaque desperdiciado
Eficiencia de la dosificadora	OEE= disponibilidad x Calidad x Rendimiento	6,46%	>20%	Anexo 1, pestaña: OEE
Capacidad potencial del proceso a largo plazo	$Pp = \frac{LSE - LIE}{6\sigma_L}$	0,02	1,0 > Pp >1,33	Anexo 1, pestaña: Pp y Ppk
Capacidad real del proceso a largo plazo	$Ppk = \text{Minimo} \left[\frac{\mu - LIE}{3\sigma_L}, \frac{\mu - LSE}{3\sigma_L} \right]$	-0,09	Ppk>1,0	Anexo 1, pestaña: Pp y Ppk

Se realizó la prueba de normalidad, con el fin de estudiar el comportamiento de los datos en cuanto a la distribución normal, en este caso, los resultados indicaron la presencia de factores externos que afectaron la medición de los pesos de las bolsas de azúcar. Por otro lado, se demuestra que los pesos incumplen con las especificaciones en un 87%, de este porcentaje el 77,5% de los pesos incumplen por debajo del límite de especificación inferior y solo el 9,5% por encima del límite de especificación superior. De lo anterior, se puede concluir que LA EMPRESA está vendiendo a los clientes menor cantidad de azúcar de lo que deberían, no está vendiendo la cantidad de producto especificado en el empaque, lo que puede incurrir en problemas legales para la compañía ver ANEXO 1, pestaña: % de no cumplimiento medir.

Por otro lado, al realizar el cálculo con un 95% de confianza, el índice de desempeño potencial (Pp) y real (Ppk) se demuestra que a largo plazo las especificaciones no se van a cumplir de acuerdo con los valores que dieron como resultado el Pp con 0,02 y Ppk con -0,09 para la muestra de las 200 bolsas de azúcar. Es decir que el nivel de calidad del proceso es deficiente en cuanto al cumplimiento de las especificaciones a largo plazo, también se realiza el cálculo del *Z-bench* y PPM de la muestra, lo cual revela que el proceso tiene como nivel de calidad σ es de -1,8 lo que quiere decir que actualmente por cada millón de bolsas de azúcar de 500 g, 982 819,22 no están dentro de los límites de especificación. Es necesario tener una desviación estándar de 0,25 para alcanzar un nivel de calidad 4σ , actualmente la desviación estándar del proceso es de 21,09 contando las bolsas de arranque, que son vistas como oportunidad de mejora (Ver ANEXO 1, pestaña: Pp y Ppk). Es decir, que el proceso a largo plazo es inadecuado y no está centrado porque el Pp no es igual al Ppk y con el fundamento del resultado de la situación actual. Al realizar la producción para la toma de muestras se desperdiciaron 57 bolsas (52 corresponden a bolsas desperdiciadas en el arranque y 5 a bolsas defectuosas por tipo de defecto rotas) que en promedio es un 28,5% de las bolsas. Si llevamos estos cálculos a términos económicos el costo por bolsa desperdiciada es de 80 pesos y esto multiplicado por la cantidad de bolsas que se perdieron (57) da que para una muestra de 200 bolsas se tiene una pérdida de \$4 560 COP. Ver ANEXO 1, pestaña: material de empaque desperdiciado.

El OEE (*Overall Equipment Effectiveness* o Efectividad total de los Equipos) es un indicador que sirve para evaluar la capacidad integral de una máquina en producción con una rúbrica de calificación, un OEE mayor a 85% es aceptable, es decir, permite identificar posibles inconvenientes a nivel de desperdicio, además de que genera síntomas los cuales serán trabajados por el ente que esté investigando esa información. Este indicador tiene tres partes fundamentales para su ejecución; disponibilidad, rendimiento y calidad, las cuales verificarán factores independientes que afecten el proceso productivo. Inicialmente se tiene la disponibilidad, que mide la capacidad de tiempos de la máquina en estudio es la razón entre el tiempo de operación y el tiempo planificado de producción. El rendimiento es el indicador que evalúa el ritmo de producción comparando la tasa de producción y su plan establecido. Por último, está la calidad, el indicador de comparación o porcentaje de conformidad, el que determina el porcentaje de unidades dentro de los límites de especificación de un proceso productivo, en la Fig. 8, se explica de manera más explícita las fórmulas.

Ahora bien, el estudio por parte del equipo 101 fue claro, después de la toma de muestra representativa (200 unidades) y del registro histórico de una orden de 305 arrobas (7625 bolsas) (Ver ANEXO 1 pestaña: OEE) para producción, se realizó el porcentaje de OEE para representar la situación actual de LA EMPRESA, para saber inicialmente en qué límites porcentuales del indicador de efectividad total (OEE) [11] se encuentra el proceso de dosificación. El OEE realizado con la muestra, arrojó un indicador con un porcentaje de 4,06% (Ver ANEXO 1 pestaña: OEE), lo que se encuentra en un límite de inaceptabilidad en donde LA EMPRESA tendrá pérdidas económicas y baja competitividad. Para verificar ese porcentaje de OEE, se tomó un dato del registro histórico de un pedido demandado de 305 arrobas, lo que da como resultado de un OEE de un porcentaje de 6,46%, que, aunque es diferente al de la muestra, también se encuentra en el límite de inaceptabilidad, con grandes problemas y errores en el proceso productivo, con pérdidas económicas y baja competitividad. En conclusión, estos indicadores llevan al equipo de trabajo a determinar que el proyecto es más que necesario para mejorar en el OEE, porque para ser competitivos en el mercado el OEE debe ser mayor al 85% y la empresa actualmente tiene un OEE de inaceptable, menor al 65%.

DISPONIBILIDAD=	$\frac{\text{Tiempo operación}}{\text{Tiempo planificado de producción}}$
RENDIMIENTO=	$\frac{\text{N}^\circ \text{ total de unidades producidas}}{\text{Tiempo de operación} * \text{estándar de producción}}$
CALIDAD=	$\frac{\text{N}^\circ \text{ unidades conforme}}{\text{N}^\circ \text{ total de unidades producidas}}$

Fig. 8. Fórmulas para cálculo OEE Mod[11]

Finalmente, los indicadores que se van a poner en práctica en LA EMPRESA al realizar la propuesta implementada son: la calidad del producto respecto a sus especificaciones, la cantidad de material desperdiciado y el OEE. Los anteriores van a quedar como aporte del grupo de trabajo en un archivo modificable de Excel para el seguimiento y control del proceso. Es por esto, que los indicadores se formulan de manera automática en Excel para el fácil entendimiento de los grupos de interés con una tabla de comparación de indicadores de gestión para saber en qué rangos de cada indicador está correcto, como una rúbrica. Lo anterior, con el objetivo de realizar constantes supervisiones en el proceso de dosificación de azúcar.

IV. ANALIZAR

A. Análisis de Causas

Posterior a la medición de los indicadores para identificar la situación actual de LA EMPRESA, se procede a realizar el análisis de causas. Esta fase es fundamental para el desarrollo del proyecto, ya que representa las posibles causas del problema planteado inicialmente, en donde se podrá ver en el momento de su ejecución, la mejor opción para desenvolverse en la mejora respectiva, además, brindará parte del conocimiento necesario para el diseño de dicha solución.

Para lograr un análisis efectivo de las causas, se procede a realizar una tormenta de ideas, en donde la conexión equipo--empresa es importante para que la creatividad de ambos sectores pueda generar los suficientes planteamientos para y así, realizar un análisis preciso con causas determinadas por el operario, gerencia y el equipo de trabajo mismo. La tormenta de ideas se puede ejecutar con el método Disney [12], en donde la creatividad es la clave para la parte soñadora de este método. Luego de realizar la tormenta de ideas, se agrupan las ideas en un diagrama de afinidad, el cual organizará las ideas y mejorará la calidad de la información. El diagrama de afinidad se basa en las 6M (Máquina, mano de obra, materiales, métodos, mediciones y medio ambiente) en donde este concepto es una forma de distribuir las ideas sobre las causas.

A raíz de lo anterior mencionado, se realiza el diagrama de causa y efecto, el cual representa los módulos de las 6M distribuidos en espinas, asemejando el cuerpo de un pescado, de la misma forma, en la cabeza, se ubica el problema inicial del proyecto, el cual debe ser solucionado con un planteamiento eficaz, que supla los requerimientos de los grupos de interés predeterminados en instancias anteriores. Así pues, el diagrama de causa y efecto será el momento exacto en donde se escogerá una causa dentro de todas, para con ella, realizar los 5 porqués, es decir, preguntarse cinco veces por qué está sucediendo algo y de esta manera, determinar cuál es la causa más específica donde el grupo de trabajo tendrá que enfocar sus esfuerzos para solucionar la problemática inicial.

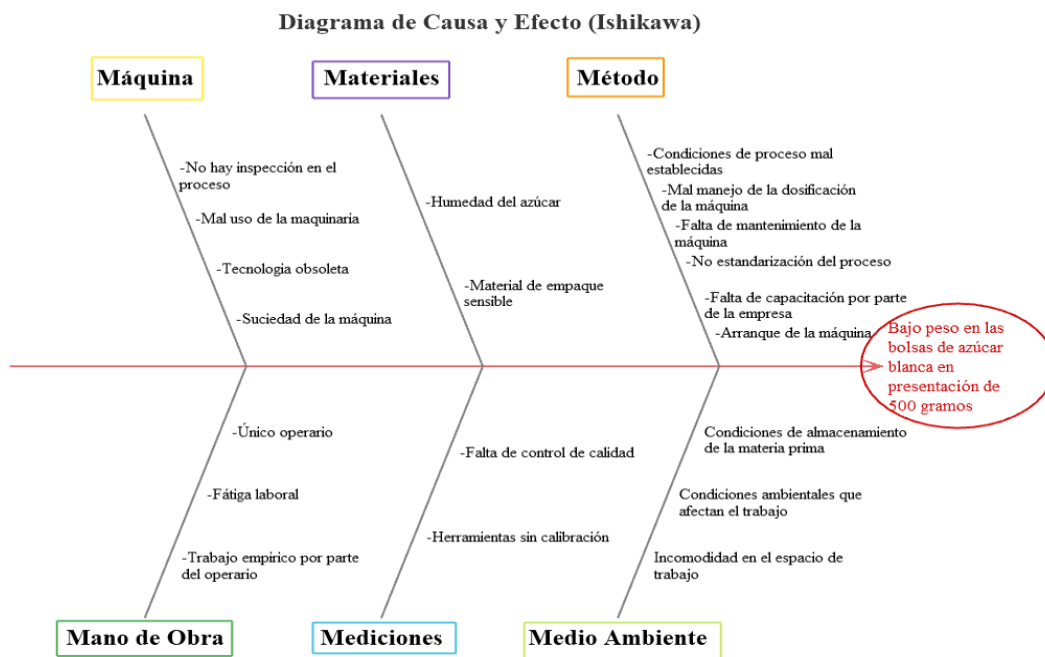


Fig. 9. Diagrama de Causa y Efecto

Con la realización de los 5 porqués se determinó la causa raíz, donde el equipo de trabajo se pondrá en tarea de solucionar y preguntar qué y cómo hacerlo. Mediante el desarrollo del análisis de causas se pudo concluir que la causa raíz del problema en cuestión, es que no se ha hecho un estudio en el cual se le indiquen al operario las mejores condiciones de operación para el proceso de llenado en LA EMPRESA. Por esto, se presentan varios aspectos; primero, se logra identificar que el enfoque del proyecto se puede inclinar más al Método que a la Máquina en sí, debido a los altos costos de implementación de nuevas tecnologías de dosificación. Otro aspecto importante que se logra identificar es que el único trabajador que opera la máquina, no tiene establecidos parámetros en la dosificadora, que eviten las altas variaciones en los pesos de las bolsas de azúcar blanca en la presentación de 500g.

¿Por qué no están cumpliendo las especificaciones de peso en las bolsas de 500 g ?	Porque no hay un método estandarizado.
¿Por qué no hay un método estandarizado?	Porque el operario digita las condiciones de manera empírica.
¿Por qué el operario digita las condiciones de manera empírica?	Porque no conoce cuáles son las condiciones adecuadas en la máquina dosificadora.
¿Por qué no conoce cuáles son las condiciones adecuadas en la máquina dosificadora?	Porque realiza su trabajo a error y ensayo.
¿Por qué realiza su trabajo a error y ensayo?	Porque no se ha hecho un estudio en el cual se le indiquen las mejores condiciones de operación.

Fig. 10. 5's Porqués

Para complementación del análisis de causas, se desarrolló un análisis estadístico (ver anexo 9), que permitió establecer medidas confiables, basándose de datos previamente recolectados, para de esta forma, realizar predicciones que describen el sistema actual de LA EMPRESA. La estadística inferencial fue utilizada para desarrollar conclusiones de la población, partiendo de una muestra, con el fin de identificar la característica de interés requerida, que en este caso son la sobredosificación y subdosificación de las bolsas de azúcar blanca en su presentación de 500g. El equipo de trabajo, con el apoyo de LA EMPRESA y la balanza digital corta aires, ejecutó de manera continua la toma de datos nuevos para posterior análisis de información. En esta toma de datos, se estudiaron las variables que pueden afectar el proceso de dosificación y cómo estas están correlacionadas con la variable de respuesta que en este caso es el peso de las bolsas de azúcar.

Mediante la toma de muestras ejecutada anteriormente, se procedió a realizar el modelo de regresión simple, con el fin de evaluar las condiciones de operación iniciales, identificando la correlación de los parámetros de entrada establecidos y en cuanto porcentaje se ve influenciada la variación del peso (Variable de salida). Cabe resaltar que las variables tenidas en cuenta para este análisis fueron, resistencia horizontal, resistencia de corte y dosificación, Además, se presentaron más condiciones de operación en el proceso, tales como, uso de máquina, temperatura máquina, entre otras, pero fueron descartadas debido a su baja correlación con la variable de respuesta. A continuación, en Fig. 11, Fig. 12 y Fig. 13, se expondrán los resultados obtenidos por los modelos y sus planteamientos.

La Fig. 11 muestra los resultados obtenidos del análisis de correlación para la resistencia horizontal vs el peso de las bolsas de azúcar blanca.

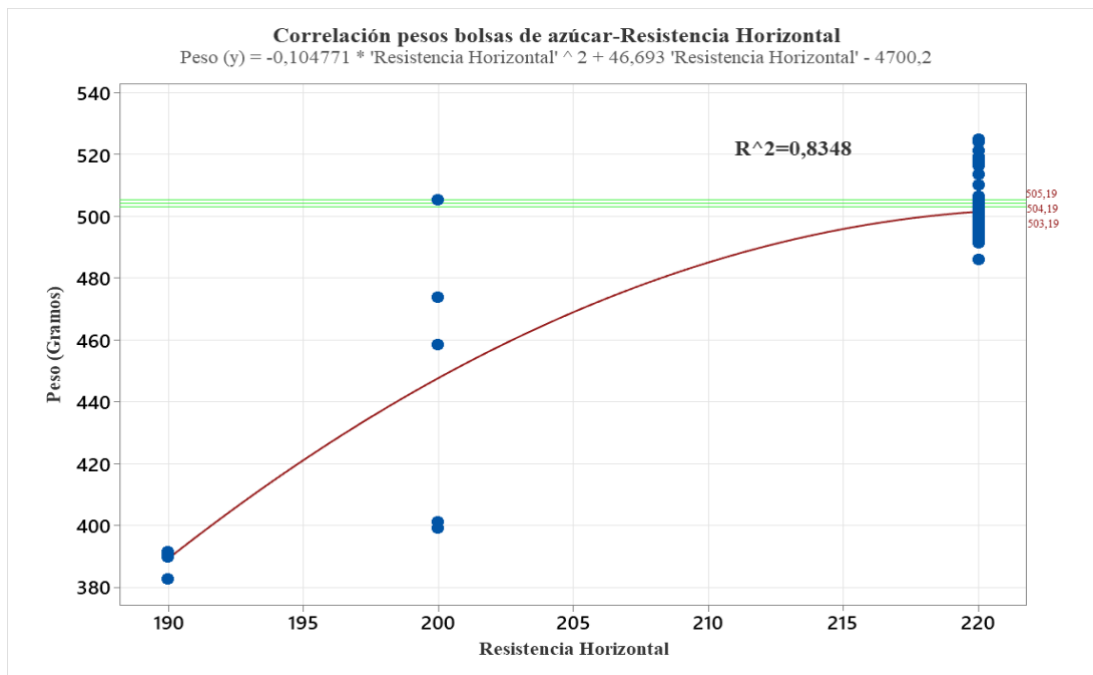


Fig. 11. Análisis de correlación PESO – RESISTENCIA HORIZONTAL

De acuerdo a la Fig. 11, se puede demostrar la relación entre el peso de las bolsas de azúcar blanca en presentación de 500g y la resistencia horizontal establecida en la máquina dosificadora. Como se observa en el gráfico, se infiere un comportamiento de los datos de forma polinómica, es decir, a medida que aumente la resistencia horizontal aumenta el peso, además, es el modelo que mejor se ajusta a la serie de datos. El coeficiente de determinación indica en términos de porcentaje la variación de la variable de respuesta y en qué porcentaje la variación de la misma está siendo explicada por el modelo. El coeficiente de correlación que se encontró fue de $r = 0,91$, lo que muestra que hay una fuerte relación entre la resistencia horizontal y el peso. Como el coeficiente de correlación es positivo, la relación es directa entre la resistencia horizontal y el peso de las bolsas de azúcar, a mayor resistencia horizontal, el peso de las bolsas de azúcar aumentará de manera polinómica. Para ejemplificar el concepto anterior, revisando los datos del gráfico, si se establece una resistencia horizontal de 220, se espera que el peso de las bolsas, se encuentre dentro de los límites de especificación (503,19g – 505,19g). El R^2 igual a 0,8348 apunta que la variación del peso de las bolsas de azúcar blanca, está explicado por este modelo en un 83,48%, es decir que las variables tenidas en cuenta influyen en el comportamiento del peso.

Posteriormente, la Fig. 12 muestra los resultados obtenidos del análisis de correlación para la resistencia de corte vs el peso de las bolsas de azúcar blanca.

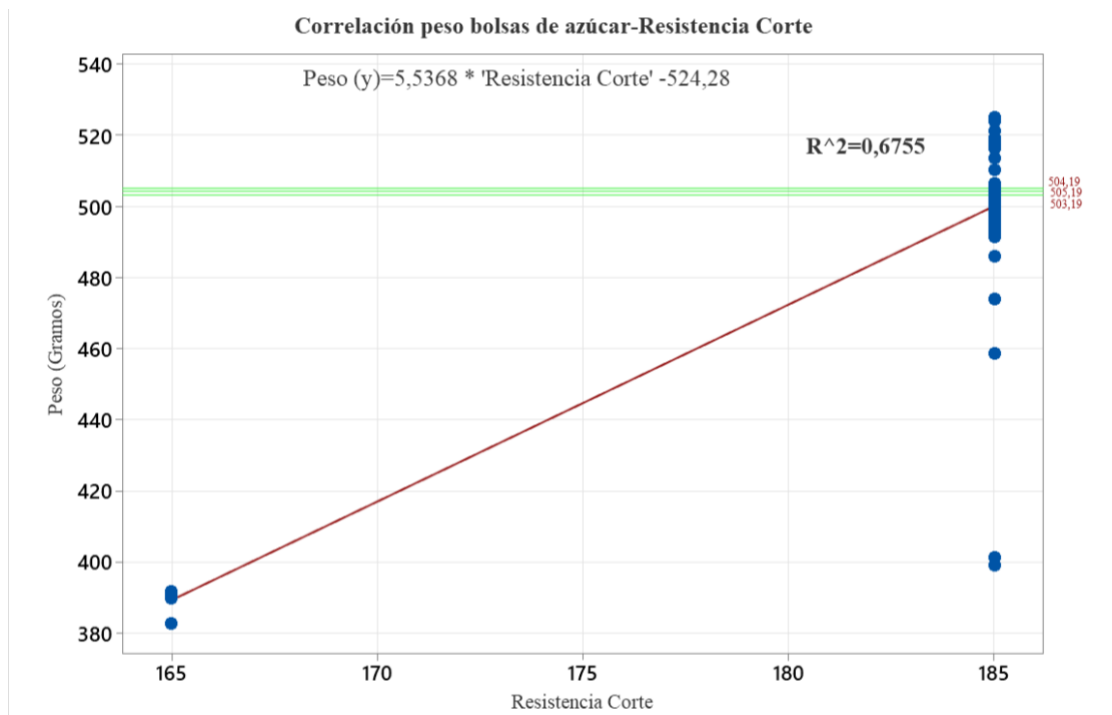


Fig. 12. Análisis de correlación PESO – RESISTENCIA DE CORTE

En la Fig. 12 se observa la relación entre el peso y la resistencia de corte establecida en la máquina dosificadora. Al evaluar el coeficiente de correlación (r) que en este caso es de 0,8219, se observa una relación positiva entre las variables de peso y resistencia de corte. Observando el gráfico de regresión, se puede reflejar un comportamiento lineal en los datos, en donde la tendencia es positiva y es creciente. Gracias al comportamiento identificado en el modelo, se puede estimar el peso de las bolsas de azúcar blanca, por ejemplo, si la resistencia de corte se ubica en 185, se espera un peso dentro de los límites de especificación vistos anteriormente. El R^2 de 0,6755 indica que la variación de los pesos es explicada por este modelo en un 67,55%.

Asimismo, en la Fig. 13 se observa la relación entre el peso y la resistencia de corte establecida en la máquina dosificadora. Siguiendo con el planteamiento de los anteriores análisis de correlación, al obtener un coeficiente de $r = 0,3019$, lo cual representa una relación débil, la dosificación no tendrá un gran impacto en la variación del peso de las bolsas de azúcar blanca, además de que se conoce que, al ser débil, existen otras variables que afectan el comportamiento del peso. Al analizar el coeficiente de determinación $R^2=0,0912$, se puede probar que la variación de los pesos es explicada por este modelo en un 9,12%, lo cual es un valor bajo, pero que representa relación entre las variables si se unen en el análisis. Para realizar la estimación del valor esperado en el peso, según la dosificación, se debe plantear con el modelo estudiado, sabiendo pues que, para realizar estimaciones con el modelo de regresión, no es válido salir del rango de datos de la variable X (dosificación) con la que se estimó el mismo. De esta manera, si se ubica la dosificación de 575, se

acerca el peso a los límites de especificación.

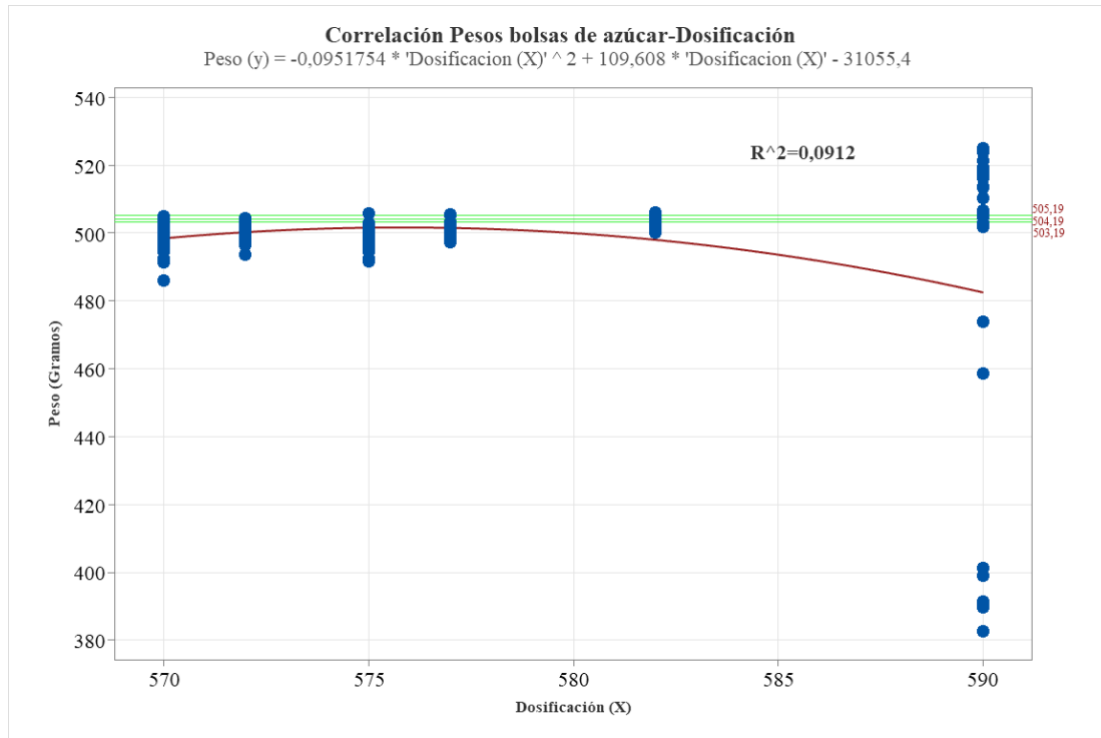


Fig. 13. Análisis de correlación PESO – DOSIFICACIÓN

La sensibilidad de una herramienta de medición es fundamental para el buen desarrollo de una toma de datos, más aun conociendo el contexto de LA EMPRESA, en donde el muestreo es importante para la solución de la problemática. Luego de conocer las herramientas de medición de LA EMPRESA, se demostró la sensibilidad requerida para evaluar correctamente el peso de las bolsas de azúcar blanca. Se desean distinguir por lo menos 40 piezas diferentes, para esto, se necesita de una sensibilidad de 0,05 o 0,01 en caso tal. Se debe realizar el planteamiento correspondiente utilizando los límites de especificación, en este caso, LSE = 505,19 y LIE = 503,19. La cantidad de piezas requeridas para el desarrollo de este análisis, fue planteado gracias a la magnitud de producción que LA EMPRESA tiene, para poder establecer un criterio eficiente en cuanto a lo que sensibilidad refiere. Se conoce que LA EMPRESA posee una báscula con una precisión de 0,1g, lo cual es inadmisibles para evaluar la variación correcta de los pesos, porque no se pueden distinguir piezas similares, lo que se sugiere es que se adquiera una báscula de mejor sensibilidad.

B. Revisión de literatura

Es importante la investigación académica sobre las diferentes aplicaciones de los métodos propuestos para brindar una solución a la problemática ya mencionada, por lo cual se procedió a realizar una revisión literaria sobre recientes investigaciones que utilizan el diseño de experimentos para obtener los parámetros óptimos y mejorar la calidad de los productos, con la finalidad de asegurar las mejores condiciones de proceso en LA EMPRESA. A continuación, se puede visualizar el resumen de la revisión llevada a cabo.

TABLA IV: DESCRIPCIÓN REVISIÓN DE LITERATURA

Tipo	Título	Autor (es)	Año	Industria	Objetivo	Método	Herramientas	Resultados	Aporte al Proyecto
Artículo	Análisis Estadístico en Aplicación de Soldadura GTAW Usando Diseño de Experimentos Factorial Completo	Tania Elizabeth Sandoval Valencia, Luis Eduardo Ugalde Caballero, Adriana del Carmen Téllez Anguiano, Héctor Javier Vergara Hernández, Dante Ruiz Robles	2020	Metalurgia	Este estudio tiene como objetivo analizar mediante el uso de herramientas estadísticas el proceso de aplicación de soldadura arco metálico con electrodo de tungsteno y gas inerte (GTAW) para determinar la velocidad de avance de la antorcha y la corriente de soldadura óptimos para lograr una soldadura libre de defectos [13].	El método utilizado para el desarrollo del estudio fue el diseño de experimento factorial completo 3^k , con el fin de analizar las variables de entrada (parámetros controlables y no controlables) y las variables de salida (efecto de correlación). Se diseñó el diagrama causa-efecto, con el fin de reducir el número de experimentos, además se llevó a cabo la matriz experimental, teniendo en cuenta dos factores con tres niveles. Se realizó lo anterior para determinar las variables de salida o de interés, para luego realizar el análisis estadístico respectivo e implementar los parámetros adecuados que arrojó el diseño de experimentos obteniendo las características adecuadas del producto [13].	Las herramientas utilizadas fueron el Diseño de experimentos (DOE), Diagrama causa-efecto, Diagrama de árbol, Software Estadística	El análisis de ANOVA de las variables de entrada indicó que la velocidad de avance de la antorcha y la corriente de soldadura son las variables que mayor influyen en la variación del ancho y penetración del cordón (variables de salida) con una relación alta de 85,03% y 94,24% respectivamente. Los parámetros óptimos establecidos para obtener una penetración completa y un cordón homogéneo sin ningún tipo de defectos (6,5 mm) fueron con una corriente de soldadura de 120 A y una velocidad de avance de 0,7 mm/s [13].	Permite entender de manera práctica el uso de herramientas estadísticas a implementar, al igual que la metodología a seguir con el fin de obtener los parámetros óptimos en el Diseño de experimentos.
Artículo	Uso integral de simulación, diseño de experimentos y KANBAN para evaluar y mejorar el rendimiento de una línea de producción	Fernández Henao S, Pérez Rendon A, Medina Varela P	2019	Textil	Este trabajo tiene como objetivo mejorar el rendimiento de una línea de producción mediante el Diseño de experimentos, el KANBAN y la simulación con el fin de establecer un plan de mejoramiento que pueda flexibilizar el flujo productivo y aumentar la capacidad de respuesta para la demanda variable [14].	Esta investigación se desarrolló en cuatro fases; la primera se basó en la recolección de la información necesaria para los análisis estadísticos. En la segunda fase, se aplicó el modelo de Diseño de experimentos en los tres procesos más relevantes del sistema, planteando un diseño factorial 2 a la 3. En la fase tres, se elaboró un modelo de simulación discreta de la situación actual de la empresa, utilizando la información obtenida en la primera fase. En la fase final, se aplicó la técnica Kanban tipo Trigger [14].	Software PROMODEL, Diseño de experimentos (DOE), Técnica Kanban	Al realizar el Diseño de experimentos, en primera instancia se observó que las interacciones del modelo factorial implementado no eran significativas, por lo que se ejecutó el modelo sin esas interacciones. Los procesos de preparación y cortadora es donde los operarios presentaban diferencias significativas en sus tiempos de procesamiento. Así mismo, al aplicar el modelo de simulación Discreta, se evidenciaron problemas con respecto a los cuellos de botella, poca utilidad de algunas locaciones, retrasos en los tiempos de producción, entre otros. Finalmente, al implementar la metodología Kanban tipo Trigger estos problemas se mejoraron. Los resultados	La importancia de implementar herramientas Lean en el momento de proponer mejoras en un sistema de producción, al igual que de demostrar en un caso aplicado como las herramientas estadísticas como el DOE se puede lograr identificar factores relevantes en el modelo al igual que puntos críticos

								obtenidos evidenciaron que unir varias metodologías, puede identificar de manera mucho más clara los factores que inciden en los retrasos de los procesos, además de implementar mejores políticas de producción que aumenten el rendimiento de la empresa. Así mismo, apoyar el proceso de simulación con herramientas como el DOE, permitió identificar factores relevantes en el modelo al igual que puntos críticos. Con las simulaciones llevadas a cabo, se obtuvo un incremento del 54,7% de la tasa de producción y la incorporación de herramientas Lean, permitió aumentar el porcentaje de utilización en el mes de 35.23% a 77,52% [14].	
Artículo	Evaluación de las proporciones de almidón de yuca y emulsificantes para el mejoramiento textural de una torta libre de gluten	Mariana Vélez Gutiérrez, Laura Cristina Jiménez, Ximena Yepes Sánchez	2018	Alimentaria	El objetivo de este trabajo fue realizar un diseño de experimentos con el fin de evaluar las diferentes proporciones de almidón de yuca y emulsificantes en la elaboración de una torta libre de gluten mejorando sus características en cuanto a la textura [15].	Se optimizó el proceso de elaboración de torta libre de gluten por medio de un diseño de superficie de respuesta, teniendo en cuenta dos factores: Porcentaje del emulsificante (0-2%) y porcentaje del almidón de yuca (0-50%). Las variables dependientes utilizadas fueron: Gravedad Específica, tamaño de poro y altura de la torta. Se realizó el análisis de ANOVA y se analizó la estadística prueba de Fisher [15].	<i>Design of Experiments (DOE) software Design Expert</i>	Se determinaron las proporciones óptimas para la elaboración de una torta libre de gluten. Altas cantidades de almidón de yuca ocasionan que el producto salga con características inesperadas. Finalmente, el diseño experimental demostró diferencias significativas al adicionar las diferentes cantidades de emulsificantes a la torta [15].	Brinda herramientas gráficas que deberían implementarse en el diseño de experimentos con el fin de interpretar la información cuantitativa suministrada por el modelo.
Artículo de investigación científica	Control on-off de temperatura y potencia para el mejoramiento de las condiciones de procesos asistidos con microondas	María Bernarda Alvarado Bawab, Viviana Marcela Hernández Velásquez	2017	Electrónica	Este estudio busca modificar la forma de suministro de la radiación de microondas, implementando un control on-off de potencia y temperatura a fin de evaluar estos parámetros tanto en el rendimiento	Para el desarrollo del proyecto se realizó un diseño factorial de experimentos teniendo en cuenta el tiempo de encendido y apagado de la radiación y la geometría de la muestra (torreja y cubo). Se realizaron las corridas por duplicado y de forma aleatorizada en el horno microondas de 2,45 GHz y 1 kW de potencia modificado [16].	sensor infrarrojo MLX90614ES F <i>Software Altium designer</i>	Se analizó la cantidad de humedad removida, el rendimiento energético del proceso y las propiedades organolépticas iniciales. En las pruebas realizadas se logró un máximo rendimiento que se puso en evidencia en el proceso de secado de papaya, el cual fue de 0,014kg/kJ con una reducción del 86% de peso de la muestra procesada en la razón de radiación de 6 x 12 para una rodaja de 0,01 m de espesor [16]	Se pueden ver soluciones aplicadas a problemas similares.

					del proceso de la deshidratación de la papaya como en su rendimiento energético [16].				
Artículo de investigación	Desarrollo de la optimización del diseño de experimentos para obtener azúcar de alta calidad	Yasemin Ayaz Atalán Abdulkadir Atalán	2021	Azucarera	Este estudio tuvo como objetivo utilizar la técnica de diseño de experimentos para calcular los valores óptimos de las variables dependientes e independientes consideradas en la producción de azúcar de calidad [17].	Este estudio consta de dos etapas. En primer lugar, para este estudio se utilizaron cuatro factores (Absorción, pérdida de sequedad, color y conductividad) y una variable de respuesta. Los niveles y límites de los factores se determinaron como resultado del análisis estadístico descriptivo. Se consideró el experimento como un sistema de dos niveles; Se realizó un diseño de experimento factorial completo, que incluye 24 experimentos con tres repeticiones. Con los datos obtenidos se realizó un análisis estadístico y se determinó si las variables independientes tenían efecto sobre la variable dependiente. En la segunda etapa del estudio, se corrió el modelo de optimización desarrollado para obtener resultados óptimos tanto para las variables dependientes como para las independientes [17].	Design of Experiments (DOE)	De acuerdo con los datos óptimos obtenidos en el modelo de optimización, el puntaje de calidad del azúcar se calculó como 13.5821 según el 95% de confianza y el intervalo de predicción, mientras que el color del azúcar se determinó que era marrón [17].	Permite que se pueda evaluar el uso de herramientas estadísticas como solución a problemáticas.
Artículo	Diseño e Implementación de Sistema de Control y Monitoreo Remoto para Automático Basado en PLC Industria del embalaje	Raihan Bin Mofidul, Md. Shahadath Hossain Sabbir, Amit Kumer Podder y Mohammad Shaifur Rahman	2019		El objetivo principal de la implementación de este diseño es la reducción en el costo de la automatización [18].	Este artículo presenta una implementación de una interfaz hombre-máquina (HMI) para un proceso de empaquetado automatizado basado en un controlador lógico programable (PLC) que se puede controlar y monitorear de forma remota mediante una aplicación móvil [18].	Diagrama de escaleras PLC	El diseño propuesto minimizó el costo total al reemplazar el ampliamente utilizado sistema de control de supervisión y adquisición de datos (SCADA) con sensores normales y control basado en aplicaciones móviles. El desempeño del prototipo implementado se evalúa a través de varias operaciones en tiempo real, lo que muestra resultados satisfactorios [18].	Ver cómo una de nuestras propuestas de mejora (PLC) puede ayudar a la automatización rentable de la producción y envasado de productos.

Finalmente, se puede demostrar como el diseño de experimentos ha contribuido a la implementación de parámetros óptimos que intervienen en los procesos de acuerdo con la industria en la que estos se desempeñan. Dicho lo anterior, se puede identificar de manera aplicada como esta metodología ha aportado a la resolución de defectos o no conformidades en industrias enfocadas a actividades productivas diferentes al sector azucarero, lo cual brinda oportunidades de mejora, identificación y análisis de debilidades y fortalezas, al igual que permite la inclusión de herramientas que para este caso ha tenido desempeños muy buenos en la resolución de las problemáticas evidenciadas. En este orden de ideas, aplicar los elementos de la metodología Lean junto con DOE permitirán el diagnóstico claro de los factores que inciden en los retrasos de los procesos, las variaciones o nuevas formas de estandarizar los procesos mejorando el rendimiento o el cumplimiento con los requerimientos. Adicionalmente, el uso de artículos que aplican soluciones en diferentes industrias que abordan problemáticas similares a las abordadas en el proyecto (control de condiciones de proceso, temperatura, etc.) nos ayuda a ampliar la diversidad de soluciones en la búsqueda de alternativas de mejora.

C. Exploración de ideas y selección de alternativa

Seguido de la revisión de literatura, en la cual se exhiben formas y herramientas para la solución de problemáticas similares a la situación actual, también se investiga en mayor amplitud el diseño de experimentos, diseño de condiciones de operación y las máquinas dosificadoras en diferentes industrias. Estas referencias son una base para poder establecer y explorar diferentes alternativas que respondan a los requerimientos que plantea la gerencia de la empresa y los operarios que se ven ligados al proceso de dosificación. Estas alternativas deben ser factibles para solucionar el problema del no cumplimiento de los estándares de peso en LA EMPRESA. Dicho lo anterior, se procede a utilizar herramientas en las cuales se pueda manejar la creatividad, innovación y funcionalidad para solucionar el problema planteado. El método que se emplea en este caso es el de Disney, que se fundamenta inicialmente por dejar la imaginación volar sin ninguna restricción. Buscando alternativas de solución, después se procede a la etapa realista, en donde se distinguen las ideas que sí se pueden realizar y las que no, para ir depurando las alternativas. Dicho esto, se garantiza la viabilidad de la alternativa, para finalmente, encontrarse con la etapa crítica, que evalúa si las alternativas resuelven en su totalidad el problema. [12]

Cada integrante desde su imaginación e investigación presentó diferentes ideas que quedaron en la etapa de “soñador”, para posteriormente ir depurando en la etapa realista. Esto dio pie a una discusión desde la comunicación asertiva para el valor agregado del proyecto y su desarrollo, teniendo en cuenta beneficios y aspectos no tan acertados de cada alternativa de solución. Por último, se evaluó en la etapa crítica desde un punto hipotético, si la alternativa responde a los requerimientos de los grupos de interés y a su necesidad de solucionar el problema planteado.

Como resultado del método Disney, se exploraron cinco ideas como alternativa de solución de la problemática de LA EMPRESA, la primera idea es comprar una nueva máquina envasadora de vidrio reutilizable, lo que genera un cambio del material de empaque y un proceso más automático sin necesidad de la presencia constante del operario. Esta máquina sería más eficiente y sin tanto error humano. Además, es una nueva tecnología y está en pro al medio ambiente por su material de empaque de vidrio reutilizable, lo que generaría mayores costos, pero un menor desperdicio en el indicador de cantidad de material de empaque desperdiciado.

En segundo lugar, se tiene pensado implementar una celda de carga en la máquina actual, que consiste en pesar con exactitud el valor que se le suministre al monitor de la celda, que disminuiría en gran proporción la variación del proceso. Esta celda de carga estaría ubicada en la segunda tolva, que tiene menor capacidad y está ubicada al final del proceso del área de llenado, en la parte de la dosificación del producto. Por lo anterior, el agitador que existe en la tolva debe ser activado para su funcionamiento. Adicionalmente, serviría esta opción para controlar y centrar los pesos de las bolsas de 500g, lo que representa uno de los mayores problemas presentados. Como tercera opción está un sensor para conocer el nivel de la tolva, este nivel de la tolva no se conoce debido a que la tolva es de un material metálico sin transparencia alguna, por lo que el operario ha desarrollado una habilidad de golpear la superficie y así, con un sonido, saber si se está acabando el contenido de azúcar para su dosificación. Esto permite disminuir la variación y los tiempos muertos dentro del proceso.

En cuarto lugar, otra alternativa de solución es un controlador lógico programable con unidades exactas y con un error máximo permitido, el cual es el valor extremo del error de medición, respecto a un valor de magnitud conocido, en este caso las condiciones de operación establecidas. Esta solución se implementa en la máquina como una actualización tecnológica debido a que en el monitor de dicha máquina no hay medidas exactas ni el error máximo permitido dentro del valor que se tipee. Por esta razón, el operario ha tenido que desarrollar un conocimiento de la máquina a lo largo de los años, sin embargo, con la propuesta elegida se quiere alcanzar un

método estandarizado para disminuir fallas y no tener que depender del operario. Además, un control de temperatura desde el mando de la máquina sería otra forma de implementación de un PLC (*Programmable Logic Controller*) que permitiría dar el valor exacto a las variables de entrada que se modifican para el proceso de dosificación, las cuales son resistencia de corte, resistencia horizontal y resistencia vertical. Adicional al problema raíz del estándar de peso en LA EMPRESA, también existe un desperdicio de cantidad de bolsas por producción lo que genera unos costos adicionales, que en el momento no se tienen en cuenta debido a la no estandarización del proceso de llenado, permitiendo así, disminuir el material desperdiciado y controlar la variación.

Por último, está la alternativa de solución de Diseño de Experimentos en la máquina dosificadora. Esta herramienta consiste en realizar un análisis estadístico con el muestreo necesario para encontrar las mejores condiciones de operación en la máquina para que la variable de respuesta (el peso) esté dentro de los valores establecidos por LA EMPRESA. Hasta el momento no se sabe el valor exacto de los parámetros de entrada que modifica el operario al realizar una producción. Cuando se tienen en cuenta los factores, se encuentran las mejores condiciones de operación, alcanzando un nivel de calidad con respecto a especificaciones del producto y del proceso, como su flujo de materiales y la cantidad de material desperdiciado. Adicionalmente, se ha propuesto un póster en el área de trabajo que indique las mejores condiciones de los parámetros que normalmente se modifican y son causales de la variación, con el fin de disminuir la variación y no depender más del operario en esta área de trabajo. En conjunto con lo anterior, se adicionará una hoja de cálculo que tenga formulados los indicadores propuestos, para el seguimiento y control de lo propuesto en el proyecto.

Con el propósito de dar un excelente resultado en el desarrollo del proyecto de diseño, es necesario incluir con la alternativa que se seleccione, la adquisición de una nueva báscula, que permita el adecuado seguimiento y control de los pesos en las bolsas de azúcar blanca. Esto para dar sentido a la precisión de dicha herramienta de medición, que por lo menos tenga una sensibilidad de 0,01 g, ver fórmula 2. Que aparte, certifique el valor de peso entre los límites de especificación brindados por LA EMPRESA y distinga entre piezas diferentes; para asegurar mediciones confiables dentro de la empresa sin mayores reprocesos como los hay actualmente. Con el fin de dar solución, se cotizan balanzas con diferentes proveedores y se documentan en la TABLA V para encontrar la mejor opción. Esto en consecuencia de que en LA EMPRESA se utiliza una sin certificado de calibración y con una precisión de 0,1 kg, lo que además de presentar variaciones y valores inadecuados en el proceso de pesaje de las bolsas, hace que el proceso se vea afectado por mayores factores externos, ver ANEXO 10 y etapa medir.

$$\frac{(LSE - LIE)}{40}$$

(2)

TABLA V: COTIZACIÓN DE BALANZAS

Nombre Balanza	Capacidad y Legibilidad	Proveedor	Precio
Balanza de Mesa de Precisión MIX-H	600 g x 0.01	Badecol- Balanzas de Colombia	\$ 523,600
Balanza	620 g x 0,001 g	Blamis Dotaciones de Laboratorio	\$ 3,937,500
Balanza AXIS modelo ATA-520m	520 g x 0,001 g	Surti Básculas LTDA	\$4,390,000 + IVA
Mix zero	600 g x 0,01 g	DLP Básculas Ingeniería	\$ 500,000
ATIS ATZ 2200	2200 g x 0,01g	DLP Básculas Ingeniería	\$4,000,000

Como se dijo anteriormente, la herramienta del método Disney es solo el comienzo para la depuración de exploración de ideas y la solución del problema, por lo que para el equipo de trabajo fue necesario establecer desde un punto de vista más científico, la evaluación de estas alternativas. Por esto se utiliza el análisis jerárquico AHP, ver anexo 7, en el cual se tienen en cuenta unos factores y criterios base para su posterior calificación. Los seleccionados por el equipo de trabajo fueron: robustez, adaptabilidad, costos y eficacia del flujo de materiales, presentados en la TABLA VI con su descripción.

TABLA VI: DESCRIPCIÓN DE CRITERIOS PARA MATRIZ DE ANÁLISIS JERÁRQUICO

CRITERIO	DEFINICIÓN OPERATIVA
Robustez	Hace referencia a cómo la alternativa de solución va a ser sostenible a lo largo del tiempo.
Adaptabilidad	Si existe algún cambio en LA EMPRESA que suceda en el área de llenado, la alternativa de solución se puede modificar, sin ninguna problemática.
Costos	Hace referencia al costo que LA EMPRESA está dispuesta a pagar por solucionar el problema
Eficacia del flujo de materiales	Es la cantidad de tiempo versus el flujo de material que se mueve actualmente, se busca reducir al máximo.

Por lo anterior, como equipo de trabajo se estandariza el método de calificación para los criterios descritos anteriormente con una escala de medición, la cual es el valor de 1 siendo el menos preferido y el 10 siendo el más preferido, o el de mejor desempeño para la problemática. Para esto, se hace una descripción de cada alternativa, objetivo e implementación en el anexo 7, hoja evaluación alternativas. Finalmente, se tiene en cuenta la valoración de cada integrante del grupo en los criterios y se utiliza el análisis multicriterio, obteniendo como resultado la selección de la alternativa de Diseño de experimentos con un valor de 783. Se van a encontrar las mejores condiciones de proceso en la dosificación de azúcar para su posterior implementación por parte de los operarios que trabajen en el área, para que no haya una dependencia a la experticia del operario. Además de la implementación del diseño de experimentos, también se va a realizar la compra de una balanza para diferenciar entre piezas con una sensibilidad de 0,01g como se explica en el último párrafo de análisis de causas. También, con la elección de alternativa, se va a implementar una hoja de cálculo en LA EMPRESA para el seguimiento y control de la implementación de la propuesta, ver anexo 10, con el fin de satisfacer los requerimientos y restricciones de los grupos de interés.

D. *Objetivos*

Con respecto al desarrollo del proyecto de diseño se proponen los siguientes objetivos para tener el plan de trabajo claro y saber las actividades que se van a ejecutar y alcanzar con los resultados esperados.

Objetivo general

- Rediseñar las condiciones de operación del proceso de la máquina dosificadora de azúcar para el cumplimiento de los estándares de peso en LA EMPRESA.

Objetivos específicos

- Determinar el estado actual del proceso de dosificación de LA EMPRESA por medio de herramientas estadísticas.
- Evaluar alternativas de solución al problema con el análisis multicriterio, teniendo en cuenta las restricciones y requerimientos de los grupos de interés.
- Proponer las mejores condiciones de operación asociadas al proceso de dosificación
- Validar la propuesta a través de una prueba piloto comparando los escenarios actuales y los propuestos mediante los indicadores de desempeño.

TABLA VII: PLAN DE TRABAJO

Objetivo	Área IISE	Herramientas de Ingeniería Industrial	Actividad	Entregable (alcance)	Fecha entrega
Determinar el estado actual del proceso de dosificación de LA EMPRESA por medio de herramientas estadísticas.	<i>Work Design and Measurement</i>	Ingeniería de métodos	Observar la situación actual de LA EMPRESA.	Diagramas de flujo, SIPOC, Mapa de procesos	21/04/22
	<i>Quality & Reliability Engineering</i>	Estadística	Identificar puntos críticos en el proceso de dosificación.	Gráficos de control	8/04/22
	<i>Quality & Reliability Engineering</i>	Estadística	Describir las variables y su impacto en la problemática.	Análisis de correlación y diseño de experimentos	31/05/22
	<i>Quality & Reliability Engineering</i>	Estadística	Identificar cuáles son las variables de entrada que impactan el proceso	Análisis de correlación y regresión con el diseño de experimentos	24/05/22
Evaluar alternativas de solución al problema con el análisis multicriterio, teniendo en cuenta las restricciones y requerimientos de los grupos de interés.	<i>Product Design & Development</i>	Ingeniería económica y bases de datos para búsqueda de información	Buscar alternativas de solución acordes a la problemática	Presentación de power point	14/06/22
	<i>Quality & Reliability Engineering</i>	Estadística	Encontrar la relación de los factores con la variable de respuesta	Diseño de Experimentos y condiciones de proceso	27/05/22
	<i>Engineering economic analysis</i>	Investigación de operaciones II	Realizar el análisis multicriterio con las valoraciones del equipo de trabajo	Matriz AHP	27/06/22
	<i>Quality & Reliability Engineering</i>	Estadística	Realizar el diseño de Experimentos para encontrar las mejores condiciones de proceso	Diseño de Experimentos y condiciones de proceso mejoradas	25/09/22
Proponer las mejores condiciones de operación asociadas al proceso de dosificación	<i>Product Design & Development</i>	Investigación de Operaciones II e Ingeniería económica	Seleccionar la alternativa de solución	Resultado matriz AHP	22/05/22
	<i>Engineering economic analysis</i>	Ingeniería económica	Analizar la viabilidad de la alternativa en términos financieros y de la estructura de LA EMPRESA	Indicadores de rentabilidad	14/07/22
Validar la propuesta a través de una prueba piloto comparando los escenarios actuales y propuestos mediante los indicadores de desempeño.	<i>Systems Design & Engineering</i>	Estadística	Verificar las mejoras implementadas con el diseño propuesto	Verificación de indicadores del PRD y requerimientos	26/10/22
	<i>Systems Design & Engineering</i>	Estadística	Comparar la situación actual con la mejorada, teniendo en cuenta la tabla de KPI's	Tabla de KPI's	7/11/22

Ver anexo 8

V. MEJORAR

A. Desarrollo del diseño de la solución

Para el desarrollo del diseño de la solución se utilizó como base fundamental del estudio el Diseño de experimentos (DOE) que, por medio de diferentes técnicas estadísticas, permitió identificar y cuantificar las condiciones involucradas en el proceso para de esta forma, medir el efecto entre ellas y a su vez reconocer si existen factores que influyeron en la característica de calidad que se deseaba medir, en este caso el peso de las bolsas de azúcar. Teniendo en cuenta lo anterior, se analizaron todos los elementos que incidían en la dosificación de azúcar para posteriormente delimitar los que son más influyentes y descartar aquellos que son constantes, como lo son la temperatura del ambiente, cambio del teflón, la humedad, entre otras. En cuanto a las variables seleccionadas, se decidió estudiar la Resistencia Horizontal, Resistencia Vertical, Resistencia de Corte y la Dosificación, de acuerdo con la investigación realizada. En la *Fig.14* se evidencia el input-output del proceso.

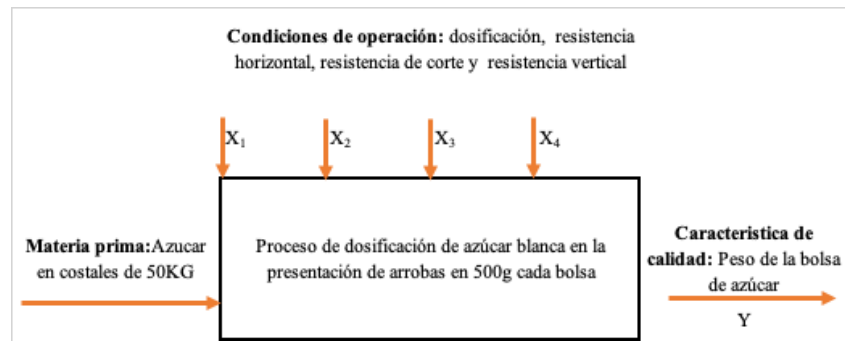


Fig. 14. Factores y variable de respuesta en el proceso de dosificación de azúcar blanca de 500 g.

En concordancia a lo anterior, fue necesario considerar los elementos básicos del diseño de experimentos: Aleatorización y Repetibilidad. Con base a la primera se ejecutaron corridas experimentales en un orden específico, debido a que las condiciones de la máquina no permitían realizar corridas en diferente orden, por lo que tiene una tasa de producción de unidades por minuto, lo que involucra parar la máquina cada 15 segundos. Así mismo, la repetibilidad permitió que durante varias ocasiones se realizarán las mediciones de acuerdo con la aleatorización creada. Dicho esto, se realizaron 10 réplicas de 16 corridas como se puede constatar en el ANEXO 10. Para llevar a cabo el experimento fue necesario validar el número de réplicas necesarias, mediante la siguiente ecuación:

$$n = \frac{2 \left(t \left(\frac{\alpha}{2}, gl.error \right) \right)^2 s^2}{d_t^2} \quad (3)$$

Donde Alpha es el nivel de significancia (0,05), S es la desviación estándar (1,89206), el peso gl.error son los grados de libertad del error (67) y el dt (1,68) se refiere al error máximo permitido que el investigador está dispuesto a incurrir en cuanto al promedio de peso entre una bolsa de azúcar y otra. Es importante resaltar que estos datos fueron obtenidos del ANOVA que se muestra en la Fig.15 Con el diseño factorial realizado, el objetivo fue buscar la combinación de niveles de los factores en los cuales la variable de respuesta, es decir el peso de las bolsas de azúcar blanca de 500 g cumpliera con las especificaciones.

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	3	663,76	221,252	61,80	0,000
Lineal	2	565,39	282,693	78,97	0,000
RES CORTE	1	30,23	30,232	8,44	0,005
Dosificación	1	499,52	499,522	139,54	0,000
Cuadrado	1	34,47	34,472	9,63	0,003
RES CORTE*RES CORTE	1	34,47	34,472	9,63	0,003
Error	67	239,85	3,580		
Total	70	903,61			

Fig. 15. Análisis de varianza ANOVA.

De acuerdo con los resultados obtenidos, con un nivel de confianza del 95%, se puede concluir que el p-valor obtenido en los factores y las interacciones evaluadas es menor al nivel de significancia ($\alpha=0,05$) lo que significa que los factores y las interacciones influyen significativamente en el peso de las bolsas de azúcar (variable de respuesta). Se procedió a analizar la suma de cuadrados ajustada del error (SC Ajust), el cual permite determinar el control que se tuvo sobre los factores durante el diseño y desarrollo del experimento, en este caso, según se indica en la Fig.15, que la suma de cuadrados (239,85) es mayor la suma de cuadrados de la resistencia de corte, lo que indica que a lo largo del experimento faltó mayor control del mismo, es decir, que hubo factores que afectaron

la resistencia de corte de las bolsas de azúcar de 500 g en el momento de la recolección de los datos. Sin embargo, la suma de cuadrados de la dosificación (499,52) es mayor a la suma de cuadrados del error, lo que significa que este factor si estuvo bien controlado en campo. Por otro lado, el análisis del valor estadístico F-Fisher, permitió identificar que el factor más influyente es la dosificación (F-Fisher=139,54), lo que refiere a que la relación entre el peso de las bolsas de azúcar y dosificación es significativa.

Finalmente, se analizó el resultado obtenido del R^2 ajustado (27,39%), lo cual indica que el 27,39% de la variación en el peso de la bolsa de azúcar de 500 gr es explicada por el modelo. Teniendo en cuenta que este resultado no es cercano a 0, luego del análisis por parte del equipo de trabajo, utilizando la regresión con superficie de respuesta, fue necesario reducir los niveles de los factores a dos. Después de esto, se logró obtener un coeficiente de determinación de 72,27%, el cual se acerca más al valor esperado (100%) y de esta forma el ajuste del modelo a la variable de respuesta, fue mayor. (ANEXO 10: Aleatorización antes)

Relacionado a lo anterior, para identificar las mejores condiciones de operación, se realizaron diferentes gráficos con el modelo de regresión de superficie de respuesta, ilustrando así, los valores que den respuesta al peso dentro de las especificaciones de LA EMPRESA. En la Fig. 16. se denota gracias al gráfico de cubos, la mejor combinación de valores en los que las variables: Resistencia Horizontal, Resistencia de Corte, Resistencia Vertical se interrelacionan con la Dosificación.

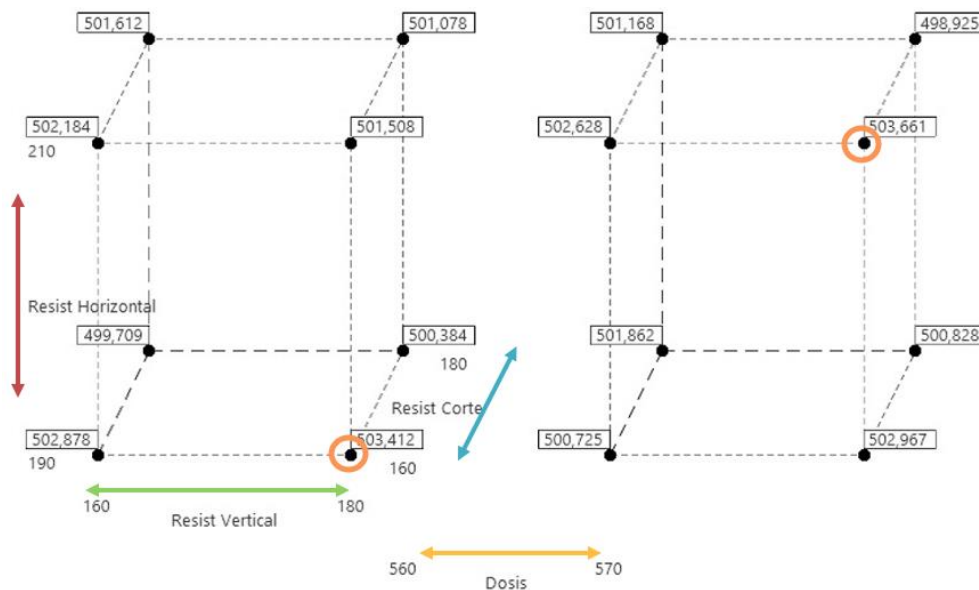


Fig. 16. Gráfico de cubos (medidas ajustadas) de peso

Ahora bien, los gráficos de contorno permiten una vista bidimensional, en la que están conectados todos los puntos que tienen la misma respuesta con el fin de producir líneas de contorno y así, las condiciones operativas deseables [27]. En la Fig.17. se observan también las mejores condiciones de operación, pero en este caso utilizando los gráficos de contorno.

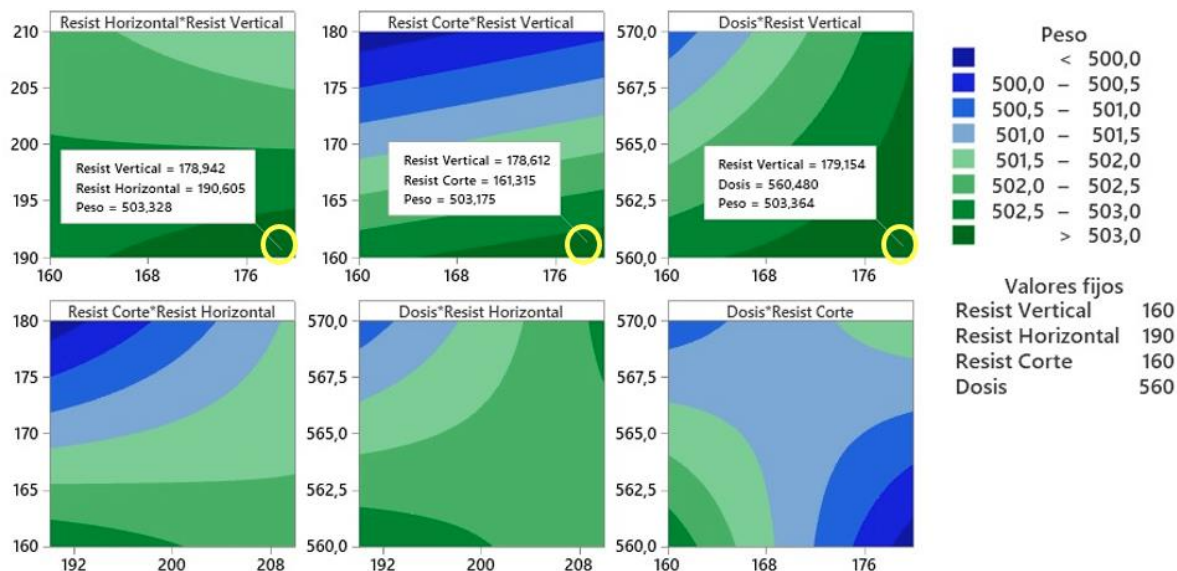


Fig. 17. Gráficos de contorno

Después de haber hecho un análisis ingenieril de los valores de las variables de entrada y haber seleccionado como alternativa de solución el Diseño de Experimentos, en la TABLA VIII se pueden observar las mejores condiciones de operación.

TABLA VIII: MEJORES CONDICIONES DE OPERACIÓN

Resistencia Horizontal	Resistencia de Corte	Resistencia Vertical	Dosificación
190-210	160	180	560-570

Con el equipo de trabajo, se lograron identificar otras dos soluciones para el problema inicial en el proceso de dosificación de azúcar blanca en LA EMPRESA. Se requiere disponer de una balanza con una sensibilidad de 0,01g la cual fue verificada con la fórmula 2 presente en el texto, en donde se diferencia entre 40 piezas según las especificaciones de peso del producto a analizar. Es importante la compra de esta herramienta para el buen manejo de la información de los pesos y así, tener una mayor precisión en la recolección de los datos, con el fin de resolver uno de los requerimientos por parte de LA EMPRESA, para minimizar los reprocesos generados por el operario, que implican costos y desmotivación en él.

Otra de las alternativas de solución identificadas fue la adecuación de un compresor de aire. Este “es una máquina diseñada para tomar el aire del ambiente, almacenarlo y comprimirlo dentro de un tanque” [28] lo que permite regular la presión ejercida sobre las resistencias y eliminar la liberación de aire y gasto energético. Analizando de forma física y matemática esta herramienta, se debe utilizar la fórmula de la presión que equivale a la fuerza sobre el área. Una vez instalado el compresor, se redujo el área por donde al aire pasaba, de esta forma inversamente proporcional se aumenta la fuerza, que a su vez aumenta la presión ejercida sobre las resistencias, lo que permite un mejor corte sin defectos en las bolsas de azúcar blanca de 500 gramos. En la Fig. 18 se ilustra cómo es la herramienta.



Fig. 18. Compresor de aire

En la TABLA IX, se muestran las restricciones asociadas a las alternativas de solución ya explicadas anteriormente. Esto demuestra

que el plan de trabajo realizado por el grupo cumple con los requerimientos de los grupos de interés. Además, se cumplen con las leyes establecidas en la sección de legislación de la TABLA II en donde se especifica que LA EMPRESA debe obedecer con la norma.

TABLA IX: DISEÑO PROPUESTO PARA EL CUMPLIMIENTO DE LAS RESTRICCIONES SEGÚN LAS ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

Alternativa de solución	Restricciones asociadas	Diseño o modelo	Legislación y requisitos aplicables
Condiciones de operación	<ul style="list-style-type: none"> Disminución del desperdicio del producto terminado y del material de empaque. Disminución en la variación del producto terminado. Establecimiento de un método para trabajar de la manera correcta disminuyendo los errores y reprocesos al mínimo. 	<p>Gráficas de cubos (medidas ajustadas) de peso.</p> <p>Gráfica de contorno</p> <p>Análisis de situación actual</p> <p>ANOVA</p> <p>Aleatorización</p>	<ul style="list-style-type: none"> Especificaciones internas Resolución 32209 de 2020 Resolución 16379 de 2003 Artículo 78 de la constitución política NTC 1706 Resolución 1016 de 1989
Balanza con sensibilidad de 0,01g	<ul style="list-style-type: none"> Disminución en la variación del producto terminado. Disminución del desperdicio del producto terminado y del material de empaque. 	Escogencia de balanza según el cálculo de la sensibilidad y la tabla V de cotización de balanzas.	<ul style="list-style-type: none"> Especificaciones internas Resolución 32209 de 2020 Resolución 16379 de 2003 Artículo 78 de la constitución política
Compresor de aire (kg /cm ³)	<ul style="list-style-type: none"> Disminución del desperdicio del producto terminado y del material de empaque. Establecimiento de un método para trabajar de la manera correcta disminuyendo los errores y reprocesos al mínimo. 	Se instala el compresor de aire, lo cual reduce a cero la cantidad de empaque desperdiciado y controla la dosificación de azúcar.	<ul style="list-style-type: none"> Especificaciones internas Resolución 1016 de 1989

B. Validación del diseño propuesto

Después de haber propuesto las mejores condiciones de operación asociadas al proceso de dosificación (ver TABLA VIII), fue necesario realizar una validación del diseño planteado a través de una prueba piloto y mediciones de pruebas estadísticas que verificaron realmente si hubo una mejora con lo que se presentó por el grupo de trabajo. Esto mediante los indicadores establecidos en la TABLA III y otras herramientas estadísticas como lo son los gráficos de control, gráficos de cajas y bigotes, pruebas de hipótesis para la media y la varianza. Esta validación del diseño formulado se realiza en comparación con la situación antes de las mejores condiciones de operación y después de la prueba piloto realizada. Es necesario recalcar que, para encontrar las mejores variables de entrada para el proceso de dosificación fue indispensable realizar diferentes muestreos que comprobaron que el Diseño de Experimentos estuvo estructurado para rediseñar las condiciones de proceso, con la delimitación apropiada de las variables encontradas.

En la Fig. 19. Se puede observar el gráfico de control del proceso de antes (en la parte izquierda) y el después (parte derecha) para los datos del peso de la presentación de azúcar de 500g tras el diseño y verificación del DOE. Esto evidencia que efectivamente, el trabajo realizado dio resultados positivos en relación con la prueba piloto, debido a que se observó el centramiento de los datos y la disminución de la dispersión en términos visuales. A parte de que en la mayoría de los datos de la parte izquierda del gráfico (Antes) están por debajo de los límites de especificación representados como líneas punteadas rojas y los valores de los pesos varían demasiado con respecto al anterior, también se ve que el peso promedio de la muestra antes era de 501,48g, lo cual está por debajo del LIE: 503,19 g.

Por otro lado, en la parte de la derecha se evidencia que el proceso está mucho más centrado, aunque sigue presentando dispersión, hay una clara mejoría. Se observa que se logró una mejora en cuanto al peso promedio reportado, cumpliendo con las especificaciones establecidas de LA EMPRESA y una disminución en la variación del peso del azúcar, logrando controlar el proceso de dosificación. De esta manera, se evidencia que se alcanzó una mayor cercanía con los datos alrededor del peso esperado (de acuerdo con LIE: 503,19g LCE: 504,19g LSE: 505,19g) teniendo como peso promedio reportado un valor de 504,27 g, cumpliendo con lo requerido por LA EMPRESA.

En el gráfico de dispersión se demostró que antes del desarrollo del diseño, se presentaba una alta variación de los datos reportados para el producto, de acuerdo con la línea roja del gráfico inferior izquierdo de la Fig. 19., se prueba realmente cómo es el rango promedio, que es demasiado fluctuante, por lo que los datos de la muestra de antes varían mucho. No obstante, después de la mejora, la dispersión disminuyó notablemente, consiguientemente, se puede decir que los pesos de las bolsas de azúcar de 500 g, en variación están mejor de lo esperado y se presenta poca dispersión.

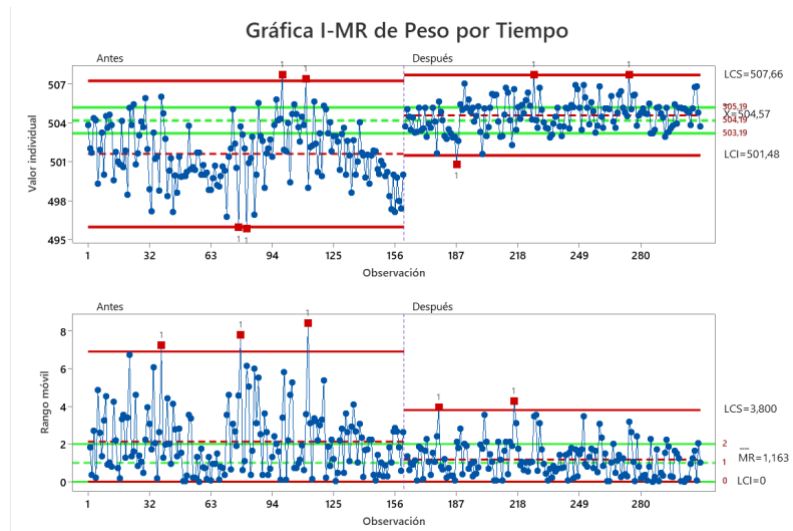


Fig. 19. Gráfico de control Antes y Después de la prueba piloto

Al realizar el análisis de los intervalos de confianza de la media de los pesos, en la Fig. 20. se puede observar que los datos ANTES no cumplen en promedio con las especificaciones establecidas, su media de datos fue de 501,48g, lo cual es menor al LIE: 503,19g, además se observa alta variación. En cambio, los datos DESPUÉS en promedio si cumplen con las especificaciones dentro de la empresa ya que sobrepasan el LCE: 504,19g. Sin embargo hace falta centrar un poco el proceso, además, cabe resaltar que se controló la variación de los datos.

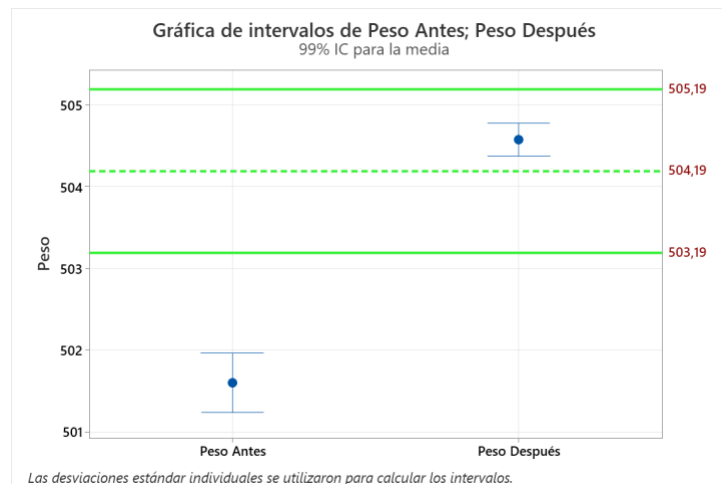


Fig. 20. Gráfico de intervalos de confianza del peso

De acuerdo con la TABLA X, se identifica mediante la prueba de hipótesis, que con un 99% de nivel de confianza se comprueba que estadísticamente la media y varianza son diferentes para el momento antes de la mejora y después de realizar el Diseño de experimentos. Lo que comprueba que, el promedio del proceso antes era de 501,48g, por debajo de los límites de especificación de la empresa, mientras que después de la mejora la media de los valores de peso fue de 504,27g, dentro de los límites de especificación y muy cercano al LCE: 504,19g. Por otro lado, la varianza que se prueba, que es diferente para ambos casos, es de 2,324 g para antes y de 1,242g para después. Aunque estos valores de la varianza todavía no alcanzan el valor esperado de 0,25 g, se ve una disminución de la dispersión y centramiento del proceso.

TABLA X: RESUMEN PRUEBAS DE HIPÓTESIS MEDIA Y VARIANZA (ANTES Y DESPUÉS)

PRUEBA DE HIPÓTESIS	Ho	Ha	Valor P	Regla de decisión	Conclusión
Media	El valor promedio de los pesos de azúcar blanca antes y después de desarrollo del diseño de la propuesta es estadísticamente igual	El valor promedio de los pesos de azúcar blanca antes y después de desarrollo del diseño de la propuesta es estadísticamente diferente	0,000	Rechaza Ho si p- valor < α (0,01)	Con un nivel de confianza del 99% se comprueba con la evidencia de la prueba piloto que el valor promedio de los pesos de las bolsas de azúcar antes y después del DOE es estadísticamente diferente
Varianza	El valor de la varianza de los pesos de azúcar blanca antes y después de desarrollo del diseño de la propuesta es estadísticamente igual	El valor de la varianza de los pesos de azúcar blanca antes y después de desarrollo del diseño de la propuesta es estadísticamente diferente	0,000	Rechaza Ho si p- valor < α (0,01)	Con un nivel de confianza del 99% se comprueba con la evidencia de la prueba piloto que el valor de la varianza de las bolsas de azúcar antes y después del DOE es estadísticamente diferente

En conclusión, se desarrolla la TABLA XI, para rectificar la validación del diseño propuesto después de haber realizado la prueba piloto y pruebas estadísticas para la mejora, haciendo una comparación de los indicadores de desempeño planteados en la TABLA III, con una meta esperada teniendo en cuenta el alcance del proyecto. Se concluye que, con la adecuación del compresor de aire para las resistencias y el rediseño de las mejores condiciones de operación, la calidad del producto pasa de un 13% de cumplimiento de las especificaciones del producto (LIE: 503,19g LCE: 504,19g LSE:505,19) a un 65,33%, lo cual es una mejora considerable y como meta se tenía que con el alcance del proyecto fuera más del 50%, superando así, este resultado. Con respecto al indicador de la desviación estándar para alcanzar el nivel de calidad 4σ , el valor en la muestra inicial de 15 datos fue de 21,09 g de diferencia teniendo en cuenta los factores y dispersión presente en el proceso (observar Fig. 19.) y pasó a ser de 1,242g, lo cual es un valor relativamente bueno. Sin embargo, sigue habiendo oportunidad de mejora continua (ver anexo 10). Teniendo en cuenta la confiabilidad del sistema de medición se recomienda a LA EMPRESA cambiar con urgencia la balanza utilizada para el proceso de dosificación debido a que

incurren en un error y en un sistema de medición que no cumple con exactitud, además de que no tiene la sensibilidad requerida (ver fórmula 2).

Por otra parte, se puede comparar el indicador de material de empaque desperdiciado que fue de 57 bolsas de 200 (28,5% de la muestra) que estaban con algún defecto físico, pero al validar la propuesta con la adecuación del compresor de aire y el interés del operario por mejorar el proceso, se probó que después del diseño hay 0% de bolsas dañadas en el proceso, no presentan defectos, además la meta era menor a 30 bolsas en producción, lo que genera un impacto financiero sustancialmente positivo, porque al tener en cuenta el costo de cada bolsa (\$80 pesos), si se escala a una producción real de 8 horas y con una tasa de 32 bolsas de azúcar por minuto, el costo en caso de que no se hubiera hecho nada al respecto en el proceso de dosificación sería de \$43 782,144.

Al realizar el cálculo del OEE, se puede verificar que la empresa no considera fallas no programadas dentro del proceso, lo cual conduce a que se tenga un rendimiento alto en la producción real detectada. Sin embargo, al realizar el análisis en la producción potencial, esta si considera las paradas programadas y no programadas (Disponibilidad), por lo que se obtiene un rendimiento más cercano a la realidad. Como el alcance del proyecto estaba más relacionado a factor de calidad, se puede concluir que aumentó de 13% a 65,33%, desencadenando que el OEE que antes estaba en 6,46% aumentara a 32,45%, se puede observar que es una relación proporcional, el OEE aumenta porque el diseño de experimentos permitió que disminuyera la dispersión y centrara el proceso, aumentando la calidad. Sin embargo, no aumentaron los otros factores porque ese no era el alcance, habían que hacerse otros análisis y estudios como futuros proyectos para mejorar el factor de disponibilidad y rendimiento para que el OEE alcance por lo menos el 65% que es un valor “aceptable”.

Se tiene que los indicadores de capacidad potencial del proceso a corto y largo plazo eran de 0,02 y de -0,09, sabiendo pues, que la meta era muy alta para el alcance del proyecto, no obstante, aunque si se mejora, no se cumple con lo esperado. Se observa que los indicadores utilizados son el Cp: 0,32 y el Cpk:0,2 con una prueba de normalidad aceptada, es decir que los factores externos no influyen en el proceso. Se demuestra la mejora, ya que el comportamiento de los datos era NO NORMAL, que luego del trabajo realizado, pasó a ser de comportamiento NORMAL.

TABLA XI: RESUMEN DE RESULTADOS: INDICADORES DE DESEMPEÑO

Variable	Antes		Después	Meta	Cumplimiento
	Muestra etapa medir	Muestra antes de la mejora	Prueba piloto		
Calidad del producto, respecto a sus especificaciones	13,00%	20,62%	65,33%	>50%	Sí, se cumplió con la meta
Nivel de calidad del sistema con respecto a 4σ (desviación estándar)	21,09	2,324	1,242	< 8	Sí, se cumplió con la meta
Confiabilidad del sistema de medición	El sistema de medición de LA EMPRESA no es confiable (no cumple con exactitud, preciso, estable, ni reproducible ni repetible)	Se utiliza la balanza digital corta aires	Se utiliza la balanza digital corta aires	Que el sistema sea confiable.	Se recomienda a LA EMPRESA realizar la compra de la balanza (Teniendo en cuenta la cotización que se realizó en la TABLA V
Cantidad de material de empaque desperdiciado	0 (no se tomó este indicador)	28,5%	0%	< 20 %	Sí, se cumplió con la meta
Eficiencia de la dosificadora	6,46%	10,73%	32,45%	> 20%	Sí, se cumplió con la meta

Capacidad potencial del proceso a largo plazo	Pp: 0,02	Pp: 0,14	Cp: 0,32	1,0 > Pp >1,33	No cumplió, pero sí mejoró y ahora tiene distribución normal
Capacidad real del proceso a largo plazo	Ppk: -0,09	Ppk: -0,23	Cpk: 0,2	Ppk>1,0	No cumplió, pero sí mejoró y ahora tiene distribución normal

VI. CONTROLAR

A. Medición de los impactos

De acuerdo con los resultados obtenidos bajo la propuesta desarrollada, se realiza un análisis financiero, social y ambiental al efectuar la mejora. Para el análisis financiero, se tuvieron en cuenta los costos totales promedios anuales de los gramos que salen sobredosificados y subdosificados en el proceso productivo, con el fin de evaluar si resultaba económicamente factible realizar la mejora. En la parte ambiental se analizó la cantidad de material de empaque desperdiciado y finalmente, para el factor social se realizó una encuesta con el fin de medir el nivel de satisfacción de las partes interesadas.

LA EMPRESA actualmente comercializa un promedio de 666.025 bolsas de azúcar al año (presentación de arroba) y con base en las estimaciones realizadas, el 87% de esas bolsas no se encontraban dentro de las especificaciones establecidas, donde el 77,5% de las mismas incumplían por el límite inferior y el resto por el límite superior, resultando en un promedio de 586.102 bolsas vendidas por año que no cumplían con los límites, haciendo que LA EMPRESA incurriera en unos costos anuales promedio de aproximadamente \$96.000 pesos por sobredosificación y riesgo de tener problemas legales debido a la falta de contenido en su producto (aproximadamente más de 50 millones de ingresos no esperados por subdosificación). Con las mejoras propuestas, el porcentaje de no cumplimiento se redujo significativamente hasta un 34,67%, haciendo que la cantidad de bolsas de azúcar blanca de 500g vendidas anuales promedios que no cumplían con las especificaciones pase de 586.102 a aproximadamente 230.910.

En la *Fig. 21*. se muestra que a medida que se implementaron las mejoras, el porcentaje de no cumplimiento por subdosificación disminuyó un 66% (pasó de 78% a 12%), haciendo que el riesgo por incumplimiento promedio anual por gramos de subdosificación pasara de más de 50 millones de pesos a \$731,06 pesos. Si bien el porcentaje de no cumplimiento por sobredosificación aumentó un 12,67% después de la mejora, se debe considerar que esta consecuencia resulta ser beneficiosa (un costo de oportunidad) a la hora de comparar los costos, aunque lo ideal es tener estos valores (costos) en \$0. Debe tenerse en cuenta que, aunque el costo promedio anual por sobredosificación con la mejora es mayor, el costo total promedio por gramo es menor en comparación al valor cuando no se había desarrollado la propuesta. Además, con la disminución en los costos por subdosificación se reducen los riesgos de tener problemas legales a futuro y descontento con clientes por producto de empaquetado que incumpla con lo prometido. (ver ANEXO 10)

En cuanto al material de empaque desperdiciado se obtuvo que con la mejora no se desperdician bolsas, lo cual hace que se tenga un ahorro de \$4.560 pesos por concepto de material de empaque desperdiciado y esto a su vez ayuda a tener un impacto ambiental positivo. Para analizar el impacto social, se realizó una entrevista con las partes interesadas sobre los resultados del desarrollo del proyecto de diseño (ANEXO 11), en esta parte también se alcanzó un impacto positivo, ya que se logró disminuir pérdidas, facilitar el trabajo del operario a la hora de saber cuáles condiciones son las adecuadas para el proceso y poder monitorear de manera sencilla el proceso de llenado de las bolsas de azúcar.

COMPARACIÓN	Antes de la mejora	Después de la mejora
CANTIDAD PROMEDIO ANUAL BOLSAS VENDIDAS	666.025,00	666.025,00
% No cumplimiento por sobredosificación	10%	22,67%
% No cumplimiento por subdosificación	78%	12,00%
% No cumplimiento total	88%	34,67%
Valor promedio teniendo en cuenta el % de no cumplimiento por sobredosificación	66.602,50	150.987,87
Valor promedio teniendo en cuenta el % de no cumplimiento por subdosificación	519.499,50	79.923,00
Valor promedio total teniendo en cuenta el % de no cumplimiento por sobredosificación y subdosificación	586.102,00	230.910,87
Costo total promedio por gramos de sobredosificación	1,4563260	0,1050030
Riesgos por incumplimiento promedio por gramos de subdosificación	98,0739440	0,0091471
Costo total promedio anual por gramos de sobredosificación	\$ 96.994,95	\$ 15.854,19
Riesgo por incumplimiento promedio anual por gramos de subdosificación	\$ 50.949,364,9	\$ 731,1
Material de empaque desperdiciado	57,00	-
Costo material de empaque	\$ 80,00	\$ 80,00
Costo por material de empaque desperdiciado	\$ 4.560,00	\$ -

Fig. 21. Comparación de los costos antes y después de la mejora

Finalmente, con el fin de lograr los resultados esperados en cuanto al cumplimiento del peso de 504,19 g de las bolsas de azúcar, se requiere de una balanza que cuente con la sensibilidad para discriminar productos con pesos similares y realizar las comparaciones pertinentes. Según el análisis realizado anteriormente sobre la cotización de balanzas a diferentes proveedores en la TABLA V, se evaluó el valor total de la inversión a realizar con la adquisición de la misma. Sin embargo, la empresa puede obtener más cotizaciones y que le sirva para los otros productos, por lo que podría ser mucho más costosa.

Con respecto al análisis financiero, se realizó la simulación de los flujos de caja para un horizonte de 12 meses teniendo en cuenta la confidencialidad de los datos y una variación dada por la empresa con el pronóstico de ventas del azúcar del 2022. En este orden de ideas, de acuerdo al análisis realizado, la empresa ya no incurre en el costo de riesgo por incumplimiento de \$50.949.365 en promedio anual, este valor fue descontado de los flujos de caja. Por otro lado, se presupuestó una inversión de \$65.000.000, la cual será destinada a la compra de la balanza, adaptación del compresor de aire, contratación y capacitación del personal, actualización del software que utiliza la dosificadora, reemplazo de las piezas críticas, insumos de papelería para la cartelera, limpieza y organización del espacio, mantenimiento maquinaria entre otras. Teniendo como resultado, una TIR (81%) mayor a la TCO (18%) y (VPN (221.972.908) mayor a 0, lo anterior refiere que el proyecto es viable, debido a que se recupera la inversión antes de finalizar el horizonte de tiempo y la empresa ya no incurre en riesgos por incumplimiento (ver ANEXO 12)

B. Estandarización de la solución – POE'S

Para cumplir con las especificaciones del peso de las bolsas de azúcar y de esta forma controlar que no se presentaran reincidencias, en conjunto con los operarios fue necesario estandarizar el método y llevar a cabo el plan de control POE (Procedimiento Operativo Estándar) para el proceso de dosificación de las bolsas de azúcar blanca de 500 gramos y así, lograr que este formato fuera fácilmente comprendido y verificado como se muestra en la Fig.22. Cabe resaltar que en este documento se tienen en cuenta las diferentes actividades, el orden en el cual deben ser ejecutadas y las respectivas plantillas que deberán utilizarse. En este orden de ideas, las actividades serán realizadas por los operarios establecidos en el documento, así mismo, se generaron dos plantillas, la primera (Operario), contiene el diseño que deberá tener la cartelera la cual será posicionada en una parte de la planta donde será visible y fácil de diligenciar por el operario y consta de la fecha de producción del lote del cual se van a extraer las 20 bolsas de muestra de azúcar blanca, también el operario tendrá que documentar la cantidad de bolsas totales de la producción, las condiciones con las cuales se realizó el llenado, los pesos de las bolsas, si tuvieron el defecto de roto o no y finalmente deberá llenar la columna de observaciones, en la cual deberá especificarse que la bolsa tuvo que vaciarse y re empacarse (Desperdicio de material de empaque), lo anterior solo si salió roto o si no cumple con las especificaciones. La segunda plantilla (Control), deberá ser diligenciada por el trabajador encargado de llevar el registro en Excel, con el fin de estudiar el proceso de manera visual (Gráfico de control) y cuantitativamente (indicadores: % de material de empaque desperdiciado y % de no cumplimiento), esta deberá ser llenada de acuerdo con los datos diligenciados en la cartelera inicial (ver ANEXO 13). Se debe tener en cuenta que los intervalos son de 1 una vez por turno.

Logo de la empresa:Confidencial	PROCEDIMIENTO OPERATIVO ESTÁNDAR DOSIFICACIÓN DE LAS BOLSAS DE AZÚCAR BLANCA DE 500 GRAMOS			CÓDIGO:
				VERSIÓN:01
Área: Producción			Fecha:	Hoja 1 de 2
Nombre de la tarea: Dosificación de bolsas de azúcar blanca de 500 gramos				
Responsable:				
Operario 1:		Operario 2:		Operario 3:
Objetivo				
Cumplir con las especificaciones para el peso de las bolsas de azúcar de 500 gramos empacadas, así mismo reducir los productos con sobre peso procesados en la dosificadora, mediante el establecimiento de las actividades necesarias para la dosificación del producto.				
Alcance				
Este formato aplica para el proceso de dosificación de azúcar de azúcar blanca en la presentación de 500 gramos				
Materiales y equipos necesarios				
Materiales Utilizados		Elementos de bioseguridad e higiene que debe portar el operario		
-Rotulo de las bolsas de plástico -Máquina dosificadora -Azúcar blanca -Balanza con 0,01 g de precisión -Formatos de registro		- Botas de seguridad - Uniforme adecuado - Guantes protectores		
Actividades críticas				
-La máquina dosificadora se encuentra en muy buenas condiciones. -Programar las condiciones respectivamente.				
Descripción del procedimiento				
No.	Descripción			Responsable
1	Llenar la tolva con el producto a empacar			Operario 1
2	Introducir el rollo de empaque en la sección tubular de máquina			Operario 1
3	Encender la máquina dosificadora			Operario 1
4	Pre calentar la dosificadora (golpes de calor)			Operario 1
5	Establecer las condiciones de resistencia horizontal, resistencia vertical, resistencia de corte y dosificación, de acuerdo a la tabla del valor de las condiciones. (ver ANEXO 17:pestaña OPERARIO)			Operario 1
6	Ubicarse cerca al recipiente donde la cinta deslizador deposita el producto empacado			Operario 2
7	Comenzar a dosificar las bolsas de azúcar de 500 gramos			Operario 1
8	Recibir las bolsas empacadas y distribuirlas en el recipiente de manera organizada			Operario 2
9	Recolectar 20 bolsas aleatorias de la producción realizada			Operario 1
10	Realizar el pesaje de cada una de las 20 bolsas en la balanza, ubicando la bolsa en el centro de la balanza			Operario 1
11	Diligenciar la cartelera con los datos que exige cada columna.Escribir el peso bolsa por bolsa, verificando que se encuentre dentro de las especificaciones.			Operario 1
12	Depositar la bolsa pesada en el recipiente en donde estan los otros productos del lote fabricado			Operario 1
13	Agrupar 25 bolsas de 500 g en cada paquete			Operario 1 y 2
14	Sellar los paquetes			Operario 1 y 2

Fig. 22. POE para el proceso de dosificación de azúcar blanca de 500 g.

15	Ubicar los paquetes en la estiba correspondientes	Operario 1 y 2
16	Tomar nota de los registros del operario en la cartelera	Operario 3
17	Pasar los registros de la cartelera al formato de excel	Operario 3
18	Visualizar el gráfico de control verificando que los pesos se encuentren dentro de las especificaciones y que no hayan datos atípicos	Operario 3
19	visualizar el porcentaje de bolsas desperdiciadas con el total de bolsas que se calcula automáticamente después de diligenciar los datos en la tabla	Operario 3
20	Visualizar el porcentaje de no cumplimiento que se genera automáticamente después de llenar la tabla, con el fin de verificar si la muestra tomada incumple en un alto porcentaje las especificaciones	Operario 3
Resultados esperados		
Que el peso de las bolsas de azúcar blanca de 500 gramos cumpla con las especificaciones de la empresa		
Acciones correctivas		
-En el caso en que la bolsa esté rota o el peso incumpla con las especificaciones, deberá vaciarse el azúcar y depositarse en la tolva nuevamente para volver a realizarse el proceso de dosificación. -En el caso en que el operario que lleva el control en excel esté ingresando los datos y observa un dato atípico, deberá rectificar si es error de digitación, si es así, deberá corregir este valor.		
Elaboró:		Revisó y aprobó
Firma:		Firma:
Cargo:		Cargo:

Fig. 23. Continuación del POE para el proceso de dosificación de azúcar blanca de 500 g.

C. Conclusiones

Dada la complicación por la alta variación del gramaje del producto en el proceso de dosificación de LA EMPRESA, se generaban riesgos legales y posibles dificultades con el cliente, además del funcionamiento interno de la empresa en sí. El grupo en cuestión se encargó de buscar una solución para buscar la eficiencia de los recursos utilizados y se entregara el producto como lo espera el consumidor. Por esto, posteriormente al trabajo realizado en el proceso investigativo, recolección de datos, análisis de variables y en general la profundización de la problemática con la empresa y al interior del grupo de trabajo, se llega a las conclusiones planteadas a continuación.

- Se caracterizó el proceso de dosificación para las bolsas de azúcar blanca, en la presentación de 500 g, puesto que, de acuerdo con los análisis estadísticos realizados, dicha presentación mostraba los mayores porcentajes de especificaciones por fuera de los límites en el proceso de llenado (87%). Esta caracterización se llevó a cabo mediante herramientas ingenieriles tales como, el mapa de procesos, SIPOC y diagrama de flujo de proceso.
- Gracias al análisis de decisión multicriterio, se lograron evaluar las diferentes alternativas de solución que se habían propuesto para la problemática. Como resultado, se seleccionó la de mayor puntaje de 783, que fue el Diseño de experimentos con póster en empresa y hoja de cálculo de indicadores modificable. Así mismo, esta alternativa es la que más obedece a los requerimientos y restricciones de los grupos de interés, los cuales eran la clave para entender cómo era el funcionamiento de la empresa y de la máquina dosificadora que era la raíz del estudio.
- Se identificaron las mejores condiciones de operación gracias al estudio del equipo de trabajo, utilizando el diseño de experimentos como base fundamental, además de los gráficos de contorno y de cubos, los cuales permitieron que los valores esperados fueran demostrados mediante dichas herramientas estadísticas. Las condiciones evidenciadas fueron resistencia vertical, resistencia horizontal, resistencia de corte y dosificación, con valores de 180, 190-210, 160, 560-570 respectivamente. Se evidenciaron como mejores condiciones, gracias a que la variable de respuesta, el peso, obtuvo datos más acercados a los límites de especificación, en donde se redujo notablemente el porcentaje de no cumplimiento, centrando así el proceso.
- La propuesta se logró validar por medio de una prueba piloto en la cual fue posible realizar pruebas estadísticas como gráficos de control, diagrama de cajas y bigotes, prueba de comparación de media y varianza, histogramas, gráficos de contorno y gráficos de cubos, en las que se demostró una mejora en el cumplimiento del peso de 500 g requerido por LA EMPRESA. La validación sugiere una reducción del porcentaje de no cumplimiento, de 87% a 34,67%. Dichos resultados se obtienen considerando un 99% de confianza.
- La adecuación del compresor de aire en la dosificadora logró que se diera una disminución del porcentaje de material de empaque desperdiciado de 28,5% a 0%, debido a que permitía controlar la presión de aire que entraba al sensor de la resistencia horizontal y vertical.
- Se estandarizó el método del proceso de dosificación por medio del POE (Procedimiento Operacional Estándar) con el fin de conservar las mejoras implementadas. En este documento se especifica los operarios responsables, los materiales, insumos y equipos necesarios para su debida ejecución, el nombre del área en el que se lleva a cabo el proceso, actividades críticas y especificaciones, esto con el de monitorear los pesos de las bolsas de azúcar constantemente. Los operarios encargados deberán llevar este registro y analizar los gráficos de control, identificando si se está cumpliendo con las especificaciones gráficamente, debido a que dicho formato está automatizado.
- Teniendo en cuenta el OEE (*Overall Equipment Effectiveness* o Efectividad total de los Equipos), se conoce que el proceso no se encontraba en un nivel “aceptable” de dicho indicador, puesto que su valor estaba por debajo del 65%, en este caso arrojando un valor de 6,45%. La meta propuesta por el equipo de trabajo, conociendo la realidad del contexto y el alcance del proyecto fue aumentar ese valor a más de 20% que, aunque no cumple con la aceptabilidad del proyecto, aumenta considerablemente este factor (32,45%) y permite que a futuro la empresa se enfoque en seguir mejorando hasta alcanzar el valor esperado. Si se analizan los tres elementos de la eficiencia de la dosificadora (rendimiento, disponibilidad y calidad), se logró identificar que la calidad fue el enfoque principal del proyecto.
- Durante el proyecto hubo diferentes muestras de los pesos de la presentación de 500 gr de las arrobos, debido a que, en la etapa definir fue necesario identificar el problema del porcentaje de no cumplimiento, en el cual LA EMPRESA puede llegar a incurrir en un riesgo por incumplimiento y problemas legales. De la misma forma, fue de vital importancia realizar diferentes

estudios y pruebas estadísticas con el fin de identificar los indicadores de desempeño para poder contrastar la situación actual vs la situación después de desarrollar el rediseño, en este caso (tabla III) se utilizó la base de datos de los pesos de la segunda columna de la tabla XII. Finalmente, en las últimas dos columnas el diseño de experimentos ya estaba propuesto y listo para realizar la prueba piloto, pero fue conveniente hacer una nueva muestra por la aleatorización realizada y de esta manera, se puede observar la mejora del indicador de porcentaje de no cumplimiento a lo largo del proyecto con la prueba piloto y gráficos de control realizados, finalmente se cumple con la meta de mejorar a un 50% el cumplimiento de los pesos de las bolsas.

TABLA XII: INDICADOR % DE CUMPLIMIENTO A LO LARGO DEL PROYECTO

Indicador	Muestra piloto (etapa definir)	Muestra (etapa medir)	Prueba antes de la mejora	Prueba piloto
% de no cumplimiento	60,42%	87,00%	79,38%	34,67%
% de cumplimiento	39,58%	13,00%	20,62%	65,33%
cantidad de datos	15	200	160	160

D. Recomendaciones

A raíz del estudio completo por parte del equipo de trabajo durante todo el proyecto de diseño, se analizaron todos los efectos de las soluciones que se plantearon, pero aun así, se debe entender que el proceso de mejoramiento debe ser continuo, además de que se debe seguir con las propuestas y entender el comportamiento cada vez que se realiza una producción, ya que este puede tener variaciones, las cuales deben ser estudiadas cada vez que se necesite, por eso, se plantearon algunas recomendaciones para evitar reincidir en los problemas y seguir mejorando en cuanto a la calidad del producto en términos del peso.

- Si bien la implementación de la propuesta logró una mejora significativa en el problema de calidad identificado por la subdosificación y sobredosificación de las bolsas de azúcar blanca en la presentación de 500 g, se recomienda a la organización establecer un lector o algún método para estudiar la granulometría como análisis de producción, la variación de los pesos también tiene que ver con el grano de azúcar, pero en este caso LA EMPRESA no cuenta con la manera de medir dicha variable, por lo que se recomienda verificar esto.
- Se recomienda monitorear constantemente el proceso de dosificación de acuerdo a las condiciones de proceso establecidas en el presente proyecto, con el fin de cumplir con los lineamientos de entidades importantes como la SIC a través de Resolución 16379 de 2003 la cual reglamenta el control metrológico del contenido de producto preempacado considerando proyectos a futuro que la empresa pueda tener en cuanto a participación en el mercado local y exportación de su producto.
- Una de las situaciones que vive actualmente LA EMPRESA es que solo hay un operario encargado del proceso de llenado de las bolsas de azúcar, por lo que la ausencia de éste por cualquier causa refiere un problema para la compañía, ya que la producción se para, hasta que se recupere su única mano de obra para este proceso. Es por esto que, el equipo de trabajo considera pertinente y recomienda, la capacitación a otros operarios para que ellos puedan realizar la misma labor del operario que ya está, utilizando los manuales de usuario y las propuestas del equipo de trabajo.
- Con el objetivo de que un proceso productivo sea eficiente y eficaz, se requiere de un seguimiento y control permanente, con el fin de identificar los problemas en el menor tiempo posible y se optimicen los recursos mejorando la reacción ante esto. Teniendo en cuenta lo anterior, se recomienda una persona encargada de dicha tarea, para que esté en constante estudio del proceso y los datos que se le suministrarán de acuerdo con la propuesta del equipo de trabajo y así puedan ser revisados con el fin exclusivo de mejorar el proceso y evitar reincidir en los problemas que había.
- Se recomienda el desarrollo de un estudio para la presentación de los productos de LA EMPRESA que no fueron evaluados durante el presente proyecto con el fin de encontrar las mejores condiciones de operación que permitan el cumplimiento del peso requerido para lograr la mejora continua de la calidad en lo ofrecido actualmente por la empresa.
- Revisando detalladamente las metas que no se cumplieron, se puede observar que el Cp (Capacidad potencial del proceso a largo plazo) y el Cpk (Capacidad real del proceso a largo plazo) no cumplieron con lo esperado, por eso, se recomienda a la empresa trabajar más en el centramiento del proceso, es decir, que el rango de los pesos sea cada vez menor, esto, logrando

medir las variables que en este momento no pueden controlar, por ejemplo, la granulometría.

- Analizando los resultados, se observa que, si bien se tiene un mejor control del proceso, no se logró estandarizar por completo, debido a algunas variables y condiciones no controlables, tales como: tamaño de la granulometría y las condiciones climáticas en las que se realizó el proceso de llenado, ya que ni siquiera es posible controlar estas condiciones para la empresa. Por lo tanto, se recomienda considerar estas condiciones en futuros proyectos para poder gestionarlas de acuerdo con sus cambios, con el objetivo de definir las variables de entrada de acuerdo con estos (cambios) y lograr una mejor estandarización del proceso.

VII. GLOSARIO

Riesgo por incumplimiento: La cantidad de gramos es inferior al límite inferior de especificación, por lo que la empresa incurre en un riesgo por incumplimiento de no entregar al cliente el peso neto en gramos, lo que puede generar problemas legales y desconfianza del cliente.

Invima: Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos [19].

SIC: Superintendencia de Industria y Comercio [20].

Subdosificación: Cantidad de producto en gramos menor al estándar de peso mínimo establecido por la empresa.

Sobredosificación: Cantidad de producto en gramos mayor al estándar de peso máximo establecido por la empresa.

Eficiencia Operacional: Es la utilización eficiente y la gestión económica de los recursos disponibles en términos monetarios y de tiempo [21].

Nivel Sigma: Identifica cuántas desviaciones estándar caben entre los límites de especificación del proceso [22].

Desviación Estándar: Medida de la variabilidad que indica qué tan esparcidos están los datos con respecto a la media [23].

Overall Equipment Effectiveness (OEE): Es la herramienta de medición del rendimiento en máquinas, teniendo en cuenta diferentes tipos de pérdidas de producción e indica áreas de mejora del proceso [24].

Pp: Índice de desempeño potencial del proceso. Desempeño potencial que tiene el proceso para cumplir con las especificaciones a largo plazo [25].

Ppk: Índice de desempeño real del proceso. Desempeño real del proceso para mantenerse en el límite central de acuerdo con las especificaciones [25].

Método Disney: Técnica creativa que se utiliza para desarrollar nuevas ideas y soluciones [12].

Dosificación: Graduar la cantidad o porción de determinadas cantidades de materia prima o ingredientes [26].

Resistencia Horizontal: Es la encargada de realizar el sellado de la parte superior e inferior de la bolsa.

Resistencia Vertical: Es la fricción que permite el cierre de la bolsa lateralmente.

Resistencia de Corte: De acuerdo con el largo de la bolsa establecido, realiza el corte de la misma.

Diseño de superficie de respuesta: Es una metodología avanzada del diseño de experimentos permite que el investigador inspeccione de manera visual, la relación entre varias variables explicativas y la variable de respuesta.

R-cuadrado Ajustado (coeficiente de determinación): El coeficiente de determinación es aquel que indica en términos porcentuales, que tanto la variación en Y (peso) es explicado por las variables (independientes) que se tuvieron en cuenta en el modelo.

VIII. REFERENCIAS

- [1] "Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA) 2019", 2022. [Online]. Available: https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/enda/ena/2019/boletin_ena_2019.pdf. [Accessed: 18- Mar- 2022].
- [2] "Encuesta nacional agropecuaria (ENA)", 2022. [Online]. Available: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadistema/agropecuario/encuesta-nacional-agropecuaria-ena#anexos>. [Accessed: 19- Mar- 2022].
- [3] Núñez, M. Ruiz, J. Parra and M. Ortiz, "ESTUDIO SOBRE EL IMPACTO SOCIOECONÓMICO DEL SECTOR AGROINDUSTRIAL CAÑA EN COLOMBIA", *Repository.fedesarrollo.org.co*, 2019. [Online]. Available: https://www.repository.fedesarrollo.org.co/bitstream/handle/11445/3776/CDF_No_70_Mayo_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y. [Accessed: 19- Mar- 2022].
- [4] "CLÚSTER | Definición de CLÚSTER por Oxford Dictionary en Lexico.com también significado de CLÚSTER", *Lexico Dictionaries*, 2022. [En línea]. Disponible: <https://www.lexico.com/es/definicion/cluster>. [Acceso: 20-Mar-2022].
- [5] "LEY 905 DE 2004". [Online]. Available: http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_0905_2004.html. [Accessed: 19- Mar- 2022].
- [6] "Matriz de Relevancia de actores interesados", *MDAP*, 2022. [Online]. Available: <https://uv-mdap.com/matriz-de-relevancia-de-interesados/>.
- [7] "Matriz interés-poder", *Guiasjuridicas.wolterskluwer.es*, 2022. [Online]. Available: <https://guiasjuridicas.wolterskluwer.es/Content/Documento.aspx?params>.
- [8] *Sic.gov.co*, 2020. [Online]. Available: <https://www.sic.gov.co/sites/default/files/documentos/022021/Resolucion-32209%20de-2021>. [Accessed: 19- Mar- 2022].
- [9] "Azúcar. toma de muestras", *Tienda.icontec.org*, 2022. [Online]. Available: <https://tienda.icontec.org/gp-azucar-toma-de-muestras-2013.html>. [Accessed: 19- Mar- 2022].
- [10] *Mintrabajo.gov.co*, 2019. [Online]. Available: <https://www.mintrabajo.gov.co/documents/20147/59995826/Resolucion+2404+cada+Adopcion+bateria+riesgo+psicosocial%2C+guia+y+protocolos.pdf>. [Accessed: 08- Apr- 2022].
- [11] S. Bertonecello, "¿Cómo calcular el OEE de mi fábrica? ¡Con nuestra hoja de cálculo será más fácil! - Novus Blog", *Novus Blog*, 2022. Disponible: <https://www.novus.com.br/blog/como-calcular-el-oe-de-mi-fabrica-con-nuestra-hoja-de-calculo-sera-mas-facil/#:~:text=El%20OEE%20compara%20la%20capacidad,de%20fabricaci%C3%B3n%20de%20nuevos%20productos>. [Consulta: 20-abr-2022].
- [12] "Método Walt Disney: ¿imaginas todo lo creativo que serás cuando lo conozcas? - ADEN Business Magazine", *ADEN Business Magazine*, 2022. [Online]. Available: <https://www.aden.org/business-magazine/metodo-walt-disney-imaginas-lo-creativo-seras-cuando-lo-conozcas/>. [Accessed: 18- May- 2022].
- [13] T. Valencia, L. Caballero, A. Anguiano, H. Hernández and D. Robles, "Análisis Estadístico en Aplicación de Soldadura GTAW Usando Diseño de Experimentos Factorial Completo", *Soldagem & Inspeção*, vol. 25, 2020. Available: 10.1590/0104-9224/si25.16.
- [14] S. Fernández Henao, A. Pérez Rendon and P. Medina Varela, "Uso integral de simulación, diseño de experimentos y KANBAN para evaluar y mejorar el rendimiento de una línea de producción", *Entre Ciencia e Ingeniería*, pp. 9-16, 2019. Available: 10.31908/19098367.1147.
- [15] M. Vélez Gutierrez, L. Jimenez and X. Yepes Sánchez, "Evaluación de las proporciones de almidón de yuca y emulsificantes para el mejoramiento textural de una torta libre de gluten", *mendeley*, 2018. [Online]. Available: <https://www.mendeley.com/catalogue/81c73ef0-923f-311c-a937-422db0fb4671/>.
- [16] V. Hernández Velásquez and M. Alvarado Bawab, "Control on-off de temperatura y potencia para el mejoramiento de las condiciones de procesos asistidos con microondas", *INGE CUC*, vol. 13, no. 2, pp. 53-59, 2017. Available: <http://revistascientificas.cuc.edu.co/ingecuc/article/view/1060/Hern%C3%A1ndez%20Vel%C3%A1squez>. [Accessed 21 May 2022].
- [17] Y. AYAZ ATALAN and A. ATALAN, "Development of Design of Experiment Optimization to Obtain High-Quality Sugar", *İstatistik ve Uygulamalı Bilimler Dergisi*, vol. 2, no. 1, pp. 1-6, 2021. Available: <https://dx.doi.org/10.52693/jsas.908537>. [Accessed 21 May 2022].
- [18] R. Mofidul, M. Sabbir, A. Podder and M. Shaifur Rahman, "Design and Implementation of Remote Controlling and Monitoring System for Automatic PLC Based Packaging Industry", 2019 1st International Conference on Advances in Science, Engineering and Robotics Technology (ICASERT), pp. 1-5, 2019. Available: https://www.researchgate.net/publication/334450935_Design_and_Implementation_of_Remote_Controlling_and_Monitoring_System_for_Automatic_PLC_Based_Packaging_Industry. [Accessed 22 May 2022].

- [19] M. Alcázar Martínez, D. Martín Zorzo and A. Martínez Bolívar, "El mercado de Farmacia en Colombia", Estudio de Mercado, p. 2, 2015. Available: http://espana-colombia.org/img/documentos/08_DOC2015584846.pdf.
- [20]"Nuestra entidad | Superintendencia de Industria y Comercio", *Sic.gov.co*, 2022. [Online]. Available: <https://www.sic.gov.co/nuestra-entidad>. [Accessed: 18- May- 2022].
- [21]C. Silversides and U. Sundberg, "Operational Efficiency in Forestry", 2013.
- [22]*Uvadoc.uva.es*, 2022. [Online]. Available: <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/18110/TFM-P-390.pdf;sequence=1>.
- [23]H. Gutiérrez Pulido and R. Vara Salazar, *Control estadístico de calidad y Seis Sigma (2a. ed.)*. Distrito Federal: McGraw-Hill Interamericana, 2009.
- [24]P. Muchiri and L. Pintelon, "Performance measurement using overall equipment effectiveness (OEE): literature review and practical application discussion", 2018. [Online]. Available: <https://www.tandfonline.com/doi/citedby/10.1080/00207540601142645?scroll=top&needAccess=true>. [Accessed: 18- May- 2022].
- [25]"Estadísticos de capacidad para Análisis de capacidad Seis en uno de subgrupos/corto plazo - Minitab", *Support.minitab.com*, 2022.
- [26]"Dosificar", *Real Academia Española*, 2022. [Online]. Available: <https://dle.rae.es/dosificar>.
- [27] "Interpretar los resultados clave para Gráfica de contorno - Minitab", *Support.minitab.com*, 2021. [Online]. Available: <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/20/help-and-how-to/graphs/contour-plot/key-results/>. [Accessed: 14- Oct- 2022]
- [28]"Compresor de aire, ¿Qué es y para qué sirve?", *Susrefacciones.com*, 2016. [Online]. Available: <https://susrefacciones.com/2018/10/16/compresor-de-aire-que-es-y-para-que-sirve/>. [Accessed: 14- Oct- 2022]

IX. ANEXOS

TABLA XIII: TABLA DE ANEXOS

No. Anexo	Nombre	Desarrollo (propio o terceros)	Tipo de Archivo (PDF, HTLM, Excel, Word...)
1	2022101 - Anexo 1. Medición del sistema actual	Propio	Excel
2	2022101- Anexo 2. Grupos de Interés	Propio y Terceros	Word
3	2022101- Anexo 3. Acta de Confidencialidad	Propio	Word
4	2022101- Anexo 4. Estudio de Estabilidad y R&R	Propio	Excel
5	2022101- Anexo 5. PRD y requisitos grupos de interés 2022 101	Propio	Excel
6	2022101- Anexo 6. Certificado de calibración	Tercero	PDF
7	2022101-Anexo 7. Matriz AHP y Revisión de alternativas	Propio	Excel
8	2022101- Anexo 8. Project cronograma	Propio	Project
9	2022101-Anexo 9. Análisis de Causas y Modelo de Regresión Simple	Propio	Excel
10	2022101-Anexo 10. Analisis del impacto de la propuesta de mejora	Propio	Excel
11	2022101- Anexo 11. Entrevista interesados (mejora)	Propio	Word
12	2022101 - Anexo 12. Análisis financiero	Propio	Excel
13	2022101 - Anexo 13. Seguimiento y control propuesta	Propio	Excel