



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL



**CONTROL SIMULTÁNEO DE LAS VARIABLES OPERACIONALES DEL PROCESO DE
ENVASADO, APLICANDO LA METODOLOGÍA DE SUPERFICIES DE RESPUESTA
CASO: CERVECERÍA POLAR, PLANTA SAN JOAQUÍN**

Tutor Académico:
Dr. García, Teodoro

Autores:
Br. Draganov, Daniela
Br. Rojas, Jahiker

VALENCIA, NOVIEMBRE DEL 2012



**UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**



CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Quienes suscriben, Miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo, para examinar el Trabajo Especial de Grado titulado “CONTROL SIMULTÁNEO DE LAS VARIABLES OPERACIONALES DEL PROCESO DE ENVASADO, APLICANDO LA METODOLOGÍA DE SUPERFICIES DE RESPUESTA” el cual está adscrito a la Línea de Investigación “Métodos Estadísticos Multivariantes” del Departamento de Investigación Operativa, presentado por los Bachilleres Daniela Draganov, C.I. 18688568 y Jahiker Rojas, C.I. 17284017, a los fines de cumplir con el requisito académico exigido para optar al Título de Ingeniero Industrial, dejan constancia de lo siguiente:

1. Leído como fue dicho el Trabajo Especial de Grado, por cada uno de los Miembros del Jurado, éste fijó el día Viernes 23 de Noviembre del 2012, a las 11:30 am, para que los autores lo defendieran en forma pública, lo que éstos hicieron, en el Salón de Conferencias, mediante un resumen oral de su contenido, luego de lo cual respondieron satisfactoriamente a las preguntas que les fueron formuladas por el Jurado, todo ello conforme a lo dispuesto en el Reglamento del Trabajo Especial de Grado de la Universidad de Carabobo y a las Normas de elaboración de Trabajo Especial de Grado de la Facultad de Ingeniería de la misma Universidad.
2. Finalizada la defensa pública del Trabajo Especial de Grado, el Jurado decidió aprobarlo por considerar que se ajusta a lo dispuesto y exigido por el Reglamento de Estudios de Pregrado.

En fe de lo cual se levanta la presente acta, a los 23 días del mes de Noviembre del 2012, dejándose también constancia de que actuó como Coordinador del Jurado el Tutor, Prof. Teodoro García.

Firma del Jurado Examinador

Prof. Teodoro García
Presidente del Jurado

Prof. Ilse Pérez
Miembro del Jurado

Prof. Carlos Martínez
Miembro del Jurado

AGRADECIMIENTOS

A Dios por TODO lo que día a día me concede, por la oportunidad de vivir y de haber concretado con éxito esta etapa de mi vida. Por mantenerme de pie cuando las dificultades se hacían presentes y las fuerzas disminuían. Por escuchar cada una de mis peticiones y por no dejarme jamás. Por poner en mí camino lo que necesitaba para ser lo que soy hoy en día. GRACIAS DIOS, sin ti nada soy!!.. Sin ti nada es posible!!..

A mi Mamá por ser la persona más importante de mi vida, por amarme incondicionalmente por encima de cualquier cosa, incluso más allá de la vida. Por formarme y entregarme las lecciones más importantes que jamás haya recibido. Por ser siempre mi compañía y apoyo, por su enorme ejemplo de lucha, amor y dedicación. Por que hoy, cuando su presencia es invisible para mi, no dejo de sentirla cerca y no deja de estar presente. Porque hoy más que nunca es parte de cada minuto, éxito y acierto de mi vida. TE AMO MAMÁ, GRACIAS!!!!

A mi Hermana y Mi Papá, por ser los otros pilares de mi vida. Por su apoyo, ayuda, y presencia siempre incondicional. Por estar en todos y cada uno de los momentos de mi vida, por escucharme y aconsejarme siempre. Por desear, alegrarse y participar en mis triunfos tanto como yo!!.. Sin ustedes nada de esto hubiese sido posible!.

A mis tíos, primos y familia en general, los que se encuentran cerca y lejos, por estar siempre pendientes de mí y de mi bienestar, por hacerme llegar sus bendiciones y buenos deseos hoy y siempre.

A mis profesores, por ser parte fundamental de este logro, por los conocimientos impartidos, por su dedicación y guía. Por poner en mis manos las herramientas para ser una profesional exitosa, por sus aportes y hasta regaños. Por compartir sus experiencias y por los momentos vividos. Por contribuir en el descubrimiento de ésta profesión y de todo lo que ella conlleva, porque todo eso me hace quererla, apreciarla y confirmar cada día que no puede haber elegido mejor!!.. GRACIAS!..

A Adriana y Albita, por TODO!!.. Imposible resumir en unas líneas todo la ayuda que nos dieron en toda esta carrera. Gracias por su disposición y por querer siempre lo mejor para nosotros. Porque a lo que creíamos imposible ustedes siempre le conseguían una solución, siempre con una sonrisa y con la mejor de las actitudes!!..Mi agradecimiento eterno para ustedes!..

A mis amigos, por haber llegado a mi vida y acompañarme a lo largo de todo este proceso!.. Sin ustedes nada en absoluto hubiese sido igual. Gracias por estar siempre presentes, y por convertirse en un parte tan importante de mí. Les agradezco de todo corazón su ayuda, apoyo, presencia, interés y colaboración en todo lo relacionado a este trabajo. Gracias además por los momentos compartidos, porque sin duda alguna han sido de los mejores!.. Que Dios los Bendiga y los colme de éxitos personales y profesionales, y sobretodo los mantenga siempre presentes en mi vida!!..

Daniela V. Draganov G.

AGRADECIMIENTOS

Luego de haber alcanzado esta meta tan importante quiero agradecer en primer lugar a Dios todopoderoso por haber puesto en mi camino a las personas indicadas en el momento indicado, porque sin el nada de esto fuera posible, a la Virgen santísima que me cubre con su manto sagrado, a mis padres Esther y Roberto por haberme apoyado siempre y haber estado presentes en los momentos mas importantes de mi vida, a mi hermana Kela que ha sido mi compañera de toda la vida y siempre ha mostrado su disposición en ayudarme, a mi novia María Fernanda que siempre me ha apoyado, ayudado y aconsejado con mucho amor y cariño, a mis abuelos Felipon, María, Juan y Rosa los cuales han sido siempre un grandes consejeros y parte de mi inspiración para el logro de muchas metas personales, a mi compañera de tesis y mas que compañera hermana, Daniela la cual ha sido un gran apoyo y compañía durante toda mi carrera, a mis compañeros de los inicios de carrera los cuales ahora son grandes amigos, Irene, Eva, Danielcy, Luis, Edwins, Roberto, Yoily, a mis compañeros de los últimos semestre con los cuales hemos creado un lazo muy fuerte de amistad y a los cuales les debo muchas cosas Maria Daniela, Joseidrey, Neifer, Danilo, Julio, Michel, Gerard, Melvin, Javier, Manuel, Davisito, Fernando, Ydania, Carola, Willian, al profesor Teodoro que nos supo guiar durante este difícil reto, a mis tíos Alfonso, Lili y Lola, a mis primos Miguel, Begoña, Xioly, Kristel, Yanilu, Rosisela que son mas que primos hermanos, a mis ahijados Alex y Nelson David que son grandes bendiciones en mi vida, a la familia Guevara Araujo que me han aceptado como un miembro mas de su familia y a tantas personas mas que me han acompañado durante este largo camino, son tantos a los que les debo agradecimiento y con los cuales siempre estaré agradecido, muchas gracias a todos.

Jahiker Rojas

DEDICATORIA

A mi Mamá, por ser el motor, la motivación y el empuje detrás de todo esto. Por que su recuerdo ha sido y será hasta el último de mis días el mayor incentivo para hacer las cosas, para no desmayar nunca, aún en las situaciones mas adversas. Éste es el primero de los muchos éxitos que espero me conceda la vida, y al igual que éste, todos y cada uno serán para ti y en tu nombre!!.. TE AMO MAMÁ, por ti y para ti TODO!..

A mi abuela, por haber sido en vida, de los mejores ejemplos de amor y entrega, por su participación tan importante en mi crianza y formación y por darme y darnos siempre todo lo que podía de ella. Por que su bendición me alcanza todos los días de la vida.

A mis sobrinas, Mariam y Marcela, por ser un rayito de luz siempre en mi vida. Por graduarme de Tía, y prepararme en cierta forma en ese oficio de ser Mamá. Por haberme permitido conocer en ustedes ese amor incomparable!.. LAS AMO hijitas, y les dedico éste trabajo y todo lo bueno que venga de aquí en adelante.

Daniela V. Draganov G.

DEDICATORIA

Este proyecto producto de un largo trabajo y un gran esfuerzo va dedicado a Dios todopoderoso, dueño y maestro de todos los proyectos de mi vida, a mis padres que con mucho esfuerzo me han llevado hasta lo que soy ahora, a pesar de las adversidades que se presentaron, a mi hermana querida, a mi novia que también me ha ayudado mucho durante este largo camino, a toda mi familia que es mi mayor soporte y son con quienes he vivido mis mayores alegrías, a mis amigos que son la familia que te da la vida misma, a mis abuelos que los quiero mucho pero muy especialmente a mi abuelo Felipon que no esta con nosotros físicamente pero si espiritualmente y sé que cuida de mis pasos y de los de toda mi familia como lo hizo también en vida, a lamilustre Universidad de Carabobo junto con todos su personal porque han hecho de mi un profesional de bien y me han dado las herramientas para seguir luchando y prosperar como una persona íntegra, a todos ustedes va dedicado este fruto que lleva sobre su espalda muchos años de sacrificios y recompensas.

Jahiker Rojas

ÍNDICE DE CONTENIDO

CONTENIDO	PÁG
Agradecimientos	i
Dedicatoria	iv
Resumen	xi
Introducción	1
Capítulo I. El Problema	
1.1 Planteamiento del problema	4
1.2 Formulación del problema	7
1.3 Objetivos de la investigación	7
1.3.1 Objetivo general	7
1.3.2 Objetivos específicos	8
1.4 Justificación	9
1.5 Alcance	10
1.6 Limitaciones	10
Capítulo II. Marco Teórico	
2.1 Antecedentes	11
2.2 Bases Teóricas	14
2.3 Definición de términos básicos	30
Capítulo III. Diagnóstico de la Situación Actual	
3.1 Descripción del proceso de envasado	33
3.2 Situación actual del proceso y el producto	36
Capítulo IV. Análisis y Discusión de Resultados	
4.1 Materiales, métodos y equipos	47
4.2 Resultados y discusión	55
4.3 Validación de soluciones	89

Capítulo V. Evaluación Económica	90
Conclusiones	95
Recomendaciones	97
Referencias Bibliográficas	99
Anexos	102

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	PÁG
Figura 1. PLC de la llenadora Z de la línea 13 de envasado	17
Figura 2. Prueba diferencia de volumen	18
Figura 3. Medición de volumen por plantilla	48
Figura 4. Atemperador de fluidos	49
Figura 5. Pantalla de ajuste del atemperador	49
Figura 6. Agitador de botellas	50
Figura 7. Medición de oxígeno (Perforación)	51
Figura 8. Medición de oxígeno (Lectura)	51
Figura 9. Diseño compuesto con centro en las caras (Tratamientos)	56
Figura 10. Resumen diseño	59
Figura 11. Estadísticas de resumen del modelo (Merma de Líquido)	60
Figura 12. Estadística de resumen del modelo (Nivel de Oxígeno)	60
Figura 13. Gráfica residuos vs probabilidad normal (Merma de Líquido)	62
Figura 14. Gráfica residuos vs probabilidad normal (Nivel de Oxígeno)	63
Figura 15. Gráfica de residuos vs orden de las corridas (Merma de Líquido)	64
Figura 16. Gráfica de residuos vs orden de las corridas (Nivel de Oxígeno)	65
Figura 17. Gráfica varianza de los residuos vs tratamientos (Merma Líquido)	66
Figura 18. Gráfica varianza de los residuos vs tratamientos (Nivel de Oxígeno)	67
Figura 19. Análisis de la varianza ANOVA (Merma de Líquido)	69
Figura 20. Análisis de la varianza ANOVA (Nivel de Oxígeno)	71
Figura 21. Coeficientes estimados del modelo (Merma de Líquido)	72
Figura 22. Coeficientes estimados del modelo (Nivel de Oxígeno)	74
Figura 23. Optimización para velocidad igual a 800 bot/min	77

Figura 24. Optimización gráfica para velocidad igual a 800 bot/min	78
Figura 25. Optimización para velocidad igual a 900 bot/min	79
Figura 26. Optimización gráfica para velocidad igual a 900 bot/min	80
Figura 27. Optimización para velocidad igual a 1000 bot/min	81
Figura 28. Optimización gráfica para velocidad igual a 1000 bot/min	82
Figura 29. Superficie de Respuesta Merma Líquido (Velocidad=800 bot/min)	83
Figura 30. Superficie de Respuesta Nivel de Oxígeno (Velocidad=800 bot/min)	84
Figura 31. Superficie de Respuesta Merma Líquido (Velocidad=900 bot/min)	85
Figura 32. Superficie de Respuesta Nivel de Oxígeno (Velocidad=900 bot/min)	86
Figura 33. Superficie de Respuesta Merma Líquido (Velocidad=1000 bot/min)	87
Figura34. Superficie de Respuesta Nivel de Oxígeno(Velocidad=1000 bot/min)	88

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA	PÁGINA
Tabla 1. Análisis de varianza	25
Tabla 2. Resumen de volumen por válvula	39
Tabla 3. Muestreo de válvulas aleatorias	40
Tabla 4. Estado inicial de la llenadora	42
Tabla 5. Merma actual generalizada	44
Tabla 6. Variables para seleccionar el diseño de superficie de respuesta	53
Tabla 7. Costos de producción	91



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL



Control simultáneo de las variables operacionales del proceso de envasado, para reducir la merma de líquido y el nivel de oxígeno presente por botella, aplicando la metodología de superficies de respuesta. Caso: Cervecería Polar, Planta San

Joaquín

Tutor Académico

Dr. García, Teodoro

Autores

Br. Draganov, Daniela

Br. Rojas, Jahiker

Resumen

En el proceso de envasado de la cerveza, intervienen diversas variables operacionales, las cuales deben ser controladas a fin de garantizar un producto terminado que cumpla con los estándares de calidad establecidos y a su vez asegurar el uso eficiente de los recursos disponibles. Dichas variables operacionales son: la velocidad de la línea de producción, el volumen inicial de líquido en la botella y la presión del sistema de inyección de agua a alta presión o presión de HDE, las mismas afectan las variables de calidad: merma de líquido y el nivel de oxígeno presente en cada botella, el cual otorga a la cerveza propiedades específicas en cuanto a sabor y espuma; pero en niveles elevados acelera su efecto oxidante y disminuye la duración de la misma. El propósito del presente Trabajo de Grado, es determinar una combinación factible de valores para las variables operacionales del proceso, que permita reducir la merma de líquido por concepto de rebose y mantener dentro de especificaciones el nivel de oxígeno presente en cada botella. Se aplicó un diseño central compuesto con centro en las caras a una superficie de respuesta con espacio de solución restringido, posteriormente se aplicó una función de deseabilidad y se obtuvo un resultado factible para la solución simultánea de las dos superficies en estudio. Se propusieron valores de presión de HDE igual a: 3.14, 3.09 y 3 bar, y volumen inicial 224 ml, para velocidades de línea de: 800, 900 y 1000 bot/min respectivamente. Se estimó una reducción en la merma equivalente a 126 cajas de producto al día, solo para la línea 13 y nivel de oxígeno ubicado en un rango de 75 a 195 ppb.

Palabras Claves: Superficie de respuesta, diseño central compuesto, función de deseabilidad, variables operacionales, merma de líquido, nivel de oxígeno.

INTRODUCCIÓN

Desde el inicio de la revolución industrial y hasta la actualidad, ha sido objetivo fundamental de las empresas y organizaciones, implementar técnicas y programas, que le permitan de manera cada vez más exigente, establecer control sobre sus procesos, de manera de mejorar cada paso, tarea y actividad, con la finalidad principal de generar un producto de alta calidad, a un costo mínimo y en consecuencia garantizar la rentabilidad del negocio.

Cuando una compañía se mueve al ritmo que le impone el mercado y se mantiene a la vanguardia, en una sociedad cada vez más fluctuante, obtiene automáticamente una ventaja sobre las demás, ya que adquiere la posibilidad de flexibilizar su entorno productivo y adaptarse a los cambios demandados; alcanzando además el carácter de empresa eficiente, en la medida en la que utilice de manera adecuada los recursos de los que dispone y garantice la satisfacción máxima de sus clientes, integrantes y asociados.

En Cervecería Polar, C. A, el norte es la satisfacción de los clientes, tal como establece su política interna, se esmera en ser cada día mejor para suministrar oportunamente productos de la más alta calidad, apoyada en el mejoramiento continuo y la actualización tecnológica del recurso humano y de sus procesos, a fin de asegurar la permanencia de la empresa en el tiempo, la calidad de vida de sus trabajadores y la conservación del medio ambiente.

La presente investigación se llevó a cabo en la empresa antes mencionada, específicamente en las máquinas llenadoras de la línea de producción número 13 del departamento de envasado, y tuvo como finalidad determinar una combinación factible de valores, para las variables operacionales que influyen en la merma de líquido por concepto de rebose y el nivel de oxígeno presente en cada botella del producto; mediante un estudio basado en la metodología de superficies de respuesta que permitiera controlar de manera simultánea éstas dos últimas variables.

En el capítulo I (El Problema), se presentan las generalidades de la empresa, planteamiento y formulación del problema; los objetivos, alcance, limitaciones y los diferentes aspectos que justifican la realización de esta investigación.

Luego, en el capítulo II se muestran los antecedentes relacionados con la investigación, resumiendo de manera detallada, sus objetivos, conclusiones y algunas semejanzas que presentan con este proyecto. También se incluyen las bases teóricas y conceptuales usadas como material bibliográfico de apoyo para la ejecución del mismo.

Seguidamente, en el capítulo III (Marco Metodológico) se describen los aspectos metodológicos que definen el presente trabajo. Se explica el nivel y diseño de la investigación, así como las técnicas e instrumentos de recolección, procesamiento y análisis de datos, y finalmente se detallan las fases y procedimiento a seguir para cumplir los objetivos planteados en esta investigación.

Posteriormente, en el capítulo IV, se realiza el diagnóstico de la situación actual del proceso estudiado, se aplica la metodología de respuesta seleccionada para realizar el análisis de las variables a estudiar, se muestran e interpretan los resultados obtenidos y se determinan las posibles soluciones al problema planteado.

Luego, en el capítulo V (Evaluación Económica), se efectúa y presenta la justificación económica de la investigación, en términos del impacto con respecto a costos, que se derivan de la mejora que se plantea en este trabajo.

Finalmente en el capítulo VI, se presentan las conclusiones obtenidas luego de concluida la investigación, así como las recomendaciones para mejorar de manera integral el proceso estudiado.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

En el presente capítulo se describe de manera detallada la situación problemática existente en proceso objeto de estudio, posteriormente se presenta la formulación del problema y los objetivos de esta investigación, finalmente se desarrolla la justificación, alcance y limitaciones de la misma.

1.1 Planteamiento del problema

Todo proceso productivo, involucra dentro de sí, una serie de actividades que se realizan con el objetivo fundamental de obtener un producto de óptima calidad a un bajo costo, con el cual se logren satisfacer las necesidades del cliente.

De acuerdo a Juran, Gryna y Bingham (2005), el control de calidad se define, como el conjunto de técnicas de carácter operativo utilizadas para satisfacer requisitos relativos a la calidad. Las técnicas involucradas dentro del control de calidad, se aplican con la finalidad de identificar y detectar la presencia de defectos, para iniciar una acción correctiva que permita la eliminación de los mismos.

Si bien es cierto que desde los primeros años de la revolución industrial las empresas manufactureras han dirigido sus esfuerzos a la fabricación masiva de productos de alta calidad y bajo costo, que le permitan maximizar sus beneficios y satisfacer la demanda y los requerimientos impuestos por el cliente, de manera de asegurarse un puesto en un mercado creciente cada vez más exigente y competitivo; no es menos cierto, que de los diversos tipos de empresas existentes, aquellas que deben esforzarse más en garantizar la fabricación de productos que cumplan con

todos los estándares de calidad, son las dedicadas a la elaboración de productos alimenticios, ya que se encargan de satisfacer una necesidad fundamental para el hombre como lo es la alimentación; entendiéndose como alimentación la ingesta de productos sólidos o líquidos.

En la actualidad existen un sin número de empresas dedicadas a la fabricación de alimentos y bebidas, las cuales dirigen esfuerzos e implementan día a día controles de calidad que aseguren que las condiciones del producto terminado sean las mejores y más adecuadas para el consumo humano.

En Venezuela, la corporación líder en la producción de alimentos, refrescos, malta cebada, bebidas alcohólicas y bebidas no carbonatadas es Empresas Polar, la cual está conformada por 3 divisiones: Cervecería Polar, Pepsi Cola de Venezuela y Alimentos Polar.

Cervecería Polar, es de éste grupo, la empresa de mayor tradición dentro de ésta corporación y se dedica exclusivamente a la elaboración de malta y cervezas; la misma, posee cuatro plantas en el territorio nacional, ubicadas específicamente en: San Joaquín, Barcelona, Caracas y Maracaibo.

La planta de Cervecería Polar ubicada en San Joaquín, elabora y envasa exclusivamente productos en botellas, como lo son: Cerveza tipo Pilsen en presentación de 222 ml y 330 ml de distribución nacional y en presentación de 12oz y 8oz para la exportación; Cerveza tipo Light, Cerveza Solera, Cerveza Solera Light en presentación de 222 ml y 330 ml; Cerveza tipo Ice de 222 ml y 330 ml, esta última, en presentación retornable y no retornable, Cerveza Zero de 330 ml, Maltín de 222 ml y 250 ml y Maltín Pet de 1.5 Lts.

Dicha planta, cuenta con 13 líneas de envasado, de las cuales, las líneas 4, 5, 12 y 13 trabajan únicamente con Cerveza tipo Light de 222 ml, siendo éste el producto de mayor demanda dentro de la organización. Las líneas 4 y 5, cuentan con tres máquinas llenadoras y las líneas 12 y 13 con dos; cada una de estas máquinas posee una capacidad instalada de 1000 bot/min y trabaja a un 80% de su capacidad.

En el proceso de envasado de una botella, intervienen ciertas variables operacionales como: la velocidad de la línea de producción, la presión del sistema de inyección de agua a alta presión (HDE) y el volumen inicial de líquido contenido en la botella; las cuales deben ser controladas para garantizar que las características principales del producto estén dentro de las especificaciones permitidas y evitar el desperdicio o merma del producto. Cuando no se aplica un control eficiente sobre las mismas surge una problemática dentro del proceso de envasado, ya que se genera merma de líquido por concepto de rebose de la botella, además se presentan inconsistencias en cuanto al volumen de llenado, evidenciándose valores fuera del rango de conformidad, lo que a su vez genera el rechazo de las botellas por parte del sistema de inspección instalado (Heuft), ocasionando la pérdida de líquido (cerveza o malta) e insumos (chapas), también se originan niveles de oxígeno distintos a el establecido, generando un producto de sabor distinto al esperado, con mucha o poca espuma y de menor duración, esto último debido a que el oxígeno produce un efecto oxidante en el líquido.

De no corregirse esta situación se generarían grandes pérdidas de dinero para la compañía, como consecuencia del desperdicio de líquido e insumos, los cuales según estadísticas proporcionadas por la empresa son de aproximadamente 26500 litros de producto por semana, solo para la línea de producción número 13; así mismo se sabe que la problemática anteriormente descrita ocasiona retrasos en el cumplimiento de las metas de producción.

1.2 Formulación del problema

¿Se logrará determinar una solución factible, que mejore el proceso de envasado, mediante el control simultáneo de las variables operaciones que afectan la merma de líquido por concepto de rebose en el sistema de inyección a alta presión y el nivel de oxígeno en el producto terminado, en la línea número de producción número 13 de Cervecería Polar Planta San Joaquín?

1.3 Objetivos de la Investigación

1.3.1 Objetivo General

Controlar simultáneamente las variables operacionales del proceso de envasado, para la reducir de la merma de líquido por rebose y el nivel de oxígeno presente por botella, aplicando la metodología de superficies de respuesta

1.3.2 Objetivos Específicos

1.3.2.1 Determinar el estado actual del proceso y del producto proveniente de las máquinas llenadoras pertenecientes a la línea de envasado número 13.

1.3.2.2 Seleccionar el diseño de superficie de respuesta que será utilizado en la aplicación de la metodología de trabajo.

1.3.2.3 Aplicar la metodología de superficies de respuesta, mediante el estudio de las variables (Presión de HDE, volumen inicial por botella y velocidad de la línea) que influyen en la merma de líquido por rebose y el nivel de oxígeno del producto.

1.3.2.4 Validar los resultados obtenidos, seleccionando las soluciones factibles.

1.3.2.5 Realizar la evaluación económica por concepto de análisis, estudios y ajustes.

1.3 Justificación de la investigación

Este proyecto de investigación permitió determinar una combinación factible de los valores de las variables que intervienen en el proceso de envasado, lo cual representa una mejora para el mismo, ya permite el control simultáneo de dichas variables y se traduce en la disminución de la merma o desperdicio de líquido por efecto del rebose y el nivel de oxígeno presente en las botellas procesadas por las máquinas llenadoras de la línea de producción número 13, situación que origina una disminución de los costos operativos por concepto de merma y producto disconforme y favorece el cumplimiento de las metas de producción establecidas para satisfacer la demanda del mercado.

De igual forma el presente trabajo sirvió como medio para la aplicación de los conocimientos adquiridos en las cátedras de métodos estadísticos I y II, control estadístico de calidad, diseño de experimentos, gestión de la calidad e ingeniería económica, los cuales fueron utilizados como base para realizar estudios, análisis y pruebas, además de la evaluación y justificación económica de la investigación y sus respectivas conclusiones. El mismo también puede ser utilizado para enriquecer el patrimonio de material para información y consulta, en cuanto a trabajos de investigación se refiere, que componen la biblioteca rental de la escuela de ingeniería industrial de la Universidad de Carabobo y como apoyo para investigaciones futuras dentro de Cervecería Polar, Planta San Joaquín.

1.4 Alcance

Esta investigación se realizó en el departamento de envasado de la planta San Joaquín de Cervecería Polar, el cual cuenta con un total de 13 líneas de envasado, designándose la número 13 como objeto y campo de estudio para realizar la investigación correspondiente. La misma se llevó a cabo aplicando la metodología de superficies de respuesta como medio para realizar los experimentos, análisis, estudios, obtención e interpretación de los resultados; y se desarrolló hasta determinar una solución factible al problema planteado, que permitiera analizar el comportamiento del proceso de envasado y generar conclusiones y recomendaciones en pro del control de las variables que afectan el desarrollo y resultado de dicho proceso. Esta solución se compone de un valor de presión de HDE, un valor para la velocidad de la línea y un valor para el volumen inicial de la botella, tal que la merma de líquido y nivel de oxígeno sean mínimos y el volumen final de la botella se encuentre dentro de especificaciones. Así mismo y para completar los objetivos planteados al inicio de este trabajo, se realizó la respectiva evaluación económica, de manera de determinar el impacto en términos de ahorro o beneficio económico generado por las soluciones determinadas previamente.

1.6 Limitaciones

1.6.1 La línea de producción asignada para la realización del estudio es la número 13

1.6.3 Para la realización de las pruebas solo podrá ser utilizada la llenadora Z de la línea de envasado número 13, a fin de evitar paradas en la producción.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

En este capítulo se presentan los antecedentes o trabajos de investigación anteriores, que fueron considerados como referencia para el desarrollo de ésta investigación, así mismo se muestran las bases o referencias teóricas que sustentan lo expuesto en este trabajo, finalmente se definen los términos o vocabulario básico asociado al mismo.

2.1 Antecedentes

Velásquez (2012), con su investigación titulada: “Plan de mejora en las líneas de llenado del área de envasado mediante el uso de herramientas de ingeniería industrial en Cervecería Polar Planta San Joaquín” logró determinar la causa principal en la merma o pérdida del producto dentro del proceso de envasado, mediante la aplicación de herramientas como el diagrama causa-efecto de Ishikawa, el método de pronóstico cualitativo del grupo nominal, entre otras. Dicha investigación dió como resultado que más del 60% de las fallas que provocan la merma de líquido están estrechamente relacionadas con el mantenimiento inadecuado de las máquinas llenadoras, bien sea por retraso en la fecha planificada para el mismo o por realizarlo de manera incompleta a fin de no generar retrasos en el proceso productivo y sirvió como base en el presente trabajo para analizar y considerar las posibles causas que influyen en la merma de líquido del proceso de envasado.

Pérez (2009), en: “Propuesta de un plan de mejoras para reducir las no conformidades en el proceso de pasteurización en los trenes de envasado de cerveza números 7, 10 y 13 de Cervecería Polar Planta San Joaquín” tuvo como objetivo fundamental determinar los factores que originan producto disconforme en el proceso de pasteurización de cerveza, a fin de proponer acciones correctivas para mejorar tal situación. Los resultados obtenidos permitieron identificar como posible origen de no conformidades en el proceso de pasteurización, los retrasos en el mantenimiento de los equipos productivos. También se evidenció un gran número de fallas causadas por las embaladoras, etiquetadoras y paletizadoras, ya que se determinó que las mismas provocaban acumulación de botellas en las líneas y detención del pasteurizador, sobre pasteurizando las botellas dentro del equipo y haciendo que las mismas fueran rechazadas por el sistema de inspección, además de producir demoras en el despacho de paletas.

Por último, se concluyó que después de realizar la revisión y atención de las fallas de las válvulas del pasteurizador e inspeccionar las velocidades de los equipos, se produjo una disminución en las no conformidades del producto. En ésta investigación dicho trabajo se usó como aporte principalmente por su enfoque y objetivo, el cual plantea reducir la cantidad de producto rechazado por concepto de no conformidad, además de que pone en evidencia posibles causas que afectan las máquinas que intervienen en el proceso productivo

Rodríguez (2007), presentó un trabajo titulado: “Propuesta de mejora para incrementar la productividad en el área de llenado de cerveza en Cervecería Polar C.A, Planta San Joaquín” que se fundamentó en determinar las principales causas que impactan en el índice de rendimiento de la línea de llenado de cerveza de Cervecería Polar C.A, Planta San Joaquín, basándose principalmente en el análisis de reportes y fallas y en la información suministrada sobre los métodos de operatividad, mediante herramientas como la observación directa, diagrama causa efecto y tormenta de ideas. Del análisis de cada causa se generó un respectivo plan de acción.

Para esta investigación el mencionado trabajo sirvió como ejemplo respecto a la metodología usada para determinar las acciones a implementar, ya que mediante la observación directa, el análisis diario del proceso, información y estudios iniciales al producto generado en la línea, entre otros recursos; el autor logró generar una propuesta de acción para cada uno de los factores que afectaban el rendimiento de la línea de llenado.

2.2 Bases Teóricas

2.2.1 Diseño de experimentos

Según Montgomery (2002), es una prueba o una serie de pruebas en las cuales se inducen cambios deliberados en las variables de entrada de un proceso o sistema, de manera que sea posible observar e identificar las causas de los cambios en la variable de salida o respuesta.

2.2.2 Objetivos del diseño de experimentos

2.2.2.1 Determinar cuáles son las variables que tienen mayor influencia en la variable de respuesta.

2.2.2.2 Determinar el mejor valor de las variables controlables que influyen en la respuesta, de manera que ésta tenga casi siempre un valor cercano al valor nominal deseado.

2.2.2.3 Determinar la mejor combinación de las variables controlables que ayuden a reducir la variabilidad de la respuesta.

2.2.2.4 Establecer la combinación óptima de las variables controlables, con el objeto de minimizar el efecto de las variables incontrolables.

2.2.3 Principios básicos en el diseño de experimentos

Según Kuehl (2002), son los siguientes:

2.2.3.1 Replicación: consiste en la repetición independiente del experimento básico.

2.2.3.2 Aleatorización: es la asignación aleatoria de tratamientos a las unidades experimentales.

Bloquización: consiste en agrupar las unidades experimentales de manera que su variabilidad dentro de los grupos sea menor a la variabilidad entre las unidades antes de agruparlas

2.2.4 Etapas del diseño de experimentos

2.2.4.1 Comprensión y planteamiento del problema: al diseñar y analizar un experimento es necesario tener de antemano una idea clara de qué es exactamente lo que se va a estudiar y cuales son los objetivos del experimento. El diseño de experimentos es una herramienta para encontrar respuestas a problemas perfectamente identificados y especificados. Cuanto más claramente se plantea el problema y se identifica el propósito o información que se desea conseguir con los experimentos, mayor puede ser la ayuda del mismo.

2.2.4.2 Selección de la variable de respuesta: se debe seleccionar como respuesta una variable que provea la información necesaria. Según el objetivo perseguido, puede ser necesario observar más de una respuesta y encontrar un compromiso entre ellas.

2.2.4.3 Elección de factores y niveles: se deben identificar y listar todos los factores que pueden tener influencia en el proceso y en la respuesta. Se debe tener conciencia de la influencia potencial que podría tener cada factor en la respuesta. Para cada factor se debe definir el dominio experimental, es decir el intervalo de valores que puede tomar. También se debe considerar la forma en que se controlarán dichos factores para mantenerlos en los valores deseados y cómo se les medirá. Para esto es necesario conocer el proceso estudiado, mediante una combinación de experiencia práctica y comprensión teórica.

2.2.4.4 Elección del diseño experimental: la experimentación se realiza frecuentemente en etapas secuenciales. La elección del diseño experimental para cada etapa depende de una serie de factores a considerar:

- Naturaleza del problema, información conocida y tipo de información que se desea obtener según el objetivo planteado.
- Número de factores e interacciones que se deben estudiar.
- Complejidad de utilizar cada diseño.
- Validez estadística y efectividad de cada diseño.
- Facilidad de comprensión e implementación.
- Restricciones operativas, de costo y tiempo.

2.2.4.5 Realización de la experimentación: en esta etapa es necesario asegurar que todo se haga de acuerdo a lo planeado a los fines de evitar errores en el procedimiento que puedan anular la validez experimental.

2.2.4.6 Análisis de datos: deben emplearse métodos estadísticos para analizar los datos. Una vez que se dispone de los resultados experimentales se pueden calcular los efectos de los factores, así como sus interacciones. Los métodos estadísticos permiten comprobar si los efectos calculados son significativos comparándolos con el error experimental. Si se construye un modelo de superficie de respuesta, se pueden calcular los coeficientes por el método de los cuadrados mínimos y se puede evaluar el modelo realizando réplicas de ciertos experimentos y aplicando ANOVA.

2.2.5 Terminología en un diseño de experimentos

2.2.5.1 Unidad Experimental: objeto al cual se le aplica una medición u observación. Es la parte más pequeña de un experimento a la que se le puede aplicar un tratamiento.

2.2.5.2 Factor: es una de las variables independientes que son estudiadas en el experimento. Esta puede ser cualitativa, como: cambios en el equipo, métodos, material utilizado; o cuantitativa, como: temperatura, presión y tiempo.

2.2.5.3 Factores controlables: son variables de proceso o características de los materiales experimentales que se pueden fijar en un nivel dado.

2.2.5.4 Factores no controlables o de ruido: son variables o características de materiales y métodos que no se pueden controlar durante el experimento o la operación normal del proceso. Un factor que ahora es no controlable puede convertirse en controlable cuando se cuenta con el mecanismo o tecnología para ello.

2.2.5.5 Factores estudiados: son las variables que se investigan en el experimento, respecto de cómo influyen o afectan a la(s) variable(s) de respuesta. Los factores estudiados pueden ser controlables o no controlables.

2.2.5.6 Nivel: son los valores que puede tomar el factor a estudiar.

2.2.5.7 Combinación: es la asignación de un solo nivel a un solo factor, o de varios niveles a todos los factores en una corrida experimental.

2.2.5.8 Variable de respuesta: es el resultado de una corrida experimental. Variable a estudiar.

2.2.5.9 Efecto: es el cambio en la variable de respuesta por el cambio de nivel de un factor.

2.2.5.10 Interacción: es cuando uno o más factores trabajan juntos para producir un efecto diferente a los efectos producidos por esos factores de manera individual.

2.2.5.11 Corrida experimental: implementación de cada una de las combinaciones, también se le puede llamar tratamiento

2.2.5.12 Bloque: agrupación planeada de factores o combinaciones. Es realizada a manera de minimizar la variación no incluida en el diseño, ejemplo puede ser el turno o día de la semana.

2.2.5.13 Replica: es la repetición de una corrida experimental o tratamiento.

2.2.6 Metodología de superficies de respuesta: De acuerdo a Siqueiros (2004), el objetivo de la metodología de superficies de respuesta es optimizar una o más variables de interés, lo cual se logra al determinar sus mejores condiciones de operabilidad. Para ello se utiliza un conjunto de técnicas estadísticas que nos permiten analizar y modelar la forma en que la variable de interés es influenciada por otras. Se pueden distinguir tres aspectos claves en esta metodología: diseño, modelo y técnicas de optimización, ésta metodología es un procedimiento secuencial, es decir, la aproximación a la región de interés se realiza de forma iterativa utilizando diseños cada vez más complejos que dependen de la información que se obtiene en cada etapa.

2.2.6.1. Diseños para estimar superficies de respuesta de segundo orden: de acuerdo a Gutiérrez y de la Vara (2008), los diseños de segundo orden son aquellos que permiten estudiar los efectos de interacción y efectos cuadráticos, aparte de los efectos lineales. Se utilizan ante la necesidad de explorar una superficie más compleja o bien cuando se tiene identificada la región de respuesta óptima y se quiere caracterizar esa superficie de respuesta. La selección de estos diseños depende de las características del problema, pero deben en general cumplir ciertos requerimientos como capacidad para eficientes de los coeficientes del modelo y medir tanto el error experimental como la posible presencia de falta de ajuste. Estos diseños deben tener por lo menos tres niveles en cada uno de los factores para poder estimar la curvatura de la superficie de respuesta en cada uno de los factores.

2.2.6.1.2 Diseño Central Compuesto: cuando se busca un modelo de segundo orden que se ajuste a los datos, el diseño central compuesto, también llamado Box-Wilson es uno de los diseños más utilizados, por su gran flexibilidad. Se empieza con un diseño factorial o factorial fraccionario a dos niveles (conocido como la porción factorial), no puntos centrales (que sirven para examinar la presencia de curvatura, dar información acerca de los efectos cuadráticos y estimar la magnitud del error experimental) y $2k$ puntos axiales o puntos estrella, de la forma: $(-\alpha, 0, 0)$, $(\alpha, 0, 0)$, $(0, -\alpha, 0)$, $(0, \alpha, 0)$, $(0, 0, -\alpha)$, $(0, 0, \alpha)$.

Se tendrá por lo tanto, en total N corridas, donde:

$$N = 2k + 2k + n_o \quad (1)$$

n_o es el número de puntos al centro y se calcula de la siguiente manera, sabiendo que F es el número de puntos de la sección factorial:

$$n_o \approx 4\sqrt{F} + 4 - F \quad (2)$$

La distancia de los puntos axiales al origen, que se denota α , varía según las propiedades que se desean en el diseño. Las propiedades más buscadas, generalmente, son rotabilidad, ortogonalidad y precisión uniforme. El **diseño central compuesto con centro en las caras**, es una variante del diseño central compuesto, en donde el valor de $\alpha=1$, es decir, los puntos axiales se localizan en el centro de la caras cubo representado por éste; dicha variante resulta particularmente útil cuando se complica o no es posible correr los tratamiento con niveles mas allá de los valores -1 y +1 debido a restricciones del proceso.

2.2.6.2 Modelos polinomiales para el análisis de superficies de respuesta: según documento en línea recuperado del sitio web de la Universidad de Oviedo, Fernández y Piñeiro (2004), afirman que para la aplicación del método de superficie de respuesta es necesario ajustar la relación entre las variables independientes y la variable respuesta, relación que por lo general es desconocida, y que para esto se proponen dos tipos de modelos polinómicos, los cuales se describen a continuación:

El modelo de primer orden, sin considerar interacciones, se puede escribir de la siguiente manera:

$$Y = \beta_0 + \sum B_i X_i + e \quad (3)$$

En caso de detectar curvatura en el sistema se empleará un **modelo de segundo orden**, de la forma:

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k B_i X_i + \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^k B_{ij} X_i X_j + \sum_{i=1}^k B_{ii} X_i^2 + e \quad (4)$$

La forma de estos modelos nos presenta una variable respuesta Y en función de un polinomio donde las variables X_i representan los factores que influyen en la variable de respuesta, cada variable tiene un coeficiente β_i el cual debe ser estimado y para esto se recomienda el método de los mínimos cuadrados que es el mejor estimador lineal

insesgado para β_i , en este modelo e representa el error observado de la respuesta.

Si el modelo ajustado describe adecuadamente la función de respuesta, entonces el analizar este modelo es casi equivalente a analizar el sistema real.

2.2.7 Análisis de varianza para modelos de regresión: se utiliza para probar si el modelo de regresión es significativo, analizando todas las fuentes de variación que contribuyen con la variación total de los datos, dichas fuentes de variación son las siguientes:

2.2.7.1 Suma de los cuadrados de la regresión (SCE): corresponde a la parte de la variación que es explicada por el modelo de regresión. Y se calcula mediante la siguiente expresión:

$$SCE = \sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2 \quad (5)$$

2.2.7.2 Suma de los cuadrados de los residuos (SCR): corresponde a la parte de la variación que es explicada por los residuos. Se calcula como sigue:

$$SCR = \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2 \quad (6)$$

2.2.7.3 Suma total de los cuadrados (SST): representa una media de la variación total de la variable dependiente, se puede obtener de la siguiente manera:

$$SCT = SCE + SCR = \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2 \quad (7)$$

A manera de resumen se presenta en la siguiente tabla se presentan los términos que corresponden a las diferentes fuentes de variación componen el y su respectiva fórmula:

Fuente	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Media de Cuadrados
Regresión	p - 1	SSE	SCE / p - 1
Residuo	N - p	SSR	SCR / N - p
TOTAL	N - 1	SST	

Tabla 1. Análisis de Varianza

Fuente: Elaboración propia

2.2.8 Adecuación del Modelo de Regresión: Una vez ajustada la recta de regresión a las observaciones, es importante disponer de una técnica que mida la bondad de ajuste realizado y permita decidir si el ajuste lineal es suficiente o se deben buscar modelos alternativos, transformaciones, etcétera. A continuación se muestran algunas maneras de realizar esto.

2.2.8.1 Coeficiente de Determinación: es un estadístico que facilita la medida de la bondad del ajuste realizado, y se define:

$$R^2 = \frac{SCE}{SCT} \quad (8)$$

Este coeficiente permite, además, seleccionar entre modelos clásicos que tengan el mismo número de regresores, ya que la capacidad explicativa de un modelo es mayor cuanto más elevado sea el valor que tome este coeficiente.

Por otra parte el valor coeficiente de determinación crece con el número de regresores del modelo. Por ello, si los modelos que se comparan tienen distinto número de regresores, no puede establecerse comparación entre sus R^2 .

En este caso debe emplearse el coeficiente de determinación corregido R^2_{adj} , que depura el incremento que experimenta el coeficiente de determinación cuando el número de regresores es mayor.

$$R^2_{adj} = \frac{n-1}{n-p} (1 - R^2) \quad (9)$$

2.2.9 Supuestos de un modelo de regresión (Análisis de los residuales): de acuerdo a Kuehl (2002) la validez de las estimaciones y pruebas de hipótesis para los análisis derivados del modelo lineal, se apoya en los valores de varias suposiciones clave. Se supone que los errores experimentales aleatorios son independientes, siguen una distribución normal con una media igual a cero y tienen una varianza común para todos los grupos de tratamiento.

2.2.9.1 Los residuos se distribuyen normal con media cero: esta suposición puede verificarse gráficamente comparando de manera visual la distribución acumulada de los residuales contra la distribución normal estándar. Una gráfica de probabilidad normal organiza los residuales en orden creciente y los grafica contra los cuantiles correspondientes a la distribución normal estándar.

2.2.9.2 Los residuos tienen varianza constante: este supuesto puede verificarse haciendo uso de una grafica de que contrasta los residuales contra los valores estimados de las medias de tratamiento, originando una evaluación visual sencilla de la suposición de varianzas iguales en los grupos de tratamiento. Si la variabilidad de las observaciones alrededor de las medias de tratamientos difiere de un grupo a otro, el conjunto de residuales correspondiente reflejará las diferencias en la variación, y se dice que el modelo es heterocedástico, o de varianzas heterogéneas; lo que se traduce en la pérdida de eficiencia del modelo estimado, ya que deja de ser de varianza mínima.

2.2.9.2 Los residuos son independientes, tal suposición puede verificarse de manera visual contrastando en una gráfica la dispersión de los residuos y el orden en que se tomaron las observaciones, si en la misma no se observa un patrón de comportamiento, se puede concluir que los residuos se encuentran independientemente distribuidos

2.2.10. Prueba de hipótesis para la significancia individual de los coeficientes

De acuerdo a Parra (2009), esta prueba se realiza con la finalidad de determinar cuales de los términos asociados a un modelo de regresión tienen influencia significativa en la variable dependiente. Para tal fin, dicha prueba contrasta las siguientes hipótesis:

$$H_0: \beta = 0$$

$$H_1: \beta \neq 0$$

A continuación se calcula el estadístico t usando la siguiente fórmula:

$$t = \frac{\hat{\beta} - \beta}{e(\hat{\beta})} \quad (11)$$

Y seguidamente se compara con el valor del estadístico con n-k grados de libertad y un nivel de significancia, determinado en la tabla de la distribución t. Finalmente si el t calculado es mayor a $p = (1 - \text{Nivel de significancia})$ se concluye que el coeficiente no es significativamente distinto de cero, si por el contrario el valor de t calculado es menor a p se concluye que el coeficiente es significativo.

2.2.11 Prueba de falta de ajuste

De acuerdo a Vela (2011), Esta diseñada para evaluar si una relación curvilínea podría ajustar mejor a los datos que un modelo lineal. Se basa en verificar las siguientes hipótesis:

H0: La relación es lineal

H1: La relación no es lineal

Para tal fin se utiliza el estadístico F calculado de la siguiente manera:

$$F_{calc} = \frac{(SCEr - SCEf).glf}{SCEf.(glr - glf)} \quad (12)$$

Donde: $SCEr$ = Suma de los cuadrados del modelo reducido

$SCEf$ = Suma de los cuadrados del modelo completo

glr = Grados de libertad del modelo reducido

glf = Grados de libertad del modelo completo

Y se compara con el valor del estadístico F tabulado: $F_{c-k, n-c}^{\alpha}$

Donde: c = Nro. de niveles distintos de X

k = Nro. de variables en la ecuación de regresión

n = Nro. de observaciones

Si F_{calc} es mayor a $F_{tabulado}$ se rechaza la hipótesis nula.

2.2.12 Función de deseabilidad de Derringer y Suich

De acuerdo a Escobar, Prado, Buitrago y López (2004), la función de deseabilidad de Derringer y Suich parte de la función de deseabilidad de Harrington (1965) e incluye una adaptación para ser utilizada en la metodología de superficies de respuesta. Para la función de deseabilidad de Derringer y Suich se realizó una transformación de la variable respuesta a la escala del 0 al 1, donde el 0 representa una respuesta no deseable y 1 representa la respuesta mas deseable, de esta manera la optimización de varias variables respuesta se reduce a una única respuesta.

Según Domínguez (2006), la función de deseabilidad $D(x, w)$, se define como:

$$D(x, w) = \left(\prod_{j=1}^r d_j^{w_j} \right)^{\frac{1}{\sum w_j}} \quad (13)$$

Y tiene como objetivo fundamental, encontrar el valor de la variable x que maximice el valor de D , donde los w_j son los pesos relativos entre las respuestas a la función de deseabilidad, si todos los pesos relativos son iguales a uno dicha expresión se reduce a la media geométrica.

2.3 Definición de Términos Básicos

En esta sección y como su nombre lo indica se definen términos de uso básico y manejo común para la realización del presente trabajo. Los mismos fueron recopilados de fuentes diversas, las cuales se señalaran dentro del contexto que se presenta a continuación:

Conforme a lo expuesto por Kunze (2006), se tiene lo siguiente:

2.3.1 Merma

Se define como una pérdida o reducción de un cierto número de mercancías o la actualización de un stock que provoca una fluctuación, es decir, la diferencia entre el contenido de los libros de inventario y la cantidad real de productos o mercancía dentro de un establecimiento, negocio o empresa y que conlleva a una pérdida monetaria. Técnicamente una merma es una pérdida de utilidades en término físico. El inconveniente de una merma es que es inevitable.

2.3.2 Cerveza

Se denomina cerveza a una bebida alcohólica, no destilada, de sabor amargo que se fabrica con granos de cebada u otros cereales cuyo almidón, una vez modificado, es fermentado en agua y frecuentemente aromatizado y saborizado con lúpulo.

2.3.3 Agua

Es un recurso natural renovable y considerado el más importante para los seres vivos. Cada molécula de agua está compuesta por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno, se puede encontrar en estado líquido, sólido y gaseoso.

2.3.4 Oxígeno

Es un elemento químico gaseoso, inodoro, incoloro, insípido, de fórmula química O_2 , número atómico 8, perteneciente a la familia de los gases oxidantes, es el segundo mayor constituyente en proporción de la atmósfera con un 20.99% del volumen.

2.3.5 Heuft

Es el equipo electrónico encargado de evaluar el nivel de llenado y tapado de los envases. Permite rechazar aquellas botellas consideradas mal llenas o con bajo volumen, también analiza la relación de líquido y espuma para determinar un volumen casi exacto en las botellas y establecer si el producto está dentro de lo permitido en la tolerancia legal.

2.3.6 Llenadora

Es una maquinaria de sistema giratorio en forma similar a la de un carrusel, que envasa el líquido en botellas o latas, de acuerdo con el nivel indicado en cada presentación.

2.3.7 Embaladora

Maquinaria utilizada para envolver, empaquetar, poner en cajas los productos.

2.3.8 Envolvedora

Son aquellas máquinas que permiten envolver el producto paletizado, o agrupación de productos con película extensible.

2.3.9 Paletizador

Maquinaria utilizada para disponer mercancía sobre una paleta a través de brazos neumáticos para su almacenaje y transporte.

2.3.10 Pasteurizador

Sistema utilizado para realizar un proceso térmico generalmente a líquidos, con el objeto de reducir los agentes patógenos que puedan contener.

2.3.11 Taponador

Sistema utilizado para realizar el tapado de las botellas dentro de los estándares de calidad establecidos por la empresa.

2.3.12 Producto

“Es el resultado de un proceso” (ISO, 2005, p.7).

2.3.13 Proceso

“Conjunto de actividades mutuamente relacionadas o que interactúan, las cuales transforman elementos de entrada en resultados” (ISO, 2005, p.7).

2.3.14 Calidad

“Grado en el que un conjunto de características inherentes cumple con los requisitos” (ISO, 2005, p.7)

CAPÍTULO III

DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

Dentro del marco de éste capítulo se presenta en primer lugar la descripción del proceso de envasado, luego un análisis de las condiciones del producto y de dicho proceso, se detallan las condiciones operacionales de la máquina sujeta a estudio, así como el comportamiento de las variables que se desea controlar (Merma de líquido y nivel de oxígeno) y el de aquellas que influyen sobre éstas (Velocidad de la llenadora, presión del sistema de HDE y el volumen inicial de las botellas).

3.1 Descripción del proceso de envasado

El proceso de envasado para botellas retornables, se inicia cuando se llevan las paletas al despaletizador donde éste se encarga de desarmar el paletizado por camadas (pisos) y los coloca en el riel para llevar las gaveras (vacíos) a la desensambladora. La desembaladora extrae las botellas vacías de las gaveras y las coloca en el riel que las trasporta al extractor de pitillos y las gaveras a la lavadora de gaveras. El extractor de pitillos es una máquina que aplica una succión de aire a alta presión y extrae cualquier objeto que este dentro de la botella, luego las botellas continúan a la lavadora.

En la lavadora se les aplica un baño de agua y soda caustica a alta presión a una temperatura entre 70° y 80°, para remover cualquier tipo de suciedad que posea la botella.

Posteriormente las botellas pasan por la inspección de botellas vacías, donde serán rechazadas las botellas que no cumplan con los estándares de limpieza, posean algún desperfecto o no sean del producto que se va a envasar.

En esta parte empieza el proceso de envasado como tal, en las máquinas llenadoras, cuando la botella ingresa a la máquina, en primer lugar se produce un vacío en la botella para extraer cualquier ente contaminante que este en el aire dentro de la misma, luego se realiza un barrido con CO₂ para extraer el oxígeno contenida en ésta, se presuriza la botella para igualar la presión interna con la exterior y así el llenado de dicha botella se realice por gravedad, se despresuriza la botella, luego de que la botella esté llena se aplica un fino chorro a alta presión de agua carbonatada para extraer el oxígeno restante que quede dentro de la botella y de ésta manera evitar la oxidación del producto, a éste chorro de inyección a alta presión se la llama también HDE , finalmente se tapa la botella.

Seguidamente se realiza una inspección a las botellas llenas y se rechazan aquellas que no cumplen con las especificaciones del producto, bien sea por mal llenado, es decir exceso o déficit de liquido, también por tapado incorrecto o por roturas en el vidrio que se pueden producir durante el llenado

Luego se codifican las botellas con la fecha, planta y la hora en que fue envasada.

Ahora las botellas entran al proceso de pasteurizado en el cual son sometidas a un baño de agua a diferentes temperaturas para así eliminar algún microorganismo que haya quedado presente en el líquido y que pueda afectar la salubridad del producto. En el caso de los productos Solera, tanto la premium como la light pasan por el etiquetado, donde se le colocan las etiquetas y los capuchones o semicapuchones, las demás presentaciones de productos retornables vienen en botellas pirograbadas.

Finalmente se embalan los productos en las gaveras previamente lavadas en presentaciones de 36 botellas en el caso de las presentaciones de 222 ml y 24 botellas en las presentaciones de 330 ml; se paletizan en lotes de 9, 7 camadas las gaveras de 36 y de 10, 6 camadas las gaveras de 24, allí la máquina paletizadora recubre la paleta en un plástico termoencogible el cual le da mayor estabilidad a la misma, por último, las paletas pasan a la zona de despacho.

3.2 Situación actual del proceso y el producto

Para dar inicio a ésta fase de la investigación, y tal como se muestran en la figura 1 se verificaron los valores bajo los cuales se encontraba operando la máquina llenadora, es decir, los valores prescritos por producción. En cuanto a la velocidad, se observó que la misma se encontraba ajustada al máximo de su capacidad que es 1000 bot/min y la presión del sistema de HDE (Inyección por alta presión) se encontraba ajustada a 5,1 bar.

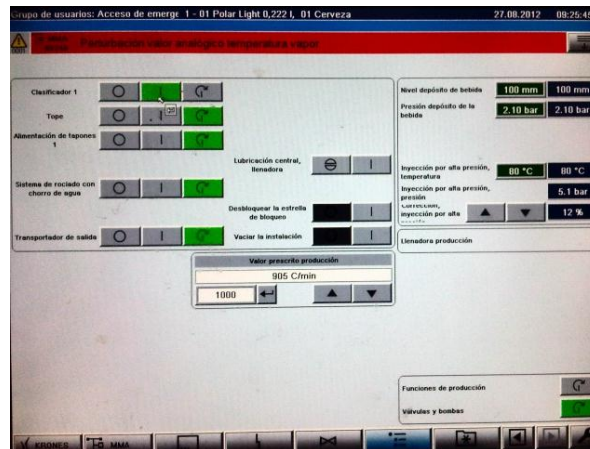


Figura 1. PLC de la llenadora Z de la línea 13 de envasado.

Fuente: Propia

Posteriormente se tomaron un grupo de 252 datos históricos de volúmenes sin pasar por el sistema de HDE, los cuales fueron proporcionados por el departamento de calidad (Ver Anexo 1), los mismos se referían a mediciones de volumen realizadas bajo dos métodos distintos que son: el método por diferencial de peso y el método de volumen por plantilla.

Luego de los análisis pertinentes, se observó que los datos de volumen medidos por el método de volumen por peso, presentaban una alta variación entre sí, a diferencia de aquellos tomados con el método de volumen por plantilla en los cuales se notó una variación moderada, a su vez los datos de medición de una misma botellas no se correspondían entre sí, motivo por el cual se concluyó que la situación antes comentada, estaba asociada a la geometría de la botella, debido a que la diferencia entre una botella y otra afecta la variación entre las mediciones por diferencial de peso, ya que como es lógico pensar, botellas con diferente geometría poseen diferente masa.

Además, se observó que ésto no ocurría con las mediciones hechas por plantilla ya que las máquinas llenadoras llenan por nivel o altura, es decir, la misma deposita líquido dentro de la botella, hasta que el mismo alcanza un tope establecido, por lo que las mediciones hechas bajo dicho método son mas parecidas entre sí.

A continuación se muestra el gráfico asociado al análisis de los datos históricos mencionados:

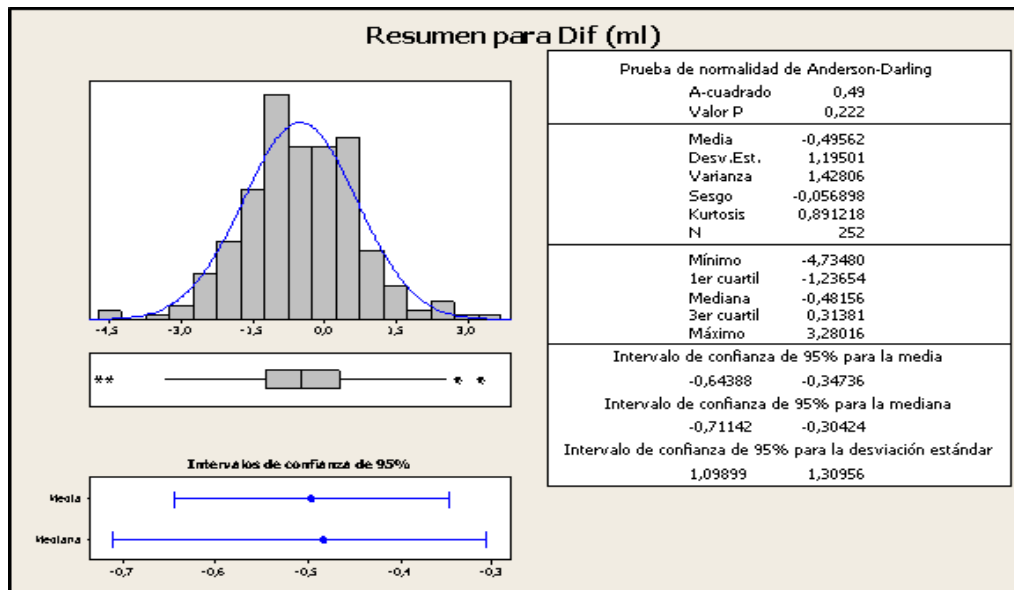


Figura 2. Prueba diferencia de volumen

Fuente: Minitab 15

En el análisis que muestra la Figura 2 se pudo concluir que la diferencia entre los valores de volumen obtenidos mediante ambos métodos es en promedio de 0.49 ml, lo que ocasiona que en algunos casos el producto terminado tenga 0.49 ml por debajo del nivel que admite una botella cuya geometría se encuentre dentro de especificaciones. Así mismo se determinó que ésta situación puede ocasionar como diferencia máxima, niveles de líquido de hasta 4.7 ml por debajo del nivel establecido y 3.2ml por exceso respecto al mismo; por esta razón para efectos de ésta investigación, la diferencia entre la geometría de una botella y otra, fue considerado un factor no controlable que solo puede ser corregido por el proveedor de las mismas.

Sin embargo, y con la finalidad de reducir la variabilidad entre los datos de volumen de llenado recolectados, todas las mediciones de ésta variable fueron realizadas usando el método de medición de volumen por plantilla.

Luego de haber decidido el método por el cual se realizaran las mediciones de volumen, se procedió a tomar una muestra o medición de cada una de las 130 válvulas llenadoras de la máquina (Ver Anexo 2), a fin de determinar el volumen suministrado por cada una de ellas, y contabilizar cuantas válvulas del total llenaban cada volumen, en resumen, el resultado de las mediciones hechas a la máquina llenadora es el siguiente:

Volumen inicial (ml)	N° de válvulas	Porcentaje
222	49	37,69%
223	43	33,07%
224	33	25,38%
225	5	3.84%
Total	130	100,00%

Tabla 2. Resumen de volumen por válvula.

Fuente: Elaboración propia

Con base en los resultados obtenidos se logró determinar que el volumen de llenado inicial proporcionado por cada válvula varía en un rango de valores entre 222 y 225 ml.

Posterior a esto se procedió a realizar el análisis de las variables que se desea controlar, para tal fin y en primer lugar se tomó una muestra aleatoria formada por un grupo de 12 válvulas de el total de 130 que posee la máquina llenadora y se realizó la medición de volumen por plantilla a tres botellas llenas por cada una de las válvulas de la muestra a fin de seleccionar aquellas que presentaran menor desviación entre sus datos y que además presentaran volumen inicial de llenado igual a 222, 223 y 224ml, ya que volúmenes de llenado inferiores a 222 ml no garantizan producto dentro de especificaciones. Los resultados obtenidos en la prueba se muestran en la siguiente tabla:

Volumen por Válvula (ml) / Método: Volumen por plantilla					
Válvula	Replica 1	Replica 2	Replica 3	Promedio	Desviación
5	223	224	223	223.3	0.58
13	222	222	223	222.3	0.58
20	224	222	224	223.3	1.15
58	224	222	224	223.3	1.15
60	222	223	222	222.3	0.58
65	223	224	225	224.0	1.00
71	223	224	222	223.0	1.00
74	224	224	224	224.0	0.00
81	223	223	223	223.0	0.00
106	218	218	217	217.7	0.58
107	222	222	222	222.0	0.00
130	221	224	221	222.0	1.73

Tabla 3. Muestreo de válvulas aleatorias

Fuente: Elaboración propia.

Por tal motivo y tomando en consideración dichos resultados, se seleccionaron las válvulas 107, 81 y 74 para realizar los estudios o experimentos posteriores, las mismas ofrecen un volumen promedio de llenado de 222, 223 y 224 ml respectivamente, además de presentar una baja desviación entre las mediciones realizadas para cada una.

Finalmente se procedió a realizar la evaluación de la situación actual de las variables que se desea controlar, mediante la cual se pudo conocer el volumen de líquido por botella antes y después de su paso por el HDE, la cantidad promedio de merma o líquido que se desperdicia en el proceso por efecto del rebose y el nivel de oxígeno en cada botella de producto terminado; es importante destacar que los valores de presión de HDE y velocidad de la línea bajo los cuales se obtuvieron estos resultados son los determinados al inicio de éste diagnóstico.

A fin de realizar la evaluación antes mencionada se realizaron las siguientes pruebas: en primer lugar se tomaron 5 botellas de cada válvula de las seleccionadas anteriormente, y se les realizó la medición de volumen por plantilla después de su paso por el sistema de inyección de agua a alta presión (HDE), posteriormente se realizó la medición de oxígeno a cada botella de la muestra seleccionada, finalmente se determinó la cantidad de líquido desperdiciado en el proceso, como el diferencial entre el volumen inicial el volumen después del HDE. Los resultados se presentan en la tabla que sigue:

Válvula	Replica	Vo (ml)	Vf (ml)	ΔV (ml)	O2 (ppb)
74	1	224	221	3	68,86
74	2	224	220	4	59,26
74	3	224	220	4	58,31
74	4	224	221	3	67,25
74	5	224	221	3	68,12
	PROMEDIO	224	220,6	3,4	64,36
81	1	223	219	4	59,1
81	2	223	220	3	67,96
81	3	223	220	3	69,28
81	4	223	220	3	68,83
81	5	223	221	2	71,45
	PROMEDIO	223	220	3	67,324
107	1	222	221	1	73,36
107	2	222	219	3	68,25
107	3	222	220	2	70,98
107	4	222	219	3	67,63
107	5	222	220	2	71,22
	PROMEDIO	222	219,8	2,2	70,288

Tabla 4. Estado inicial de la llenadora

Fuente: Elaboración propia

Tomando como referencia los resultados que se aprecian en la tabla anterior se pudo concluir que actualmente el nivel de merma por concepto de rebose en la inyección de HDE se encuentra entre 2,2 y 3,4 ml de cerveza desperdiciados por cada botella procesada, es pertinente acotar que el proceso de HDE a pesar de provocar rebose en la cerveza, por ser un sistema de inyección de agua a alta presión, agrega agua al contenido de la botella; sin embargo se pudo conocer que dicha agua posee unas propiedades de carbonatación que permiten la reacción inmediata con la cerveza para producir mayor espuma y que éste volumen de líquido agregado por el sistema de HDE, rebose completamente, por tal motivo ésta porción de líquido no se tomó en cuenta en las estimaciones de merma.

Por otra parte se observó una cierta tendencia que indica que mientras mayor sea el volumen de líquido antes del paso de la botella por el HDE, mayor es la cantidad de líquido que se pierde en el proceso. Sin embargo y a fin de contabilizar con mayor exactitud el valor de la merma promedio en la llenadora, se realizó una estimación de la misma, a través de los datos de volumen por válvula reflejados en la tabla 2 y los promedios de merma que se observan en la tabla 4.

Para los valores de merma en botellas con volumen de 225 ml se realizó una estimación mediante extrapolación de los valores de merma previamente determinados, resultando lo siguiente:

Volumen (ml)	N° de válvulas	Porcentaje	Merma promedio (ml)
222	49	37,69 %	2,2
223	43	33,08%	3
224	33	25,38%	3,4
225	5	3,84%	4
Total	130	100,00%	3,15

Tabla 5. Merma actual generalizada

Fuente: Elaboración propia

El planteamiento para determinar la cantidad de líquido desperdiciado actualmente en el proceso, consideró un promedio ponderado que abarca el porcentaje de merma que aporta cada una de las 130 válvulas de la llenadora, y es el siguiente:

VelocidadLinea = Velocidad de la línea de producción = 1000 bot/min

Presión de HDE = 5 bar

$$A = \% \text{ de botellas que llenan } 222 \text{ ml} = \frac{49 \text{ valvulas}}{130 \text{ valvulas}} = 0,3769$$

$$B = \% \text{ de botellas que llenan } 223 \text{ ml} = \frac{43 \text{ valvulas}}{130 \text{ valvulas}} = 0,3308$$

$$C = \% \text{ de botellas que llenan } 224 \text{ ml} = \frac{33 \text{ valvulas}}{130 \text{ valvulas}} = 0,2538$$

$$D = \% \text{ de botellas que llenan } 225 \text{ ml} = \frac{5 \text{ valvulas}}{130 \text{ valvulas}} = 0,0384$$

$$\mathbf{MermaPromActual} = (A.MermadeA + B.MermadeB + C.MermadeC + D.MermadeD) \times \text{VelocidadLinea} \quad (14)$$

$$\mathbf{MermaPromActual} = (0,3769 \times 2,2 + 0,3308 \times 3 + 0,2538 \times 3,4 + 0,0384 \times 4) \times 1000$$

$$\mathbf{MermaPromActual} = 2762,72 \text{ ml/min}$$

De tal manera que haciendo las conversiones necesarias, se estimó que la merma actual por concepto de rebose es de 3.978.316,8 ml/día, lo que equivale al volumen de líquido que contienen 497 cajas de cerveza aproximadamente.

En el caso del nivel de oxígeno se pudo observar que su valor promedio se encuentran entre 64,26 y 70,29 ppb, valor que refleja que la variable está dentro de los estándares de calidad de la empresa, los cuales establecen que éste debe ser siempre menor a 150 ppb, en caso de no cumplir con dichas especificaciones, a la hora de realizar las auditorias diarias a las llenadoras, se debe apartar la producción de ese turno de trabajo y posteriormente destruirla, lo cual puede significar la pérdida de hasta 480.000 cajas de cerveza, por tal motivo es importante mantener tal variable dentro de los estándares y que éste no se vea sacrificado por la necesidad de controlar la merma.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Dentro del marco de del presente capítulo se desarrollan los siguientes tópicos: en primer lugar se describen los procedimientos para realizar las mediciones de volumen y de oxígeno. Posteriormente se justifica la selección del diseño de superficie de respuesta utilizado para definir los tratamientos a analizar, se describen sus características y los aspectos considerados en su construcción.

Luego se explica el proceso de aplicación de la metodología de respuesta, para ello se detallan los tratamientos analizados y sus respectivas respuestas, la selección del modelo que mejor se ajusta a los datos según el criterio del factor R^2 ajustado, verificación de los supuestos asociados a ese modelo, prueba de significancia de los coeficientes del mismo, valor de dichos coeficientes y ecuación de regresión de la variables de respuesta.

Finalmente se presenta el detalle del proceso de optimización de las variables de respuesta, los criterios considerados para este fin y la función de deseabilidad derivada de ello; además se muestran las superficies de respuesta en estudio y se realiza la validación de los resultados obtenidos.

4.1 Materiales, métodos y equipos

Las mediciones de volumen necesarias para determinar la cantidad de merma de líquido (cerveza) y las correspondientes de nivel de oxígeno presente por botella, fueron realizadas como sigue a continuación:

Para las mediciones de volumen antes y después de HDE, se tomó una muestra de 5 botellas de cada válvula de las seleccionadas inicialmente, y se les realizó la medición de volumen por plantilla, método en el cual la columna de líquido contenido dentro de la botella, es comparada contra una plantilla graduada con diferentes valores de volumen y que se adapta a la forma de la botella. Dicha medición se realiza según muestra la figura:



Figura 3. Medición del volumen por plantilla

Fuente: Propia

Posterior a esto se procedió a medir la concentración de oxígeno por botella, prueba realizada a las mismas botellas de la muestra antes mencionada; para llevar a cabo esta prueba fue necesario realizar procedimientos previos, esto con el fin de preparar la muestra para la medición final y disminuir el margen de error en los resultados obtenidos. Tales procedimientos son los siguientes:

En primer lugar se temperó el líquido contenido en cada botella, llevándolo de una temperatura inicial de 4°C hasta una temperatura de 20 °C, para ello las botellas fueron sumergidas en un atemperador digital de fluidos, el cual utiliza como liquido refrigerante el agua, tal como se muestra en la figura 4:



Figura 4. Atemperador de fluidos

Fuente: Propia

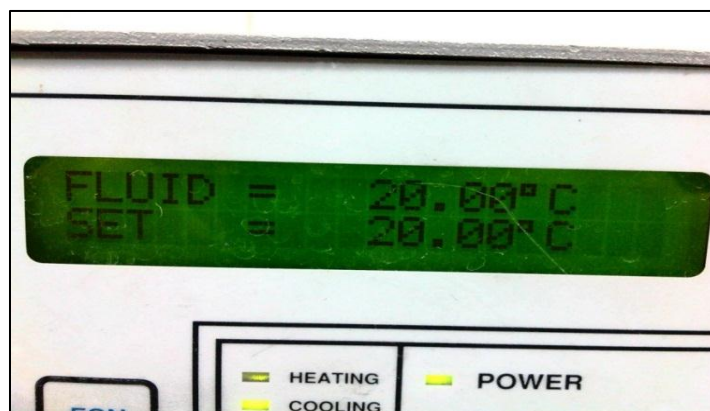


Figura 5. Pantalla de ajuste del atemperador

Fuente: Propia

Seguidamente se introdujeron las botellas en un equipo que permite agitar el líquido que se encuentra dentro de las mismas, con lo cual se consigue disolver el oxígeno de manera homogénea en todo el contenido de la botella, según se aprecia en la figura que sigue:

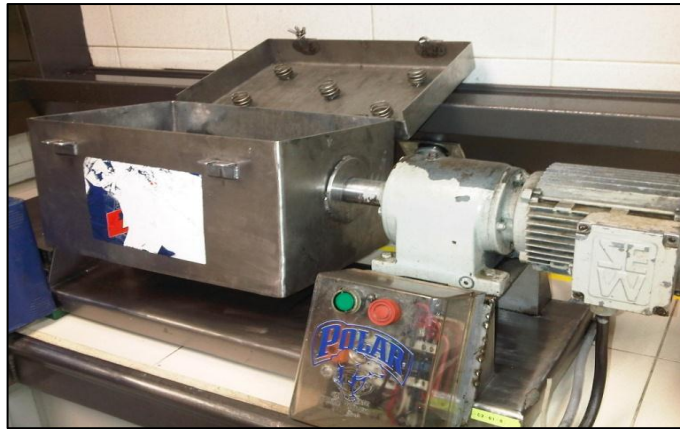


Figura 6. Agitador de botellas

Fuente: Propia

Luego de finalizados los procedimientos ya descritos, se procedió a medir la concentración de oxígeno en cada botella, la cual se efectuó haciendo uso de un equipo medidor de oxígeno, el cual realiza una perforación en la parte superior de la chapa de cada botella y extrae el líquido contenido en la misma para luego depositarlo en un compartimiento donde se encuentran los sensores que efectúan la medición de oxígeno correspondiente, es importante destacar que la unidad de medida para esta variable es (ppb) o partes por billón, unidad que indica cuantas partes de oxígeno están contenidas en un billón de partes del líquido estudiado.

Además es necesario acotar que el valor emitido por el sensor o pantalla de medición fue multiplicado por un factor de conversión igual a 3,1, el cual es igual a la relación existente entre la capacidad volumétrica de la botella y el espacio libre de líquido en la misma, dicho factor de corrección permitió obtener el resultado final o nivel de líquido por botella en la unidad antes mencionada. La medición se llevó a cabo según puede apreciarse en las imágenes que se muestran a continuación

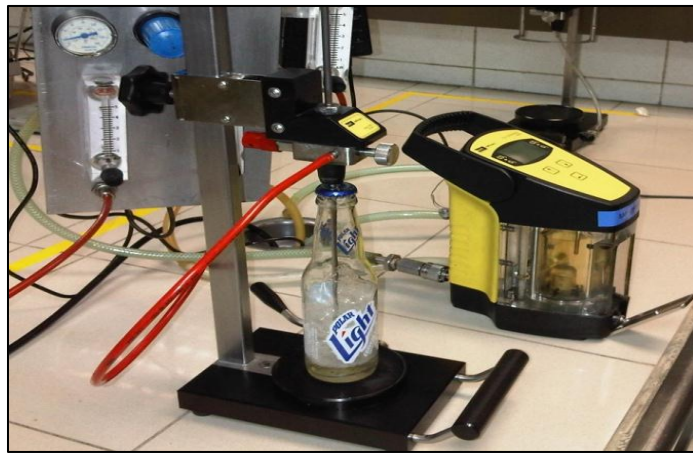


Figura 7. Medición de oxígeno (Perforación)

Fuente: Propia

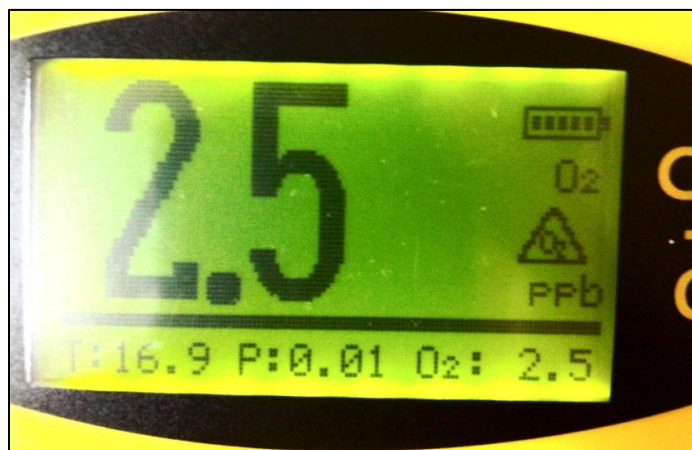


Figura 8. Medición de oxígeno (Lectura)

Fuente: Propia

Posteriormente en la siguiente fase de la experimentación, y tomando como base los medios proporcionados por la literatura, se procedió a seleccionar el diseño de superficie de respuesta que definiría los experimentos a realizar. De acuerdo a Gutiérrez y De la Vara (2008), un diseño de superficie de respuesta se clasifica con base en el grado del modelo que se pretende utilizar y es el que proporciona los tratamientos a correr para generar los datos que permitan ajustar un modelo que a su vez describa una variable de respuesta en una región experimental; por tal motivo la selección del diseño de superficie de respuesta utilizado para la aplicación de la misma, es un aspecto de gran importancia en la búsqueda de resultados confiables que contribuyan y faciliten la solución del problema.

Son diversas las características que tales diseños pueden ofrecer por lo que inicialmente es necesario definir que es lo que se desea optimizar, cuales y cuantos son los factores involucrados en el proceso, cuales son los niveles que pueden tomar cada uno de ellos, número de variables respuesta y si existen limitaciones que deban ser consideradas durante el desarrollo del diseño.

En el proceso estudiado en ésta investigación, se conjugan de manera predominante tres factores o variables operacionales y cada una de ellas posee un total de tres niveles. Se desea minimizar dos variables respuesta y se tiene como limitación principal el hecho de que los valores de solución obtenidos deben estar dentro del rango permitido por la línea y la maquinaria utilizada en el proceso.

En la tabla que se muestra a continuación se presentan de manera detallada, los factores considerados para el diseño, sus respectivos niveles, y las variables respuestas que se desea optimizar.

ÍTEM	NOMBRE	NIVEL	UNIDAD
FACTORES	Velocidad de la línea	800 - 900 - 1000	bot/min
	Presión de HDE	3 - 4 - 5	bar
	Volumen inicial de la botella	222 – 223 – 224	ml
RESPUESTAS	Merma de líquido	Minimizar	ml
	Nivel de oxígeno	Menor a 160	ppb

Tabla 6. Variables para seleccionar el diseño de superficie de respuesta

Fuente: Elaboración propia

Tomando en consideración el número de factores, niveles y algunas características asociadas al proceso, el diseño seleccionado pertenece al grupo de los diseños de segundo orden ya que los mismos permiten estudiar efectos lineales, de interacción y efectos cuadráticos, además se utilizan para factores que empleen al menos tres niveles cada uno; dentro de este grupo se seleccionó de manera específica el diseño central compuesto con centro en las caras, debido a que el mismo ofrece gran flexibilidad en cuanto a la región estudiada, ya que se compone de tres tipos de puntos que son: “F” puntos factoriales o vértices de la región, lo cuales son el resultado de un diseño factorial en dos niveles compuesto o fraccionado; “no” puntos o repeticiones al centro y dos puntos sobre cada eje a una distancia “ α ” del origen llamados puntos axiales.

Además de que ofrece la posibilidad de agregar al diseño características deseables como ortogonalidad y rotabilidad, las cuales según el resultado que se quiera obtener pueden considerarse al momento de construir dicho diseño.

Para esta investigación en particular el diseño central compuesto con centro en las caras permitió estudiar el comportamiento de las variables respuesta para los tratamientos más extremos, es decir, el resultado de ellas cuando las variables operacionales se encontraban trabajando de manera simultánea en su máximo o mínimo valor y también cuando las mismas tomaban el valor central, además de esto y por ser un diseño de composición central con centro las caras permitió cumplir la restricción de que ningún punto de los tratamientos debía situarse por encima o por debajo de los niveles límite de cada variable, ya que dichos valores no son permitidos por la línea y equipos que llevan a cabo el proceso de envasado. Por tal motivo los puntos axiales de este diseño no se encuentran sobre los ejes de la región sino en el centro de sus caras, razón por la cual el valor del parámetro α es igual a 1.

En resumen el diseño de composición central con centro en las caras seleccionado para desarrollar el presente trabajo, cuenta con las siguientes características:

- Ocho puntos factoriales, originados por un diseño factorial 2^k , de 3 factores a dos niveles.

$$F = 2^k = 2^3 = 8$$

- Siete puntos al centro, calculados en base al numero de puntos de la región factorial

$$n_0 \approx 4\sqrt{F} + 4 - F \approx 4\sqrt{8} + 4 - 8 \approx 7.32$$

- Seis puntos axiales a una distancia $\alpha = 1$ del origen

Seguidamente y debido a que la metodología de respuesta se basa en el ajuste de un modelo que describa la relación entre la variable dependiente y las independientes, se realizó la selección del modelo que mejor se ajustara a los datos obtenidos mediante el diseño, para tal efecto se utilizó el criterio de adecuación del factor R^2 ajustado. Posteriormente se verificaron los supuestos asociados a cada modelo, realizando el estudio de los residuos, se determinaron los términos más significativos de dichos modelos, mediante la prueba de significancia de los mismos, se obtuvieron los coeficientes asociados a cada uno de ellos y se realizó la prueba de falta de ajuste. Finalmente se efectuó la optimización simultánea de las variables dependientes y se caracterizaron las superficies de respuesta para cada una de ellas. Todos éstos análisis se realizaron haciendo uso del software Design Expert, versión 7.0.0.

4.2 Resultados y discusión

Luego de seleccionado el diseño experimental según los factores involucrados en el proceso, de acuerdo a los objetivos que se querían alcanzar y para dar continuidad a la aplicación de la metodología de respuesta establecida, se procedió a definir los tratamientos que serían utilizados, así como las respectivas respuestas que se generaban para cada uno de ellos. Para tal fin y como herramienta para la obtención de los resultados relativos a este trabajo se utilizó el software Design Expert; para efectos de la construcción del diseño mencionado, a dicho software le fueron suministrados los siguientes datos: tipo de diseño experimental a utilizar; número, nombre, unidad de medida y niveles de los factores a analizar; cantidad de réplicas para la porción factorial y axial del diseño, número de puntos al centro; cantidad, nombre, unidad de las variables respuesta que se quería obtener y valor de dichas variables para cada tratamiento.

Con esta información y luego de que la misma fue procesada, se obtuvieron los siguientes resultados:

	Std	Run	Block	Factor 1 A:Velocidad de la Línea bot/min	Factor 2 B:Presión bar	Factor 3 C:Volumen Inicial ml	Response 1 Merma de Líquido ml	Response 2 Nivel de Oxígeno ppb
	102	1	Block 1	900.00	3.00	223.00	2	95
	107	2	Block 1	900.00	3.00	223.00	2	108
	131	3	Block 1	900.00	4.00	224.00	2	69
	43	4	Block 1	800.00	3.00	224.00	3	81
	65	5	Block 1	800.00	5.00	224.00	4	14
	96	6	Block 1	1000.00	4.00	223.00	2	89
	73	7	Block 1	1000.00	5.00	224.00	3	31
	19	8	Block 1	1000.00	3.00	222.00	1	152
	25	9	Block 1	800.00	5.00	222.00	2	28
	80	10	Block 1	1000.00	5.00	224.00	3	26
	100	11	Block 1	1000.00	4.00	223.00	3	85
	30	12	Block 1	800.00	5.00	222.00	3	30
	128	13	Block 1	900.00	4.00	222.00	2	78
	134	14	Block 1	900.00	4.00	224.00	3	65
	78	15	Block 1	1000.00	5.00	224.00	4	29
	63	16	Block 1	800.00	5.00	224.00	5	15
	88	17	Block 1	800.00	4.00	223.00	2	69
	47	18	Block 1	800.00	3.00	224.00	3	82
	11	19	Block 1	1000.00	3.00	222.00	1	139
	7	20	Block 1	800.00	3.00	222.00	1	95
	147	21	Block 1	900.00	4.00	223.00	3	66
	94	22	Block 1	1000.00	4.00	223.00	2	84
	79	23	Block 1	1000.00	5.00	224.00	4	23
	117	24	Block 1	900.00	5.00	223.00	3	44
	37	25	Block 1	1000.00	5.00	222.00	2	54
	142	26	Block 1	900.00	4.00	223.00	3	69
	15	27	Block 1	1000.00	3.00	222.00	2	144
	12	28	Block 1	1000.00	3.00	222.00	2	146
	62	29	Block 1	800.00	5.00	224.00	5	16
	93	30	Block 1	1000.00	4.00	223.00	3	76
	133	31	Block 1	900.00	4.00	224.00	3	61
	123	32	Block 1	900.00	4.00	222.00	2	77
	17	33	Block 1	1000.00	3.00	222.00	1	162
	48	34	Block 1	800.00	3.00	224.00	3	75
	140	35	Block 1	900.00	4.00	224.00	3	56
	42	36	Block 1	800.00	3.00	224.00	2	80
	92	37	Block 1	1000.00	4.00	223.00	2	94
	144	38	Block 1	900.00	4.00	223.00	2	72
	122	39	Block 1	900.00	4.00	222.00	3	71
	143	40	Block 1	900.00	4.00	223.00	2	69
	99	41	Block 1	1000.00	4.00	223.00	2	81
	5	42	Block 1	800.00	3.00	222.00	2	88
	14	43	Block 1	1000.00	3.00	222.00	2	149
	82	44	Block 1	800.00	4.00	223.00	3	54
	57	45	Block 1	1000.00	3.00	224.00	3	118
	138	46	Block 1	900.00	4.00	224.00	3	66
	27	47	Block 1	800.00	5.00	222.00	3	33
	104	48	Block 1	900.00	3.00	223.00	2	103
	46	49	Block 1	800.00	3.00	224.00	3	81
	127	50	Block 1	900.00	4.00	222.00	2	73
	69	51	Block 1	800.00	5.00	224.00	4	17
	125	52	Block 1	900.00	4.00	222.00	2	75

	Std	Run	Block	Factor 1 A:Velocidad de la Línea bot/min	Factor 2 B:Presión bar	Factor 3 C:Volumen Inicial ml	Response 1 Merma de Líquido ml	Response 2 Nivel de Oxígeno ppb
	67	53	Block 1	800.00	5.00	224.00	4	20
	61	54	Block 1	800.00	5.00	224.00	4	20
	106	55	Block 1	900.00	3.00	223.00	2	108
	111	56	Block 1	900.00	5.00	223.00	3	41
	70	57	Block 1	800.00	5.00	224.00	4	10
	112	58	Block 1	900.00	5.00	223.00	3	38
	74	59	Block 1	1000.00	5.00	224.00	4	32
	45	60	Block 1	800.00	3.00	224.00	3	78
	23	61	Block 1	800.00	5.00	222.00	2	27
	91	62	Block 1	1000.00	4.00	223.00	3	90
	21	63	Block 1	800.00	5.00	222.00	3	27
	60	64	Block 1	1000.00	3.00	224.00	2	104
	41	65	Block 1	800.00	3.00	224.00	2	85
	136	66	Block 1	900.00	4.00	224.00	3	61
	33	67	Block 1	1000.00	5.00	222.00	1	53
	35	68	Block 1	1000.00	5.00	222.00	2	54
	110	69	Block 1	900.00	3.00	223.00	3	98
	115	70	Block 1	900.00	5.00	223.00	3	38
	31	71	Block 1	1000.00	5.00	222.00	1	49
	2	72	Block 1	800.00	3.00	222.00	2	91
	4	73	Block 1	800.00	3.00	222.00	2	89
	139	74	Block 1	900.00	4.00	224.00	2	68
	87	75	Block 1	800.00	4.00	223.00	2	60
	90	76	Block 1	800.00	4.00	223.00	3	63
	105	77	Block 1	900.00	3.00	223.00	3	99
	137	78	Block 1	900.00	4.00	224.00	3	60
	72	79	Block 1	1000.00	5.00	224.00	4	31
	145	80	Block 1	900.00	4.00	223.00	2	70
	108	81	Block 1	900.00	3.00	223.00	2	112
	85	82	Block 1	800.00	4.00	223.00	3	63
	24	83	Block 1	800.00	5.00	222.00	3	30
	52	84	Block 1	1000.00	3.00	224.00	2	115
	59	85	Block 1	1000.00	3.00	224.00	2	95
	3	86	Block 1	800.00	3.00	222.00	1	92
	77	87	Block 1	1000.00	5.00	224.00	3	29
	130	88	Block 1	900.00	4.00	222.00	2	69
	98	89	Block 1	1000.00	4.00	223.00	2	84
	132	90	Block 1	900.00	4.00	224.00	2	63
	1	91	Block 1	800.00	3.00	222.00	2	90
	58	92	Block 1	1000.00	3.00	224.00	2	104
	66	93	Block 1	800.00	5.00	224.00	4	16
	83	94	Block 1	800.00	4.00	223.00	2	67
	29	95	Block 1	800.00	5.00	222.00	3	31
	44	96	Block 1	800.00	3.00	224.00	3	79
	141	97	Block 1	900.00	4.00	223.00	3	66
	64	98	Block 1	800.00	5.00	224.00	5	18
	36	99	Block 1	1000.00	5.00	222.00	2	47
	50	100	Block 1	800.00	3.00	224.00	2	78
	10	101	Block 1	800.00	3.00	222.00	2	89
	68	102	Block 1	800.00	5.00	224.00	4	21
	89	103	Block 1	800.00	4.00	223.00	3	59
	118	104	Block 1	900.00	5.00	223.00	3	37

	Std	Run	Block	Factor 1 A:Velocidad de la Línea bot/min	Factor 2 B:Presión bar	Factor 3 C:Volumen Inicial ml	Response 1 Merma de Líquido ml	Response 2 Nivel de Oxígeno ppb
	9	105	Block 1	800.00	3.00	222.00	1	92
	119	106	Block 1	900.00	5.00	223.00	2	30
	8	107	Block 1	800.00	3.00	222.00	2	95
	116	108	Block 1	900.00	5.00	223.00	3	40
	75	109	Block 1	1000.00	5.00	224.00	4	30
	146	110	Block 1	900.00	4.00	223.00	2	67
	53	111	Block 1	1000.00	3.00	224.00	3	112
	76	112	Block 1	1000.00	5.00	224.00	3	29
	51	113	Block 1	1000.00	3.00	224.00	2	105
	114	114	Block 1	900.00	5.00	223.00	3	36
	16	115	Block 1	1000.00	3.00	222.00	1	150
	38	116	Block 1	1000.00	5.00	222.00	3	54
	124	117	Block 1	900.00	4.00	222.00	3	70
	56	118	Block 1	1000.00	3.00	224.00	2	99
	28	119	Block 1	800.00	5.00	222.00	3	28
	101	120	Block 1	900.00	3.00	223.00	3	102
	109	121	Block 1	900.00	3.00	223.00	2	103
	97	122	Block 1	1000.00	4.00	223.00	3	86
	71	123	Block 1	1000.00	5.00	224.00	3	33
	126	124	Block 1	900.00	4.00	222.00	2	74
	95	125	Block 1	1000.00	4.00	223.00	2	72
	22	126	Block 1	800.00	5.00	222.00	3	36
	86	127	Block 1	800.00	4.00	223.00	3	49
	135	128	Block 1	900.00	4.00	224.00	3	63
	34	129	Block 1	1000.00	5.00	222.00	2	55
	55	130	Block 1	1000.00	3.00	224.00	1	97
	20	131	Block 1	1000.00	3.00	222.00	1	138
	39	132	Block 1	1000.00	5.00	222.00	2	54
	26	133	Block 1	800.00	5.00	222.00	3	32
	32	134	Block 1	1000.00	5.00	222.00	2	53
	121	135	Block 1	900.00	4.00	222.00	3	73
	18	136	Block 1	1000.00	3.00	222.00	2	142
	81	137	Block 1	800.00	4.00	223.00	2	57
	129	138	Block 1	900.00	4.00	222.00	2	78
	120	139	Block 1	900.00	5.00	223.00	3	42
	49	140	Block 1	800.00	3.00	224.00	3	84
	113	141	Block 1	900.00	5.00	223.00	4	32
	103	142	Block 1	900.00	3.00	223.00	3	99
	13	143	Block 1	1000.00	3.00	222.00	2	130
	54	144	Block 1	1000.00	3.00	224.00	2	93
	84	145	Block 1	800.00	4.00	223.00	2	58
	6	146	Block 1	800.00	3.00	222.00	2	88
	40	147	Block 1	1000.00	5.00	222.00	2	60

Figura 9. Diseño central compuesto con centro en las caras (Tratamientos)

Fuente: Design Expert 7.0.0

Como se puede apreciar el total de corridas del diseño fue de 147, para un total de diez replicas en la porción factorial, diez réplicas en la porción axial y siete puntos al centro. Además como observación inicial se obtuvo que el valor medio para la velocidad es de 900 bot/min, para la presión es de 4 bar y para el volumen inicial es igual a 223ml; en cuanto a la desviación estándar se obtuvo que la misma es de 82.479 bot/min para la velocidad y de 0.825 bar y 0.825 ml para la presión y el volumen inicial respectivamente. Con respecto a las variables respuesta merma de líquido y nivel de oxígeno se determinó que la media es de 2,551 ml y 69,354 ppb respectivamente; mientras que la desviación estándar resultó ser de 0,834 ml y 33,519 ppb. Estos resultados se aprecian en la siguiente figura:

Design Summary									
Study Type	Response Surface		Runs	147					
Initial Design	Central Composite		Blocks	No Blocks					
Design Model	Quadratic								
Factor	Name	Units	Type	Low Actual	High Actual	Low Coded	High Coded	Mean	Std. Dev.
A	Velocidad de la Línea	bot/min	Numeric	800.00	1000.00	-1.000	1.000	900.000	82.479
B	Presión	bar	Numeric	3.00	5.00	-1.000	1.000	4.000	0.825
C	Volumen Inicial	ml	Numeric	222.00	224.00	-1.000	1.000	223.000	0.825
Response	Name	Units	Obs	Analysis	Minimum	Maximum	Mean	Std. Dev.	Ratio
Y1	Merma de Líquido	ml	147	Polynomial	1.000	5.000	2.551	0.834	5.000
Y2	Nivel de Oxígeno	ppb	147	Polynomial	10.000	162.000	69.354	33.519	16.200

Figura 10. Resumen del Diseño

Fuente: Design Expert 7.0.0

Posterior a la construcción del diseño y definición de los tratamientos y como paso siguiente en el proceso de estudio, se efectuó la selección del modelo de regresión que mejor se ajustara a los datos obtenidos en la fase anterior, dicha selección se hizo para cada variable respuesta, utilizando como criterio el factor R^2 ajustado, cuyo valor indica el porcentaje de variabilidad de la variable dependiente que es explicada por el modelo. El análisis en torno a este factor fue realizado con la información y resultados proporcionados por el software antes mencionado, los cuales se aprecian a continuación:

Para la merma de líquido:

Model Summary Statistics					
Source	Std. Dev.	R-Squared	Adjusted R-Squared	Predicted R-Squared	PRESS
Linear	0.55	0.5742	0.5653	0.5498	46.09
<u>2FI</u>	<u>0.53</u>	<u>0.6127</u>	<u>0.5961</u>	<u>0.5739</u>	<u>43.62</u>
Quadratic	0.53	0.6199	0.5950	0.5628	44.76
Cubic	0.51	0.6680	0.6355	0.5944	41.52

"Model Summary Statistics": Focus on the model maximizing the "Adjusted R-Squared" and the "Predicted R-Squared".

Figura 11. Estadísticas de resumen del modelo (Merma de Líquido)

Fuente: Design Expert 7.0.0

Con base al resumen que se presenta en la imagen se concluyó que el modelo de regresión que mejor se ajusta a los datos de merma de líquido obtenidos, es un modelo cúbico, ya que el valor del factor R^2 ajustado para éste, es superior al valor de dicho factor para los modelos lineal y cuadrático.

Además el valor obtenido indica que el modelo seleccionado explica un 63.55% de la variable de la variable respuesta.

Para el nivel de oxígeno:

Model Summary Statistics					
Source	Std. Dev.	R-Squared	Adjusted R-Squared	Predicted R-Squared	PRESS
Linear	8.11	0.9430	0.9418	0.9392	10041.90
2FI	5.86	0.9709	0.9696	0.9678	5314.12
Quadratic	5.82	0.9719	0.9700	0.9676	5357.02
Cubic	4.97	0.9801	0.9782	0.9756	4026.39

"Model Summary Statistics": Focus on the model maximizing the "Adjusted R-Squared" and the "Predicted R-Squared".

Figura 12. Estadísticas de resumen del modelo (Nivel de Oxígeno)

Fuente: Design Expert 7.0.0

De igual forma para el nivel de oxígeno y utilizando el mismo criterio, se seleccionó el modelo de ajuste para los datos, que para este caso resultó ser de tipo cúbico, con un factor R^2 ajustado igual a 0,9782, lo que permitió concluir que dicho modelo explica un 97,82% de la variabilidad de la variable respuesta.

Luego de haber seleccionado el modelo de ajuste para la merma líquido y el nivel de oxígeno, se procedió a verificar los supuestos asociados a todo modelo de regresión lineal, con la finalidad de comprobar la concordancia entre los datos manejados y el modelo elegido, ya que de acuerdo a Kuehl (2000) cuando se satisfacen ciertas suposiciones con respecto a los datos, el análisis de varianza permite hacer inferencias mas ajustadas a la realidad, dichos supuestos están asociados a los residuos, que no son más que la diferencia entre los valores observados y los valores estimados por el modelo, para efectos de ésta investigación se verificaron de manera gráfica y son los siguientes:

Los residuos se distribuyen de normal con media cero: para verificar el cumplimiento o no de este supuesto, se utilizo la gráfica de probabilidad de la normal vs residuos, tal como se muestra a continuación:

Para la merma de líquido:

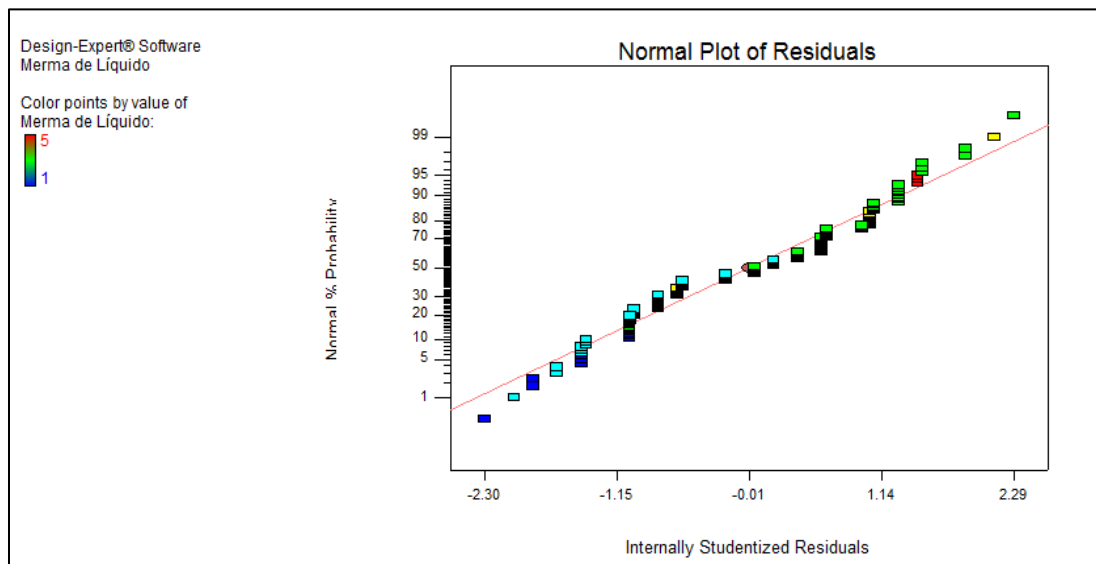


Figura 13. Gráfica Residuos vs Probabilidad Normal (Merma de Líquido)

Fuente: Design Expert 7.0.0

Para el nivel de oxígeno:

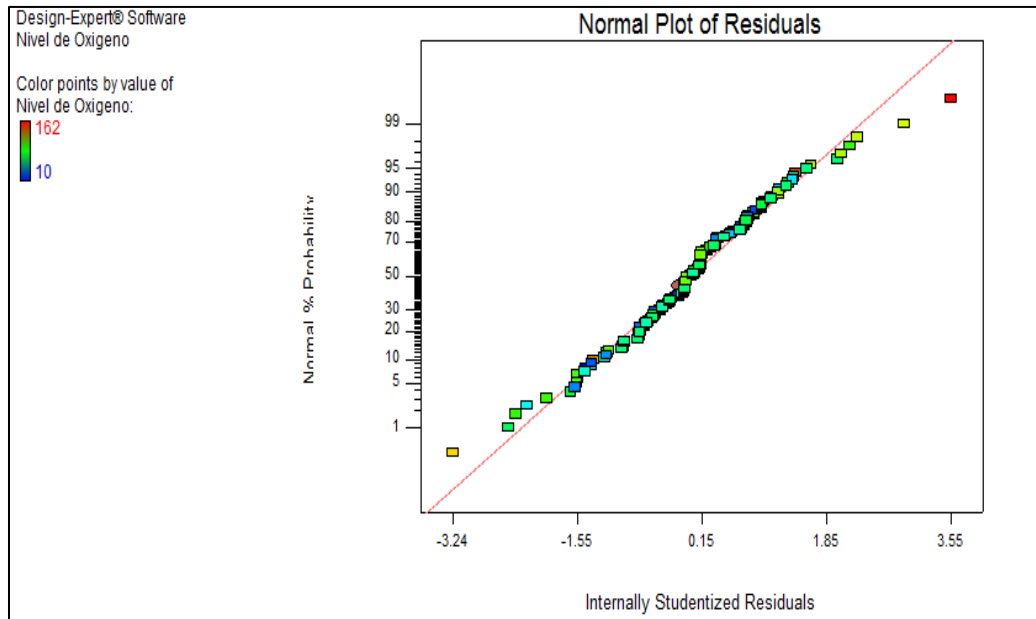


Figura 14. Gráfica Residuos vs Probabilidad Normal (Nivel de Oxígeno)

Fuente: Design Expert 7.0.0

Como se aprecia en las gráficas correspondientes a cada variable respuesta, los datos se distribuyen de manera normal alrededor de la recta de la regresión, motivo por el cual se concluyó que el modelo seleccionado para cada una de ellas, cumple con el supuesto de normalidad de los residuos, el cual señala que los residuos se ajustan a una distribución normal con media cero.

El segundo supuesto verificado fue el **supuesto de la independencia de los errores**, para lo cual se analizó la grafica de dispersión de los residuos respecto del orden en el que fueron realizadas las observaciones, las gráficas correspondientes son las que se muestran a continuación:

Para la merma de líquido:

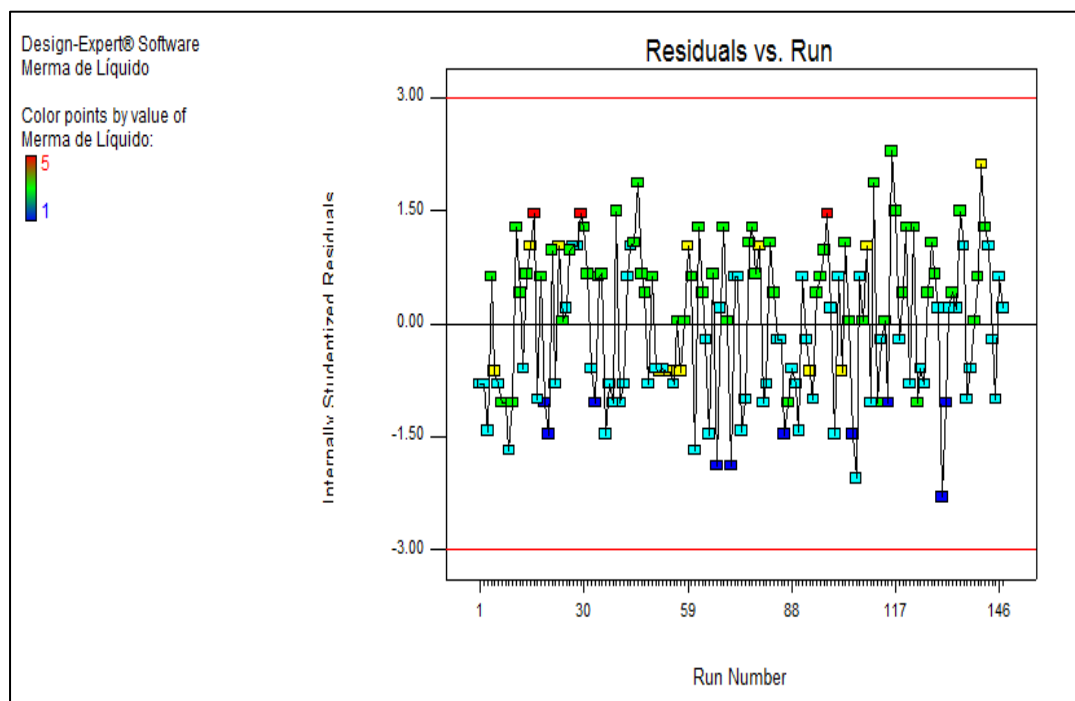


Figura 15. Gráfica de Residuos vs Orden de las Corridas (Merma de Líquido)

Fuente: Design Expert 7.0.0

Para el nivel de oxígeno:

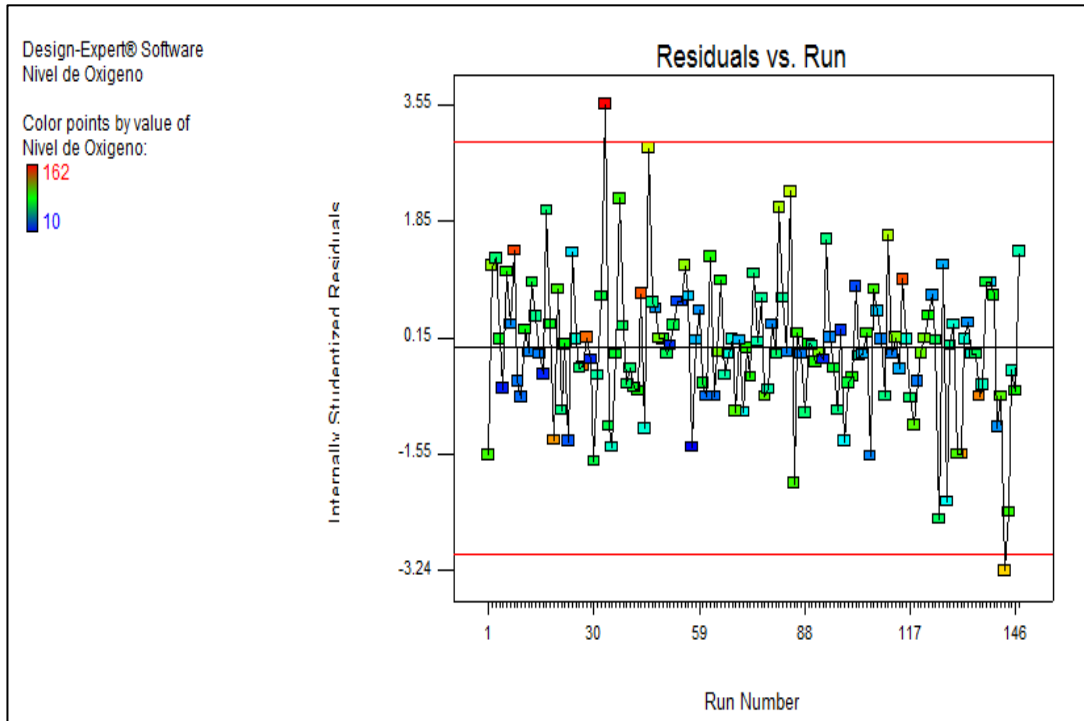


Figura 16. Gráfica de Residuos vs Orden de las Corridas (Nivel de Oxígeno)

Fuente: Design Expert 7.0.0

Como se observa en la gráfica correspondiente a cada una de las variables de respuesta, los residuos carecen de estructura, es decir, no siguen un patrón de comportamiento respecto al orden de las observaciones, por lo que se concluyó que los modelos de regresión previamente seleccionados para las variable merma de líquido y nivel de oxígeno, cumplen con el supuesto de independencia de los residuos, respectivamente.

Finalmente, se procedió a verificar el supuesto de **homocedasticidad o varianza constante de los residuos**, para ello en primer se determinó el valor de la varianza entre los residuos para cada uno de los tratamientos, para cada una de las variables respuesta, tal como se parecía en el los anexos 3 y 4, finalmente se construyeron los gráficos asociados a dicho cálculo, y son los siguientes:

Para la merma de líquido:

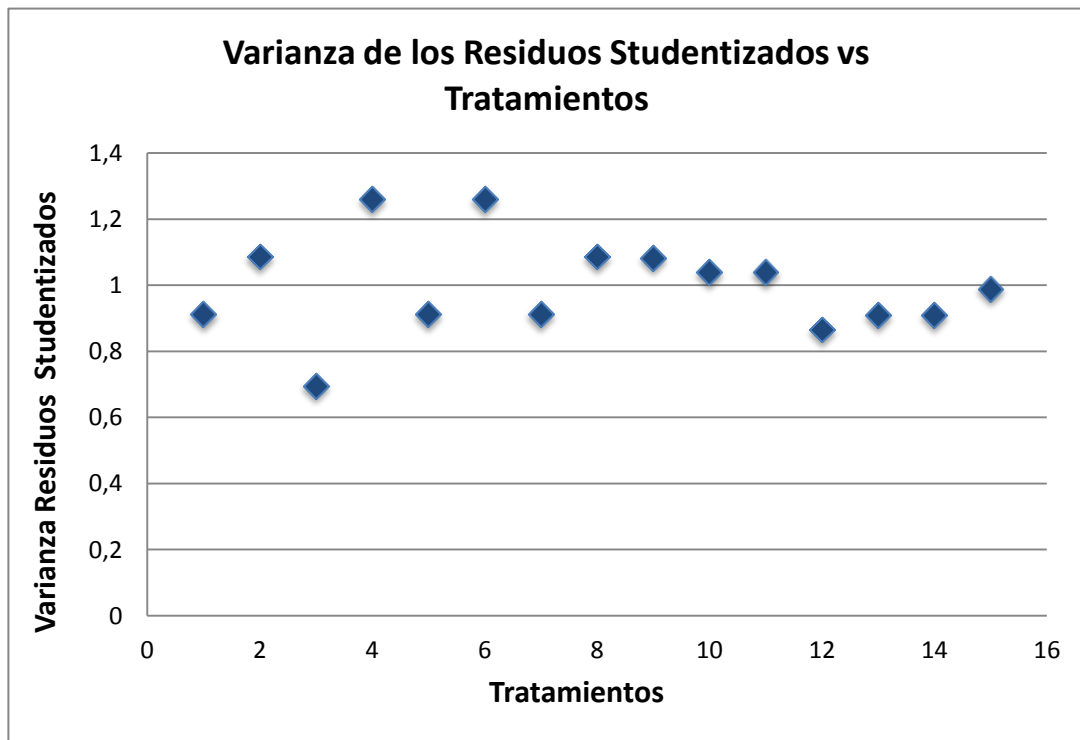


Figura 17. Varianza de Residuos Studentizados vs Tratamientos (Merma de Líquido)

Fuente: Microsoft Excel 2010

Para el nivel de oxígeno:

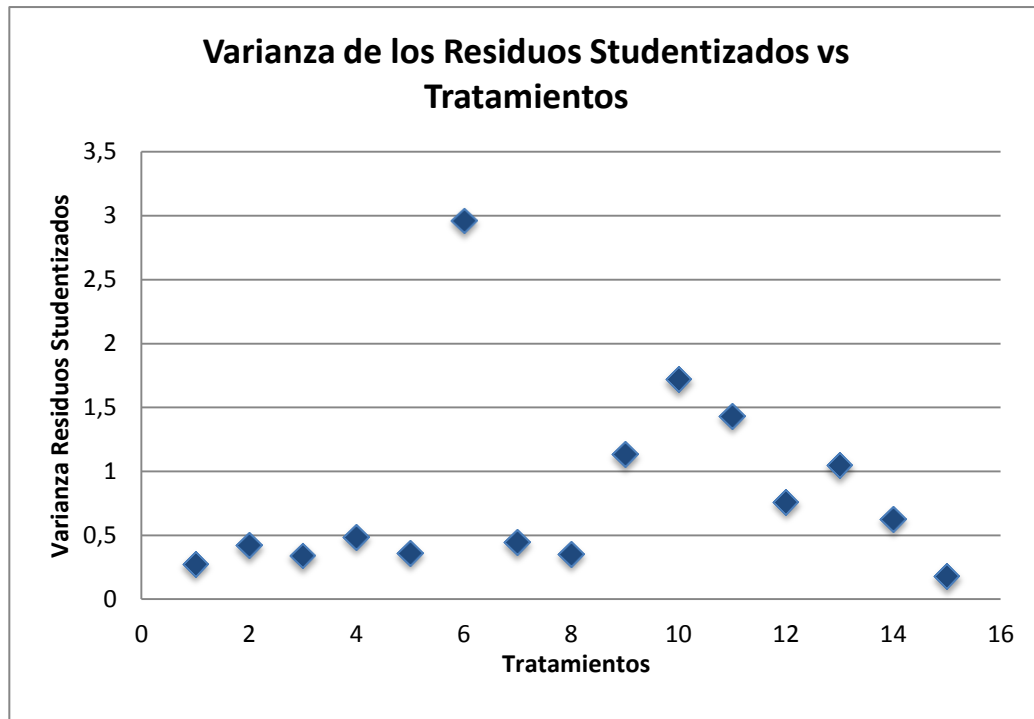


Figura 18. Varianza de Residuos Studentizados vs Tratamientos (Nivel de Oxígeno)

Fuente: Microsoft Excel 2010

Para las variables estudiadas y tal como se observa en las gráficas anteriores, la variabilidad de los residuos, para cada tratamiento, presenta un comportamiento con tendencia constante a lo largo del eje de las X, por lo cual se concluyó que los modelos seleccionados para el ajuste de los datos de cada una de ellas, cumplen con el supuesto de residuos con varianza constante.

Concluida la verificación de los supuestos, se procedió a determinar los términos más significativos de los modelos seleccionados para cada variable y sus respectivos coeficientes, para finalmente obtener la ecuación asociada a los mismos. El objetivo principal de esta etapa es confirmar la influencia significativa de los factores operacionales sobre la variable de respuesta a optimizar, determinar la significancia de las interacciones entre dichos factores y estimar el modelo de regresión que describa el comportamiento de los mismos.

En primer lugar y para determinar los términos más significativos de cada modelo, se utilizó la prueba de significancia individual, y haciendo uso de los datos suministrados por el software de diseño, se comparó el valor correspondiente a la columna “Prob > F” contra un nivel de significancia o valor $p = 0,05$; que en este caso representa la probabilidad de que el coeficiente no sea significativo, ambos valores fueron observados en el análisis de la varianza que presenta dicho programa, en base a esto y según establece la regla de decisión de la prueba, los términos para los que el valor de “Prob > F” resultó mayor a 0,05 fueron considerados términos significativamente distintos de cero.

Además de ésta prueba también se realizó la prueba de falta de ajuste con la cual se verificó si los modelos de regresión seleccionados para cada variable respuesta explican el comportamiento de dicha variable mejor que un modelo de tipo lineal, para efectuar las conclusiones asociadas a esta prueba, se consideró el valor de la columna “F value” y el valor de la columna “Prob > F”, ambos valores se observaron en los resultados del análisis de la varianza ANOVA emitidos por el software antes mencionados y aportan información respecto a la falta de ajuste o no del modelo, los mismos fueron leídos en la sección “Lack of Fit”.

De acuerdo a la información suministrada por el programa se fijó la regla de decisión para ésta prueba, la cual para el caso del “F value”, indica que mientras mas grande sea el valor de éste factor, mayor será la falta de ajuste. En el caso “Prob > F”, este valor se compara contra un nivel de significancia de 0,10 considerando que valores por encima de éste indican falta de ajuste no significativa. El resumen de estos análisis se presenta a continuación:

Para la merma de líquido:

Use your mouse to right click on individual cells for definitions.

Response	1	Merma de Líquido				
ANOVA for Response Surface Cubic Model (Aliased)						
Analysis of variance table [Partial sum of squares - Type III]						
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F	
Model	68.38	13	5.26	20.58	< 0.0001	significant
A-Velocidad de	0.050	1	0.050	0.20	0.6590	
B-Presión	1.80	1	1.80	7.04	0.0089	
C-Volumen Inicial	0.80	1	0.80	3.13	0.0791	
AB	1.01	1	1.01	3.96	0.0486	
AC	0.11	1	0.11	0.44	0.5082	
BC	2.81	1	2.81	11.01	0.0012	
A ²	0.18	1	0.18	0.70	0.4037	
B ²	0.70	1	0.70	2.75	0.0998	
C ²	0.029	1	0.029	0.11	0.7354	
ABC	0.31	1	0.31	1.22	0.2708	
A ² B	1.10	1	1.10	4.31	0.0397	
AC ²	0.000	0				
B ² C	0.000	0				
BC ²	0.000	0				
A ³	0.000	0				
B ³	0.000	0				
C ³	0.000	0				
Residual	33.99	133	0.26			
Lack of Fit	0.072	1	0.072	0.28	0.5967	not significant
Pure Error	33.91	132	0.26			
Cor Total	102.37	146				

Figura 19. Análisis de la Varianza ANOVA (Merma de Líquido)

Fuente: Design Expert 7.0.0

Como se aprecia en el análisis de la varianza ANOVA, para la variable merma de líquido los términos del modelo que resultaron más significativos fueron: B, AB, BC, A^2B , A^2C , AB^2 debido a que el valor de “Prob > F” asociado a cada uno de ellos resultó mayor a 0.05. Dicho en términos de las variables manejadas, A= Velocidad, B=Presión, C= Volumen y de acuerdo a lo valores obtenidos, se concluyó que la merma de líquido se ve influenciada de manera mas significativa por la interacción Presión-Volumen, seguida del efecto de la Presión y de la interacción Presion-Velocidad

Con respecto a la prueba de falta de ajuste se concluyó que la falta de ajuste no es significativa, ya que el valor del estadístico F es igual a 0,28, ademas “ Prob>F” = 0,5967 es mayor a el valor P de 0,10. Lo cual indica que existe una probabilidad de 59,67% de que la falta de ajuste sea provocada factores no controlables o ruidos.

Para el nivel de oxígeno:

Use your mouse to right click on individual cells for definitions.

Response	2	Nivel de Oxígeno				
ANOVA for Response Surface Cubic Model (Aliased)						
Analysis of variance table [Partial sum of squares - Type III]						
	Sum of		Mean	F	p-value	
Source	Squares	df	Square	Value	Prob > F	
Model	1.619E+005	13	12451.94	504.85	< 0.0001	significant
A-Velocidad de	2928.20	1	2928.20	118.72	< 0.0001	
B-Presión	21060.05	1	21060.05	853.86	< 0.0001	
C-Volumen Inici	561.80	1	561.80	22.78	< 0.0001	
AB	2257.81	1	2257.81	91.54	< 0.0001	
AC	2091.01	1	2091.01	84.78	< 0.0001	
BC	248.51	1	248.51	10.08	0.0019	
A ²	38.17	1	38.17	1.55	0.2157	
B ²	7.02	1	7.02	0.28	0.5945	
C ²	131.75	1	131.75	5.34	0.0224	
ABC	495.01	1	495.01	20.07	< 0.0001	
A ² B	248.06	1	248.06	10.06	0.0019	
ABC	495.01	1	495.01	20.07	< 0.0001	
A ² B	248.06	1	248.06	10.06	0.0019	
A ² C	545.22	1	545.22	22.11	< 0.0001	
AB ²	73.10	1	73.10	2.96	0.0875	
AC ²	0.000	0				
B ² C	0.000	0				
BC ²	0.000	0				
A ³	0.000	0				
B ³	0.000	0				
C ³	0.000	0				
Residual	3280.38	133	24.66			
Lack of Fit	35.86	1	35.86	1.46	0.2292	not significar
Pure Error	3244.51	132	24.58			
Cor Total	1.652E+005	146				

Figura 20. Análisis de la Varianza ANOVA (Nivel de Oxígeno)

Fuente: Design Expert 7.0.0

En el caso de la variable nivel de oxígeno los términos del modelo que resultaron más significativos fueron: A, B, C, AB, AC, BC, C², ABC, A²B, A²C debido a que el valor del estadístico de contraste asociado para cada uno de ellos resultó mayor al valor p = 0.05.

Por tal motivo y tomando en consideración dichos valores se concluyó que el comportamiento de la variable nivel de oxígeno se ve influenciado de manera igualmente significativa por las variables Velocidad, Presión, Volumen y sus respectivas interacciones.

En cuanto a la prueba de falta de ajuste se concluyó que la falta de ajuste no es significativa, ya que el valor del estadístico $F = 1,46$ y además “ $\text{Prob}>F$ ” = 0,2292 es mayor a el valor P de 0,10 lo cual indica que existe una probabilidad de 22,92 % de que la falta de ajuste sea provocada factores no controlables o ruidos.

Posterior a la realización de estas pruebas se estimaron los coeficientes de cada uno de los términos del modelo, para finalmente obtener la ecuación del mismo. Los valores estimados para los coeficientes de cada modelo son los siguientes:

Para la merma de líquido:

Factor	Coefficient	df	Standard	95% CI		VIF
	Estimate		Error	Low	High	
Intercept	2.52	1	0.090	2.34	2.70	
A-Velocidad de la Línea	-0.050	1	0.11	-0.27	0.17	5.00
B-Presión	0.30	1	0.11	0.076	0.52	5.00
C-Volumen Inicial	0.20	1	0.11	-0.024	0.42	5.00
AB	-0.11	1	0.057	-0.22	-7.106E-004	1.00
AC	-0.038	1	0.057	-0.15	0.074	1.00
BC	0.19	1	0.057	0.076	0.30	1.00
A ²	-0.084	1	0.10	-0.28	0.11	1.26
B ²	0.17	1	0.10	-0.032	0.36	1.26
C ²	-0.034	1	0.10	-0.23	0.16	1.26
ABC	0.063	1	0.057	-0.049	0.17	1.00
A ² B	0.26	1	0.13	0.013	0.51	5.00
A ² C	0.39	1	0.13	0.14	0.64	5.00
AB ²	-0.26	1	0.13	-0.51	-0.013	5.00

Figura 21. Coeficientes Estimados del Modelo (Merma de Líquido)

Fuente: Design Expert 7.0.0

Adicional a la información presentada, el software de diseño indica en los reportes emitidos que el modelo seleccionado para el ajuste de la variable merma de líquido, contiene efectos alias, es decir, términos diferentes que explican el mismo efecto dentro del modelo. Para el modelo de regresión de la merma de líquido tales efectos son los siguientes:

AC^2 alias con AB^2

B^2C alias con A^2C

BC^2 alias con A^2B

A^3 alias con A

B^3 alias con B

C^3 alias con C

Considerando que A = Velocidad, B= Presión y C= Volumen, se pudo concluir, que por ejemplo: el efecto provocado por la interacción Velocidad-Volumen² es el mismo que el provocado por la interacción Velocidad-Presión².

Finalmente y considerando los términos mas significativos del modelo, los coeficientes estimados para ellos y los efectos alias, la ecuación de regresión del modelo para la variable respuesta merma de líquido es:

$$\begin{aligned}
 \textbf{Merma de Líquido} = & 2,52 - 0,05\text{Velocidad} + 0,30\text{Presión} + 0,20\text{Volumen} - \\
 & 0,11\text{VelocidadxPresión} - 0,036\text{VelocidadxVolumen} + 0,19\text{PresiónxVolumen} - \\
 & 0,084\text{Velocidad}^2 + 0,17\text{Presión}^2 - 0,034\text{Volumen}^2 + \\
 & 0,063\text{VelocidadxPresiónxVolumen} + 0,26\text{Velocidad}^2\text{xPresión} + \\
 & 0,39\text{Velocidad}^2\text{xVolumen} - 0,26\text{VelocidadxPresión}^2 \quad (15)
 \end{aligned}$$

Para el nivel de oxígeno:

Factor	Coefficient	df	Standard	95% CI		VIF
	Estimate		Error	Low	High	
Intercept	70.43	1	0.88	68.68	72.17	
A-Velocidad de la Línea	12.10	1	1.11	9.90	14.30	5.00
B-Presión	-32.45	1	1.11	-34.65	-30.25	5.00
C-Volumen Inicial	-5.30	1	1.11	-7.50	-3.10	5.00
AB	-5.31	1	0.56	-6.41	-4.21	1.00
AC	-5.11	1	0.56	-6.21	-4.01	1.00
BC	1.76	1	0.56	0.66	2.86	1.00
A ²	1.22	1	0.98	-0.72	3.17	1.26
B ²	-0.53	1	0.98	-2.47	1.42	1.26
C ²	-2.28	1	0.98	-4.22	-0.33	1.26
ABC	2.49	1	0.56	1.39	3.59	1.00
A ² B	-3.94	1	1.24	-6.39	-1.48	5.00
A ² C	-5.84	1	1.24	-8.29	-3.38	5.00
AB ²	2.14	1	1.24	-0.32	4.59	5.00

Figura 22. Coeficientes Estimados del Modelo (Nivel de Oxígeno)

Fuente: Design Expert 7.0.0

Para el modelo de regresión correspondiente a la variable nivel de oxígeno, los efectos alias resultaron ser los siguientes:

AC^2 alias con AB^2

B^2C alias con A^2C

BC^2 alias con A^2B

A^3 alias con A

B^3 alias con B

C^3 alias con C

Considerando que A = Velocidad, B= Presión y C= Volumen, se pudo concluir, que por ejemplo: el efecto provocado por la interacción Velocidad-Volumen² es el mismo que el provocado por la interacción Velocidad-Presión².

Finalmente y considerando los términos mas significativos del modelo, los coeficientes estimados para ellos y los efectos alias, la ecuación de regresión del modelo para la variables respuesta nivel de oxígeno es:

$$\begin{aligned} \text{Nivel de Oxígeno} = & 70,43 + 12,10\text{Velocidad} - 32,45\text{Presión} - 5,30\text{Volumen} - \\ & 5,31\text{Velocidad} \times \text{Presión} - 5,11\text{Velocidad} \times \text{Volumen} + 1,76\text{Presión} \times \text{Volumen} + \\ & 1,22\text{Velocidad}^2 - 0,53\text{Presión}^2 - 2,28\text{Volumen}^2 + 2,49\text{Velocidad} \times \text{Presión} \times \text{Volumen} - \\ & 3,94\text{Velocidad}^2 \times \text{Presión} - 5,84\text{Velocidad}^2 \times \text{Volumen} + 2,14\text{Velocidad} \times \text{Presión}^2 \quad (16) \end{aligned}$$

Luego de haber finalizado la etapa de selección y verificación de los modelos de regresión asociados a cada variable respuestas, se dio inicio a la fase de optimización de dichas variables, con la finalidad de determinar una combinación factible de valores para las variables operacionales: velocidad, presión y volumen que permitiera simultáneamente, reducir la merma de líquido por concepto de rebose y mantener dentro del rango de aceptación el nivel de oxígeno por botella

Para tal efecto se establecieron los siguientes criterios: en primer lugar se determinó una función de deseabilidad para cada valor de velocidad, a fin de ampliar las posibilidades de mejora dentro del proceso, ya que según las necesidades de producción dentro de la empresa los valores para dicha variable varían entre 800 y 1000 bot/min, motivo por el cual se hizo necesario calcular un valor de presión y volumen que cumpliera simultáneamente con el objetivo de reducir la merma de líquido y mantener dentro de especificaciones el nivel de oxígeno por botella, aún cuando se decidiera trabajar con cualquiera de las posibles velocidades.

En segundo lugar se decidió establecer el volumen inicial en un valor igual a 224ml, de manera de asegurar que el volumen final contenido en la botella estuviese dentro de los límites establecidos, ya que se observó que la merma promedio se situaba alrededor de los 2,4ml, con lo cual y en caso de que volumen inicial fuese igual a 222 o 223 ml, era imposible asegurar un valor de volumen final dentro de la norma que indica que el mismo debe estar en entre 221 y 224ml.

Finalmente, el criterio para la presión, fue valores ubicados en un rango entre 3 y 5 bar.

A continuación se presentan las soluciones obtenidas para cada valor de velocidad:

Para velocidad = 800bot/min

		Lower	Upper	Lower	Upper		
Name	Goal	Limit	Limit	Weight	Weight	Importance	
Velocidad de la	is equal to 800.00	800	1000	1	1	2	
Presión	is in range	3	5	1	1	2	
Volumen Inicial	is equal to 224.00	222	224	1	1	2	
Merma de Líquido	minimize	1	3	1	1	5	
Nivel de Oxígeno	minimize	10	150	1	1	3	
Solutions							
Number	Velocidad de la	Presión	Volumen Inicial	Merma de Líquido	Nivel de Oxígeno	Desirability	
1	<u>800.00</u>	<u>3.14</u>	<u>224.00</u>	<u>2.70455</u>	<u>76.5342</u>	<u>0.238</u>	<u>Selected</u>
1 Solutions found							

Figura 23. Optimización para velocidad igual a 800 bot/min

Fuente: Design Expert 7.0.0

Como se aprecia en la figura, para una velocidad de 800bot/min y un volumen inicial de 224 ml, la presión de HDE debe ser igual a 3.14 bar a fin de generar merma mínima de 2.70ml y nivel de oxígeno igual a 76,53 ppb.

De manera gráfica esta solución se observa así:

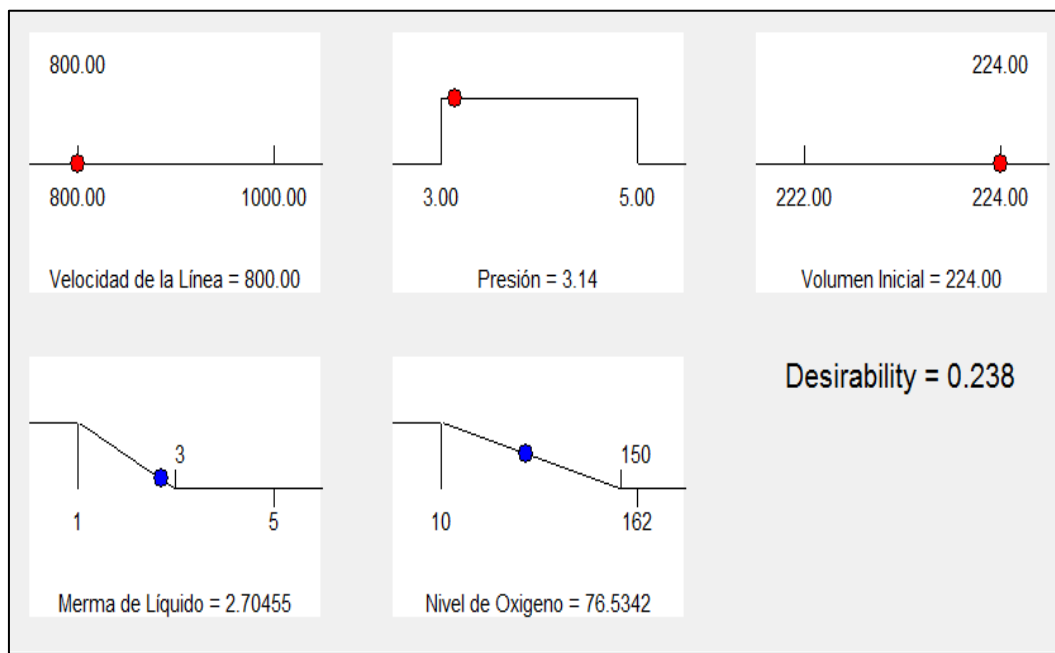


Figura 24. Optimización gráfica para velocidad igual a 800 bot/min

Fuente: Design Expert 7.0.

Para velocidad = 900 bot/min

		Lower	Upper	Lower	Upper		
Name	Goal	Limit	Limit	Weight	Weight	Importance	
Velocidad de la l	is equal to 900.00	800	1000	1	1	2	
Presión	is in range	3	5	1	1	2	
Volumen Inicial	is equal to 224.00	222	224	1	1	2	
Merma de Líquid	minimize	1	3	1	1	5	
Nivel de Oxigeno	minimize	10	150	1	1	3	
Solutions							
Number	Velocidad de la l	Presión	Volumen Inicial	Merma de Líquido	Nivel de Oxigeno	Desirability	
1	<u>900.00</u>	<u>3.09</u>	<u>224.00</u>	<u>2.37853</u>	<u>90.2876</u>	<u>0.350</u>	<u>Selected</u>
1 Solutions found							

Figura 25. Optimización para velocidad igual a 900 bot/min

Fuente: Design Expert 7.0.0

Según se observa en los resultados obtenidos a través del software de diseño se pudo determinar que para una velocidad de 900 bot/min, para garantizar una merma mínima de 2,37ml y un nivel de oxígeno de 90,28ppb, es necesario operar con una presión de HDE igual a 3.09 bar y un volumen inicial de 224 ml.

Esta solución de manera gráfica se observa de la siguiente manera:

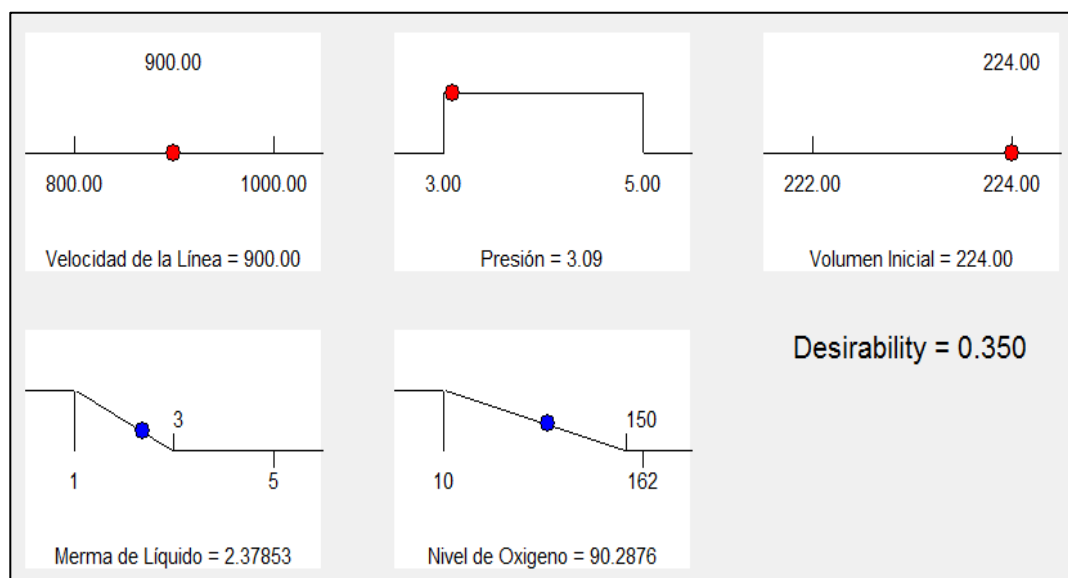


Figura 26. Optimización gráfica para velocidad igual a 900 bot/min

Fuente: Design Expert 7.0.

Para velocidad = 1000 bot/min

		Lower	Upper	Lower	Upper		
Name	Goal	Limit	Limit	Weight	Weight	Importance	
Velocidad de la l	is equal to 1000.0	800	1000	1	1	2	
Presión	is in range	3	5	1	1	2	
Volumen Inicial	is equal to 224.00	222	224	1	1	2	
Merma de Líquid	minimize	1	3	1	1	5	
Nivel de Oxígeno	minimize	10	150	1	1	3	
Solutions							
Number	Velocidad de la	Presión	Volumen Inicial	Merma de Líquido	Nivel de Oxígeno	Desirability	
1	<u>1000.00</u>	<u>3.00</u>	<u>224.00</u>	<u>2.10392</u>	<u>104.287</u>	<u>0.398</u>	<u>Selected</u>
1 Solutions found							

Figura 27. Optimización para velocidad igual a 1000 bot/min

Fuente: Design Expert 7.0.0

Tal y como se aprecia en la figura, se concluyó, que en caso de operar la línea a una velocidad de 1000 bot/min, los valores de presión de HDE y volumen inicial que reducen la merma de líquido y controlan el nivel de oxígeno son: 3 bar y 224ml respectivamente, obteniéndose merma igual a 2.10ml y un nivel de oxígeno de 104,28 ppb.

Gráficamente ésta solución se observa a continuación:

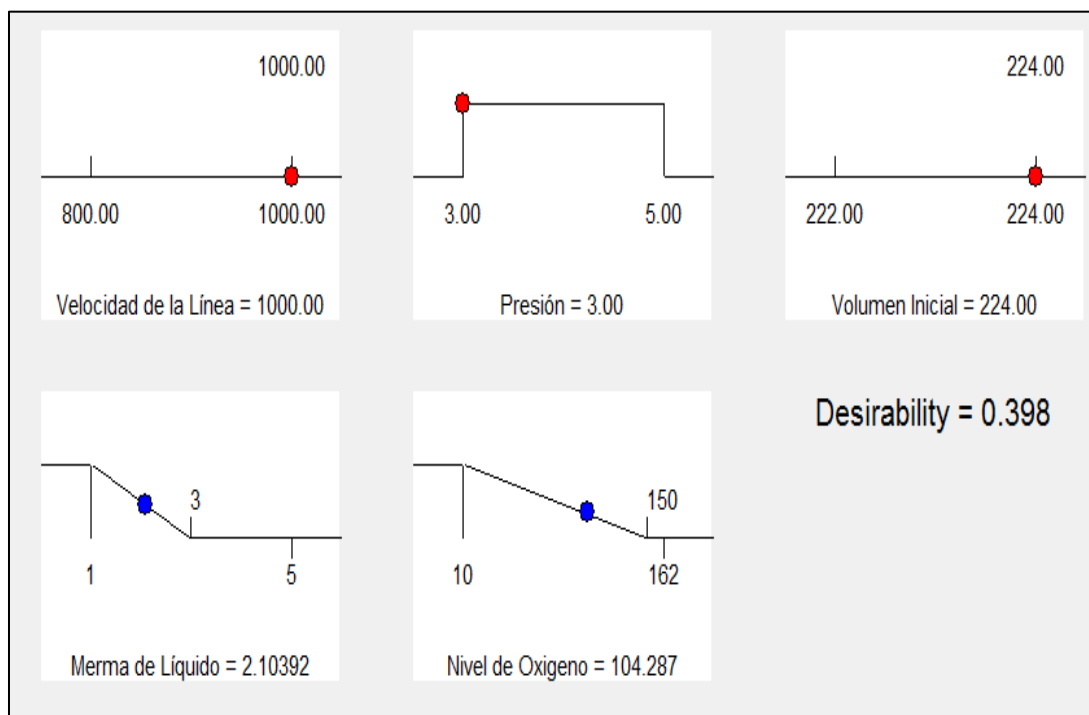


Figura 28. Optimización gráfica para velocidad igual a 1000 bot/min

Fuente: Design Expert 7.0.

Finalmente en el desarrollo de esta metodología se generaron las superficies de respuesta correspondientes, con lo cual se pudo observar de manera gráfica y detallada el comportamiento de las variables de respuesta merma de líquido y nivel de oxígeno en función de las variables operacionales presión de HDE, volumen inicial y velocidad de la línea. Dichas superficies, se construyeron en base a cada valor de velocidad, y son las siguientes:

Para velocidad = 800 bot/min

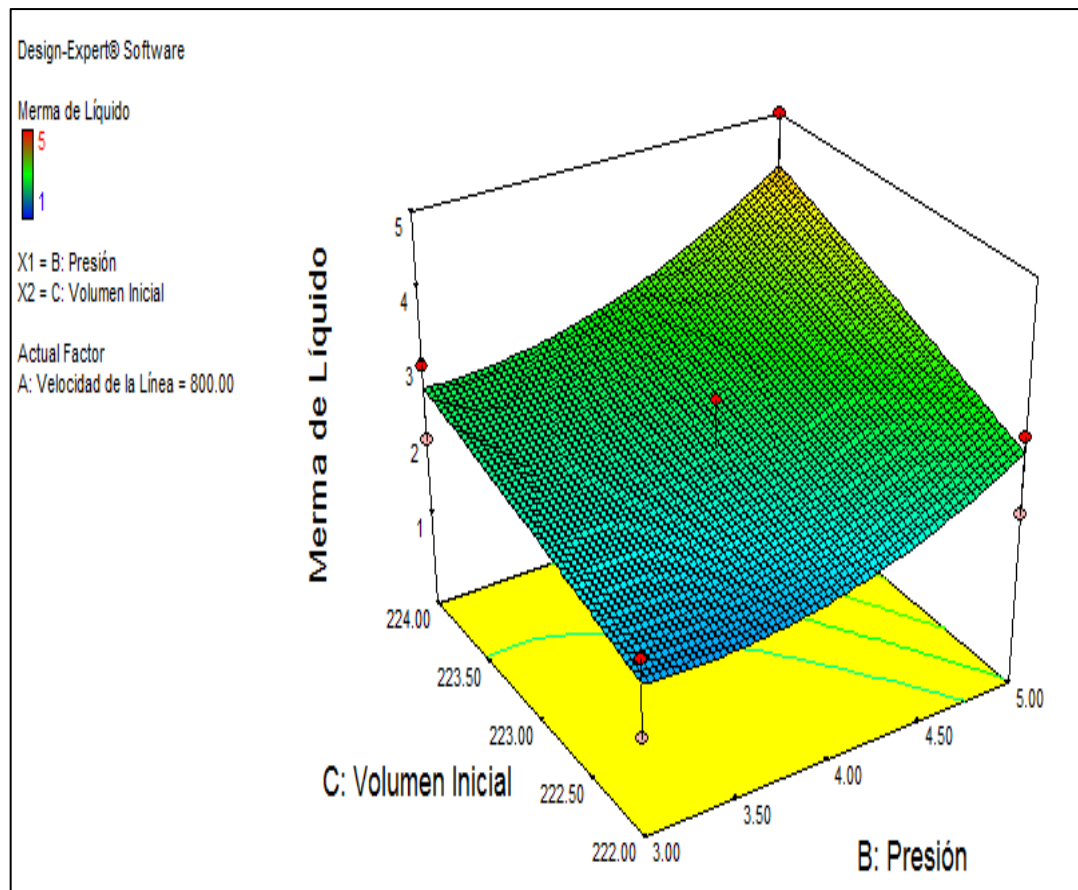


Figura 29. Superficie de respuesta Merma de Líquido (Velocidad = 800 bot/min)

Fuente: Design Expert 7.0.0

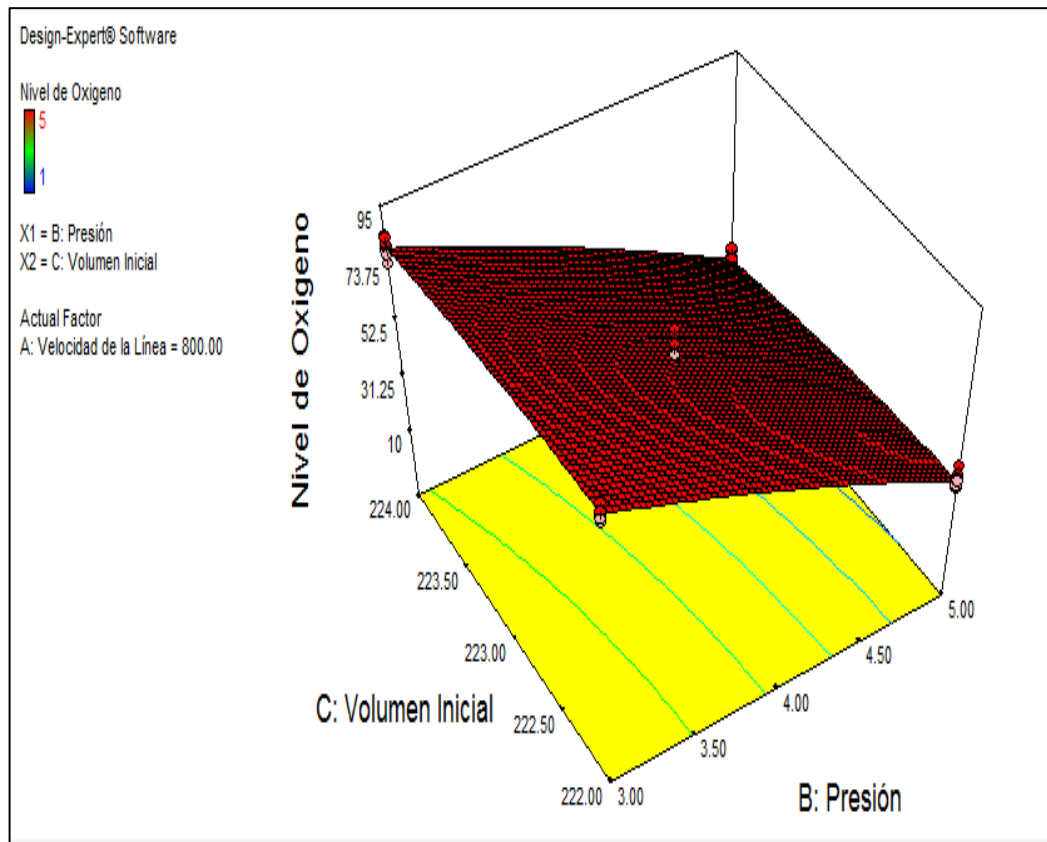


Figura 30. Superficie de Respuesta Nivel de Oxígeno (Velocidad = 800 bot/min)

Fuente: Design Expert 7.0.0

Para velocidad = 900 bot/min

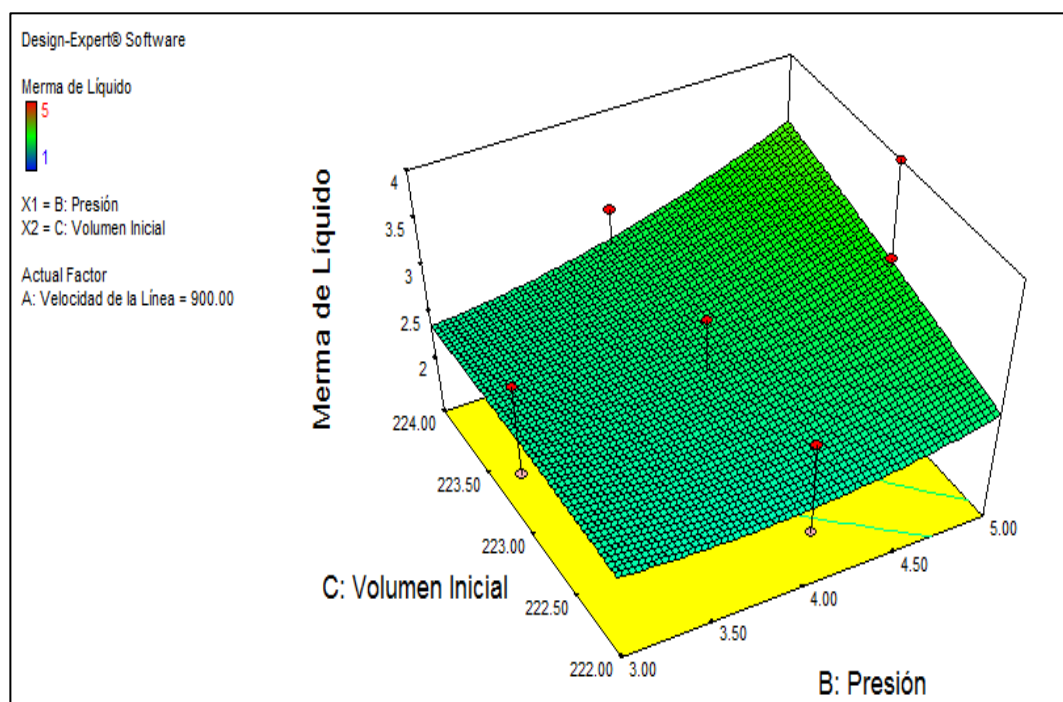


Figura 31. Superficie de Respuesta Merma de Líquido (Velocidad = 900 bot/min)

Fuente: Design Expert 7.0.0

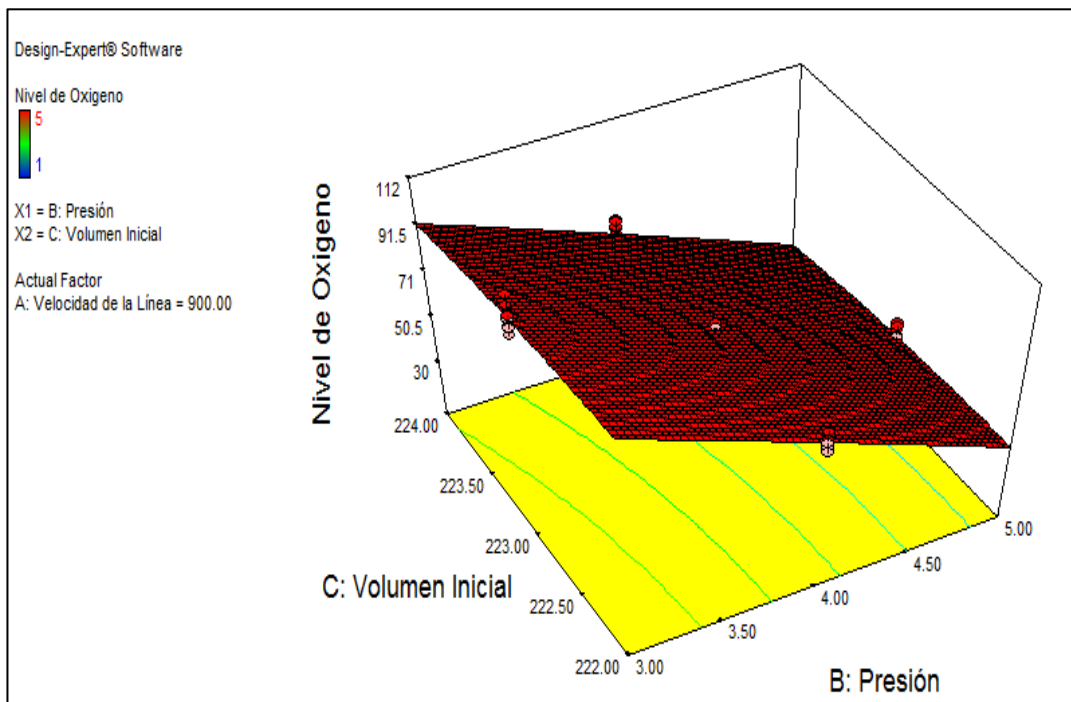


Figura 32. Superficie de Respuesta Nivel de Oxígeno (Velocidad = 900 bot/min)

Fuente: Design Expert 7.0.0

Para velocidad = 1000 bot/min

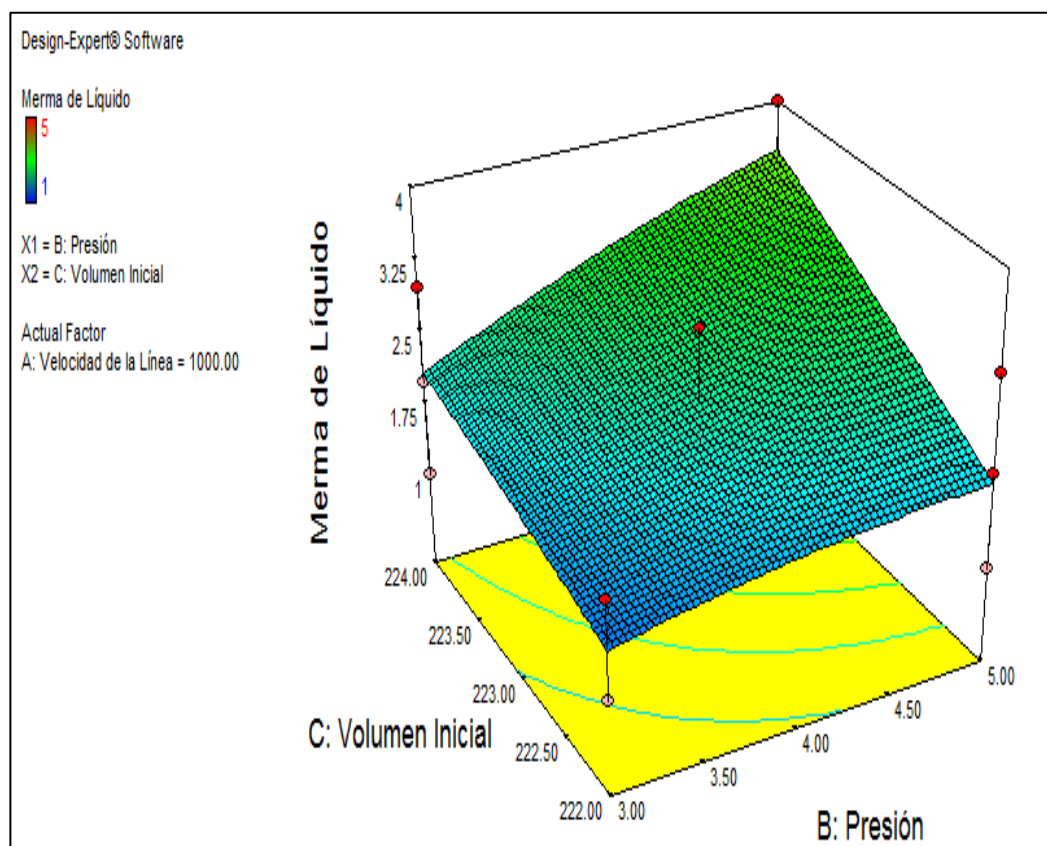


Figura 33. Superficie de Respuesta Merma de Líquido (Velocidad = 1000 bot/min)

Fuente: Design Expert 7.0.0

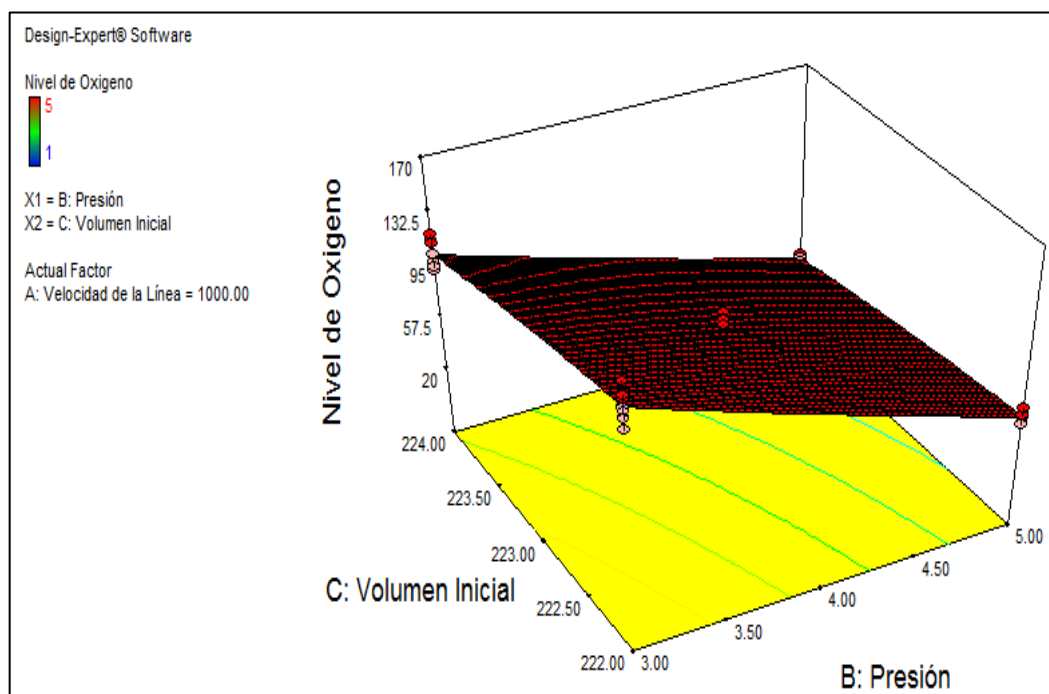


Figura 34. Superficie de Respuesta Nivel de Oxígeno (Velocidad = 1000 bot/min)

Fuente: Design Expert 7.0.0

Luego de observar cada una de las superficies obtenidas, se pudo concluir a nivel general que independientemente del valor de la velocidad, la merma de líquido disminuye a medida que disminuyen la presión de HDE y el volumen inicial, y viceversa.

Para el caso del nivel de oxígeno, se observó que el mismo disminuye a medida que aumenta la presión de HDE y el volumen inicial, como detalle importante se pudo apreciar que dicha variable varía más en función de la presión que del volumen inicial.

4.3 Validación de soluciones

En esta fase de la investigación, se verificó que las soluciones obtenidas a través de la optimización de las variables fuesen soluciones factibles, es decir, que los valores de presión, volumen y velocidad de la línea para minimizar la merma de líquido y el nivel de oxígeno, fuesen valores que pudieran ser llevados a la realidad operacional de proceso.

En el caso de la presión se concluyó que los resultados obtenidos son válidos, ya que la maquinaria opera con presiones que van desde los 3 a los 5 bar, con variación entre sí de 0,1 bar.

En cuanto a las variables velocidad de la línea y volumen inicial, las mismas varían en un rango de valores que va desde 800 a 1000 bot/min y de 222 a 225ml, respectivamente, por lo que se concluyó que de igual manera las soluciones obtenidas respecto de estos factores son válidas, debido a que los criterios de optimización utilizados con los mismos restringieron el rango de solución para ellos y obligaron a que los resultados se ubicaran dentro de los intervalos antes mencionados.

CAPÍTULO V

EVALUACIÓN ECONÓMICA

En el siguiente capítulo se determina el impacto a nivel económico que tendría la mejora propuesta en esta investigación, en caso de que la empresa decida ponerla en práctica. En primer lugar se presentan los costos asociados a la merma de líquido actual y posteriormente se calculan los costos correspondientes a la merma de líquido optimizada, finalmente se realizan las comparaciones y conclusiones pertinentes.

En la tabla que se presenta a continuación se muestran los costos de producción estimados, los cuales fueron proporcionados por el departamento de contraloría de la compañía, dichos costos están referidos a una producción de mil cajas de cerveza tipo light de 222 ml, dentro de dichos costos destaca el producto principal el cual es el líquido de cerveza, cuyo costo por cada mil cajas es de 8800 Bs, sabiendo que cada caja contiene un total de 36 botellas y cada botella un volumen promedio de 222 ml, se determinó que cada ml de líquido de cerveza tipo light tiene un costo aproximado de 0,0017 Bs. Por otra parte es necesario destacar que cada llenadora trabaja actualmente a una velocidad de 1000 bot/min, lo que se traduce en un volumen estimado de 222.000 ml de producto envasado por minuto.

COSTOS DE PRODUCCION				
CONCEPTO	COSTOx1000 CAJAS	COSTOxCAJA	COSTOxBOTELLA	COSTOxML
Líquido	8800	8,8	0,244	0,0011
Vidrio	1620	1,62	0,045	0,0002
Tapa	2000	2	0,056	0,0003
Mano de obra	800	0,80	0,022	0,0001
Servicios	400	0,4	0,011	0,0001
TOTAL	13620	13,62	0,378	0,0017

Tabla 7. Costos de Producción

Fuente: Departamento de Contraloría (Polar Planta San Joaquín)

Según cálculos efectuados con anterioridad (Ver Capítulo III) se determinó que la merma de líquido actual en el proceso de envasado es de 2724,67ml/min, de modo que efectuando las conversiones y cálculos pertinentes se estimó que la pérdida de líquido por día es de 3.923.524,8 ml; valor que equivale a un 1,22% de el líquido envasado en un día y se traduce en un total aproximado de 490 cajas de cerveza, tomando en consideración los datos de la tabla anterior, se estimó que:

$$\text{Costo por merma actual} = \text{MermaActual} \left(\frac{\text{ml}}{\text{dia}} \right) \times \text{Costo}(\text{Bs/ml}) \quad (17)$$

$$\text{Costo por merma actual} = \left(3.978.316,8 \frac{\text{ml}}{\text{dia}} \right) \left(0,0017 \frac{\text{Bs}}{\text{ml}} \right)$$

$$\text{Costo por merma actual} = 6763,13 \frac{\text{Bs}}{\text{dia}}$$

Posteriormente, haciendo uso de la ecuación (14) y de los valores de merma obtenidos en base a las variables optimizadas, se estimó el nivel de merma mejorado, tal como se muestra a continuación

$$\textbf{MermaPromOptimizada} = (A.\textit{MermadeA} + B.\textit{MermadeB} + C.\textit{MermadeC} + D.\textit{MermadeD}).\textit{VelocidadLinea}$$

$$\textbf{MermaPromOptimizada} = (0,3769 \times 1,9 + 0,3308 \times 2,1 + 0,2538 \times 2,1 + 0,0384 \times 3) \times 1000$$

$$\textbf{MermaPromOptimizada} = 2058,97 \text{ ml/min}$$

$$\textbf{MermaPromOptimizada} = 2.964.916,8 \text{ ml/día} = 370 \text{ cajas/día}$$

Como se evidencia en el cálculo anterior la merma optimizada es de 2058,97ml/min lo que se traduce en un total de 2.964.916,8 ml/día, valor que representa un 0,92% del total de líquido envasado en un día y equivale a 370 cajas de producto. Por lo tanto, y en caso de que la empresa decida aplicar la mejora sugerida, el costo por merma de líquido sería el siguiente:

$$\textbf{Costo por merma optimizada} = \textit{MermaOptim} \left(\frac{\text{ml}}{\text{día}} \right) \times \textit{Costo} (\text{Bs/ml})$$

$$\textbf{Costo por merma optimizada} = \left(2.964.916,8 \frac{\text{ml}}{\text{día}} \right) \left(0,0017 \frac{\text{Bs}}{\text{ml}} \right)$$

$$\textbf{Costo por merma optimizada} = 5040,35 \frac{\text{Bs}}{\text{día}}$$

Finalmente se calculó el ahorro que generaría, la mejora planteada en términos de costos y de cantidad de líquido desperdiciado por día, en caso de que la mismas sea puesta en práctica, dichos cálculo se efectuaron como sigue a continuación:

Ahorro en términos de ml líquido al día

$$\mathbf{Ahorro}_{Merma} = MermaProm_{Actual} - MermaProm_{Optimizada} \quad (18)$$

$$\mathbf{Ahorro}_{Merma} = 3.978.316,8 \frac{ml}{día} - 2.964.916,8 \frac{ml}{día}$$

$$\mathbf{Ahorro}_{Merma} = 1.013.400 \frac{ml}{día} = 126 \text{ cajas/día}$$

Ahorro en términos de bolívares al día:

$$\mathbf{Ahorro}_{Costo} = CostoMerma_{Actual} - CostoMerma_{Optimizada} \quad (19)$$

$$\mathbf{Ahorro}_{Costo} = 6763,13 \text{ Bs/día} - 5040,35 \text{ Bs/día}$$

$$\mathbf{Ahorro}_{Costo} = 1722,78 \text{ Bs/día}$$

Considerando estos valores se logró determinar que la solución propuesta se traduce en un ahorro del 25,48% de los costos de merma por concepto de rebose, tan sólo en la llenadora Z.

Además se sabe que al disminuir los niveles de merma, disminuiría el porcentaje de líquido que se recupera para la planta de tratamiento de aguas residuales, representando una disminución en los costos por retrabajo, estas cifras no fueron estimadas debido a que los datos necesarios para ellos no fueron proporcionados por la organización.

CONCLUSIONES

- Para minimizar la merma de líquido que se presenta actualmente en el proceso de envasado y el nivel de oxígeno presente en cada botella del producto, las variables operacionales deben ser ajustadas a los siguientes valores: para una velocidad de 800 bot/min la presión de HDE debe ser igual a 3,1 bar y el volumen inicial 224 ml, si la velocidad es de 900 bot/min la presión de HDE debe ser igual a 3.09 bar y el volumen 224 ml, en caso de que la velocidad sea de 1000 bot/ min los valores para presión de HDE y volumen inicial deben ser de 3 bar y 224 ml respectivamente. Las soluciones obtenidas resultaron válidas y aplicables en la realidad del proceso de envasado
- Analizando las superficies de respuesta obtenidas para cada variable se logró determinar que a nivel general e independientemente del valor de la velocidad, la merma de líquido disminuye a medida que disminuyen la presión de HDE y el volumen inicial, y viceversa. Para el caso del nivel de oxígeno, se observó que el mismo disminuye a medida que aumenta la presión de HDE y el volumen inicial, sin embargo, su comportamiento se ve mas influenciado por la variación de la presión de HDE que por la del volumen inicial.
- Con la propuesta de mejora la merma de líquido disminuye de 3.978.316,8 ml/día a 2.964.916,8 ml/día, disminución equivalente a 126 cajas de producto al día, solo para la llenadora Z de la línea de producción número 13.
- En términos de costos operacionales la propuesta ofrece un ahorro del 25,48 % sobre los mismos.

- Mediante la selección de un diseño central compuesto con centro en las caras, con un total de 8 puntos y 10 réplicas en la porción factorial, 7 puntos al centro y 10 réplicas para los puntos axiales, ubicados a una distancia $\alpha = 1$ del origen, se obtuvieron un total de 147 corridas experimentales.
- Los modelos de regresión utilizados para estimar el comportamiento de las variables respuestas, fueron seleccionados mediante el criterio del factor R^2 ajustado, resultando de grado 3 o tipo cúbico en para cada una de las dos variables respuestas, merma de líquido y nivel de oxígeno. Dichos modelos, explican respectivamente, un 63,55% y un 97,82% de la variabilidad de las variables mencionadas.

RECOMENDACIONES

- Programar la regulación de presión del sistema de control de oxígeno (HDE) según la velocidad a la que este trabajando la llenadora, de acuerdo a los resultados obtenidos en la presente investigación para garantizar una disminución de la merma de líquido por concepto de rebose.
- Complementar las propuesta realizadas en este proyecto de investigación con la realización de un estudio que establezca un control en el volumen de líquido que posee la botella antes del paso por el sistema de control de oxígeno (HDE), para de ésta manera garantizar el mínimo rebose de líquido al aplicar la regulación.
- Realizar un estudio de vida útil de los componentes de las válvulas de llenado, principalmente de las gomas de apriete, tubos de inyección, fuelles, tulipas, sensores de tulipa, órganos elevadores, sistema neumático y secadora de aire del sistema neumático, a fin de realizar el mantenimiento o sustitución de dichos equipos a tiempo y asegurar su correcto funcionamiento y que los mismos trabajen de manera mas uniforme, y de ésta manera disminuir la desviación del volumen de llenado.
- Rediseñar los modelos de botellas utilizadas en la actualidad, en conjunto con la empresa proveedora de este insumo, de manera de disminuir la desviación asociada a la capacidad volumétrica de éstos recipientes, originada por la irregularidad geométrica que presentan actualmente los mismos, situación que se considera uno de los factores más influyentes en la desviación de volumen de llenado por botellas.

- Implementar un programa de entrenamiento de personal, dirigido a la instrucción de los operarios en cuanto al manejo de los equipos de trabajo se refiere, a fin de evitar la manipulación y programación inadecuada de los mismos, ya que dicha situación puede provocar salida de producto disconforme con respecto a las normas de calidad de la empresa, así como disminuir la vida útil de la maquinaria.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arias, F. (2006). *El proyecto de investigación*. (5ta Edición). Caracas: Editorial Episteme.
- Barrios, M. (2006). *Manual de trabajos de grado de especialización y maestría y tesis doctorales*. (3 era Edición). Caracas: Fondo Editorial de la Universidad Pedagógica Experimental FEDUPEL.
- Díaz, A. (2009). *Diseño estadístico de experimentos*. (2 da Edición). Colombia: Editorial de la Universidad de Antioquia.
- Figuerola, G. (2003). Optimización de una superficie de respuesta utilizando JMP IN. *Mosaicos Matemáticos*, 11,17-19.
- Gutiérrez, H. & De la Vara, R. (2008). *Análisis y diseño de experimentos*. (2da edición). México: Editorial Mc Graw Hill.
- Juran, J. & Gryna, F & Bingham, R. (2005). *Manual de control de la calidad*. (2da Edición). España: Editorial Reverté.
- Kuehl, R. (2000). *Diseño de Experimentos*. (2da Edición). México: Editorial Thomson Learning
- Kunze, W. (2006). *Tecnología para cerveceros y malteros*. (1era Edición). Berlín: Editorial VLB.
- Montgomery, D. (2002). *Diseño y análisis de experimento*. México: Grupo editorial Iberoamericano.
- Organización Internacional de Normalización ISO. (2005). *Norma internacional ISO 9000 – Sistema de gestión de la calidad – Conceptos y Vocabulario*. Suiza: Autor
- Pérez, R. (2009). *Propuesta de un plan de mejoras para reducir las no conformidades en el proceso de pasteurización en los trenes de envasado de cerveza números 7, 10 y 13 de Cervecería Polar Planta San Joaquín*. Universidad José Antonio Páez, Carabobo, Venezuela.

- Rodríguez, M. (2007). *Propuesta de mejora para incrementar la productividad en el área de llenado de cerveza en Cervecería Polar C.A, Planta San Joaquín*. Universidad Nacional Experimental del Táchira, Táchira, Venezuela.
- Siqueiros, A. (2004). *Aplicación de la Metodología de Superficies de Respuesta para el Mejoramiento de la Calidad del Aceite de Soya*. Universidad de Sonora, Hermosillo, México.
- Velásquez, K. (2012). *Plan de mejora en las líneas de llenado del área de envasado mediante el uso de herramientas de ingeniería industrial en Cervecería Polar Planta San Joaquín*. Universidad José Antonio Páez, Carabobo, Venezuela.
- Buitrago, G & Escobar, J. & López, L. & Prado, M. (2004). *Análisis exploratorio para la optimización de un medio de cultivo para la fermentación de Bacillus Thuringiensis*. Revista Colombiana de Biotecnología. (Volumen VI, Nro 002). Recuperado el 5 de Noviembre del 2012 de: <http://redalyc.uaemex.mx/pdf/776/77660207.pdf>
- Domínguez, J. (2006). *Optimización simultanea para la mejora continua y reducción de costos de procesos*. Revista Ingeniería y ciencia.(Volumen 2, nro 4). Recuperado el 5 de noviembre del 2012 de: <http://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/2273739.pdf>
- Empresas Polar. *Tipos de merma y Términos Básicos*. Recuperado el 6 de junio del 2012, de <http://portal.netpolar.com/iri/portal>
- Fernández, C. & Piñeiro, M. (2004). *Superficies de respuesta, métodos y diseño*. Recuperado el 8 de agosto del 2012, de http://fisher.ciencias.uniovi.es/d_experimentos/
- Parra, N. (2009). *Apuntes de introducción a los modelos econométricos*. Recuperado el 22 de octubre del 2012, de <http://www.slideshare.net/nguaramato/apuntes-de-introduccion-a-los-modelos-econometricos-1>
- Vela, F. (2011). *Prueba de falta de ajuste*. Recuperado el 22 de octubre del 2012, de <http://mregresion.files.wordpress.com/2011/10/prueba-falta-de-ajuste.pdf>

Zamora, M. & Estavillo, J. (2001). *Modelo de regresión normal clásico*. Recuperado el 22 de octubre del 2012 de: <http://www.5campus.org/leccion/ecoreg>>

ANEXOS

Volumen por plantilla (ml)	Volumen por peso (ml)	Diferencia (ml)	Volumen por plantilla (ml)	Volumen por peso (ml)	Diferencia (ml)
224	223,67	-0,33	224	220,87	-3,13
225	223,62	-1,38	225	224,75	-0,25
224	222,74	-1,26	226	226,24	0,24
226	226,92	0,92	225	224,71	-0,29
227	227,25	0,25	227	225,63	-1,37
226	224,46	-1,54	226	225,30	-0,70
228	227,19	-0,81	226	224,44	-1,56
228	226,86	-1,14	227	227,00	0,00
226	225,01	-0,99	228	225,70	-2,30
227	225,83	-1,17	228	227,73	-0,27
225	225,47	0,47	224	222,97	-1,03
225	223,42	-1,58	226	227,82	1,82
225	225,73	0,73	226	225,57	-0,43
226	224,54	-1,46	227	227,64	0,64
224	222,59	-1,41	226	225,40	-0,60
224	222,92	-1,08	224	223,41	-0,59
228	228,15	0,15	225	225,50	0,50
226	225,03	-0,97	226	225,79	-0,21
225	225,18	0,18	227	226,02	-0,98
225	223,05	-1,95	225	223,75	-1,25

Volumen por plantilla (ml)	Volumen por peso (ml)	Diferencia (ml)	Volumen por plantilla (ml)	Volumen por peso (ml)	Diferencia (ml)
227	224,27	-2,73	226	222,80	-3,20
225	226,63	1,63	226	224,24	-1,76
225	224,86	-0,14	225	225,36	0,36
226	226,30	0,30	225	222,21	-2,79
226	225,23	-0,77	226	226,39	0,39
227	224,36	-2,64	224	223,08	-0,92
226	225,88	-0,12	227	225,90	-1,10
226	224,21	-1,79	225	224,37	-0,63
226	224,35	-1,65	226	226,53	0,53
227	226,19	-0,81	227	227,67	0,67
226	225,48	-0,52	224	224,02	0,02
225	224,92	-0,08	226	224,07	-1,93
226	226,50	0,50	228	226,86	-1,14
226	224,89	-1,11	227	225,68	-1,32
224	222,23	-1,77	224	223,68	-0,32
226	226,70	0,70	225	224,88	-0,12
226	224,45	-1,55	227	226,75	-0,25
226	226,74	0,74	226	224,27	-1,73
226	225,83	-0,17	226	224,18	-1,82
226	224,92	-1,08	228	226,02	-1,98
223	221,50	-1,50	223	221,19	-1,81
226	225,79	-0,21	226	224,85	-1,15

Volumen por plantilla (ml)	Volumen por peso (ml)	Diferencia (ml)	Volumen por plantilla (ml)	Volumen por peso (ml)	Diferencia (ml)
223	223,76	0,76	223	225,54	2,54
226	226,12	0,12	226	224,62	-1,38
228	227,15	-0,85	224	223,34	-0,66
226	226,74	0,74	225	224,80	-0,20
225	223,53	-1,47	226	224,51	-1,49
227	227,05	0,05	226	228,57	2,57
228	226,67	-1,33	225	223,09	-1,91
225	224,86	-0,14	225	223,40	-1,60
225	225,53	0,53	224	225,02	1,02
227	226,41	-0,59	226	225,85	-0,15
225	223,81	-1,19	227	225,83	-1,17
226	224,89	-1,11	224	223,54	-0,46
226	226,31	0,31	224	224,52	0,52
225	224,45	-0,55	226	226,84	0,84
226	224,96	-1,04	227	228,23	1,23
226	223,34	-2,66	226	226,90	0,90
226	223,53	-2,47	225	223,93	-1,07
227	226,79	-0,21	225	224,64	-0,36
226	224,89	-1,11	224	223,47	-0,53
226	226,92	0,92	226	225,41	-0,59
226	223,80	-2,20	226	225,69	-0,31

Volumen por plantilla (ml)	Volumen por peso (ml)	Diferencia (ml)	Volumen por plantilla (ml)	Volumen por peso (ml)	Diferencia (ml)
227	226,82	-0,18	224	221,95	-2,05
228	228,59	0,59	225	225,26	0,26
227	225,77	-1,23	226	226,74	0,74
226	226,81	0,81	225	226,16	1,16
227	225,93	-1,07	225	224,62	-0,38
227	227,77	0,77	226	225,60	-0,40
224	221,33	-2,67	227	225,70	-1,30
227	225,78	-1,22	225	223,26	-1,74
226	226,37	0,37	227	226,55	-0,45
226	228,28	2,28	226	225,60	-0,40
224	221,27	-2,73	226	224,66	-1,34
227	227,99	0,99	225	224,38	-0,62
226	226,66	0,66	225	224,66	-0,34
224	224,61	0,61	226	223,76	-2,24
226	225,58	-0,42	227	226,62	-0,38
226	226,10	0,10	225	225,10	0,10
227	226,23	-0,77	226	226,77	0,77
225	220,27	-4,73	227	224,86	-2,14
227	227,14	0,14	226	225,29	-0,71
226	228,25	2,25	225	224,80	-0,20
225	225,40	0,40	226	224,62	-1,38

Volumen por plantilla (ml)	Volumen por peso (ml)	Diferencia (ml)	Volumen por plantilla (ml)	Volumen por peso (ml)	Diferencia (ml)
225	223,99	-1,01	226	226,84	0,84
225	226,52	1,52	225	223,71	-1,29
225	224,01	-0,99	228	226,66	-1,34
223	223,32	0,32	227	226,52	-0,48
227	225,78	-1,22	225	225,43	0,43
226	224,79	-1,21	227	227,52	0,52
226	224,92	-1,08	223	222,94	-0,06
226	227,58	1,58	222	222,02	0,02
226	228,82	2,82	224	222,97	-1,03
228	228,74	0,74	224	224,63	0,63
225	226,21	1,21	222	223,47	1,47
217	216,06	-0,94	223	224,67	1,67
226	226,11	0,11	223	222,26	-0,74
225	223,61	-1,39	224	225,33	1,33
226	225,18	-0,82	223	222,15	-0,85
224	224,30	0,30	218	214,68	-3,32
226	226,18	0,18	222	219,65	-2,35
225	223,61	-1,39	221	218,91	-2,09
225	226,30	1,30	224	219,51	-4,49
226	225,01	-0,99	222	225,28	3,28
227	224,56	-2,44	222	222,67	0,67
226	226,18	0,18	222	223,83	1,83

Volumen por plantilla (ml)	Volumen por peso (ml)	Diferencia (ml)	Volumen por plantilla (ml)	Volumen por peso (ml)	Diferencia (ml)
226	225,12	-0,88	223	222,52	-0,48
226	224,76	-1,24	224	223,07	-0,93
226	225,38	-0,62	224	223,24	-0,76
227	224,68	-2,32	224	224,48	0,48
225	226,02	1,02	223	222,94	-0,06
227	226,10	-0,90	218	217,11	-0,89
226	225,33	-0,67	222	220,17	-1,83
224	223,80	-0,20	224	222,16	-1,84
225	225,20	0,20	223	222,52	-0,48
226	224,79	-1,21	223	222,95	-0,05
225	225,57	0,57	224	224,36	0,36
226	226,42	0,42	224	223,69	-0,31
225	224,03	-0,97	222	220,73	-1,27
227	227,22	0,22	225	223,46	-1,54
224	222,94	-1,06	222	219,92	-2,08
224	223,72	-0,28	223	223,15	0,15
226	226,51	0,51	223	222,93	-0,07
225	225,36	0,36	217	216,57	-0,43
224	224,27	0,27	222	222,37	0,37
225	224,83	-0,17	221	220,11	-0,89

Anexo 1. Muestras de volumen por ambos métodos.

Fuente: Laboratorio de calidad de envasado Polar San Joaquín

Llenadora	Válvula	Volumen entero (ml)	Llenadora	Válvula	Volumen entero (ml)
Z	1	222	Z	66	224
Z	2	222	Z	67	223
Z	3	224	Z	68	222
Z	4	224	Z	69	223
Z	5	223	Z	70	223
Z	6	224	Z	71	224
Z	7	222	Z	72	224
Z	8	222	Z	73	222
Z	9	223	Z	74	223
Z	10	223	Z	75	223
Z	11	222	Z	76	222
Z	12	222	Z	77	224
Z	13	222	Z	78	222
Z	14	224	Z	79	223
Z	15	222	Z	80	224
Z	16	224	Z	81	223
Z	17	224	Z	82	223
Z	18	222	Z	83	222
Z	19	224	Z	84	225
Z	20	223	Z	85	223
Z	21	222	Z	86	222
Z	22	225	Z	87	223
Z	23	222	Z	88	222

Llenadora	Válvula	Volumen entero (ml)	Llenadora	Válvula	Volumen entero (ml)
Z	24	223	Z	89	224
Z	25	223	Z	90	222
Z	26	223	Z	91	223
Z	27	222	Z	92	222
Z	28	222	Z	93	224
Z	29	224	Z	94	223
Z	30	222	Z	95	224
Z	31	222	Z	96	225
Z	32	222	Z	97	222
Z	33	222	Z	98	223
Z	34	222	Z	99	222
Z	35	224	Z	100	223
Z	36	223	Z	101	222
Z	37	222	Z	102	224
Z	38	224	Z	103	224
Z	39	222	Z	104	223
Z	40	222	Z	105	223
Z	41	223	Z	106	222
Z	42	222	Z	107	222
Z	43	223	Z	108	223
Z	44	223	Z	109	223
Z	45	223	Z	110	224
Z	46	224	Z	111	223

Llenadora	Válvula	Volumen entero (ml)	Llenadora	Válvula	Volumen entero (ml)
Z	47	223	Z	112	222
Z	48	224	Z	113	222
Z	49	223	Z	114	223
Z	50	224	Z	115	224
Z	51	223	Z	116	222
Z	52	225	Z	117	223
Z	53	223	Z	118	224
Z	54	224	Z	119	223
Z	55	222	Z	120	224
Z	56	222	Z	121	222
Z	57	224	Z	122	224
Z	58	223	Z	123	225
Z	59	222	Z	124	222
Z	60	224	Z	125	223
Z	61	222	Z	126	222
Z	62	224	Z	127	224
Z	63	223	Z	128	222
Z	64	223	Z	129	222
Z	65	223	Z	130	222

Anexo 2. Observaciones de volumen por válvula.

Fuente: Propia

Standard Order	Run Order	Valor Actual	Valor Estimado	Residuos Internos Studentizados
1	91	2	1,703923358	0,617310369
2	72	2	1,703923358	0,617310369
3	86	1	1,703923358	-1,46765778
4	73	2	1,703923358	0,617310369
5	42	2	1,703923358	0,617310369
6	146	2	1,703923358	0,617310369
7	20	1	1,703923358	-1,46765778
8	107	2	1,703923358	0,617310369
9	105	1	1,703923358	-1,46765778
10	101	2	1,703923358	0,617310369
Varianza				0,912889358
11	19	1	1,503923358	-1,05066415
12	28	2	1,503923358	1,034303998
13	143	2	1,503923358	1,034303998
14	43	2	1,503923358	1,034303998
15	27	2	1,503923358	1,034303998
16	115	1	1,503923358	-1,05066415
17	33	1	1,503923358	-1,05066415
18	136	2	1,503923358	1,034303998
19	8	1	1,503923358	-1,05066415
20	131	1	1,503923358	-1,05066415
Varianza				1,086773045

Standard Order	Run Order	Valor Actual	Valor Estimado	Residuos Internos Studentizados
21	63	3	2,803923358	0,408813554
22	126	3	2,803923358	0,408813554
23	61	2	2,803923358	-1,676154595
24	83	3	2,803923358	0,408813554
25	9	2	2,803923358	-1,676154595
26	133	3	2,803923358	0,408813554
27	47	3	2,803923358	0,408813554
28	119	3	2,803923358	0,408813554
29	95	3	2,803923358	0,408813554
30	12	3	2,803923358	0,408813554
Varianza				0,695534749
31	71	1	1,903923358	-1,884651409
32	134	2	1,903923358	0,200316739
33	67	1	1,903923358	-1,884651409
34	129	2	1,903923358	0,200316739
35	68	2	1,903923358	0,200316739
36	99	2	1,903923358	0,200316739
37	25	2	1,903923358	0,200316739
38	116	3	1,903923358	2,285284888
39	132	2	1,903923358	0,200316739
40	147	2	1,903923358	0,200316739
Varianza				1,260656732

Standard Order	Run Order	Valor Actual	Valor Estimado	Residuos Internos Studentizados
41	65	2	2,703923358	-1,46765778
42	36	2	2,703923358	-1,46765778
43	4	3	2,703923358	0,617310369
44	96	3	2,703923358	0,617310369
45	60	3	2,703923358	0,617310369
46	49	3	2,703923358	0,617310369
47	18	3	2,703923358	0,617310369
48	34	3	2,703923358	0,617310369
49	140	3	2,703923358	0,617310369
50	100	2	2,703923358	-1,46765778
Varianza				0,912889358
51	113	2	2,103923358	-0,216676891
52	84	2	2,103923358	-0,216676891
53	111	3	2,103923358	1,868291258
54	144	2	2,103923358	-0,216676891
55	130	1	2,103923358	-2,301645039
56	118	2	2,103923358	-0,216676891
57	45	3	2,103923358	1,868291258
58	92	2	2,103923358	-0,216676891
59	85	2	2,103923358	-0,216676891
60	64	2	2,103923358	-0,216676891
Varianza				1,260656732

Standard Order	Run Order	Valor Actual	Valor Estimado	Residuos Internos Studentizados
61	54	4	4,303923358	-0,63367052
62	29	5	4,303923358	1,451297628
63	16	5	4,303923358	1,451297628
64	98	5	4,303923358	1,451297628
65	5	4	4,303923358	-0,63367052
66	93	4	4,303923358	-0,63367052
67	53	4	4,303923358	-0,63367052
68	102	4	4,303923358	-0,63367052
69	51	4	4,303923358	-0,63367052
70	57	4	4,303923358	-0,63367052
Varianza				0,912889358
71	123	3	3,503923358	-1,05066415
72	79	4	3,503923358	1,034303998
73	7	3	3,503923358	-1,05066415
74	59	4	3,503923358	1,034303998
75	109	4	3,503923358	1,034303998
76	112	3	3,503923358	-1,05066415
77	87	3	3,503923358	-1,05066415
78	15	4	3,503923358	1,034303998
79	23	4	3,503923358	1,034303998
80	10	3	3,503923358	-1,05066415
Varianza				1,086773045

Standard Order	Run Order	Valor Actual	Valor Estimado	Residuos Internos Studentizados
81	137	2	2,484306569	-1,007977496
82	44	3	2,484306569	1,073302337
83	94	2	2,484306569	-1,007977496
84	145	2	2,484306569	-1,007977496
85	82	3	2,484306569	1,073302337
86	127	3	2,484306569	1,073302337
87	75	2	2,484306569	-1,007977496
88	17	2	2,484306569	-1,007977496
89	103	3	2,484306569	1,073302337
90	76	3	2,484306569	1,073302337
Varianza				1,082931436
91	62	3	2,384306569	1,28143032
92	37	2	2,384306569	-0,799849512
93	30	3	2,384306569	1,28143032
94	22	2	2,384306569	-0,799849512
95	125	2	2,384306569	-0,799849512
96	6	2	2,384306569	-0,799849512
97	122	3	2,384306569	1,28143032
98	89	2	2,384306569	-0,799849512
99	41	2	2,384306569	-0,799849512
100	11	3	2,384306569	1,28143032
Varianza				1,039614178

Standard Order	Run Order	Valor Actual	Valor Estimado	Residuos Internos Studentizados
101	120	3	2,384306569	1,28143032
102	1	2	2,384306569	-0,799849512
103	142	3	2,384306569	1,28143032
104	48	2	2,384306569	-0,799849512
105	77	3	2,384306569	1,28143032
106	55	2	2,384306569	-0,799849512
107	2	2	2,384306569	-0,799849512
108	81	2	2,384306569	-0,799849512
109	121	2	2,384306569	-0,799849512
110	69	3	2,384306569	1,28143032
Varianza				1,039614178
111	56	3	2,984306569	0,032662421
112	58	3	2,984306569	0,032662421
113	141	4	2,984306569	2,113942253
114	114	3	2,984306569	0,032662421
115	70	3	2,984306569	0,032662421
116	108	3	2,984306569	0,032662421
117	24	3	2,984306569	0,032662421
118	104	3	2,984306569	0,032662421
119	106	2	2,984306569	-2,048617412
120	139	3	2,984306569	0,032662421
Varianza				0,866345148

Standard Order	Run Order	Valor Actual	Valor Estimado	Residuos Internos Studentizados
121	135	3	2,284306569	1,489558304
122	39	3	2,284306569	1,489558304
123	32	2	2,284306569	-0,591721529
124	117	3	2,284306569	1,489558304
125	52	2	2,284306569	-0,591721529
126	124	2	2,284306569	-0,591721529
127	50	2	2,284306569	-0,591721529
128	13	2	2,284306569	-0,591721529
129	138	2	2,284306569	-0,591721529
130	88	2	2,284306569	-0,591721529
Varianza				0,909662406
131	3	2	2,684306569	-1,424233462
132	90	2	2,684306569	-1,424233462
133	31	3	2,684306569	0,657046371
134	14	3	2,684306569	0,657046371
135	128	3	2,684306569	0,657046371
136	66	3	2,684306569	0,657046371
137	78	3	2,684306569	0,657046371
138	46	3	2,684306569	0,657046371
139	74	2	2,684306569	-1,424233462
140	35	3	2,684306569	0,657046371
Varianza				0,909662406

Standard Order	Run Order	Valor Actual	Valor Estimado	Residuos Internos Studentizados
141	97	3	2,518248175	0,968444602
142	26	3	2,518248175	0,968444602
143	40	2	2,518248175	-1,041811618
144	38	2	2,518248175	-1,041811618
145	80	2	2,518248175	-1,041811618
146	110	2	2,518248175	-1,041811618
147	21	3	2,518248175	0,968444602
Varianza				0,989664507

Anexo 3. Varianza de los residuos studentizados para cada tratamiento
(Merma de Líquido)

Standard Order	Run Order	Valor Actual	Valor Estimado	Residuos Internos Studentizados
1	91	90	90,9873783	-0,209543857
2	72	91	90,9873783	0,002678599
3	86	92	90,9873783	0,214901054
4	73	89	90,9873783	-0,421766313
5	42	88	90,9873783	-0,633988769
6	146	88	90,9873783	-0,633988769
7	20	95	90,9873783	0,851568422
8	107	95	90,9873783	0,851568422
9	105	92	90,9873783	0,214901054
10	101	89	90,9873783	-0,421766313
Varianza				0,274283678
11	19	139	145,287378	-1,334322874
12	28	146	145,287378	0,151234318
13	143	130	145,287378	* -3.244
14	43	149	145,287378	0,787901685
15	27	144	145,287378	-0,273210594
16	115	150	145,287378	1,000124141
17	33	162	145,287378	* 3.547
18	136	142	145,287378	-0,697655506
19	8	152	145,287378	1,424569053
20	131	138	145,287378	-1,54654533
Varianza				1,047142121

Standard Order	Run Order	Valor Actual	Valor Estimado	Residuos Internos Studentizados
21	63	27	30,2873783	-0,697655506
22	126	36	30,2873783	1,212346597
23	61	27	30,2873783	-0,697655506
24	83	30	30,2873783	-0,060988138
25	9	28	30,2873783	-0,48543305
26	133	32	30,2873783	0,363456774
27	47	33	30,2873783	0,575679229
28	119	28	30,2873783	-0,48543305
29	95	31	30,2873783	0,151234318
30	12	30	30,2873783	-0,060988138
Varianza				0,340490083
31	71	49	53,3873783	-0,931100208
32	134	53	53,3873783	-0,082210384
33	67	53	53,3873783	-0,082210384
34	129	55	53,3873783	0,342234528
35	68	54	53,3873783	0,130012072
36	99	47	53,3873783	-1,355545119
37	25	54	53,3873783	0,130012072
38	116	54	53,3873783	0,130012072
39	132	54	53,3873783	0,130012072
40	147	60	53,3873783	1,403346808
Varianza				0,486864788

Standard Order	Run Order	Valor Actual	Valor Estimado	Residuos Internos Studentizados
41	65	85	80,3873783	0,978901896
42	36	80	80,3873783	-0,082210384
43	4	81	80,3873783	0,130012072
44	96	79	80,3873783	-0,29443284
45	60	78	80,3873783	-0,506655296
46	49	81	80,3873783	0,130012072
47	18	82	80,3873783	0,342234528
48	34	75	80,3873783	-1,143322663
49	140	84	80,3873783	0,76667944
50	100	78	80,3873783	-0,506655296
Varianza				0,36075735
51	113	105	104,287378	0,151234318
52	84	115	104,287378	2,273458877
53	111	112	104,287378	1,636791509
54	144	93	104,287378	-2,395435153
55	130	97	104,287378	-1,54654533
56	118	99	104,287378	-1,122100418
57	45	118	104,287378	2,910126245
58	92	104	104,287378	-0,060988138
59	85	95	104,287378	-1,970990241
60	64	104	104,287378	-0,060988138
Varianza				2,961723263

Standard Order	Run Order	Valor Actual	Valor Estimado	Residuos Internos Studentizados
61	54	20	16,7873783	0,681790457
62	29	16	16,7873783	-0,167099366
63	16	15	16,7873783	-0,379321822
64	98	18	16,7873783	0,257345546
65	5	14	16,7873783	-0,591544278
66	93	16	16,7873783	-0,167099366
67	53	20	16,7873783	0,681790457
68	102	21	16,7873783	0,894012913
69	51	17	16,7873783	0,04512309
70	57	10	16,7873783	-1,440434102
Varianza				0,441826417
71	123	33	29,3873783	0,76667944
72	79	31	29,3873783	0,342234528
73	7	31	29,3873783	0,342234528
74	59	32	29,3873783	0,554456984
75	109	30	29,3873783	0,130012072
76	112	29	29,3873783	-0,082210384
77	87	29	29,3873783	-0,082210384
78	15	29	29,3873783	-0,082210384
79	23	23	29,3873783	-1,355545119
80	10	26	29,3873783	-0,718877752
Varianza				0,351749676

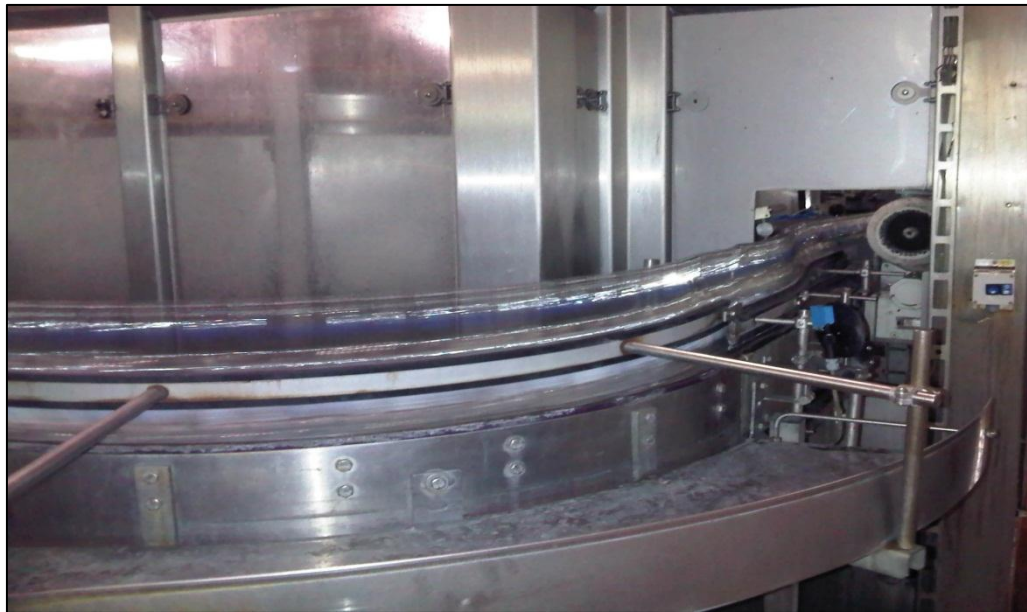
Standard Order	Run Order	Valor Actual	Valor Estimado	Residuos Internos Studentizados
81	137	57	59,5504866	-0,540313024
82	44	54	59,5504866	-1,175854125
83	94	67	59,5504866	1,578157312
84	145	58	59,5504866	-0,328465991
85	82	63	59,5504866	0,730769178
86	127	49	59,5504866	-2,235089294
87	75	60	59,5504866	0,095228077
88	17	69	59,5504866	2,00185138
89	103	59	59,5504866	-0,116618957
90	76	63	59,5504866	0,730769178
Varianza				1,431196593
91	62	90	83,7504866	1,323940872
92	37	94	83,7504866	2,171329006
93	30	76	83,7504866	-1,641917599
94	22	84	83,7504866	0,05285867
95	125	72	83,7504866	-2,489305734
96	6	89	83,7504866	1,112093838
97	122	86	83,7504866	0,476552737
98	89	84	83,7504866	0,05285867
99	41	81	83,7504866	-0,582682431
100	11	85	83,7504866	0,264705703
Varianza				1,718423254

Standard Order	Run Order	Valor Actual	Valor Estimado	Residuos Internos Studentizados
101	120	102	102,350487	-0,07424955
102	1	95	102,350487	-1,557178786
103	142	99	102,350487	-0,709790651
104	48	103	102,350487	0,137597483
105	77	99	102,350487	-0,709790651
106	55	108	102,350487	1,196832652
107	2	108	102,350487	1,196832652
108	81	112	102,350487	2,044220786
109	121	103	102,350487	0,137597483
110	69	98	102,350487	-0,921637685
Varianza				1,131403767
111	56	41	37,4504866	0,751953881
112	58	38	37,4504866	0,11641278
113	141	32	37,4504866	-1,154669422
114	114	36	37,4504866	-0,307281287
115	70	38	37,4504866	0,11641278
116	108	40	37,4504866	0,540106847
117	24	44	37,4504866	1,387494982
118	104	37	37,4504866	-0,095434254
119	106	30	37,4504866	-1,578363489
120	139	42	37,4504866	0,963800915
Varianza				0,76115065

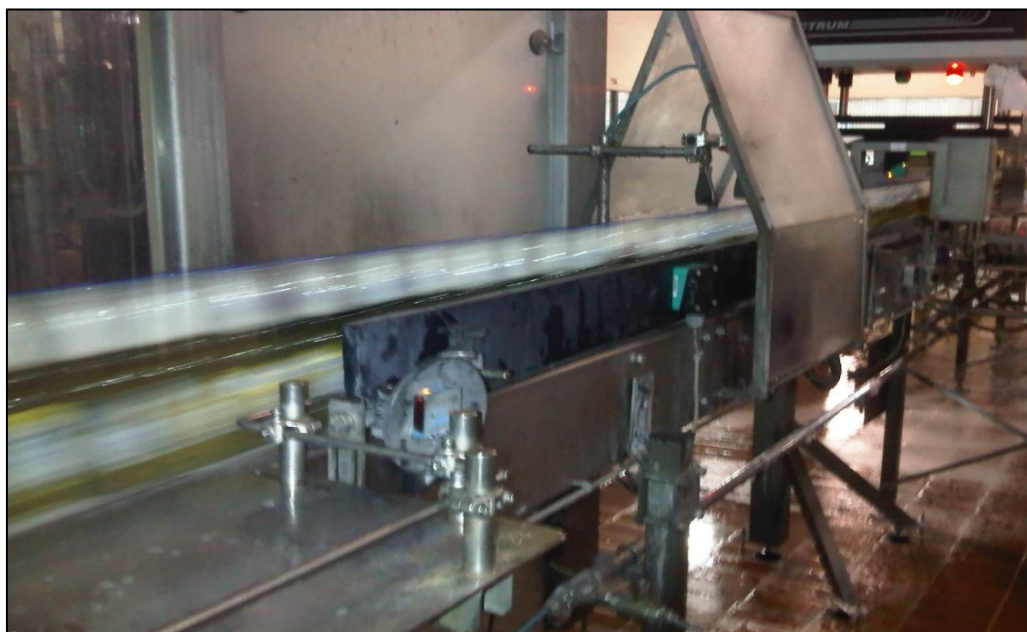
Standard Order	Run Order	Valor Actual	Valor Estimado	Residuos Internos Studentizados
121	135	73	73,4504866	-0,095434254
122	39	71	73,4504866	-0,519128321
123	32	77	73,4504866	0,751953881
124	117	70	73,4504866	-0,730975355
125	52	75	73,4504866	0,328259814
126	124	74	73,4504866	0,11641278
127	50	73	73,4504866	-0,095434254
128	13	78	73,4504866	0,963800915
129	138	78	73,4504866	0,963800915
130	88	69	73,4504866	-0,942822388
Varianza				0,420068991
131	3	69	62,8504866	1,302756168
132	90	63	62,8504866	0,031673966
133	31	61	62,8504866	-0,392020101
134	14	65	62,8504866	0,455368034
135	128	63	62,8504866	0,031673966
136	66	61	62,8504866	-0,392020101
137	78	60	62,8504866	-0,603867135
138	46	66	62,8504866	0,667215067
139	74	68	62,8504866	1,090909135
140	35	56	62,8504866	-1,451255269
Varianza				0,626513153

Standard Order	Run Order	Valor Actual	Valor Estimado	Residuos Internos Studentizados
141	97	66	70,4257908	-0,90559539
142	26	69	70,4257908	-0,29174211
143	40	69	70,4257908	-0,29174211
144	38	72	70,4257908	0,32211117
145	80	70	70,4257908	-0,08712435
146	110	67	70,4257908	-0,70097763
147	21	66	70,4257908	-0,90559539
Varianza				0,177727203

Anexo 4. Varianza de los residuos studentizados para cada tratamiento
(Nivel de Oxígeno)



Anexo 5. Entrada de botellas a la llenadora
Fuente: Propia



Anexo 6. Salida de botellas de la llenadora
Fuente: Propia