



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

**ESTANDARIZACIÓN DE LAS MEZCLAS DE ALIMENTACIÓN PARA LA
ELABORACIÓN DE PRODUCTOS DE POLIPROPILENO EN EL PROCESO
DE INYECCIÓN**

Myriam Gabriela Roque Bojorquez

Asesorado por el Ing. Jorge Emilio Godínez Lemus

Guatemala, julio de 2010

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESTANDARIZACIÓN DE LAS MEZCLAS DE ALIMENTACIÓN PARA LA
ELABORACIÓN DE PRODUCTOS DE POLIPROPILENO EN EL PROCESO
DE INYECCIÓN**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

MYRIAM GABRIELA ROQUE BOJORQUEZ

ASESORADO POR EL ING. JORGE EMILIO GODÍNEZ LEMUS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA QUÍMICA

GUATEMALA, JULIO DE 2010

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE LA JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Luis Pedro Ortiz de León
VOCAL V	Agr. José Alfredo Ortiz Herincx
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

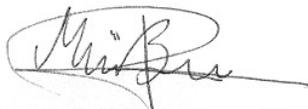
DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Jorge Emilio Godínez Lemus
EXAMINADOR	Ing. Victor Manuel Monzón Valdez
EXAMINADOR	Ing. Victor Herber de León Morales
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**ESTANDARIZACIÓN DE LAS MEZCLAS DE ALIMENTACIÓN PARA LA
ELABORACIÓN DE PRODUCTOS DE POLIPROPILENO EN EL PROCESO
DE INYECCIÓN,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, el 13 de julio de 2009.



Myriam Gabriela Roque Bojorquez

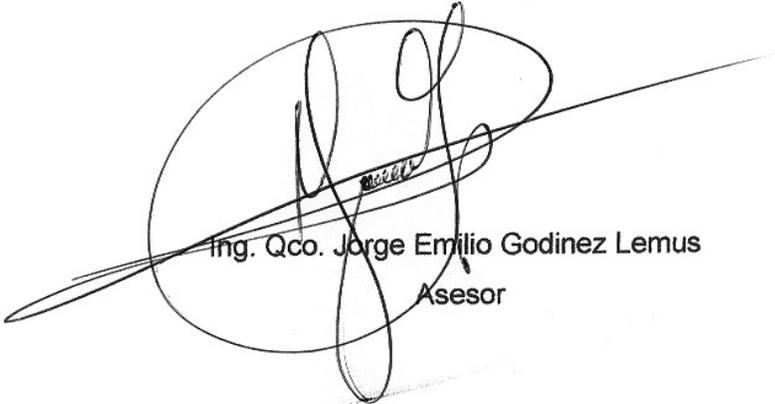
Guatemala, 09 de Abril de 2010

Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía
Director Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado Ingeniero:

Por medio de la presente hago constar que he revisado el informe final de trabajo de graduación titulado: ESTANDARIZACIÓN DE LAS MEZCLAS DE ALIMENTACIÓN PARA LA ELABORACIÓN DE PRODUCTOS DE POLIPROPILENO EN EL PROCESO DE INYECCIÓN, de la estudiante de Ingeniería Química Myriam Gabriela Roque Bojorquez, con carné 2003 – 12435, el cual llena los requisitos para ser aprobado.

Atentamente,



Ing. Qco. Jorge Emilio Godínez Lemus
Asesor



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

Guatemala, 19 de mayo de 2010
Ref.EIQ.TG.051-2010

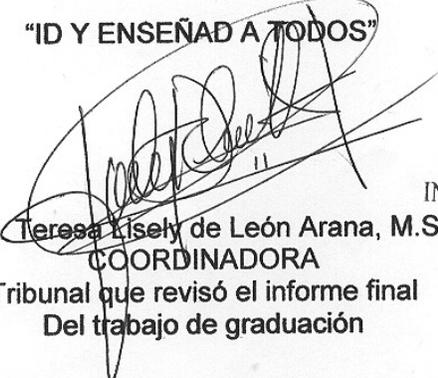
Ingeniero
Williams Guillermo Álvarez Mejía
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Presente.

Estimado Ingeniero Álvarez:

Como consta en el Acta TG-062-10-B-IF le informo que reunidos los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del informe final del trabajo de graduación, para optar al título de INGENIERA QUÍMICA a la estudiante universitaria **MYRIAM GABRIELA ROQUE BOJORQUEZ**, identificada con carné No. **2003-12435**, titulado: **ESTANDARIZACIÓN DE LAS MEZCLAS DE ALIMENTACIÓN PARA LA ELABORACIÓN DE PRODUCTOS DE POLIPROPILENO EN EL PROCESO DE INYECCIÓN**, el cual ha sido asesorado por el Ingeniero Químico **Jorge Emilio Godínez Lemus**.

Habiendo encontrado el referido informe final **satisfactorio**, se procede a recomendarle autorice a la estudiante **Roque Bojorquez**, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"


Inga Teresa Lisely de León Arana, M.Sc.
COORDINADORA
Tribunal que revisó el informe final
Del trabajo de graduación



ESCUELA DE
INGENIERIA QUIMICA

C.c.: archivo



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA.

Ref.EIQ.TG.059.2010

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar Informe del Trabajo de Graduación del (la) estudiante **MYRIAM GABRIELA ROQUE BOJORQUEZ** titulado: **"ESTANDARIZACIÓN DE LAS MEZCLAS DE ALIMENTACIÓN PARA LA ELABORACIÓN DE PRODUCTOS DE POLIPROPILENO EN EL PROCESO DE INYECCIÓN"**. Procede a la autorización del mismo, ya que reúne rigor, coherencia y calidad requeridos.



Ing. César Alfonso García Guerra
Director a.i.
Escuela de Ingeniería Química

Guatemala, julio de 2010



Cc: Archivo
CAGG/am

71 años FORMANDO INGENIEROS QUÍMICOS EN GUATEMALA

PROGRAMA DE INGENIERÍA
QUÍMICA ACREDITADO POR
Agencia Centroamericana de Acreditación de
Programas de Arquitectura y de Ingeniería
Período 2009 - 2012



Universidad de San Carlos
de Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG. 257.2010

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al trabajo de graduación titulado: **ESTANDARIZACIÓN DE LAS MEZCLAS DE ALIMENTACIÓN PARA LA ELABORACIÓN DE PRODUCTOS DE POLIPROPILENO EN EL PROCESO DE INYECCIÓN**, presentado por la estudiante universitaria **Myriam Gabriela Roque Bojorquez**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
DECANO



Guatemala, julio de 2010

/gdech

AGRADECIMIENTOS A:

PERSONAL DE EDECA, S.A.

Quienes con su colaboración e información brindada hicieron posible la elaboración de este informe.

ING. JORGE GODÍNEZ

Por todo el apoyo brindado para la realización del presente informe.

ÁREA DE CALIDAD, INVESTIGACIÓN
Y VINCULACIÓN DE LA ESCUELA DE
INGENIERÍA QUÍMICA, USAC

Por su orientación durante todo el proceso de elaboración de este informe.

DEDICATORIA A:

DIOS	Fuente inagotable de virtud y sabiduría.
MIS PADRES	Arnoldo Roque y Myriam Bojorquez de Roque, gracias por su ayuda y amor incondicional, y por la confianza depositada en mí.
MIS HERMANOS	Benjamin y Evelyn, por su apoyo y cariño recibidos.
MI FAMILIA EN GENERAL	Por su ayuda y cariño en todos los momentos de mi vida.
MIS AMIGOS	Especialmente a Cecilia Sucup, por su amistad y apoyo brindado durante todo este tiempo.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	III
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XIII
OBJETIVOS	XV
INTRODUCCIÓN	XVII
1. ANTECEDENTES	1
2. MARCO TEÓRICO	
2.1. Plástico	3
2.1.1. Características generales de los polímeros	4
2.1.2. Clasificación de los polímeros	5
2.1.3. Codificación de los polímeros	7
2.2. Proceso de Inyección	7
2.2.1. Maquinaria	8
2.2.2. Materiales utilizados en el proceso de Inyección	11
2.2.2.1. Polietileno	11
2.2.2.2. Poliestireno	11
2.2.2.3. Polipropileno	12
2.2.2.4. Concentrador de color	14
2.3. Reciclaje de polímeros	14
2.3.1. Reciclado mecánico	15
2.3.2. Reciclado químico	15

2.3.3. Reciclado de polipropileno	15
3. DISEÑO METODOLÓGICO	
3.1. Variables	17
3.2. Delimitación del campo de estudio	18
3.3. Recursos humanos disponibles	18
3.4. Recursos materiales disponibles	19
3.4.1. Materia prima	19
3.4.2. Equipo	19
3.5. Recolección y ordenamiento de la información	19
3.6. Métodos para análisis de resultados	20
4. RESULTADOS	21
5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	35
CONCLUSIONES	41
RECOMENDACIONES	43
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45
APÉNDICES	47

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Gráfico de pesos de formulación de prueba uno (Mezcla 20 veces)	22
2	Gráfico de pesos de formulación de prueba uno (Mezcla 30 veces)	22
3	Gráfico de pesos de formulación de prueba uno (Mezcla 40 veces)	23
4	Gráfico de pesos de formulación de prueba dos (Mezcla 20 veces)	23
5	Gráfico de pesos de formulación de prueba dos (Mezcla 30 veces)	24
6	Gráfico de pesos de formulación de prueba dos (Mezcla 40 veces)	24
7	Gráfico de pesos de formulación de prueba tres (Mezcla 20 veces)	25
8	Gráfico de pesos de formulación de prueba tres (Mezcla 30 veces)	25
9	Gráfico de pesos de formulación de prueba tres (Mezcla 40 veces)	26
10	Gráfico de pesos de formulación de prueba cuatro (Mezcla 20 veces)	26
11	Gráfico de pesos de formulación de prueba cuatro (Mezcla 30 veces)	27
12	Gráfico de pesos de formulación de prueba cuatro (Mezcla 40 veces)	27
13	Gráfico de pesos de formulación de prueba cinco (Mezcla 20 veces)	28
14	Gráfico de pesos de formulación de prueba cinco (Mezcla 30 veces)	28
15	Gráfico de pesos de formulación de prueba cinco (Mezcla 40 veces)	29
16	Gráfico de pesos de formulación de prueba seis (Mezcla 20 veces)	29
17	Gráfico de pesos de formulación de prueba seis (Mezcla 30 veces)	30
18	Gráfico de pesos de formulación de prueba seis (Mezcla 40 veces)	30
19	Gráfico de pesos de formulación de prueba siete (Mezcla 20 veces)	31
20	Gráfico de pesos de formulación de prueba siete (Mezcla 30 veces)	31
21	Gráfico de pesos de formulación de prueba siete (Mezcla 40 veces)	32
22	Comparación entre producto final de formulación uno y estándar	75

23	Comparación entre producto final de formulación dos y estándar	76
24	Comparación entre producto final de formulación tres y estándar	77
25	Comparación entre producto final de formulación cuatro y estándar	78
26	Comparación entre producto final de formulación cinco y estándar	79
27	Comparación entre producto final de formulación seis y estándar	80
28	Comparación entre producto final de formulación siete y estándar	81

TABLAS

I	Codificación internacional para los distintos polímeros	7
II	Material de reproceso obtenido	21
III	Resultados cualitativos de las formulaciones de prueba	22
IV	Análisis estadístico de los resultados	33
V	Recopilación de formulaciones actuales (Turno 1)	51
VI	Recopilación de formulaciones actuales (Turno 2)	51
VII	Material de reproceso (Turno 1)	52
VIII	Material de reproceso (Turno 2)	52
IX	Formulaciones de prueba	53
X	Formulación de prueba uno (Mezcla 20 veces)	54
XI	Formulación de prueba uno (Mezcla 30 veces)	55
XII	Formulación de prueba uno (Mezcla 40 veces)	56
XIII	Formulación de prueba dos (Mezcla 20 veces)	57
XIV	Formulación de prueba dos (Mezcla 30 veces)	58
XV	Formulación de prueba dos (Mezcla 40 veces)	59
XVI	Formulación de prueba tres (Mezcla 20 veces)	60

XVII	Formulación de prueba tres (Mezcla 30 veces)	61
XVIII	Formulación de prueba tres (Mezcla 40 veces)	62
XIX	Formulación de prueba cuatro (Mezcla 20 veces)	63
XX	Formulación de prueba cuatro (Mezcla 30 veces)	64
XXI	Formulación de prueba cuatro (Mezcla 40 veces)	65
XXII	Formulación de prueba cinco (Mezcla 20 veces)	66
XXIII	Formulación de prueba cinco (Mezcla 30 veces)	67
XXIV	Formulación de prueba cinco (Mezcla 40 veces)	68
XXV	Formulación de prueba seis (Mezcla 20 veces)	69
XXVI	Formulación de prueba seis (Mezcla 30 veces)	70
XXVII	Formulación de prueba seis (Mezcla 40 veces)	71
XXVIII	Formulación de prueba siete (Mezcla 20 veces)	72
XXIX	Formulación de prueba siete (Mezcla 30 veces)	73
XXX	Formulación de prueba siete (Mezcla 40 veces)	74
XXXI	Análisis estadístico de la formulación uno	83
XXXII	Análisis estadístico de la formulación dos	83
XXXIII	Análisis estadístico de la formulación tres	83
XXXIV	Análisis estadístico de la formulación cuatro	84
XXXV	Análisis estadístico de la formulación cinco	84
XXXVI	Análisis estadístico de la formulación seis	84
XXXVII	Análisis estadístico de la formulación siete	85

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
°C	Grados Celsius
%	Porcentaje
Kg	Kilogramo
g	Gramo
M.P.	Materia Prima
No.	Número
Vo.Bo.	Visto Bueno
✘	En el análisis de color significa que el resultado de la prueba tiene una tonalidad menor a la del estándar. En el análisis de aplicación significa que el resultado de la prueba se rompe fácilmente.
✓	En el análisis de color significa que el resultado de la prueba tiene una tonalidad parecida o mayor a la del estándar. En el análisis de aplicación significa que el resultado de la prueba no se rompe fácilmente.
\bar{x}	Media de la muestra
x_i	Cada uno de los valores de la muestra
n	Tamaño de la muestra
S	Desviación estándar
LS	Límite superior

LI	Límite inferior
μ	Media de la población
σ	Desviación estándar de la población

GLOSARIO

Cañón	Cámara a temperatura controlada en la que el husillo gira concéntricamente, con una separación milimétrica entre ambos elementos, para fundir el polímero alimentado.
Estandarización	Fijación de las características y composición de los productos ajustándolos a un patrón, modelo o norma.
Extrusión	Es un proceso industrial en el que el polímero fundido es forzado a pasar a través de una boquilla, por medio del empuje generado por el husillo que gira concéntricamente a temperaturas controladas en el cañón.
Formulación	Expresión de la composición de un producto en términos claros y precisos.
Homogenización	Es un término que connota un proceso por el que se hace que una mezcla presente las mismas propiedades en toda la sustancia.

Husillo	Es un tornillo fijado por un extremo a un motor que lo hace girar a una velocidad angular previamente decidida en los procesos de Moldeo por inyección y extrusión. Este husillo tiene un canal separado por álabes que sirven para cortar y empujar el flujo.
Índice de fluidez	Es una prueba reológica básica que se realiza a un polímero para conocer su fluidez. Se mide en gr/10min. Se define como la cantidad de material (medido en gramos) que fluye a través del orificio de un dado capilar en 10 minutos, manteniendo constantes presión y temperatura estándares.
Inerte	Elemento o compuesto que no reacciona con otros elementos o compuestos.
Plastificación	Llevar a un polímero al estado plástico.
Polimerización	Reacción mediante la cual se unen moléculas de bajo peso para formar polímeros.
Termoformado	Proceso en el que se da forma a un polímero mediante calor.
Tolva	Depósito en forma de cono invertido y abierto por abajo, en cuyo interior se vierte la materia

prima para que caiga poco a poco en el cañón de la maquinaria de inyección.

Trazabilidad

Procedimientos preestablecidos que permiten conocer el histórico, la ubicación y la trayectoria de un producto o lote de productos a lo largo de la cadena de suministros en un momento dado, a través de unas herramientas determinadas.

Valorización energética

Se refiere al material plástico de post-consumo (residuo) que es incinerado, ya que el plástico es un excelente combustible que posee un poder calorífico similar al del gas natural.

Viscosidad

Medida de la resistencia de un líquido a fluir.

RESUMEN

La estandarización de las proporciones con que se mezclan los diferentes componentes de la alimentación de materia prima en los procesos es necesaria para obtener productos homogéneos y que cumplan con ciertos requerimientos.

La investigación realizada tuvo como objetivo primordial establecer la formulación estándar para la elaboración de productos de polipropileno en el proceso de inyección. Inicialmente se recopilaron las diferentes mezclas de alimentación utilizadas hasta el momento, además de que se determinó que la cantidad aproximada de material de reproceso que se produce a partir de una cantidad base de mezcla de alimentación es del 13%, siendo este el límite de material de reproceso ha utilizar. A partir de esta información se propusieron y realizaron formulaciones de prueba a distintas proporciones. Por último se evaluaron las características finales (color, aplicación y peso) de los productos de cada formulación, eligiéndose la formulación que tiene un 87 % de material virgen, 12.51% de material de reproceso y un 0.49% de colorante ya que los resultados cumplen con las especificaciones establecidas y el óptimo uso de recursos. Además se elaboró un medio de control y registro de las formulaciones para asegurarse de que se sigue un procedimiento correcto en la elaboración de los productos y el uso de los recursos.

ABSTRACT

The standardization of the proportions with which mix the different components of the feed material in the processes is necessary to obtain homogeneous products and that meet certain requirements.

The realised investigation had like fundamental objective to establish the standard formulation for the polypropylene product elaboration in the process of injection. Initially the different used mixtures of feeding were compiled until the moment, also it was determined that the approximate amount of reprocess material that is produced from a base amount of feed mixture was 13%, being the limit has used material for reprocessing. From this information were proposed and carried out test formulations varying proportions. Finally the final characteristics (color, application and weight) of products of each formulation were evaluated, choosing the formulation that has a 87% of virgin material 12,51% of reprocess material and a 0,49% of colouring as the results meet the specifications and optimal use of resources. It also developed a means of control and registration of formulations to ensure that correct procedure is followed in the development of products and use of resources.

OBJETIVOS

General:

Estandarizar las mezclas de alimentación que se utilizan en el proceso de Inyección, para la obtención de productos de composición y calidad uniforme.

Específicos:

1. Determinar la cantidad aproximada de material de reproceso que se produce, a partir de una cantidad base de alimentación.
2. Realizar varias pruebas de las formulaciones a distintas proporciones y elegir la formulación que cumpla con las especificaciones establecidas y el mejor uso de recursos.
3. Proponer un formato de control y registro de la formulación elegida.

INTRODUCCIÓN

Las proporciones con que se mezclan los diferentes componentes para la elaboración de productos desechables de polipropileno no se encuentran establecidas, por lo que cada empresa es la encargada de fijarlas de acuerdo a sus posibilidades. Debido a esto es usual que exista una falta de estandarización y control en las diferentes mezclas de alimentación.

Muchas veces las proporciones con que se mezclan las materias primas son conocidas por los trabajadores de generación en generación, sin que existan o estén detalladas por escrito, además de que cada uno tiene una manera distinta de entenderla, por lo que el producto no es uniforme.

Debido a lo anterior, fue necesario recopilar las proporciones de las mezclas que se estaban utilizando y determinar como utilizar los recursos de la mejor manera posible sin afectar el producto final, con lo cual la investigación realizada buscó estandarizar las formulaciones.

Después de una serie de pruebas se eligió la fórmula que cumple con las condiciones anteriores y se implementó un medio de control y registro de ésta para asegurarse que se sigue un procedimiento correcto en la elaboración de los productos y el uso de los recursos.

1. ANTECEDENTES

En la empresa en la que se llevó a cabo la parte experimental de la investigación se trabaja a dos turnos, incluyendo el área de Inyección en la cual se elaboran diferentes productos plásticos. Debido a lo anterior, los trabajadores del área deben adicionar en las máquinas una mezcla de alimentación, la cual depende del tipo de producto a elaborar.

Dentro de los componentes que se utilizan para las diferentes mezclas se encuentran la materia prima virgen (polipropileno, poliestireno, etc.), colorante sólido (Master Bach) y material de reproceso, el cual se obtiene de los residuos de la elaboración de los productos plásticos.

La preparación de ésta mezcla no está a cargo de un solo trabajador, por lo que cada vez que se prepara varían las proporciones de los componentes antes mencionados, ya que como no se cuenta con una formulación estandarizada para cada producto, es el trabajador, quien por experiencia, se encarga de mezclar las proporciones que a su criterio son las correctas.

Lo que se pretende con la estandarización es que se utilice de manera adecuada los recursos disponibles, ya que el principal inconveniente se da en el caso particular del material de reproceso, porque se desconoce la cantidad o porcentaje en que se adiciona al material virgen.

Debido a lo anterior los productos tienen composiciones diferentes, lo cual puede causar una pérdida para la empresa si es que se origina algún reclamo o rechazo del producto.

Por lo tanto, la estandarización de las proporciones de mezclado es necesaria para elaborar productos que cumplan con las especificaciones establecidas por la empresa, además de ofrecer a los distintos consumidores productos de calidad y composición uniforme.

2. FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1. Plástico

En su significado más general, el término plástico se aplica a las sustancias de distintas estructuras y naturalezas que carecen de un punto fijo de ebullición y poseen, durante un intervalo de temperaturas, propiedades de elasticidad y flexibilidad que permiten moldearlas y adaptarlas a diferentes formas y aplicaciones.

Sin embargo, en sentido restringido, representa ciertos tipos de materiales sintéticos obtenidos mediante fenómenos de polimerización o multiplicación artificial de los átomos de carbono en las largas cadenas moleculares de compuestos orgánicos derivados del petróleo y otras sustancias naturales.

De hecho plástico se refiere a un estado del material no al material en sí. Los polímeros sintéticos habitualmente llamados plásticos, son en realidad materiales sintéticos que pueden alcanzar el estado plástico, esto es cuando el material se encuentra viscoso o fluido, y no tiene propiedades de resistencia a esfuerzos mecánicos. Este estado se alcanza cuando el material en estado sólido se transforma en estado plástico generalmente por calentamiento, y es ideal para los diferentes procesos productivos ya que en este estado es cuando el material puede manipularse de las distintas formas que existen en la

actualidad. Así que la palabra plástico es una forma de referirse a materiales sintéticos capaces de entrar en un estado plástico, pero plástico no es necesariamente el grupo de materiales a los que cotidianamente hace referencia esta palabra.

2.1.1. Características generales de los polímeros

Los polímeros se producen por la unión de cientos de miles de moléculas pequeñas denominadas monómeros que forman enormes cadenas de formas diferentes.

Proporcionan el balance necesario de propiedades que no pueden lograrse con otros materiales por ejemplo: color, poco peso, tacto agradable y resistencia a la degradación ambiental y biológica.

Los polímeros se caracterizan por una relación resistencia/densidad alta, unas propiedades excelentes para el aislamiento térmico y eléctrico y una buena resistencia a los ácidos, álcalis y disolventes.

Las enormes moléculas de las que están compuestos pueden ser lineales, ramificadas o entrecruzadas, dependiendo del tipo de polímero. Las moléculas lineales y ramificadas son termoplásticas (se ablandan con el calor), mientras que las entrecruzadas son termoestables (se endurecen con el calor).

Lo que distingue a los polímeros de los materiales constituidos por moléculas de tamaño normal son sus propiedades mecánicas. En general, los

polímeros tienen una muy buena resistencia mecánica debido a que las grandes cadenas poliméricas se atraen.

2.1.2. Clasificación de los polímeros

- Según el monómero base

- Naturales: Son los polímeros cuyos monómeros son derivados de productos de origen natural (celulosa y la caseína).
- Sintéticos: Son aquellos que tienen origen en productos elaborados por el hombre, principalmente derivados del petróleo.

- Según su comportamiento frente al calor

- Termoplásticos: son los polímeros los cuales, a temperatura ambiente son plásticos o deformables, se derriten a un líquido cuando son calentados y se endurecen en un estado vítreo cuando son suficientemente enfriados. Después de calentarse y moldearse estos pueden recalentarse y formar otros objetos. Los principales son: resinas celulósicas (rayón), polietilenos y derivados (PVC, metacrilato).
- Termoestables: son los polímeros que una vez que han sufrido el proceso de calentamiento-fusión y formación-solidificación, se convierten en materiales rígidos que no vuelven a fundirse. Los principales son: polímeros del fenol, resinas epoxi, resinas melamínicas, baquelita.
- Elastómeros: se componen de largas cadenas que se encuentran unidas entre si por muy pocas uniones químicas. Esto les permite un gran movimiento intermolecular que se ve reflejado en su buena flexibilidad. Son materiales que tienen memoria, es decir que al someterlos a un esfuerzo modifican su forma, recuperándola cuando se retira ese

esfuerzo. Debido a las uniones químicas que existen entre las moléculas no se les puede volver a procesar.

- Según la reacción de síntesis

- Polímeros de adición: los monómeros se unen sin que las moléculas pierdan átomos. Algunos ejemplos de polímeros de adición son el polietileno, el polipropileno y el politetrafluoroetileno (teflón).
- Polímeros de condensación: los monómeros se unen con la eliminación simultánea de átomos o grupos de átomos. Algunos polímeros de condensación son las poliamidas, los poliésteres y ciertos poliuretanos.

- Según su estructura molecular

- Amorfos: polímeros en los que las moléculas no presentan ningún tipo de orden; están dispuestas aleatoriamente. Al no tener orden entre cadenas se crean unos huecos por los que pasa la luz, por esta razón los polímeros amorfos son transparentes.
- Semicristalinos: tienen zonas con cierto tipo de orden junto con zonas amorfas. En este caso al tener un orden existen menos huecos entre cadenas por lo que no pasa la luz a no ser que posean un espesor pequeño.
- Cristalinos: Según la velocidad de enfriamiento, puede disminuirse (enfriamiento rápido) o incrementarse (enfriamiento lento) el porcentaje de cristalinidad de un polímeros semicristalino, sin embargo, un polímero amorfo, no presentará cristalinidad aunque su velocidad de enfriamiento sea extremadamente lenta.

2.1.3. Codificación de los polímeros

Existe una gran variedad de polímeros y para clasificarlos existe un sistema de codificación que se muestra en la Tabla I. Los productos llevan una marca que consiste en el símbolo internacional de reciclado con el código correspondiente en medio según el material específico.

Tabla I Codificación internacional para los distintos polímeros

Tipo de polímero:	Polietileno Tereftalato	Polietileno de alta densidad	Policloruro de vinilo	Polietileno de baja densidad	Polipropileno	Poliestireno
Acrónimo	PET	PEAD/ PEHD	PVC	PEBD/ PELD	PP	PS
Código	1	2	3	4	5	6
Símbolo						

Fuente: "Polipropileno | Textos Científicos" <http://www.textoscientificos.com/polimeros/polipropileno>.

2.2. Proceso de Inyección

Es un proceso semicontinuo y es realizado totalmente por una sola máquina llamada inyectora con su correspondiente equipo auxiliar o periférico.

El proceso de inyección consiste básicamente en:

- a) Plastificar y homogenizar con ayuda de calor el polímero que ha sido alimentado en la tolva y el cual entrará por la garganta del cilindro.

- b) Inyectar el material fundido por medio de presión en las cavidades del molde, del cual tomará la forma o figura que tenga dicho molde.
- c) En el tiempo en el que el polímero se enfría dentro del molde se está llevando a cabo el paso “a”, posteriormente se abre el molde y expulsa la pieza moldeada.

El moldeo por inyección es una técnica muy popular para la fabricación de artículos muy diferentes ya que no contamina el ambiente de forma directa, no emite gases ni desechos acuosos, con bajos niveles de ruido.

La popularidad de este método se explica con la versatilidad de piezas que pueden fabricarse, la rapidez de fabricación, altos niveles de producción y bajos costos, alta o baja automatización según el costo de la pieza, geometrías muy complicadas que serían imposibles por otras técnicas, las piezas moldeadas requieren muy poco o nulo acabado pues son terminadas con la rugosidad de superficie deseada, color y transparencia u opacidad.

2.2.1. Maquinaria

Las partes más importantes de la máquina son:

- **Unidad de inyección**

La función principal de la unidad de inyección es la de fundir, mezclar e inyectar el polímero. Para lograr esto se utilizan husillos de diferentes características según el polímero que se desea fundir.

El proceso de fusión involucra un incremento en el calor del polímero, que resulta del aumento de temperatura y de la fricción entre el barril y el husillo. La fricción y esfuerzos cortantes son básicos para una fusión eficiente, dado que los polímeros no son buenos conductores de calor. Un incremento en temperatura disminuye la viscosidad del polímero fundido; lo mismo sucede al incrementar la velocidad de corte. Por ello ambos parámetros deben ser ajustados durante el proceso.

La unidad de inyección es en origen una máquina de extrusión con un solo husillo, teniendo en el barril calentadores y sensores para mantener una temperatura programada constante. La profundidad entre el canal y el husillo disminuye de forma gradual (o drástica, en aplicaciones especiales) desde la zona de alimentación hasta la zona de dosificación. De esta manera, la presión en el barril aumenta gradualmente. El esfuerzo mecánico, de corte y la compresión añaden calor al sistema y funden el polímero más eficientemente que si hubiera únicamente calor, siendo ésta la razón fundamental por la cual se utiliza un husillo.

Una diferencia sustancial con respecto al proceso de extrusión es la existencia de una parte extra llamada cámara de reserva. Es allí donde se acumula el polímero fundido para ser inyectado.

- **Unidad de cierre**

Es el componente de la máquina que sostiene el molde, efectúa el cierre y la apertura del mismo. Es una prensa hidráulica o mecánica, con una fuerza de cierre bastante grande que contrarresta la fuerza ejercida por el polímero

fundido al ser inyectado en el molde. Si la fuerza de cierre es insuficiente, el material escapará por la unión del molde, causando así que el molde tienda a abrirse.

▪ **Molde**

El molde es la parte más importante de la máquina de inyección, ya que es el espacio donde se genera la pieza; para producir un producto diferente, simplemente se cambia el molde, al ser una pieza intercambiable que se atornilla en la unidad de cierre.

Las partes del molde son:

- Cavidad: es el volumen en el cual la pieza será moldeada.
- Canales o ductos: son conductos a través de los cuales el polímero fundido fluye debido a la presión de inyección.
- Canales de enfriamiento: Son canales por los cuales circula refrigerante (el más común agua) para regular la temperatura del molde. Su diseño es complejo y específico para cada pieza y molde, esto en vista de que la refrigeración debe ser lo más homogénea posible en toda la cavidad y en la parte fija como en la parte móvil, esto con el fin de evitar los efectos de contracción.
- Barras expulsoras: al abrir el molde, estas barras expulsan la pieza moldeada fuera de la cavidad.

2.2.2. Materiales utilizados en el proceso de Inyección

2.2.2.1. Polietileno

El polietileno (PE) es químicamente el polímero más simple. Por su alta producción mundial es también el más barato, siendo uno de los polímeros más comunes. Es químicamente inerte. Se obtiene de la polimerización del etileno.

Los polietilenos pueden clasificarse en:

- Polietileno de baja densidad (PEBD, en inglés conocido como PE-LD).
- Polietileno lineal de baja densidad (PELBD, en inglés LLDPE).
- Polietileno de alta densidad (PEAD, en inglés PE-HD).
- Polietileno de ultra alto peso molecular (UHWPE).
- Polietileno de alta densidad alto peso molecular (HMW-HDPE).

El polietileno se usa para diferentes tipos de productos finales, para cada uno de ellos se utilizan también diferentes procesos, entre los más comunes se encuentran:

- Extrusión: película, cables, hilos, tuberías.
- Moldeo por inyección: partes en tercera dimensión con formas complicadas
- Inyección y soplado: botellas de diferentes tamaños

2.2.2.2. Poliestireno

El poliestireno (PS) es un polímero termoplástico que se obtiene de la polimerización del estireno. Existen tres tipos principales: el PS cristal, que es transparente, rígido y quebradizo; el PS choque, resistente y opaco, y el PS

expandido, muy ligero. Las aplicaciones principales del PS choque y el PS cristal son la fabricación de envases mediante extrusión-termoformado y de objetos diversos mediante moldeo por inyección. La forma expandida se emplea principalmente como aislante térmico en construcción.

Las ventajas principales del poliestireno son su facilidad de uso y su costo relativamente bajo. Sus principales desventajas son su baja resistencia a la alta temperatura (se deforma a menos de 100°C) y su resistencia mecánica modesta. Estas ventajas y desventajas determinan las aplicaciones de los distintos tipos de poliestireno:

- El poliestireno choque se utiliza principalmente en la fabricación de objetos mediante moldeo por inyección. Algunos ejemplos: impresoras, puertas, juguetes.
- El poliestireno cristal se utiliza también en moldeo por inyección allí donde la transparencia y el bajo costo son importantes. Ejemplos: cajas de CD, cubiertos.

2.2.2.3. Polipropileno

El polipropileno (PP) es el polímero termoplástico, parcialmente cristalino, que se obtiene de la polimerización del propileno. Pertenece al grupo de las poliolefinas y es utilizado en una amplia variedad de aplicaciones que incluyen empaques para alimentos, tejidos, equipo de laboratorio, componentes automotrices y películas transparentes.

Entre los tipos de polipropileno se encuentran:

PP homopolímero

Se denomina homopolímero al PP obtenido de la polimerización de propileno puro. Según su estructura química, se distinguen tres tipos:

- PP atáctico: Material completamente amorfo, tiene pocas aplicaciones.
- PP isotáctico: La distribución regular de los grupos metilo le otorga una alta cristalinidad, entre 70 y 80%. Es el tipo más utilizado en la actualidad.
- PP sindiotáctico: Muy poco cristalino, lo cual le hace ser más elástico que el PP isotáctico pero también menos resistente.

PP copolímero

Al añadir entre un 5 y un 30% de etileno en la polimerización se obtiene un copolímero que posee mayor resistencia al impacto que el PP homopolímero. Existen, a su vez, dos tipos:

- Copolímero estadístico: El etileno y el propileno se introducen a la vez en un mismo reactor, resultando cadenas de polímero en las que ambos monómeros se alternan de manera aleatoria.
- Copolímero en bloques: En este caso primero se lleva a cabo la polimerización del propileno en un reactor y luego, en otro reactor, se añade etileno que polimeriza sobre el PP ya formado, obteniéndose así cadenas con bloques homogéneos de PP y PE. La resistencia al impacto de estos copolímeros es muy alta, por lo que se les conoce como PP impacto o PP choque.

El PP es transformado mediante muchos procesos diferentes. Los más utilizados son:

- Moldeo por inyección de una gran diversidad de piezas, desde juguetes hasta parachoques de automóviles
- Moldeo por soplado de recipientes huecos como por ejemplo botellas o depósitos de combustible
- Extrusión de perfiles, láminas y tubos.

2.2.2.4. Concentrado de color

Los concentrados de color (en inglés Masterbatch) son polímeros altamente cargados con pigmento, colorantes, ceras dispersantes y otros aditivos que sirven para colorear un polímero. Son la forma más económica de colorear un polímero, el cual se diseña con características de índice de fluidez y viscosidad acordes al polímero que se desea procesar.

Con los concentrados de color se puede cambiar de un color a otro de manera rápida, sencilla y limpia. Los concentrados de color son mezclados en la tolva por medios manuales, mecánicos o con robots.

El concentrado de color debe tener un porcentaje de aplicación de entre 0.5 - 5% en usos promedio. La forma correcta de dosificar un concentrado de color es tomando como base el 100% del polímero.

2.3. Reciclaje de polímeros

El primer paso para el reciclado es hacer la recogida selectiva de los polímeros. Posteriormente se clasifican según los colores y se procede a su lavado y compactado. Una vez recogido y almacenado el polímero se procede a

clasificarlo según su composición, este proceso se lleva a cabo según las diferentes características físicas de los polímeros. El reciclado se puede realizar de dos maneras: reciclaje mecánico o químico.

2.3.1. Reciclado mecánico

El polímero recuperado, convenientemente prensado y embalado, llega a la planta de reciclado donde comienza la etapa de regenerado del material:

- triturado
- lavado purificación
- extrusión o inyección

Solamente se pueden reciclar mecánicamente los termoplásticos (PEAD, PP, PET, PS).

2.3.2. Reciclado químico

Esta alternativa se logra sometiendo al polímero a diversos procesos químicos para descomponerlo en componentes mas sencillos: Por descomposición térmica en ausencia de oxígeno, por tratamiento con hidrógeno a altas temperaturas, por gasificación o tratamiento con disolventes que lo descomponen y puedan ser utilizados nuevamente como materias primas en plantas petroquímicas.

2.3.3. Reciclaje del polipropileno

Los métodos más utilizados para el reciclaje del polipropileno son la extrusión y la inyección (reciclaje mecánico) y es importante destacar que los

polímeros no se pueden someter a reciclaje de forma ilimitada, ya que el producto que se va obteniendo va siendo de menor calidad. Cuando la materia está ya muy deteriorada se optaría por la valorización energética.

Los usos que se le da al polipropileno una vez reciclado son muy variados, como por ejemplo: material de oficina, maceteros y materiales para la jardinería, bolsas, productos de la industria automovilística, tapicería (mediante hilado en fibras e hilos continuos), mobiliario urbano.

Aquellos materiales de polipropileno que están demasiado degradados, y no resultaría rentable su reciclaje, son los elegidos para someterse a valorización energética, mediante incineración, para aprovechar la energía que está contenida dentro de ellos y poder generar así energía eléctrica o térmica.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Variables

Las variables consideradas fueron: las proporciones en que se mezclan el material de reproceso y el colorante con base a la cantidad de materia prima virgen, el método de mezcla de los materiales y las características de los productos finales que se obtuvieron.

- Proporción del material de reproceso en la mezcla

El material de reproceso se refiere al material sobrante que resulta del proceso de Inyección al obtener el producto final. La proporción de este material varió en las diferentes pruebas realizadas. Esta variable es independiente de tipo cuantitativo.

- Proporción de colorante en la mezcla

La proporción de este material varió en las diferentes pruebas realizadas. Esta variable es independiente de tipo cuantitativo.

- Método de mezcla

La forma en que se mezclan la materia prima virgen, el material de reproceso y el colorante es de tipo manual por lo que se estudió si el grado de mezcla influyó en las características del producto final. Esta variable es independiente de tipo cuantitativo.

- Características del producto final

Dentro de las características del producto final que se evaluaron se encuentran el color, la aplicación y el peso. El color es una variable dependiente de tipo cualitativo. La aplicación se refiere a la evaluación de la funcionalidad del producto final, esta variable es dependiente de tipo cualitativo. El peso es una variable dependiente de tipo cuantitativo.

3.2. Delimitación del campo de estudio

Se efectuó un estudio exploratorio – experimental con los componentes de las mezclas de alimentación utilizados en el proceso de Inyección del área de producción de una empresa que elabora productos plásticos desechables.

El universo de estudio fueron los productos de polipropileno, específicamente los tenedores de color blanco.

La selección de la muestra se tomó de forma aleatoria por racimos, ya que los tenedores se producen en conjuntos de 24 unidades. Por lo que se eligieron de manera aleatoria 5 racimos de tenedores, de los cuales se eligieron, también de manera aleatoria, sólo 5 unidades por racimo, obteniéndose un tamaño de muestra de 25 unidades por prueba.

3.3. Recursos humanos disponibles

Tesista:	Br. Myriam Gabriela Roque Bojorquez
Asesor:	Ing. Qco. Jorge Emilio Godinez Lemus

3.4. Recursos materiales disponibles

3.4.1. Materia prima

Materia prima virgen (polipropileno)

Colorante sólido

Material de reproceso

3.4.2. Equipo

Balanza

3.5. Recolección y ordenamiento de la información

Para experimentar con las proporciones de los componentes para las mezclas de alimentación, en primer lugar se recopilaron las diferentes formulaciones utilizadas hasta el momento, mediante el formato que se encuentra en los anexos.

Luego se determinó la cantidad aproximada de material de reproceso que se produce a partir de una cantidad base de mezcla de alimentación para establecer el límite de material de reproceso ha utilizar en las mezclas de alimentación para suplir de este material a la siguiente mezcla. Los datos obtenidos se registraron en el formato que se encuentra en los anexos.

Conociendo el límite de material de reproceso se propusieron y realizaron pruebas a distintas proporciones hasta determinar cual de las formulaciones propuestas fue la que cumplió tanto con el uso adecuado de los recursos disponibles como con las especificaciones establecidas. Además de que se

evaluaron diferentes grados de mezcla en cada prueba para determinar si influye en el producto final.

Por último, se documentaron los resultados obtenidos para su posterior análisis. Esto se hizo en un formato, que se encuentra en los anexos, en el que se colocaron las diferentes formulaciones de prueba realizadas, con las cantidades base de los componentes utilizados, los porcentajes que representan, el grado de mezcla y las características finales obtenidas.

3.6. Métodos para análisis de resultados

El análisis de las muestras para verificación de tonalidades de color obtenidas de cada prueba se hizo mediante inspección visual, quedando registrado mediante fotografías en las que se compara el resultado de la prueba y un estándar.

El análisis de aplicación de las muestras consistió en evaluar si la muestra es funcional a partir de medios manuales, es decir, si la muestra se rompe o no fácilmente.

En el análisis de pesos de las muestras se procedió a pesar cada muestra obtenida de las diferentes pruebas y se determinó la media, la desviación estándar y los límites superiores e inferiores con el fin de observar si las diferentes formulaciones propuestas influyeron en el producto final y si se cumplieron las especificaciones establecidas.

4. RESULTADOS

Tabla II Material de reproceso obtenido

Turno	Cantidad Base (Kg)*	Cantidad de Reproceso (Kg)
1	25	3.26
2	25	3.24
PROMEDIO	25	3.25

Fuente: Tabla VII y Tabla VIII

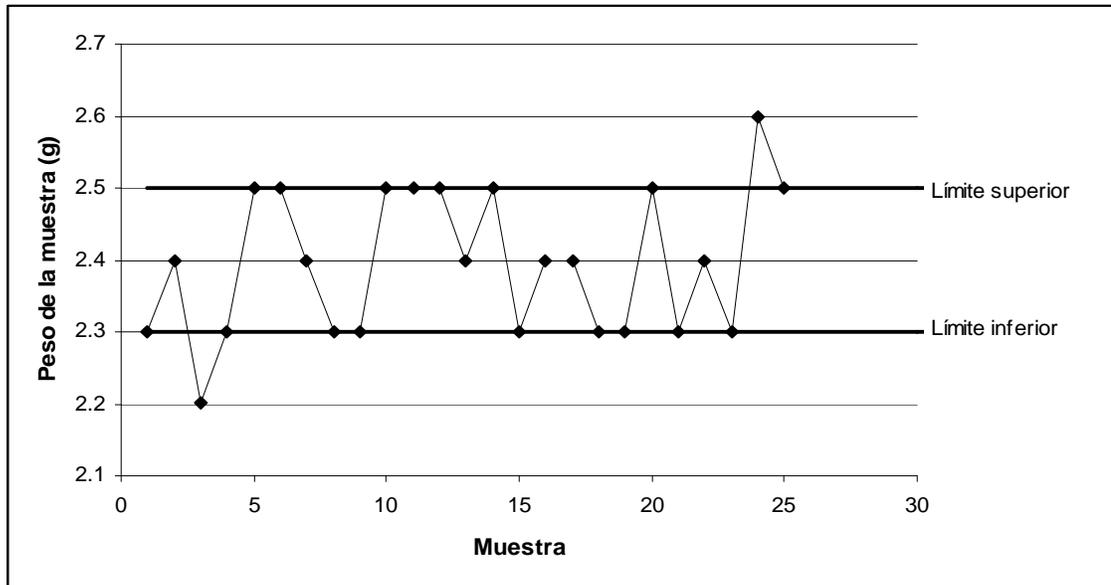
* $1 \text{ Kg de alimentación base} \times \frac{3.25 \text{ Kg de reproceso}}{25 \text{ Kg de alimentación base}} = 0.13 \text{ Kg reproceso}$

Tabla III Resultados cualitativos de las formulaciones de prueba

Prueba	Componentes	Porcentaje (%)	Mezcla (veces)	Análisis de color	Análisis de aplicación
1	Polipropileno	-	20	Blanco	Funcional
	Colorante		30		
	Reproceso		40		
2	Polipropileno	84.18	20	Blanco	Funcional
	Colorante	0.67	30		
	Reproceso	15.15	40		
3	Polipropileno	80.21	20	Blanco pálido	Funcional
	Colorante	0.55	30		
	Reproceso	19.25	40		
4	Polipropileno	87.07	20	Blanco pálido	Funcional
	Colorante	0.39	30		
	Reproceso	12.54	40		
5	Polipropileno	99.32	20	Muy blanco	Funcional
	Colorante	0.68	30		
	Reproceso	0.00	40		
6	Polipropileno	80.28	20	Blanco	Funcional
	Colorante	0.45	30		
	Reproceso	19.27	40		
7	Polipropileno	87.00	20	Blanco	Funcional
	Colorante	0.49	30		
	Reproceso	12.51	40		

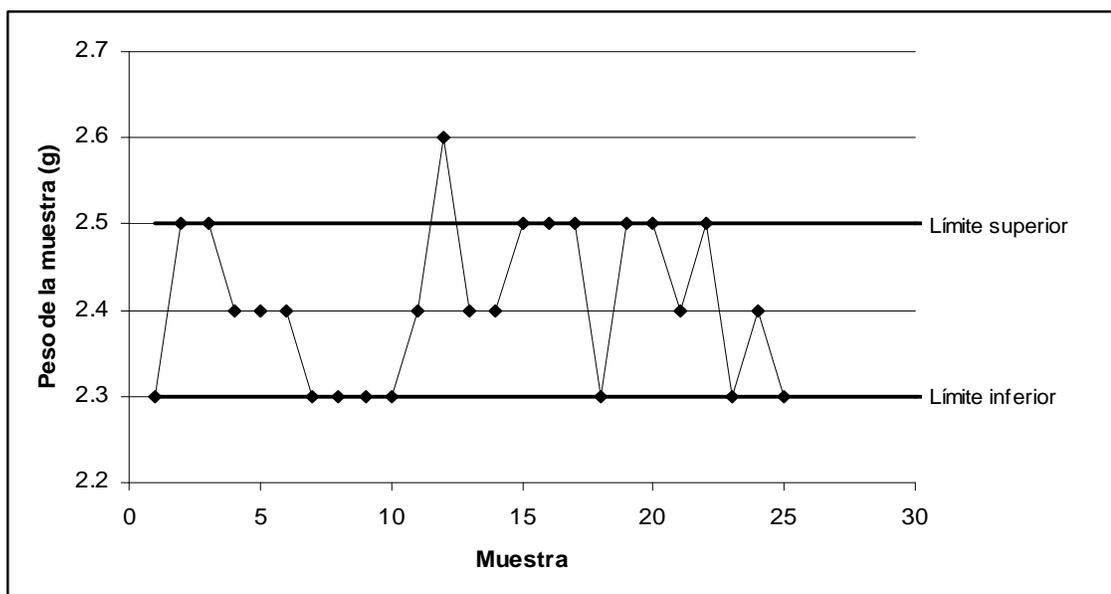
Fuente: Tabla X a Tabla XXX

Figura 1. Gráfico de pesos de formulación de prueba uno (Mezcla 20 veces)



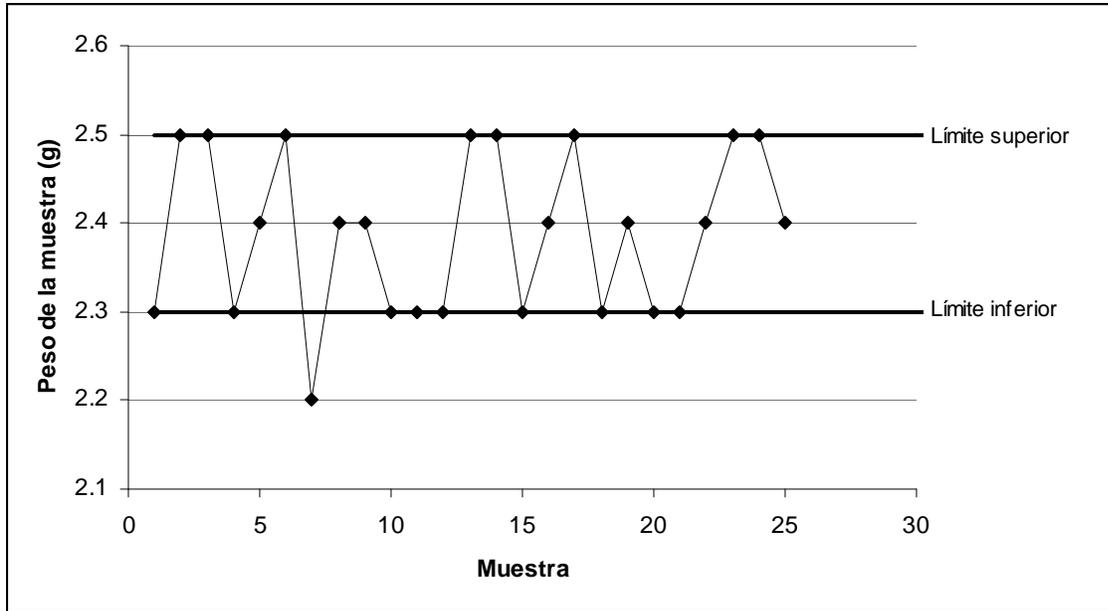
Fuente: Tabla X Formulación de prueba uno (Mezcla 20 veces)

Figura 2. Gráfico de pesos de formulación de prueba uno (Mezcla 30 veces)



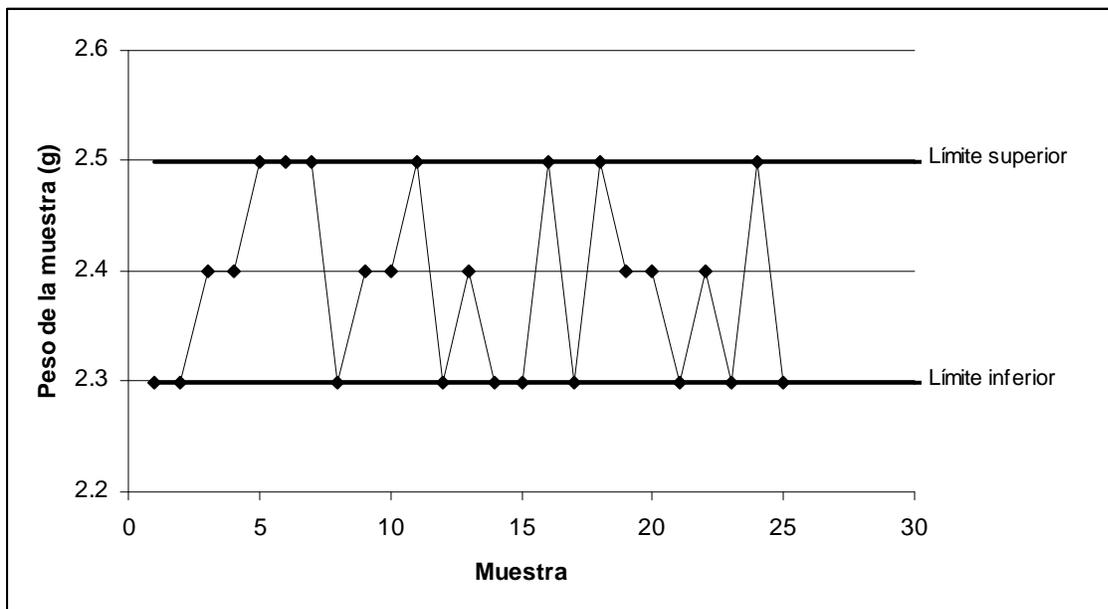
Fuente: Tabla XI Formulación de prueba uno (Mezcla 30 veces)

Figura 3. Gráfico de pesos de formulación de prueba uno (Mezcla 40 veces)



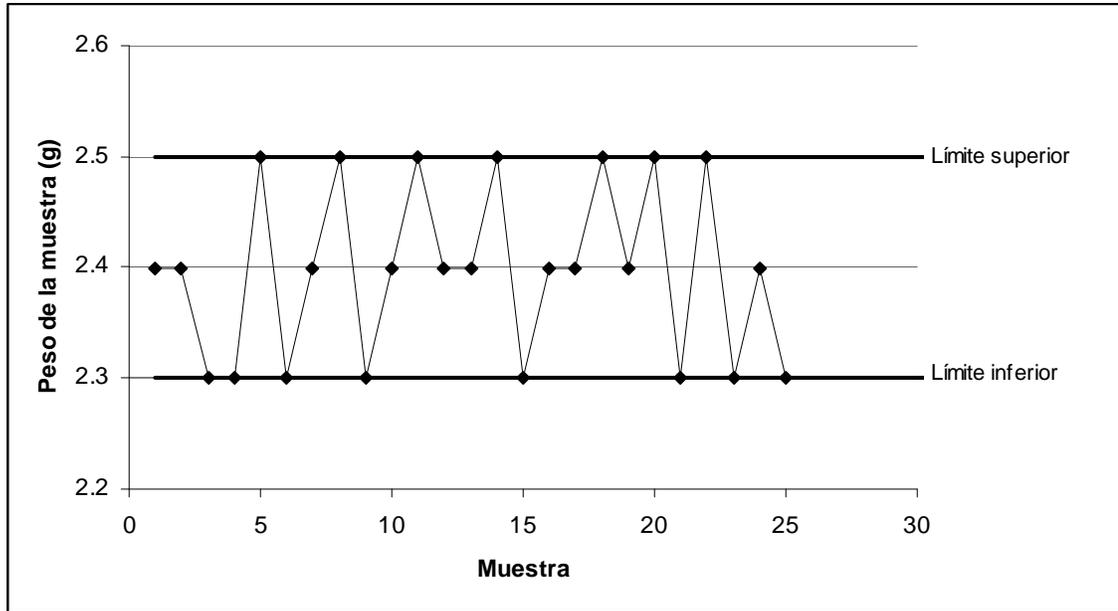
Fuente: Tabla XII Formulación de prueba uno (Mezcla 40 veces)

Figura 4. Gráfico de pesos de formulación de prueba dos (Mezcla 20 veces)



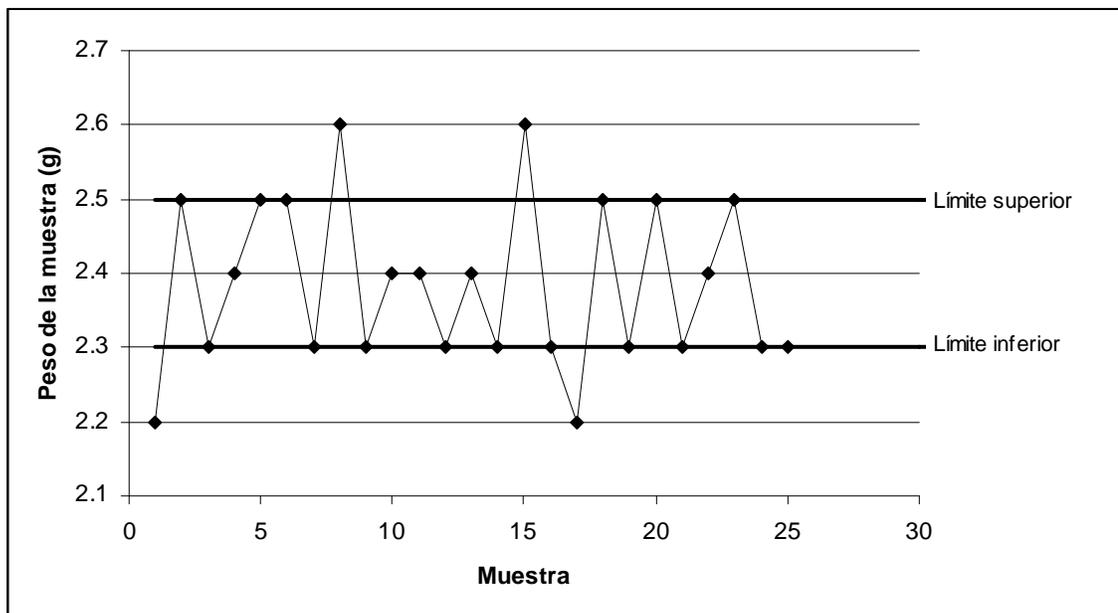
Fuente: Tabla XIII Formulación de prueba dos (Mezcla 20 veces)

Figura 5. Gráfico de pesos de formulación de prueba dos (Mezcla 30 veces)



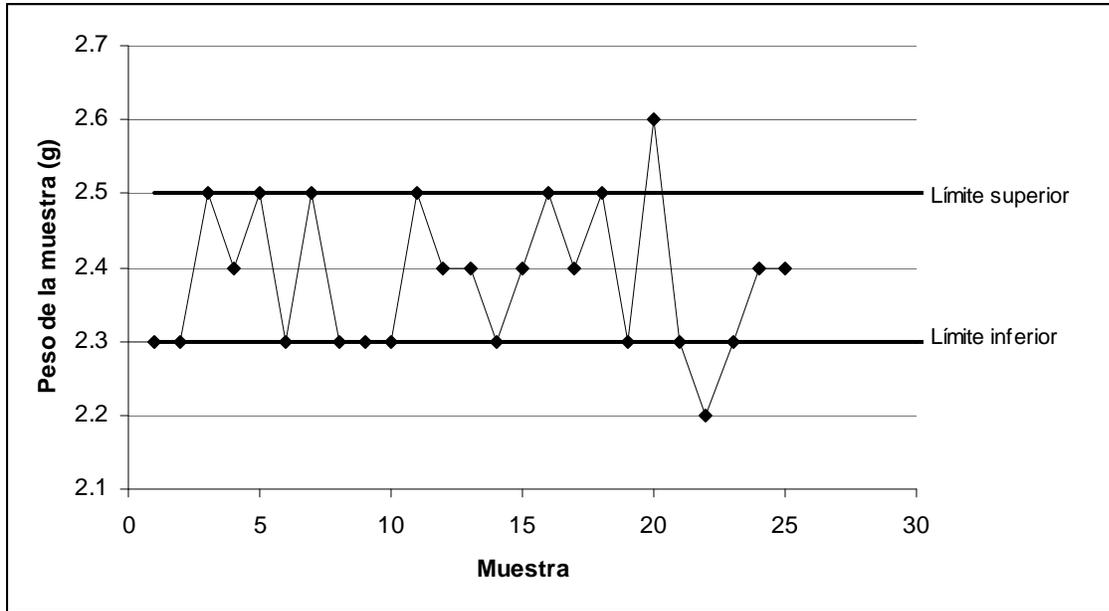
Fuente: Tabla XIV Formulación de prueba dos (Mezcla 30 veces)

Figura 6. Gráfico de pesos de formulación de prueba dos (Mezcla 40 veces)



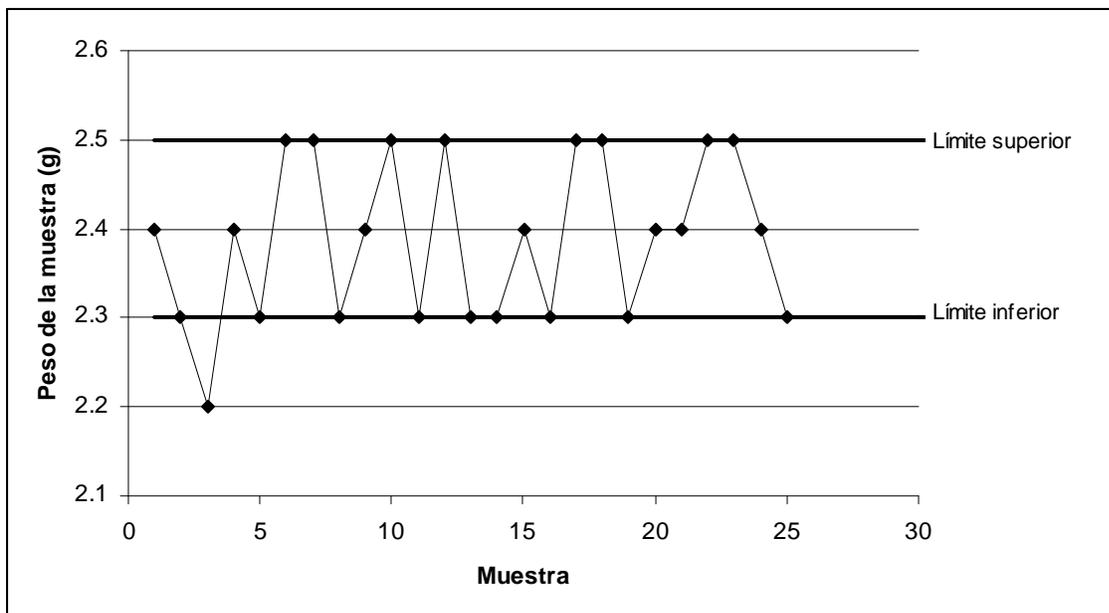
Fuente: Tabla XV Formulación de prueba dos (Mezcla 40 veces)

Figura 7. Gráfico de pesos de formulación de prueba tres (Mezcla 20 veces)



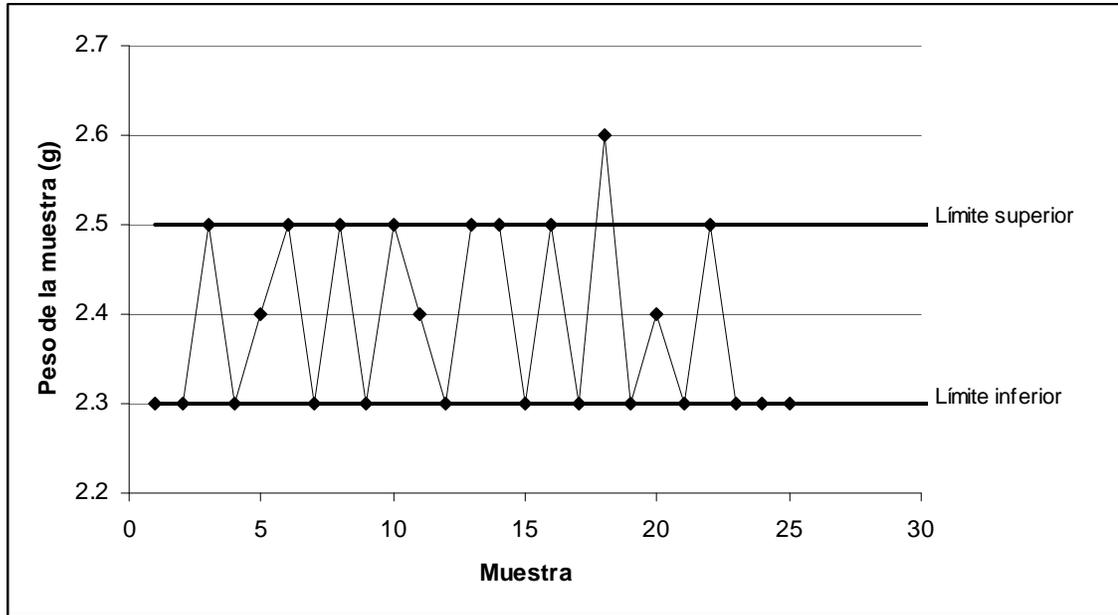
Fuente: Tabla XVI Formulación de prueba tres (Mezcla 20 veces)

Figura 8. Gráfico de pesos de formulación de prueba tres (Mezcla 30 veces)



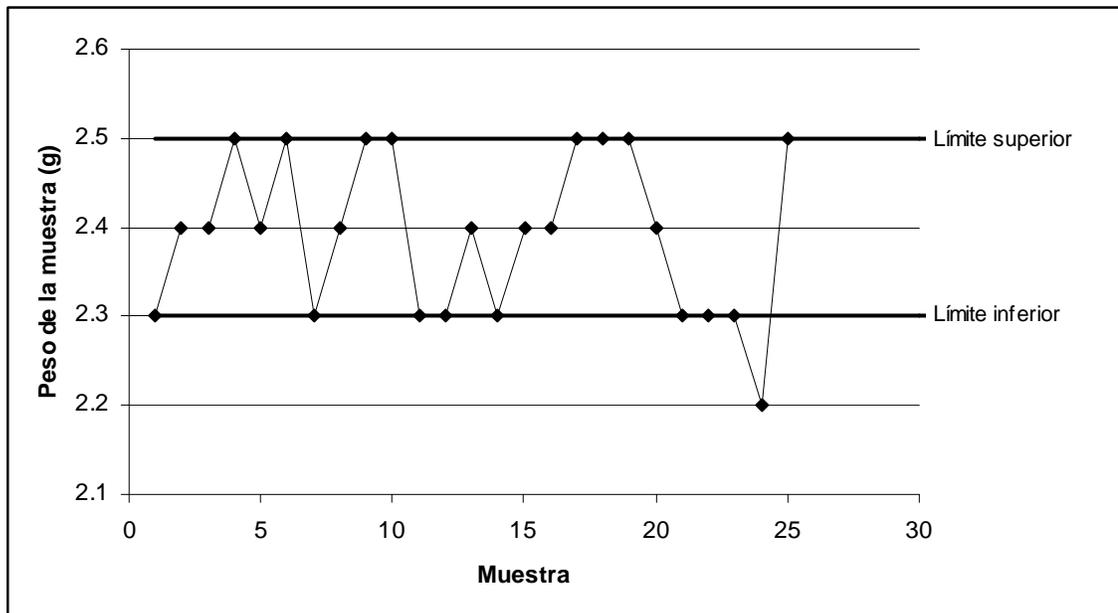
Fuente: Tabla XVII Formulación de prueba tres (Mezcla 30 veces)

Figura 9. Gráfico de pesos de formulación de prueba tres (Mezcla 40 veces)



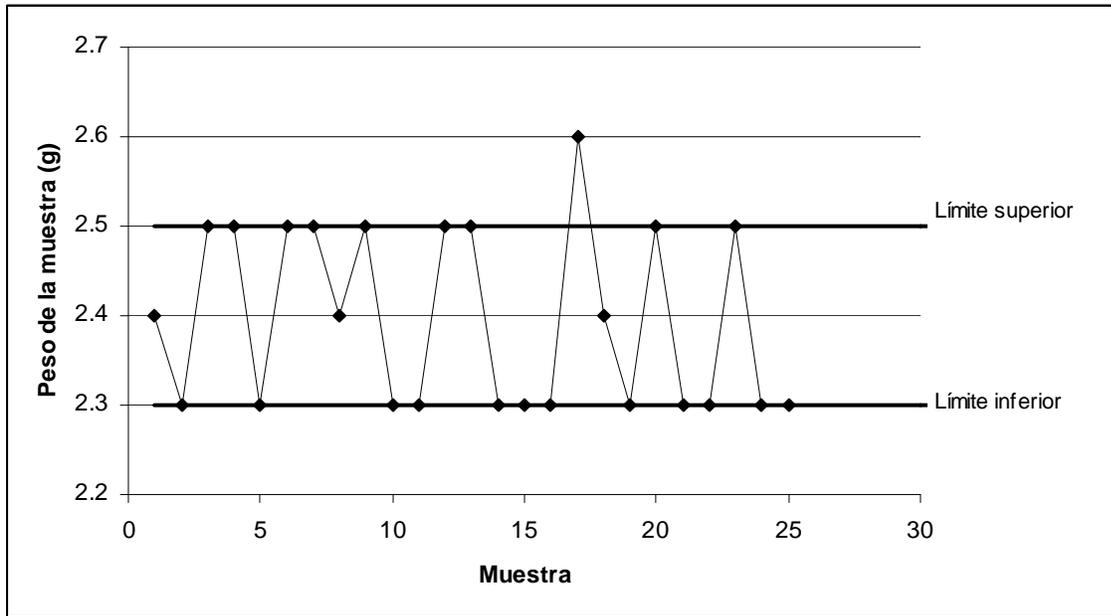
Fuente: Tabla XVIII Formulación de prueba tres (Mezcla 40 veces)

Figura 10. Gráfico de pesos de formulación de prueba cuatro (Mezcla 20 veces)



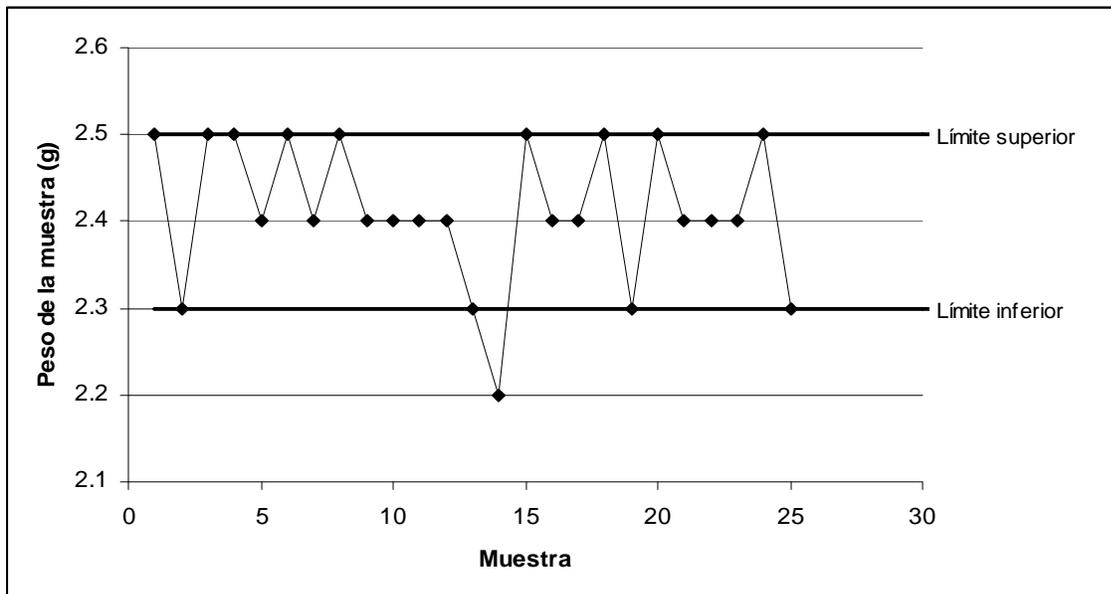
Fuente: Tabla XIX Formulación de prueba cuatro (Mezcla 20 veces)

Figura 11. Gráfico de pesos de formulación de prueba cuatro (Mezcla 30 veces)



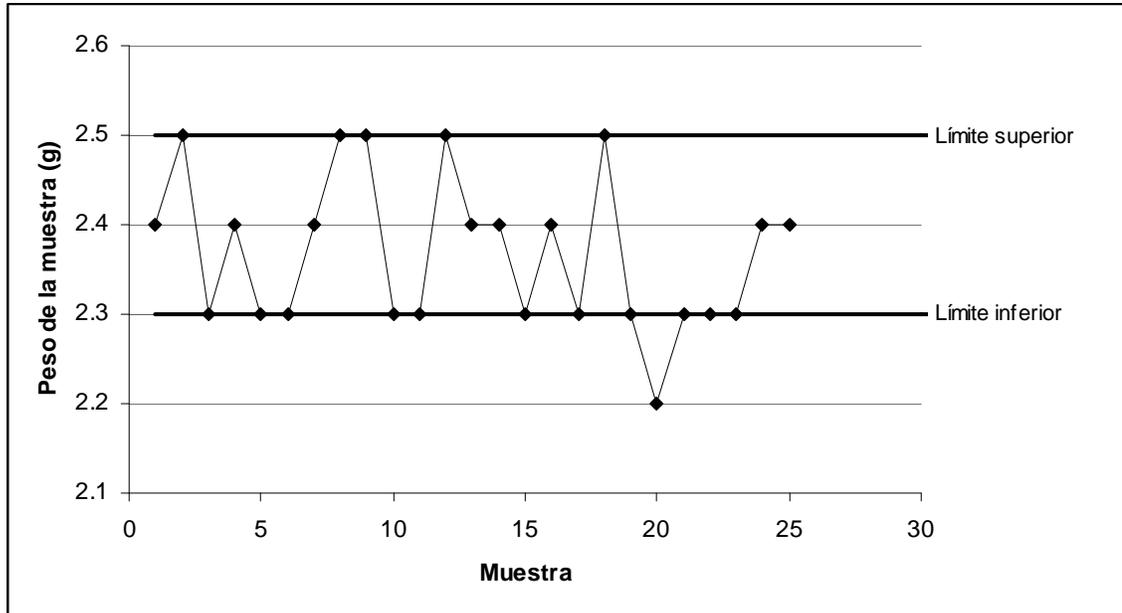
Fuente: Tabla XX Formulación de prueba cuatro (Mezcla 30 veces)

Figura 12. Gráfico de pesos de formulación de prueba cuatro (Mezcla 40 veces)



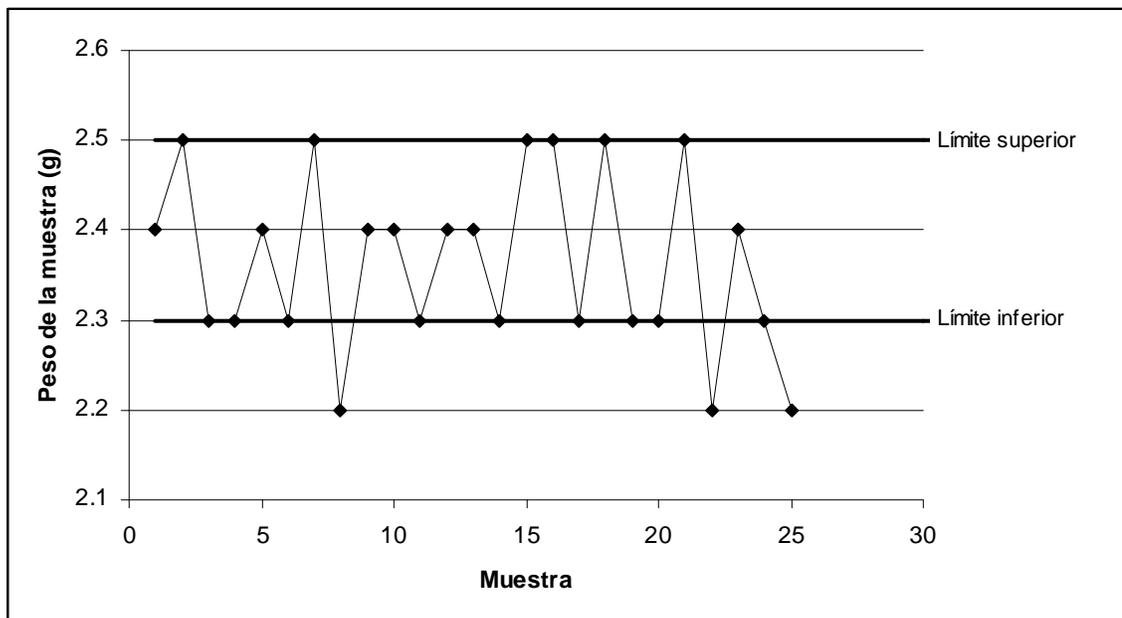
Fuente: Tabla XXI Formulación de prueba cuatro (Mezcla 40 veces)

Figura 13. Gráfico de pesos de formulación de prueba cinco (Mezcla 20 veces)



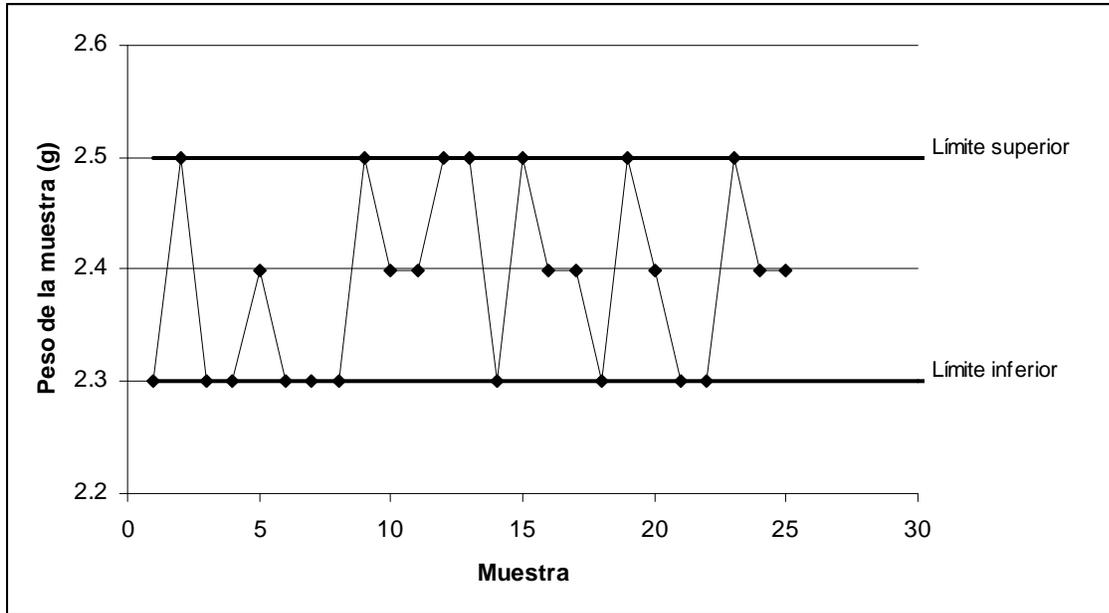
Fuente: Tabla XXII Formulación de prueba cinco (Mezcla 20 veces)

Figura 14. Gráfico de pesos de formulación de prueba cinco (Mezcla 30 veces)



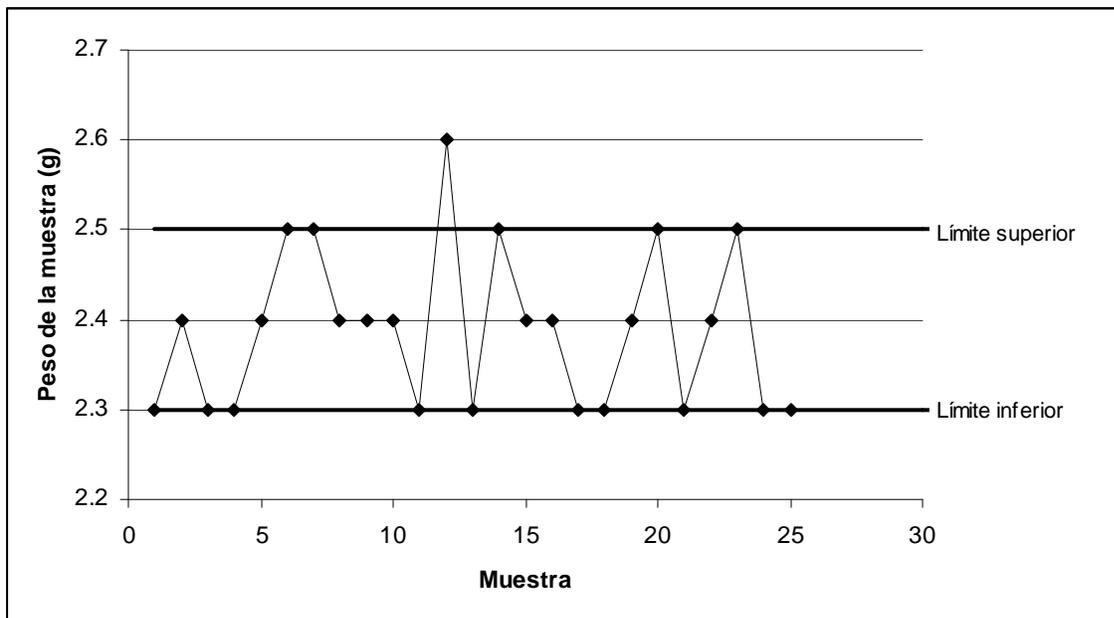
Fuente: Tabla XXIII Formulación de prueba cinco (Mezcla 30 veces)

Figura 15. Gráfico de pesos de formulación de prueba cinco (Mezcla 40 veces)



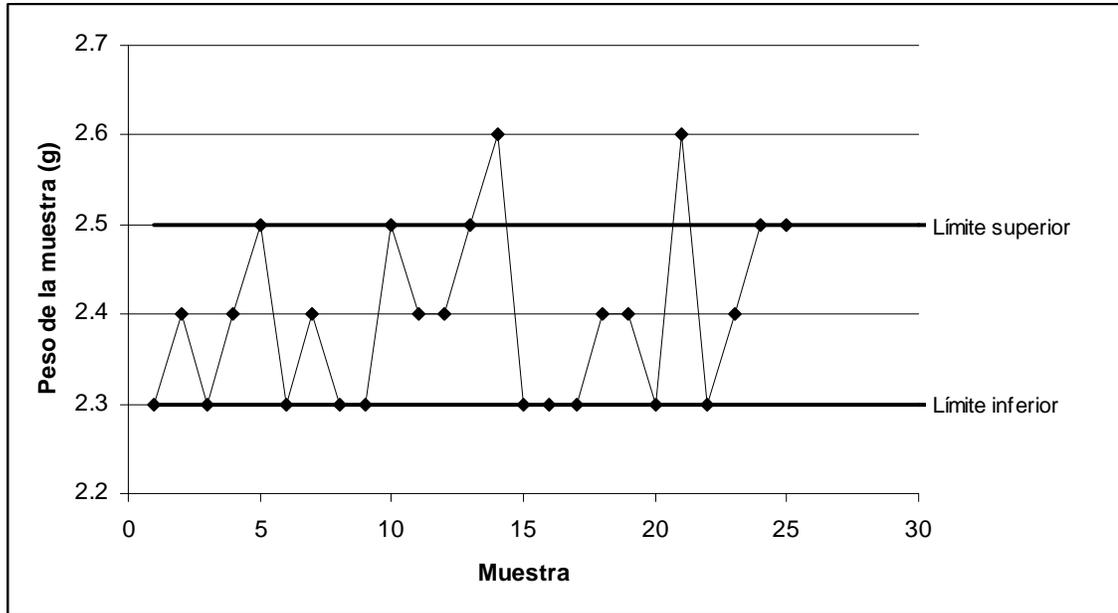
Fuente: Tabla XXIV Formulación de prueba cinco (Mezcla 40 veces)

Figura 16. Gráfico de pesos de formulación de prueba seis (Mezcla 20 veces)



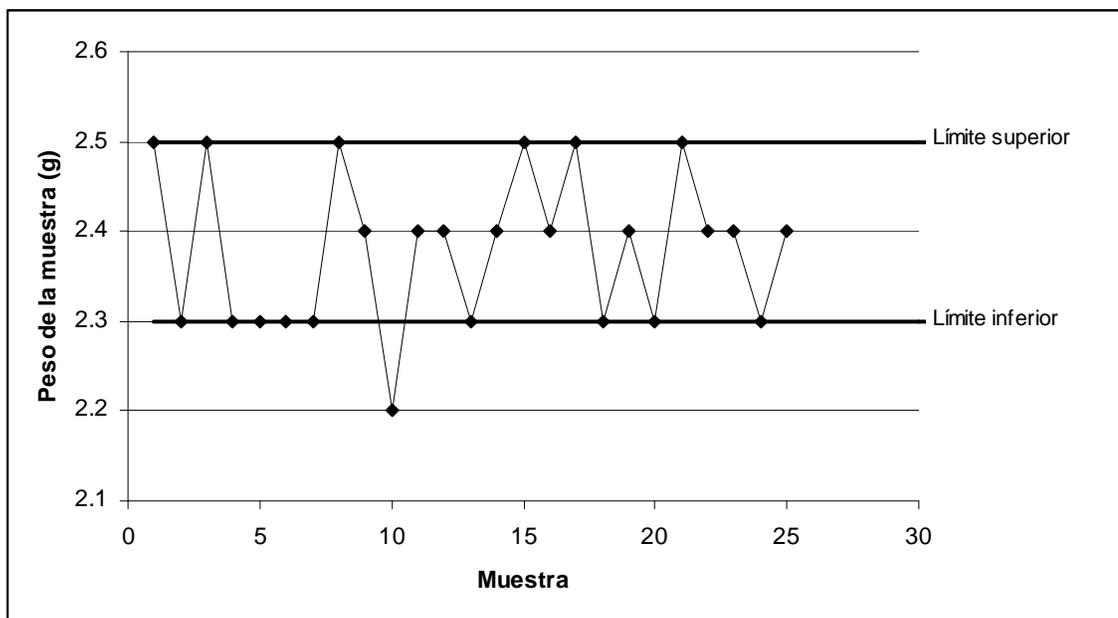
Fuente: Tabla XXV Formulación de prueba seis (Mezcla 20 veces)

Figura 17. Gráfico de pesos de formulación de prueba seis (Mezcla 30 veces)



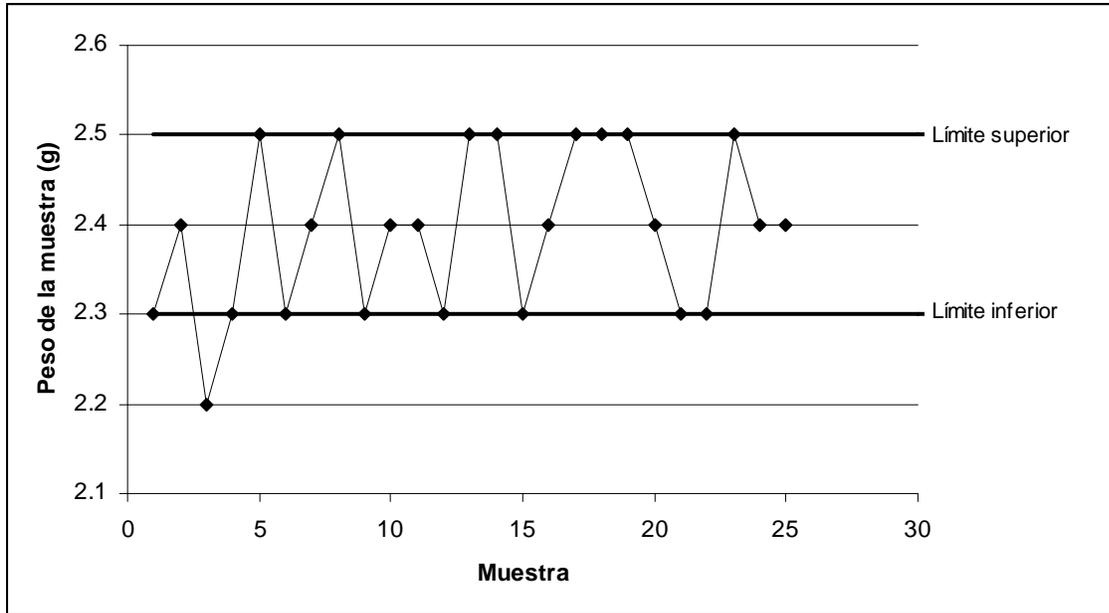
Fuente: Tabla XXVI Formulación de prueba seis (Mezcla 30 veces)

Figura 18. Gráfico de pesos de formulación de prueba seis (Mezcla 40 veces)



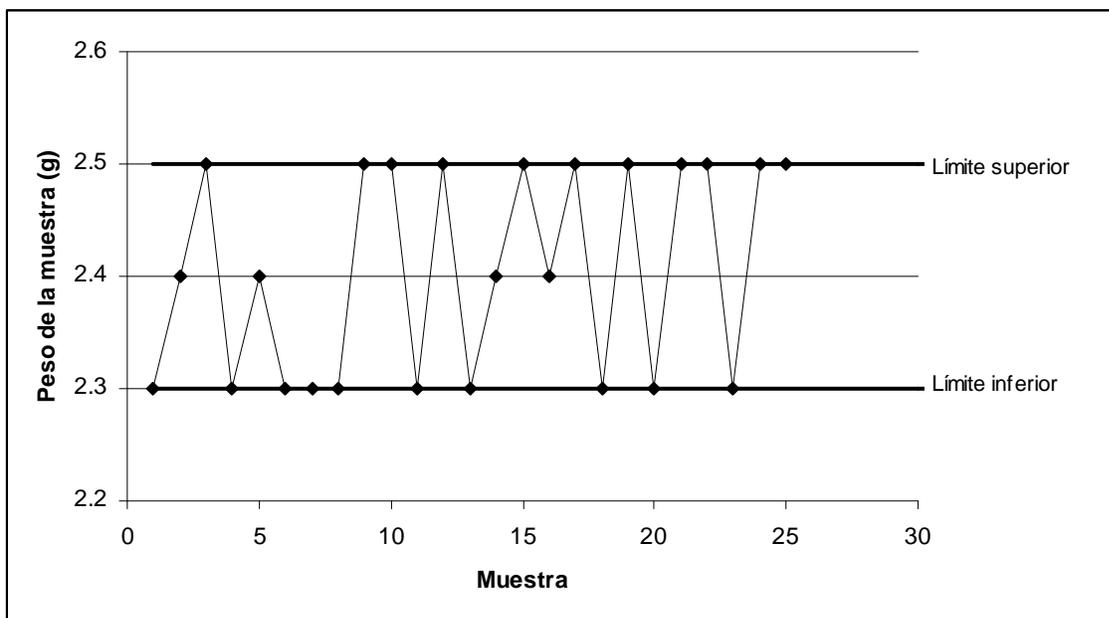
Fuente: Tabla XXVII Formulación de prueba seis (Mezcla 40 veces)

Figura 19. Gráfico de pesos de formulación de prueba siete (Mezcla 20 veces)



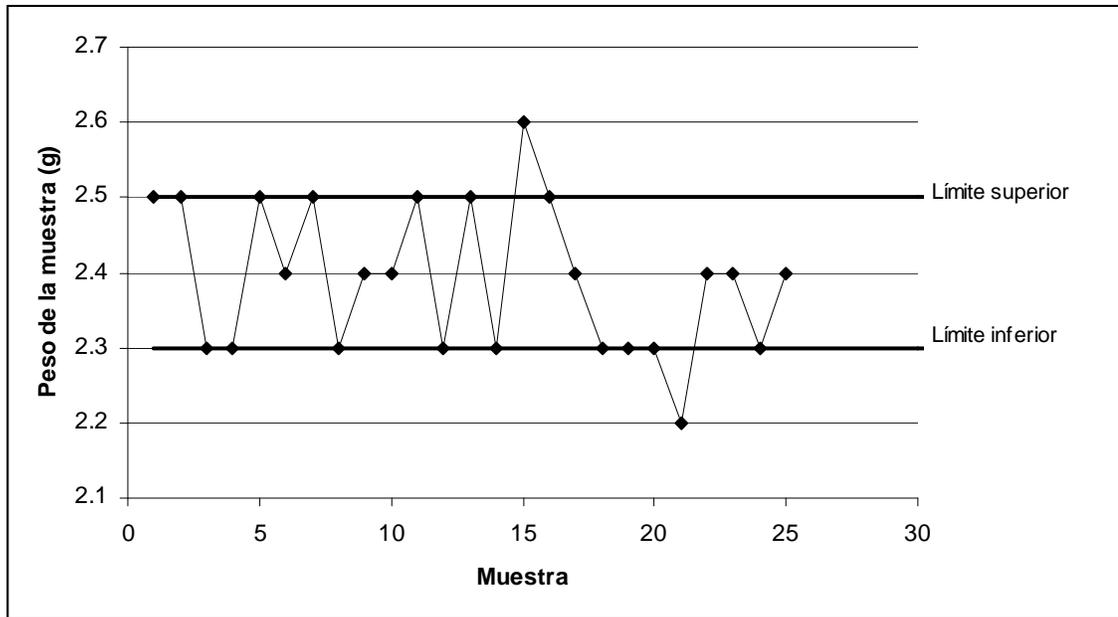
Fuente: Tabla XXVIII Formulación de prueba siete (Mezcla 20 veces)

Figura 20. Gráfico de pesos de formulación de prueba siete (Mezcla 30 veces)



Fuente: Tabla XXIX Formulación de prueba siete (Mezcla 30 veces)

Figura 21. Gráfico de pesos de formulación de prueba siete (Mezcla 40 veces)



Fuente: Tabla XXX Formulación de prueba siete (Mezcla 40 veces)

Tabla IV Análisis estadístico de los resultados

Formulación de prueba	\bar{x}	S	LI	LS
1	2.40	0.09	2.11	2.68
2	2.39	0.09	2.11	2.66
3	2.39	0.10	2.09	2.68
4	2.40	0.09	2.13	2.67
5	2.37	0.09	2.11	2.64
6	2.39	0.09	2.11	2.66
7	2.39	0.09	2.11	2.68

Fuente: Tabla XXXI a Tabla XXXVII

5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En la presente investigación se realizó la estandarización de las mezclas de alimentación en el Proceso de Inyección para la elaboración de productos plásticos desechables, realizando diferentes formulaciones de prueba para determinar cual de las propuestas cumple con las especificaciones y con el mejor uso de recursos.

Las especificaciones del producto final estudiado, el tenedor blanco desechable, son:

- Peso: entre 2.3 – 2.5 g
- Aplicación: Funcional
- Color: Blanco

Inicialmente se recopilaron las formulaciones utilizadas hasta el momento por los trabajadores para emplearlas como base en las formulaciones de prueba. De la información recopilada se pudo notar que se manejaban dos formulaciones, en una de ellas solo se utilizaba materia prima virgen y colorante y en la otra además de estos dos componentes también se utilizaba material de reproceso pero de forma indefinida. También se pudo observar que la cantidad de colorante tampoco estaba definida ya que cada turno utilizaba una medida diferente. Esta información se encuentra tabulada en el Apéndice B, en las tablas V y VI.

Después de conocer las formulaciones utilizadas se determinó la cantidad aproximada de material de reproceso que se produce a partir de una cantidad base de mezcla de alimentación. En la Tabla II se encuentran los datos promediados obtenidos de cada turno y se observa que por cada kilogramo de alimentación se obtiene 0.13 Kg de material de reproceso, es decir, el reproceso representa el 13% del total de la mezcla de alimentación. Este dato se empleó para establecer la cantidad límite de material de reproceso que se puede utilizar en la preparación de la siguiente mezcla.

Al conocer la cantidad límite de material de reproceso se propusieron y realizaron pruebas a distintas proporciones, además de que se evaluaron diferentes grados de mezcla en cada prueba para determinar si influye en el producto final. En la Tabla IX se encuentran las formulaciones de prueba evaluadas.

Para la primera formulación de prueba se utilizó una de las formulaciones recopiladas en la que no estaba definida la cantidad de material de reproceso utilizada. En la Tabla III se encuentran los resultados del análisis de color y aplicación y en las figuras 1 a la 3 se puede observar el comportamiento de los pesos. En el análisis de aplicación se determinó que los productos obtenidos son funcionales ya que no se rompen fácilmente. Al compararlos con el producto estándar se determinó que las tonalidades de color eran parecidas lo cual se puede observar en la figura 22, en el Apéndice C. En cuanto al peso, la mayoría de los resultados se encuentra dentro del rango de especificaciones. Esta formulación cumple con las especificaciones establecidas pero no con el uso adecuado de los recursos ya que no se puede especificar la cantidad de material de reproceso utilizada.

En la segunda formulación de prueba se utilizó 84.18% de materia prima virgen, 0.67% de colorante y 15.15% de material de reproceso. En la Tabla III se encuentran los resultados del análisis de color y aplicación y en las figuras 4 a la 6 se puede observar el comportamiento de los pesos. En el análisis de aplicación se determinó que los productos obtenidos son funcionales ya que no se rompen fácilmente. Al compararlos con el producto estándar se determinó que las tonalidades de color eran parecidas lo cual se puede observar en la figura 23, en el Apéndice C. En cuanto al peso, la mayoría de los resultados se encuentra dentro del rango de especificaciones. Esta formulación cumple con las especificaciones establecidas pero no con el uso adecuado de los recursos ya que la cantidad de reproceso utilizada excede la cantidad de reproceso que se produce por lo que sería necesario preparar cada cierto tiempo una mezcla que solo contenga materia prima virgen y colorante para obtener el reproceso necesario para esta formulación.

En la tercera formulación de prueba se utilizó 80.21% de materia prima virgen, 0.55% de colorante y 19.25% de material de reproceso. En la Tabla III se encuentran los resultados del análisis de color y aplicación y en las figuras 7 a la 9 se puede observar el comportamiento de los pesos. En el análisis de aplicación se determinó que los productos obtenidos son funcionales ya que no se rompen fácilmente. Al compararlos con el producto estándar se determinó que las tonalidades de color difieren ya que se obtuvo un blanco pálido lo cual se puede observar en la figura 24, en el Apéndice C. En cuanto al peso, la mayoría de los resultados se encuentra dentro del rango de especificaciones. Esta formulación no cumple con las especificaciones establecidas porque el color es diferente al estándar además de que tampoco cumple con el uso adecuado de los recursos ya que la cantidad de reproceso utilizada excede la cantidad de reproceso que se produce.

En la cuarta formulación de prueba se utilizó 87.07% de materia prima virgen, 0.39% de colorante y 12.54% de material de reproceso. En la Tabla III se encuentran los resultados del análisis de color y aplicación y en las figuras 10 a la 12 se puede observar el comportamiento de los pesos. En el análisis de aplicación se determinó que los productos obtenidos son funcionales ya que no se rompen fácilmente. Al compararlos con el producto estándar se determinó que las tonalidades de color difieren ya que se obtuvo un blanco pálido lo cual se puede observar en la figura 25, en el Apéndice C. En cuanto al peso, la mayoría de los resultados se encuentra dentro del rango de especificaciones. Esta formulación no cumple con las especificaciones establecidas porque el color es diferente al estándar aunque si cumple con el uso adecuado de los recursos.

En la quinta formulación de prueba se utilizó 99.32% de materia prima virgen, 0.68% de colorante y 0.00% de material de reproceso. En la Tabla III se encuentran los resultados del análisis de color y aplicación y en las figuras 13 a la 15 se puede observar el comportamiento de los pesos. En el análisis de aplicación se determinó que los productos obtenidos son funcionales ya que no se rompen fácilmente. Al compararlos con el producto estándar se determinó que las tonalidades de color eran parecidas aunque se obtuvo un tono de blanco mayor lo cual se puede observar en la figura 26, en el Apéndice C. En cuanto al peso, la mayoría de los resultados se encuentra dentro del rango de especificaciones. Esta formulación cumple con las especificaciones establecidas pero no cumple con el uso adecuado de los recursos ya que no se utilizó el material de reproceso.

En la sexta formulación de prueba se utilizó 80.28% de materia prima virgen, 0.45% de colorante y 19.27% de material de reproceso. En la Tabla III se encuentran los resultados del análisis de color y aplicación y en las figuras 16 a la 18 se puede observar el comportamiento de los pesos. En el análisis de aplicación se determinó que los productos obtenidos son funcionales ya que no se rompen fácilmente. Al compararlos con el producto estándar se determinó que las tonalidades de color eran parecidas lo cual se puede observar en la figura 27, en el Apéndice C. En cuanto al peso, la mayoría de los resultados se encuentra dentro del rango de especificaciones. Esta formulación cumple con las especificaciones establecidas pero no cumple con el uso adecuado de los recursos ya que la cantidad de reproceso utilizada excede la cantidad de reproceso que se produce.

En la séptima formulación de prueba se utilizó 87.00% de materia prima virgen, 0.49% de colorante y 12.51% de material de reproceso. En la Tabla III se encuentran los resultados del análisis de color y aplicación y en las figuras 19 a la 21 se puede observar el comportamiento de los pesos. En el análisis de aplicación se determinó que los productos obtenidos son funcionales ya que no se rompen fácilmente. Al compararlos con el producto estándar se determinó que las tonalidades de color eran parecidas lo cual se puede observar en la figura 28, en el Apéndice C. En cuanto al peso, la mayoría de los resultados se encuentra dentro del rango de especificaciones. Esta formulación cumple con las especificaciones establecidas además del uso adecuado de los recursos ya que la cantidad de reproceso utilizada es muy cercana al límite de reproceso obtenido.

En lo que respecta a los diferentes grados de mezcla utilizados en cada prueba se comprobó que no influye en ninguna característica, tanto cualitativa como cuantitativa, del producto final.

Para finalizar se realizó un análisis estadístico de los datos obtenidos de los pesos de cada prueba, en la tabla IV se presentan los valores promedios para cada una de las formulaciones. Estos datos muestran que los valores obtenidos se encuentran dentro de los rangos establecidos, así como también no presentan una desviación muy significativa del valor promedio. Aunque los datos del límite superior e inferior muestran que las especificaciones deben ampliarse a un rango de peso de 2.1 a 2.7 g para no tener un intervalo tan ajustado y evitar que algunos de los datos se salgan del rango.

En el apéndice A “Formatos” se encuentra el diseño de un medio de control y registro de la formulación elegida para asegurarse que se sigue un procedimiento correcto en la elaboración de los productos y el uso de los recursos.

CONCLUSIONES

1. En el proceso de inyección, para la elaboración de productos plásticos desechables, el 87% de la alimentación se aprovecha como producto terminado inicial y el 13% restante representa el material de reproceso, siendo este el límite de material de reproceso que utilizará.
2. De las distintas formulaciones de prueba realizadas, la mejor es la que tiene un 87 % de material virgen, 12.51% de material de reproceso y un 0.49% de colorante ya que los resultados cumplen con las especificaciones establecidas y el óptimo uso de recursos.
3. El formato de registro diseñado, además de verificar la formulación en el proceso de inyección también funciona como un registro de trazabilidad que facilita el control de las materias primas utilizadas.

RECOMENDACIONES

1. El registro de “REVISIÓN DE FORMULACIÓN INYECCIÓN Y TRAZABILIDAD” deberá ser revisado de manera constante para comprobar que las formulaciones se realicen correctamente y que la materia prima utilizada se identifique claramente.
2. Elaborar un documento que describa el procedimiento adecuado para preparar las mezclas de alimentación en el proceso de inyección y las magnitudes que utilizará.
3. Realizar una continua capacitación del personal con la finalidad de explicarle el procedimiento a utilizar y la importancia para el sistema de calidad del registro correcto de la formulación utilizada.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Flinn, Richard A. y Paul K. Trojan. **Materiales de ingeniería y sus aplicaciones.** 3ra. edición. México. Editorial: McGraw–Hill /Interamericana, 1992.
2. Goff, John. **The Dynisco Extrusion Processors Handbook.** 2da. edición. Hickory, NC. USA, S.E. 1998.
3. Johannaber, Friedrich. **Injection molding machines: a user's guide.** 3era. edición. Múnich: Hanser, S.E. 1994.
4. “Moldeado, Inyección, Extrusión | Textos Científicos” (1 de agosto de 2009)
<http://www.textoscientificos.com/polimeros/moldeado> (12 de agosto de 2009)
5. “Polipropileno | Textos Científicos” (1 de agosto de 2009)
<http://www.textoscientificos.com/polimeros/polipropileno> (12 de agosto de 2009)
6. Wikimedia Foundation, Inc. “Moldeo por Inyección”. (6 de agosto de 2009)
http://es.wikipedia.org/wiki/Moldeo_por_inyecci%C3%B3n (13 de agosto de 2009).

APÉNDICE A FORMATOS

No.	RECOPIACIÓN DE FORMULACIONES ACTUALES	Fecha:
-----	--	--------

Área: _____

Turno: _____

No.	PRODUCTO	COMPONENTE	CANTIDAD	PORCENTAJE

No.	REGISTRO DE MATERIAL DE REPROCESO	Fecha:
-----	--	--------

Área: _____

Turno: _____

No.	Cantidad Base	Cantidad de Reproceso
Promedio		

No.	FORMULACION DE PRUEBA DE TENEDOR BLANCO	Fecha:
-----	--	--------

Componentes	Cantidad	Porcentaje	Mezcla

No.	Color	Aplicación	Peso
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			

APÉNDICE B

TABULACIÓN DE DATOS

Tabla V Recopilación de formulaciones actuales (Turno 1)

Fecha: 12/10/2009			Área: Inyección	
No.	PRODUCTO	COMPONENTE	CANTIDAD	PORCENTAJE
1	Tenedor blanco	Polipropileno	25 Kg	-
		Colorante	0.170 Kg	
		Reproceso	Indefinido	
2	Tenedor blanco	Polipropileno	25 Kg	-
		Colorante	0.142 Kg	
		Reproceso	Indefinido	
3	Tenedor blanco	Polipropileno	25 Kg	99.32 %
		Colorante	0.170 Kg	0.68 %

Fuente: Departamento de Producción

Tabla VI Recopilación de formulaciones actuales (Turno 2)

Fecha: 14/10/2009			Área: Inyección	
No.	PRODUCTO	COMPONENTE	CANTIDAD	PORCENTAJE
1	Tenedor blanco	Polipropileno	25 Kg	-
		Colorante	0.142 Kg	
		Reproceso	Indefinido	
2	Tenedor blanco	Polipropileno	25 Kg	99.44 %
		Colorante	0.142 Kg	0.56 %

Fuente: Departamento de Producción

Tabla VII Material de reproceso (Turno 1)

Fecha: 20/10/2009		Área: Inyección
No.	Cantidad Base (Kg)	Cantidad de Reproceso (Kg)
1	25	3.2
2	25	3.3
3	25	3.3
4	25	3.2
5	25	3.3
Promedio	25	3.26

Fuente: Departamento de Producción

Tabla VIII Material de reproceso (Turno 2)

Fecha: 22/10/2009		Área: Inyección
No.	Cantidad Base	Cantidad de Reproceso
1	25	3.3
2	25	3.2
3	25	3.2
4	25	3.2
5	25	3.3
Promedio	25	3.24

Fuente: Departamento de Producción

Tabla IX Formulaciones de prueba

Fecha	Formulación de prueba	Componentes	Cantidad (Kg)	Porcentaje (%)	Mezcla (veces)
26/10/2009	1	Polipropileno	25.00	-	20
		Colorante	0.17		30
		Reproceso	Indefinido		40
29/10/2009	2	Polipropileno	25.00	84.18	20
		Colorante	0.20	0.67	30
		Reproceso	4.50	15.15	40
2/11/2009	3	Polipropileno	25.00	80.21	20
		Colorante	0.17	0.55	30
		Reproceso	6.00	19.25	40
4/11/2009	4	Polipropileno	25.00	87.07	20
		Colorante	0.11	0.39	30
		Reproceso	3.60	12.54	40
9/11/2009	5	Polipropileno	25.00	99.32	20
		Colorante	0.17	0.68	30
		Reproceso	0.00	0.00	40
12/11/2009	6	Polipropileno	25.00	80.28	20
		Colorante	0.14	0.45	30
		Reproceso	6.00	19.27	40
16/11/2009	7	Polipropileno	25.00	87.00	20
		Colorante	0.14	0.49	30
		Reproceso	3.60	12.51	40

Fuente: Departamento de Producción

Tabla X Formulación de prueba uno (Mezcla 20 veces)

No.	Color	Aplicación	Peso (g)
1	✓	✓	2.3
2	✓	✓	2.4
3	✓	✓	2.2
4	✓	✓	2.3
5	✓	✓	2.5
6	✓	✓	2.5
7	✓	✓	2.4
8	✓	✓	2.3
9	✓	✓	2.3
10	✓	✓	2.5
11	✓	✓	2.5
12	✓	✓	2.5
13	✓	✓	2.4
14	✓	✓	2.5
15	✓	✓	2.3
16	✓	✓	2.4
17	✓	✓	2.4
18	✓	✓	2.3
19	✓	✓	2.3
20	✓	✓	2.5
21	✓	✓	2.3
22	✓	✓	2.4
23	✓	✓	2.3
24	✓	✓	2.6
25	✓	✓	2.5

Fuente: Departamento de Producción

Tabla XI Formulación de prueba uno (Mezcla 30 veces)

No.	Color	Aplicación	Peso (g)
1	✓	✓	2.3
2	✓	✓	2.5
3	✓	✓	2.5
4	✓	✓	2.4
5	✓	✓	2.4
6	✓	✓	2.4
7	✓	✓	2.3
8	✓	✓	2.3
9	✓	✓	2.3
10	✓	✓	2.3
11	✓	✓	2.4
12	✓	✓	2.6
13	✓	✓	2.4
14	✓	✓	2.4
15	✓	✓	2.5
16	✓	✓	2.5
17	✓	✓	2.5
18	✓	✓	2.3
19	✓	✓	2.5
20	✓	✓	2.5
21	✓	✓	2.4
22	✓	✓	2.5
23	✓	✓	2.3
24	✓	✓	2.4
25	✓	✓	2.3

Fuente: Departamento de Producción

Tabla XII Formulación de Prueba uno (Mezcla 40 veces)

No.	Color	Aplicación	Peso (g)
1	✓	✓	2.3
2	✓	✓	2.5
3	✓	✓	2.5
4	✓	✓	2.3
5	✓	✓	2.4
6	✓	✓	2.5
7	✓	✓	2.2
8	✓	✓	2.4
9	✓	✓	2.4
10	✓	✓	2.3
11	✓	✓	2.3
12	✓	✓	2.3
13	✓	✓	2.5
14	✓	✓	2.5
15	✓	✓	2.3
16	✓	✓	2.4
17	✓	✓	2.5
18	✓	✓	2.3
19	✓	✓	2.4
20	✓	✓	2.3
21	✓	✓	2.3
22	✓	✓	2.4
23	✓	✓	2.5
24	✓	✓	2.5
25	✓	✓	2.4

Fuente: Departamento de Producción

Tabla XIII Formulación de prueba dos (Mezcla 20 veces)

No.	Color	Aplicación	Peso (g)
1	✓	✓	2.3
2	✓	✓	2.3
3	✓	✓	2.4
4	✓	✓	2.4
5	✓	✓	2.5
6	✓	✓	2.5
7	✓	✓	2.5
8	✓	✓	2.3
9	✓	✓	2.4
10	✓	✓	2.4
11	✓	✓	2.5
12	✓	✓	2.3
13	✓	✓	2.4
14	✓	✓	2.3
15	✓	✓	2.3
16	✓	✓	2.5
17	✓	✓	2.3
18	✓	✓	2.5
19	✓	✓	2.4
20	✓	✓	2.4
21	✓	✓	2.3
22	✓	✓	2.4
23	✓	✓	2.3
24	✓	✓	2.5
25	✓	✓	2.3

Fuente: Departamento de Producción

Tabla XIV Formulación de prueba dos (Mezcla 30 veces)

No.	Color	Aplicación	Peso (g)
1	✓	✓	2.4
2	✓	✓	2.4
3	✓	✓	2.3
4	✓	✓	2.3
5	✓	✓	2.5
6	✓	✓	2.3
7	✓	✓	2.4
8	✓	✓	2.5
9	✓	✓	2.3
10	✓	✓	2.4
11	✓	✓	2.5
12	✓	✓	2.4
13	✓	✓	2.4
14	✓	✓	2.5
15	✓	✓	2.3
16	✓	✓	2.4
17	✓	✓	2.4
18	✓	✓	2.5
19	✓	✓	2.4
20	✓	✓	2.5
21	✓	✓	2.3
22	✓	✓	2.5
23	✓	✓	2.3
24	✓	✓	2.4
25	✓	✓	2.3

Fuente: Departamento de Producción

Tabla XV Formulación de prueba dos (Mezcla 40 veces)

No.	Color	Aplicación	Peso (g)
1	✓	✓	2.2
2	✓	✓	2.5
3	✓	✓	2.3
4	✓	✓	2.4
5	✓	✓	2.5
6	✓	✓	2.5
7	✓	✓	2.3
8	✓	✓	2.6
9	✓	✓	2.3
10	✓	✓	2.4
11	✓	✓	2.4
12	✓	✓	2.3
13	✓	✓	2.4
14	✓	✓	2.3
15	✓	✓	2.6
16	✓	✓	2.3
17	✓	✓	2.2
18	✓	✓	2.5
19	✓	✓	2.3
20	✓	✓	2.5
21	✓	✓	2.3
22	✓	✓	2.4
23	✓	✓	2.5
24	✓	✓	2.3
25	✓	✓	2.3

Fuente: Departamento de Producción

Tabla XVI Formulación de prueba tres (Mezcla 20 veces)

No.	Color	Aplicación	Peso (g)
1	x	✓	2.3
2	x	✓	2.3
3	x	✓	2.5
4	x	✓	2.4
5	x	✓	2.5
6	x	✓	2.3
7	x	✓	2.5
8	x	✓	2.3
9	x	✓	2.3
10	x	✓	2.3
11	x	✓	2.5
12	x	✓	2.4
13	x	✓	2.4
14	x	✓	2.3
15	x	✓	2.4
16	x	✓	2.5
17	x	✓	2.4
18	x	✓	2.5
19	x	✓	2.3
20	x	✓	2.6
21	x	✓	2.3
22	x	✓	2.2
23	x	✓	2.3
24	x	✓	2.4
25	x	✓	2,4

Fuente: Departamento de Producción

Tabla XVII Formulación de prueba tres (Mezcla 30 veces)

No.	Color	Aplicación	Peso (g)
1	x	✓	2.4
2	x	✓	2.3
3	x	✓	2.2
4	x	✓	2.4
5	x	✓	2.3
6	x	✓	2.5
7	x	✓	2.5
8	x	✓	2.3
9	x	✓	2.4
10	x	✓	2.5
11	x	✓	2.3
12	x	✓	2.5
13	x	✓	2.3
14	x	✓	2.3
15	x	✓	2.4
16	x	✓	2.3
17	x	✓	2.5
18	x	✓	2.5
19	x	✓	2.3
20	x	✓	2.4
21	x	✓	2.4
22	x	✓	2.5
23	x	✓	2.5
24	x	✓	2.4
25	x	✓	2.3

Fuente: Departamento de Producción

Tabla XVIII Formulación de prueba tres (Mezcla 40 veces)

No.	Color	Aplicación	Peso (g)
1	x	✓	2.3
2	x	✓	2.3
3	x	✓	2.5
4	x	✓	2.3
5	x	✓	2.4
6	x	✓	2.5
7	x	✓	2.3
8	x	✓	2.5
9	x	✓	2.3
10	x	✓	2.5
11	x	✓	2.4
12	x	✓	2.3
13	x	✓	2.5
14	x	✓	2.5
15	x	✓	2.3
16	x	✓	2.5
17	x	✓	2.3
18	x	✓	2.6
19	x	✓	2.3
20	x	✓	2.4
21	x	✓	2.3
22	x	✓	2.5
23	x	✓	2.3
24	x	✓	2.3
25	x	✓	2.3

Fuente: Departamento de Producción

Tabla XIX Formulación de prueba cuatro (Mezcla 20 veces)

No.	Color	Aplicación	Peso (g)
1	x	✓	2.3
2	x	✓	2.4
3	x	✓	2.4
4	x	✓	2.5
5	x	✓	2.4
6	x	✓	2.5
7	x	✓	2.3
8	x	✓	2.4
9	x	✓	2.5
10	x	✓	2.5
11	x	✓	2.3
12	x	✓	2.3
13	x	✓	2.4
14	x	✓	2.3
15	x	✓	2.4
16	x	✓	2.4
17	x	✓	2.5
18	x	✓	2.5
19	x	✓	2.5
20	x	✓	2.4
21	x	✓	2.3
22	x	✓	2.3
23	x	✓	2.3
24	x	✓	2.2
25	x	✓	2.5

Fuente: Departamento de Producción

Tabla XX Formulación de prueba cuatro (Mezcla 30 veces)

No.	Color	Aplicación	Peso (g)
1	x	✓	2.4
2	x	✓	2.3
3	x	✓	2.5
4	x	✓	2.5
5	x	✓	2.3
6	x	✓	2.5
7	x	✓	2.5
8	x	✓	2.4
9	x	✓	2.5
10	x	✓	2.3
11	x	✓	2.3
12	x	✓	2.5
13	x	✓	2.5
14	x	✓	2.3
15	x	✓	2.3
16	x	✓	2.3
17	x	✓	2.6
18	x	✓	2.4
19	x	✓	2.3
20	x	✓	2.5
21	x	✓	2.3
22	x	✓	2.3
23	x	✓	2.5
24	x	✓	2.3
25	x	✓	2.3

Fuente: Departamento de Producción

Tabla XXI Formulación de prueba cuatro (Mezcla 40 veces)

No.	Color	Aplicación	Peso (g)
1	x	✓	2.5
2	x	✓	2.3
3	x	✓	2.5
4	x	✓	2.5
5	x	✓	2.4
6	x	✓	2.5
7	x	✓	2.4
8	x	✓	2.5
9	x	✓	2.4
10	x	✓	2.4
11	x	✓	2.4
12	x	✓	2.4
13	x	✓	2.3
14	x	✓	2.2
15	x	✓	2.5
16	x	✓	2.4
17	x	✓	2.4
18	x	✓	2.5
19	x	✓	2.3
20	x	✓	2.5
21	x	✓	2.4
22	x	✓	2.4
23	x	✓	2.4
24	x	✓	2.5
25	x	✓	2.3

Fuente: Departamento de Producción

Tabla XXII Formulación de prueba cinco (Mezcla 20 veces)

No.	Color	Aplicación	Peso (g)
1	✓	✓	2.4
2	✓	✓	2.5
3	✓	✓	2.3
4	✓	✓	2.4
5	✓	✓	2.3
6	✓	✓	2.3
7	✓	✓	2.4
8	✓	✓	2.5
9	✓	✓	2.5
10	✓	✓	2.3
11	✓	✓	2.3
12	✓	✓	2.5
13	✓	✓	2.4
14	✓	✓	2.4
15	✓	✓	2.3
16	✓	✓	2.4
17	✓	✓	2.3
18	✓	✓	2.5
19	✓	✓	2.3
20	✓	✓	2.2
21	✓	✓	2.3
22	✓	✓	2.3
23	✓	✓	2.3
24	✓	✓	2.4
25	✓	✓	2.4

Fuente: Departamento de Producción

Tabla XXIII Formulación de prueba cinco (Mezcla 30 veces)

No.	Color	Aplicación	Peso (g)
1	✓	✓	2.4
2	✓	✓	2.5
3	✓	✓	2.3
4	✓	✓	2.3
5	✓	✓	2.4
6	✓	✓	2.3
7	✓	✓	2.5
8	✓	✓	2.2
9	✓	✓	2.4
10	✓	✓	2.4
11	✓	✓	2.3
12	✓	✓	2.4
13	✓	✓	2.4
14	✓	✓	2.3
15	✓	✓	2.5
16	✓	✓	2.5
17	✓	✓	2.3
18	✓	✓	2.5
19	✓	✓	2.3
20	✓	✓	2.3
21	✓	✓	2.5
22	✓	✓	2.2
23	✓	✓	2.4
24	✓	✓	2.3
25	✓	✓	2.2

Fuente: Departamento de Producción

Tabla XXIV Formulación de prueba cinco (Mezcla 40 veces)

No.	Color	Aplicación	Peso (g)
1	✓	✓	2.3
2	✓	✓	2.5
3	✓	✓	2.3
4	✓	✓	2.3
5	✓	✓	2.4
6	✓	✓	2.3
7	✓	✓	2.3
8	✓	✓	2.3
9	✓	✓	2.5
10	✓	✓	2.4
11	✓	✓	2.4
12	✓	✓	2.5
13	✓	✓	2.5
14	✓	✓	2.3
15	✓	✓	2.5
16	✓	✓	2.4
17	✓	✓	2.4
18	✓	✓	2.3
19	✓	✓	2.5
20	✓	✓	2.4
21	✓	✓	2.3
22	✓	✓	2.3
23	✓	✓	2.5
24	✓	✓	2.4
25	✓	✓	2.4

Fuente: Departamento de Producción

Tabla XXV Formulación de prueba seis (Mezcla 20 veces)

No.	Color	Aplicación	Peso (g)
1	✓	✓	2.3
2	✓	✓	2.4
3	✓	✓	2.3
4	✓	✓	2.3
5	✓	✓	2.4
6	✓	✓	2.5
7	✓	✓	2.5
8	✓	✓	2.4
9	✓	✓	2.4
10	x	✓	2.4
11	✓	✓	2.3
12	✓	✓	2.6
13	✓	✓	2.3
14	✓	✓	2.5
15	✓	✓	2.4
16	✓	✓	2.4
17	✓	✓	2.3
18	✓	✓	2.3
19	✓	✓	2.4
20	✓	✓	2.5
21	✓	✓	2.3
22	x	✓	2.4
23	✓	✓	2.5
24	✓	✓	2.3
25	✓	✓	2.3

Fuente: Departamento de Producción

Tabla XXVI Formulación de prueba seis (Mezcla 30 veces)

No.	Color	Aplicación	Peso (g)
1	✓	✓	2.3
2	✓	✓	2.4
3	✓	✓	2.3
4	✓	✓	2.4
5	✓	✓	2.5
6	x	✓	2.3
7	✓	✓	2.4
8	✓	✓	2.3
9	✓	✓	2.3
10	✓	✓	2.5
11	✓	✓	2.4
12	✓	✓	2.4
13	✓	✓	2.5
14	✓	✓	2.6
15	✓	✓	2.3
16	✓	✓	2.3
17	✓	✓	2.3
18	✓	✓	2.4
19	✓	✓	2.4
20	✓	✓	2.3
21	✓	✓	2.6
22	✓	✓	2.3
23	✓	✓	2.4
24	✓	✓	2.5
25	✓	✓	2.5

Fuente: Departamento de Producción

Tabla XXVII Formulación de prueba seis (Mezcla 40 veces)

No.	Color	Aplicación	Peso (g)
1	✓	✓	2.5
2	✓	✓	2.3
3	✓	✓	2.5
4	✓	✓	2.3
5	✓	✓	2.3
6	✓	✓	2.3
7	✓	✓	2.3
8	✓	✓	2.5
9	✓	✓	2.4
10	✓	✓	2.2
11	✓	✓	2.4
12	✓	✓	2.4
13	✓	✓	2.3
14	x	✓	2.4
15	✓	✓	2.5
16	✓	✓	2.4
17	✓	✓	2.5
18	✓	✓	2.3
19	✓	✓	2.4
20	✓	✓	2.3
21	✓	✓	2.5
22	✓	✓	2.4
23	✓	✓	2.4
24	✓	✓	2.3
25	✓	✓	2.4

Fuente: Departamento de Producción

Tabla XXVIII Formulación de prueba siete (Mezcla 20 veces)

No.	Color	Aplicación	Peso (g)
1	✓	✓	2.3
2	✓	✓	2.4
3	✓	✓	2.2
4	✓	✓	2.3
5	✓	✓	2.5
6	✓	✓	2.3
7	✓	✓	2.4
8	✓	✓	2.5
9	✓	✓	2.3
10	✓	✓	2.4
11	✓	✓	2.4
12	✓	✓	2.3
13	✓	✓	2.5
14	✓	✓	2.5
15	✓	✓	2.3
16	✓	✓	2.4
17	✓	✓	2.5
18	✓	✓	2.5
19	✓	✓	2.5
20	✓	✓	2.4
21	✓	✓	2.3
22	✓	✓	2.3
23	✓	✓	2.5
24	✓	✓	2.4
25	✓	✓	2.4

Fuente: Departamento de Producción

Tabla XXIX Formulación de prueba siete (Mezcla 30 veces)

No.	Color	Aplicación	Peso (g)
1	✓	✓	2.3
2	✓	✓	2.4
3	✓	✓	2.5
4	✓	✓	2.3
5	✓	✓	2.4
6	✓	✓	2.3
7	✓	✓	2.3
8	✓	✓	2.3
9	✓	✓	2.5
10	✓	✓	2.5
11	✓	✓	2.3
12	✓	✓	2.5
13	✓	✓	2.3
14	✓	✓	2.4
15	✓	✓	2.5
16	✓	✓	2.4
17	✓	✓	2.5
18	✓	✓	2.3
19	✓	✓	2.5
20	✓	✓	2.3
21	✓	✓	2.5
22	✓	✓	2.5
23	✓	✓	2.3
24	✓	✓	2.5
25	✓	✓	2.5

Fuente: Departamento de Producción

Tabla XXX Formulación de prueba siete (Mezcla 40 veces)

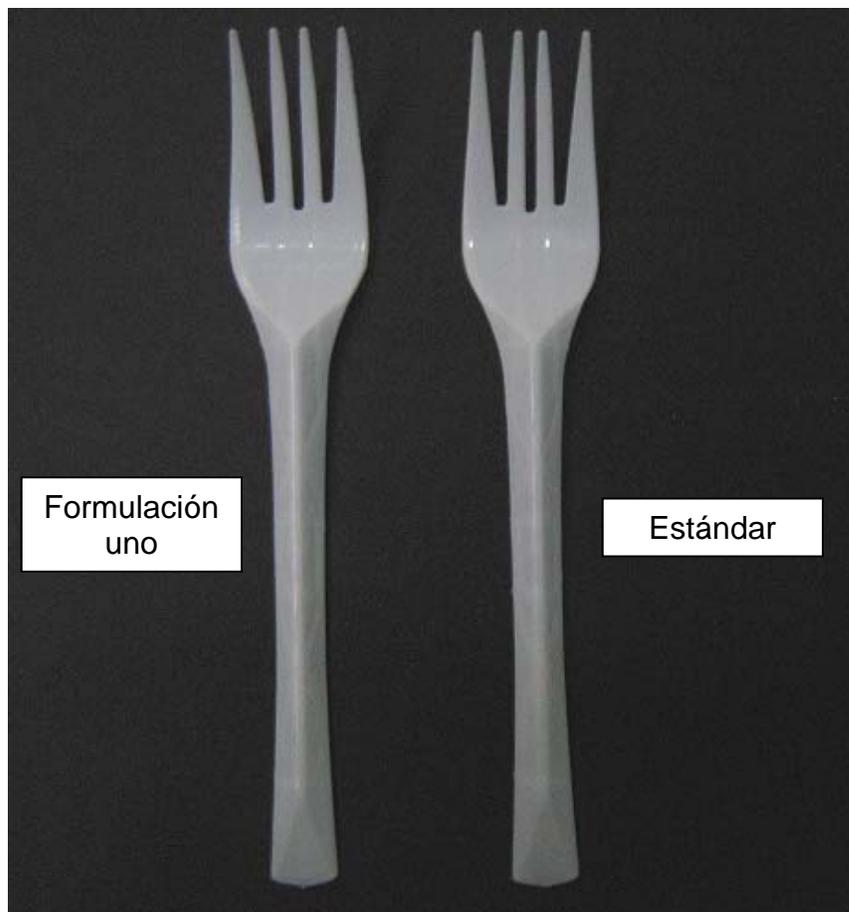
No.	Color	Aplicación	Peso (g)
1	✓	✓	2.5
2	✓	✓	2.5
3	✓	✓	2.3
4	✓	✓	2.3
5	✓	✓	2.5
6	✓	✓	2.4
7	✓	✓	2.5
8	✓	✓	2.3
9	✓	✓	2.4
10	✓	✓	2.4
11	✓	✓	2.5
12	✓	✓	2.3
13	✓	✓	2.5
14	✓	✓	2.3
15	✓	✓	2.6
16	✓	✓	2.5
17	✓	✓	2.4
18	✓	✓	2.3
19	✓	✓	2.3
20	✓	✓	2.3
21	✓	✓	2.2
22	✓	✓	2.4
23	✓	✓	2.4
24	✓	✓	2.3
25	✓	✓	2.4

Fuente: Departamento de Producción

APÉNDICE C

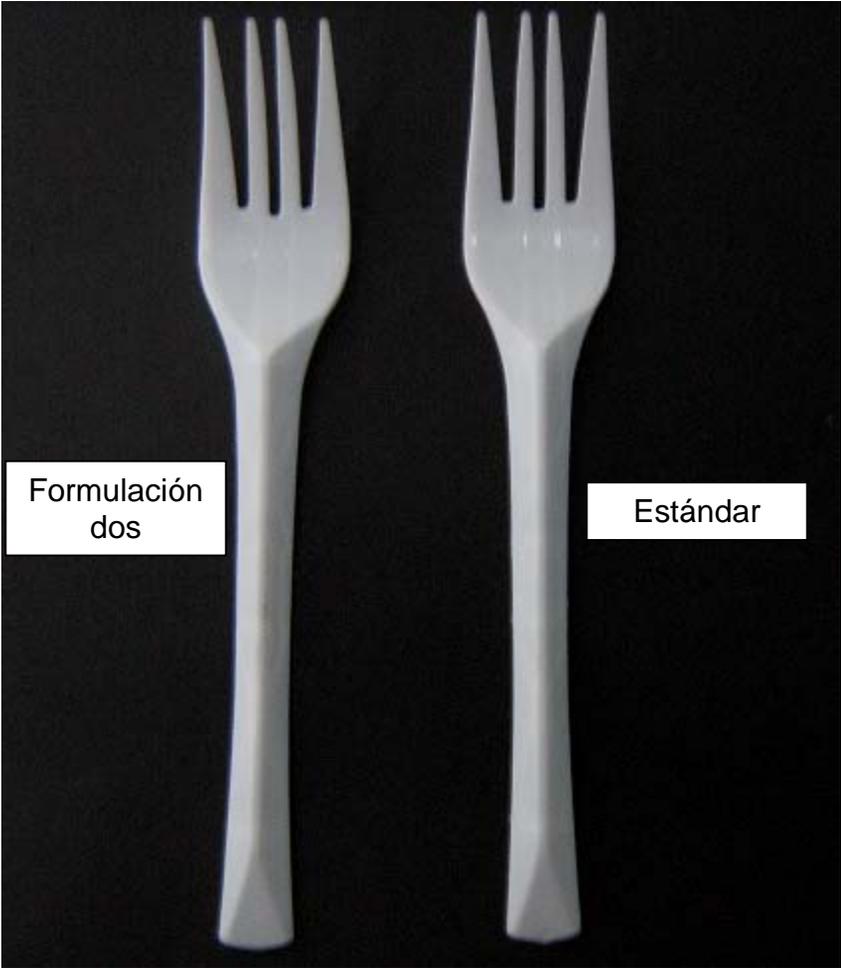
FOTOGRAFÍAS

Figura 22. Comparación entre producto final de formulación uno y estándar



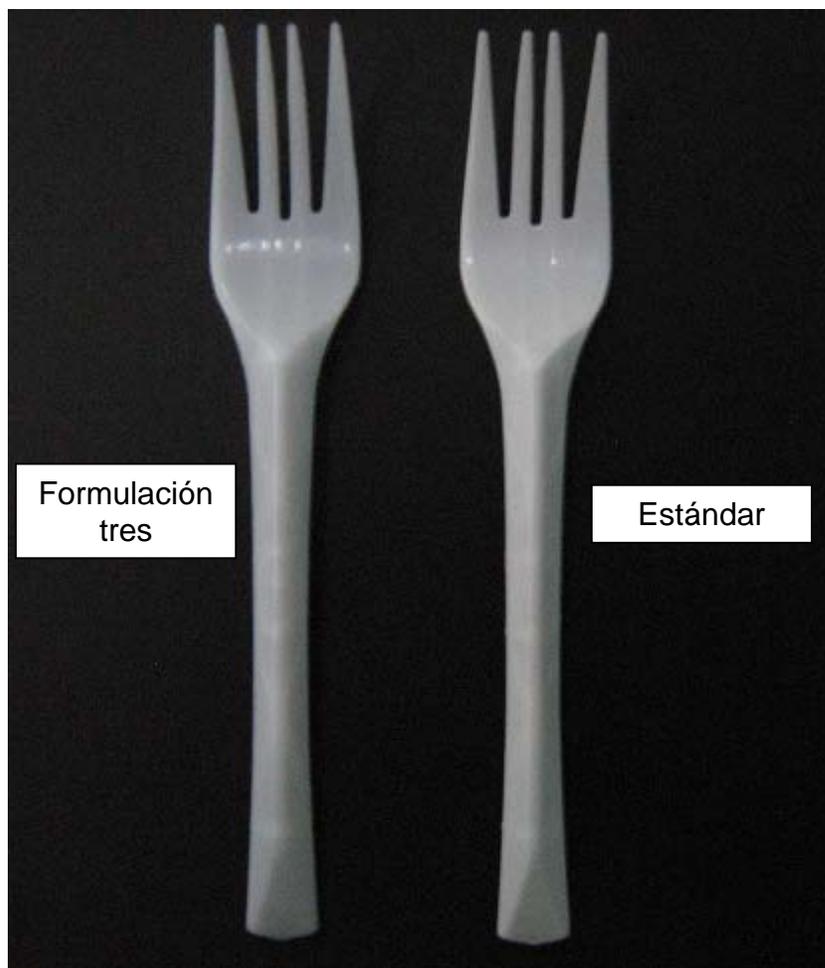
Fuente: Departamento de Producción

Figura 23. Comparación entre producto final de formulación dos y estándar



Fuente: Departamento de Producción

Figura 24. Comparación entre producto final de formulación tres y estándar



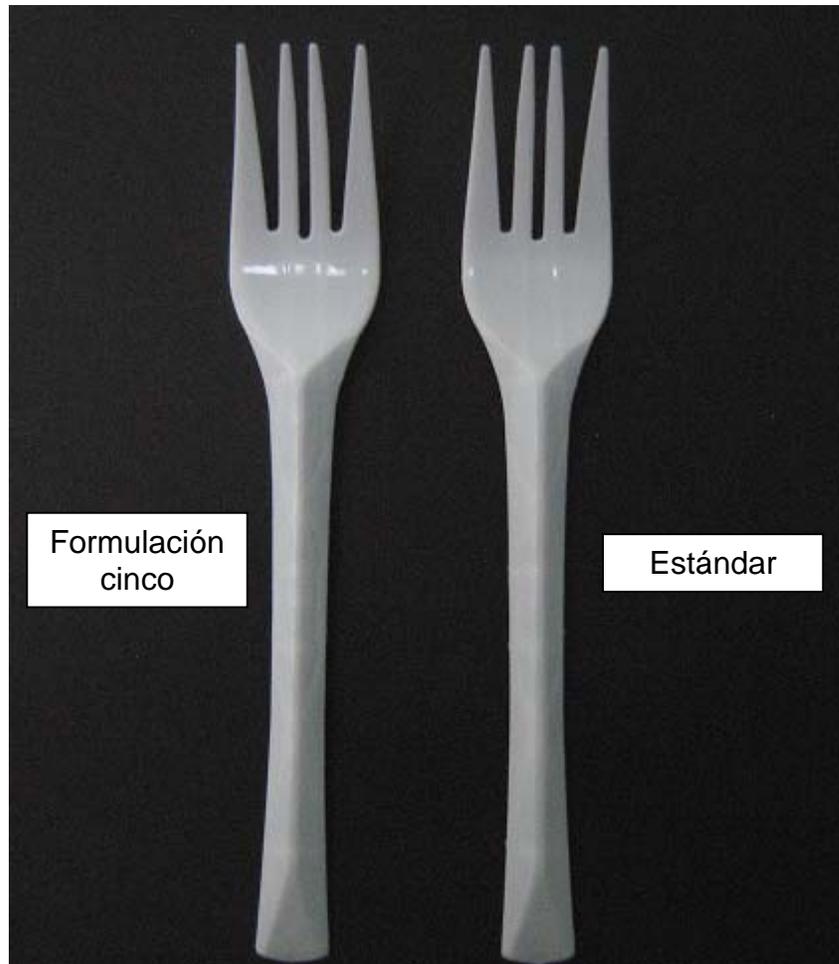
Fuente: Departamento de Producción

Figura 25. Comparación entre producto final de formulación cuatro y estándar



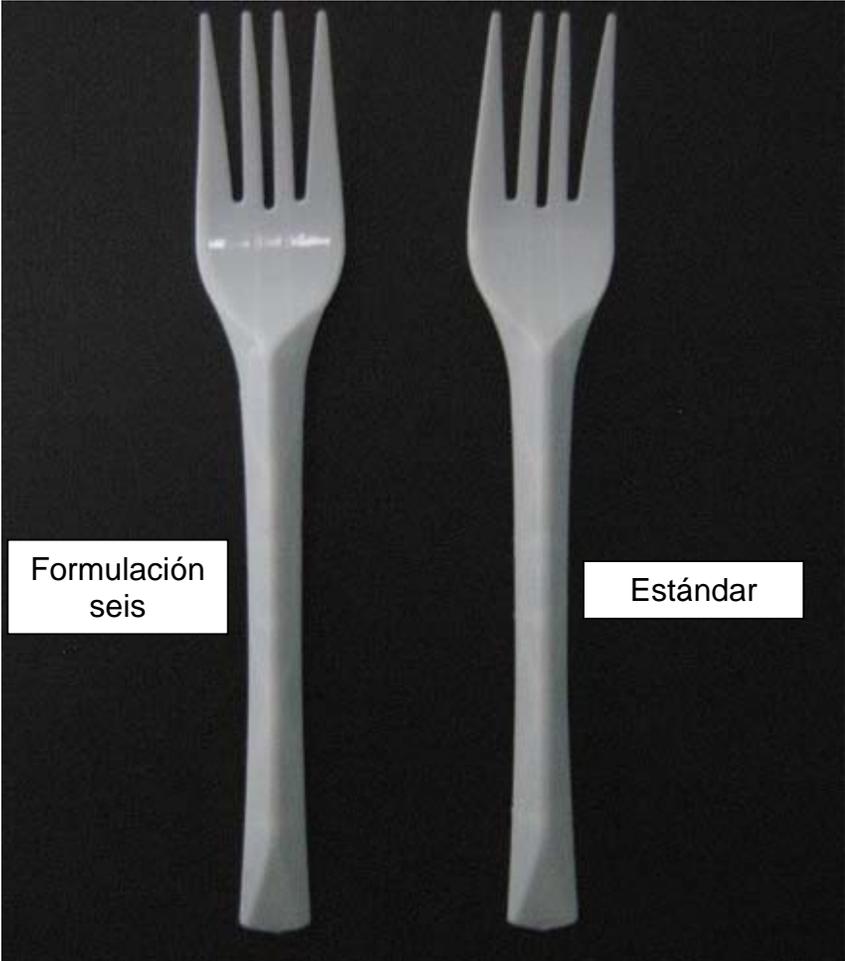
Fuente: Departamento de Producción

Figura 26. Comparación entre producto final de formulación cinco y estándar



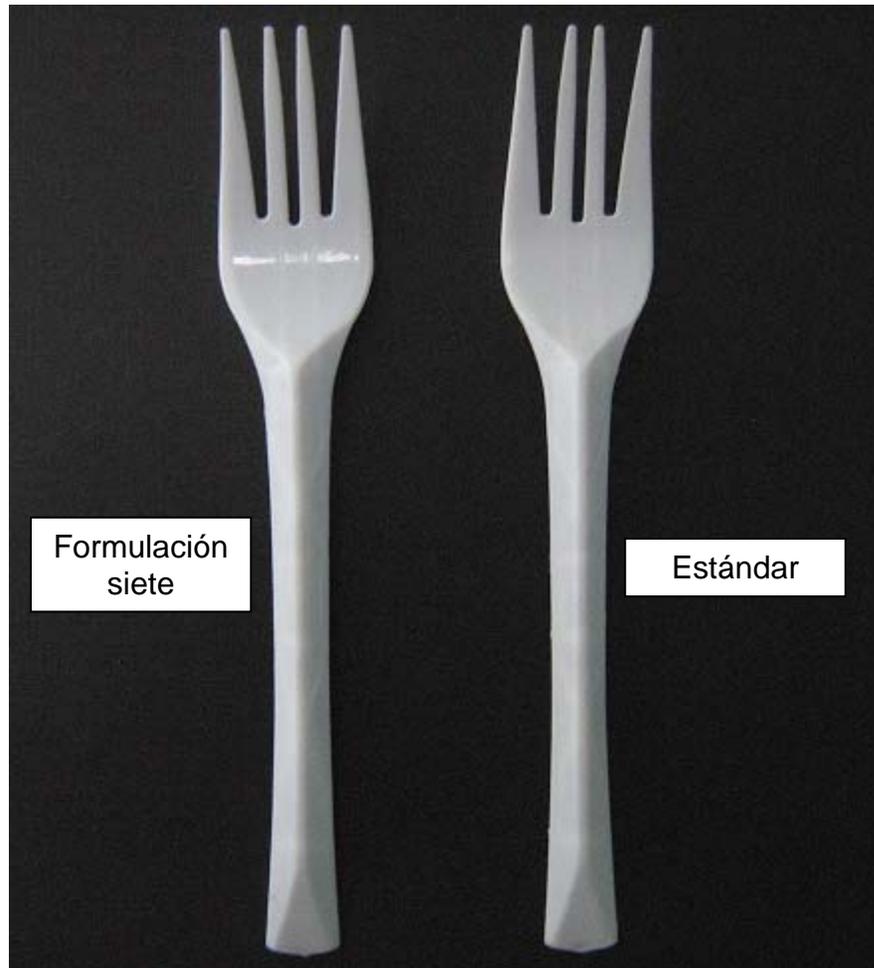
Fuente: Departamento de Producción

Figura 27. Comparación entre producto final de formulación seis y estándar



Fuente: Departamento de Producción

Figura 28. Comparación entre producto final de formulación siete y estándar



Fuente: Departamento de Producción

APÉNDICE D

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los parámetros que se tomaron en cuenta para el análisis estadístico fueron:

Media de la muestra (\bar{x})

La cual se calculó a partir de:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Donde: x_i = cada uno de los valores de la muestra

n = tamaño de la muestra

Desviación estándar de la muestra (S)

La cual se calculó a partir de:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (x_j - \bar{x})^2}{n-1}}$$

Límites superior e inferior (LS, LI)

Se calcularon mediante:

$$LS = \mu + 3\sigma = \bar{x} + 3S$$

$$LI = \mu - 3\sigma = \bar{x} - 3S$$

Donde: μ = media de la población

σ = desviación estándar de la población

Tabla XXXI Análisis estadístico de la formulación uno

Mezcla (veces)	\bar{x}	S	LI	LS
20	2.40	0.10	2.10	2.70
30	2.41	0.09	2.14	2.68
40	2.39	0.09	2.11	2.67
PROMEDIO	2.40	0.09	2.11	2.68

Fuente: Tabla X a Tabla XII

Tabla XXXII Análisis estadístico de la formulación dos

Mezcla (veces)	\bar{x}	S	LI	LS
20	2.39	0.08	2.14	2.64
30	2.40	0.08	2.16	2.63
40	2.38	0.11	2.04	2.73
PROMEDIO	2.39	0.09	2.11	2.66

Fuente: Tabla XIII a Tabla XV

Tabla XXXIII Análisis estadístico de la formulación tres

Mezcla (veces)	\bar{x}	S	LI	LS
20	2.38	0.10	2.08	2.69
30	2.39	0.09	2.11	2.67
40	2.39	0.10	2.08	2.69
PROMEDIO	2.39	0.10	2.09	2.68

Fuente: Tabla XVI a Tabla XVIII

Tabla XXXIV Análisis estadístico de la formulación cuatro

Mezcla (veces)	\bar{x}	S	LI	LS
20	2.39	0.09	2.12	2.66
30	2.40	0.10	2.10	2.70
40	2.41	0.08	2.16	2.66
PROMEDIO	2.40	0.09	2.13	2.67

Fuente: Tabla XIX a Tabla XXI

Tabla XXXV Análisis estadístico de la formulación cinco

Mezcla (veces)	\bar{x}	S	LI	LS
20	2.37	0.09	2.11	2.62
30	2.36	0.10	2.07	2.66
40	2.39	0.08	2.14	2.64
PROMEDIO	2.37	0.09	2.11	2.64

Fuente: Tabla XXII a Tabla XXIV

Tabla XXXVI Análisis estadístico de la formulación seis

Mezcla (veces)	\bar{x}	S	LI	LS
20	2.39	0.09	2.12	2.65
30	2.40	0.10	2.10	2.69
40	2.38	0.09	2.12	2.64
PROMEDIO	2.39	0.09	2.11	2.66

Fuente: Tabla XXV a Tabla XXVII

Tabla XXXVII Análisis estadístico de la formulación siete

Mezcla (veces)	\bar{x}	S	LI	LS
20	2.39	0.09	2.12	2.66
30	2.40	0.09	2.12	2.68
40	2.39	0.10	2.09	2.69
PROMEDIO	2.39	0.09	2.11	2.68

Fuente: De Tabla XXVIII a Tabla XXX