

El impacto de la temperatura dentro del proceso de manufactura de partes automotrices en Prensas XL

Jaime Eduardo De Luna Sosa ^{1,2}, Fernando Sebastián Chiwo González^{1,3}

¹ Posgrado CIATEQ A.C. Cto. Aguascalientes Nte. 135, Parque Industrial de Valle de Aguascalientes, 20358 Ags., México, fernando.chiwo@ciateq.mx

² Nissan Mexicana S.A. De C.V., Carretera Panamericana Sur km. 112, Delegación Peñuelas Aguascalientes, C.P. 20340 Aguascalientes, Ags. México, jaimedelunasosa@nissan.com.mx

³ Universidad Marista de San Luis Potosí, Av. Beato Marcelino Champagnat 305, CP 78183, San Luis Potosí, S.L.P.

Resumen

Este documento tiene como objetivo analizar el factor temperatura que interviene en el proceso productivo del proceso de estampado automotriz y de esta manera comprender la tendencia y las causas de la generación de defectos de vista en los paneles estampados. El sujeto de estudio es una prensa estampadora de última generación con capacidad de 5,400 toneladas, misma que fue instalada y puesta en marcha en el complejo de manufactura automotriz A2 de Nissan Mexicana en el estado de Aguascalientes, México. Se realizó el levantamiento de temperaturas en diferentes subprocesos de la prensa con el fin de generar una base de datos suficiente que permita generar un análisis estadístico y tener una aproximación concreta sobre las causas de generación de defectos en los paneles estampados que facilite la prevención de defectivo. Los resultados obtenidos darán pie a la implementación de nuevos métodos para la producción de partes estampadas y mejoras a los sistemas de manufactura establecidos en Nissan Mexicana.

Palabras clave— Análisis estadístico, Paneles estampados, Estampado, Temperatura, Defectos superficiales.

Abstract

The objective of this paper is to analyze the temperature factor involved in the production process of the automotive stamping process and thus understand the tendency and causes of the generation of defects in the stamped panels. The subject of the study is a state-of-the-art stamping press with a capacity of 5,400 tons, which was installed and started up in the A2 automotive manufacturing complex of Nissan Mexicana in the state of Aguascalientes, Mexico. A temperature survey was carried out in different subprocesses of the press in order to generate a sufficient database to generate a statistical analysis and have a concrete approximation of the causes of generation of defects in the stamped panels to facilitate the prevention of defective. The results obtained will lead to the implementation of new methods for the production of stamped parts and improvements to the manufacturing systems implemented in Nissan Mexicana.

Keywords— Statistical analysis, Stamped panels, Stamping, Temperature, Visual defects.

I. INTRODUCCIÓN

En el mundo de la Manufactura Automotriz existe una larga lista de procesos con variables de estudio interesantes, el estampado de lámina metálica y sus derivados de estampado en frío y estampado en caliente son un referente de esta industria metal mecánica.

Ante el incremento a nivel global de la competencia, los fabricantes de autos tienen que construir sus nuevos modelos usando tecnologías de vanguardia que reducen los extensos procesos de intenso trabajo e incrementan la exactitud de la planificación. Implementando este tipo de tecnologías, se puede reducir óptimamente el tiempo que se necesita entre el diseño de pieza y el inicio de su producción. Actualmente, la prevención de los defectos superficiales juega un papel importante dentro de la industria automotriz mediante la implementación de medidas correctivas, salvaguardando los indicadores y la rentabilidad de las compañías.

De 2010 a 2017, la industria automotriz mantuvo un ritmo de crecimiento constante en México, a partir de 2018 presentaron los primeros decrementos en sus principales rubros: producción, exportaciones y ventas en el mercado interno [1]. Nissan Mexicana posee en su complejo de manufactura Aguascalientes A2 una prensa estampadora de última generación, esta prensa

añadiría a la capacidad instalada 3.4 millones de autopartes a la producción anual durante su arranque. La Prensa XL de A2 alcanza un total de 574 piezas por hora y produce 15 autopartes por minuto, sumando 273,000 al mes, convirtiéndola en la prensa más productiva de Nissan a nivel global. La producción de autopartes en Nissan A2 llega al mercado doméstico e internacional, al suministrar a las plantas Aguascalientes 1, Aguascalientes 2, Ciudad Industrial del Valle de Cuernavaca (CIVAC) y el centro de refacciones en Toluca, así como las plantas de la alianza Nissan, Renault y Mitsubishi en el continente americano [2].

En los años pospandemia se han incrementado los problemas de calidad debido a fallas en la cadena de suministro global, afectando el presupuesto para refacciones causado por los constantes paros técnicos. Esto sumado al incremento considerable de competencia y entrada al mercado mexicano y norte americano de los competidores de origen asiático.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

El estampado es un proceso industrial en el cual se somete una chapa plana a varias transformaciones con el objetivo de obtener una pieza con forma geométrica propia [3]. Dicho proceso se da en la industria automotriz para dar forma, principalmente a todas las piezas de carrocería, como lo son

cajuelas, puertas, cofres, sistemas de techo o toldos, bisagras de puertas, pisos y la estructura general interior y exterior del auto.

El proceso de estampado consiste en someter la chapa de metal a un proceso de plastificación utilizando herramientas especiales llamadas matrices, estampas o troqueles. Además, el estampado tiene subdivisiones de acuerdo a varios procesos singulares que generalmente son corte, doblado o curvado y embutido donde se realizan diferentes transformaciones a la chapa metálica [3].

Por otro lado, un troquel o matriz de estampado tiene distintas funcionalidades, por ejemplo, es funcional de acuerdo a la forma o geometría que se requiera; el troquel de estampado de metal es una herramienta ideal que puede producir grandes cantidades de piezas que sean consistentes en apariencia, calidad y precisión dimensional. El troquel realmente es una herramienta capaz de adaptarse a las tendencias y conceptos de diseño más contemporáneas y extravagantes que existen [4].

A. Tipos de Estampado

Estampado en Caliente

Este proceso se realiza en una máquina de estampado llamada hot stamping, la cual aumenta la temperatura hasta que esta es más elevada que el punto de cristalización, en ese momento es cuando se debe aplicar la fuerza de la prensa la cual formará el dibujo o forma deseada.

Una de las características de este proceso es el acabado que obtiene, pues la superficie tiene menor rugosidad, además las medidas son mucho más precisas que cuando se realiza en frío. Otro punto a favor de este proceso es que permite mejores y mayores deformaciones al material respecto a la geometría final requerida, logrando de esta manera piezas especializadas con detalles milimétricos [3].

Estampado en Frío

El término estampado en frío no es explícito, la literatura refiere que deriva del verbo embutir; que significa rellenar de una cierta sustancia un recipiente cerrado, delimitado por paredes de hojas para hincharlo y modificar su configuración [3]. Este se realiza cuando el acero tiene una temperatura menor a la de recristalización, de esta manera la deformación del grano se manifiesta durante el proceso, para así obtener una anisotropía en la estructura microscópica del metal. Este proceso se aplica en láminas de menor espesor para lograr piezas uniformes.

Los ejemplos más claros del estampado en frío pueden ser el troquelado, embutido y la deformación y se emplea en materiales con altos niveles de ductilidad y maleabilidad en frío como son los aceros de baja aleación o bien los de aleación de aluminio, latón, plata o incluso el oro [3].

Blank de Acero

El blank de acero es una lámina que se obtiene mediante un proceso de laminado en frío que da como resultado final un material en diversas medidas de ancho y largo. Se hace principalmente de acero inoxidable, lo que le provee cualidades anticorrosivas, dándole un rango de aplicaciones mucho más amplio que otros materiales.

B. Propiedades Mecánicas de Lámina

La lámina o chapa metálica tiene un conjunto de características que la hacen especial para diversos tipos de estampado; a estas características se les conoce como propiedades mecánicas de lámina, las cuales pueden ayudar a describir su comportamiento durante el estampado o embutido en combinación con otros factores aplicados y se encuentra en la Tabla I [7].

En el proceso de embutido se monitorean 3 propiedades particulares:

Elasticidad (EL)

Al empujar ligeramente la puerta o techo con dedos, aparecen abolladuras. Al soltar los dedos, las abolladuras retornan a la condición normal. La deformación como ésta, deformación elástica que tiene una característica de tratar de retornar a la condición anterior, se llama elasticidad [7].

Plasticidad (YP)

La deformación que no retorna a la condición original, después de aparecer abolladuras al empujar fuerte la puerta o techo, se llama deformación plástica. La característica de no retornar a la condición original se llama plasticidad y el procesamiento que guarda la deformación plástica se llama labrado del plástico.

La deformación plástica se puede llamar también deformación permanente. Al soltar la mano después de empujar fuerte, la abolladura tiende a retornar algo hacia la condición anterior lo cual se llama muelle de retorno o retracción [7].

Endurecimiento mecánico/Tensión (TS)

Al enderezar o doblar chapa de acero, surge la deformación plástica y se aumenta la dureza. Este fenómeno se llama endurecimiento mecánico y ocurre siempre acompañando a la deformación plástica [7].

El valor Lankford es el valor numérico que indica el cambio de ancho de chapa en la prueba de tracción. Cuanto más alto es el valor, es mejor para el estampado profundo como lo muestra la Fig. 1 [7].

C. Defectos Superficiales

Los defectos superficiales son una problemática importante en el conformado de chapa metálica ya que el proceso de estampado afecta directamente en la apariencia superficial de la pieza y así influye en su calidad final. Por lo tanto, se pierde una gran cantidad de tiempo durante el proceso de desarrollo del producto en la optimización de los defectos superficiales, particularmente en las caídas de superficie durante la puesta a punto. Estas caídas de superficie se caracterizan por cambios no deseados de la curvatura de la pieza, por ejemplo, diferencias locales entre la geometría actual y la geometría deseada [7].

D. Defectos Superficiales

Los defectos superficiales son una problemática importante en el conformado de chapa metálica ya que el proceso de estampado afecta directamente en la apariencia superficial de la pieza y así influye en su calidad final. Por lo tanto, se pierde una gran cantidad de tiempo durante el proceso de desarrollo

del producto en la optimización de los defectos superficiales, particularmente en las caídas de superficie durante la puesta a punto. Estas caídas de superficie se caracterizan por cambios no deseados de la curvatura de la pieza, por ejemplo, diferencias locales entre la geometría actual y la geometría deseada [7].

TABLA I
PROPIEDADES MECÁNICAS DE LÁMINA

Nomenclatura	Refiere a:	Significado
YP (Yield Point)	Fuerza de Deformación	Esfuerzo al pasar de la deformación elástica a la deformación plástica
TS (Tensión)	Fuerza de Tracción	Esfuerzo máximo que se aplica a material
EL (Elongación)	Alargamiento	Alargamiento total del material antes de ser roto (alargamiento máximo)
Valor n	Endurecimiento Mecánico	Indica el nivel de tendencia al endurecimiento referente al estampado profundo
Valor r	Valor Lankford	Indica la característica de disminución del ancho en comparación con el espesor referente al estampado profundo

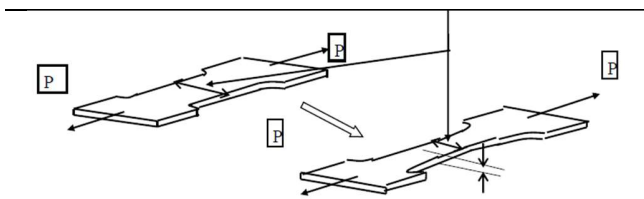


Fig. 1. Representación gráfica del Valor Lankford en el acero

Durante la fase de puesta a punto, se produce la detección y medición de los defectos superficiales pasando la piedra (stoning) o con mediciones ópticas. En la práctica, los productos de software de vanguardia permiten una fácil visualización de los defectos superficiales e imperfecciones con métodos digitales que describen el stoning. Estos métodos imitan el raspado hacia adelante y hacia atrás de un bloque de piedra sobre un panel exterior estampado.

Dentro del proceso de desarrollo del producto, una actividad que implica una gran cantidad de tiempo es la optimización de los defectos superficiales, particularmente las debidas a las caídas de superficie durante la puesta a punto. Éstas se caracterizan por cambios inesperados de curvatura, es decir desviaciones aisladas entre la geometría real y la deseada como se muestra en la Fig. 2 [8] - [13].

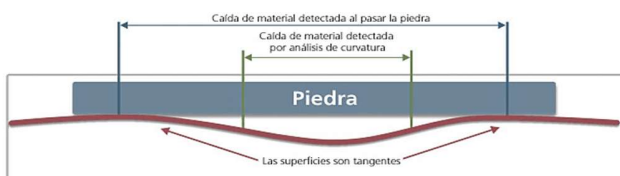


Fig. 2. Esquema de una sección con caída de material

Especialmente para las partes visibles, es importante que el componente terminado esté libre de defectos superficiales.

Los defectos superficiales son bastantes en el ámbito del estampado, sin embargo, los que predominan en las partes exteriores de la carrocería del automóvil son las bolas, ampollas o chipotes que en realidad es el mismo defecto nombrado de diferente manera según el proceso de manufactura donde es trabajado; estas son protuberancias en la lámina que se generaron erróneamente durante el estampado o embutido.

El tamaño de estos defectos oscila entre $6 \mu\text{m}$ y $30 \mu\text{m}$. El tamaño superior a $8 \mu\text{m}$ se considera no conforme (NG) en los procesos posteriores al estampado como lo es el ensamble de carrocería en metal line, lijado, sello y retoque en planta pintura y en inspección final en planta Trim & Chassis. Si el tamaño llega a ser más de $30 \mu\text{m}$, la chapa de hierro queda tan estirada que ya no se puede realizar el trabajo manual de reparación o ajuste. La bola de $10 \mu\text{m}$ en pieza prensada formada se convierte en el de $12 - 13 \mu\text{m}$ al llegar al proceso de capa superior como en la Fig. 3. Es decir, el tamaño del defecto bola en la chapa aumenta considerablemente con la capa de pintura generando defecto de vista o defecto superficial ocasionando inmediatamente retrabajo y un retraso de línea final para la entrega de unidades terminadas a logística para su venta como se observa en la Fig. 4 y Fig. 5. [7]. El espesor de las capas es:

Electrodeposición: $16 \mu\text{m}$

Capa intermedia: $45 \mu\text{m}$

Capa superior: $89 \mu\text{m}$

Total: $150 \mu\text{m}$ de capa de pintura sobrepuesta en defecto de bola en el panel.

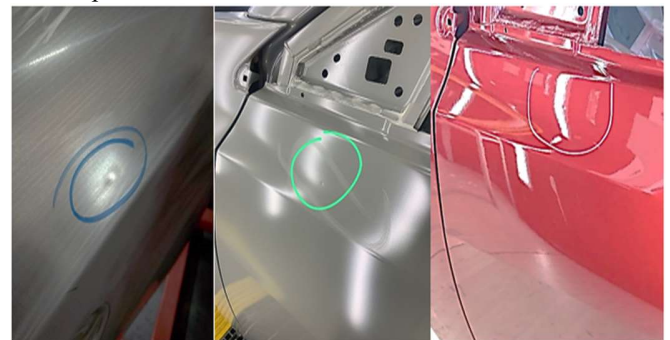


Fig. 3. Defecto de superficial en los distintos procesos de planta (Estampado, Lijado y Línea Final)

III. MARCO METODOLÓGICO

Para este análisis preliminar se designó como variable dependiente los defectos superficiales y como variables independientes el registro de temperatura del blank dentro del proceso de estampado en la prensa XL.

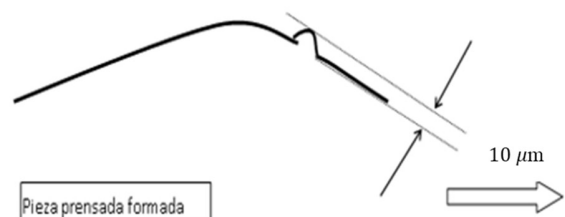


Fig. 4. Representación gráfica defecto de bola antes de proceso de pintura

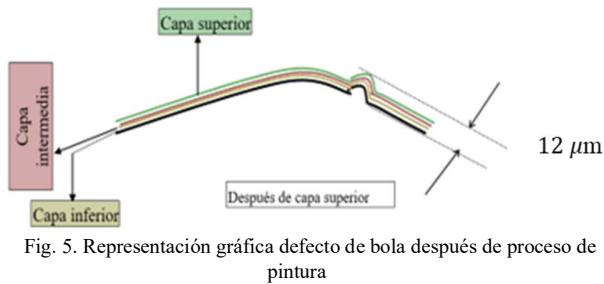


Fig. 5. Representación gráfica defecto de bola después de proceso de pintura

El análisis de datos efectuado en esta investigación se realizó para determinar la relación entre la temperatura del blank al momento de ser estampada y los defectos superficiales generados en la chapa metálica, lo que proporcionara un monitoreo de los indicadores locales y globales de Nissan Mexicana basados en la calidad total de los paneles estampados en planta A2.

La toma de lecturas de temperatura del blank fue en el proceso de manufactura estampado XL para el modelo BSO RH (Sentra), las unidades fueron recolectadas en grados Celsius (°C) mediante un termo detector infrarrojo durante un lote de producción a las 12:00 del día con Zona horaria de Ciudad de México, CDMX (GMT-6) durante la entrada del otoño en la Ciudad de Aguascalientes, Ags.

El lote de producción óptimo para modelo BSO RH es de 60 paneles estampados en promedio, se realizó el muestreo aleatoriamente durante la producción identificando los grados Celsius encontrados y los defectos superficiales encontrados en la lámina.

Tomando en cuenta el lote promedio para modelo BSO RH de 60 piezas se calcula el tamaño de la muestra bajo un nivel de confianza del 95%, la muestra obtenida es de 53 lecturas de temperatura basadas en un 5% de margen de error.

Estas lecturas se analizaron utilizando un modelo de regresión lineal mediante el software Minitab con el fin de determinar la dependencia de los defectos superficiales de la temperatura en el blank al momento de ejecución del proceso de formado (PB), en el proceso de corte (PC), en el proceso de barrenado (PD) y en el proceso de pestañado (PE). En este caso la variable dependiente será la cantidad de defectos superficiales y las variables independientes serán las temperaturas de los procesos PB, PC, PD y PE.

IV. RESULTADOS

De acuerdo a las lecturas tomadas en las diferentes estaciones de la prensa XL, se obtuvo el modelo de regresión basado en la temperatura de los procesos de la prensa XL2 con respuesta en los defectos superficiales como se muestra en (1), donde se observa que los defectos superficiales aumentarán en 1.321 por cada incremento de temperatura en el proceso PB.

Con base en la Tabla II de coeficientes se observa que la temperatura del proceso PB tiene una influencia significativa en la generación de defectos superficiales de los paneles estampados, dado que el valor p es menor al porcentaje del error (0.000 < 0.05). De esta manera, se descarta la adición significativa de la temperatura de los procesos PC, PD y PE en

la generación de defectos superficiales basados en su valor p.



Fig. 6. Toma de lectura de temperatura en Proceso PB en Modelo BSO RH

$$Defecto\ superficial = -26.6 + 1.321\ PB + 0.912\ PC - 0.91\ PD - 0.44\ PE \tag{1}$$

TABLA II
COEFICIENTES

Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante	-26.6	19.3	-1.38	0.175	
PB	1.321	0.116	11.38	0.000	1.25
PC	0.912	0.923	0.99	0.328	3.13
PD	-0.91	1.79	-0.51	0.614	10.44
PE	-0.44	1.69	-0.26	0.797	8.35

La Fig. 7 muestra el ajuste lineal de la temperatura del proceso PB contra la generación de defectos superficiales basado en el coeficiente de determinación.

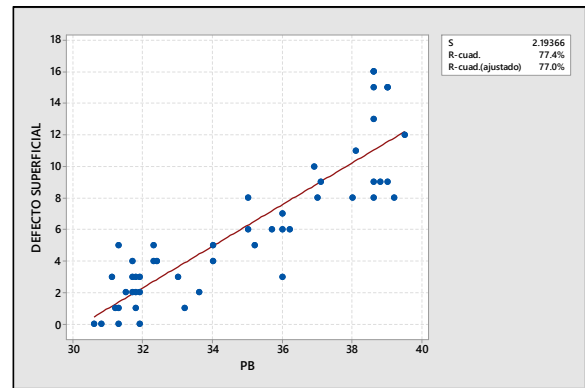


Fig. 7. Gráfica de ajuste para la variable Defectos Superficiales y Proceso PB

El coeficiente de determinación indica que la variación total en los defectos superficiales generados en los paneles estampados es proporcional a la variación de temperatura del proceso de estampado con un resultado de 77.44% según la Tabla III.

TABLA III
COEFICIENTE DE DETERMINACIÓN

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)
2.19366	77.44%	76.97%

Mediante el análisis de varianza de la Tabla IV, se confirman los resultados del modelo de regresión lineal, las temperaturas de los procesos PC, PD y PE no influyen en la generación de defectos superficiales, mientras que la temperatura del proceso PB si influye significativamente en la generación de defectos superficiales basados en el valor p de cada proceso.

TABLA IV
ANÁLISIS DE VARIANZA

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Regresión	4	802.95	200.738	40.88	0.000
PB	1	636.08	636.079	129.5	0.000
PC	1	4.80	4.795	0.98	0.328
PD	1	1.27	1.266	0.26	0.614
PE	1	0.33	0.328	0.07	0.797
Error	45	220.97	4.910		
Falta de ajuste	43	219.97	5.116	10.23	0.093
Error puro	2	1.00	0.500		
Total	49	1023.92			

Los valores residuales del modelo indican que en las lecturas de temperatura se obtuvieron valores atípicos.

La Fig. 8 muestra que las varianzas de las lecturas de temperatura tienen concordancia con el modelo de regresión lineal de acuerdo a que no se percibe patrón alguno dentro de las temperaturas de los procesos de la prensa XL2.

La Fig. 9 indica que no existen tendencias marcadas de acuerdo al orden de las temperaturas durante el levantamiento de lecturas en los procesos PB, PC, PD y PE.

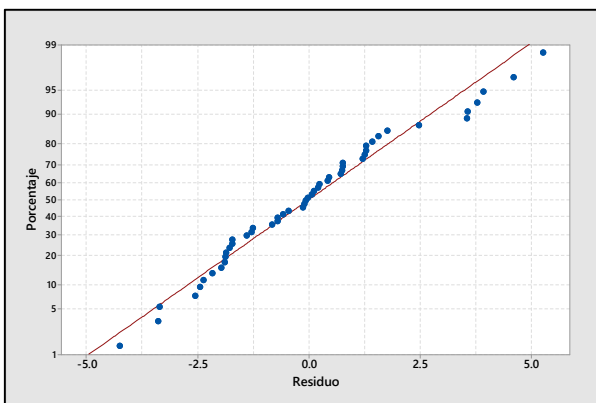


Fig. 8. Gráfica de Residuos para la variable Defectos Superficiales

Los resultados indican una tendencia positiva hacia las temperaturas cálidas, esto es dado a que en el intervalo de los 35 °C y 39 °C los defectos superficiales se generan en el proceso PB teniendo como media los 38 °C de acuerdo a la Fig. 7, los datos dispersos son defectos generados por fallas mecánicas propias de los troqueles.

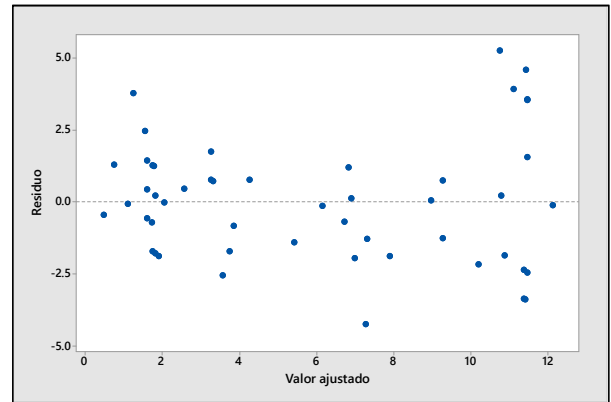


Fig. 9. Gráfica de residuos vs ajustes para la variable defectos superficiales

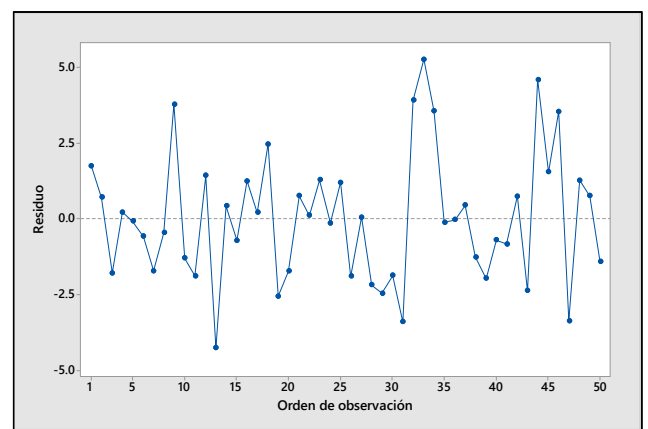


Fig. 10. Gráfica de residuos vs orden para la variable defectos superficiales

V. CONCLUSIONES

Con fundamento en los resultados obtenidos mediante este modelo de análisis se tiene la evidencia suficiente para demostrar que la temperatura interna del proceso de estampado afecta directamente al blank y a la generación de defectos superficiales que tienen afectación directa a la calidad total de las partes automotrices que se manufacturan en Planta A2.

De esta manera se sientan bases para poder tomar acciones preventivas que puedan mejorar la calidad de los paneles estampados en base a la temperatura interna de la prensa y en general las condiciones de la nave de estampado.

Esto solamente es el inicio de la mejora de los indicadores de planta que tendrá que llevarse a cabo basados en los análisis preliminares de la basta cantidad de factores que intervienen en el proceso de estampado. Los factores abarcan desde las condiciones de operación de la prensa y troquel hasta las temperaturas ambiente y específicas de lubricantes en conjunto de las propiedades mecánicas de lámina.

Es primordial comenzar con un plan de actividades que ayuden a controlar y mantener las temperaturas por debajo de los 32 °C para asegurar que este tipo de defectos no se generen, mientras se analizan los otros factores que ayuden a entender la causa raíz de la basta cantidad de defectos que se tienen catalogados dentro del proceso de estampado. Claro está que se

debe comenzar con las afectaciones mayores hasta lograr contener y mantener los indicadores de planta en sus resultados óptimos, esto ayudará a que la planta tenga mayor atracción de inversión, nuevos modelos, nuevos clientes y nuevas tecnologías que propicien la mejora continua rumbo a la industria 4.0.

REFERENCIAS

- [1]. Nissan News México. Nissan integra a su planta Aguascalientes 2 tecnología de vanguardia e innovación. Sala de prensa oficial de México. <https://mexico.nissannews.com/es-MX/releases/release-54e62c0544814d9ba9378dfca7a9368b-nissan-integra-a-su-planta-aguascalientes-2-tecnolog-a-de-vanguardia-e-innovaci-n#>. Published 27 de abril de 2016. (último acceso: 20 de noviembre del 2023).
- [2]. Pineda M. Industria automotriz en México: ¿qué sigue después del COVID-19? Gardner Business Media, Inc. <https://www.mms-mexico.com/articulos/industria-automotriz-en-mexico-que-sigue-despues-del-covid-19>. Published abril 13, 2021. (último acceso: 20 de noviembre del 2023).
- [3]. ROSSI, Mario. Estampado en frio de la Chapa. 9a ed. Madrid: DOSSAT, 1979.
- [4]. SUCHY, Ivana. Handbook of Die Design. 2a ed. McGraw-Hill, 2006. ISBN 0-07-14627 pp.1-6.
- [5]. Eliminación de los defectos superficiales. Autoform. <https://www.autoform.com/es/soluciones/cadena-de-proceso-de-conformado-de-chapa-metalica/ingenieria-de-proceso/eliminacion-de-los-defectos-superficiales/>. (último acceso: 15 de noviembre del 2023).
- [6]. Oehler, G., & Kaiser, F. (2013). Schnitt-, Stanz- und Ziehwerkzeuge: Unter besonderer Berücksichtigung der neuesten Verfahren und der Werkzeugstähle (5a ed.). Springer.
- [7]. Nissan Motor Corporation. 2018. Manual de Inspección y Desabollado (Documento inédito).
- [8]. Formability testing of sheet metals. En: Metalworking: sheet forming. ASM International, 2006, p. 673–696. ISBN 9781627081863.
- [9]. Impression-die forging (closed-die forging). En: Metal forming practise. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, [sin fecha], p. 123–140. ISBN 9783540332169.
- [10]. JONSSON, Carl-Johan, Roland STOLT y Fredrik ELGH. Stamping tools for sheet metal forming: current state and future research directions. En: Advances in transdisciplinary engineering. IOS Press, 2020 ISBN 9781643681108.
- [11]. Metal stamping for EVS. Electric and Hybrid Vehicle Technology International. 2021, 2021(3), 150. ISSN 2397-6322.
- [12]. MICHAELIS, E. E. Sheet metal forming. En: Metal forming. London: Macmillan Education UK, 1971, p. 95–104. ISBN 9781349011902.
- [13]. NEBOSKY, Paul S., Steven R. SCHMID y Timotius PASANG. Formability of porous tantalum sheet-metal. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2009, 4, 012018. ISSN 1757-899X.