

Calidad en una Planta de Fabricación de Lámina Acrílica



Colaboración

Jorge Durán Martínez; Leticia Díaz Domínguez; María Guadalupe Montes de Oca Sánchez; Erika Adrianne Bandala Martínez, Tecnológico Nacional de México / Campus Misantla

Fecha de recepción: 08 de octubre de 2021

Fecha de aceptación: 08 de noviembre del 2021

RESUMEN: El control de calidad mediante la herramienta AMEF contemplada en la presente investigación para evaluar la calidad del proceso, se vincula a una Prueba de Hipótesis con resultados obtenidos en la aplicación de pruebas mecánicas en probetas de lámina extruida y comparando con el valor establecido por la American Society for Testing and Materials ASTM D790 “Estándar Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials”. Finalmente, se realizó un ANOVA con la finalidad de analizar cuál es la combinación de pellets que obtiene mejor rendimiento en pruebas mecánicas y descartar materia prima con alto costo y menor rendimiento. Los resultados demuestran tres variables de mayor importancia dentro del proceso de extrusión a las cuales se encuentra vinculada la calidad de la lámina.

PALABRAS CLAVE: Lámina Acrílica, Extrusión, Aseguramiento de la Calidad, Core Tools, AMEF.

ABSTRACT: The quality control by means of the FEA tool contemplated in this research to evaluate the quality of the process, is linked to a Hypothesis Test with results obtained in the application of mechanical tests on extruded sheet specimens and comparing with the value established by the American Society for Testing and Materials ASTM D790 “Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials”. Finally, an ANOVA was performed in order to analyze which combination of pellets obtained the best performance in mechanical tests and to discard raw materials with high cost and lower performance. The results show three variables of major importance within the extrusion process to which the quality of the sheet is linked.

KEYWORDS: Acrylic Sheet, Extrusion, Quality Assurance, Core Tools, AMEF.

INTRODUCCIÓN

La innovación dentro de los procesos productivos es una estrategia que promueve el desarrollo empresarial, contribuyendo a mejorar los niveles de productividad [1]. En este sentido, dentro del entorno de competencia global, desarrollo tecnológico e innovación, las empresas se ven forzadas a reconfigurar sus procesos [2], en la que las tecnologías se integran para crear innovadores sistemas de manufactura, gestión y formas de ha-

cer negocios, que permiten optimizar los procesos de fabricación, alcanzar una mayor flexibilidad, eficiencia y generar una propuesta de valor para los clientes, así como responder de forma oportuna a las necesidades del mercado. La gestión y aseguramiento de la calidad resulta una estrategia para impulsar la competitividad empresarial [3]. Partiendo de esta premisa, existen distintas herramientas que apoyan al aseguramiento de la calidad [4], [5], como lo es el Análisis de Modo Efecto y Falla [6] como herramienta útil para optimizar recursos y procesos para aumentar calidad logrando la satisfacción del cliente [7], [8].

En este contexto, el presente estudio se desarrolló en una planta de fabricación de lámina acrílica, con la finalidad de mejorar su capacidad y métodos de producción.

Metodología

Para la realización de la presente investigación se hace uso del Análisis de Modo, Efecto y Fallo (AMEF), análisis estadístico como prueba de hipótesis y ANOVA. Los documentos de referencia se sustentan en [6], [9] para el seguimiento de la metodología y la comparación de valores establecidos internacionalmente. En este sentido, el lugar de estudio con nombre código "PGM" por la confidencialidad es una planta de fabricación de lámina acrílica ubicada en Toluca de Lerdo, Estado de México, líder en América en la distribución de lámina acrílica. En este contexto, la nueva línea de extrusión tiene una capacidad de producir 1200 kilogramos de lámina extruida por hora lo cual representa un aumento en la producción comparado con los 900 kilogramos de lámina cada 24 horas que se procesan por el método de producción de cubas.

La Figura 1 muestra la línea de extrusión de lámina a la que se aplicó la herramienta AMEF.

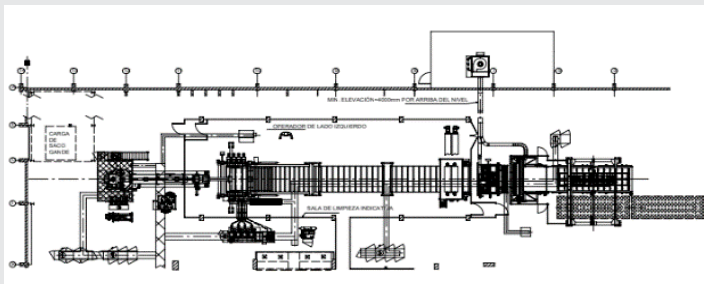


Figura 1. Línea de producción de lámina acrílica extruida.

Fuente. Tomado de manual de operación.

En la Figura 1 "Línea de producción de lámina acrílica extruida" el proceso comienza en la parte izquierda con la alimentación de la tolva de la extrusora mediante un dosificador gravimétrico para que el pellet derretido salga por un cabezal o también llamado "dado" e inserte el PMMA derretido en los cilindros de moldeo y enfriamiento "Calandra" y después transportarse por los cilindros de enfriamiento para ser empapelados y cortados y finalmente mediante el "pick up" ser coloca-

dos en las tarimas para su almacenamiento. A su vez el proceso cuenta con equipos periféricos para el apoyo al funcionamiento. La metodología a seguir se manifiesta en la Figura 2.

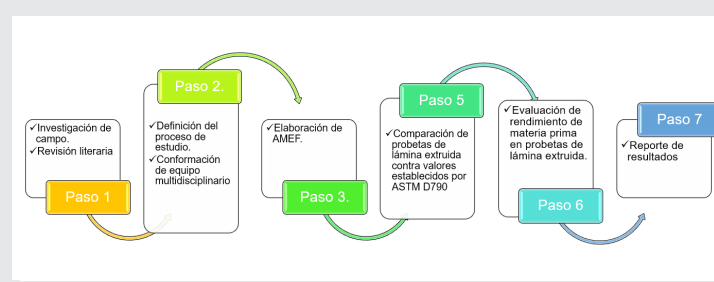


Figura 2. Metodología de investigación.

Fuente. Elaboración propia.

Reconocimiento de Proceso

En el desarrollo de la metodología, se dio inicio al diagnóstico del proceso visualizándolas variables que interactúan en este haciendo uso del diagrama de tortuga que se recomienda en la Norma Internacional ISO 9001:2015 Sistemas de Gestión de Calidad. La Figura 3 muestra el diagrama de tortuga del proceso de extrusión de lámina acrílica.

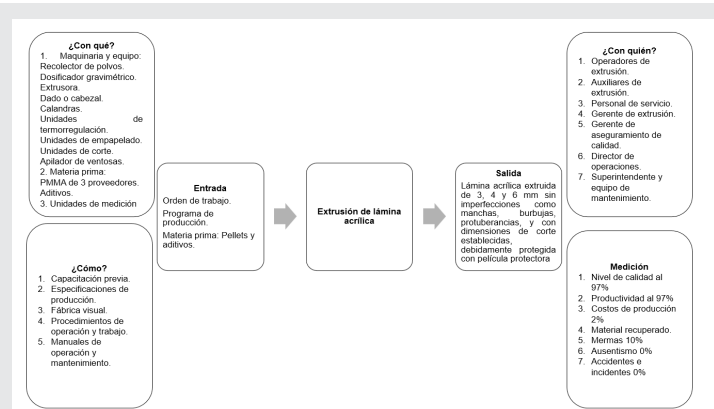


Figura 3. Diagrama de tortuga de proceso de extrusión de lámina acrílica.

Fuente. Elaborado con equipo AMEF y con base en [10].

En este contexto, para el reconocimiento de las etapas del proceso de extrusión de lámina, se desarrolló el diagrama de flujo de proceso con base en las especificaciones propuesta por [6], [11] como se muestra en la Figura 4.

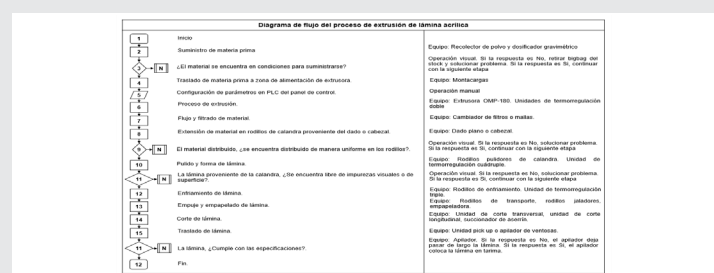


Figura 4. Diagrama de flujo de proceso de extrusión de lámina acrílica.

Fuente. Elaboración propia con equipo AMEF y con base en [6], [11].

Es importante mencionar que el diagrama de proceso que se muestra en la ilustración 6, es de gran ayuda para la elaboración del AMEF dado que es en donde se identifican las actividades clase de todo el proceso productivo y de donde se parte para identificar los modos potenciales de fallo de cada actividad.

Identificación de problemas en el proceso de extrusión.

En este orden de ideas, con la conformación del equipo multidisciplinario es posible realizar una lluvia de ideas para identificar ciertos problemas que ocurren en los procesos de extrusión y que infieren de manera significativa en la calidad del producto final, considerando problemas no exclusivos de la maquinaria y equipo. Bajo esta premisa, se utilizaron dos herramientas para el reconocimiento de problemas, la primera herramienta es el diagrama del método 5W/1H ya que con base en [12] el desarrollo de esta herramienta permite la definición de problemas raíz, no la solución. La Figura 5 muestra la matriz 5W/1H del proceso de extrusión de lámina acrílica.

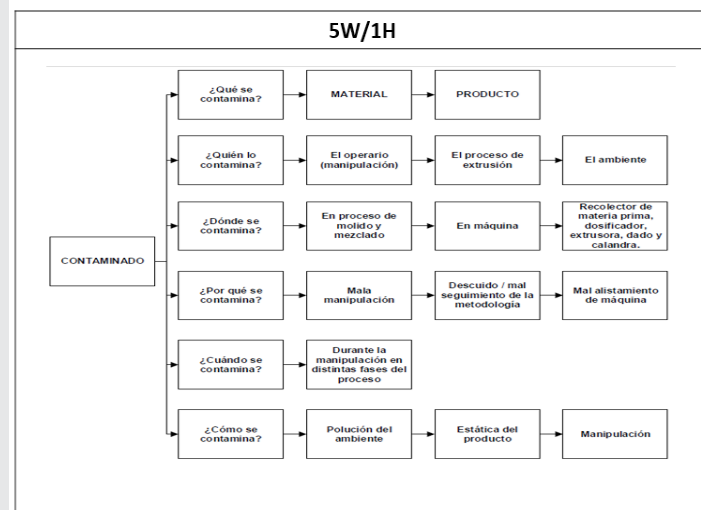


Figura 5. Matriz 5W/1H del proceso de extrusión. Fuente. Elaboración propia con base en [12].

En este sentido, esta herramienta facilita la focalización sobre la causa de un problema mediante una serie de seis o siete preguntas [13].

La segunda herramienta para poder enlistar los problemas dentro del proceso de extrusión es el diagrama de causa-efecto. El diagrama de Causa-Efecto, también conocido como diagrama de espina de pescado o Ishikawa o análisis de 6Ms, es una herramienta bastante útil para realizar un análisis de causa raíz más complejo, profundo y detallado. Esta herramienta permite identificar todos los potenciales factores que contribuyen a la generación de un problema en el proceso y se pueden evaluar factores como mano de obra, método, máquina, material, medio ambiente y medición [14]-[16]. La Figura 6 muestra el diagrama de Causa-Efecto del proceso de extrusión de lámina acrílica.

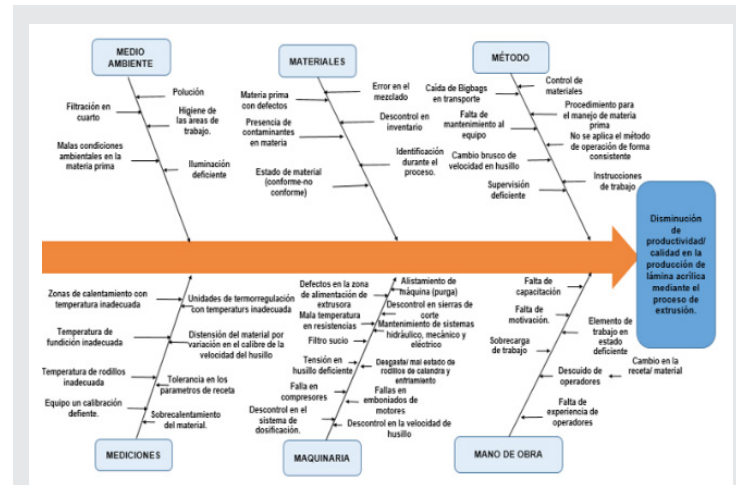


Figura 6. Diagrama Causa-Efecto del proceso de extrusión de lámina acrílica.

Fuente. Elaboración propia.

Identificación de modos potenciales de falla.

Una vez que se elaboró el reconocimiento y diagnóstico de las variables inmersas en el proceso de extrusión de lámina acrílica extruida y de sus problemas, es posible enlistar los modos potenciales de falla que se visualizaron con base en el diagrama de flujo del proceso de la Figura 4.

Es importante mencionar que los modos potenciales de falla están vinculados cada subproceso del proceso principal ya señalado en el diagrama de flujo de proceso.

Efectos y causas de modos de falla

Una vez que se tienen identificados los modos potenciales de falla, se identificó los efectos que estos pueden tener y que es lo que provoca su apariencia. En virtud de ser un proceso de gran tamaño, se omite el listado total de todo el proceso de extrusión de lámina acrílica y se delimita la lista de efectos y causas de modos de falla a los efectos con mayor índice de NPR, los cuales resultan ser los factores con mayor peso dentro del proceso de extrusión.

Formato AMEF

Una vez identificados los modos potenciales de falla, y los efectos y causas es posible desarrollar el formato de AMEF de procesos para la fabricación de lámina acrílica extruida. El formato AMEF del proceso de extrusión no se muestra en este documento a causa de su extensión (15+ páginas), sin embargo, en el citado documento se consideraron los modos potenciales de fallas, causas y efectos de los modos que comprenden al mayor NRP mostrados en los resultados y conclusiones. En este sentido, se colocó una ponderación en un rango del 1 al 10 con base en [6], [10], se colocaron los controles de prevención y control para las operaciones. En este orden de ideas se obtiene el NPR (Número de Prioridad de Riesgo) resultado del producto de la Severidad (S), Ocurrencia (O) y Detección (D) para identificar las variables de mayor peso dentro del proceso.

Finalmente se realizaron acciones recomendadas y los responsables.

Prueba de hipótesis

Para la prueba de hipótesis, se comienza con una suposición llamada "hipótesis" que se realizó acerca de un parámetro de una población [17]. En otras palabras, se estableció un valor supuesto o hipotético del parámetro de la población [18]. En este orden de ideas, para el desarrollo de la prueba de hipótesis se realizaron pruebas de tensión en una máquina universal teniendo como guía la prueba ASTM D790, en donde se describe el procedimiento y estándares para la realización de la prueba. En esta prueba se determinan los valores que deben contener las probetas de lámina acrílica, en este caso el esfuerzo tracciona de rotura en psi para una lámina acrílica genérica debe ser de 9000 puntos [9]. En este sentido, lo que se busca comprobar con el desarrollo de la prueba de hipótesis es conocer si los valores obtenidos de la prueba de tensión en probetas de lámina acrílica son estadísticamente igual al valor establecido por [9].

La Tabla 1 muestra los valores obtenidos correspondientes a un día de corrida de prueba. Es importante mencionar que dada la naturaleza del producto las muestras se consideran destructivas [18] por lo que se consideró trabajar con una muestra de 39 láminas acrílicas de 3 mm.

Tabla 1. Valores de esfuerzo de rotura.

Fuente. Datos otorgados por el departamento de aseguramiento de calidad.

Esfuerzo de rotura.					
10197.34	9052.79	9893.81	9017.41	9595.75	8855.22
10701.59	11205.98	9595.75	8767.36	4478.36	9052.79
10605.31	10203.73	4478.36	9152.33	7727.66	11205.98
10595.28	9938.39	7727.66	6736.84	10605.31	10203.73
9012.3	9012.36	9657	8606.21	10595.28	
9148.85	10769.46	9200.38	8322.58	9012.3	
8855.22	8322.58	9700.99	9893.81	9148.85	

Se trabajó con un nivel de confianza del 95% y un nivel de significancia de 0.05. Los datos se procesaron en el software estadístico Minitab. La prueba de hipótesis nula y alternativa hacen referencia a si la media de la muestra obtenida es igual o diferente a los valores que estable [9].

El establecimiento de la hipótesis nula y alternativa quedó como se muestra:

$H1: \mu \neq 9000$

Cabe mencionar que fue necesario obtener la desviación estándar de la muestra mediante un análisis descriptivo obtenido en Minitab.

La regla de decisión para la prueba de hipótesis es la siguiente:

$Sí P > 0.05, se acepta H0$

$Sí P < 0.05, se rechaza H0$

Análisis de Varianza

En este caso existe se necesitó probar la importancia de la diferencia entre tres o más medidas muestrales o, lo que equivalente, probar la hipótesis nula de que todas estas medias muestrales son iguales [19]. En otras palabras, el interés radica en conocer la variación total presente en un conjunto de datos en varios componentes, asociada con cada uno de estos componentes hay una fuente de variación para conocer en grado y como afectan estas variaciones en la variable dependiente [20]. En este contexto, el método ANOVA utilizado fue el de "clasificación en un sentido" o "experimentos con un factor" [19]. En el presente estudio se consideraron los resultados obtenidos de una prueba de dureza realizada por el departamento de aseguramiento de calidad, el valor esperado es el más cercano a 100, la muestra de estudio consiste en probetas de lámina acrílica extruida pero realizadas con distinto porcentaje de materia prima (en este caso PMMA de distintos proveedores). Dadas las políticas de privacidad de la empresa no es posible mencionar el nombre del proveedor por lo que se considera su país de procedencias. El PMMA utilizado en la extrusión proviene de Brasil, China e India. La Tabla 2 muestra el porcentaje de combinación de PMMA para la extrusión.

Tabla 2. Combinación de materia prima.

Fuente. Datos obtenidos por el departamento de aseguramiento de calidad.

Combinación
59% Brasil y 41% China
80% India y 20% China
50% China y 50% India
100% India

Los valores obtenidos de la prueba de dureza de cada lámina acrílica extruida con distinta composición se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Resultados de pruebas de dureza en lámina extruida.

Fuente. Elaboración propia.

59% B 41% C	80% I 20% C	50% C 50% I	100% I
98.79	97.09	99.49	98.90
98.82	98.23	98.56	98.87
97.87	97.14	99.35	98.76
98.25	97.36	99.38	99.20
98.65	98.03	99.50	98.89

El objetivo del desarrollo de este análisis es visualizar la existencia de diferencias en el rendimiento de la lámina acrílica dependiendo el tipo de materia prima utilizada; la identificación de una combinación adecuada signifi-

caría la optimización del proceso mediante la reducción de los costos dado que de ser todas iguales la decisión de elección se decantaría por el material que represente menor costo de adquisición.

El planteamiento de hipótesis se visualiza de la siguiente manera:

H₀: El grado de dureza de lámina igual

H₁: El grado de dureza de láminas es diferente

La regla de decisión es la siguiente:

Sí $P > 0.05$, se acepta H_0

Sí $P < 0.05$, se rechaza H_0

RESULTADOS

Después de llevar a cabo la realización del AMEF del proceso de producción de lámina acrílica extruida, fue posible identificar factores clave a los cuales se encuentra directamente vinculada la calidad final del producto.

Causas potenciales de fallo con mayor NPR. La ilustración 9 detalla las causas potenciales de fallo que obtuvieron un mayor índice NPR, lo cual será de gran ayuda para dar prioridad a los factores que tienen mayor inferencia en la disminución del rendimiento del proceso de extrusión.

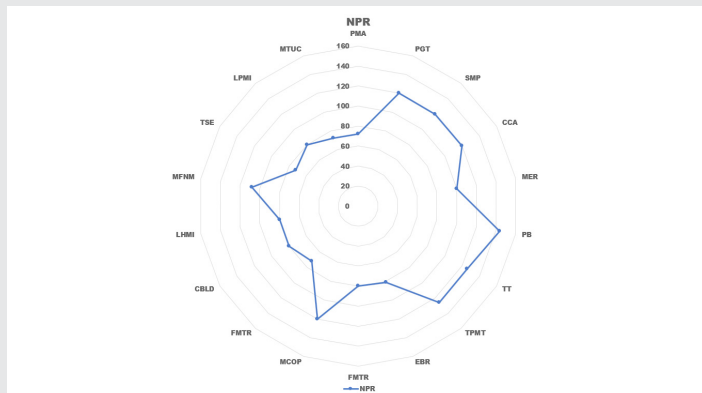


Figura 7. Cusas potenciales de fallo con mayor NPR. Fuente. Elaboración propia

La Figura 7, muestra que las operaciones con mayor índice NPR son las relacionadas a la temperatura del rodillo, velocidad del rodillo de la extrusora y la presión de la bomba. La Tabla 4 muestra la abreviatura de las operaciones con mayor NPR.

Prueba de hipótesis

Los resultados obtenidos en la prueba de hipótesis para los valores de la prueba de tensión manifestaron lo siguiente.

El análisis manifestó un valor de $P=0.396$. En este sentido, con base en la regla de decisión:

Sí $P > 0.05$, se acepta H_0

Sí $P < 0.05$, se rechaza H_0

Bajo esta premisa, el valor de $P=0.396$ es mayor que 0.05, por lo que es posible aceptar la hipótesis nula

$$H_0: \mu = 9000$$

En este sentido es posible mencionar que la media de la muestra de las probetas de lámina acrílica extruida obtenidos en la prueba de tensión son estadísticamente iguales a los valores establecidos internacionalmente por [9].

Tabla 4. Abreviatura de causas potenciales de fallo.

WFuente. Elaboración propia.

Causas potenciales de la falla	Abreviatura
Polución y condiciones de almacenamiento de la materia prima.	PMA
Problema generado por temperatura inadecuada en el proceso.	PGT
Sobrealimentación de materia prima a extrusor.	SMP
Corto circuito, fallo de alimentación del motor (no recibe corriente eléctrica), rodamiento en mal estado.	CCA
Corto circuito, humedad, mal estado de rodamientos.	MER
Presión de bomba	PB
Temperatura de tornillo. RMP de tornillo.	TT TPMT
Corto circuito, eje bloqueado por rodamientos dañados.	EBR
Falta de aceite en moto-reductor.	FMTR
Exceso de cargas abrasivas y malas condiciones de operación.	MCOP
Falla en bomba de alimentador de polímeros.	FMTR
Calibrado en boquilla y labios de dado.	CBLD
Limpieza de partes delicadas con herramienta y material inadecuado para el equipo.	LHMI
Material fundido durante flujo a través del dado tiende a no moverse en los extremos y en el centro fluye rápidamente. Alto esfuerzo local excede un valor crítico.	MFNM
Temperatura de sistemas de enfriamiento.	TSE
Limpieza de partes delicadas con herramienta y materia inadecuado para el equipo.	LPMI
Se realizó movimiento de tornillos para el ajuste de movimiento transversal durante la posición de corte de la sierra.	MTUC

Análisis de Varianza

En el análisis de varianza se pudo observar un valor $P=0.000$, por tanto, con base en la regla de decisión:

Sí $P > 0.05$, se acepta H_0

Sí $P < 0.05$, se rechaza H_0

Se puede observar que el valor $P=0.00$ es menor que el nivel de significancia por lo que no se acepta la hipótesis nula aceptando la hipótesis alterna:

H₁: El grado de dureza de láminas es diferente

El análisis también manifestó un valor $R^2=76.22\%$ y un $R^2(\text{pred})=62.84\%$ lo que significa que el modelo se ajusta en un 76.22% y que tiene un índice de predicción en respuestas de 62.84%. En este sentido, el valor recomendable es cercano a 100, sin embargo, se puede decir que tiene un nivel de ajuste y predicción aceptable. El análisis también demostró el valor promedio de dureza de cada tipo de combinación, así como el valor mínimo y máximo en el que se pueden encontrar dichos valores, Figura 8.

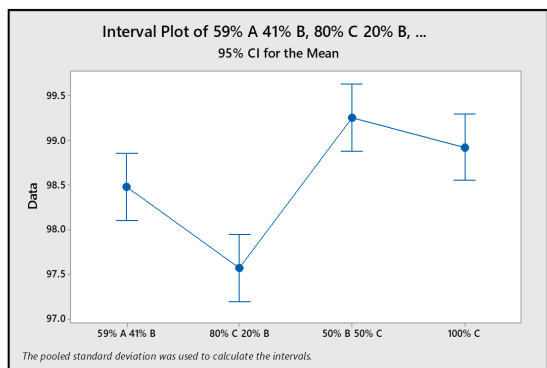


Figura 8. Intervalos de confianza y valor medio de dureza de lámina acrílica extruida.

Fuente. Elaboración propia en Minitab.

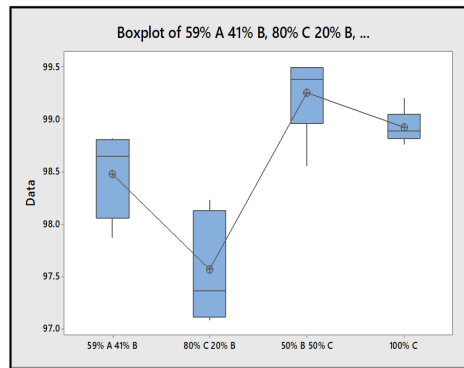


Figura 10. Diagrama de boxplot lámina acrílica. Fuente. Elaboración propia en Minitab.

Es importante mencionar que en este caso para las representaciones gráficas la letra A representa Brasil, la letra B representa China y la letra C representa la India. Siguiendo este orden de ideas, y como complemento para el ANOVA se realizó un análisis con base en la prueba Tukey para realizar todas las posibles comparaciones de tratamientos de dos en dos, en otras palabras; las pruebas que no comparten letra se consideran que son significativamente diferentes entre sí.

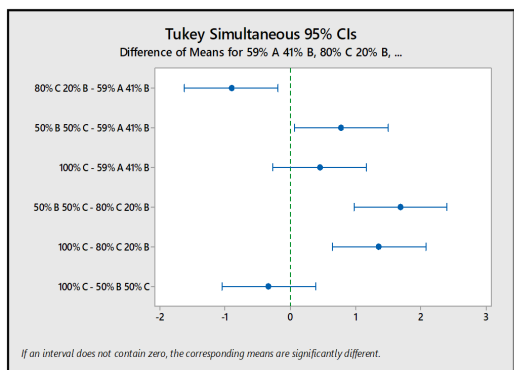


Figura 9. Método de comparación de Tukey. Fuente. Elaboración propia en Minitab.

El diagrama del método Tukey mostrado en la Figura 9 manifiesta que los valores que se visualicen a la izquierda de la línea verde (valor 0) presentan diferencias significativas en su rendimiento de dureza. Por otro lado, visualizar cual lámina acrílica extruida tiene un mayor rendimiento se utilizó un diagrama de boxplot como se muestra en la Figura 10.

Finalmente, el análisis se complementó con métodos gráficos de normalidad mostrado en la Figura 11.

En este sentido, la prueba de normalidad dentro del ANOVA de lámina acrílica extruida demuestra el comportamiento de los datos para evaluar la confiabilidad del modelo de análisis desarrollado.

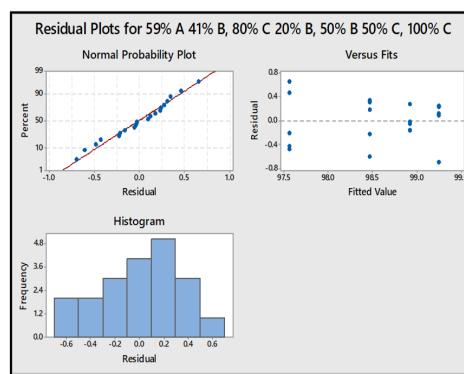


Figura 11. Normalidad de datos.

Fuente. Elaboración propia en Minitab.

CONCLUSIONES

La prueba de hipótesis demostró que la media muestral de valor de resistencia en psi de probetas de lámina acrílica extruida obtuvo un valor de $P=0.396$ que es mayor al valor de significancia por lo que fue posible aceptar la hipótesis nula y poder concluir que el valor del punto de flexión en psi en probetas de lámina acrílica extruida es estadísticamente igual al valor de flexión estandarizado por la [9], lo que se traduce que la calidad de lámina acrílica extruida cumple con la calidad especificada internacionalmente.

Finalmente, el análisis de varianza demostró que las láminas analizadas compuestas de diferente materia de PMMA, al menos una tiene un rendimiento diferente a las demás. A su vez, el análisis demostró que el modelo se ajusta a los datos en 76.22% y que tiene capacidad de predicción del comportamiento de los datos de 62.84%. El análisis estadístico expuso que la dureza promedio de las 4 combinaciones de PMMA se mantiene arriba de 97% con un intervalo de confianza de 97.195-98.851. Por otro lado, el método de comparación de Tukey manifestó que las láminas que no comparten similitud en su dureza son: 80% India 20% China contra 59% Brasil 41% China, de igual manera, 100% India

contra 50% China 50% India. En este orden de ideas, la gráfica de boxplot mostró que combinación de PMMA tiene mejor rendimiento siendo esta la lámina acrílica extruida con 50% PMMA de China y 50% PMMA de India. Finalmente, el análisis demostró mediante la prueba de normalidad con los gráficos "Normal Probability Plot" y "Histogram" así como "Versus Fits" se observó comportamiento normal en los datos por tanto fue posible concluir que los datos son considerados normales dando peso a la confiabilidad de la prueba.

Al finalizar el desarrollo del AMEF del proceso de extrusión de lámina acrílica y de los análisis estadísticos para seguir desarrollando la cultura de mejora continua se sugiere desarrollar métodos de filosofía Lean Manufacturing, de modo que a través del tiempo puedan desarrollarse todas las actividades bajo esta filosofía. Se recomienda:

1. Elaboración, planteamiento y análisis de distribución de planta "Layout" para evitar el cruce de procesos en distintas etapas y la reducción de movimientos dentro de los mismos.

2. Creación de planes de acción, para la ejecución de Kaizen en la planta de extrusión de lámina acrílica, entre las estrategias considerar el análisis de VSM (Value Stream Mapping).

3. Implementación de un sistema que esté enfocado en llegar a tener lugares de trabajo más organizados, ordenados y limpios logrando la mayor productividad por medio de las 5 S' (Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu y Shitsuke).

4. Preparación del método SMED a través de alistamiento de consumo de materia prima por día para lograr la reducción de los desperdicios en las herramientas a utilizar en la producción, clasificación de operarios para asignación de tareas y capacitación a los operarios, así como, el alistamiento de equipo y maquinaria.

5. Preparación de TPM como un conjunto de acciones encaminadas al mantenimiento para permitir eliminar las pérdidas por tiempos de paradas no programadas del equipo, con esto se logra un mejor control de las operaciones, mejorar la fiabilidad y disponibilidad de los equipos, reducción en costos de mantenimiento.

Es importante que la empresa mantenga en uso todas las estrategias aquí planteadas para mejorar en todos los aspectos, el uso de los formatos como de auditoría de las 5 eses y de alistamiento de consumo de materias primas al día (SMED), así como la colocación de ayudas visuales con operaciones clave en el proceso de extrusión; propender la implementación de un proceso de capacitación para sus operarios que le garantice la correcta manipulación de las materias primas, los productos a reprocesar, y estandarizar el proceso de almacenamiento y transporte de materias primas con el fin de garantizar que las mismas al entrar en el proceso productivo tengan todos sus atributos físicos químicos en óptimas condiciones. Con esto se hará más

fácil la retroalimentación de los operarios y evaluar las lecciones aprendidas para evitar los mismos errores.

En la medida de lo posible realizar la implementación de CPC mecánica (compuesto comercial de purga) con el fin de optimizar el proceso de purga efectuado al momento de cambiar de producto a fabricar, lo que disminuirá el riesgo de la no conformidad de contaminado y a su vez reduce los tiempos de alistamiento de la máquina.

BIBLIOGRAFIA

[1] M. Maya-Carillo, A. Vallejo-Villareal, V. Ramos, and B. Laborde, "Organizational Culture and Innovation in the Companies," *CienciaAmerica*, vol. 8, p. 19, 2018, doi: <http://dx.doi.org/10.33210/ca.v8i2.215>.

[2] C. Ynzunza-Cortés, J. Izarl-Landeta, and J. Boccardo, "El entorno de la industria 4.0: Implicaciones y perspectivas futuras," *Concienc. Tecnológica*, vol. 54, no. 1405- 5597, pp. 33-45, 2017.

[3] H. Hernández-palma, I. Barrios-Parejo, and D. Martínez-Sierra, "Gestión de la calidad: elemento clave para el desarrollo de las organizaciones," *Criterio Libr.*, vol. 16, no. 28, pp. 169-185, 2018, doi: [10.18041/1900-0642/criteriolibre.2018v16n28.2130](https://doi.org/10.18041/1900-0642/criteriolibre.2018v16n28.2130).

[4] F. L. Cruz Medina, A. D. P. López Díaz, and C. Ruiz Cardenas, "Management system ISO 9001-2015: techniques and tools of quality engineering for the implementation," *Ing. Investig. y Desarro.*, vol. 17, no. 1, pp. 59-69, 2017, doi: [10.19053/1900771x.v17.n1.2017.5306](https://doi.org/10.19053/1900771x.v17.n1.2017.5306).

[5] R. Carriel, C. Barros, and F. Fernández, "Sistema de gestión y control de la calidad: Norma ISO 9001:2015," *Rev. científica mundo la Investig. y el Conoc.*, vol. 2, no. 1, pp. 625-644, 2018, doi: [10.26820/recimundo/2.1.2018.625-644](https://doi.org/10.26820/recimundo/2.1.2018.625-644).

[6] AIAG, *Análisis de Modo y Efecto de Falla Potenciales*, First Edit., vol. First Edit. 2019.

[7] J. A. Silva-Damian and G. M. Zelada-García, "Universidad Ricardo Palma Facultad De Medicina Humana," *Universidad Ricardo Palma*, 2018.

[8] D. Luna-Salazar, M. Mosquera, N. Suarez- Muñoz, and C. Mendoza, "Importance of the FMEA tool in industrial processes," *UnividaFup.Edu.Co*. 2019.

[9] ASTM INTERNATIONAL, "Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials. D790," *Annu. B. ASTM Stand.*, pp. 1-12, 2002.

[10] ISO 9001, "Norma Internacional ISO 9001 Sistemas de gestión de la calidad," *Norma Int.*, vol. Quinta Edi, p. 29, 2015.

[11] ANSI, "American National Standards Institute: Standard Flowchart Symbols," 2020.

[12] R. M. Astonitas-Castillo and M. R. León- Perfecto, "Marco teórico para el diagnóstico y propuesta de mejora de procesos administrativos en una entidad pública utilizando herramientas de Lean Service.," Pontificia Universidad Católica del Perú, 2020.

[13] C. R. Canales-Silva and E. Vidal-Pérez, "Plan de mantenimiento en formato 5W+1H, de la metodología TPM, en la máquina tapadora Izquierda, Angelus 60L, según las estrategias de mantenimiento de Nestle.," Universidad Técnica Federico Santa María, 2018.

[14] J. del C. Ovalles Acosta, V. Gisbert Soler, and A. I. Pérez Molina, "Herramientas Para El Análisis De Causa Raíz (Acr)," 3C Empres. Investig. y Pensam. crítico, vol. 6, no. 5, pp. 1-9, 2017, doi: 10.17993/3cemp.2017.especial.1-9.

[15] S. Bernal Romero and D. F. Niño Sanabria, "Modelo Multicriterio Aplicado a la Toma de Decisiones representables en Diagramas de Ishikawa," Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2018.

[16] D. A. Aguirre-Ibarra, A. Vela-Aceves, R. I. Sánchez-Hernández, and R. K. Delgado- Herrera, "Evaluación del diagrama de Ishikawa por medio del algoritmo difuso DEMATEL," Researchgates, 2017.

[17] I. R. Levin and S. D. Rubin, *Estadística para Administración y Economía*, Séptima Ed. Naucalpan de Juárez, Estado de México: Pearson Educación de México, S.A. de C.V., 2010.

[18] R. E. . Walpole, R. H. . Myers, S. L. . Myers, and K. Ye, *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias*, Novena Ed., vol. 7th Ed. México: Editorial Pearson Educación de México, S.A. de C.V., 2008.

[19] S. R. . Murray and S. J. Larry, *Estadística*, Cuarta ed. Ciudad de México: McGRAW- HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V., 2009.

[20] C. L. Lincon, *Estadística para las Ciencias Administrativas*, Tercera Ed. Bogotá, Colombia: Editorial McGRAW-HILL, 1993.