



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería
Maestría en Ingeniería de Calidad y Productividad

**DEFINICIÓN DE PARÁMETROS ÓPTIMOS DE OPERACIÓN DE UN
PROCESO DE INYECCIÓN DE PLÁSTICO PARA REDUCIR INCIDENCIAS POR
CONTRACCIÓN-DIMENSIÓN.**

Opción de titulación
Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el Grado de
Maestría en Ingeniería de Calidad y Productividad

Presenta:
Ricardo Uziel Ruiz López

Dirigido por:
M. en C. Guillermo Hiyane Nashiro

M. en C. Guillermo Hiyane Nashiro
Presidente

M.I. Javier García Pérez
Secretario

M.A.P. Agustín Martínez Rodríguez
Vocal

Dr. Juan Bosco Hernández Zaragoza
Suplente

M.I. Marcela A. Juárez Ríos
Suplente

Dr. Aurelio Domínguez González
Director de la Facultad

Firma

Firma

Firma

Firma

Firma

Dra. Ma Guadalupe Flavia Loarca Piña
Directora de Investigación y Posgrado

Centro Universitario
Querétaro, Qro.
Noviembre de 2015

RESUMEN

Uno de los objetivos que las industrias de cualquier giro persiguen es el de satisfacción del cliente. La presente investigación se realizó en una industria automotriz en el área de inyección de plásticos. El problema fue de reclamos del cliente con impacto en cargo económico de miles de dólares a la industria, además de calificación negativa en el portal automotriz por variaciones en dimensiones en uno de los componentes del sistema de iluminación del coche (faro trasero). Lente y carcasa se ensamblaban pero no pasaban control de calidad en dimensión ya que 3 de los 12 puntos que se miden estaban fuera de especificación, realizando un diagrama de causa-efecto se pudo llegar a la conclusión que el problema provenía de 4 factores en el molde de inyección. Se revisaron datos históricos de parámetros de inyección, se definieron los niveles a cada factor obteniendo un diseño factorial 2^4 , este fue optimizado realizando 8 corridas significativas para el modelo. El ANOVA de los cuatro factores indicó que uno de los factores no aportaba significancia al modelo por lo que fue extraído realizando un nuevo ANOVA con 3 factores, con un poder de la prueba entre 0.85 y 0.99 se definió que las repeticiones fueron las ideales, además de una prueba de Bartlett menor a 0.05 indicó que no había problema en caer en error tipo II. Se realizó la corrida de confirmación después de realizar algunas actividades previas a realizar el experimento encontrando resultados satisfactorios dentro de los cuales están la definición de un nuevo parámetro que permitió ahorrar tiempo en ciclos de inyección e incrementando la producción hasta un 11.9% y cumplimiento del objetivo con disminución de hasta 68.38% de scrap.

Palabras clave: diseño de experimentos, polimetilmetacrilato y contracción.

SUMMARY

One of the industries objectives, it doesn't matter the line of business, is customer satisfaction. This research was done in an automotive industry, specifically in injection molding area. The problem was customer complaints with economic impact over thousands of dollars to the industry as well as negative rating in the automotive site by dimensions variations in components of the lighting system of the car (taillight). Lens and housing are assembled but not passed quality control dimension, 3 of 12 points measured were out of specification, making a cause-effect diagram it can conclude that the problem came from four factors in the injection mold. Historical data of injection parameters were reviewed, levels were defined for each factor getting a 2^4 factorial design, and this was optimized performing only eight significant trials for the model. The ANOVA of four factors indicated that one of the factors did not contribute significance to the model so it was extracted performing a new ANOVA with 3 factors, with a power of proof between 0.85 and 0.99 was determined that the repetitions were ideal addition Bartlett test of less than 0.05 indicated no problem falling into type II error. Confirmation trial was made after performing some activities to improve the process. The experiment has satisfactory results, these are: the definition of a new parameter that saved time in injection cycles, increasing production to 11.9% and meeting the target decreasing approximately 68.38% of scrap.

Keywords: design of experiments, polymethylmethacrylate and shrinkage.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres

Por inculcarme la inquietud del saber, de ser constante y prepararme para construir el futuro deseado. El apoyo incondicional y la disposición que siempre me brindaron.

A mis hermanos (Jadiel, Lourdes, Rafael y Antonio)

Por el apoyo en la toma de decisiones, el ánimo que me transmitieron para no desistir en el transcurso y más que nada porque siempre estuvieron para ser mis consejeros.

A Elías Ruiz Zepeda

Porque más que mi primo fue un amigo, por los sabios consejos, por enseñarme a cómo enfrentar la vida profesional y por su incondicional apoyo y orientación en las decisiones a tomar.

A buenos Amigos.

Que fueron partícipe de la formación como maestro, por acompañarme en el transcurso, por perseguir y apoyarnos en la misma meta, a ellos: Alejandro, Claudia e Iliana. Otros que supieron comprenderme y darme los ánimos, a ellos: Nancy, Iris y Ayari.

A CONACYT

Por el apoyo económico para ser posible la investigación que se ha documentado en este trabajo.

A la Universidad Autónoma de Querétaro.

Por otorgarme la oportunidad de demostrar que con esfuerzo constante, perseverancia y dedicación se pudo lograr el objetivo de obtener el grado de maestro, agradezco así mismo el apoyo de maestros por orientarme en el transcurso del aprendizaje.

ÍNDICE	Páginas
RESUMEN.....	II
SUMMARY	III
AGRADECIMIENTOS.....	IV
ÍNDICE.....	V
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VII
ÍNDICE DE TABLAS	IX
I. INTRODUCCIÓN	10
I.I. OBJETIVOS	12
<i>I.I.I. Objetivo General.....</i>	<i>12</i>
<i>I.I.II. Objetivos Particulares</i>	<i>12</i>
I.II. HIPÓTESIS	13
2. REVISION DE LA LITERATURA	14
2.1 POLÍMEROS.....	14
2.2 CLASIFICACIÓN DE LOS POLÍMEROS.	14
2.2.1 Termoplásticos.....	14
2.2.2 Termofijos	16
2.2.3 Elastómeros.....	16
2.3 ADITIVOS.....	16
2.4 MOLDEO POR INYECCIÓN.	17
2.4.1 Parámetros a controlar en el moldeo por inyección.	21
2.4.2 Ventajas del moldeo por inyección.	23
2.4.3 Desventajas del moldeo por inyección.....	23
2.4.4 Sobremoldeo.	23
2.4.5 Máquinas.	24
2.4.6 Molde.	25
2.4.7 Principales defectos en el moldeo por inyección.	27
2.5 METODOLOGÍA PDCA.....	30

2.6	FUNDAMENTOS ESTADÍSTICOS.	30
2.6.1	<i>Diseño de experimentos.</i>	30
2.6.2	<i>Diseño óptimo de experimentos.</i>	31
2.6.3	<i>ANOVA</i>	31
3.	METODOLOGÍA.....	32
3.1	PLANEAR, DESARROLLAR, CONTROLAR Y ASEGURAR (PDCA)	32
3.1.1	<i>Descripción del problema (5W + 2H)</i>	33
3.2	PLANEACIÓN	34
3.2.1	<i>Buscar las causas. FTA (Factor Tree Analysis)</i>	34
3.2.2	<i>Analizar las causas.</i>	41
4.	RESULTADOS Y DISCUSIONES.	46
4.1	ENCONTRAR LAS SOLUCIONES.	46
4.2	DESARROLLAR	54
4.3	CONTROLAR	58
4.4	ASEGURAR	59
5.	CONCLUSIONES	61
6.	BIBLIOGRAFÍA.....	62
7.	ANEXOS.....	65

ÍNDICE DE FIGURAS

Páginas

1.- Diagrama de una máquina de moldeo por inyección. Fuente: (Groover, 2007).	18
2.- Molde Cerrado. Fuente: (Groover, 2007)	20
3.- Fusión inyectada en la cavidad. Fuente: (Groover, 2007).....	20
4.- Retracción del tornillo. Fuente: (Groover, 2007)	20
5.- El molde se abre y se retira la pieza. Fuente: (Groover, 2007).....	21
6.- Detalles de un molde de dos capas cerrado. Fuente: (Groover, 2007)	26
7.- Detalles de un molde de dos capas abierto. Fuente: (Groover, 2007)	27
8.- Metodología para resolución de problemas. Fuente: (Valeo, 2015).....	32
9.- En rojo: Parte mala y en verde: Parte buena. Fuente: (Valeo, 2015).....	34
10.- Molde R-134 de inyección de plásticos.....	35
11.- Lente Inyectado en Máquina #28 Versión Europea.	36
12.- Gráfica de valores individuales de las dimensiones de las 2 cavidades.	37
13.- Gráfica de valores individuales del peso de las piezas en producción normal.	38
14.- Diagrama de Parámetros.	40
15.- Revisión de datos históricos de parámetros de operación de la máquina de inyección.	42
16.- Gráfico de eficiencias.....	44
17.- Limpieza del sistema de enfriamiento del molde. A. Antes y B. Después.	46
18.- Verificación de la temperatura del molde (lado fijo y lado móvil).....	47

19.- Arreglo de manguera del sistema de enfriamiento del molde. A. Antes y B. Después.	48
20.- A. Dimensión del lente y B. Pesaje del lente.....	49
21.- ANOVA para el Diseño de Experimentos Optimizado.....	50
22.- Gráficos de residuales ajustados, normalidad y localización de la escala del ANOVA para los cuatro factores.	51
23.- ANOVA después de sustraer el factor que no era significativo para el modelo.	51
24.- Gráfico de residuales después de haber sustraído el factor menos significativo del modelo anterior.....	52
25.- ANOVA sin el factor de Tiempo de presión de compactación.....	53
26.- Poder de la prueba para factores significantes.	53
27.- Prueba de Bartlett para los factores significantes.	54
28.- Dimensiones de las piezas después del diseño de experimentos.	56
29.- Gráfica de pesos de lentes después del realizar el experimento.	56
30.- Identificación de los contenedores por lado y cavidad.	57
31.- Gráfica de histórico de producción y SCRAP generado en la producción de lentes.....	58

ÍNDICE DE TABLAS	Páginas
1.- Principales termoplásticos.....	14
2.- Repuesta a los 5 W y 2 H. Desde el punto de vista del cliente y de la empresa.	33
3.- Realización de las 4 M para detección la causa raíz del problema.	39
4.- Principales factores y niveles para el Diseño de Experimentos.	42
5.- Diseño de experimentos codificado.	43
6.- Diseño óptimo de experimentos codificado.....	45
7.- Lista de asignación de actividades para el equipo de trabajo.	41
8.- Temperatura del molde antes y después del mantenimiento.	47
9.- Diseño de experimentos después de haber realizado las corridas experimentales.	50
10.- Seguimiento de SCRAP por mes, antes y después del análisis.	59

I. INTRODUCCIÓN

Una de las técnicas de procesado de plásticos que más se utiliza es el moldeo por inyección, siendo uno de los procesos más comunes para la obtención de productos plásticos. Actualmente el 32% de todos los plásticos es moldeado por inyección debido a la capacidad de producir en grandes cantidades partes complicadas de un modo preciso. Es casi imposible encontrar un conjunto sin que se hayan utilizado partes moldeadas por inyección, se utilizan en un gran número de aplicaciones como son piezas del interior de automóviles, bastidores electrónicos, artículos para el hogar, equipamiento médico, compact-disc, etc. (Rodríguez, et al, 2009).

Sin plásticos, se estima que los coches de hoy en día serían alrededor de 200 a 300 kg más pesados. El ahorro de combustible resultante se estima en 0.51% por cada 100 Km que representan 7,501 coches con toda una vida de 150,000 kilómetros (Biron, 2013).

Muchos tipos de termoplásticos se utilizan en más de 1,000 diferentes partes de todas las formas y tamaños. Aunque hasta más de 12 diferentes polímeros pueden ser utilizados en un modelo de coche único, solo tres familias representan al rededor del 66% de los plásticos utilizados en total en un coche: Polipropileno (PP) (32%), poliuretano (PUR) (17%), cloruro de polivinilo (PVC) (16%) (Biron, 2013) y polimetilmetacrilato (PMMA) (7%) (Rau, 2012).

En la industria donde se realizó la investigación, se manufacturan sistemas de iluminación que pueden ser de tres tipos: RCL (Rear Combination Lamp) o comúnmente conocido como calaveras, HL (Head Lamp) o conocidas también como faros delanteros y Apliqué que es el sistema de iluminación que va insertado alado de las calaveras, que a diferencia de estas, el apliqué se encuentra insertada en la cajuela del coche (parte móvil).

Dentro de los componentes principales para el ensamble de los sistemas de iluminación se encuentran: carcaza, lente interior, bisel, guía de luz y lente, siendo este último el objeto de investigación.

En el área de inyección, del lugar donde se realiza la investigación, se procesan los componentes de plástico que suministran al área de ensamble de la misma línea de producción, dentro de dichos componentes está el lente RCL en dos versiones: Americano y Europeo, ambos son manufacturados en la misma máquina de inyección y con el mismo molde de cuatro cavidades, o sea, se obtiene un lente izquierdo (LH) y uno derecho (RH) de cada cavidad, la diferencia entre uno y otro es que para el americano se usan dos tipos de resinas (blanco claro y rojo), mientras que en la versión Europea se utilizan tres (blanco claro, rojo y ámbar).

A inicios del mes de febrero de 2015 se tuvieron reclamos por el cliente en cuanto a dimensiones del RCL Europeo LH ensamblado, este reclamo tuvo impacto en PPBS (Planning, Programming and budgeting system) que fue de aproximadamente de 1,500 USD, el problema se resolvió temporalmente con ajustes en la estación de trabajo #70 de la línea de ensamble.

Para mediados de marzo de 2015 se reincidió en el problema, de igual manera se tuvo impacto en PPBS. Esto significaba el retorno de más de 90 piezas donde los cargos por retorno corrían a cargo de la empresa, además que se vería afectada la calificación que el cliente hiciera a la empresa en el portal automotriz y finalmente se vería afectada la producción de piezas y entregas.

La acción subsecuente fue realizar una investigación para identificación de la causa raíz, los resultados indicaron que se trataba de dimensión del lente izquierdo cavidad 1 (LH1) en el área de inyección, las dimensiones del lente Europeo comparados con el lente Americano variaban por 1.2 ± 0.2 mm aunque se encontraban dentro de especificación de acuerdo al plan de control.

En el análisis anterior también se determinó que la variación de dimensión en el lente Americano fue de 0.1 ± 0.2 mm, esto no representó problemas

dimensionales en el área de ensamble. Caso contrario con la versión Europea Cavidad 1 comparado con la Cavidad 2 en el que se tenían 9 piezas fuera de dimensión por cada 472 piezas ensambladas, además de 3 ajustes lo que representaba entre 15 – 25 min de paro de línea por cada ajuste.

Investigaciones referentes a problemas de dimensiones en piezas de inyección atribuyen a este hecho el descontrol de factores como temperatura, presión de compactación y temperatura de enfriamiento (Ozcelic, 2011). Además no respetar parámetros de inyección o no tener los parámetros ideales, impactan directamente en la calidad final de la pieza inyectada manifestándose desde problemas cosméticos hasta dimensionales (Kitayama, 2014).

I.I. OBJETIVOS

I.I.I. Objetivo General

Disminuir hasta un 70% la producción de lentes fuera de dimensión evitando paros de línea por ajustes en ensamble y reclamos por el cliente directo, para julio de 2015.

I.I.II. Objetivos Particulares

- Evaluar el proceso de inyección para descartar las posibles causas que no son significativas y centrarse en las que afectan directamente.
- Establecer parámetros de operación para el proceso a partir del análisis de las causas.
- Verificar si los criterios de operación propuestos son los óptimos.
- Transversalización de las acciones implementadas en la máquina donde se realiza la investigación para otras que presenten problemas de este tipo.

I.II. HIPÓTESIS

Es posible determinar parámetros óptimos de operación para el proceso de inyección de lentes versión europea disminuyendo el índice de contracción en las piezas y así tener control en el proceso mediante un diseño óptimo de experimentos.

2. REVISION DE LA LITERATURA

2.1 Polímeros

Los polímeros son los más nuevos de los tres tipos básicos de materiales (metales, cerámicos y polímeros) y, al mismo tiempo los más antiguamente conocidos por el hombre (Vincent et all, 2006). Químicamente un polímero es un compuesto que consiste en moléculas de cadena larga, cada molécula está hecha de unidades repetitivas que se conectan entre sí (Ashby, 2009).

2.2 Clasificación de los polímeros.

Los polímeros se dividen en plásticos y hules. Son materiales de ingeniería relativamente nuevos comparados con los metales y los cerámicos, se conocen desde mediados del siglo XIX y se dividen en: 2.2.1) y 2.2.1) donde se encuentran los plásticos y 2.2.3) hules (Groover, 2007):

2.2.1 Termoplásticos.

Polímeros Termoplásticos o Termoplásticos (TP). Son materiales sólidos a temperatura ambiente, pero cuando se someten a temperaturas de algunos cientos de grados se convierten en líquidos viscosos. Esta característica permite conformar los fácil y económicamente en productos útiles. Pueden sujetarse repetidamente a ciclos de calentamiento y enfriamiento sin que se degraden significativamente (Marcilla, 2012).

Unos de los principales termoplásticos más importantes se enlistan en la Tabla 1.

Tabla 1.- Principales termoplásticos. Fuente: (Harper, 2006).

Tipo de material	Características	Aplicaciones
Acrilonitrilo-butadieno-estireno. (ABS)	Gran resistencia y tenacidad; resistente a la distorsión térmica, soluble en disolventes orgánicos	Recubrimiento de interiores de frigoríficos, equipos de jardinería y juguetes.
Polimetilmetacrilato (PMMA)	Extraordinaria transmisión de la luz y resistencia a la degradación ambiental.	Lentes, ventanas de avión, material para dibujar, letreros exteriores.

Fluorocarbonos (PTFE o TFE)	Químicamente inertes en la mayoría de los ambientes, excelentes propiedades eléctricas, nula fluencia a la temperatura ambiente.	Aislamientos anticorrosivos, tuberías y válvulas, componentes eléctricos expuestos a altas temperaturas.
Nilones	Buena resistencia mecánica, a la abrasión y tenacidad. Absorbente de agua y otros líquidos.	Cojinetes, engranajes, levas, palancas y recubrimientos de alambres y cables.
Policarbonatos	Dimensionalmente estables, baja absorción al agua, transparencia, resistencia química.	Cascos de seguridad, lentes, globos para alumbrado, bases para películas fotográficas.
Polietileno	Químicamente resistentes y eléctricamente aislantes; blandos y poca resistencia a la degradación ambiental.	Botellas flexibles, juguetes, vasos, carcasas de pila, láminas para embalaje.
Polipropileno	Resistencia a distorsión térmica, resistencia a la fatiga, relativamente barato, poca resistencia a rayos UV.	Botellas esterilizables, láminas para embalaje, televisores, maletas.
Poliestireno	Excelentes propiedades eléctricas y claridad óptica; buena estabilidad térmica y dimensional.	Tejados, electrodomésticos, paneles de alumbrado doméstico.
Vinilos	Materiales para aplicaciones generales y económicas; ordinariamente rígidos, susceptible a la distorsión térmica.	Recubrimiento de suelos, tuberías, mangas de riego, discos fonográficos.
Poliéster (PET)	Película plástica blanda, resistencia a la fatiga, torsión, humedad, ácidos, aceites y a los disolventes.	Cintas magnetofónicas, paños, encordado de neumáticos.

Los termoplásticos son comercialmente los más importantes de los tres tipos, pues constituyen alrededor del 70% del tonelaje total de los polímeros sintéticos producidos. Los termofijos y elastómeros comparten el 30% restante, en partes aproximadamente iguales, con una ligera ventaja para los últimos. Los polímeros TP comunes incluyen al polietileno, polimetilmetacrilato, cloruro de polivinilo, propileno, poliestireno y el nylon (Vincent, et all, 2006).

2.2.2 Termofijos

Los Polímeros Termofijos o Termofijos (TS), no toleran ciclos repetidos de calentamiento y enfriamiento como lo hacen los termoplásticos. Con calentamiento inicial, se ablandan y fluyen para ser moldeados, pero las temperaturas elevadas producen también una reacción química que endurece el material y lo convierte en un sólido infusible (Ashby, 2009). Si este polímero termofijo se recalienta, se degrada por pirolisis en lugar de ablandarse.

En general, los termofijos son:

- 1) Más rígidos con módulos de elasticidad dos o tres veces más grandes;
- 2) Frágiles, prácticamente no poseen ductilidad;
- 3) Menos solubles en los solventes comunes;
- 4) Capaces de funcionar a temperaturas más altas
- 5) No pueden ser refundidos, en lugar de esto se degradan o se queman.

2.2.3 Elastómeros

Los elastómeros. Son los hules. Son polímeros que exhiben una extrema extensibilidad elástica, cuando se sujetan a esfuerzos mecánicos relativamente bajos. Algunos elastómeros pueden estirarse alargando 10 veces su longitud y luego recuperan completamente su forma original. Aunque las propiedades son bastante diferentes a las de los termofijos, comparten una estructura molecular similar a la de éstos, pero diferente de la de los termoplásticos (Ashby, 2009).

2.3 Aditivos.

Los aditivos son sustancias químicas que se agregan a los polímeros y pueden mejorar sus propiedades mediante su combinación. Los aditivos alteran la estructura molecular del polímero o añaden una segunda fase al plástico, transformando a un polímero en un material compuesto (Kalpakjian, 2002). Los aditivos, los más importantes, se pueden clasificar por su función como 1) rellenos, 2) plastificantes, 3) colorantes.

- 1) **Rellenadores.** Los rellenos son materiales que se añaden al polímero generalmente en forma fibrosa o de partícula para alterar sus propiedades mecánicas o para reducir el costo del material (Rees, 2001). Así mismo también se usan para mejorar la estabilidad dimensional y térmica de los polímeros (Kalpakjian S., 2002).
- 2) **Plastificantes.** Son productos químicos que se añaden a un polímero para hacerlo más suave y flexible, mejorando sus características de fluidez durante su conformación. Los plastificantes reducen la temperatura de transición vítrea por debajo de la temperatura ambiente (Marcilla, 2012).
- 3) **Colorantes.** Una ventaja de muchos polímeros sobre los metales o cerámicos es que el material se puede obtener en casi cualquier color, eliminando operaciones secundarias de recubrimiento. Existen dos tipos de colorantes: 1) pigmentos y 2) tintes. Los pigmentos son materiales insolubles finamente pulverizados que se distribuyen homogéneamente en la masa del polímero en bajas concentraciones, añaden opacidad y color al plástico. Los tintes son sustancias químicas en forma líquida solubles en el polímero y se usan normalmente para colorear plásticos transparentes (Schults, 2001).

2.4 Moldeo por inyección.

El moldeo por inyección es un proceso en el que un polímero se calienta hasta un estado altamente plástico y se hace fluir bajo alta presión dentro de la cavidad de un molde donde solidifica. La parte moldeada, llamada moldeo, se remueve entonces de la cavidad. El proceso produce componentes separados o discretos que son casi siempre formas netas. La duración del ciclo típico de producción es de 10 a 30 segundos, aunque no son raros los ciclos de un minuto o mayores. El molde también puede tener más de una cavidad, de manera que se puedan producir múltiples piezas moldeadas en cada ciclo (Rodríguez, 2009).

El moldeo por inyección puede producir formas intrincadas y complejas, la limitación es la capacidad de fabricar un molde cuya cavidad tenga la misma forma que la pieza; además, el molde debe propiciar la remoción de la pieza (Groover,

2006). Los tamaños pueden variar de unas pocas onzas hasta 50 lb, el límite superior está representado por componentes como puertas de refrigerador y defensas de automóviles. El molde de inyección es la herramienta especial que determina la forma y el tamaño de la pieza. Para partes grandes y complejas pueden constar varios cientos de dólares. Para partes pequeñas puede construirse con múltiples cavidades, pero también es costoso y sólo es económico para producción a gran escala (Rodríguez, 2009).

El moldeo por inyección es el proceso más ampliamente usado para los termoplásticos. Algunos moldes para inyección de elastómeros o termofijos permiten el encadenamiento transversal de estos materiales con modificaciones en el equipo y en los parámetros de operación.

El equipo para el moldeo por inyección evolucionó a partir de la fundición de metales en dados. Una máquina de moldeo por inyección consiste en dos componentes principales (Fig. 1):

- 1) La unidad de inyección del plástico
- 2) La unidad sujetadora del molde.

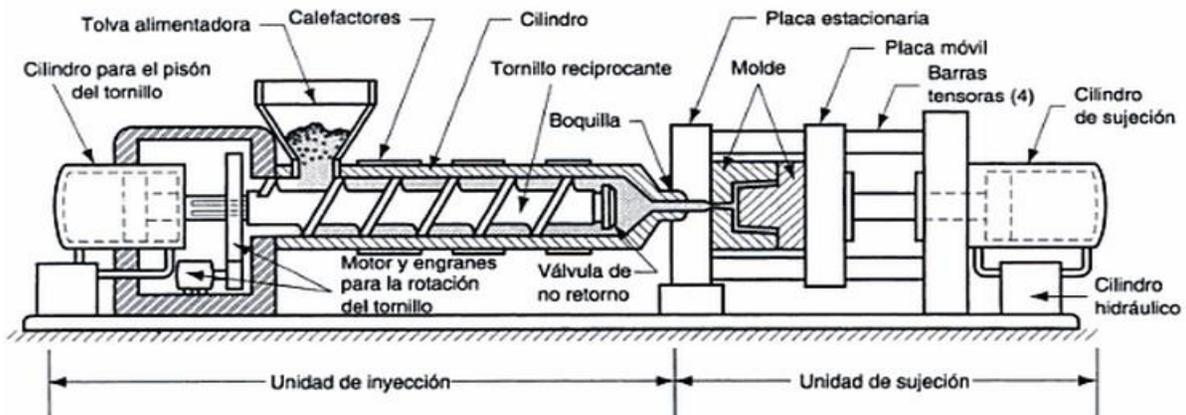


Fig. 1.- Diagrama de una máquina de moldeo por inyección. Fuente: (Groover, 2007).

La unidad de inyección se parece mucho a un extrusor. El sistema está formado por un cilindro conectado, en uno de sus extremos, a una tolva de alimentación que contiene una provisión de pellets de plástico. Dentro del cilindro hay un tornillo cuya operación supera a la del tornillo de extrusión en el sentido de que además de girar para mezclar y calentar el polímero, también actúa como un

émbolo que mueve rápidamente el plástico fundido hacia adelante para inyectarlo en el molde. Una válvula de no retorno, montada cerca de la punta del tornillo, previene que la fusión fluya hacia atrás a lo largo de la rosca del tornillo. Al final del ciclo de moldeo el émbolo vuelve a su posición original. Debido a esta acción dual se le llama tornillo reciprocante, cuyo nombre identifica al tipo de máquina.

Las máquinas antiguas de moldeo por inyección usaban un émbolo simple (sin la hélice del tornillo), pero actualmente la superioridad del diseño del tornillo reciprocante ha llevado a extender su utilización en las plantas de moldeo (Groover, 2006).

Las funciones de la unidad de inyección son: 1) fundir y homogeneizar el polímero y 2) inyectar la fusión en la cavidad del molde.

La unidad de sujeción tiene que ver con la operación del molde. Sus funciones son:

- 1) Mantener las dos mitades del molde alineadas correctamente en sí.
- 2) Mantener cerrado el molde durante la inyección aplicando una fuerza de sujeción suficiente para resistir la fuerza de inyección durante la inyección aplicando una fuerza de sujeción suficiente para resistir la fuerza de inyección (Rodríguez, 2009).
- 3) Abrir y cerrar el molde en los momentos apropiados dentro del ciclo de moldeo. La unidad de sujeción consiste en dos placas, una fija y otra móvil, y un mecanismo para accionar la placa móvil (Kalpakjian, 2002). El mecanismo es básicamente una prensa de potencia operada por un pistón hidráulico o por dispositivos mecánicos articulados de varios tipos. Las máquinas grandes pueden generar fuerzas de sujeción de varios miles de toneladas (Rodríguez, 2009).

La acción empieza con el molde abierto y máquina lista para iniciar un nuevo ciclo de moldeo.

- 1) Se coloca el molde y se sujeta (Fig. 2).
- 2) Una porción de la fusión a temperatura y viscosidad correctas, obtenida por el calentamiento y trabajo mecánico en el tornillo, se inyecta a alta presión

en la cavidad del molde. El plástico se enfría al contacto con la superficie fría del molde y empieza a solidificar. La presión del émbolo se mantiene para compactar la fundición adicional en la cavidad y compensar así la contracción durante el enfriado (Fig. 3) (Biron, 2013).

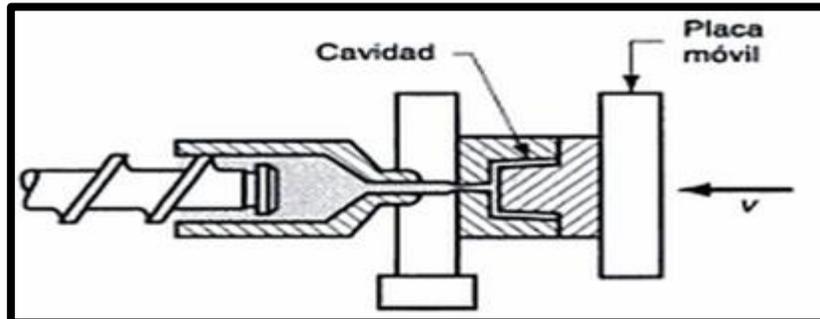


Fig. 2.- Molde Cerrado. Fuente: (Groover, 2007)

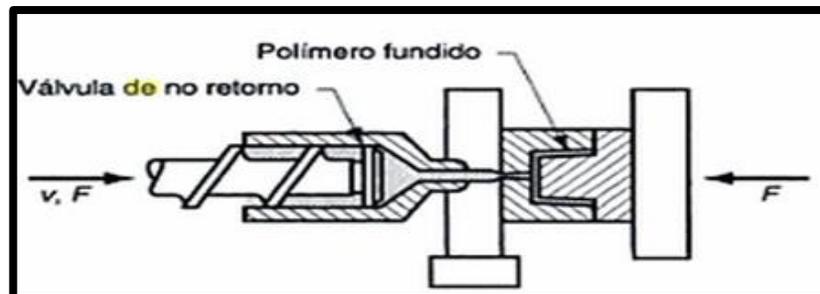


Fig. 3.- Fusión inyectada en la cavidad. Fuente: (Groover, 2007)

- 3) el tornillo gira y se retrae con la válvula de no retorno abierta, para permitir que fluya el polímero fresco a la siguiente posición del cilindro, mientras tanto, el polímero en el molde se ha solidificado completamente (Fig. 4)

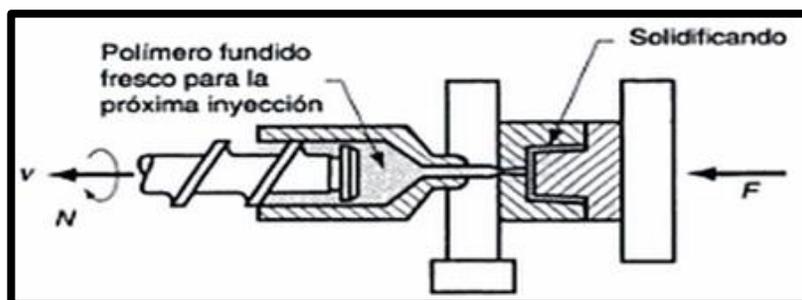


Fig. 4.- Retracción del tornillo. Fuente: (Groover, 2007)

- 4) El molde se abre y expulsa la parte moldeada (Fig. 5)

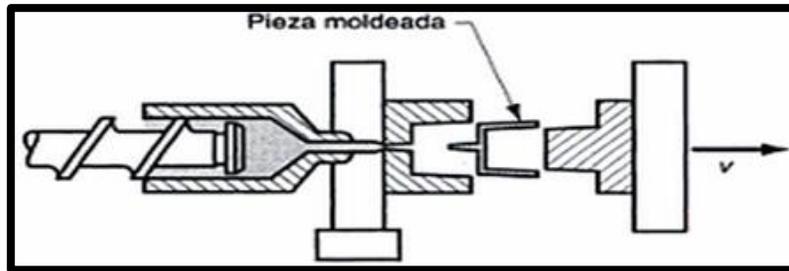


Fig. 5.- El molde se abre y se retira la pieza. Fuente: (Groover, 2007)

2.4.1 Parámetros a controlar en el moldeo por inyección.

La calidad de los productos obtenidos en el moldeo por inyección incluye propiedades mecánicas, calidad de la superficie, dimensiones y densidad. Para obtener una calidad aceptable y reproducible, es esencial mantener el proceso de moldeo bajo un control preciso y así las máquinas modernas están controladas por medio de microprocesadores, así también controlando ciertos parámetros como (Kalpakjian S., 2002):

2.4.1.1 Velocidad.

Cuando se plantea una pieza para ser fabricada por inyección se intenta maximizar la producción, minimizando la duración del ciclo, que es el tiempo que se necesita para derretir el plástico, inyectarlo en el molde, enfriarlo y obtener una pieza terminada. Mediante la utilización de moldes más grandes que producen más de una pieza por inyección, la máquina desarrolla un ciclo que también puede incrementar la producción. (Ozcelik, et al, 2006).

2.4.1.2 Viscosidad.

La consistencia está relacionada con la viscosidad del polímero y es muy importante para una buena producción. Un gran número de variables entra en juego, pero el proceso con mayor probabilidad de éxito se produce cuando se comprende y se controlan la temperatura del plástico, la presión del plástico cuando se llena el molde, la velocidad en que el plástico llena el molde y las condiciones de enfriamiento. Estas cuatro variables primarias de moldeo no son independientes,

pero sirven para comprender los cambios del proceso y solucionar problemas. (Song, 2007)

2.4.1.3 Índice de llenado.

El moldeo por inyección en aplicaciones de paredes delgadas, requiere que el material sea inyectado lo más rápido posible para evitar que el plástico solidifique antes de que la pieza haya sido completamente rellena. (Ozcelik, et al, 2006).

2.4.1.4 Temperatura.

La temperatura de operación de cada termoplástico no es estándar, y varía según el proveedor (de acuerdo con el peso molecular, ramificación del polímero, polidispersidad y aditivos). Es por tanto necesario solicitarle una Hoja de especificaciones donde se encuentre tanto el índice de fluidez como la temperatura de trabajo, que además es un rango de temperaturas, y la temperatura de degradación, con lo cual se obtiene un intervalo dentro del cual se puede trabajar el material eficientemente (Production, 2005).

2.4.1.5 Presión.

Mientras la inyección avanza se encuentra aire presente en la cavidad que experimenta un aumento de presión y generalmente escapa en dirección opuesta al avance del polímero. Si esto no ocurre, entonces es necesario abrir una compuerta de ventilación, igualándose de esta manera la presión generada a la presión atmosférica. Debido a las propiedades de viscosidad y de arrastre del polímero, sólo escapa mediante la ventilación una parte mínima de plástico (Kalpakjian, et al, 2002).

El error más común con la ventilación es el añadir aditivos espumantes desde la tolva. Los espumantes generan gas, aire o agua que queda atrapado en células abiertas o cerradas del polímero. No obstante, si la presión disminuye a presión atmosférica, este gas generado escapa, resultando así un polímero sin espumar.

Para una eficiente alimentación del espumante, éste debe ser añadido después de la ventilación o eliminar el mismo (Production, 2005)

2.4.2 Ventajas del moldeo por inyección.

- Se puede producir fácilmente formas complejas y piezas con un pequeño espesor debido a las grandes presiones que se pueden aplicar.
- Los tiempos de operación son relativamente cortos, muchas piezas pueden fabricarse en un molde sencillo, con lo que se pueden producir grandes series (millones de piezas anuales)
- El moldeo por inyección está generalmente muy automatizado. Muchas de las máquinas pueden operar con un solo operador.

2.4.3 Desventajas del moldeo por inyección.

- Muchas piezas de bajo precio no pueden ser producidas (Como botellas).
- Los moldes tienen un coste elevado, así que pequeñas series de producción no se suelen fabricar (Series inferiores a 10 000 piezas por año).

2.4.4 Sobremoldeo.

Este término se aplica a la producción de piezas articuladas y uniones de rótula en una operación, sin necesidad de ensamblar posteriormente las piezas. Hasta ahora se han usado dos plásticos distintos, para asegurar que no se forme una unión entre las mitades moldeadas de la unión, porque se impediría el movimiento (Groover, 2006).

2.4.4.1 Posibilidades del proceso.

El moldeo por inyección es un proceso de producción de gran rapidez y permite obtener un buen control dimensional. Los tiempos característicos de ciclo van de 5 a 60 segundos, pero para materiales termofijos pueden ser de varios minutos. Los moldes se suelen fabricar con aceros grado herramienta, y aleaciones

de cobre al berilio o aluminio, y pueden tener varias cavidades, de modo que se puede hacer una pieza en un ciclo (Rodríguez, 2009). Los costos de los moldes pueden llegar hasta los 100,000 dólares y su vida puede ser del orden de dos millones de ciclos, si son de acero, aunque sólo de 10,000 ciclos para moldes de aluminio.

El diseño del molde y el control del flujo de material hacia sus cavidades son factores importantes en la calidad del producto. Se ha avanzado mucho en el análisis y el diseño de moldes y del flujo de material en el moldeo por inyección. Se han desarrollado técnicas de moldeo para estudiar los sistemas óptimos de dosificación, llenado de moldes, enfriamiento de moldes y distorsión de la pieza; en ellos se tienen en cuenta factores como presión y temperatura de inyección y el estado de la resina. Hoy se dispone de programas de cómputos para agilizar el proceso de diseño del moldeo de piezas con buenas dimensiones y características (Ozcelik, 2011).

2.4.5 Máquinas.

Actualmente, el 32% de todos los plásticos es moldeado por inyección debido a la capacidad de producir en grandes cantidades partes complicadas de un modo preciso. Es casi imposible encontrar un conjunto sin que se hayan utilizado partes moldeadas por inyección, se utilizan en un gran número de aplicaciones como son piezas del interior de automóviles, bastidores electrónicos, artículos para el hogar, equipamiento médico, compact-disc, etc. (Kalpakjian S., 2002).

Las máquinas de moldeo por inyección suelen ser horizontales. Se usan máquinas verticales para fabricar piezas pequeñas, con tolerancias estrechas, y para moldeo con inserto. La fuerza de prensado en los dados se suministra, en general, por medios hidráulicos, aunque hoy se dispone de métodos eléctricos. Los modelos con impulsión eléctrica pesan menos y son menos ruidosos que las máquinas hidráulicas (Kalpakjan, 2002)

Las máquinas de moldeo por inyección se especifican según la capacidad del molde y la fuerza de prensado. En la mayor parte de ellas, esta fuerza va de 0.9 a 2.2 MN (100 a 250 ton). La máquina más grande que hay en operación tiene capacidad de 45 MN (5000 ton) y puede producir piezas que pesen 25 kg (55 lb). Las máquinas modernas tienen microprocesadores y microcomputadoras en un tablero de control, y vigilan todos los aspectos de la operación (Groover, 2006).

2.4.6 Molde.

El molde es la herramienta especial del moldeo por inyección, se diseña y fabrica a la medida de la pieza a producir.

Los moldes pueden tener una sola cavidad o múltiples cavidades para producir más de una pieza en cada ciclo. Además de la cavidad, otras características del molde tienen funciones indispensables durante el ciclo de moldeo. El molde debe tener un canal distribuidor por donde fluye el polímero fundido, de la boquilla del cilindro a la cavidad del molde (Rees, 2014). El canal distribuidor consiste en (1) un surtidor o bebedero que conduce el plástico de la boquilla al molde; (2) canales de alimentación, los cuales conducen del surtidor a la cavidad (o cavidades) y (3) puertas que restringen el flujo del plástico a la cavidad. Hay una o más puertas para cada cavidad en el molde (Kitayama, 2009)

Se necesita un sistema de eyección para expulsar de la cavidad de las partes moldeadas al final del ciclo. Los pernos eyectores o de expulsión, construidos generalmente en la parte móvil del molde, cumplen con esta función. La cavidad se divide entre las dos mitades del molde, de manera que la contracción natural del molde haga que la parte se pegue a la mitad móvil. Cuando abre el molde, los pernos eyectores empujan la parte fuera de la cavidad (Rodríguez, 2009).

Se requiere un sistema de enfriado para el molde. Éste consiste en una bomba externa conectada a los pasajes de circulación de agua a través del molde para remover el calor del plástico caliente. También se debe evacuar el aire de la cavidad del molde al entrar el polímero. A través de los claros de los pequeños

pernos eyectores del molde pasa una gran cantidad de aire. Con frecuencia se maquinan delgadas ventilas de aire en la superficie de separación del molde, de solamente 0.001 pulg. (0.03 mm) de profundidad y de 0.5 a 1.0 pul. (12 a 15 mm) de ancho, estos canales permiten que escape aire al exterior, pero son demasiado pequeños para que la fusión viscosa del polímero fluya a través de ellos (López, 2014)

En general un molde consiste en 1) una o más cavidades que determinan la forma de la parte, 2) canales de distribución a través de los cuales fluye el polímero fundido hacia las cavidades, 3) un sistema de eyección para remover la parte, 4) un sistema de enfriado y 5) ventilas para permitir la evacuación del aire de las cavidades.

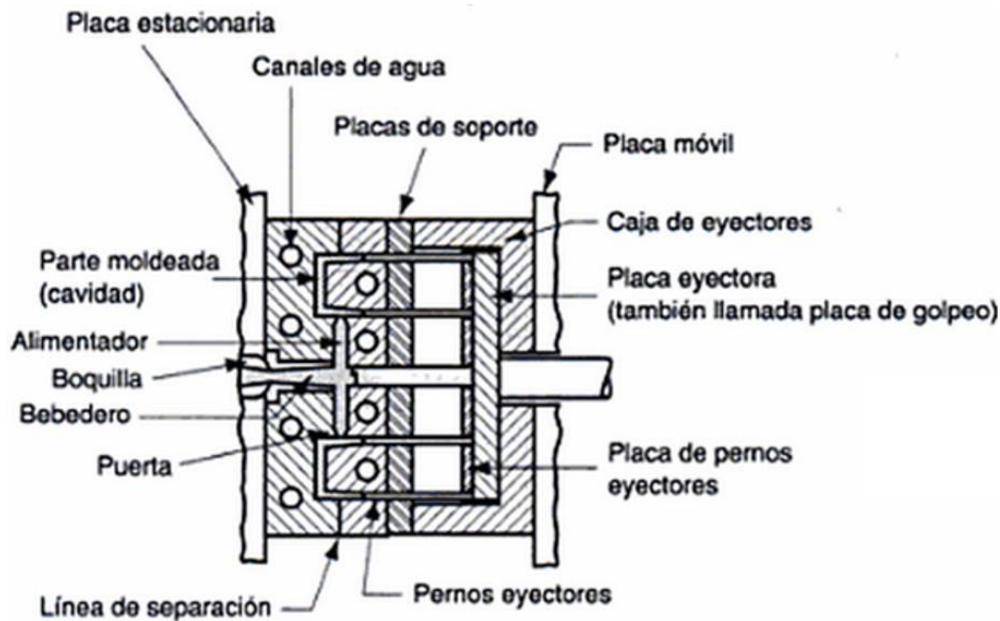


Fig. 6.- Detalles de un molde de dos capas cerrado. Fuente: (Groover, 2007)

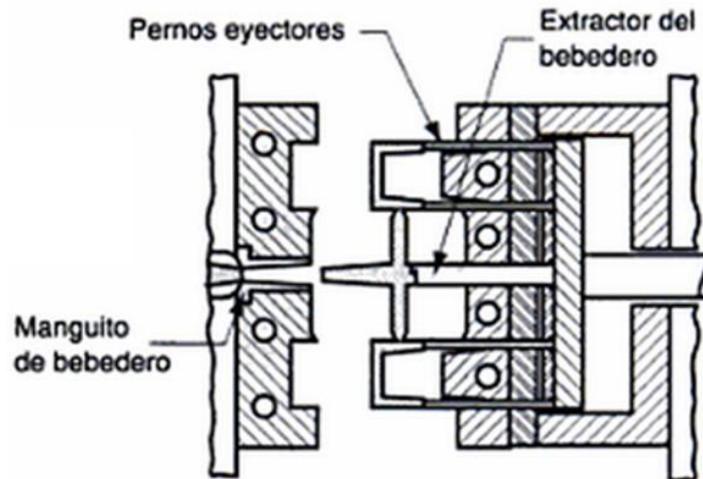


Fig. 7.- Detalles de un molde de dos capas abierto. Fuente: (Groover, 2007)

2.4.7 Principales defectos en el moldeo por inyección.

2.4.7.1 Llenado deficiente

Igual que en la fundición, éste se produce en una pieza que ha solidificado antes de llenar completamente la cavidad. El defecto puede corregirse incrementando la temperatura o la presión. El efecto también puede originarse por el uso de una máquina con capacidad de dosificación insuficiente, en cuyo caso necesita una máquina más grande (Rees, 2001).

2.4.7.2 Rebaba

Esto ocurre cuando la fusión de polímero se mete en la superficie de separación entre las partes del molde; también puede ocurrir alrededor de los pernos de eyección. El defecto es causado generalmente por 1) ventallas y claros muy grandes en el molde, 2) presiones de inyección demasiado altas comparadas con la fuerza de sujeción, 3) temperatura de fusión demasiado alta o 4) tamaño excesivo de dosis (Kitayana, 2014)

2.4.7.3 Marcas hundidas y huecos

Estos son defectos relacionados generalmente con secciones gruesas de la pieza. Una marca hundida ocurre cuando la superficie exterior del molde solidifica,

pero la contracción del material interno causa que la costra se deprime por debajo de la superficie nominal. Un hueco se causa por el mismo fenómeno básico; sin embargo, el material de la superficie retiene su forma y la contracción se manifiesta como un hueco interno debido al alto esfuerzo a la tensión en el polímero aún fundido (Biron, 20013). Estos defectos pueden tener su origen en un incremento de la presión de compactación que sigue la inyección. Una mejor solución es diseñar la parte para tener secciones con espesor uniforme y usando secciones más delgadas.

2.4.7.4 Líneas soldadas.

Las líneas soldadas ocurren cuando la fusión del polímero fluye alrededor de un corazón u otros detalles convexos en la cavidad del molde y se encuentran en la dirección opuesta; los límites así formados se llaman líneas soldadas y pueden tener propiedades mecánicas que son inferiores a las del resto de la parte. Las temperaturas altas de fusión, las presiones altas de inyección, las localizaciones alternas de las puertas en la pieza y una mejor ventilación son formas de evitar este defecto (Ashby, 2009).

2.4.7.5 Contracción.

Los polímeros tienen altos coeficientes de expansión térmica, y durante el enfriado ocurre una contracción significativa del plástico en el molde. Después de la inyección en el molde, algunos termoplásticos experimentan contracciones cercanas al 10% en volumen, en la investigación que se realiza se llega a tener hasta un 3%. La contracción de los plásticos cristalinos tiende a ser mayor que la de los polímeros amorfos. La contracción se expresa como la reducción de las dimensiones lineales ocurrida durante el enfriamiento, desde la temperatura de moldeo hasta la temperatura ambiente para cada polímero dado. Las unidades apropiadas son pulg/pulg (mm/mm) para la dimensión que se considere (Ashby, 2009)

Los rellenos o rellenos presentes en los plásticos tienen a reducir la contracción. En la práctica del moldeo comercial, es necesario obtener del proveedor los valores de contracción para los compuestos específicos de moldeo antes de hacer el molde. Las dimensiones de la cavidad del molde deben ser mayores a las que se especifican en parte, a fin de compensar la contracción (Rodríguez, 2009)

Es claro que deben determinarse las dimensiones del molde para el polímero particular que se va a moldear. El mismo molde producirá diferentes tamaños de parte para diferentes tipos de polímeros. La contracción es afectada por muchos factores y cualquiera de ellos puede alterar la magnitud de la contracción experimentada por un polímero dado. Los factores más importantes son la presión de inyección, el tiempo de compactación, la temperatura de moldeo y el espesor de la pieza. Al aumentar la presión de inyección, se fuerza más el material dentro de la cavidad del molde y la contracción se reduce. El incremento del tiempo de compactación tiene un efecto similar, asumiendo que el polímero no se solidifica y sella la cavidad; el mantenimiento de la presión fuerza más material dentro de la cavidad mientras que tiene lugar la contracción. Por tanto, la contracción neta es reducida (Groover, 2006)

La temperatura de moldeo se refiere a la temperatura del polímero en el cilindro inmediatamente antes de la inyección. Se podría esperar que una temperatura de polímero más alta incrementara la contracción, ya que la diferencia entre dicha temperatura y el ambiente es mayor. Sin embargo, la contracción es realmente más baja a temperaturas de moldeo más altas (Kslpakjian, 2002). La explicación es que las altas temperaturas disminuye significativamente la viscosidad del polímero fundido, permitiendo que se compacte más material dentro del molde; en efecto es el mismo que la inyección a altas presiones. Entonces, el efecto sobre la viscosidad compensa una mayor diferencia de temperaturas.

Finalmente, las partes más gruesas exhiben mayor contracción. La pieza solidifica del exterior al interior; el polímero en contacto con la superficie del molde

forma una cáscara que crece hacia el centro de la parte. En algún punto durante la solidificación, la puerta se solidifica, aislando el material en la cavidad del sistema de alimentación y de la presión de compactación. Cuando esto sucede, el polímero fundido dentro de la cáscara representa la mayoría de la contracción remanente. Una sección más gruesa experimenta una contracción más grande, ya que contiene una alta proporción de material fundido (Groover, 2006).

2.5 Metodología PDCA

El ciclo de Deming, conocido también como ciclo PDCA (Plan o planificar, Do o hacer, Check o control y Act o ajustar) es un elemento fundamental en la gestión de un proyecto. Esta metodología puede ser utilizada tanto para la mejora reactiva, es decir, mediante decisiones profesionales frente a situaciones cambiantes, como para sistematizar reacciones y buscar soluciones racionales a los problemas (Mora, 2003).

La utilización del ciclo PDCA en la resolución de problemas permite conocer las causas que los generan, para después atacarlas y de esta forma disminuir o erradicar los efectos que influyen de manera directa o indirecta en la ausencia de la calidad, obteniendo una mayor efectividad y eficiencia en el desempeño (Litre, 2012).

2.6 Fundamentos estadísticos.

Es de suma importancia que se tenga el conocimiento previo de algunos conceptos estadísticos que se citarán en la presente investigación, por lo que se definen algunos para mejor comprensión.

2.6.1 Diseño de experimentos.

El propósito del diseño experimental es la obtención del máximo de información con el mínimo de costo y el máximo de eficiencia. El diseño estadístico de una investigación exige que las personas responsables del experimento tengan una idea clara, desde un principio, de lo que se va a estudiar, de la manera de

recoger la información y, al menos, una idea cualitativa del tipo de análisis posterior que se debe hacer a los datos (Díaz, 2009).

2.6.2 Diseño óptimo de experimentos.

El objetivo en optimizar el experimento es planificar el experimento de forma que al realizarlo se obtenga una estimación de los parámetros del modelo o una predicción de la variable de respuesta en un punto no observado, que sea óptima. Sin embargo, un diseño puede hacer pequeña la varianza de un funcional lineal, y excesivamente grande otro, por lo tanto, se necesita elegir un criterio que sirva para buscar el mejor diseño en algún sentido (Díaz, 2009). La elección dependerá de los intereses que se persigan al realizar el experimento. Cabe mencionar que una característica esencial del modelo lineal es que la matriz de información no depende de los parámetros del modelo y por eso se diseña el experimento en base a ella (Evans & Rosenthal, 2004).

2.6.3 ANOVA

El Análisis de la Variancia (ANOVA) permite que los estadísticos infieran sobre las medias poblacionales cuando estas se ven afectadas por varios factores diferentes (Ross, 2007). El ANOVA supone que tenemos muestras aleatorias simples independientes de cada población; que cada población tiene una distribución normal; y que las I poblaciones tienen la misma desviación típica (Moore, 2004).

3. METODOLOGÍA

3.1 Planear, Desarrollar, Controlar y Asegurar (PDCA)

En la industria donde se realizó la investigación tiene una metodología en particular para la solución de problemas, dicha metodología fue estudiada y revisada cuidadosamente por el grupo para establecerla como estándar en la resolución de cualquier tipo de problema que se suscitara en las diferentes plantas a nivel mundial, esta metodología se explica a continuación:

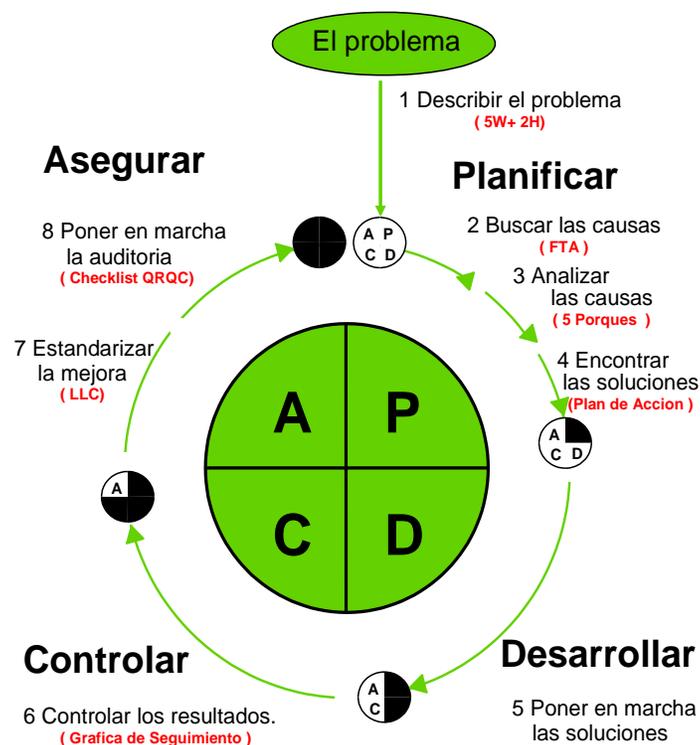


Fig. 8.- Metodología para resolución de problemas. Fuente: (Valeo, 2015).

La principal actividad y el centro de las demás herramientas es la metodología PDCA (Plan, Do, Check and Act), esta metodología nos permitió ir descubriendo, mediante la ayuda de herramientas, la causa principal del problema, así mismo el análisis de esta hasta obtener una posible solución. Una vez teniendo la solución, comprobar si es la ideal para combatir el problema y finalmente Realizar

un monitoreo constate para no recaer en la incidencia o que se generen otras a partir de la solución que se propuso.

3.1.1 Descripción del problema (5W + 2H)

La descripción del problema se basa principalmente en dar detalles de lo que sucede y está fuera de lo normal o fuera del estándar de la empresa, esto se realiza mediante el llenado de un formato respondiendo los 5 principales por qué y 2 cómo del problema.

Las preguntas son contestadas desde el punto de vista del cliente corroborando con lo que la empresa encontró en la evaluación del problema. Lo cual se muestra a continuación:

Tabla 2.- Respuesta a los 5 W y 2 H. Desde el punto de vista del cliente y de la empresa.

What is The Problem? Use 5W+2H to know what is the current situation			
CUSTOMER VIEW		INDUSTRY VIEW	
What happened? [27]	BMW Reports 117 RCL RH, out of specification at zone HSSH101F.Y (Esp. 1mm ±0.8 mm) real parts: 0.45 mm upper than USL.	What symptom do we see on our part? [35]	Measured 289 parts. Good Parts: Meet the specification from 0.2 to 1.8 mm. Bad Parts: Out of the USL. Average of 1.79 mm, STD: 0.273 mm.
Why is it a problem? [28]	This nonconformance creates under flush condition on vehicle.	Was part reworked by industry? [36]	No. The parts were not reworked.
When detected? [29]	20/04/2015, 9:48 a.m.	When was it manufactured at Industry? [37]	From 24-03-2015, at 19:05:39 to 29-03-2015 at 09:16:07 hours.
Who detected? (name of operator) [30]	Erika James, BMW QSB.	Who manufactured? [38]	24-03-15, 2nd shift. Eva Saucedo. No. 8601. Level O. 25-03-15 and 28-03-15, 3rd shift. Ana Cecilia Romero Rojas. No. 8617. Level O. 29-03-15, 1st shift. Veronica Trejo Gutierrez. No. 8526. Level O
Where detected? [31]	At 100% inspection BMW sorting area.	In which other customer sites is this product delivered? [39]	None, just BMW Spartanburg, SC. USA.
How were the NC parts detected? [32]	During 100% inspection at BMW incoming sorting area.	Are we capturing the defect when rejecting product in normal process? [40]	Yes, the bad part can be detected with the controls at the line.
How many NC parts reported by Customer? [33]	117	Did a similar problem happen previously at customer or internally? [41]	Yes, VIM: V-VLS/L17/Queretaro 2/2014-11-24-J37.
How many NC parts sent to Customer? [34]	117	Which Industry site(s) must be warned? [42]	None, there is not another plant who manufacture this part to BMW.

En resumen, de la Tabla 2 se destaca que se tiene un problema con el cliente ya que éste al hacer inspección al 100% en las piezas RCL que la empresa ha enviado como producto terminado se encontraron 117 fuera de dimensión las cuales

se retornaron a la empresa, por su parte la empresa realizó mediciones de las piezas recibidas detectando parte de estas en las condiciones que el cliente señaló, así mismo se puede apreciar que es un problema que ya se había presentado anteriormente en febrero de 2014 que se le dio solución inmediata sin un análisis exhaustivo para determinar la causa raíz del problema, debido a esto el problema se presentó nuevamente, ahora la empresa se comprometió a realizar el análisis correspondiente para evitar futuras reincidencias.

El inconveniente del que se habla arriba se puede apreciar en la imagen que se muestra a continuación:



Fig. 9.- En rojo: Parte mala y en verde: Parte buena. Fuente: (Valeo, 2015).

En la Fig. 1 se aprecia la pieza mala en marco rojo, comparada con la pieza buena en marco verde, la cual señala en el punto medio derecho la especificación normal que debe ser de 0.2 – 1.8 mm medido con un calibrador de profundidad con respecto al fixture (Estructura metálica donde se encuentra montada la pieza que simula a ésta colocada en la carrocería), esto comparado con la pieza fuera de especificación que presenta la medición de ese punto en particular hasta por 0.45 mm.

3.2 Planeación

3.2.1 Buscar las causas. FTA (Factor Tree Analysis)

Se realizó una lluvia de ideas con las personas que operan en el área donde posiblemente se originó el problema posicionando cada una de las ideas dentro de

las 4M (Maquinaria, Método, Material y Mano de obra) si existieran problemas en cada una de éstas, de lo contrario se ponen tantos problemas como se identifiquen no importando que se centren únicamente en una de las M.

Se determinó que el problema no era originado en el área de ensamble, ya que solamente se ensamblan los componentes que el área de inyección de plásticos proporciona. El área de ensamble fue donde se detectó el problema de dimensión a causa de las mediciones que se le realizan a la pieza ensamblada.

Lo siguiente fue realizar un análisis en el área de inyección de plásticos, enfocándose en los dos componentes principales externos (carcasa y lente). Registros de dimensiones no indicaron variación significativa en la carcasa, además la dimensión que se hace en ensamble es en el lente directamente, por lo que se descartó a la carcasa como posible problema, esto dejó una única fuente del problema, el lente, del cual se revisaron los registros encontrando importante variación en dimensión y parámetros de operación de la máquina. A continuación se presenta la máquina y el molde donde se inyecta el lente:

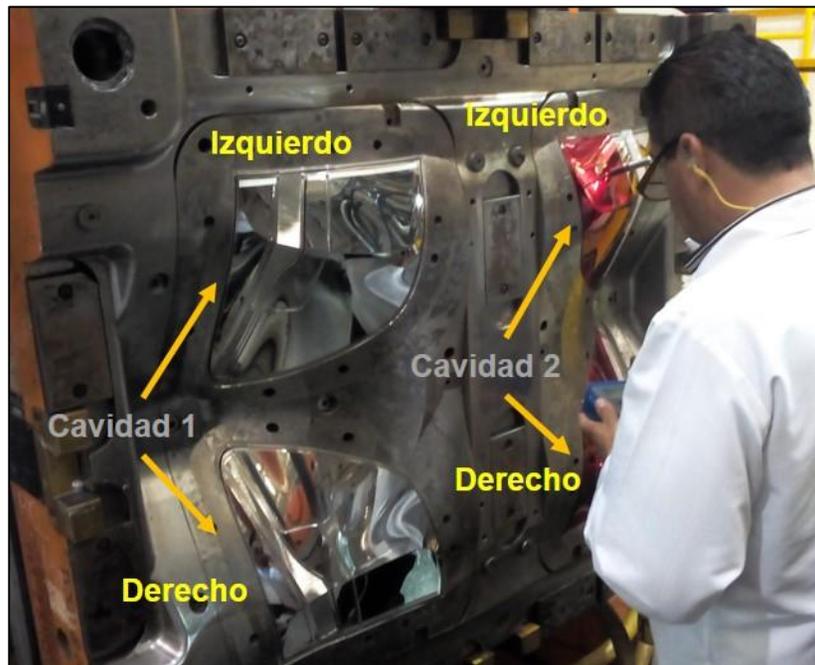


Fig. 10.- Molde R-134 de inyección de plásticos.

Se realizó un análisis previo para saber cómo se encontraban las piezas en dimensión y peso en el proceso actual, para esto se tomaron 30 lentes de cada cavidad, los cuales fueron dimensionados y pesados, los datos fueron graficados para que de manera visual y rápida se diera una idea de cuál era la condición actual del proceso, dichas gráficas se muestran a continuación:

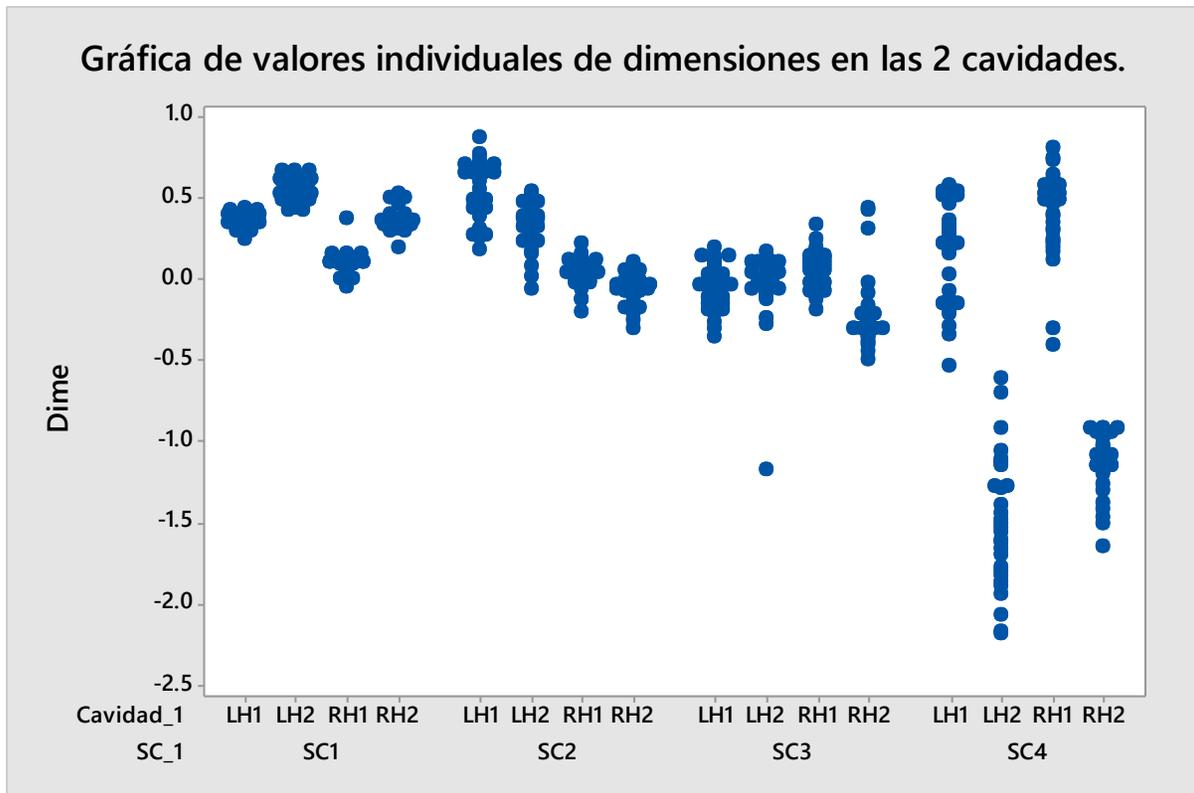


Fig. 12.- Gráfica de valores individuales de las dimensiones de las 2 cavidades.

En la Fig. 12 se observa los cuatro puntos de control en la dimensión del lente identificado con las letras SC, además una considerable variación en cada uno de los puntos de control de las cuatro cavidades, lo ideal sería que las cuatro cavidades de cada uno de los puntos tuvieran la misma altura respetando el rango de especificación, sin estar desfasados como se muestra en la gráfica, específicamente del SC4. Así mismo se analizó el peso de las piezas de las cuatro cavidades ya que el efecto de contracción está asociado a la cantidad de material contenido en la pieza, lo cual queda expresado en la siguiente gráfica:

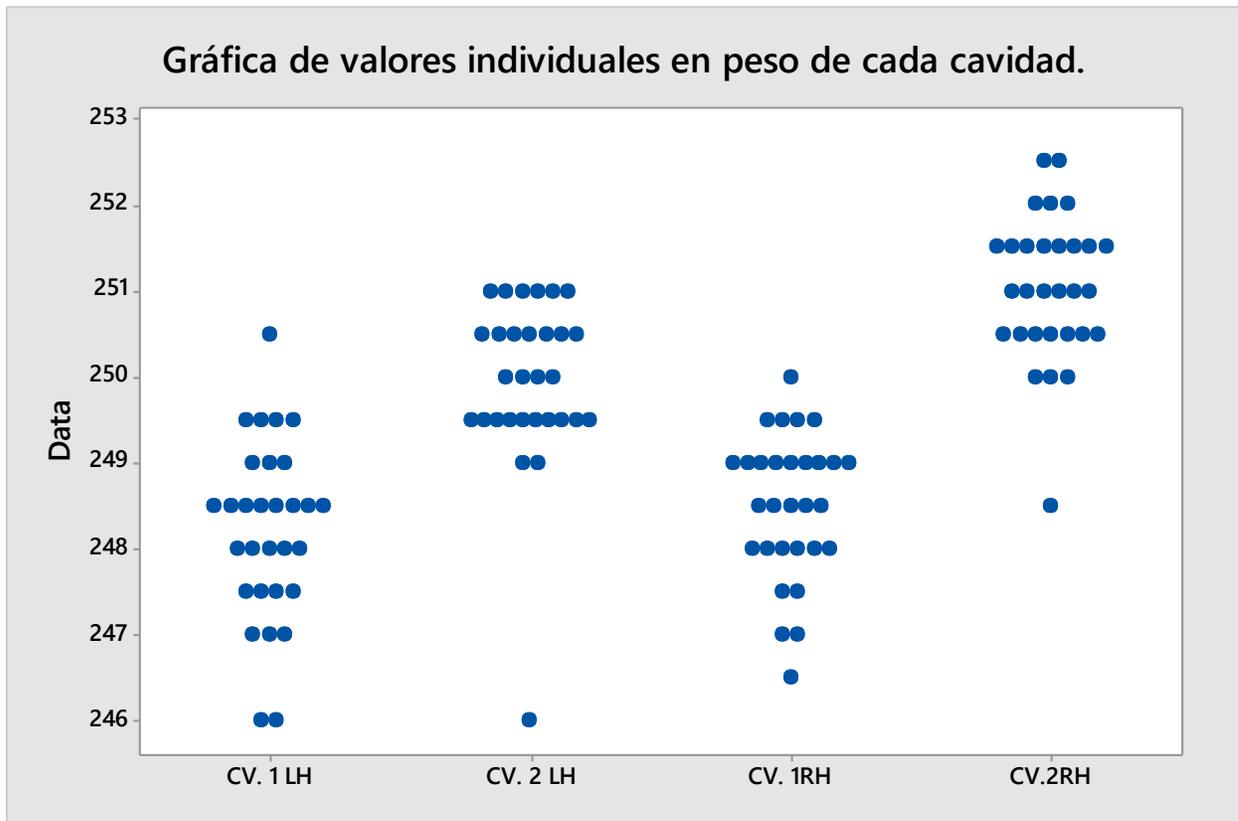


Fig. 13.- Gráfica de valores individuales del peso de las piezas en producción normal.

Se muestra gráficamente en la Fig. 13 la distribución de los valores individuales de los pesos de las piezas que fueron dimensionadas anteriormente, se puede apreciar que el rango del peso es diferente hasta por 4 g en cada cavidad, lo que quiere decir que se generan diferentes grados de contracción al salir la pieza del molde, esto ocasiona que la pieza se contraiga en diferentes proporciones y en el área de ensamble tengan complicaciones al momento de ajustar la máquina de soldado entre carcasa y lente, generando piezas de desecho y pérdida de tiempo en el ajuste de la máquina al cambio de cavidades.

Debido a lo anterior se concluye que el problema es originado en la máquina de inyección #28 en el molde de inyección R-134. De esta forma se Identifica el lugar donde se originó el problema procediendo a hacer el análisis de las 4 m.

Tabla 3.- Realización de las 4 M para detección la causa raíz del problema.

FACTOR TREE ANALYSIS FOR OCCURRENCE Why the problem occurred							
Measured 289 parts. Good Parts: Meet the specification from 0.2 to 1.8 mm. Bad Parts: Out of the USL. Average of 1.79 mm, STD: 0.273 mm.							
4M [3]	FACTORS [4]	CONTROL POINT [5]	STANDARD [6]	OK PARTS [7]	BAD PARTS [8]	POTENTIAL ROOT CAUSES [12]	COMMENTS [13]
MACHINE	Holding Pressure Time in Molding Process	What? Holding Pressure Time How? According Molding Guide F-7300-499 Where? Molding Machine 28 Who? Molding Technician Frequency? Every Start of run and every shift	Holding Pressure Time: 9 sec	6 sec LH C1 Average=248 STD Dev=0.29 LH C2 Average=251 STD Dev=0.29 RH C1 Average=249 STD Dev=0.0 RH C2 Average=252 STD Dev=0.76	9 sec LH C1 Average=258 STD Dev=0.928 LH C2 Average=257 STD Dev=1.931 RH C1 Average=260 STD Dev=1.42 RH C2 Average=260 STD Dev=1.384	There is variation of Std Dev =1.931 vs expecting of less than 0.8 gr.	After perform a DOE it was defined 6 sec as optimal holding pressure time the variation of the process has been reduced but the difference between the lens is 4 gr need to perform another DOE to reach means without significant difference.
MACHINE	Cooling System in Mold	What? Verify the cooling system in mold How? According Mold TPM 4 Where? Tool Shop Who? Tool Shop Technician Frequency? Every 25 000 shoots	Verify the connectors, hoses and fast connectors, verify free flow water in cooling system.	Molding internal cooling system after chemical cleaning fluid into the circuit per two hours	No records of chemical cleaning of the internal cooling system.	There was not standardized the chemical cleaning frequency of the mold cooling system	
MACHINE	Resistances System in Mold	What? Verify the resistances system in mold How? According Mold TPM 4 Where? Tool Shop Who? Tool Shop Technician Frequency? Every 25 000 shoots	Not specified. It could be: Delta of Temperature of the thermocouples 6°F max.	Max. Delta of Temperature of the thermocouples 5°F.	Max. Delta of Temperature of the thermocouples 18°F.	Mold temperature variation 18°F vs. recommendation of 6°F max.	

En la tabla anterior se expresa que una de las principales causa raíz donde se origina el problema se debe a la maquinaria, específicamente en el molde de

inyección, por lo que además de revisar el TPM (Mantenimiento Total Productivo) del molde se tuvo que revisar parámetros de inyección que afectan directamente a la pieza en cuestión de contracción-dimensión.

En investigaciones recientes referentes a dimensión de piezas inyectadas Ozcelic, 2011 atribuye a este problema el descontrol de factores como temperatura, presión de compactación y temperatura de enfriamiento, por lo que la atención se basó en estos principales factores, esto permitió realizar el diagrama de parámetros, para definir el diseño de experimentos:

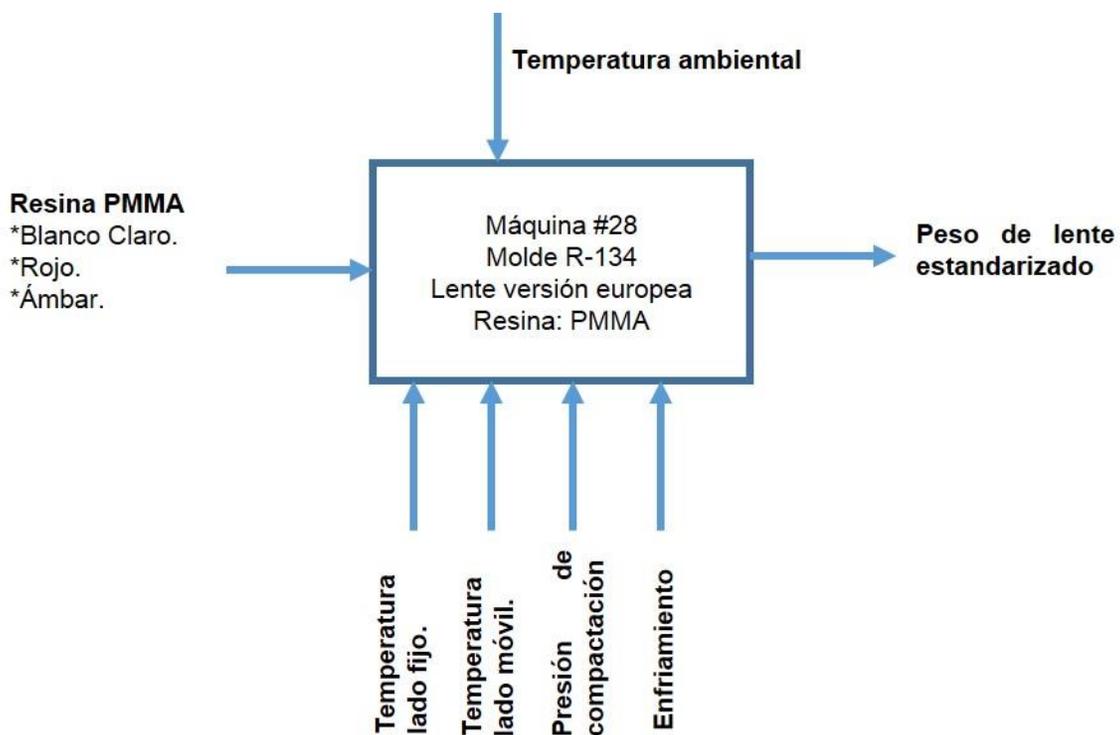


Fig. 14.- Diagrama de Parámetros.

El diagrama de parámetros nos permite visualizar de manera clara las variables de entrada, las de salida, factores de ruido y de control. En la Fig. 14 se muestra el diagrama de parámetros para la investigación, el cual fue realizado con la ayuda de los ingenieros y técnicos de inyección así como la bibliografía consultada. Se aprecia que la variable de entrada es resina PMMA (Polimetilmetacrilato) en tres colores diferentes, factores de ruido que no son controlables como la temperatura ambiental, factores controlables son cuatro:

temperatura del lado fijo del molde, temperatura del lado móvil del molde, tiempo de presión de compactación del molde y tiempo de enfriamiento de la pieza, estos factores son considerados para que se tenga el peso de la pieza (lente) controlado sin mucha o nula variación en contracción-dimensión.

3.2.2 Analizar las causas.

Primeramente, se asignaron actividades para el equipo de trabajo, esto se muestra en la tabla a continuación:

Tabla 4.- Lista de asignación de actividades para el equipo de trabajo.

ASSIGNMENT / BREAKDOWN				
Version 7.6				
WHAT?	WHO? [1]	Due date [2]	Done date [3]	
Confirm actual situation (Quick Response PDCA) [4]	Noel Corona	23/04/2015	23/04/2015	
Make Factor Tree Analysis for Occurrence [5]	Efren Hernández	29/04/15		
Make Factor Tree Analysis for non detection [6]	Efren Hernández	29/04/15		
Confirm root cause with 5 Why's [7]	Efren Hernández	29/04/15		
Implement action plan [8]	Higinio de Leon	06/05/15		
Confirm efficiency of Action plan [9]	Noel Corona	06/05/15		
Standardize and Generalize [10]	Efren Hernández	06/05/15		

N°	ASSIGNMENT [11]	RESULTS [12]	WHO? [13]	Due date [14]	Done date [15]
1	Post Quality alert to inform at the all three shifts	All teams have been informed. 3 shifts.	Higinio de Leon	20/03/15	20/03/2015
2	Certification of material on process line measuring	100% sorting implemented	Oscar Sandoval	21/03/2015	21/03/2015
3	Add 3 measurement flushness points in Romeo gauge	Added at assy line after Marposs gage.	Efren Hernández	04/03/15	04/03/15
4	Lens measurement: RH C1 & C2 and LH C1 & C2	Measurements were completed in the 4 cavities has already passed the analysis	Arturo Nieto	17/04/15	17/04/16
5	Measurement of temperature at lens mold each cavity	Differences were found in the temperature of the mold cavity	Guillermo Careaga	04/10/15	04/10/15
6	Do a plan of studies RR to measurement gages RCL and Applique	The R & R study will finish on May 7th (see attached). According with the plan.	Oscar Sandoval	24/04/2015	24/04/2015
7	study of measurement 60 RCL 30 RH and 30 LH before and after oven 12 hrs of rest as PT	It found a not significance difference on weights per lens cavity , the average is 0.06 mm before and after oven.	Uziel R	24/04/2015	24/04/15
8	Perform DOE of injetin to determine the mean weight of 4 cavities are equal	DOE was performed, the Hold Pressure time was the factor evaluated to have not significat variation in the means of weight by lens cavity.	uziel R /Emmanuel C	23/04/2015	23/04/2015
10	Implement SPC en CMM for all the measured point	It was implemented as a pre-control chart adding an external screen where operators can view charts while they're doing their activities.	uziel R/Martelo	23/04/15	23/04/15

La Tabla 4 muestra una lista de asignación de actividades para el equipo de trabajo, en total se registraron 58 actividades asignadas con la participación de 10 personas involucradas directamente en el proceso de ensamble e inyección.

Como se puede apreciar en la Fig. 11 el lente es inyectado con 3 colores de resina (Rojo, ámbar y claro) del mismo material que es PMMA, ocupando aproximadamente un 83.5% el color rojo, el resto en color ámbar y claro, además

como el problema encontrado en el área de ensamble es en un punto de la superficie de la pieza inyectado con resina color rojo el análisis se enfocará en esta parte de la pieza.

Revisando datos históricos de parámetros en que actualmente estaba trabajando la máquina para el proceso del lente versión europea se puede apreciar en la siguiente imagen:

				Maquina 28				CODIGO	
Descripción de la Parte:				Lente RCL BMW Europa				No. de Parte:	
No. / Est.	Descripción de Parámetro Unidad de Iny. 1 (Rojo/ Red)	U. de Medición	Espec. (Rango)	Fecha: 18-02	Fecha: 20-02	Fecha: 20/02	Fecha: 2002/13	Fecha: 23/02	
				Turno: 2º Iniciales: A.G.P.	Turno: 1- Iniciales: Mice	Turno: 2do Iniciales: RSG	Turno: 3º Iniciales: ULL	Turno: 3to Iniciales: RSG	
	Temperatura de boquilla	*F	495 a 535	515	515	515	515	515	
	Temperatura Zona 1	*F	495 a 535	515	515	515	515	515	
	Temp. termoregulador lado fijo	*F	130 a 150	145	145	145	145	145	
	Temp. termoregulador lado móvil	*F	160 a 180	170	180	180	180	180	
	Temp Real del Acero Lado Fijo	*F	130 a 150	145	145	145	145	145	
	Temp Real del Acero Lado Móvil	*F	160 a 180	170	180	180	180	180	
	Presión de Inyección ALTA	PSI	1085 a 1485	1300	1300	1300	1300	1300	
	Presión de inyección REAL	PSI	900 a 1580	1310	1312	1310	1310	1314	
	Presión compactación	PSI	1000 a 1400	1180	1180	1180	1180	1180	
	Presión compactación real	PSI	850 a 1400	1180	1180	1180	1180	1180	
	Tiempo compactación	SEG	7.5 a 11.5	9	9.0	9.0	9.0	9.0	
	Tiempo de enfriamiento	SEG	21 a 25	25	25	25	25.0	25.0	
	RPM real	RPM	25 a 120	46	46	46	46.0	46	
	Tiempo de Ciclo Real	SEG	58 a 61	61	61	61	61.0	61	

Fig. 15.- Revisión de datos históricos de parámetros de operación de la máquina de inyección.

En la Fig. 15 se muestra el formato de registro de los parámetros en que debe trabajar la máquina (del lado izquierdo) y los parámetros reales de operación de la máquina registrados diariamente al inicio del turno después de realizar el mantenimiento total productivo (lado derecho). La revisión de los datos históricos nos permitió fijar niveles de cada uno de nuestros factores en nuestro diseño de experimentos, partiendo de los rangos de los parámetros en que actualmente trabaja la maquinaria, definiéndolos como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 5.- Principales factores y niveles para el Diseño de Experimentos.

Factores	Niveles
Temperatura del molde (lado fijo)	145 °F
	140 °F
Temperatura del molde (lado móvil)	180 °F
	170 °F
Tiempo de presión de compactación	9 s
	4 s
Tiempo de enfriamiento	26 s
	24 s

En la Tabla 5 se aprecia los principales factores controlables del diseño de experimentos con dos niveles cada uno, los niveles fueron elegidos dentro del rango mayor y menor que se trabaja actualmente para efectos de optimizar los recursos.

El diseño de experimentos de la presente investigación está dado por un factorial 2^4 , el modelo general para el diseño experimental está expresado de la siguiente forma:

$$Y = X\beta + \sum_{i=1}^b Z_i\gamma_i + \varepsilon, \quad \text{Ec.(1)}$$

Donde Y es un vector con N observaciones, X es una matriz de $N \times k$, Z_i , ($i = 1, \dots, b$) son matrices de $N \times m_i$. Los vectores Y_i , ($i = 1, \dots, b$) y los vectores N y ε son aleatorios e independientes entre cada uno con varianzas σ_i^2 l_{mi} y σ_ε^2 l respectivamente.

A partir de lo anterior se desarrolló el diseño de experimentos, con la ayuda de programas de análisis estadísticos de datos como R Studio (paquetería: AlgDesign) y Minitab® 17. Partiendo de la Tabla 5 y por mejor manejo e identificación de los factores, estos se abreviaron de la siguiente manera: Temperatura del molde lado fijo (Tempfijo), temperatura del molde del lado móvil (Tempmovil), tiempo de presión de compactación (Tpresion) y tiempo de enfriamiento (Temenfri).

El diseño de experimentos fue de la siguiente forma:

Tabla 6.- Diseño de experimentos codificado.

Corrida	Factores			
	Tempfijo	tempmovil	Tpresion	tiemenfri
1	-1	-1	-1	-1
2	1	-1	-1	-1
3	-1	1	-1	-1
4	1	1	-1	-1
5	-1	-1	1	-1
6	1	-1	1	-1
7	-1	1	1	-1
8	1	1	1	-1
9	-1	-1	-1	1
10	1	-1	-1	1

11	-1	1	-1	1
12	1	1	-1	1
13	-1	-1	1	1
14	1	-1	1	1
15	-1	1	1	1
16	1	1	1	1

En la Tabla 6 se aprecia el diseño de experimentos codificado para los cuatro factores y dos niveles de cada uno, entonces se trata de un diseño con 16 corridas experimentales. La numeración 1 y -1 corresponde a los valores alto y bajo respectivamente de los niveles que se muestran en la Tabla 5, estos niveles se van intercalando con cada uno de los factores para abarcar totalmente las posibles combinaciones que pudieran ser e identificar la corrida o corridas mejores para el experimento.

Para efectos de optimización de los recursos, el diseño se optimizó. Para realizar esta acción en el programa R Studio se cargó la librería “AlgDesign” posteriormente con el algoritmo de “Federov” se optimizó el diseño calculándose la eficiencia, definiéndose así el diseño óptimo de experimentos.

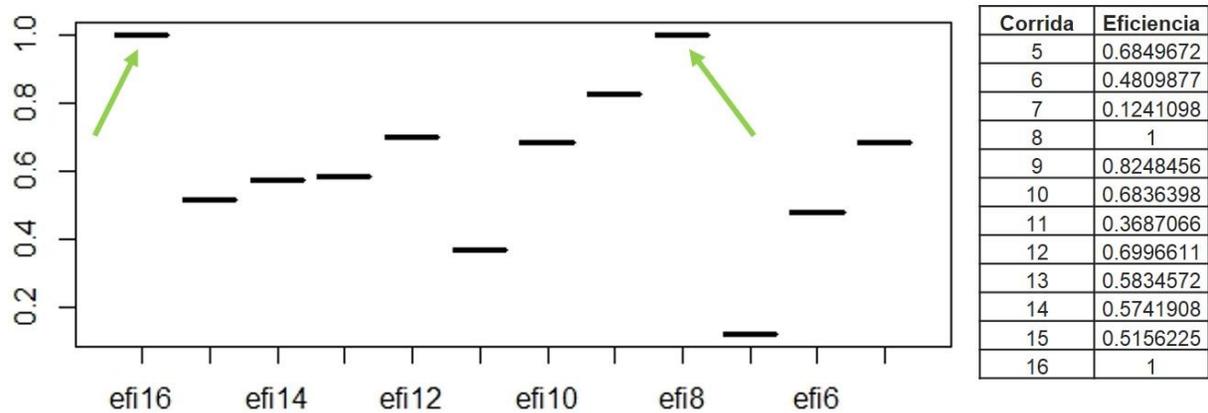


Fig. 16.- Gráfico de eficiencias.

Al graficar las eficiencias de las corridas experimentales se obtiene el gráfico de la Fig. 16, se puede apreciar que de las 16 corridas experimentales únicamente se muestran 12, ya que para la optimización del experimento el número de corridas debe ser mayor al número de factores, con base a esto se realiza la optimización.

En la parte derecha se muestra la tabla de las corridas/eficiencias y la eficiencia expresada en decimales, las corridas óptimas para el experimento son aquellas que es igual o se aproximan a 1, estas corridas se encuentran señaladas con una flecha verde en la gráfica (efi16 y efi8), por obviedad y no perdiendo el enfoque de optimización se elige el diseño óptimo de experimentos con 8 corridas.

Tabla 7.- Diseño óptimo de experimentos codificado.

Corridas	Tempfijo	tempmovil	Tpresion	tiemenfri
1	-1	-1	-1	-1
3	-1	1	-1	-1
6	1	-1	1	-1
8	1	1	1	-1
10	1	-1	-1	1
12	1	1	-1	1
13	-1	-1	1	1
15	-1	1	1	1

En la Tabla 7 se aprecia las corridas experimentales que bajo el algoritmo de Federov se considera que son las que nos podrían proporcionar la información necesaria para realizar el experimento y tener resultados esperados con el mínimo de recursos usados. También se puede observar que las corridas son estratégicamente elegidas por el algoritmo, en comparación del diseño inicial (Tabla 6) con el diseño óptimo (Tabla 7) se puede apreciar que en este último solo existen 8 corridas experimentales y que estas corridas no son consecutivas a comparación del primero.

4. RESULTADOS Y DISCUSIONES.

4.1 Encontrar las soluciones.

Primeramente el molde se extrajo de la máquina de inyección y se envió al taller de moldes. El molde recibió un mantenimiento completo, donde parte de este mantenimiento consistió en limpiar el sistema de enfriamiento haciendo bombear un químico en estado líquido por todo el sistema recirculando por aproximadamente 45 minutos, el resultado fue el siguiente:

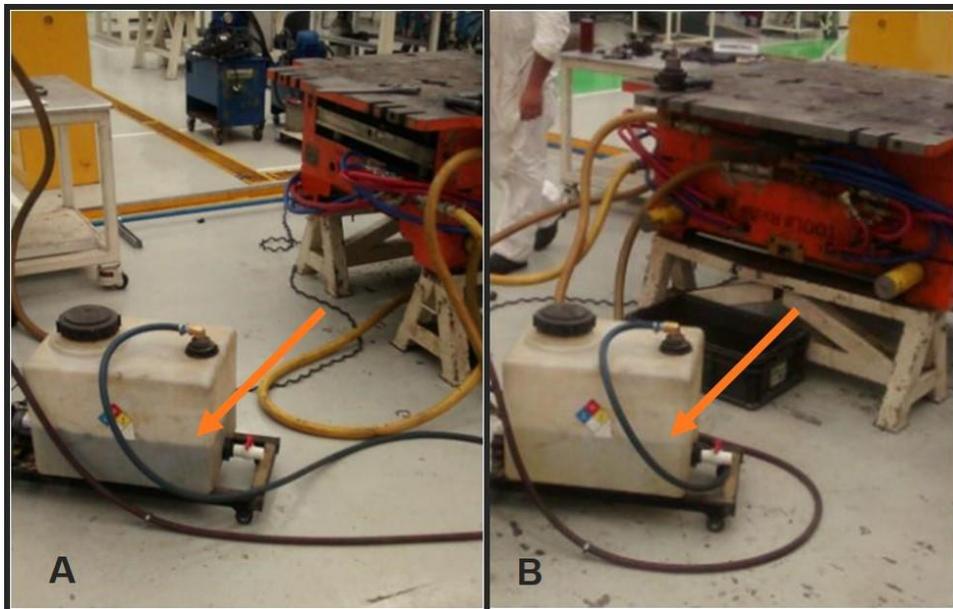


Fig. 17.- Limpieza del sistema de enfriamiento del molde. A. Antes y B. Después.

En la Fig. 17 se aprecia el sistema de recirculación del químico por el sistema de enfriamiento del molde. El molde tenía incrustaciones de suciedad y sarro provocado por el líquido usado como enfriamiento en el intercambiador de calor. En la figura B se aprecia el químico usado antes de bombearlo al sistema de enfriamiento del molde y en la figura A es el mismo químico después de 45 minutos de recirculación. Además de esta importante acción en el mantenimiento del molde, se realizaron otras, pero no se encontró mayor problema debido al constante mantenimiento del molde.

El molde se envió al área de producción donde se montó nuevamente en la máquina de inyección, después de seguir el procedimiento de arranque de máquina, se verificó la temperatura de los lados (fijo y móvil) del molde, estos se compararon con el estándar y requerimiento del cliente en el área de proyectos, como se muestra en la siguiente imagen:



Fig. 18.- Verificación de la temperatura del molde (lado fijo y lado móvil)

La temperatura fue tomada con un pirómetro por el ingeniero de inyección teniendo los siguientes resultados:

Tabla 8.- Temperatura del molde antes y después del mantenimiento.

Temperatura antes del mantenimiento		Temperatura después del mantenimiento	
Cavidad 1	Cavidad 2	Cavidad 1	Cavidad 2
LH = 159 °F	LH = 151 °F	LH = 151.9 °F	LH = 152.5 °F
RH = 158 °F	RH = 150 °F	RH = 151.2 °F	RH = 153.1 °F

Las cantidades que se muestran en el registro de la temperatura en la Tabla 8 son el promedio de 3 repeticiones, observándose una variación de +/- 4.3 °F esto en la temperatura antes del mantenimiento del molde, además de tener un rango fuera de las especificaciones. La temperatura después del mantenimiento fue diferente, ya que no se observó mucha variación (+/- 2.56 °F) y el rango de temperatura estaba dentro de las especificaciones de proceso. Cabe resaltar que antes de determinar las temperaturas se tenía mucha variación aproximadamente de +/- 7.2 °F, esta variación es inusual, por lo que se revisó nuevamente el sistema

de enfriamiento del molde encontrando que el problema era el quiebre que tenía una manguera del intercambiador de calor al molde, esto impedía el libre flujo del agua, reduciendo el caudal de la misma y variando la temperatura del molde, además de que se esforzaba el intercambiador de calor por la resistencia del flujo del agua, esta se arregló como se muestra a continuación:

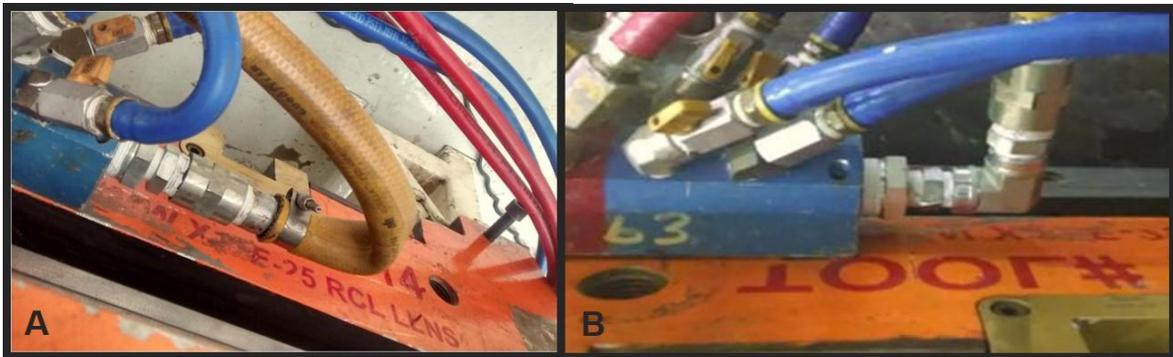


Fig. 19.- Arreglo de manguera del sistema de enfriamiento del molde. A. Antes y B. Después.

La Fig. 19 muestra el antes (A) y después (B) del arreglo que se realizó en una de las mangueras del intercambiador de calor que afectaba directamente a la lectura de temperatura del molde.

Finalmente el molde y la máquina estuvieron aptos para realizar las pruebas experimentales, por lo que con base a la Tabla 7 se realizaron las corridas, cada una de estas fueron de 3 repeticiones, descartando las primeras piezas después del cambio de parámetros, esto para que el proceso se estabilizara con el cambio realizado y que no hubiera mucha variación.

La metodología de recolección de datos fue básicamente la misma que se adoptó para el pre-análisis, la cual consistió en: La operadora experta en inspección visual, tomaba la pieza de la banda transportadora, inspeccionaba e iba identificando si encontraba algún defecto de calidad, estos defectos se registraban como observaciones, la pieza era separada en un contenedor donde por 15 minutos llegaba a temperatura ambiente. Después de los 15 minutos otra operadora realizaba el pesado de la pieza, acción continua se dimensionó, registrándose los

datos. Este procedimiento fue realizado para las 8 corridas experimentales. Un ejemplo del procedimiento se muestra a continuación:

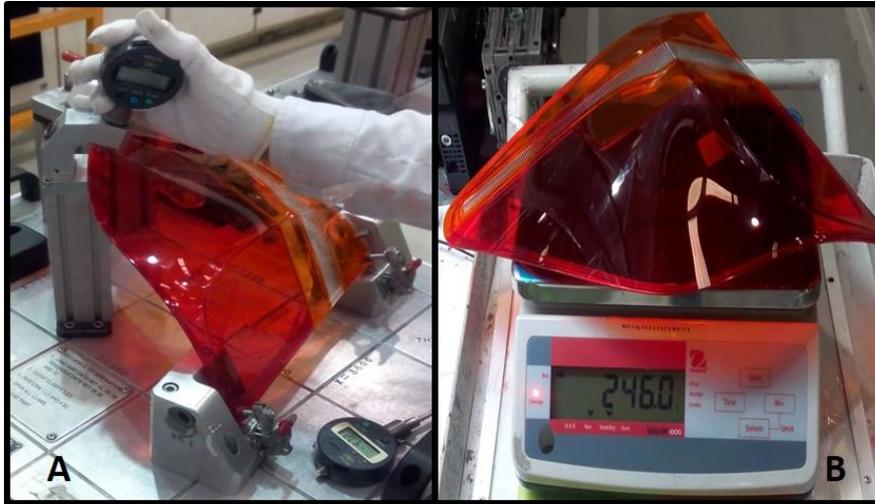


Fig. 20.- A. Dimensión del lente y B. Pesaje del lente.

En la Fig. 20 A se muestra a la operadora realizando el procedimiento estandarizado de dimensionamiento de la pieza, la pieza se encuentra montada en el fixture (nicho metálico propiedad del cliente) donde se verifica las medidas del lente con un indicador digital para validar la producción (Véase la hoja de calibración de cada uno de los dispositivos digitales y el análisis de Repetitividad y Reproducibilidad en Anexos). En la Fig. 20 B se muestra a la operadora pesando el lente, este procedimiento no se tenía definido, por lo cual se revisó con el área de proyectos e ingeniería, se realizó el estándar y se implementó. Como se dijo anteriormente, el peso de la pieza es factor importante para saber la proporción de contracción relacionada a la cantidad de material (resina) que contiene la pieza.

Los datos se recolectaron y se concentraron para su posterior análisis. Se introdujeron los datos al programa R Studio para realizar el análisis correspondiente. Cabe resaltar que el análisis se enfocó únicamente en el peso de la pieza, las dimensiones que se le tomó a cada una de las piezas sirvió como comprobación de lo que el peso indicó, más adelante se mostrará una gráfica donde se compara tanto peso como dimensiones de la pieza en el pre-análisis y en el análisis después de hacer la modificación de los factores que resultaron significativos para el proceso.

Las corridas y respuestas del experimento se establecieron de la siguiente manera:

Tabla 9.- Diseño de experimentos después de haber realizado las corridas experimentales.

Corridas	tempfijo	tempmovil	Tpresion	tiemenfri	Peso
1	-1	-1	-1	-1	240.54
3	-1	1	-1	-1	244.54
6	1	-1	1	-1	248.38
8	1	1	1	-1	248.88
10	1	-1	-1	1	249.73
12	1	1	-1	1	250.25
13	-1	-1	1	1	248.46
15	-1	1	1	1	250.04

En la tabla anterior se muestra las corridas experimentales que surgieron después de la optimización del diseño de experimentos, en la columna del extremo derecho se aprecia el resultado de las corridas experimentales. De estos datos se realizó en ANOVA, observando lo siguiente:

Analysis of Variance Table					
Response: Peso					
	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
tempfijo	1	23.324	23.324	17.220	0.02543 *
tempmovil	1	5.445	5.445	4.020	0.13865
Tpresion	1	14.311	14.311	10.566	0.04747 *
tiemenfri	1	32.562	32.562	24.041	0.01624 *
Residuals	3	4.063	1.354		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1					
Residual standard error: 1.164 on 3 degrees of freedom					
Multiple R-squared: 0.949, Adjusted R-squared: 0.881					
F-statistic: 13.96 on 4 and 3 DF, p-value: 0.0279					

Fig. 21.- ANOVA para el Diseño de Experimentos Optimizado.

Se aprecia de la Fig. 21 que tres de los factores son significativos para el análisis, esto es por el valor de P, el cual debe ser menor a 0.05, analizando R^2 y R^2 ajustada muestran una buena relación de los factores con el diseño arriba de 85%, y lo comprueba la significancia del modelo con un valor de P de 0.0279. El gráfico correspondiente a este análisis de varianza se muestra a continuación:

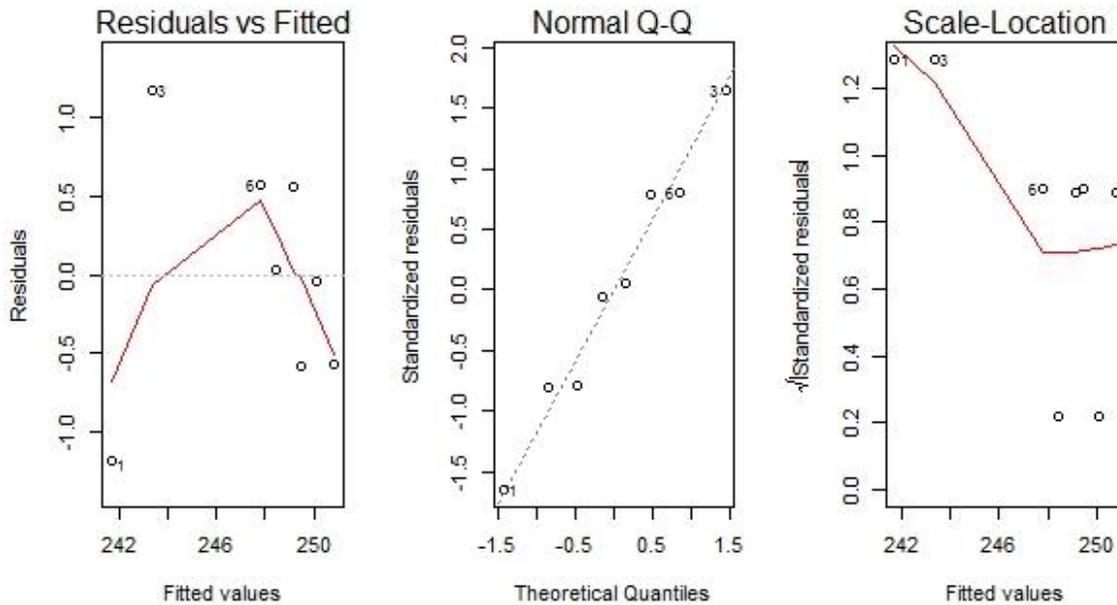


Fig. 22.- Gráficos de residuales ajustados, normalidad y localización de la escala del ANOVA para los cuatro factores.

En la figura anterior se muestra el gráfico de residuales, normalidad del diseño y residuales estandarizados. En general se observa que no existe una buena relación lineal entre los factores. Así mismo se observa en el ANOVA que uno de los factores no es significativo (tempmovil) por lo que se realiza nuevamente el análisis descartando este factor. El análisis quedaría de la siguiente manera:

Analysis of Variance Table					
Response: Peso					
	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
tempfijo	1	23.324	23.324	9.8121	0.03510 *
Tpresion	1	14.311	14.311	6.0205	0.07017 .
tiemenfri	1	32.562	32.562	13.6984	0.02081 *
Residuals	4	9.508	2.377		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1					
Residual standard error: 1.542 on 4 degrees of freedom					
Multiple R-squared: 0.8807, Adjusted R-squared: 0.7912					
F-statistic: 9.844 on 3 and 4 DF, p-value: 0.0256					

Fig. 23.- ANOVA después de sustraer el factor que no era significativo para el modelo.

En el ANOVA de la Fig. 23 se aprecia uno de los factores que era significativo anteriormente, ahora no es significativo para el modelo, así mismo se observa que con una significancia de menor a 0.05 dos factores son significantes para el modelo, lo cual confirman los valores de la R^2 y R^2 ajustada que con aproximadamente 80% dice que el modelo tiene una buena correlación entre los factores por lo que el valor de P del modelo indica que es significativo con 0.0256. Así mismo se muestran las gráficas de los residuales:

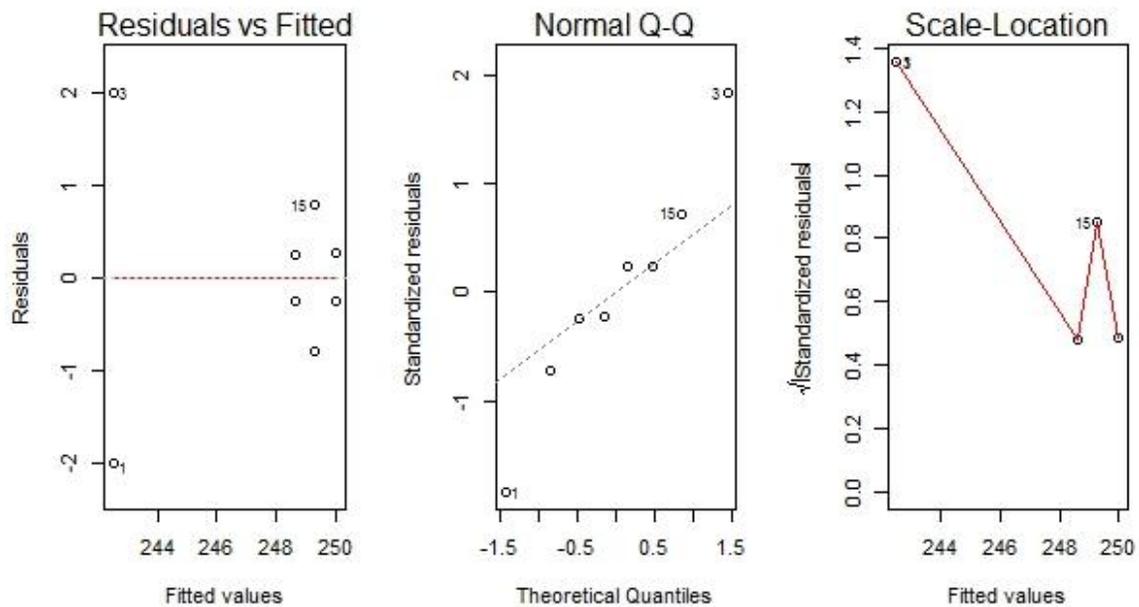


Fig. 24.- Gráfico de residuales después de haber sustraído el factor menos significativo del modelo anterior.

En la Fig. 24 muestra las gráficas de los residuales del análisis del diseño sin el factor que no era significativo, a comparación del otro este muestra correlación lineal entre los factores, además la normalidad es buena ya que no existe dispersión en los datos.

Para efectos de la disminución de la variabilidad que le aportan los factores que no aportan significancia al modelo se intentó sustraer el nuevo factor que no aportaba significancia. Para esto se realizó nuevamente el análisis de variancia pero

sin tomar en cuenta dentro del análisis al factor de tiempo de presión de compactación (Tpresion), esto se muestra a continuación:

```

Analysis of Variance Table
Response: peso
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
tempfijo  1 23.324  23.324  4.8961 0.07784 .
tiemenfri  1 32.562  32.562  6.8352 0.04742 *
Residuals  5 23.820   4.764
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
Residual standard error: 2.183 on 5 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.7012,    Adjusted R-squared:  0.5816
F-statistic: 5.866 on 2 and 5 DF, p-value: 0.04882
    
```

Fig. 25.- ANOVA sin el factor de Tiempo de presión de compactación.

Se puede ver en el ANOVA anterior que entre R^2 y R^2 ajustada existe mucha diferencia, naturalmente la primera debe ser mayor que la segunda pero la diferencia en este caso es muy grande, lo que significa que el factor que se extrajo anteriormente le aportaba cierta significancia al modelo, esto también se puede apreciar en el valor de P del modelo que casi está en el límite para que el modelo no sea significativo, por este motivo se incorporó nuevamente el factor de tiempo de presión de compactación, como comprobación se procedió a revisar el poder de la prueba en los factores que resultaron significativos. Para esto se analizaron cada uno de los factores por separados, obteniendo lo siguiente:

Balanced one-way analysis of variance power calculation		
Tempfijo	Tpresion	Temenfri
groups = 2	groups = 2	groups = 2
n = 8	n = 8	n = 8
between.var = 23.325	between.var = 14.311	between.var = 32.562
within.var = 9.397	within.var = 10.899	within.var = 7.857
sig.level = 0.05	sig.level = 0.05	sig.level = 0.05
power = 0.9851386	power = 0.8536737	power = 0.9996251

Fig. 26.- Poder de la prueba para factores significantes.

De la Fig. 26 se puede apreciar que el poder de la prueba de los factores significativos es considerablemente bueno, ya que en cuanto a temperatura del lado fijo (Tempfijo) y Temperatura de enfriamiento (Temenfri) el poder se aproxima a 1 a diferencia del tiempo de presión de compactación que es de 0.85, esto indica que se requieren de más repeticiones para definir si este factor es significativo para el modelo.

Así mismo se verificó la homogeneidad de las varianzas, para esto en R Studio se utilizó la prueba de Bartlett.

Bartlett test of homogeneity of variances		
data: Peso by tempfijo Bartlett's K-squared = 4.9819 df = 1 p-value = 0.02561	data: Peso by Tpresion Bartlett's K-squared = 5.8049 df = 1 p-value = 0.01598	data: Peso by tiemenfri Bartlett's K-squared = 4.7589 df = 1 p-value = 0.02915

Fig. 27.- Prueba de Bartlett para los factores significantes.

La prueba de Bartlett indica la homogeneidad de los factores, así mismo indica la probabilidad de cometer el error tipo II o falso negativo y esto es aceptar una hipótesis nula siendo esta falsa. En la Fig. 27 se muestra la prueba de Bartlett para los factores significativos del diseño. La prueba muestra que hay una probabilidad muy baja de cometer el error tipo II además que la homogeneidad de los factores es buena, lo que indica que el diseño es bueno y no existe información que no se esté tomando en cuenta para dudar de la veracidad del mismo.

4.2 Desarrollar

Del análisis anterior se concluyó que existen tres factores importantes que tomar en cuenta para la dimensión-contracción de los lentes, estos son: Temperatura del lado fijo, Tiempo de presión de compactación y Tiempo de enfriamiento. En la práctica se observó que los factores enunciados anteriormente, al principio y final no representaban mucha variación en el producto final, o sea que los parámetros de operación para estos factores fueron los mismos como históricamente se venía trabajando, el único factor que tuvo una significancia directamente en el modelo fue el tiempo de presión de compactación, el parámetro

de este factor se estaba trabajando en 9 segundos. Realizando un pequeño análisis, este arrojó que trabajando todos los parámetros en condiciones normales de operación y sólo modificando este factor se podían tener piezas sin variación significativa en peso y por lo tanto en dimensión. Se determinó así que el parámetro óptimo de operación para el tiempo de presión de compactación fue de 6 segundos contra los 9 o hasta 11 segundos que tenía programada la máquina. Este hallazgo representó un beneficio para el proceso de producción ya que si hablamos del ahorro de 3 segundos por cada ciclo y partiendo del hecho de que se trabajan 6 días a la semana en los tres turnos de 8 horas, menos 30 minutos de comida, 10 minutos de arranque de turno (TPM) y 10 minutos de 5S's se tendría que normalmente se producen en un día 2 764 piezas, pero con la disminución de 3 segundos en cada ciclo, en un día se producirían aproximadamente 2 921 piezas, lo que significa que por el ahorro de 3 segundos en cada ciclo puede haber una producción mayor de 157 piezas más al día.

Además la eficiencia en el peso de las piezas estuvo de la siguiente manera: Antes del análisis los lentes estaban fuera de peso hasta por 2.25 g, después del análisis que se realizó los lentes llegaron a pesar 1.87 g menos, la diferencia de estos es de 0.43 g por cada lente, si partimos de la producción anterior se tendría que sin las modificaciones se gastarían un total de 697.219 Kg y con los nuevos parámetros de peso se usarían 692.19 Kg, esto es un ahorro de 5 Kg de resina en la producción de un día.

Se realizó nuevamente el análisis de los datos que se realizó en el pre-análisis, ahora con los nuevos parámetros del proceso, obteniéndose las siguientes gráficas de datos individuales:

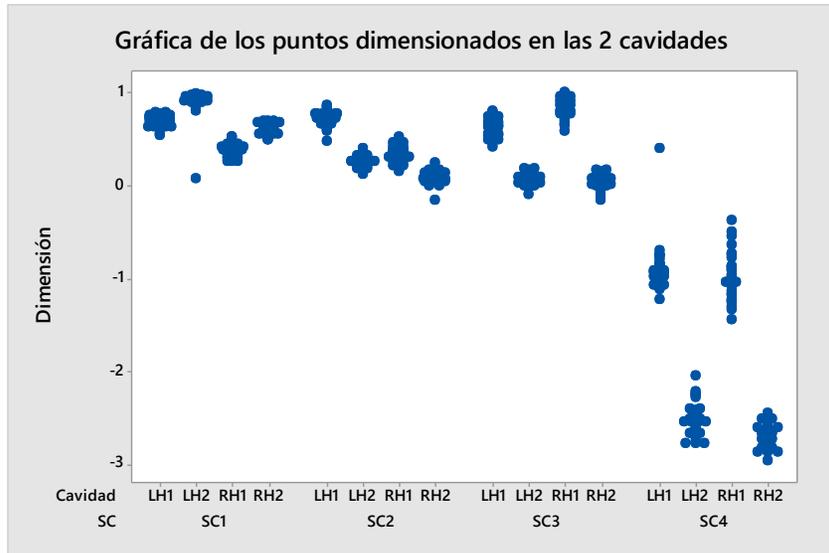


Fig. 28.- Dimensiones de las piezas después del diseño de experimentos.

Después de haber modificado los factores en la máquina de inyección se tomaron 30 lentes de cada cavidad y lado se realizó el procedimiento que se muestra en la Fig. 20 y se registraron los datos, estos se graficaron y se muestran en la Fig. 28 donde se aprecia una gráfica de puntos individuales de las dimensiones de los puntos de cada uno de los lentes, que a comparación de la Fig. 12 en esta gráfica se aprecia menos variación entre cada uno de los puntos. Así mismo se realizó para los pesos que se muestra a continuación:

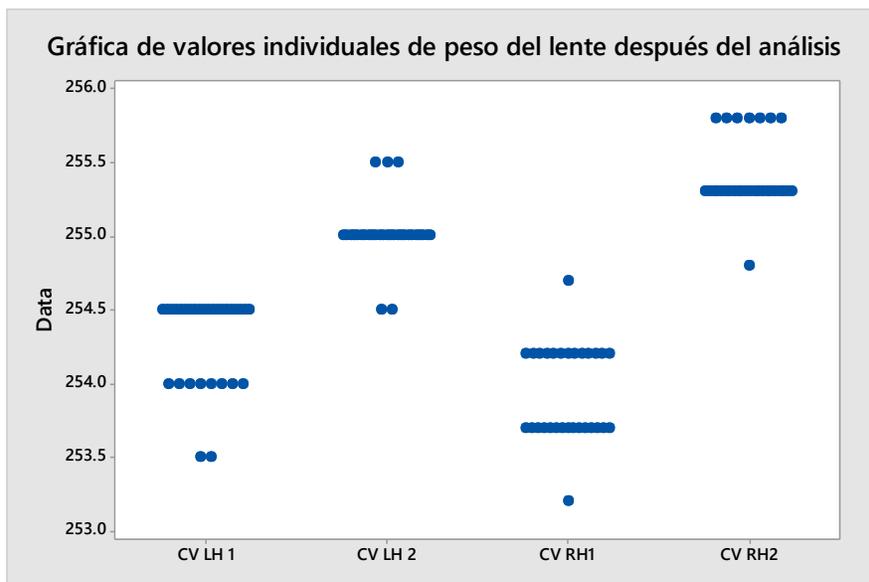


Fig. 29.- Gráfica de pesos de lentes después del realizar el experimento.

Así como se muestra en la Fig. 13 los pesos de los lentes antes del experimento, en la Fig. 29 se muestra el peso de los lentes después del experimento, donde se aprecia que la variación es menos en esta última debido a las modificaciones en el proceso que se realizaron. Con esto no se afirma que no existe o la variación es nula, pero se puede destacar que la variación se da igual en lentes de lados contrarios de la misma cavidad, la acción ante esto fue identificar los lentes de cada cavidad, para que se establecieran ajustes predeterminados de cada una en el área de ensamble,

la diferencia de cómo se tenían es que antes se hacía un ajuste por cada cavidad y lado, o sea, se hacían 4 ajustes y no estaban estandarizados. Ahora se realizarían 2 ajustes y se establecería un estándar para no generar pérdida de tiempos en encontrar el ajuste ideal. Un ejemplo de cómo se identificaron los contenedores se puede apreciar en la siguiente imagen:



Fig. 30.- Identificación de los contenedores por lado y cavidad.

La identificación de los contenedores por cavidad fue como se muestra en la Fig. 30, con estas identificaciones llegaba al área de ensamble y permitía por procedimiento establecido que tipo de ajuste le correspondía, además los lentes que se encontraban en estos contenedores todos pasaban por la báscula, si alguno incumplía el parámetro de peso establecido se colocaba en un contenedor de cuarentena para posterior análisis.

4.3 Controlar

- **Gráfica de Seguimiento.**

Para darle seguimiento a la cantidad de producción y lentes de desechos a causa de defectos de dimensión se tiene la siguiente gráfica:

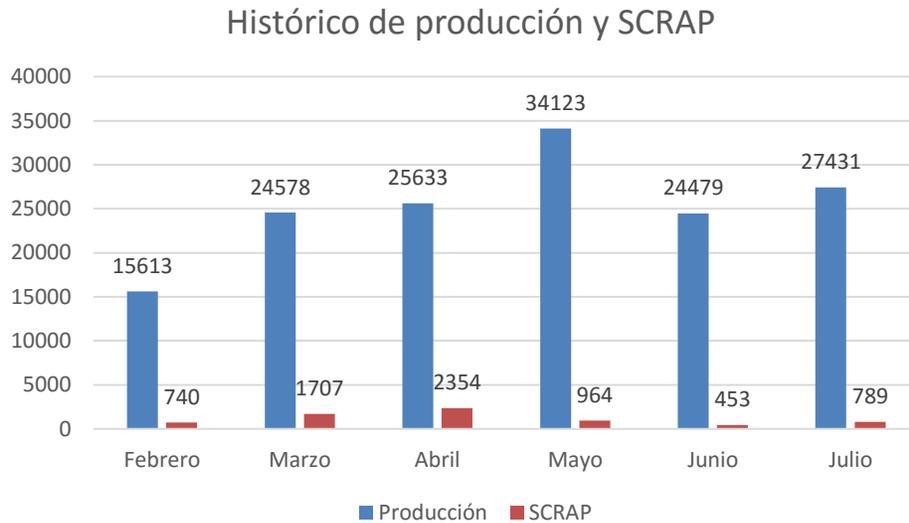


Fig. 31.- Gráfica de histórico de producción y SCRAP generado en la producción de lentes.

La producción promedio mensual de lentes es de 24 800, donde se generaban aproximadamente 3.62% de SCRAP por 12 días y el 30% de este era atribuida a defectos de dimensión-contracción, esto correspondía a 1.405% de defectos en lentes por dimensión. En la Fig. 31 se puede apreciar el histórico de producción y SCRAP de lentes, aquí se observa que la cantidad de piezas de desechos se mantenía entre 1.37% – 1.43%. Como el análisis se realizó en el mes de abril, se observa un incremento de SCRAP donde se generaron 0.23% más del promedio docenal en SCRAP. La evaluación de los resultados de la investigación empezó desde el mes de mayo donde en 12 días se observa una baja en SCRAP de hasta de 0.89% esto equivale a un 61.9% de disminución de SCRAP por dimensión. En el mes de junio se observa una baja de SCRAP de 0.98% que representa el 68.399% de disminución de SCRAP, en el mes de julio se observa que se la disminución de SCRAP fue de 64.91% significa que se tuvieron problemas

ya que hay incremento de piezas con problemas de dimensión, esto se debió a que por problemas de otro tipo altos mandos decidieron enviar el molde a reparación causando, la nueva operación del molde bajo los mismos criterios de operación ya definidos ahora no resultaban fiables para el proceso. Estos resultados se pueden apreciar en la siguiente tabla:

Tabla 10.- Seguimiento de SCRAP por mes, antes y después del análisis.

Mes	Producción	SCRAP	SCRAP/día	0.3% Dimensión	disminución de SCRAP
Febrero	15613	740	0.394	1.421	1.168
Marzo	24578	1707	0.385	1.389	1.168
Abril	25633	2354	0.459	1.653	17.613
Mayo	34123	964	0.148	0.535	61.914
Junio	24479	453	0.123	0.444	68.399
Julio	27431	789	0.137	0.493	64.916

En la Tabla 10 se muestra la producción total y la cantidad de lentes de deshecho generados por mes, así mismo se aprecia el porcentaje de SCRAP atribuida al defecto de dimensión y finalmente el porcentaje de disminución de SCRAP por mes antes, durante y después del diseño de experimentos. La evaluación se realiza durante un periodo de tres meses, encontrando resultados satisfactorios.

4.4 Asegurar

- **Estandarizar la mejora. LLC (Learned Lesson Card)**

Las mejoras en el proceso que se realizaron en la presente investigación quedaron asentadas y registradas en una LLC (Learned Lesson Card) con el número V-VLS/L17/Queretaro 2/2015-4-22-G1J, así mismo la LLC fue compartida a nivel grupo, esto quiere decir que en cualquier planta a nivel internacional pueden consultar el documento y si tienen algún problema semejante al que se trató en esta investigación, rápidamente pueden adoptar las medidas que se implementaron o en su defecto pueden contactar al equipo que se encargó de darle solución al problema y ayudar a resolverlo (Ver anexos).

- **Auditoría de procesos.**

Las auditorías de proceso se realizaban por personal del área del sistema de gestión de calidad, ellos verificaban el cumplimiento de los nuevos parámetros establecidos en el área de inyección, si se cumplían con los ajustes establecidos en el área de ensamble y si se registraban piezas de desecho en ambas áreas y el motivo por el cuál habían sido enviadas a desecho. Las auditorías son realizadas con una frecuencia aproximadamente de 2 días, se maneja un resultado de aproximación ya que estas son auditorías sorpresa con el afán de evaluar cómo se trabaja normalmente y no prepararse para cumplir en los requisitos a evaluar.

5. Conclusiones

Se definió un nuevo parámetro de operación para el factor de tiempo de presión de compactación, además que se confirmaron los otros dos factores, verificando que los parámetros con los que se estaba trabajando normalmente no presentaron mucha variación afectando la contracción del lente

El objetivo de la presente investigación fue de disminuir hasta el 70% del SCRAP generado por dimensión en lentes de la máquina 28, revisando los resultados presentados en la Fig. 31 y en la Tabla 10 se aprecia que el objetivo general se cumplió con un rango de disminución de scrap que va del 60% a 68%.

El análisis se realizó en el periodo de abril-julio, por lo que los parámetros de operación de la máquina están en función del cambio de temperatura que se pudieran presentar en otros periodos o estaciones del tiempo durante el año. Así mismo este análisis se está transversalizando a una máquina que procesa lentes del mismo material y que además se tienen problemas de dimensión en el área de ensamble en el momento de ensamblar.

6. Bibliografía

- Aoudia, H., & Testa, Q. (2011). *Perfect QRQC (Quick Response Quality Control)*. Paris: Maxima Laurent du Mesnil Editeur.
- Basu, R. (2004). *Implementing Quality*. Great Britain: Thomson Learning.
- Biron, M. (2013). Thermoplastics and Thermoplastic Composites. *Thermoplastics and Thermoplastic Composites*, 45-57.
- Cembrero, C. (2008). *Ciencia y tecnología de materiales: problemas y cuestiones*. Madrid: Pearson Educación.
- Chen, C. P. (2009). Simulation and experimental study in determining injection molding process parameters for thin-shell plastic parts via design of experiments analysis. *Expert Systems With Applications*, 752-759.
- Díaz, A. (2009). *Diseño estadístico de experimentos*. Colombia: Editorial Universidad de Antioquia.
- Evans, M., & Rosenthal, J. (2004). *Probabilidad y estadística. La ciencia de la incertidumbre*. Barcelona, España: Reverté.
- Grande, I., & Abascal, E. (2009). *Fundamentos y técnicas de investigación comercial*. Madrid, España: ESIC Editorial.
- Groover, M. (2007). *Fundamentos de Manufactura Moderna*. México: McGrawHill.
- Gutiérrez, H., & De la Vara, R. (2013). *Control estadístico de la calidad y seis sigma*. México: McGrawHill Education.
- Harper, C. (2006). *Handbook of Plastics Technologies*. New York: McGraw Hill.
- Jones M., A. D. (2009). *Materiales para ingeniería 2: Introducción a la microestructura, el procesamiento y el diseño*. Barcelona, España: Reverté.
- Kalpakjian S., & S. (2002). *Manufactura Ingeniería y Tecnología*. México: Pearson Educación.

- Kitayama, S. y. (2014). Multi-objective optimization of volume shrinkage and clamping force for plastic injection molding via sequential approximate optimization. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 35–44.
- Litre, S. (2012). *PDCA: Mejora continua*. España: Editorial Académica Española.
- López, J. (2014). *Transformación de materiales termoplásticos*. México: IC Editorial.
- Marcilla, A. (2012). *Tecnología de polímeros. Procesado y propiedades*. San vicente del Raspeig: Universidad de Alicante.
- Montgomery, D. (2013). *Diseño y análisis de experimentos*. México: Limusa Wiley.
- Moore, D. (2004). *Estadística aplicada básica*. España: Antoni Bosch, editor, S. A.
- Mora, R. (2003). *Guía metodológica para la gestión clínica por procesos*. España: Ediciones Díaz de Santos S. A.
- Ozcelik, B. (2011). Optimization of injection parameters for mechanical properties of specimens with weld line of polypropylene using Taguchi method. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 1067–1072.
- Rau, M. (27 de 01 de 2012). *Science in School*. Obtenido de Plásticos en los coches: Polimerización y reciclaje.: <http://www.scienceinschool.org/node/2646>
- Rees, H. (2001). *Understanding Injection Mold Design*. Ontario, Canadá: Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG.
- Rodríguez J., C. L. (2009). *Procesos industriales para materiales no metálicos*. España: Visión Net.
- Ross, S. (2007). *Introducción a la Estadística*. España: Reverté.
- Schultz, J. (2001). *Polymer Crystallization, The Development of Crystalline Order in Thermoplastic Polymers*. New York: Oxford University Press Inc.

- Seow, L. .. (1997). Optimizing flow in plastic injection molding. *Journal of Materials Processing Technology*.
- Song, M. C. (2007). Research on effects of injection process parameters on the molding process for ultra-thin wall plastic parts. *Journal of Materials Processing Technology*, 668-671.
- Tang, S. H. (2007). The use of Taguchi method in the design of plastic injection mould for reducing warpage. *Journal of Materials Processing Technology*, 418-426.
- Valeo. (25 de 01 de 2015). *Portal Valeo*. Obtenido de Portal Valeo: <http://www.valeo.com/en/the-group/our-history.html>.
- Vincent C., Á. S. (2006). *Principales polímeros comerciales*. Sevilla, España: Universidad Politécnica de Valencia.

7. ANEXOS

ANEXO 1.- Informe de calibración de indicador digital CAL-PLAN-603

		VALEO LABORATORIO AVENIDA DE LA MONTAÑA 102 PARQUE INDUSTRIAL QUERÉTARO DELEGACIÓN SANTA ROSA JAUREGUI 76220 QUERÉTARO, QUERÉTARO Tel. + 52 (442) 1166 47 / 48 - Fax + 52 (442) 1166 02				
		INFORME DE CALIBRACIÓN DE INDICADORES LABORATORIO				
CLIENTE : VALEO		DIRECCIÓN : AVE. DE LA MONTAÑA #102 PARQUE IND. QUERÉTARO, QUERÉTARO, QRO.				
DATOS DEL INSTRUMENTO						
DESCRIPCIÓN : INDICADOR DIGITAL.		CÓDIGO DE IDENTIFICACIÓN: CAL-PLAN-603				
MARCA: MITUTOYO		MODELO: ID-S1012EB				
No. SERIE: 11011459		UNIDAD DE MEDIDA: MILÍMETROS (mm)				
RESOLUCIÓN: 0.01		ESCALA MÁXIMA DEL INSTRUMENTO: 13.8				
DATOS GENERALES DE LA CALIBRACIÓN						
INFORME No. : 20150398		FECHA DEL REPORTE: 05-MAY-15	FECHA DE CALIBRACIÓN: 05-MAY-15			
INSTRUCCIÓN UTILIZADA: MXI-LAB-1002		INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN (µm): 17.727				
TEMPERATURA: ## °C A 20.5		HUMEDAD: 45 % HR				
PATRONES E INSTRUMENTOS UTILIZADOS						
No.	DESCRIPCIÓN	MARCA	MODELO	DIV. MÍNIMA GRADO EXACTITUD	INCERTIDUMBRE	VIGENCIA DE CALIBRACION
1	COMPROBADOR DE INDICADORES (LAB-038)	MITUTOYO	IDT-2	2.50E-0 mm	1.00E-03	AGO-15
LOS RESULTADOS EXPRESADOS EN ESTE INFORME SON VALIDOS EN LAS CONDICIONES BAJO LAS CUALES SE EFECTUARON LAS MEDICIONES, TODA ALTERACION A LOS DATOS DE ESTE INFORME, LO INVALIDAN. SE PROHIBE LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DE ESTE INFORME SIN PERMISO EXPRESO DEL LABORATORIO VSI.						
STATUS DE LA CALIBRACION		<input checked="" type="checkbox"/> ACEPTADO (CUMPLE LA ESPEC. DEL CLIENTE)		<input type="checkbox"/> RECHAZADO (Situación del equipo)		
REVISO : NOHEMI RODRIGUEZ ING. DE LABORATORIO			APROBÓ : MARCO RAMIREZ GERENTE DE LABORATORIO			

ANEXO 1.1.- Curva de calibración de indicador digital CAL-PLAN-603

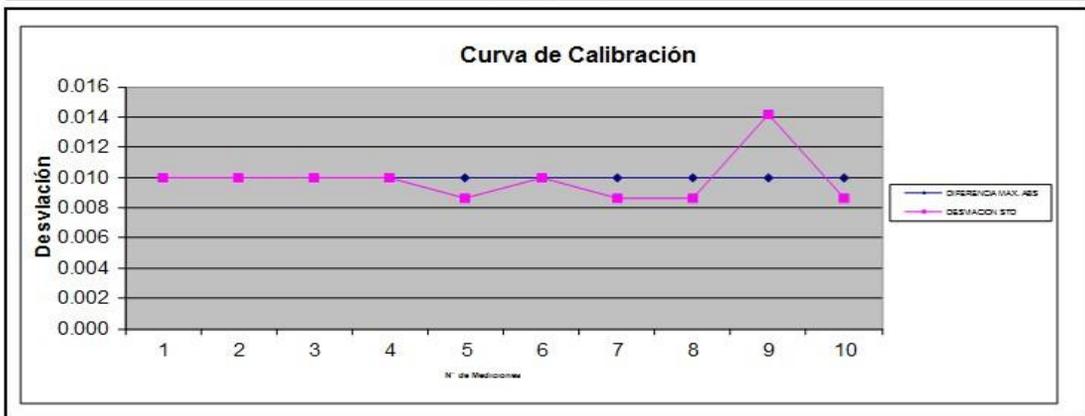


INFORME DE CALIBRACIÓN DE INDICADORES

INFORME No.: 20150398 INSTRUMENTO No.: CAL-PLAN-603 PÁGINA 02 DE 02

ITEM No.	VALOR NOMINAL (PATRÓN)	VALOR MEDIDO				PROMEDIO	DIFERENCIA MAX ABS	DESVIACIÓN STD	Dif. Max. AVANCE Y RETROCESO 1	Dif. Max. AVANCE Y RETROCESO 2
		AVANCE 1	RETROCESO 1	AVANCE 2	RETROCESO 2					
1	0.01	0.000	0.010	0.000	0.010	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
2	0.05	0.040	0.050	0.040	0.050	0.05	0.01	0.01	0.01	0.01
3	0.10	0.090	0.100	0.090	0.100	0.10	0.01	0.01	0.01	0.01
4	0.20	0.190	0.200	0.190	0.200	0.20	0.01	0.01	0.01	0.01
5	0.50	0.500	0.500	0.490	0.500	0.50	0.01	0.01	0.00	0.01
6	1.00	0.990	1.000	0.990	1.000	1.00	0.01	0.01	0.01	0.01
7	5.00	4.990	5.000	4.990	4.990	4.99	0.01	0.01	0.01	0.00
8	7.00	6.990	7.000	6.990	6.990	6.99	0.01	0.01	0.01	0.00
9	10.00	9.990	10.000	9.990	9.980	9.99	0.01	0.01	0.01	0.01
10	12.00	11.990	12.000	11.990	11.990	11.99	0.01	0.01	0.01	0.00

GRÁFICO



OBSERVACIONES

- * FACTOR DE CONVERSION: 25,4 mm= 1 pulg.
- * CONFORME AL PROCEDIMIENTO DE CALIBRACION EL INSTRUMENTO CUMPLE CON LA ESPECIFICACION RECOMENDADA POR EL FABRICANTE ± 0.02 MM

FIN DEL REPORTE

LOS RESULTADOS EXPRESADOS EN ESTE INFORME SON VALIDOS EN LA S CONDICIONES BAJO LA S CUALES SE EFECTUARON LA S MEDICIONES. TODA ALTERACION A LOS DATOS DE ESTE INFORME, LO INVALIDAN.
SE PROHIBE LA REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL DE ESTE INFORME SIN PERMISO EXPRESO DEL LABORATORIO VSI.

ANEXO 2.- Informe de calibración de indicador digital CAL-PLAN-753E

		VALEO LABORATORIO AVENIDA DE LA MONTAÑA 102 PARQUE INDUSTRIAL QUERÉTARO DELEGACIÓN SANTA ROSA JAUREGUI 76220 QUERÉTARO, QUERÉTARO Tel. +52 (442) 1166 47 / 48 - Fax +52 (442) 1166 02				
		INFORME DE CALIBRACIÓN DE INDICADORES LABORATORIO				
CLIENTE : VALEO		DIRECCIÓN : AVE. DE LA MONTAÑA #102 PARQUE IND. QUERÉTARO, QUERÉTARO, QRO.				
DATOS DEL INSTRUMENTO						
DESCRIPCIÓN : INDICADOR DIGITAL		CÓDIGO DE IDENTIFICACIÓN: CAL-PLAN-753E				
MARCA: MITUTOYO		MODELO: ID-S1012EXB				
No. SERIE: 12176659		UNIDAD DE MEDIDA: MILÍMETROS (mm)				
RESOLUCIÓN: 0.01		ESCALA MÁXIMA DEL INSTRUMENTO: 12.7				
DATOS GENERALES DE LA CALIBRACIÓN						
INFORME No. : 20150289		FECHA DEL REPORTE: 06-ABR-15	FECHA DE CALIBRACIÓN: 06-ABR-15			
INSTRUCCIÓN UTILIZADA: MXI-LAB-1002		INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN (µm): 17.727				
TEMPERATURA: ## °C A 21		HUMEDAD: 45 % HR				
PATRONES E INSTRUMENTOS UTILIZADOS						
No.	DESCRIPCIÓN	MARCA	MODELO	DIV. MÍNIMA GRADO EXACTITUD	INCERTIDUMBRE	VIGENCIA DE CALIBRACION
1	COMPROBADOR DE INDICADORES (LAB-038)	MITUTOYO	IDT-2	2.50E-0 mm	1.00E-03	AGO-15
LOS RESULTADOS EXPRESADOS EN ESTE INFORME SON VALIDOS EN LAS CONDICIONES BAJO LAS CUALES SE EFECTUARON LAS MEDICIONES. TODA ALTERACION A LOS DATOS DE ESTE INFORME, LO INVALIDAN. SE PROHIBE LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DE ESTE INFORME SIN PERMISO EXPRESO DEL LABORATORIO						
STATUS DE LA CALIBRACION <input checked="" type="checkbox"/> ACEPTADO (CUMPLE LA ESPEC. DEL CLIENTE) <input type="checkbox"/> RECHAZADO (Situación del equipo)						
REVISO : NOHEMI RODRIGUEZ ING. DE LABORATORIO			APROBÓ : MARCO RAMIREZ GERENTE DE LABORATORIO			

ANEXO 2.1.- Curva de calibración de indicador digital CAL-PLAN-753E

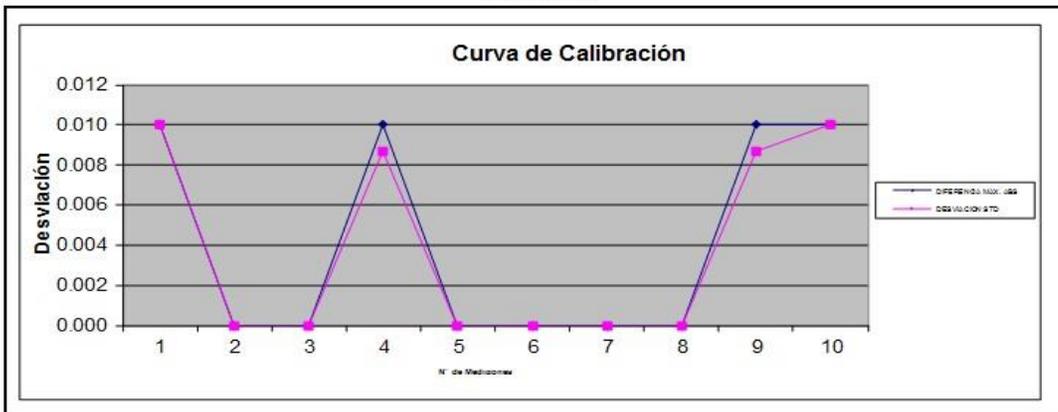


INFORME DE CALIBRACIÓN DE INDICADORES

INFORME No.: 20150289 INSTRUMENTO No.: CAL-PLAN-753E PÁGINA 02 DE 02

ITEM No.	VALOR NOMINAL (PATRÓN)	VALOR MEDIDO				PROMEDIO	DIFERENCIA MAX ABS	DESVIACIÓN STD	Dif. Max. AVANCE Y RETROCESO 1	Dif. Max. AVANCE Y RETROCESO 2
		AVANCE 1	RETROCESO 1	AVANCE 2	RETROCESO 2					
1	0.01	0.000	0.010	0.000	0.010	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
2	0.05	0.050	0.050	0.050	0.050	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00
3	0.10	0.100	0.100	0.100	0.100	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00
4	0.20	0.200	0.200	0.190	0.200	0.20	0.01	0.01	0.00	0.01
5	0.50	0.500	0.500	0.500	0.500	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00
6	1.00	1.000	1.000	1.000	1.000	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	5.00	5.000	5.000	5.000	5.000	5.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	7.00	7.000	7.000	7.000	7.000	7.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9	10.00	9.990	10.000	10.000	10.000	10.00	0.01	0.01	0.01	0.00
10	12.00	11.990	12.000	11.990	12.000	12.00	0.01	0.01	0.01	0.01

GRÁFICO



OBSERVACIONES

- * FACTOR DE CONVERSION: 25,4 mm= 1 pulg.
- *CONFORME AL PROCEDIMIENTO DE CALIBRACION EL INSTRUMENTO CUMPLE CON LA ESPECIFICACION RECOMENDADA POR EL FABRICANTE ± 0.02 MM

FIN DEL REPORTE

LOS RESULTADOS EXPRESADOS EN ESTE INFORME SON VALIDOS EN LAS CONDICIONES BAJO LAS CUALES

SE EFECTUARON LAS MEDICIONES, TODA ALTERACION A LOS DATOS DE ESTE INFORME, LO INVALIDAN.

SE PROHIBE LA REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL DE ESTE INFORME SIN PERMISO EXPRESO DEL LABORATORIO VSI.

ANEXO 3.- Learned Lesson Card (LLC)

QUICK RESPONSE PDCA

Version 7.0

Business Group: VAL [1] Product Line: Opelaco [1] L170UEZ [2] Tech. Encoder Line [7] Rear Lighting Systems [8] F25 RCL BMW [9] Incident Category [17] Production [20]

Product Group: VLS [2] Regional Operation: LVA [3] Site: Querétaro 2 [4] In-house Delivery Note [5] N/A [6] Valeo Part Number [10] 470067470087 [11] Rear Alert [18] No [19]

Valeo Incident Reference: VALVLSL170Querétaro 22015422-G1U [12] DEFECT: Tech. LOG Defect Code [13] MEC000 Mechanical [14] MEC15 Misadjusted [15] Supplier [22] No [23]

CUSTOMER: Customer [2] BMW [3] Spartanburg [4] Leader [14] Higinio de Leon [15] Customer Contact [16] Francisco Comenzan [17]

Customer Incident Number [4]: 14222474 [5] Vehicle / Engine [6]: BMW X3 [7] Resident Engineer [15]: Francisco Comenzan [16]

Customer Part Number [5]: 14222474 [6] Incident Category [17]: Rear Alert [18] No [19] Production [20]

Issue Opened Date [25]: 4/22/2015 [26] Issue Opened Hour [26]: 9:30

Sorting Activity [54]

Nb. NC parts	NB Sorted	PPM	Sorting Date	Who	Identification
Results of sorting in Customer plant	7200	0	4/20/15	Ehren Hernandez	White mark on part
Results of sorting in Customer plant	3672	0	On going	Clay Murphy	White mark on
Results of sorting in Customer plant	2232	0	4/22/2015	Higinio de Leon	Certification sheet
Results of sorting in Customer plant	144	0	4/20/15	Higinio de Leon	Certification sheet in pallet
Results of sorting in Customer plant	N/A	N/A	n/a	n/a	n/a
Total Sorting	13048	0	4/20/15	n/a	n/a
Production dates of sorted parts	From 24/03/2015	To 15-aug-2015	Number	161812	Label ID: 24593705
Period of NG Parts	Oldest Part: 24/03/2015	Most recent Part: 15-aug-2015	Date	20/04/2015	Label Dimensional
The customer can detect the defect on the production line at 100% (YES / NO) YES					

What is The Problem? Use 5W+2H to know what is the current situation

CUSTOMER VIEW

BMW Region 117 NC: Not out of specification at zone HSSH-101F. Esp. 1mm ±0.8 mm rear parts. [27]

Why is it a problem? [28] The non-conformance creates [29]

When detected? [29] 20/04/2015, 9:48 a.m.

Who detected? [30] Erick James, BMW CSB.

Where detected? [31] At 100% inspection BMW sorting

How were the NC parts detected? [32] During 100% inspection at BMW

How many NC parts reported by site? [33] 117

How many NC parts sent to Customer? [34] 117

VALEO VIEW

Measured 289 parts. Good Parts: Meet the specification from 0.2 to 1.8 mm. Bad Parts: Out of the USL. Average of 1.79 mm. STD: 0.0345. 2nd shift. Eja Saucedo, Mo. 8601. Level O. 25-03-15 and 25-03-15, 3rd shift. Ana Cecilia Romero Rojas. No. 8617. Level O.

No. The parts were not reworked. From 24-03-2015, at 19:05:39 to 25-03-2015 at 05:16:07

None, just BMW Spartanburg, SC, USA.

Yes, the bad part can be detected with the controls at the line.

Yes, VMI: V-VLSL170Querétaro 220154-11-24-37.

None, there is not another plant who manufacture this part to BMW.

