

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y DISEÑO



TESIS

“DISEÑO DE EXPERIMENTOS PARA IMPLEMENTACIÓN DE NUEVO PROCESO
DE EMPAQUE”

Que para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de

INGENIERO INDUSTRIAL

presenta:

PRISCILLA SARABIA RAZO

Director de tesis:

DR. DIEGO ALFREDO TLAPA MENDOZA

Ensenada, Baja California

Diciembre de 2015

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y DISEÑO

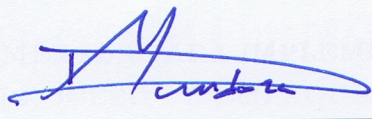
“DISEÑO DE EXPERIMENTOS PARA IMPLEMENTACIÓN DE NUEVO PROCESO DE EMPAQUE”

TESIS

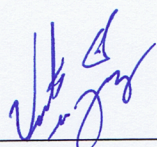
Para obtener el grado de INGENIERO INDUSTRIAL que presenta:

PRISCILLA SARABIA RAZO

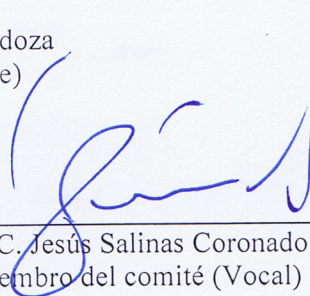
Aprobada por el siguiente comité:



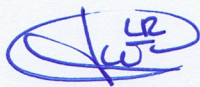
Dr. Diego Alfredo Tlapa Mendoza
Director de tesis (Presidente)



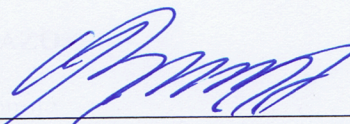
M.C. Victor Manuel Juárez Luna
Miembro del comité (Vocal)



M.C. Jesús Salinas Coronado
Miembro del comité (Vocal)



Dr. Jorge Limón Romero
Miembro del comité (Vocal)



Dra. Yolanda Angélica Báez López
Miembro del comité (Secretario)

Ensenada Baja California, México. Diciembre de 2015.

I. DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTOS

Primeramente agradezco a Dios por permitirme llegar a este momento de mi formación profesional y al cumplimiento de una meta más.

A mi madre por apoyarme en todo momento, motivarme y alentarme a seguir adelante.

Mis amigos que me brindaron su ayuda directamente e indirectamente en la culminación de mis estudios puesto que sin ellos el resultado no hubiera sido el mismo.

Al Dr. Diego Tlapa por la oportunidad y apoyo para la realización de esta tesis, así como todos los maestros por todos los conocimientos adquiridos.

II. ÍNDICE

III. Resumen.....	1
IV. Introducción.....	2
V. Materiales y métodos.....	12
VI. Resultados.....	32
VII. Discusión.....	34
VIII. Conclusiones.....	35
IX. Referencias.....	36

III. RESUMEN

Las empresas requieren apoyarse en la innovación para lograr mantenerse en el mercado, es por eso que recurren al lanzamiento de nuevos productos. Una vez desarrollados estudios previos como los son investigaciones de mercado, estas empresas muchas veces se ven en una problemática por la introducción de procesos desconocidos en sus plantas de fabricación. El presente estudio tiene como objetivo determinar los parámetros de operación de un nuevo proceso durante la fase de la introducción de productos nuevos a manufacturar por medio de un caso práctico. Este trabajo utiliza diseño y análisis de experimentos como herramienta para la reducción del número de defectos en el conformado de termoplástico para cajas de empaque, nuevo proceso en una empresa de manufactura en la ciudad de Ensenada. Por medio de un diseño de experimentos Taguchi se encontraron las condiciones en que deben de trabajar la selladora en L y el túnel termo-encogible, nuevas máquinas utilizadas para dicho proceso. De esta forma se obtuvieron empaques sin defectos así como el tiempo de Set Up.

IV. INTRODUCCIÓN

DISEÑO DE PRODUCTOS

El entorno industrial actual está marcado por la creciente globalización. Por lo tanto, el volumen y la complejidad de los productos siguen aumentando, lo que permite a los clientes elegir entre numerosas posibilidades para satisfacer sus necesidades (Aguado, Álvarez, y Domingo, 2013). Series cortas de producción, adaptadas a la cambios de la demanda del mercado, y la innovación para aumentar el valor añadido también se han convertido en prácticas comunes en el mundo de los negocios (Holweg, 2007). Las empresas deben de renovarse constantemente con el fin de mantener o aumentar sus ventas a través del tiempo, identificando productos que puedan satisfacer las necesidades del mercado. Para que esta labor se lleve a cabo con éxito las compañías deben de contar con el apoyo de todos sus departamentos, liderados por el área clave denominada *Introducción de Nuevos Productos (INP)*.

El departamento de nuevos productos es el encargado de llevar implementar una serie de pasos que comienzan desde la idea o identificación de mercado hasta la venta del producto final. Una de sus obligaciones principales consiste en la implementación de nuevos procesos, que juega un papel importante en el desarrollo exitoso de nuevos productos.

De acuerdo a Ulrich, *et al.*, (2013) existen cinco características a tomar en cuenta para lograr un desarrollo de producto exitoso:

- Calidad del producto: si este cubre las necesidades del cliente

- Costo del producto: debe de quedar definido para poder calcular utilidades

- Tiempo de desarrollo: ayuda a medir que tan eficiente es el equipo que trabaja en el desarrollo de los proyectos

- Costo de desarrollo: consta del dinero gastado para poder desarrollar el proyecto, puesto que también afecta a las utilidades

- Capacidad de desarrollo: se verifica en base a como mejora la respuesta de la compañía de acuerdo a su experiencia en el desarrollo de productos, beneficiando así la competitividad.

Una problemática común en el desarrollo de productos es el gastar grandes cantidades de dinero utilizado en corridas piloto y toma de muestras necesarias para comprobar la calidad de sus productos en desarrollo y garantizar la factibilidad de sus proyectos, influyendo en el costo de desarrollo. En algunos casos la experimentación resulta en estrategias de prueba y error, y en otros casos en experimentos con muchas corridas de prueba. En países como México, son relativamente pocas las empresas que emplean diseño experimental como forma de reducir el número de pruebas. Al respecto (Tanco, Viles, Ilzarbe, & Alvarez, 2009) muchos gerentes no son conscientes de la importancia de las técnicas estadísticas en los procesos y el desarrollo de productos. En ese sentido, uno de los puntos que dificulta el desarrollo de los productos son los detalles “La elección entre usar tornillos o abrazaderas en el gabinete de una computadora tiene implicaciones económicas que ascienden a millones de dólares. Desarrollar un producto de una complejidad incluso modesta requiere de miles de decisiones de este tipo” (Ulrich, *et al.*, 2013).

Según el profesor Genichi Taguchi, creador de los arreglos ortogonales, menciona que la calidad no debe de llevarse a cabo durante la producción con retroalimentación del producto en sí y de los clientes como normalmente se hace en distintas empresas, sino que, la calidad se crea desde el diseño y la investigación del producto y del proceso.

Existen numerosas formas de lograr la calidad desde el desarrollo del producto, una de ellas es el uso de herramientas estadísticas. Podemos diferenciar entre dos tipos de estadísticas, descriptiva e inferencial. La estadística inferencial consiste en predecir un fenómeno o resultado por medio de la toma de muestras, debido a esto es la más utilizada durante este proceso.

Autores de libros que hablan de calidad, como Gryna, *et al.* (2007) mencionan cuales son las herramientas estadísticas utilizadas por los equipos de nuevos productos: “Las herramientas estadísticas para la calidad en el proceso de diseño y desarrollo incluyen técnicas como síntesis gráficas de datos, distribución de probabilidades, teoremas de probabilidades, límites de confianza, pruebas de hipótesis, diseño de experimentos, y análisis de regresión”.

DISEÑO DE EXPERIMENTOS

Un diseño de experimentos, herramienta estadística creada por Ronald A. Fisher, permite realizar experimentos de una forma ordenada por medio de combinaciones, sin tener que recurrir al método de prueba y error, para lograr entender un fenómeno, proceso o sistema.

Según Gutiérrez y De La Vara (2012), un diseño de experimentos es útil en las siguientes situaciones:

1. Comparar dos o más materiales con el fin de elegir el mejor.
2. Comparar varios instrumentos de medición para verificar si trabajan con la misma precisión y exactitud.
3. Determinar los factores de un proceso que tienen impacto sobre una o más características del producto final.
4. Encontrar las condiciones de operación (temperatura, velocidad, humedad, por ejemplo) en las que se reduzcan los defectos o se logre un mejor desempeño del proceso.
5. Reducir el tiempo de ciclo del proceso.
6. Hacer el proceso insensible o robusto a oscilaciones de variables ambientales.
7. Apoyar el diseño o rediseño de nuevos productos o procesos.

Todo diseño de experimentos consta de dos variables: variables de entrada (factores controlables y no controlables) y variables de salida (respuestas), además de niveles, tratamientos, repeticiones e interacciones; definiciones que se mostraran a continuación. La variable de salida o de respuesta es el resultado esperado del sistema. Esta variable debe de quedar definida al comenzar el estudio para saber qué es lo que se espera encontrar, analizar o mejorar y ayuda a tomar los datos necesarios para el estudio. Una variable de entrada, también conocida como factor independiente son todos los elementos que afectan el fenómeno o sistema y se divide en factores controlables (elementos que pueden ser modificados y manipulados de acuerdo a las necesidades)

y factores no controlables o de ruido (elementos que no están considerados dentro del control del sistema pero que lo afectan, por ejemplo, temperatura ambiente, luz, partículas, etc.).

Dentro de los factores controlables se deben de determinar los diferentes niveles, estos corresponden a todos los valores que se seleccionaran para experimentar. Los diseños de experimentos más sencillos son en los que se seleccionan dos niveles para cada factor, es decir, dos valores de cada factor tomado en cuenta para experimentar. Estos diseños se denominan diseño factorial 2^2 , y se representa de manera geométrica por los vértices de la figura 1. El área limitada por este cuadro se conoce como región experimental y, en principio, las conclusiones que se obtengan del experimento, sólo tienen validez sobre esta región.

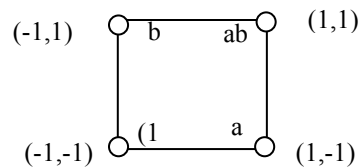


Figura 1. Representación geométrica de un diseño de experimentos factorial a dos niveles.

Los tratamientos son el número de combinaciones entre los factores y sus niveles para desarrollar el experimento, y estos a su vez se repiten diferentes ocasiones para conseguir un resultado lo mayor cercano a la realidad a las cuales se les llama repeticiones.

Un diseño de experimentos no solo muestra los valores óptimos de los factores independientes para lograr el resultado esperado del sistema o proceso, sino que tiene la ventaja de mostrar las interacciones entre estos factores. La interacción permite conocer cómo se relaciona una variable con otra, respecto a cómo cambian los niveles de un factor respecto al otro. En la tabla 1 se puede apreciar estas definiciones en un ejemplo.

TABLA 1. Ejemplo de diseño de experimentos

FACTORES		TRATAMIENTOS	VARIABLE DE RESPUESTA (DIAMETRO)
TIEMPO	HUMEDAD		
NIVELES			
1	1	1	15
2	1	2	15.23
1	2	3	14.13
2	2	4	12.78

También existen diferentes tipos de diseños de experimentos:

El tradicional se denomina diseño factorial, el cual tiene como desventaja el requerimiento de una gran cantidad de muestras a mayor número de factores y niveles puesto que se tienen que combinar todos los factores con todos sus niveles, generando grandes costos. Sus tratamientos se determinan de la siguiente forma:

$$t = n^k \quad (1)$$

Dónde:

t = número de tratamientos

n = número de niveles

k = número de factores

Existe una variante llamada diseño factorial fraccionada donde se reduce el número de muestras a realizar. Este tipo de diseño se utiliza cuando se requiere analizar muchos factores al mismo tiempo por medio de la siguiente forma descartando algunas interacciones:

$$t = n^{k-p} \quad (2)$$

Dónde:

t = número de tratamientos

n = número de niveles

k = número de factores

El uso exitoso de los diseños factoriales fraccionados se basa en tres ideas clave:

El principio de efectos esparcidos o escasez de efectos. Cuando hay varias variables, es posible que el sistema o proceso esté dominado principalmente por algunos de los efectos principales y las interacciones de orden inferior.

La propiedad de proyección. Los diseños factoriales fraccionados pueden proyectarse en diseños más grandes en el subconjunto de los factores significativos.

Experimentación secuencial. Es posible combinar las corridas de dos o más diseños factoriales fraccionados para ensamblar secuencialmente un diseño más grande para estimar los efectos de los factores y las interacciones de interés.

A su vez, los diseños factoriales fraccionados pueden clases: balanceados y arreglos ortogonales o diseños Taguchi. “En Japón, durante las décadas de 1950 y 1960, el doctor Genichi Taguchi desarrollo técnicas para aplicar el DOE en mejorar la calidad de productos y procesos de manufactura. Comenzando con el movimiento de calidad de la década de 1980, le método del doctor Taguchi para el diseño experimental empezó a tener relevancia en la práctica de ingeniería en Estados Unidos, en particular en Ford Motor Company, Xerox Corporation, AT& T Bell Laboratories, y hasta en el America Supplier Institute (que fue creado por Ford).

Taguchi recibe crédito por promover varias ideas clave de diseño experimental para el desarrollo de productos y procesos robustos. Estas aportaciones incluyen la introducción de factores de ruido en experimentos para observar estos efectos y el uso de una métrica de relación de señal a ruido que incluye el desempeño deseado (real) y los efectos no deseados (ruido). Si bien durante décadas los expertos en estadística habían estado mostrando a ingenieros como ejecutar experimentos, no fue sino hasta que los métodos de Taguchi se explicaron ampliamente a la industria manufacturera en Estados Unidos, durante la década de 1990, que los experimentos se utilizaron comúnmente para alcanzar un diseño robusto.” (Ulrich, *et al.*, 2013).

Explicado de forma breve el arreglo ortogonal no es más que un diseño factorial muy fraccionado denominado L_x donde x es el número de muestras a tomar.

Sus ventajas son uso eficiente de los datos, proporciona resultados de los factores principales, posible revisión de interacciones si así se desea y una notoria reducción de tratamientos. Adicionalmente, Taguchi establece que la calidad de un producto debe ser medida en términos de reducir al mínimo las pérdidas que el producto le trae a la sociedad. Al respecto la función de pérdida representada en la figura 2, establece una medida financiera del impacto negativo a la sociedad

$$\text{Función de pérdida} \quad L(y) = k(y-t)^2 \quad (3)$$

Dónde:

y = calidad de un producto

t = valor meta o target

k = constante que depende de tolerancias y costos de reparación del producto

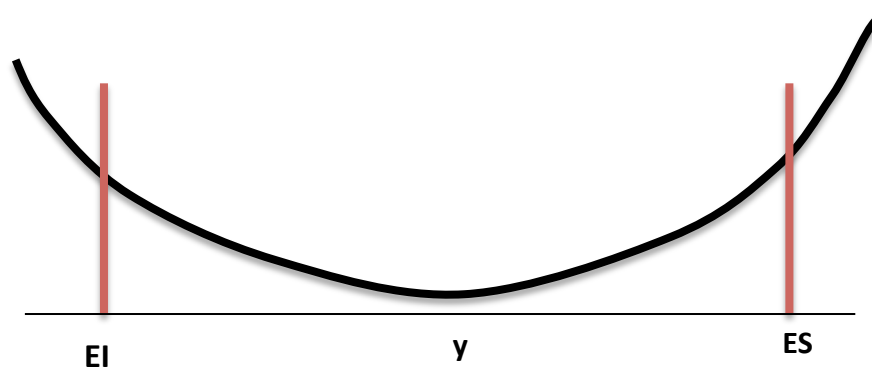


Figura 2. Función de pérdida de Taguchi

ANÁLISIS DE REGRESIÓN

Otra herramienta muy utilizada en el departamento de nuevos productos es el análisis de regresión lineal. Un modelo de regresión lineal es el que permite crear una relación matemática entre una variable dependiente o variable de salida conocida como “Y”, y una o más variables independientes o de entrada conocida como “X”. En otras palabras quiere decir que la regresión permite conocer cómo actúan varios factores sobre un fenómeno que se quiere estudiar. Es muy importante tener en cuenta que para poder tomar decisiones a partir de esta herramienta se debe de comprobar el porcentaje de explicación del modelo creado, puesto que si no es muy confiable o cercano a la realidad no puede ser utilizado.

Un punto clave de esta herramienta estadística es que las variables tienen que ser cuantitativas para poder utilizar este método por medio de la siguiente fórmula:

$$y = \alpha + \beta x + e \quad (4)$$

Dónde:

y = variable dependiente

α = punto de intersección

β = pendiente de línea

x = variable independiente

e = error aleatorio

Cuando en el análisis de regresión se busca la relación entre dos variables, también es común asegurar la confiabilidad de la relación de las variables por medio del coeficiente de correlación de Pearson.

“La correlación de tipo lineal se mide mediante un coeficiente universalmente aceptado, llamado coeficiente de correlación de Pearson.

El coeficiente de correlación de Pearson, r, siempre toma valores comprendidos entre -1 y 1.

Si $-1 < r < 0$, existe correlación lineal negativa, y será más fuerte cuanto más se aproxime r a -1.

Si $0 < r < 1$, existe correlación lineal positiva, y será más fuerte cuanto más se aproxime r a 1.

Si $r = 1$ o $r = -1$, la correlación es una dependencia lineal.

Si $r = 0$, no existe correlación lineal o las variables no están correlacionadas linealmente.”

(González, *et al.*, 2008).

Justificación

Este estudio es realizado con el fin de mostrar el impacto que tiene el uso de herramientas estadísticas para el diseño de procesos nuevos por medio de un caso práctico, documentando los pasos a seguir, los resultados que pueden obtenerse y el ahorro conseguido basado en la elección de la mejor herramienta dependiendo de la información que se quiere conocer.

Este proyecto surge de la necesidad de aplicar un nuevo proceso en una industria utilizando una metodología planteada y no a prueba y error como se realiza comúnmente, formando una estructura de pasos determinada para futuras aplicaciones en otros diseños de productos o procesos.

Planteamiento del problema

El presente proyecto se realiza en una empresa maquiladora dedicada a la fabricación de cerraduras mecánicas y electrónicas para uso comercial y residencial, con plantas en Ensenada, Tijuana y Tecate, cada una dedicada a diferente parte del proceso. La planta localizada en Ensenada se dedica específicamente al ensamble y sub-ensamble de dichas cerraduras para ser

enviadas al cliente. La empresa tiene en cuenta que para mantener su competitividad en el mercado debe de hacer uso de nuevas tecnologías que tienen a su alcance.

El departamento de nuevos productos trabajó en conjunto con otra empresa internacional dedicada al diseño de equipos electrónicos y software, en el desarrollo de una cerradura con tecnología bluetooth, la cual ha impactado tanto cotidiana como laboralmente por sus múltiples beneficios. “Bluetooth es básicamente un estándar para comunicaciones inalámbricas. Su tecnología elimina la necesidad de utilizar los numerosos e incómodos cables que habitualmente conectamos a nuestros PCs, teléfonos celulares, laptops y a todo tipo de equipos de mano” (Lorefice, 2003).

La función específica de esta cerradura es poder utilizar una aplicación de teléfono móvil para controlar los accesos de las puertas con dicha cerradura, permitiendo asegurar la puerta desde cualquier parte o en caso de requerirse permitir el acceso.

El departamento de nuevos productos tiene definido su protocolo para la introducción de un nuevo producto. Este es descrito a continuación:

1. Surge una nueva idea para aplicar en una cerradura.
2. Se valida que tan factible es la idea, en base a las necesidades del mercado, los elementos novedosos, la demanda estimada.
3. Selección de materiales para lograr la idea del punto número uno al menor costo, componentes que llevará la cerradura, posibles proveedores, etc.
4. Una vez terminado el paso número cuatro, realizar pedidos de materiales seleccionados para la realización de corridas piloto.
5. Una vez que el material se encuentra en la planta se procede a la locación en almacén para la materia prima.
6. En conjunto con el punto anterior se realiza la adaptación de una célula piloto dependiendo las condiciones del nuevo producto y proceso.
7. Programación de las corridas piloto del producto nuevo.
8. Se realizan pruebas destructivas de los prototipos.
9. Durante todo el proceso se llevan a cabo juntas de retroalimentación.
10. Antes de iniciar se debe de programar una última corrida piloto.
11. Revisiones por parte del equipo de calidad.
12. Última junta de retroalimentación de la información durante todo el proceso.
13. Y finalmente se comienza con la corrida de producción.

El problema presentado en este trabajo radica en el punto número 6, donde se analiza la distribución de la célula, así como número de operadores, operaciones a realizar y maquinaria adecuada.

Dentro del diseño del proceso de manufactura se implementará un nuevo procedimiento en la planta, que representa una problemática para el departamento de nuevos productos puesto que no

se cuenta con conocimientos previos acerca de éste tema y los encargados de la introducción han decidido encontrar el mejor método usando el método de prueba y error, corriendo el riesgo de grandes desperdicios de material y de tiempo, haciendo ineficiente su desarrollo de producto.

El nuevo proceso consiste en la introducción de dos nuevas máquinas:

Guillotina selladora.

La guillotina selladora, mostrada en la figura 3 es una máquina que consiste en un marco que se encarga de sellar rollos o bolsas de plástico por medio de calentamiento, con el fin de mantener dentro un producto.



Figura 3. Guillotina selladora utilizada en el proceso de termo-conformado

Túnel termo-encogible.

Consiste en distintos elementos que permiten encoger un plástico termo-encogible alrededor de un elemento; una banda transportadora que mueve el elemento a través de la máquina, un horno que provee circulación de aire caliente en su interior, tablero para controlar y variar los diferentes factores (temperatura, velocidad) y un indicador de temperatura que permite saber cuándo el interior de la máquina alcance la temperatura deseada. El túnel termo-encogible adquirido fue el modelo H-2034 del proveedor Uline, mostrado en la figura 4.



Figura 4. Túnel termo-encogible utilizado en el proceso de termo-conformado

Otro elemento nuevo en el proceso es el uso de películas termo-encogibles para lograr mayor estética en el diseño de los productos finales empacados, haciéndolos innovadores.

Aunado a la introducción de nuevos elementos al proceso también se busca cumplir con la demanda pronosticada, representada en 55 cerraduras por hora, lo cual significa que se requiere un tiempo de ciclo menor a 65 segundos, por esta razón el nuevo procedimiento requiere ser analizado para que el tiempo que el producto empacado pase por el túnel termo-encogible sea el menor posible.

Estas incógnitas pueden ser analizadas por medio de las herramientas estadísticas utilizadas en el desarrollo de productos para evitar el uso del método de prueba y error, además de determinar si la demanda puede ser cumplida.

Preguntas de investigación

¿Un diseño de experimentos correcto logrará reducir el número de muestras que la empresa requiere tomar para encontrar los factores correctos para obtener un empaque de buena apariencia?

¿Existe una interacción entre la temperatura de la máquina y la velocidad de la banda que afecte el empaque termo-plástico?

Hipótesis

Se cree que las muestras tomadas con anterioridad que presentaron defectos se deben a que la empresa ha tomado estas muestras de manera independiente con factores al azar, lo cual no les permite analizar la relación entre las variables de entrada con la de salida así como entre ellas.

Se especula que si existe una interacción entre los factores temperatura de máquina y velocidad de banda, debido a que se cree que a mayor temperatura puede ser menor el tiempo que la caja debe pasar por el horno.

Aunado a esto, se cree que la temperatura del túnel termo-encogible está relacionada con el tiempo que debe pasar para alcanzar tal temperatura. Para comprobar esta relación se formulan las siguientes hipótesis.

$$H_0: B_1 = 0 \quad H_1: B_1 \neq 0 \quad (5)$$

Dónde:

H_0 = Hipótesis nula

H_1 = Hipótesis alternativa

B_1 = Pendiente de ecuación de regresión

Si la hipótesis alternativa se rechaza, quiere decir que las dos variables no se relacionan, puesto a que si la pendiente es igual a cero significa que a cualquier temperatura el tiempo de calentamiento siempre será el mismo, por el contrario, si la hipótesis nula es rechazada quiere decir que existe una pendiente que relaciona las dos variables en algún porcentaje dependiendo de su grado de relación.

Objetivos del trabajo

El objetivo principal de este proyecto es reducir el número de defectos en el conformado del termoplástico para cajas de empaque de cerradura, ya que actualmente mediante las muestras tomadas, todas las cajas han sido rechazadas en cuestión de estética. Adicionalmente se busca encontrar el mínimo de tiempo en que la caja pase por el túnel termo-encogible sin afectar la apariencia final del empaque.

Como objetivos específicos se plantea:

- Encontrar las variables que afectan al número de defectos en el termo-conformado.
- Diseñar un experimento con dichas variables en diferentes niveles seleccionados por medio de investigación.
- Definir los parámetros óptimos para el manejo de la nueva maquinaria.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

Para el logro de los objetivos planteados se utilizará un diseño de experimentos Taguchi que ayude a encontrar la mayor explicación posible del fenómeno analizado con una cantidad menor de pruebas. Los métodos Taguchi conllevan a una serie de pasos o etapas que llegan a variar, algunos autores determinan su propia metodología.

Gutiérrez y De La Vara (2012) proponen las siguientes etapas:

1. Entender y delimitar el problema u objeto de estudio
2. Elegir las variables de respuesta que será medida en cada punto del diseño y verificar que se mide de manera confiable
3. Determinar cuáles factores deben estudiarse o investigarse, de acuerdo con la supuesta influencia que tienen sobre la respuesta
4. Seleccionar los niveles de cada factor, así como el diseño experimental adecuado a los factores que se tienen y al objetivo del experimento
5. Planear y organizar el trabajo experimental
6. Realizar el experimento
7. Análisis
8. Interpretación
9. Control y conclusiones finales

Por otro lado Ulrich *et al.*, (2013) mencionan los siguientes pasos:

1. Identificar factores de control, factores de ruido y métricas de desempeño
2. Formular una función objetivo
3. Desarrollar el plan experimental
4. Ejecutar el experimento
5. Realizar el análisis
6. Seleccionar y confirmar puntos de referencia de factor
7. Meditar y repetir

La metodología planteada para este trabajo es la siguiente:

1. Analizar el proceso del termo-conformado. Antes de poder realizar un diseño de experimentos la persona encargada de realizarlo debe tener amplio conocimiento acerca del tema o proceso que se quiere estudiar para lograr un mejor resultado y en menor tiempo.
2. Seleccionar cual es la variable de respuesta de interés. Para lograr éxito en un diseño de experimentos uno de los pasos más importantes es tener en claro que es lo que se quiere concluir con en análisis. Una vez seleccionada la variable de respuesta, también se debe de tener en claro que es lo que se quiere encontrar en ella, por ejemplo minimizar o maximizar un resultado, o un valor nominal.

3. Identificar las posibles variables independientes que puedan influir en la salida esperada. Después de que se genera el conocimiento necesario, ya se obtiene la información necesaria para poder identificar todas las variables que se creen influyen en la variable de respuesta.
4. Diseñar un experimento con las variables que se consideren más influyentes así como sus niveles en base a literatura. En este punto se deben de contar con las bases necesarias para poder tomar la decisión de que variables son las que se analizarán en el primer experimento y en cuantos y cuales niveles es apropiado, hasta obtener el diseño.
5. Realizar corridas para obtención de muestras. El siguiente paso corresponde a la toma de muestras por medio de los tratamientos obtenidos determinando anteriormente el número de repeticiones que se realizarán dependiendo del grado de confiabilidad que se quiere con los resultados.
6. Analizar los datos obtenidos. Al tener todas las muestras capturadas los datos deben de ser analizados, en cuando a su porcentaje de explicación, interacciones, factores que influyen, parámetros recomendables de operación, etc. En caso de que un factor no sea influyente debe de descartarse del estudio y continuar con esos resultados o agregar otros factores.

(1) Analizar el proceso del termo-conformado

Para explicar el proceso de sellado de plástico para empaque se separó en 6 operaciones, tomando el tiempo promedio de 10 muestras, que se pueden observar en la tabla 5, para cada una de las operaciones que se identifican en la figura 3.

TABLA 5. Tiempos de proceso en segundos

DESCRIPCIÓN	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	PROMEDIO
Jalar plástico	3.55	3.85	3.57	2.67	3.8	3.15	3.64	4.18	4.15	3.82	3.638
Meter caja	12.72	13.21	10.75	10.09	9.69	11	9.46	11.26	11.15	12.01	11.134
Sellar largo	20.19	10.98	12	15.46	17.26	17.15	12.1	18.15	19.05	17.53	15.987
Sellar ancho	12.39	14.27	14.28	16.03	13.64	16.09	16.4	16.12	16.34	15.9	15.146
Meter caja en túnel	4.54	5.12	6.71	7.69	2.88	4.76	4.23	4.97	5.37	6.02	5.229

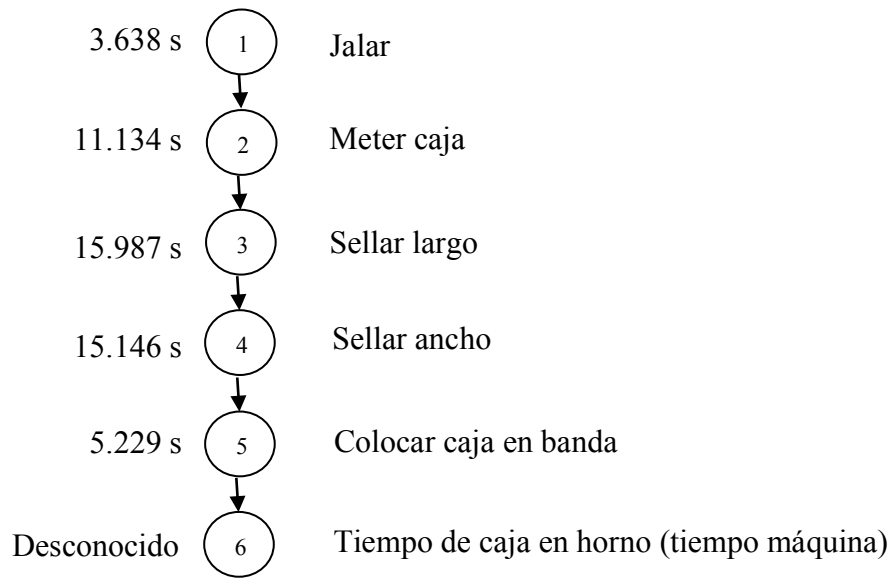


FIGURA 5. Diagrama de operaciones de proceso de empaque plástico

Como se puede apreciar en la figura 5 el tiempo máquina se desconoce puesto que depende directamente de la velocidad de la banda transportadora del túnel termo-encogible, por lo tanto se conocerá una vez encontrados los parámetros adecuados.

(2) Selección de variable de respuesta

Lo que se espera de este diseño de experimentos es encontrar los parámetros adecuados para tener un empaque (caja) recubierto de plástico termo-encogible de buena apariencia.

Ya que esto es subjetivo y no se puede obtener una medición acerca de la apariencia se decidió llevar a cabo el experimento con una distribución Poisson.

“La distribución de Poisson es útil para determinar probabilidades de fenómenos que ocurren en un continuo de espacio o de tiempo, como defectos en un rollo de tela, erratas en las páginas de un libro, número de llamadas telefónicas que llegan a un conmutador por intervalo o personas que llegan a hacer fila ante una ventanilla de atención al público”

“Las características de una variable aleatoria de Poisson son:

El experimento aleatorio consiste en contar el número de veces que ocurre el evento en una unidad determinada de espacio o de tiempo.

Las ocurrencias de los eventos son mutuamente independientes.

La probabilidad de ocurrencia es igual para todos los eventos.

En una unidad de espacio o de tiempo muy reducida, la probabilidad de ocurrencia de más de un evento es tan pequeña que es prácticamente despreciable” (Díaz, 2013).

Su función es:

$$P(x) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^x}{x!} \quad (6)$$

Dada esta definición fue seleccionada como variable de respuesta la cantidad de defectos por muestra. Para poder contabilizar los defectos se realizó una lista de los elementos que son considerados como defectos en el empaque, en las figuras 6-9, se observan dichos defectos.

1. Mala apariencia general



Figura 6. Empaque con defecto general

2. Plástico con rasgaduras



Figura 7. Empaque con rasgadura

3. Costuras de sellado no alineadas



Figura 8. Empaque con costuras mal alineadas

4. Notorias “orejas de perro”, a las cuales se les denominan como protuberancias de plástico localizadas en cualquier esquina de la caja causadas por las costuras donde el material es sellado.



Figura 9. Empaque con orejas de perro

(3) Identificar las posibles variables independientes que puedan influir en la salida esperada

En base a la salida esperada, un empaque de plástico con buena apariencia, se identificaron que variables de entrada se especulan pueden estar influyendo significativamente la variable de salida:

- Tipo de plástico
- Temperatura de máquina
- Tamaño de caja
- Presentación del plástico (bolsas, rollo)
- Velocidad de banda transportadora
- Grosor de plástico

(4) Diseñar un experimento con las variables que se consideren más influyentes así como sus niveles en base a literatura

Primeramente se recolectó la información más relevante acerca del modelo de túnel termo-encogible a utilizar para la realización de las pruebas que pueda aportar información para la elección de los factores y sus niveles identificados en las figuras 10 y 11.

Características del proceso

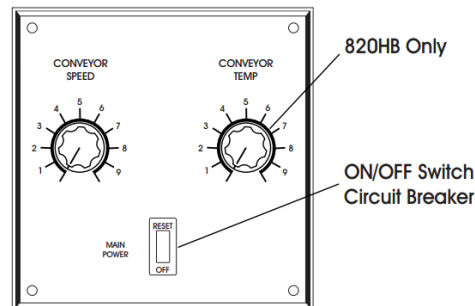


FIGURA 10. Panel de velocidad

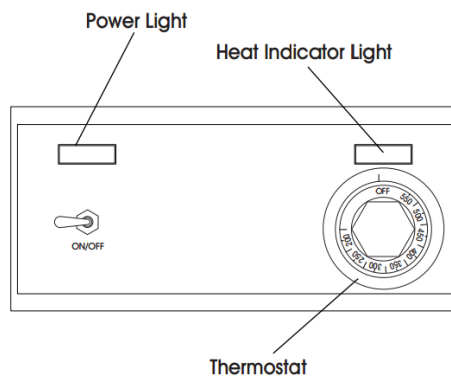


FIGURA 11. Panel de temperatura

Los factores que se pueden modificar en dicha máquina se muestran en la tabla 3.

TABLA 3. Factores controlables de túnel termo-encogible		
	TEMPERATURA	VELOCIDAD
Min – Max	100 – 350° F	0-60 FPM
Niveles	N/A	7

Los factores seleccionados para el primer experimento fueron velocidad de banda, temperatura interior, tamaño de plástico y material. Los dos primeros fueron seleccionados por la disponibilidad de la máquina para poder controlarlos y modificarlos, el tercer factor fue seleccionado puesto a que en las muestras tomadas a prueba y error no seguían una medida

estándar de material a utilizar y se cree es importante manejar siempre una misma dimensión y el cuarto para la selección correcta del proveedor.

El experimento inició con diferentes niveles ya que se cree, esto puede llegar a abarcar mayor parte del espectro de posibilidades dependiendo la necesidad del factor permitiendo mejores resultados, ver Tabla 4.

TABLA 4. Factores y niveles de diseño propuesto

FACTOR	NIVEL BAJO	NIVEL MEDIO	NIVEL ALTO
MATERIAL	PVC	POLIOLEFINA	-
VELOCIDAD DE BANDA	2	4.5	7
TEMPERATURA INTERIOR	210° F	345° F	400° F
TAMAÑO DE PLÁSTICO	37X18 cm	35X25 cm	41X29 cm

Niveles de material

En base a la máquina, el material a utilizar se delimitó a las especificaciones del túnel termo-encogible, las cuales son:

- PVC en tubing, un rollo sellado por 3 lados, dando forma de bolsa.
- Poliolefina en rollo, el cual solo se encuentra sellado en L por dos costados.

De acuerdo a Abdel (2003), las películas más comunes utilizadas para empaques son polietileno de baja densidad, polipropileno, cloruro de polivinilo, cloruro de polivinilideno, poliamida, entre otros.

Niveles de velocidad de banda. Estos fueron seleccionados en base a poder abarcar todas las posibilidades de velocidad que brinda la máquina.

Niveles de temperatura. Se ha contacto al proveedor para conocer cuál es la temperatura promedio con el cual se conoce la máquina proporciona un buen resultado. El proveedor afirma que a 300° F es un promedio de su utilización, comentando como extra que la temperatura ambiental debe ser de mayor de 60° F.

Niveles de tamaño de plástico. Se tomaron las dimensiones de la caja que será envuelta en el plástico-termoencogible para seleccionar un valor nominal, y otros dos valores con una tolerancia de encogimiento.

El diseño fue creado a partir del software estadístico Minitab, se ha seleccionado un diseño Taguchi nivel mixto sin factor de señal, debido a esto el programa nos arroja automáticamente los diseños disponibles en base a los niveles y factores con los que se cuenta. Para los datos de este estudio se encuentran disponibles 3 diseños diferentes: un diseño L18, L36 o L54, seleccionando el diseño L18 para utilizar la menos cantidad de muestras. Un diseño L18 significa que se cuenta con 18 tratamientos (combinaciones de niveles) para experimentar los factores mostrados en la tabla 5.

TABLA 5. Factores y niveles de diseño propuesto

Material	Temperatura	Velocidad	Medidas de material
POLIOLEFINA	210	2	37X28
POLIOLEFINA	210	4.5	35X25
POLIOLEFINA	210	7	41X29
POLIOLEFINA	345	2	37X28
POLIOLEFINA	345	4.5	35X25
POLIOLEFINA	345	7	41X29
POLIOLEFINA	400	2	35X25
POLIOLEFINA	400	4.5	41X29
POLIOLEFINA	400	7	37X28
PVC	210	2	41X29
PVC	210	4.5	37X28
PVC	210	7	35X25
PVC	345	2	35X25
PVC	345	4.5	41X29
PVC	345	7	37X28
PVC	400	2	41X29
PVC	400	4.5	37X28
PVC	400	7	35X25

Se ha seleccionado como método de diseño un arreglo ortogonal ya que es un balance entre poder seleccionar un gran número de variables a analizar y que no genere grandes costos por experimentación, por lo cual es uno de los métodos más recomendados para la primera fase del experimento puesto a que aporta la misma información que un diseño factorial con un número reducido de tratamientos, ahorrando tiempo, material y por lo tanto dinero.

Si un diseño factorial hubiera sido seleccionado para realizar este experimento se habrían requerido mínimo 54 muestras que representa el triple del diseño L18, diseño mostrado en la tabla 6.

TABLA 6. Diseño factorial para datos obtenidos

Orden Corrida	Material	Temperatura	Velocidad	Medidas de material
1	1	1	2	1
2	1	1	2	3
3	2	3	1	1
4	1	2	3	2
5	1	3	1	3
6	1	2	2	3
7	2	2	1	2

8	2	1	2	1
9	2	3	3	1
10	1	2	2	2
11	2	3	2	2
12	2	1	1	2
13	1	1	3	3
14	2	1	1	1
15	1	3	3	1
16	2	2	3	3
17	1	3	1	1
18	2	3	3	3
19	2	3	3	2
20	1	3	3	2
21	2	3	1	2
22	2	3	2	3
23	2	1	1	3
24	1	1	1	2
25	2	1	2	3
26	2	1	2	2
27	2	1	3	3
28	2	2	1	1
29	1	2	1	2
30	1	3	2	1
31	2	3	2	1
32	1	1	3	2
33	2	2	2	3
34	1	2	3	3
35	1	2	1	3
36	1	3	1	2
37	2	1	3	2
38	1	1	3	1
39	2	2	3	2
40	1	1	1	1
41	2	3	1	3
42	1	3	2	2
43	1	2	2	1
44	1	1	2	2
45	2	2	2	1
46	1	1	1	3
47	1	3	3	3
48	1	2	1	1
49	2	2	1	3
50	2	2	3	1

51	1	3	2	3
52	1	2	3	1
53	2	2	2	2
54	2	1	3	1

(5) Realizar corridas para obtención de muestras

Para la corrida inicial se realizaron 3 repeticiones para poder obtener una desviación de los datos por lo cual se tomaron un total de 54 muestras recabadas en la tabla 7.

TABLA 7. Datos recabados de las muestras

material	Temperatura	Velocidad	Medidas de material	Defectos
POLIOLEFINA	210		2 37X28	4
POLIOLEFINA	210	4,5	35X25	4
POLIOLEFINA	210	7	41X29	4
POLIOLEFINA	345		2 37X28	0
POLIOLEFINA	345	4,5	35X25	4
POLIOLEFINA	345	7	41X29	4
POLIOLEFINA	400		2 35X25	2
POLIOLEFINA	400	4,5	41X29	0
POLIOLEFINA	400	7	37X28	2
PVC	210		2 41X29	4
PVC	210	4,5	37X28	4
PVC	210	7	35X25	4
PVC	345		2 35X25	0
PVC	345	4,5	41X29	3
PVC	345	7	37X28	3
PVC	400		2 41X29	4
PVC	400	4,5	37X28	2
PVC	400	7	35X25	4
POLIOLEFINA	210		2 37X28	4
POLIOLEFINA	210	4,5	35X25	4
POLIOLEFINA	210	7	41X29	4
POLIOLEFINA	345		2 37X28	0
POLIOLEFINA	345	4,5	35X25	2
POLIOLEFINA	345	7	41X29	3
POLIOLEFINA	400		2 35X25	5
POLIOLEFINA	400	4,5	41X29	1
POLIOLEFINA	400	7	37X28	4
PVC	210		2 41X29	4
PVC	210	4,5	37X28	4
PVC	210	7	35X25	4

PVC	345	2	35X25	0
PVC	345 4,5		41X29	3
PVC	345	7	37X28	3
PVC	400	2	41X29	4
PVC	400 4,5		37X28	2
PVC	400	7	35X25	2
POLIOLEFINA	210	2	37X28	4
POLIOLEFINA	210 4,5		35X25	4
POLIOLEFINA	210	7	41X29	4
POLIOLEFINA	345	2	37X28	1
POLIOLEFINA	345 4,5		35X25	0
POLIOLEFINA	345	7	41X29	4
POLIOLEFINA	400	2	35X25	4
POLIOLEFINA	400 4,5		41X29	2
POLIOLEFINA	400	7	37X28	2
PVC	210	2	41X29	4
PVC	210 4,5		37X28	4
PVC	210	7	35X25	4
PVC	345	2	35X25	0
PVC	345 4,5		41X29	3
PVC	345	7	37X28	3
PVC	400	2	41X29	3
PVC	400 4,5		37X28	4
PVC	400	7	35X25	3

(5) *Analizar los datos obtenidos*

Los datos obtenidos fueron depositados en el software Minitab obteniendo los siguientes resultados:

TABLA 8. Tabla para medias

Level	Material	Temperatura	Velocidad	Medidas de material
1	2.815	4.000	2.611	2.778
2	3.037	2.000	2.778	2.778
3		2.778	3.389	3.222
DELTA	0.222	2.000	0.778	0.444
RANK	4	1	2	3

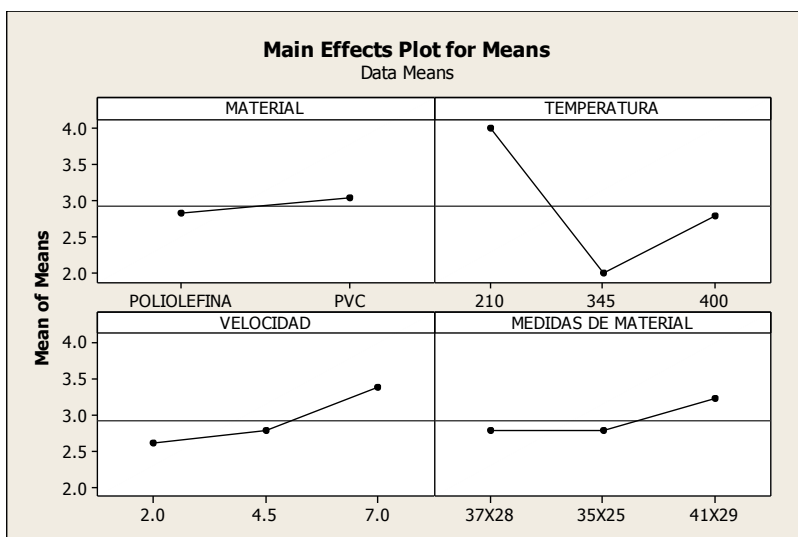


Figura 12. Gráfica de efectos principales para medias

El primer factor que se debe de tomar en cuenta para las decisiones es la temperatura como se observa en la tabla 8 tiene el valor más significativo y con mayor explicación. En base a esto en la figura 4 se puede observar que la temperatura parece tener un comportamiento cuadrático por lo cual fue conveniente crear otro diseño con niveles cercanos a 345° F por ser el punto más bajo de la gráfica para localizar si existiera algún punto aún menor donde se presente la media más baja posible.

Como se puede apreciar en la figura 12, al hablar de defectos lo que se busca es la media más baja, los resultados arrojan que la poliolefina, 345° F, velocidad 2 y ya sea 37x28 o 35x25 cm son la mejor combinación de factores.

TABLA 9. Tabla para desviaciones estándar

LEVEL	MATERIAL	TEMPERATURA	VELOCIDAD	MEDIDAS DE MATERIAL
1	0.75966	0.00000	0.44704	0.48113
2	0.30356	0.52578	0.69245	0.75459
3		1.06905	0.45534	0.35912
DELTA	0.45610	1.06905	0.24541	0.39547
RANK	2	1	4	3

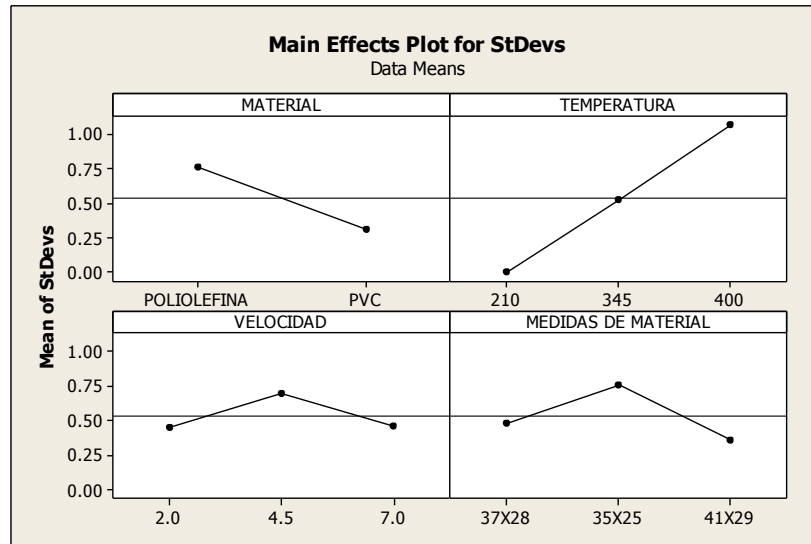


Figura 13. Gráfica de efectos principales para desviaciones estándar

Basándose en las desviaciones estándar de la tabla 9 y la figura 13 se puede descartar la medida de material de 35x25 afirmando con fuerza que la medida correcta es 37x28 cm, aunque los dos cuentan con la misma media el primer nivel es más estable en cuanto a sus resultados.

(6) *Identificar estadísticamente los parámetros adecuados para un termo-conformado aceptable*

En base al posible comportamiento cuadrático de la temperatura se diseñó un segundo experimento. Primeramente se tuvieron que replantear tanto niveles como factores. El factor material fue eliminado puesto que el gerente de proyectos decidió definir la poliolefina como el material a utilizar.

En cuanto al factor velocidad se seleccionaron 3 valores cercanos al registro de la media más baja, en el tamaño de plástico se seleccionó un punto medio entre los dos valores que resultaron iguales en el primer diseño, y en el factor temperatura, como ya se mencionó, se eligieron puntos cercanos al nivel que presento menor cantidad de defectos. El nuevo experimento esta representado en la tabla 10.

TABLA 10. Factores y niveles de segundo diseño de experimentos

Factor	Nivel bajo	Nivel medio	Nivel alto
Velocidad de banda	1.5	2	2.5
Temperatura interior	320° F	350° F	380° F
Tamaño de plástico	35X25 cm	36X26.5 cm	37X28 cm

Minitab nos da la oportunidad de crear dos diseños para estos datos, un diseño L9 o un diseño L27, de igual forma que el anterior se ha seleccionado el diseño de menor tratamientos, en este caso un diseño L9 mostrado en la tabla 11.

TABLA 11. Diseño Taguchi arrojado por minitab

Temperatura	Velocidad	Medidas de material
320	1.5	35X25
320	2	36X26.5
320	2.5	37X28
350	1.5	36X26.5
350	2	37X28
350	2.5	35X25
380	1.5	37X28
380	2	35X25
380	2.5	36X26.5

Contrastando nuevamente con un diseño factorial completo donde se contaría con 27 tratamientos como indica la tabla 12.

TABLA 12. Segundo diseño de experimentos utilizando el método factorial

Orden corrida	Temperatura	Velocidad	Medidas de material
1	3	2	3
2	3	1	3
3	2	2	3
4	2	2	1
5	2	2	2
6	1	3	3
7	3	1	2
8	3	3	1
9	1	1	3
10	2	1	2
11	2	3	3
12	1	3	1
13	2	1	1
14	1	3	2
15	1	2	2
16	3	3	3
17	3	2	2
18	3	3	2
19	1	2	3
20	1	2	1
21	1	1	2
22	1	1	1
23	2	1	3

24	3	2	1
25	2	3	2
26	3	1	1
27	2	3	1

Para realizar la corrida de toma de muestras del diseño L9 a 3 factores con 3 niveles, con 5 repeticiones se tomó un total de 45 muestras representadas en la tabla 13.

TABLA 13. Datos recabados de segundo experimento con 5 repeticiones

Temperatura	Velocidad	Medidas de material	P1	P2	P3	P4	P5
320	1.5	35X25	2	1	1	0	0
320	2	36X26.5	1	1	1	0	1
320	2.5	37X28	2	4	1	1	3
350	1.5	36X26.5	1	1	3	2	0
350	2	37X28	2	1	2	0	2
350	2.5	35X25	1	4	1	0	1
380	1.5	37X28	3	4	3	3	5
380	2	35X25	3	6	2	3	3
380	2.5	36X26.5	3	1	3	5	2

Los resultados arrojados por Minitab se muestran en la tabla 14.

TABLA 14. Tabla para medias de segundo experimento

Level	Temperatura	Velocidad	Medidas de material
1	1.267	1.933	1.867
2	1.400	1.867	1.667
3	3.267	2.133	2.400
DELTA	2.000	0.267	0.733
RANK	1	3	2

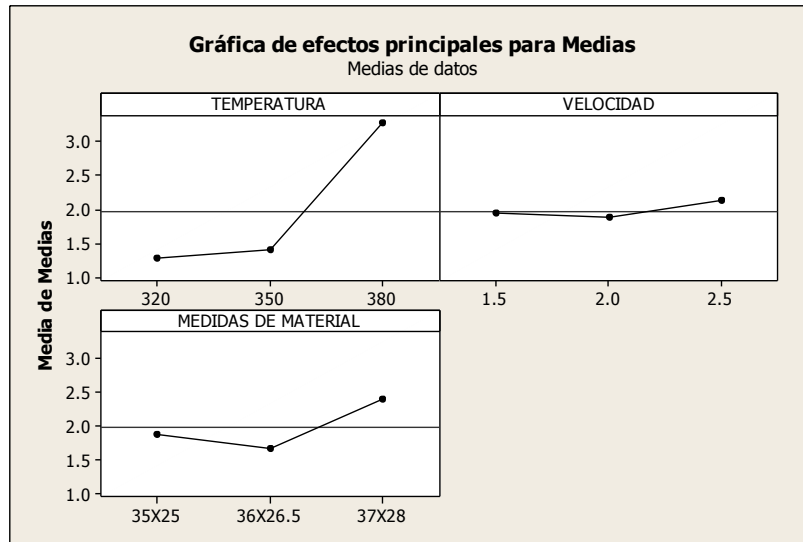


Figura 14. Gráfica de efectos principales para medias de segundo experimento

Este nuevo diseño arrojó que la temperatura sigue siendo el factor que más afecta el número de defectos como se observa en la tabla 14 y que efectivamente existe un punto más cercano a cero que la temperatura 345° F la cual es 320° F con una media de 1.267 presentando el menor número de defectos, lográndose apreciar en las gráficas de la figura 14. En cuanto a velocidad se mantuvo el nivel 2 aunque con valores muy cercanos para los 3 niveles, esto determina por qué se encuentra como el último de los valores influyentes en la variable de salida.

En el factor medidas del material se identificó como el de menor media un punto central de 36x26.5 cm.

TABLA 15. Tabla para desviaciones estándar de segundo experimento

Level	Temperatura	Velocidad	Medidas de material
1	0.8626	0.9571	1.2899
2	1.1837	0.9527	1.0235
3	1.2981	1.4346	1.0309
DELTA	0.4355	0.4818	0.2664
RANK	2	1	3

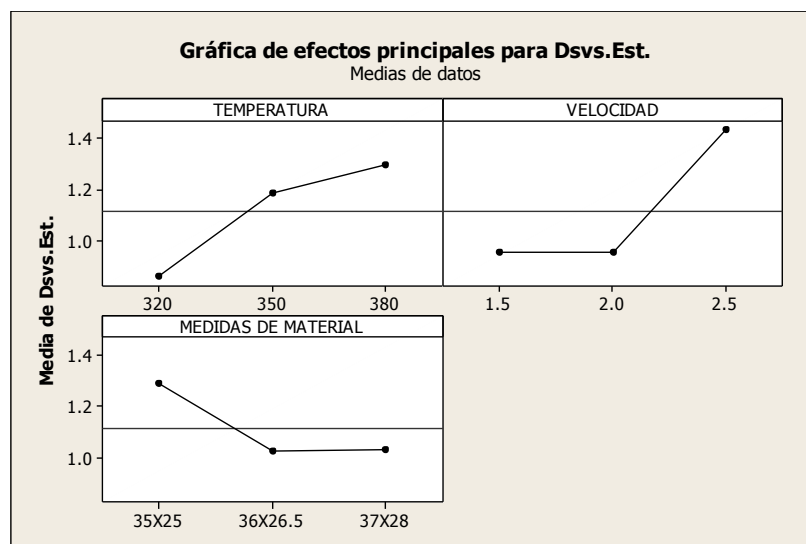


Figura 15. Gráfica de efectos principales para desviaciones estándar de segundo experimento

Las desviaciones entre los factores y niveles llegan a variar mucho. El factor que mayor desviación presenta en cuanto a sus resultados es la velocidad, esto se debe a que en el nivel 2.5 se presentó una variación considerable.

Por los resultados en las desviaciones de la tabla 15 podemos afirmar con más seguridad que los factores seleccionados corresponden a la mejor opción para contar con un resultado estable al igual que se puede identificar visualmente por medio de la figura 15, los niveles seleccionados (temperatura nivel 320, velocidad 2, medida de material 37x28) presentar la menor desviación.

TIEMPO DE CICLO

Una vez encontrada la velocidad factible para el proceso se encontró el tiempo de máquina que corresponde a 6.513 segundos, promedio calculado de la toma de 10 muestras de tiempo mostradas en la tabla 16. Esto permite conocer que el tiempo de ciclo del nuevo proceso será de 57.553 segundos, indicando que no supera el tiempo de tack time calculado en 65.45 segundos, asegurando que la capacidad del proceso si permitirá cumplir con la demanda. Este takt time fue calculado por medio del tiempo disponible por hora entre el número de cerraduras que menciona la demanda pronosticada logrando obtener el tiempo máximo de ciclo para lograr el cumplimiento.

TABLA 16. Tiempo de ciclo de nueva operación

DESCRIPCION	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	Promedio
Jalar plástico	3.55	3.85	3.57	2.67	3.8	3.15	3.64	4.18	4.15	3.82	3.638
Meter caja	12.72	13.21	10.75	10.09	9.69	11	9.46	11.26	11.15	12.01	11.134
Sellar largo	20.19	10.98	12	15.46	17.26	17.15	12.1	18.15	19.05	17.53	15.987
Sellar ancho	12.39	14.27	14.28	16.03	13.64	16.09	16.4	16.12	16.34	15.9	15.146
Meter caja en túnel	4.54	5.12	6.71	7.69	2.88	4.76	4.23	4.97	5.37	6.02	5.229
Tiempo máquina	6.15	6.18	6.81	6.89	6.73	6.28	6.79	6.21	6.33	6.76	6.513

TOTAL 57.647

$$Takt\ Time = \frac{3,600\ segundos}{55\ cerraduras} = 65.45\ segundos \quad (7)$$

Una vez que el proceso fue estudiado, se pudo determinar el uso de otra herramienta estadística para encontrar más información importante del nuevo proceso, como lo es el tiempo de set up.

Un set-up o configuración se conoce como toda la preparación que se debe de realizar antes de poder iniciar la producción, esto ocurre con nuevos productos, inicios de corrida cuando solo se trabaja un turno, cambios de producto en una misma línea o célula, etc.

Por lo tanto el tiempo de set-up se refiere a los segundos, minutos u horas según sea el caso, que se requieren para tener lista un área de producción para iniciar actividades. En este caso es importante ya que la máquina tiene la característica de no obtener la temperatura indicada en el panel de control de manera instantánea si no que se debe de esperar cierto tiempo para poder utilizarla. Este tiempo es necesario determinarlo, puesto a que se corre el riesgo de que se utilice antes de tiempo afectando la apariencia de los primeros empaques producidos o genere WIP (work in process), por el contrario si este tiempo está calculado se puede saber con cuanta anticipación debe ser encendida la máquina cada vez que se inicie corridas del producto.

Se optó por incluir un análisis de regresión entre la variable independiente temperatura y la dependiente el tiempo de calentamiento, ya que una vez obtenida la temperatura ideal, se puede conocer fácilmente cuanto tiempo antes se debe de encender en túnel. Los datos fueron obtenidos durante el tiempo que se realizó la toma de muestras, en la tabla 17, para los diseños de experimentos para el ahorro de tiempo.

TABLA 17. Muestras de tiempo de calentamiento dependiendo la temperatura

TEMPERATURA	TIEMPO
(°F)	(s)
210	396
345	1178.15
254	743
320	1005.48
284	515.7
210	383.59
400	1512.08
345	1134.39
320	924.47
400	1702.65

Antes de proceder a realizar el análisis de regresión se debe de comprobar que los datos recabados provienen de una distribución normal. Por medio del mismo software estadístico se

realizó una prueba de normalidad Anderson-Darling donde se encontró que tanto los datos tomados de temperatura como de tiempo siguen un comportamiento normal, basándonos en los valores p, de 0.525 y 0.793 respectivamente. Gráficamente se comprueba cuando los valores recabados (puntos rojos) son próximos a la línea de normalidad. Ver figuras 16 y 17.

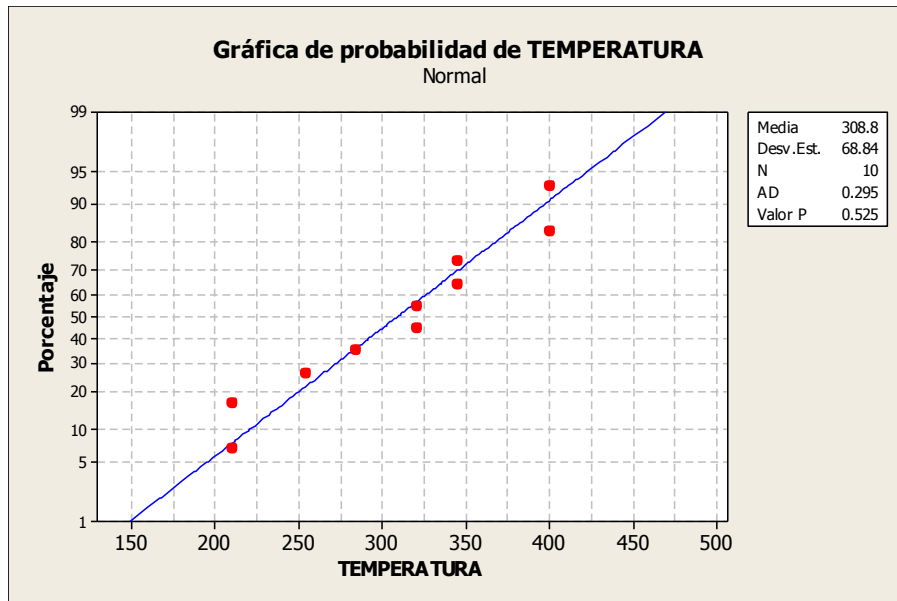


Figura 16. Gráfica de probabilidad de temperatura

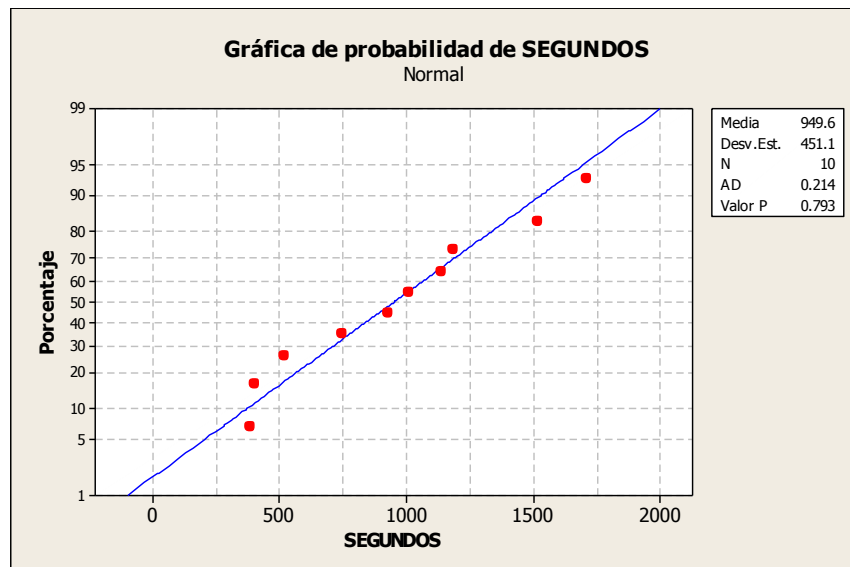


Figura 17. Gráfica de probabilidad de segundos

El resultado obtenido fue una ecuación de regresión (fórmula 8) que explica el 91.9% del fenómeno por lo cual se considera muy confiable para obtener el tiempo de espera:

$$s = -991 + 6.28t \quad (8)$$

Dónde:

s= tiempo de espera en segundos para que el túnel termo-encogible alcance la temperatura deseada

t= temperatura deseada

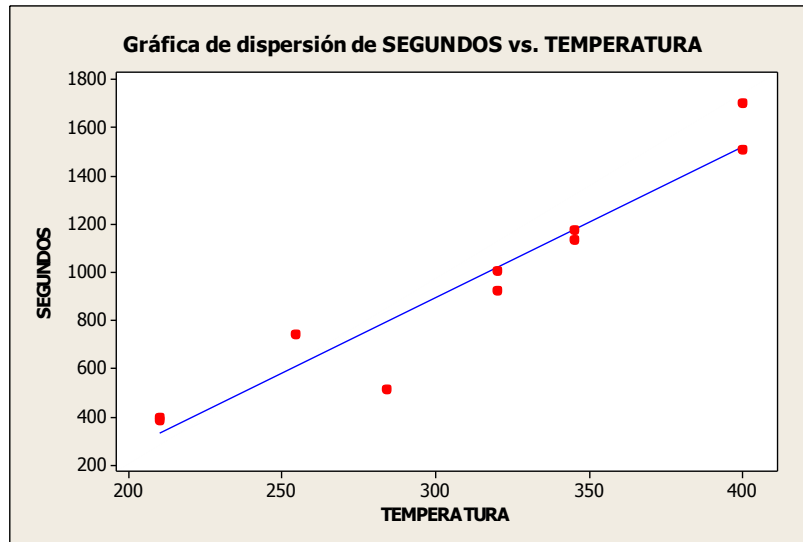


Figura 18. Gráfica de dispersión entre los factores temperatura y segundos

En la figura 18 se puede apreciar que a mayor temperatura deseada el tiempo que se debe esperar para que esta sea alcanzada es mayor. A partir de esta observación se puede decir que se buscará la menor temperatura, puesto a que menor sea la temperatura el tiempo de Set Up disminuirá.

Sustituyendo en la ecuación de regresión 7 se tiene que la temperatura seleccionada como la más factible, 230° F el tiempo de espera estimado para poder utilizar el túnel es de 16 minutos con 59.9 segundos.

VI. RESULTADOS

ANÁLISIS DE REGRESIÓN

Para comprobar que los datos otorgados por el análisis para el tiempo de Set Up es confiable se desarrolló un análisis de correlación para conocer qué tan relacionadas están las variables temperatura y tiempo de calentamiento. Con el mismo software utilizado en todo el estudio de obtuvo un coeficiente de correlación de Pearson de 0.959 lo que demuestra que las variables están fuertemente relacionadas y que a mayor temperatura los segundos de espera para alcanzarla será mayor, determinado por su signo positivo.

Con un p-value de 0.000 se rechaza fuertemente la hipótesis nula $B_1 = 0$, comprobando que existe una pendiente entre las dos variables.

DISEÑO DE EXPERIMENTOS

Con el fin de comprobar la hipótesis de interacción entre la temperatura y velocidad se realizó una gráfica de interacción entre los tres factores que influyen. En la figura 19 se pudo comprobar que entre la temperatura y la velocidad si existe una interacción puesto que no siguen un mismo patrón, aunque el factor velocidad no es tan influyente, ya sea a velocidad nivel 1.5 o 2 a temperatura de 320° F el resultado es el mismo mostrando los menores defectos. De acuerdo a la gráfica a mayor temperatura se requiere de mayor velocidad para reducir los defectos.

Además por medio de la tabla ANOVA (tabla 18) se puede corroborar dicha interacción. En la tabla 18 se observa que con un 95% de confianza existe una interacción entre los factores temperatura y velocidad pues cuenta con un p-value de 0.251 rechazando la hipótesis alternativa.

TABLA 18. ANOVA para comprobación de interacción

FUENTE	GL	SC	MC	F	P
TEMPERATURA	2	37.5111	18.7556	13.72	0
VELOCIDAD	2	0.5778	0.2889	0.21	0.81
INTERACCION	4	7.6889	1.9222	1.41	0.251
ERROR	36	49.2	1.3667		
TOTAL	44	94.9778			

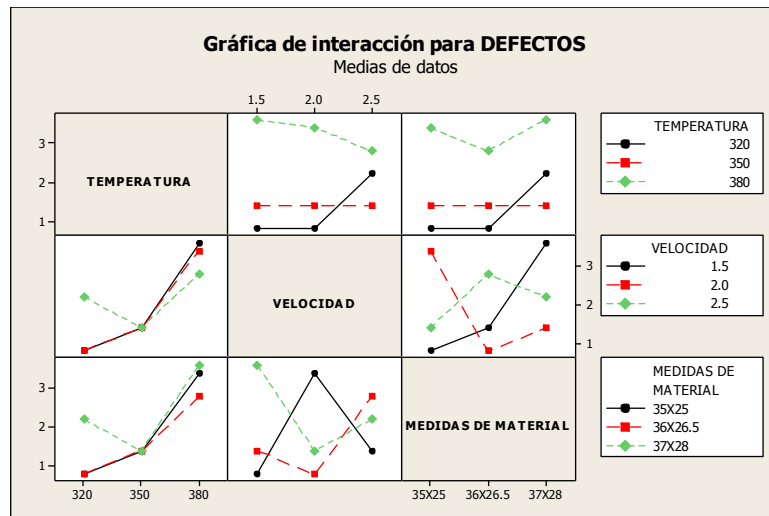


Figura 19. Gráfica de interacción para la salida defectos de empaque

VII. DISCUSIÓN

A pesar de que fueron encontrados los factores correctos para alcanzar el menor número de defectos después de realizar un número mayor de pruebas los resultados no fueron constantes presentando una variación considerable, encontrando que la temperatura suele variar de un momento a otro. Por lo cual se recomienda realizar un análisis más profundo del túnel termo-encogible ya que los datos obtenidos en el diseño de experimentos arrojan que la temperatura ambiente puede estar influyendo. Existe la hipótesis de que el túnel debe encontrarse en un ambiente controlado para eliminar dicha variación, propuesta que sería difícil de aplicar en la planta por su tipo de proceso en célula U.

En cuanto a la metodología utilizada se puede ver que aunque diferentes autores mencionan diferentes pasos, algunos resumidos y otros una gran cantidad, en todos los casos se busca encontrar las mismas variables y llegar a un mismo resultado.

VIII. CONCLUSIONES

Al aplicar un diseño de experimentos Taguchi se cumplió el objetivo de reducir el número de muestras. En total durante los dos experimentos se tomaron 99 muestras. Si por el contrario se hubiera utilizado un diseño de experimentos tradicional el número aumentaría a 162.

Una vez que se profundice más en el desarrollo del proyecto se debe de diseñar alguna fixtura que permita realizar los cortes de plástico de manera constante en la selladora en L para evitar mayor variación y disminuir el tiempo de la operación.

La solución propuesta por el proveedor es una máquina de formado-llenado-sellado, la cual logra hacer invisible la costura, sellando la película por la parte inferior del empaque. A pesar de ser la mejor opción se requiere de hacer una gran inversión y, puesto a que es una máquina muy grande se estaría ocupando mucho espacio que no se tiene disponible para el proceso.

Otra solución propuesta, además de ser la más factible, es utilizar la poliolefina en tubing, una presentación en la cual la poliolefina se encuentra en un rollo sellada por los costados, de esta forma solo se cortaría con una costura disminuyendo la posibilidad de defectos y haciendo más estético el diseño, además de agilizar la operación.

Cabe destacar que una vez que se comience con la fabricación de la nueva cerradura, se debe de brindar una capacitación para el uso de las dos máquinas presentadas en el estudio, así como contar con una estrategia para evitar tiempo muerto o **WIP** en el inicio de producción diaria.

Dentro del caso práctico este estudio aportó datos importantes para definir los factores significativos del nuevo proceso así como la determinación de los parámetros adecuados para que el proceso funcione de manera adecuada.

En cuanto a la industria, este estudio brinda información que contribuye a la utilización de diseños de experimentos en el proceso de introducción de nuevos productos, para eficiencia y ahorro en el desarrollo de productos y/o procesos.

IX. REFERENCIAS

- [1] Loreface Sparacino Gabriela, (2003), Tecnología inalámbrica Bluetooth sobre los servicios de comunicaciones en los ámbitos social y empresarial, revista Télématique.
- [2] Abdel-Bary, E. M.; Rapra Tec, Handbook of Plastic Films.
- [3] Clyde E. Witt, Expand Business by Shrinking Packages, Shrink tunnel for even heat, Packaging Magazine.
- [4] Shrink tunnel packaging machines from All Pack Machines. Popular Plastics & Packaging. (2011), Vol. 56 Issue 3, p71-71.1/4p.
- [5] Saderra Jorba Luis, (1993), El secreto de la calidad japonesa: el diseño de experimentos clásico, Taguchi y Shainin, Marcombo.
- [6] Wu Yulin, Wu Alan, (1997), Diseño robusto utilizando los métodos Taguchi, Ediciones Díaz de Santos.
- [7] Romero Villafranca Rafael, Zúñiga Ramajo Luisa Rosa, (2005), Métodos estadísticos en ingeniería, Ed. Univ. Politéc. Valencia.
- [8] Berenson Mark L., Levine David M., Krehbiel Timothy C., (2006), Estadística para administración, Pearson Educación.
- [9] Diaz Mata, Alfredo (2013), Estadística aplicada a la administración y la economía, Editorial McGraw-Hill Interamericana
- [10] Gutiérrez Pulido, Humberto, Vara Salazar, Román de la (2012), Análisis y diseño de experimentos, Editorial McGraw-Hill Interamericana
- [11] Ulrich, Karl T., Eppinger, Steven D. (2013), Diseño y desarrollo de productos, Editorial McGraw-Hill Interamericana
- [12] Gryna, Frank M., Defeo, Joseph A. (2007), Análisis y planeación de la calidad. Método Juran, Editorial McGraw-Hill Interamericana
- [13] González García, Carlos, Llorente Medrano, Jesús, Ruiz Jiménez María José (2008), Matemáticas 1 Bachillerato
- [14] Aguado, S., Alvarez, R., & Domingo, R. (2013). Model of efficient and sustainable improvements in a lean production system through processes of environmental innovation. *Journal of Cleaner Production*, 47, 141–148. doi:10.1016/j.jclepro.2012.11.048
- [15] Holweg, M. (2007). The genealogy of lean production. *Journal of Operations Management*, 25(2), 420–437. doi:10.1016/j.jom.2006.04.001
- [16] Tanco, M., Viles, E., Ilzarbe, L., & Alvarez, M. J. (2009). Barriers faced by engineers when applying design of experiments. *The TQM Journal*, 21(6), 565–575. doi:10.1108/17542730910995846