

CAPÍTULO 6

DISEÑO EXPERIMENTAL

CAPÍTULO 6

DISEÑO DE EXPERIMENTOS

Una vez controlado el proceso y hecho el análisis estadístico pertinente, con el objetivo de comprobar las conjeturas hechas hasta el momento; el presente capítulo describe el desarrollo del Diseño Experimental y los resultados obtenidos.

6.1. DEFINICIÓN

“Un experimento diseñado es una prueba o 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 respuesta de salida”Montgomery[5]1991. Actualmente los métodos de diseño experimental tienen una amplia aplicación en muchas disciplinas. Ejemplos: la Agricultura y el Diseño Técnico.

El Diseño Experimental puede ser considerado como parte del proceso científico y una de las formas en que aprendemos acerca de la forma en que funcionan los sistemas o procesos. Por lo general, este aprendizaje se da a través de una serie de actividades en las cuales hacemos conjeturas sobre un proceso, realizamos experimentos para generar datos a partir del proceso, y entonces usamos la información del experimento para establecer nuevas suposiciones, que llevan a realizar nuevos experimentos, y así sucesivamente, comportándose cíclicamente.

6.1.1 PERSPECTIVA HISTÓRICA

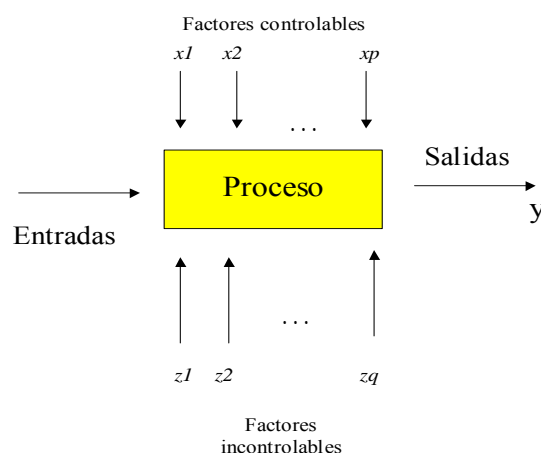
Sir Ronald Fisher fue el innovador del uso de los Métodos Estadísticos de Experimentos, ya que utilizó por primera vez el Análisis de Variancia como herramienta primaria para el análisis estadístico en el Diseño Experimental. A pesar de que fue el pionero, muchos han contribuido de manera significativa, entre ellos pueden encontrarse F. Yates, G.E.P. Box, R.C Bose, O. Kempthorne y W.G Cochran.

Muchas de las primeras aplicaciones de los métodos sobre este rubro se dieron en las áreas de Agricultura y Ciencias Biológicas. Sin embargo, las primeras aplicaciones industriales se hicieron en 1930 aproximadamente, en el área Textil. Después de la Segunda Guerra Mundial, los métodos del Diseño Experimental se introdujeron en la industria Química y de Transformación de Estados Unidos y Europa. En años recientes ha habido un renovado interés, en virtud de que varias industrias descubrieron que sus competidores han estado usando por mucho tiempo Experimentos Diseñados, lo que ha sido un factor importante en su éxito.

6.1.2 OBJETIVOS DE UN DISEÑO EXPERIMENTAL

Todo proceso o sistema productivo puede representarse mediante el modelo mostrado en la Fig.6.1 :

Figura 6.1 Modelo General de un proceso o sistema¹



Es decir, que puede ser visualizado como una combinación de máquinas, métodos, personas y otros recursos que transforman alguna entrada (materia prima), en una salida que tiene una o más respuestas observables. Algunas variables dentro del proceso son controlables, mientras que otras son incontrolables.

¹ Montgomery Douglas. Diseño y Análisis de Experimentos. Ed. Iberoamericana. México 1991. Pág. 2

Un experimento diseñado tiene por objetivo:

- Determinar cuáles son las variables que tienen mayor influencia en la variable de respuesta.
- 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.
- Determinar la mejor combinación de las variables controlables que ayuden a reducir la variabilidad de la respuesta.
- Establecer la combinación óptima de las variables controlables, con el objetivo de minimizar los efectos de las variables incontrolables.

El Diseño Experimental es un medio de importancia en la Ingeniería para mejorar el rendimiento de un proceso de manufactura, así como en el desarrollo de nuevos productos. Su aplicación en una fase temprana de la evolución de un proceso puede dar como resultado:

- Mejora en el rendimiento del proceso.
- Reducción de variabilidad y aumento del apego a especificaciones o valor objetivo.
- Menor tiempo de desarrollo.
- Minimización de costos.

Otro cometido de un Modelo Experimental, son las actividades de Diseño Técnico; dentro de las cuales se desarrollan nuevos productos y se mejoran otros ya existentes. Algunas de sus aplicaciones son:

- Evaluación y comparación de configuración de diseños básicos.
- Valoración de materiales alternativos.
- Selección de parámetros de diseño, a modo de que el producto tenga un buen funcionamiento, esto es que el producto sea consistente.

6.2 TERMINOLOGÍA

El diseño de experimentos ha sido creado por matemáticos y estadísticos, por lo que posee su propio lenguaje, el cual es necesario conocer para su mejor comprensión y utilización. A continuación se describen los términos más importantes Beauregard [6](1992):

- *Factor*: Una de las variables dependientes que son estudiadas en el experimento. Ésta puede ser cualitativa, como: cambios en el equipo, métodos, material utilizado; o cuantitativa, por ejemplo: la temperatura, presión, tiempo, etc.
- *Nivel*: Son los valores que puede tener el factor a estudiar.
- *Combinación*: Es la asignación de un solo nivel a un factor, o de varios niveles a todos los factores en una corrida experimental.
- *Variable de respuesta*: Es el resultado de una corrida experimental. Variable a estudiar.
- *Efecto*: Es el cambio en la variable de respuesta por el cambio de el nivel de un factor.
- *Interacción*: Cuando uno o más factores trabajan juntos para producir un efecto diferente que los efectos producidos por aquellos factores de manera individual.
- *Corrida experimental*: Implementación de cada una de las combinaciones.
- *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.
- *Replicación*: Repetición de la corrida experimental.

6.3 DIRECTRICES PARA EL DISEÑO DE EXPERIMENTOS

Para poder analizar un experimento de manera correcta, es necesario que se tenga una idea clara sobre el problema que se va a estudiar, el modo de la recolección de datos y su análisis. A continuación se presenta la metodología a emplear en el presente estudio Montgomery [7](1991)

- a. Comprensión y planteamiento del problema.* Aunque este punto pudiera parecer obvio, en muchas ocasiones resulta complicado diseñar un planteamiento claro y aceptable. Es necesario consultar a todas las partes implicadas: cuerpo técnico, aseguramiento de calidad, manufactura, clientes, etc. Un planteamiento claro del problema contribuye a tener un mejor conocimiento del fenómeno y de la solución final del problema.
- b. Elección de factores y niveles.* El experimentador debe elegir los factores y los niveles específicos a los cuales variará el experimento. Tal conocimiento suele ser una combinación de experiencia y comprensión teórica.
- c. Selección de la variable de respuesta.* La selección de respuesta o variable dependiente, hecha por el investigador, debe de asegurar que, la medición de ésta pueda realmente proveer información sobre el proceso estudiado.
- d. Elección del diseño experimental.* Para elegir el diseño es necesario considerar el tamaño muestral (número de repeticiones), seleccionar un orden adecuado para los ensayos y determinar si hay implicado un bloqueo u otras restricciones de aleatorización.
- e. Realización del experimento.* Cuando se realiza el experimento, es vital monitorear el proceso para asegurar que todo se haga conforme a lo planeado, ya que los errores en esta fase suelen anular la validez experimental.

- f. **Análisis de datos.** Deben emplearse métodos estadísticos para analizar los datos, de modo que los resultados y conclusiones sean objetivos más que apreciativos. Actualmente, existen excelentes paquetes de software para este análisis, así como varios métodos gráficos sencillos importantes en la interpretación de ellos, ejemplos son: MINITAB y EXCEL.

6.4 EXPERIMENTOS

La etapa de los experimentos dio inicio en el mes de junio y se culminó en septiembre. Debido a las situaciones presentadas durante su desarrollo fueron llevados a cabo en 2 partes; primer experimento, llevado a cabo entre los meses de junio – julio; y el segundo experimento, desarrollado entre agosto-septiembre.

6.4.1 PRIMER EXPERIMENTO

6.4.1.1 ELECCIÓN DE FACTORES Y NIVELES

Hoy en día, a pesar del auge que tienen los Diseños Experimentales, aún no existe una regla o metodología confiable, que ayude al investigador, a identificar y jerarquizar los factores con sus respectivos niveles a manera de obtener el valor óptimo de la variable de respuesta a estudiar. Es la experiencia acerca del comportamiento sobre el proceso y de los factores, la mejor herramienta considerada hasta estos momentos.

La experiencia obtenida en fases anteriores, fue de gran ayuda para esta tesis, no obstante fue necesario, convivir con el proceso, conocer las especificaciones que el área maneja para algunas variables (Tabla 6.1), así como de escuchar la experiencia de operadores y supervisores para poder establecer nuevas conjeturas que ayudarán a elegir tanto a los factores como a los niveles. También se hicieron Análisis Estadísticos previos, aunque no se obtuvo una respuesta exitosa.

Tabla 6.1 Especificaciones de variables	
Variable	Especificación
Temperatura de base(°C)	80 \pm 5
Cantidad de reproceso (Kg)	No más del 15 % de peso del cocido
Temperatura de la goma después de mezclado(°C)	45 \pm 3

Durante la convivencia en el área se observó que algunas de las especificaciones no se cumplen, ejemplo: es la temperatura de la goma, donde el batch card, menciona que sólo podrá ser utilizada como reproceso si supera a los 52°C. Generalmente los operadores se dejan guiar por este documento, no cumpliendo con lo especificado.

El primer experimento está compuesto por 2 modelos: Modelo de Fabricación y Modelo de Laminación. La tabla 6.2 muestra los factores y niveles propuestos para cada uno de ellos:

Tabla 6.2 Factores y niveles del primer experimento		
Modelo Fabricación Goma		
Variable Crítica	Nivel bajo	Nivel alto
Temperatura de la base (°C)	75.6	76.8
Temperatura de la goma(°C)	53.8	55
Reproceso (Kg)	0	69
Modelo Laminación		
Variable Crítica	Nivel bajo	Nivel alto
Temperatura de la goma después del extruder (°C)	41	44
Vel. Rodillo # 5 (rpm)	49.7	51.6
Vel. Rodillo # 6 (rpm)	65	67.4
Vel. Rodillo # 7 (rpm)	64.1	65
Largo (cm)	44.5	45.5
Espesor (mm)	4.35	4.45

Las variables a estudiar son la temperatura de la goma al finalizar el mezclado y el peso de la lámina, para cada modelo respectivamente. Con los niveles propuestos para el Modelo de Fabricación, se busca obtener valores de entre 47 y 48 °C para la variable de respuesta. En

el caso del Modelo de Laminación, se desea generar pesos de lámina de entre 831 y 837 g con un objetivo de 833 g

6.4.1.2 SELECCIÓN DEL DISEÑO

Siguiendo el orden de la metodología establecida, las características para cada modelo son las siguientes.

Modelo de Fabricación.

Se consideró un diseño 2^3 , es decir, compuesto por 3 factores, cada uno de ellos a 2 niveles: alto y bajo. Su implementación está dada en un solo bloque, en donde el orden de las corridas es obtenido con ayuda del programa MINITAB (Tabla 6.3). El tamaño de réplica se calculó con las Tablas Militar (Apéndice 2 Sección A), considerando una inspección normal, y una fabricación de 40 cocidos en un turno, por lo que cada corrida es igual a un cocido.

Tabla 6.3 Bloque “Modelo Fabricación”	
No.de corrida	BLOQUE 1
1	a
2	b
3	ab
4	c
5	ac
6	bc
7	abc

Donde :

a = Temperatura de la base

b = Temperatura de la glucosa

c = Cantidad de reproceso

Modelo de Laminación.

El diseño seleccionado es un 2^{6-1} . Su implementación está dado en 4 bloques de 8 corridas cada uno, obteniendo un total de 32 corridas. El número de réplicas se estima con ayuda de Tablas Militar (Apéndice 2 Sección C) seleccionando una inspección reducida y una producción por turno de 40 cocidos (equivalente a 80 charolas). Una corrida es igual a un cocido, del cual se estudia, el peso de las láminas de 2 charolas. Cada dato de peso es tomado como réplica, por lo tanto se cuenta con 12 muestras. La selección del tamaño de réplica y el uso de las Tablas Militar, se debe al tipo de producto que estamos analizando (goma caliente), ya que entre mayor número de muestras se maneje, puede ocasionar, que está se enfríe y cambie sus propiedades (variación de peso).

El orden fue obtenido nuevamente con MINITAB, como lo muestra la tabla 6.4:

Tabla 6.4 Bloques “Modelo de Laminación”				
No.de corrida	BLOQUE 1	BLOQUE 2	BLOQUE 3	BLOQUE 4
1	ce	bcef	cdef	abcdef
2	bf	bcd	abef	ad
3	ab	de	be	ae
4	cd	af	bd	bc
5	acdf	adef	ac	abcf
6	acef	abce	cf	df
7	abde	abcd	acde	bcde
8	dbef	[1]	abdf	ef

Debido a que el proceso no es tan flexible en el cambio entre niveles, en cuanto a la temperatura se refiere, se presenta la tabla 6.5 en la que se propone un nuevo orden:

Tabla 6.5 Bloques “Modelo de Laminación” (Nuevo orden)				
No.de corrida	BLOQUE 1	BLOQUE 2	BLOQUE 3	BLOQUE 4
1	ce	cdef	ab	abef
2	bf	bc	acdf	ac
3	cf	be	acef	acde
4	cd	bd	abde	abdf
5	bcef	df	af	abcdef
6	bcd	bcde	adef	ad
7	de	ef	abce	ae
8	dbef	[1]	abcd	abcf

Donde:

a = Temperatura de la goma
b = Velocidad del rodillo # 5
c = Velocidad del rodillo # 6
d = Velocidad del rodillo # 7
e = Espesor
f = Largo

6.4.1.3 REALIZACIÓN DEL EXPERIMENTO

Para tener el mayor orden posible durante este paso se crea la Guía de Implementación (Apéndice 8), en ella se explican tanto las características de cada modelo así como los requerimientos necesarios para ser llevados a cabo. A continuación se describen las situaciones y resultados obtenidos para cada modelo.

Modelo de Fabricación

La primera experimentación para este modelo, se tenía contemplada a las 7 de la mañana, hora a la cual inicia el primer turno, pero al tomar la temperatura de la base, ésta presentaba temperaturas superiores a los niveles propuestos, por lo que fue necesario fundir una nueva carga, buscando obtener un nivel bajo. Esto ocasionó que el plan fuera atrasado por 2 horas y por tanto no se pudo seguir la Guía de Implementación.

Durante este lapso, se notó lo siguiente:

1. La base se transporta al tanque de almacenamiento únicamente cuando ésta se funde totalmente, pero que no hay una especificación en cuanto al tiempo para fundir ni en cuanto a la temperatura que debe tener la base, para que pueda ser almacenada. El transporte se realiza con ayuda de una bomba de presión. Durante esta etapa la base pasa por 2 filtros, en donde el último de ellos posee lanas con un espacio de aproximadamente 3 milésimas de pulgada entre ellas, lo cual dificulta su paso si no es fundida totalmente. De pasar esto, puede atorarse en los ductos,

haciendo que se fuerce la bomba, provocando que se desgaste y la temperatura de la base aumente.

2. Los mezcladores de fundido se encuentran en un sistema dependiente, por lo que todos trabajan a la misma temperatura, ocasionando retraso a los operadores cuando tienen que fundir diferentes tipos de base, principalmente cuando funden la necesaria para MAX AIR ya que tiene un punto de fusión muy alto.
3. Algunas veces la base se deja almacenada de un turno a otro. Los operadores de fundido y de mezclado opinan que los cocidos preparados con ésta, permiten mantener al producto dentro de especificación, esto es explicado por la disminución de la temperatura de la base, lo que ayuda a confirmar los niveles propuestos para este modelo.

Al tomar nuevamente la temperatura de la base fundida, se percató que en los mezcladores 4 y 5 la temperatura de base presenta el nivel bajo, mientras que en el 1 y 2 el nivel alto, esto se debe a que la materia prima no proviene de los mismos tanques de almacenamiento.

Posteriormente, se presentó otro imprevisto, la glucosa presentaba la temperatura únicamente del nivel bajo. Las condiciones de glucosa no son manipuladas por el área de fabricación sino por el área de servicios, por lo que se acudió a los operadores, al supervisor y al Ing. de Calidad para solucionar la situación. El supervisor, quién es el encargado de autorizar cualquier cambio, aconsejó investigar las consecuencias que pueden provocar los niveles solicitados en el equipo y materia prima, para, que una vez conocidas y aceptadas, fueran solicitadas al área de servicios.

Debido a la situación anterior, sólo se pudieron ejecutar las corridas que tuvieran las condiciones posibles en fabricación. A pesar de no llevarse a cabo el experimento completo, los operadores expresaron los buenos resultados que la goma presentaba con los niveles propuestos, ya que no hubo variación significativa en sus parámetros objetivo (peso, largo y espesor).

En días siguientes, se llevó a cabo la solicitud del supervisor, para conocer las características de la glucosa (Apéndice 9). Aunque los niveles propuestos sí entraban dentro de lo permitido, supervisión se mantuvo escéptico por lo que no se le pudo correr por completo este experimento, y comprobar en su totalidad las conjeturas hechas.

Modelo de Laminación

La primera experimentación fue llevada a cabo durante 2 días, ajustándose a las condiciones que el área ofrecía, en cuanto a la temperatura de la goma se refiere, ya que no fue posible realizar su experimentación de manera conjunta al Modelo de Fabricación, debido a las situaciones descritas anteriormente.

El modelo a utilizar es un 2^{6-1} . Durante el primer día se realizaron los experimentos en el segundo turno. Las corridas ejecutadas así como los resultados obtenidos son mostrados en la tabla 6.6:

Tabla 6.6 Resultados “Modelo de Laminación” (Primer experimento)			
No.de corrida	ab	acf	acd
Temperatura (°C)	45	45	45
Vel. Rod # 5 (rpm)	51.6	49.7	49.7
Vel. Rod # 6(rpm)	65	65.3	65
Vel. Rod #7 (rpm)	64.1	64.3	65
Espesor (mm)	4.32	4.45	4.40
Largo (mm)	44.5	45.5	43.9
Peso de la lámina(g)	<u>847</u>	<u>823</u>	833

*Láminas que cumplen con la especificación

*Láminas que no cumplen con la especificación

De las 3 corridas, 2, arrojaron láminas con pesos que salen fuera especificación (831-837g). Fue alentador, que los mismos operadores tomaran cartas en el asunto al rechazar 3 plataformas, notándose una mejora en cuanto a la conciencia sobre el Control Estadístico. Al seleccionar los niveles a los cuales se debería correr el diseño, no se sabía la magnitud con la que las diferentes combinaciones afectarían el proceso. Esta experimentación lo dio a conocer con los resultados obtenidos, por lo que no se realizaron más corridas durante ese día para no generar más reproceso.

Al siguiente día los operadores de laminación comentaron que la última corrida implementada el día anterior se utilizó durante todo el turno, manteniendo al proceso bajo

control. Esto no sólo fue resultado de las velocidades empleadas, sino también de la temperatura de la goma, la cual osciló entre 44 y 45 ° C, reflejando el uso de los tiempos automáticos y una temperatura de la base de aproximadamente 77 ó 78 °C. Prestando atención a lo comentado, se implementó nuevamente la última corrida del día anterior ajustando a la temperatura de la goma bajo las mismas condiciones. Los resultados obtenidos fueron pesos con valores dentro de especificación.

Haciendo una comparación entre los datos del primer y segundo día, fue posible comprender la magnitud de cambio, que existe al aumentar en una sola unidad las velocidades en los rodillos. Es por eso que se hizo un ajuste en los niveles, buscando que entre ellos hubiera una diferencia menor a una unidad y tomando como guía a los implementados el día anterior. La validación de los niveles ajustados se muestran en la tabla 6.7.

Tabla 6.7 Resultados de la primera y segunda prueba		
<i>Variable</i>	<i>1er. experimento</i>	<i>2do. experimento</i>
Temperatura de la goma (°C)	45	45
Vel. Rod # 5 (rpm)	50.3	50.3
Vel. Rod #6(rpm)	65.7	65.7
Vel. Rod # 7 (rpm)	64.3	64.1
Peso promedio (g)	<u>822</u>	<u>826</u>

*Láminas que no cumplen con la especificación

Como se observa en la tabla anterior a pesar del nuevo ajuste a los niveles, no se obtuvo producto dentro de especificación, rechazándose 3 plataformas. Sin embargo, esto no provocó desánimo en los operadores, ya que apoyaron con entusiasmo en una nueva experimentación, para la cual si hay una mejora como muestra la tabla 6.8.

Tabla 6.8 Resultado tercera prueba	
<i>Variable</i>	<i>Tercer Experimento</i>
Temperatura de la goma (° C)	45
Vel. Rod # 5 (rpm)	50.3
Vel. Rod #6 (rpm)	65.7
Vel. Rod # 7 (rpm)	64.3
Peso promedio # 1	836
Peso promedio # 2	831
Peso promedio # 3	834
Peso promedio # 4	834

*Láminas que cumplen con la especificación

6.4.1.4 CONCLUSIONES DEL PRIMER EXPERIMENTO

Debido a las situaciones descritas anteriormente se puede resumir que las conjeturas relacionadas con la temperatura de la goma al finalizar el mezclado, no pueden ser comprobadas en su totalidad, ya que no se cuenta con la autorización necesaria para la manipulación de los niveles propuestos para el Modelo de Fabricación.

Lo anterior ocasionó, que la realización del experimento del Modelo de Laminación se ajustará a las condiciones existentes en el área; provocando que los niveles inicialmente propuestos no generarán los resultados deseados. Sin embargo, ofrecen la información suficiente para realizar los ajustes necesarios a este modelo y así obtener uno nuevo. Iniciando así lo que se considera como la segunda experimentación. Las características de este diseño, así como los resultados obtenidos son descritos a continuación.

6.4.2 SEGUNDO EXPERIMENTO (NUEVO MODELO)

Con base en los resultados en el primer experimento y en los consejos dados por los operadores, se hicieron los ajustes pertinentes al Modelo de Laminación para realizar un nuevo experimento, que cumpliera con las condiciones para ser llevado a cabo por completo.

6.4.2.1 SELECCIÓN DE DISEÑO, FACTORES Y NIVELES

El nuevo diseño a realizar es un 2^3 , considerando a los factores mostrados en la tabla 6.9.

Tabla 6.9 Variables del Nuevo “Modelo de Laminación”	
a	Vel. Rodillo # 5
b	Vel. Rodillo #6
c	Vel. Rodillo #7

El modelo tiene como supuesto que la temperatura de la goma al laminar debe oscilar entre los 44-45°C, que en promedio es la que el área generalmente ofrece, siempre y cuando se utilicen los tiempos automáticos y la base se encuentre a una temperatura de aproximadamente 77- 78°C.

El nuevo modelo, queda independiente del Modelo de Fabricación, esto debido a las situaciones ya comentadas anteriormente. Los niveles para cada uno de los factores se muestran en la tabla 6.10:

Tabla 6.10 Niveles (Nuevo “Modelo de Laminación”)		
Factor	Nivel bajo	Nivel alto
Vel. Rodillo 5 (rpm)	49.7	51
Vel. Rodillo 6 (rpm)	65.3	65.7
Vel. Rodillo 7 (rpm)	64.5	64

Está compuesto por un bloque (1 turno) con 8 corridas. El tamaño de réplica es igual a 12 láminas, de la misma manera que se tenía contemplado el Modelo de Laminación anterior.

6.4.2.2 REALIZACIÓN DEL EXPERIMENTO

Debido al tiempo y planes de producción no fue realizado en 1 bloque sino en 2. El primero, durante el primer turno y el segundo, al siguiente día durante el segundo turno. Las tablas 6.11 y 6.12 muestran las corridas y resultados obtenidos para cada bloque:

Tabla 6.11 Resultados primer bloque segundo experimento				
<i>Corrida</i>	<i>ABC</i>	<i>C</i>	<i>B</i>	<i>AB</i>
<i>Vel. Rod # 5 (rpm)</i>	51	49.7	49.7	51
<i>Vel. Rod # 6 (rpm)</i>	65.7	65.3	65.7	65.7
<i>Vel. Rod # 7 (rpm)</i>	64.5	64.5	64	64
<i>Peso Promedio(g)</i>	<u>841</u>	<u>826</u>	<u>825</u>	834

Tabla 6.12 Resultados segundo bloque segundo experimento				
<i>Corrida</i>	<i>(I)</i>	<i>A</i>	<i>AC</i>	<i>BC</i>
<i>Vel. Rod # 5 (rpm)</i>	49.7	51	51	49.7
<i>Vel. Rod # 6 (rpm)</i>	65.3	65.3	65.3	65.7
<i>Vel. Rod # 7 (rpm)</i>	64	64	64.5	64.5
<i>Peso Promedio(g)</i>	<u>836</u>	<u>847</u>	833	835

*Láminas que cumplen con la especificación

*Láminas que no cumplen con la especificación

Después de numerosos intentos durante más de 2 meses, se logró completar la experimentación de un modelo y la propuesta de los niveles óptimos de operación. Para la toma de datos de cada una de las corridas del experimento, se tenía contemplado obtener 12 datos de peso, sin embargo no fue posible hacer la corrida de esta forma debido a que la goma se enfriaba. La solución consistió en cambiar la cantidad a 6 datos por corrida (Apéndice 10)

6.4.2.3 ANÁLISIS DE DATOS

Para el análisis de datos es utilizado el programa MINITAB. Para este experimento se plantean las siguientes hipótesis:

Ho: No hay efecto en el peso debido a la velocidad del rodillo # 5.

Ho: No hay efecto en el peso debido a la velocidad del rodillo # 6.

Ho: No hay efecto en el peso debido a la velocidad del rodillo # 7.

Contra:

Ha : Sí hay efecto en el peso

Para probar esto, el programa utiliza un valor α de 0.05. En la tabla 6.13 se muestra la tabla de ANOVA arrojada por MINITAB. Las figuras 6.2 y 6.3, proporciona el diagrama correspondientes a los efectos principales y a los dobles, respectivamente.

TABLA 6. 13 ANOVA GENERAL

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		835.125	0.3909	2136.59	0.000
Block		1.083	0.7817	1.39	0.173
rod 5	7.083	3.542	0.3909	9.06	0.000
rod 6	-2.333	-1.167	0.5528	-2.11	0.041
rod 7	-3.083	-1.542	0.3909	-3.94	0.000
rod 5*rod 6	-3.500	-1.750	0.5528	-3.17	0.003
rod 5*rod 7	-0.250	-0.125	0.3909	-0.32	0.751
rod 6*rod 7	11.000	5.500	0.5528	9.95	0.000

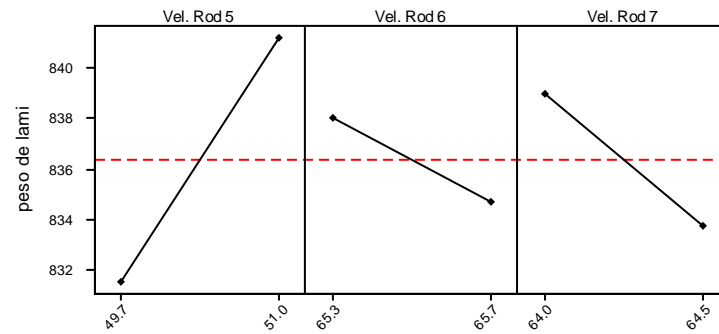


Figura 6.2 Diagrama de efectos principales

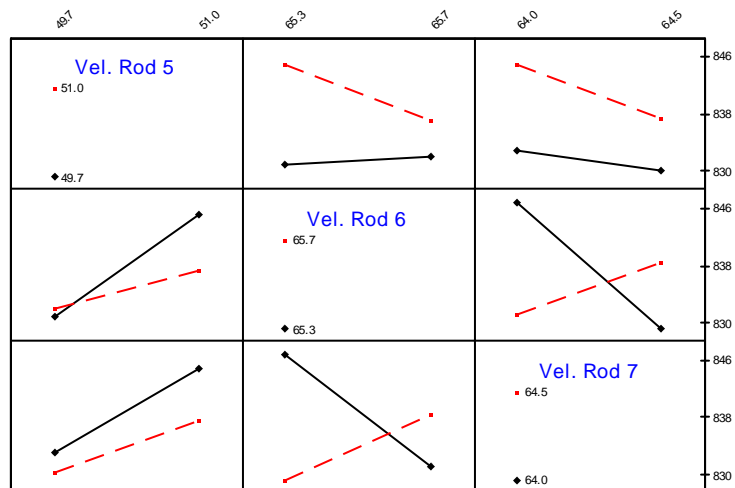


Figura 6.3 Diagrama de interacciones

El mismo programa ofrece en la tabla de ANOVA, el valor P, que es definido como “el mínimo nivel de significación α , para el cual los datos observados indican que se tendría que rechazar la hipótesis nula ”Mendenhall[8]1994. Es decir, que si el valor α es mayor o igual que el valor P de un factor, se considera que dicho factor influye en la variable de respuesta.

Tomando en cuenta lo anterior, se observa que los factores que presentan un valor P menor que $\alpha = 0.05$ y por tanto pueden influir en el peso de la lámina son : Velocidad del rodillo # 5, Velocidad del rodillo # 6 y Velocidad del rodillo # 7. Las interacciones que presentan el mismo comportamiento son: Velocidad del rodillo #5 –Velocidad del rodillo #6 y Velocidad del rodillo # 6- Velocidad del rodillo # 7.

Con el análisis realizado hasta el momento, ha sido posible conocer la manera en que los diferentes niveles afectan a la variable de respuesta. Sin embargo estos no dan a conocer los valores que se deben manejar, para laborar de manera óptima. La selección de éstos dependen del objetivo a cumplir. En algunos casos puede ser la minimización de costos de fabricación, reducción de defectuosos, etc. Con motivo de este estudio, serán considerados como niveles óptimos aquellos, que no sólo permitan ofrecer láminas de chicle que cumplan con las especificaciones del área de laminación, sino que a su vez, se vean reflejados sus beneficios en el área de empaque, al obtener un índice de eficiencia mayor al estándar y la mínima generación de porcentaje de reproceso.

Al correr el experimento (Modelo de Laminación), se obtuvo que 2 de las 8 corridas, afectan al peso de las láminas y ayudan a cumplir con la especificación del área. Buscando su comprobación y la medición de sus beneficios en el área de empaque fueron llevadas a cabo nuevamente estas corridas. La Tabla 6.14, muestra los resultados arrojados, los cuales confirman los resultados del experimento anterior.

Tabla 6.14 Corridas comprobatorias		
<i>Corrida</i>	<i>AB</i>	<i>BC</i>
<i>Vel. Rod # 5(rpm)</i>	51	49.7
<i>Vel. Rod # 6(rpm)</i>	65.7	65.7
<i>Vel Rod # 7(rpm)</i>	64	64.5
Peso promedio(g)	834	833

Para poder obtener tanto el índice de eficiencia como el porcentaje de reproceso, los cocidos correspondientes a cada una de las corridas, fueron monitoreados hasta el área de empaque. Para el cálculo del índice de eficiencia se empleó el mismo método que el utilizado para la evaluación del Control Estadístico.

La estimación del porcentaje de reproceso fue calculada pesando la cantidad generada por cada corrida y comparándola contra el estándar manejado por Empaque. El área considera que en promedio se arroja un kilogramo de reproceso por cada hora de trabajo máquina, esta suposición fue comprobada al revisar sus archivos que diariamente son capturados, con la cantidad de reproceso generados por máquina y turno. La tabla 6.15 sintetiza los resultados obtenidos al monitorear las corridas en el área de empaque.

Tabla 6.15 Eficiencia, reproceso y scrap generado por las corridas comprobatorias		
<i>Corrida</i>	AB	BC
<i>% de Eficiencia</i>	89.56	87.45
<i>% de Reproceso</i>	Reducción del 38%	Reducción del 16.41%

Al ver los datos anteriores se observa que las 2 corridas presentan eficiencias mayores al estándar (85.6), sin embargo al hacer una comparación por porcentaje de reproceso es la corrida AB, la que presenta mejores beneficios, por lo que es considerada como óptima.

Por lo cual se puede resumir que si la velocidad del rodillo # 5 es de 51rpm, la velocidad del rodillo # 6 de 65.7rpm y la velocidad del rodillo #7 es de 64rpm, es posible obtener láminas del producto Clorets Nueva Forma, que no sólo cumplan con el peso especificado (831-837), sino que podrán obtenerse de la misma manera excelentes resultados al empacarse.

6.5 APLICABILIDAD DEL ESTUDIO HACIA FUTUROS CAMBIOS EN EL PRODUCTO .

Después de haber obtenido los resultados anteriores, se presento la posibilidad de aplicar este estudio a un nuevo formato de lámina. Hasta este momento el estudio ha sido enfocado hacia un lámina que contiene centros laminados con un peso de 1.41 g cada uno. El nuevo formato de lámina mantendría la mismas especificaciones que la anterior, sólo que aumenta el número de centros laminados generados de ella, disminuyendo su peso a 1.25 g cada uno. Para ello fueron fabricados nuevos rodillos, a manera de dividir a la lámina en más partes.

Este cambio fue propuesto por el Departamento de Ingeniería Industrial, con el objetivo de reducir sus costos, al disminuir el porcentaje de goma contenido en cada pastilla de chicle y aumentar la cantidad de recubierto, ya que es más cara la materia prima empleada para la fabricación del centro laminado que la necesaria para recubrir a la pastilla.

Para conocer el impacto del estudio en el nuevo formato, se llevan a cabo las últimas 2 corridas, ejecutadas en el formato anterior, calculando el índice de eficiencia y el porcentaje de reproceso para cada una. Los resultados obtenidos para cada una de las corridas son mostrados en las tablas 6.16 y 6.17.

Tabla 6.16 Corridas nuevo formato		
<i>Corrida</i>	<i>AB</i>	<i>BC</i>
<i>Vel. Rod # 5(rpm)</i>	51	49.7
<i>Vel. Rod # 6(rpm)</i>	65.7	65.7
<i>Vel Rod # 7(rpm)</i>	64	64.5
<i>Peso promedio(gr)</i>	835	833

Tabla 6.17 Eficiencia, reproceso y scrap generado en el nuevo formato		
<i>Corrida</i>	<i>AB</i>	<i>BC</i>
<i>% de Eficiencia</i>	87.91	84.50
<i>% de Reproceso</i>	-19,9	-5.37

Al analizar los datos puede observarse que la corrida AB es la que ofrece los mejores beneficios tanto en el área de fabricación como en empaque, por lo que es considerada nuevamente como óptima. Por lo tanto se comprueba la factibilidad de aplicar el presente estudio hacia el nuevo formato.

La información anterior fue compartida al Departamento de Costos, que según sus estudios, si todos los cocidos fabricados y empacados en el área de chicle recubierto arrojaran los mismos resultados que la corrida AB durante un año para el nuevo formato , se lograría una reducción de 29,425 dólares por reducción de porcentaje de reproceso y 40 mil dólares por aumento de eficiencia.

Al hacer una comparación entre los resultados obtenidos entre la realización del experimento del formato 1.41g y el de 1.25g; se nota diferencia entre el porcentaje de reproceso. Esto es atribuido a que actualmente el proceso aún se encuentra en una curva de aprendizaje, es decir que tanto las máquinas como el personal están en una etapa de familiarización con el nuevo formato. Sin embargo se espera que esta etapa sea superada a corto plazo y que los beneficios puedan verse reflejados de manera determinante.