

**MÉTODO ESTRUCTURADO PARA EL AJUSTE DE LAS VARIABLES  
CRÍTICAS EN LA LÍNEA DE LAMINACIÓN CONTINUA EN  
POLIÉSTER REFORZADO CON FIBRA DE VIDRIO.**

**LUIS DANIEL ARÉVALO CERVANTES**

**Universidad de La Sabana  
Escuela Internacional de Ciencias Económicas y Administrativas  
Chía, Colombia  
2023**

**MÉTODO ESTRUCTURADO PARA EL AJUSTE DE LAS VARIABLES  
CRÍTICAS EN LA LÍNEA DE LAMINACIÓN CONTINUA EN  
POLIÉSTER REFORZADO CON FIBRA DE VIDRIO.**

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para obtener el título de

**MAGÍSTER EN GERENCIA DE OPERACIONES**  
(Modalidad de Profundización)

LUIS DANIEL ARÉVALO CERVANTES

Director

LUIS ALFREDO PAIPA GALEANO, MSc., PhD.

Universidad de La Sabana

Escuela Internacional de Ciencias Económicas y Administrativas

Chía, Colombia

2023

**Resumen:**

La competitividad en la industria requiere que las compañías implementen metodologías vigentes que conectan tres ejes centrales: la eficacia, la eficiencia y el mejoramiento continuo. Para este caso se plantea el diseño de un método que permita a la compañía incrementar la productividad de su línea de fabricación de cubiertas en poliéster reforzado con fibra de vidrio. Para este fin se utilizarán metodologías que permitan identificar la estabilidad del proceso y su grado de estandarización, así como las variables críticas de éxito, logrando establecer el método estructurado que armonice las decisiones en el ajuste inicial de los equipos y durante el proceso productivo.

**Palabras clave:** Toma de decisiones; Método estructurado; Manufactura; manufactura esbelta; Sistemas de control; excelencia operacional.

**Abstract:**

Competitiveness in the industry requires that companies implement current methodologies that connect three central axes: effectiveness, efficiency, and continuous improvement. In this case, we propose the design of a method that allows the company to increase the productivity of its Fiberglass reinforced plastic roofing manufacturing line. For this purpose, methodologies will be used to identify the stability of the process and its degree of standardization, as well as the critical variables of success, establishing a structured method that harmonizes the decisions in the initial adjustment of the equipment and during the production process.

**Key words:** Decision making; Structured approach; Manufacturing; Lean manufacturing; Control systems; Operational excellence.

## TABLA DE CONTENIDO

GLOSARIO .....	7
ACRÓNIMOS.....	8
1. INTRODUCCIÓN .....	9
1.1. Planteamiento del problema.....	10
1.2. Pregunta de investigación .....	13
1.3. Objetivo general.....	13
1.3.1. Objetivos específicos .....	13
1.4. Justificación y alcance. ....	14
2. REVISIÓN DE LA LITERATURA .....	15
2.1. Pilares de la productividad.....	17
2.1.1. Metodologías y técnicas para la gestión de los pilares de la productividad.....	18
2.1.1.1. Análisis de la estabilidad y la capacidad de procesos. ....	19
2.1.1.2. Gráficos de control para el estudio de la estabilidad y capacidad de los procesos. ....	23
2.1.1.3 Metodologías para la estandarización de procesos y procedimientos.....	24
2.1.1.4 Metodologías para el mejoramiento continuo de los sistemas productivos .....	26
Rediseño de procesos .....	27
a) <i>Lean Manufacturing</i> .....	28
b) <i>Six Sigma</i> .....	29
c) <i>Business Process Improvement</i> .....	30
3. DISEÑO METODOLÓGICO.....	34
4. RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
4.1. Definición del defecto a intervenir que genera producto no conforme.....	38
4.2 Análisis de causas sobre los defectos del Pareto.....	39
4.2.1 Análisis causa-efecto ampollamiento de papel. ....	39
4.2.2 Análisis para el defecto burbujas en el laminado.....	40
4.2.3 Análisis para el defecto deformación de laminado. ....	42
4.2 Análisis del proceso basado en variables asociadas al defecto de ampollamiento sobre el papel.	44
4.3 Estado inicial del proceso. ....	47
4.4.1 Análisis de Y vs X's.....	49
4.4.1.1. Análisis de Y vs X's: temperatura exotérmica vs temperatura en Z1.....	50

4.4.1.2 Análisis de Y vs X's: temperatura exotérmica vs temperatura en Z2 .....	51
4.4.1.3 Análisis de Y vs X's: temperatura exotérmica vs velocidad de trabajo.....	52
4.4.1.4 Análisis de Y vs X's: temperatura exotérmica vs % de catalizador.....	53
4.4.1.5 Análisis de Y vs X's: temperatura exotérmica vs temperatura ambiental .....	54
4.5. <i>Settings</i> para el proceso.....	55
4.6. Análisis de estabilidad del proceso (situación inicial). .....	55
4.7. Implementación de mejoras y control de proceso en el tiempo. ....	57
4.7.1 Análisis de estabilidad de proceso (situación luego de aplicación de mejoras sugeridas)..	60
4.8. Comparativo entre el proceso en la situación inicial y el proceso con la mejora implementada. ...	62
4.8.1. Recursos requeridos para la implementación del proyecto.....	63
4.9. Herramienta para el control y la estandarización de las variables críticas del proceso.....	64
4.10 Resultados en la reducción de costos.....	66
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	67
REFERENCIAS.....	70
ANEXOS .....	75
ANEXO 1.....	75
Procedimiento para el ajuste de variables críticas de la línea de proceso continuo. ....	75

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Variables de ajuste del proceso de laminación continua.....	11
Tabla 2. Concepto de desperdicio, cantidad y costo. ....	14
Tabla 3. Pilares de la productividad y sus metodologías o técnicas de aplicación .....	18
Tabla 4. Definición de los enfoques sobre el mejoramiento continuo .....	27
Tabla 5. Pasos planteados en el diseño metodológico. ....	36
Tabla 6. Variables Estandarizadas en el Proceso asociadas al defecto Ampollamiento de papel.....	40
Tabla 7. Variables Estandarizadas en el Proceso asociadas al defecto burbujas laminado.....	41
Tabla 8. Variables Estandarizadas en el Proceso asociadas al defecto de deformación. ....	44
Tabla 9. Listado de variables “estándares” del proceso de laminación continua.....	45
Tabla 10. <i>Settings</i> planteados para el proceso.....	55
Tabla 11. Parámetros utilizados para el desarrollo de los gráficos de control. ....	55
Tabla 12. Análisis 5M durante el desarrollo del diagnóstico con gráficos de control. ....	57
Tabla 13. Resumen de análisis estadístico comparativo sobre la Temperatura exotérmica inicial vs Temperatura exotérmica mejorada.....	62
Tabla 14. Resumen de análisis estadístico comparativo condición inicial vs condición con mejoras.....	63
Tabla 15. Costos asociados a la implementación del proyecto. ....	63
Tabla 16. Cronograma del proyecto.....	63

## LISTA DE FIGURAS

Ilustración 1. Objetivos Estratégicos, pilar de excelencia operacional 2020 de la compañía.....	9
Ilustración 2. Diagrama de flujo proceso de laminación continua de la compañía.....	10
Ilustración 3. Análisis de Causa-efecto defecto Ampollamiento.....	12
Ilustración 4. Definición de los Pilares de la productividad.....	18
Ilustración 5. Límites de tolerancia naturales desde la perspectiva $6\sigma$ .....	20
Ilustración 6. Límites de especificación.....	20
Ilustración 7. Variabilidad de un proceso desde la perspectiva de las 6M.....	21
Ilustración 8. Casos de interpretación de la capacidad de procesos.....	21
Ilustración 9. Capacidad potencial y capacidad real.....	22
Ilustración 10. Gráficos de control de los promedios y los rangos.....	23
Ilustración 11. Pasos para la construcción del análisis a través de gráficos de control.....	24
Ilustración 12. Metodologías para la estandarización y documentación de proceso.....	25
Ilustración 13. Enfoques sobre el mejoramiento continuo.....	26
Ilustración 14. Metodologías para la estandarización de procesos.....	30
Ilustración 15. Pasos para la mejora de los procesos.....	31
Ilustración 16. Comparativo entre técnicas y metodologías a partir de los pilares de la productividad.....	32
Ilustración 17. Diagrama sobre el proceso metodológico.....	37
Ilustración 18. Diagrama de Pareto clasificación de defectos.....	38
Ilustración 19. Análisis Causa-efecto para el Ampollamiento papel.....	39
Ilustración 20. Análisis 5 W para el defecto Ampollamiento papel.....	40
Ilustración 21. Análisis Causa-efecto Defecto burbujas en laminado.....	41
Ilustración 22. Análisis 5 W para el defecto Ampollamiento papel.....	41
Ilustración 23. Análisis Causa-efecto y 5W Defecto Deformación de producto terminado.....	42
Ilustración 24. Análisis 5 W para el defecto Ampollamiento papel.....	43
Ilustración 25. Diagrama de flujo de proceso y variables críticas línea de laminación continua.....	46
Ilustración 26. Grafica de probabilidad de temperatura exotérmica línea base.....	47
Ilustración 27. Informe estadístico resumen de la Temperatura Exotérmica línea base.....	48
Ilustración 28. Informe estadístico de capacidad de proceso respecto de la Temperatura Exotérmica línea base.....	49
Ilustración 29. Grafica de dispersión de temperatura exotérmica vs temperatura set Z1.....	50
Ilustración 30. Grafica de dispersión de temperatura exotérmica vs temperatura set Z2.....	51
Ilustración 31. Grafica de dispersión de temperatura exotérmica vs velocidad de trabajo.....	52

Ilustración 32. Grafica de dispersión de temperatura exotérmica vs porcentaje de catalización.....	53
Ilustración 33. Grafica de dispersión de temperatura exotérmica vs temperatura ambiental.....	54
Ilustración 34. Gráfico R variable pico exotérmico turno de producción del 28 de abril de 2022 .....	56
Ilustración 35. Gráfico R variable pico exotérmico turno de producción del 28 de abril de 2022 .....	56
Ilustración 36. Gráfico de probabilidad de temperatura exotérmica luego de generados las mejoras al proceso. ....	58
Ilustración 37. Informe estadístico resumen temperatura exotérmica luego de generadas las mejoras al proceso. ....	59
Ilustración 38. Informe estadístico resumen temperatura exotérmica luego de generadas las mejoras al proceso. ....	60
Ilustración 39. Gráfico de R sobre la temperatura exotérmica luego de generadas las mejoras sobre el proceso. ....	61
Ilustración 40. Gráfico de X sobre la temperatura exotérmica luego de generadas las mejoras sobre el proceso. ....	61
Ilustración 41. Gráfico de caja de temperatura exotérmica inicial vs temperatura exotérmica mejorada...	62
Ilustración 42. Pantalla principal del Aplicativo de ajuste de variables críticas de la línea de producción.	65
Ilustración 43. Gráfico de porcentaje de producto no conforme 2022.....	66
Ilustración 44. Gráfico de Producto no conforme en pesos 2022. ....	66
Ilustración 45. Procedimiento <i>SIPOC</i> para el ajuste de variables críticas de la línea de proceso continuo. ....	75
Ilustración 46. Imagen de acceso sobre el aplicativo en PC. ....	76
Ilustración 47. Imagen de acceso sobre el aplicativo en PC .....	76
Ilustración 48. Imagen de acceso sobre el aplicativo en PC .....	77
Ilustración 49. Imagen de acceso sobre el aplicativo en PC .....	77
Ilustración 50. Imagen de acceso sobre el aplicativo en PC. ....	78
Ilustración 51. Imagen de acceso sobre el aplicativo en PC. ....	78



## GLOSARIO

Incluya esta página sólo si es necesario. Ordene los términos en orden alfabético.

Término	Significado
Poliéster Reforzado Con Fibra de Vidrio	Material compuesto, formado por una matriz de polímero y un refuerzo estructural en fibra de vidrio
Laminación continua	Proceso que consiste en aplicar resina poliéster a una película PET desmoldeante para que luego impregne fibras de vidrio y posteriormente se realice el termoformado en una línea de producción continua.
Metiletilcetona	Sustancia química (peróxido) que permite el proceso de iniciación en la polimerización

## ACRÓNIMOS

Incluya esta página sólo si es necesario. Ordene las abreviaturas en orden alfabético.

Abreviatura	Significado
PRFV	Poliéster Reforzado con Fibra de Vidrio
SIPOC	<i>Suppliers Inputs Process Outputs Customers</i> (proveedores, entradas, proceso, salidas, clientes)

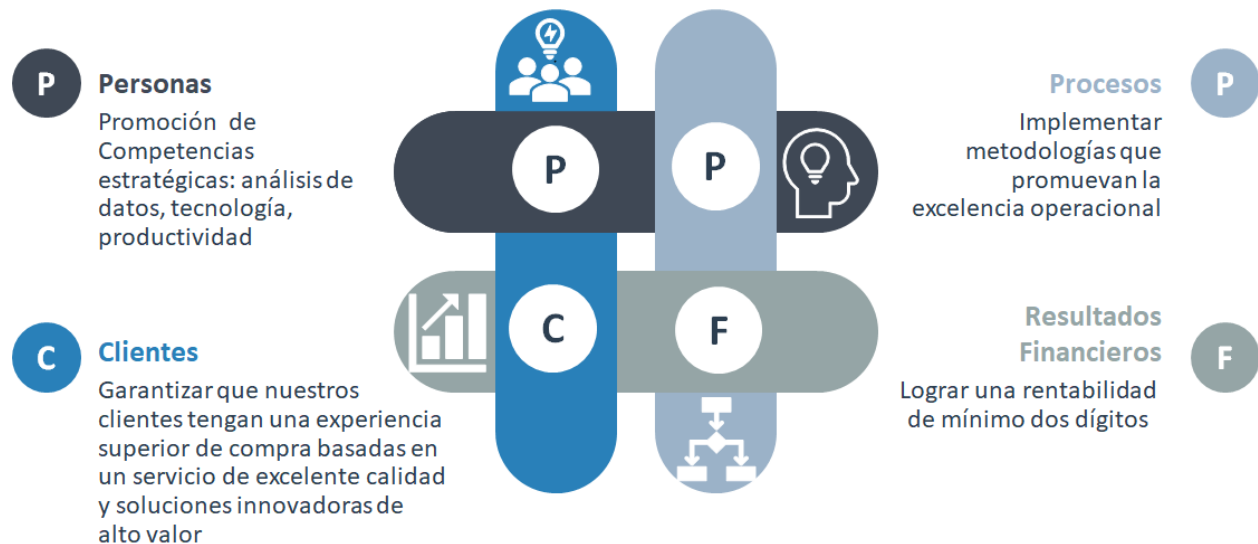
## 1. INTRODUCCIÓN

La industria en Colombia requiere del diseño de sistemas productivos que promuevan la competitividad para el mercado local e internacional. La búsqueda, diseño y aplicación de las mejores prácticas es un requisito para su crecimiento sostenible (Henríquez-Machado et al., 2021).

La compañía en la que se desarrolla este proyecto posee una trayectoria de 45 años en el mercado colombiano, diseñando, fabricando y comercializando productos laminados en poliéster reforzado con fibra de vidrio para el uso en cubiertas principalmente del sector industrial. Cuenta con una línea de laminación continua adquirida en 2018, desde donde se produce el 71% de los productos que ofrece al mercado.

En su plan estratégico de 2020 se estableció como lineamiento estratégico la “excelencia operacional”. Allí, se plantearon los objetivos que han mantenido el enfoque sobre el mejoramiento continuo de los procesos de la compañía, como se observa en la ilustración 1.

Ilustración 1. Objetivos Estratégicos, pilar de excelencia operacional 2020 de la compañía.



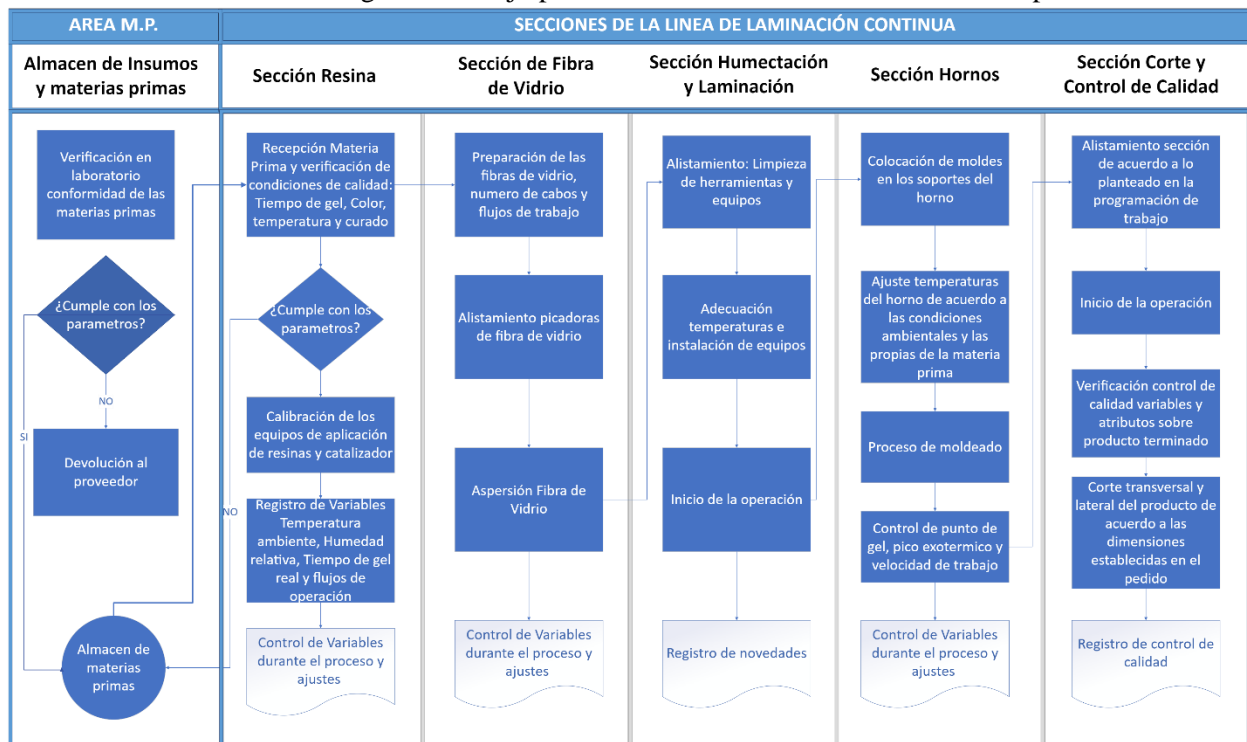
Nota: Información suministrada por la compañía.

Dentro del objetivo de implementar metodologías que promuevan la excelencia operacional, la compañía ejecutó un proyecto para la implementación del enfoque *Lean Manufacturing* en 2021. A la fecha, la empresa ha continuado con la implementación de actividades *Lean*, entre las que se destacan el análisis de causa raíz, *Kanban*, *Poka Yoke* y *Kaizen*, principalmente. Sin embargo, se evidencian problemas operativos que generan sobrecostos en la producción lo cuales representan hasta un 11% de producto no conforme, afectando los resultados económicos de la compañía. Así mismo, la generación de producto no conforme aumenta la probabilidad de reclamos de parte de sus clientes, lo que genera una afectación a la reputación de la compañía.

### 1.1. Planteamiento del problema

La línea de laminación continua está compuesta de 5 secciones en las que se procesa de manera secuencial las materias primas: resina poliéster, peróxido de Metiletilcetona, fibra de vidrio y *filme PET*. A continuación, se describen las etapas del proceso en la Ilustración 2.

Ilustración 2. Diagrama de flujo proceso de laminación continua de la compañía.



Nota: Flujograma creado luego de observar las actividades del proceso productivo de la compañía.

Las etapas dentro del sistema de producción son detalladas a continuación:

- La resina poliéster es conducida, a través de una bomba de lóbulos mecánica, desde el tanque de almacenamiento hasta el equipo donde es mezclado con peróxido con el fin de iniciar la reacción correspondiente del material. Para esta operación se utiliza un mezclador con aspas tipo *Cowles*.
- Posteriormente, se realiza la aplicación de la resina poliéster catalizada sobre la banda transportadora de la línea.
- Se realiza la aplicación de hilos de fibra de vidrio a lo ancho de la banda transportadora. La fibra de vidrio proporciona al compuesto un alto desempeño mecánico.
- Inicia el proceso de laminación colocando una película *PET* en la parte superior del producto en proceso. Luego, el material es ingresado a un horno eléctrico donde se encuentran ubicados previamente moldes en madera que generan el termoformado del producto.
- En el horno se polimeriza la resina poliéster y se logra la dureza requerida.
- Finalmente, el producto en proceso sale del horno y es cortado longitudinal y transversalmente de acuerdo con los requisitos del pedido del cliente. Se revisa por parte de control de calidad y se almacena en el sitio establecido.

La línea de producción es controlada por 7 operarios quienes verifican que todas las instancias del proceso se cumplan correctamente. Los operarios modifican continuamente las variables relacionadas a continuación:

Tabla 1. Variables de ajuste del proceso de laminación continua.

Sección	Variables
<b>Resina poliéster</b>	Temperatura de la resina poliéster Porcentaje de peróxido a utilizar Tiempo de gel de la resina poliéster (varía por lote de materia prima) Tiempo de curado de la resina Tipo de peróxido a utilizar
<b>Fibra</b>	Proporción y distribución.
<b>Hornos</b>	Temperaturas del horno de curado Velocidad de trabajo Temperatura ambiente (cambiante) Humedad relativa (cambiante)
<b>Corte</b>	Dureza shore D requerida Espesor del producto terminado

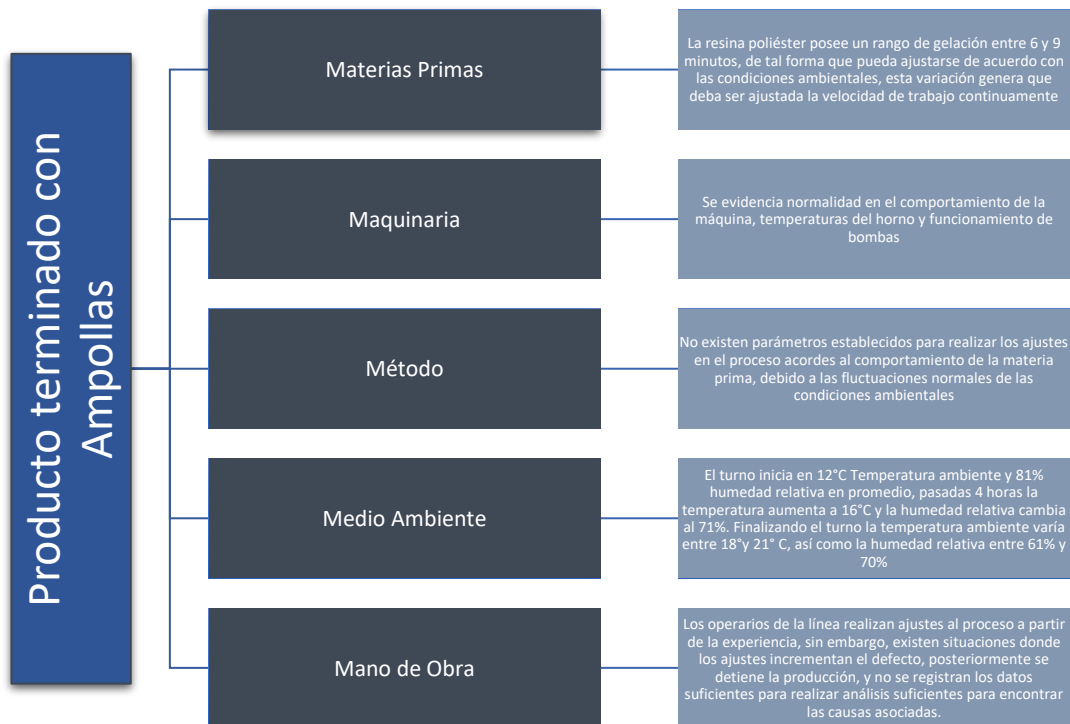
Fuente: Manual operativo de la compañía

La parametrización del proceso de producción se ve afectada por las condiciones ambientales. Debido a esto, las variables de operación en la máquina deben ser ajustadas continuamente para garantizar que el producto logre la conformidad requerida, de acuerdo con los estándares establecidos en la ficha técnica del producto terminado.

Los ajustes que se realizan al proceso por parte de los operadores están basados en la experiencia. Estos criterios han sido transmitidos entre las personas que han ocupado el cargo de líder de línea y no se cuenta con un método estructurado para definir los ajustes adecuados a las variables descritas anteriormente.

La carencia de criterios objetivos que permita el ajuste de las variables del proceso ha sido un obstáculo en el mejoramiento continuo del proceso de producción. Para ilustrar lo mencionado, se relaciona a continuación el análisis causa-efecto realizado para el defecto que genera el 35% de los metros lineales no conformes fabricados en el primer trimestre del año 2022.

Ilustración 3. Análisis de Causa-efecto defecto Ampollamiento.



Nota: Análisis generado durante ejercicio práctico y participación de personas que pertenecen al proceso de producción.

En el análisis se plantea la necesidad de profundizar en la interpretación adecuada del proceso a partir de la variabilidad de las condiciones ambientales dentro de un turno de producción, la variabilidad en el comportamiento de las materias primas y el método actual para la toma de decisiones por parte de los operarios, que está basado en la experiencia y no en el análisis de las variables críticas y su efecto en la conformidad del producto terminado.

### **1.2.Pregunta de investigación**

¿Cómo determinar la configuración adecuada de las variables críticas de operación, a través de un método estructurado, para reducir la variabilidad y la generación de producto no conforme de la línea de producción de laminación continua de poliéster reforzado con fibra de vidrio?

### **1.3.Objetivo general**

Diseñar un método estructurado, que establezca las condiciones de ajuste del proceso, para la reducción de la variabilidad de una línea de producción continua de laminados en PRFV<sup>1</sup>.

#### **1.3.1. Objetivos específicos**

- Identificar las variables del proceso de producción de laminación continua de PRFV<sup>2</sup>, con los rangos permitidos de trabajo para establecer la situación actual del proceso.
- Identificar las potenciales relaciones entre las variables identificadas y sus efectos sobre la conformidad del producto y la estabilidad del proceso.
- Establecer ajustes sobre los parámetros de producción o los criterios de decisión a partir del análisis de capacidad y estabilidad, con el fin de medir el impacto en la mejora del proceso de producción.
- Diseñar la herramienta que permita la visualización del *set up* mejorado de la línea de producción.

---

<sup>1</sup> PRFV: Poliéster Reforzado con Fibra de Vidrio

#### 1.4. Justificación y alcance.

En la línea de producción se generan productos no conformes los cuales son desechados y dispuestos como materiales peligrosos debido a que por su composición no es posible reutilizarlo o reciclarlo. La compañía tiene como objetivo estratégico desarrollar procesos y proyectos con los que se busque la reducción sostenida del producto no conforme a partir de la identificación de las causas y corrección efectiva de las mismas.

A continuación, se explican los riesgos que la compañía considera relevantes, asociados a la generación de producto no conforme:

- Afectación en los resultados económicos de la compañía a través del sobre costo que genera el producto no conforme. El costo de las materias primas se ha incrementado durante el 2022 en un 22% respecto del año 2021 y los sobre consumos asociados a desperdicios generan impactos significativos en el costo de ventas.
- Riesgos reputacionales para la compañía, debido a reclamaciones de parte de sus clientes por defectos generados y no detectados en el proceso de fabricación.

La compañía ha enfocado sus esfuerzos en la reducción del costo de producción. A continuación, en la tabla 2 se describe el costo del producto no conforme anualmente.

Tabla 2. Concepto de desperdicio, cantidad y costo.

Concepto	Porcentaje sobre el total de los kilogramos procesados	Costo año 2021	Metros Lineales No Conformes
Producto No Conforme	1,9%	\$ 237.870.966	7581,3

Fuente: Informe Interno de Resultados de la compañía Estados financieros 2021.

El costo de producto no conforme correspondió al 21% de las utilidades netas de la compañía del año 2021. De acuerdo con lo establecido anteriormente existe la necesidad de reducir el producto no conforme con el fin de mejorar resultados económicos de la compañía y por otra parte reducir el impacto ambiental a través de la disposición que se genera como residuo peligroso.



## 2. REVISIÓN DE LA LITERATURA

La calidad y la productividad son conceptos ampliamente desarrollados y estrechamente ligados, son objetivos mancomunados en la búsqueda de sistemas productivos, eficientes y rentables (Piñero & Vivas, 2018).

De acuerdo con Juran (1988), la conformidad de los requisitos y los estándares son los aspectos que miden la calidad. El mismo autor señala que la calidad se produce a partir de la conformidad de los procesos y sistemas utilizados para producirlos “libre de defectos o deficiencias”. La calidad es “una aptitud para el uso” y una “aptitud para satisfacer necesidades” lo que genera que el producto o servicio cumpla con las necesidades y expectativas del cliente de manera consistente (Juran, 1988).

Algo semejante plantea el célebre referente de la calidad Dr. William Edwards Deming, quien define la calidad como “la capacidad de un proceso o servicio para cumplir con las necesidades del cliente de manera consistente” y añade, que la calidad es una responsabilidad de toda la organización. También plantea que, para lograr una alta calidad debe acompañarse de un proceso continuo de mejoramiento (Deming, 2000). Para hacer sostenible la calidad en las empresas es importante garantizar el cumplimiento de los estándares de calidad con un enfoque colaborativo entre los clientes y los proveedores (Deming, 2000).

Por su parte, Crosby sostiene que la calidad es el resultado de una cultura organizacional orientada al cliente, por lo que debe integrar una promoción continua del mejoramiento de los procesos donde la comunicación y la colaboración entre los miembros de los equipos son fundamentales para lograr una calidad consistente (Crosby, 1980). De acuerdo con el mismo autor, la calidad también implica la ausencia de defectos en un producto o servicio, con ello se puede establecer que la calidad no es un costo adicional, por el contrario, es una inversión en la eficiencia y la satisfacción del cliente (Crosby, 1980).

De acuerdo con Ishikawa (1985), la calidad no es el cumplimiento de una sola característica relevante, sino que es el conjunto de características inherentes que cumplen con los requisitos. Estos requisitos son los que establece el cliente y por tanto es el sujeto quien valora la calidad de un producto o un servicio (Ishikawa & Lu, 1985). Además, Ishikawa enfatiza la importancia de la mejora continua en la obtención y mantenimiento de la calidad (Ishikawa & Lu, 1985).

Para darle cumplimiento a las expectativas de los clientes se debe establecer los tipos de requisitos que suelen clasificarse como requisitos funcionales, estéticos y los asociados al desempeño como la fiabilidad, la durabilidad y los propios al uso específico (Taguchi, 1986). Adicionalmente, Taguchi desarrolló un enfoque único para la medición de la calidad conocido como el método Taguchi. Este enfoque se centra en minimizar las variaciones en los productos o servicios mediante la identificación y control de las variables críticas del proceso (Taguchi, 1986).

Por otra parte, la productividad se entiende como la relación entre lo producido y los medios utilizados (Pulido & De la Vara Salazar, 2013). Por lo tanto, la productividad se mide mediante el cociente de los resultados logrados entre recursos empleados. Lo anterior implica el uso de técnicas científicas para analizar y mejorar los procesos de trabajo, con el objetivo de aumentar el resultado de dicho cociente (Taylor, 1998). Uno de los referentes Frederick Winslow Taylor, argumenta que la productividad se puede mejorar mediante la aplicación de principios científicos al diseño de los procesos de trabajo, la selección, formación del personal y la supervisión de la producción (Taylor, 1998).

Posteriormente, se añade al concepto de productividad, la capacidad de producir un producto o un servicio de alta calidad de forma eficiente y rentable, a partir del uso de técnicas de mejora continua, la eliminación de desperdicios (*mudas*) y el enfoque en la satisfacción del cliente (Liker, 2004).

La productividad también se establece como la capacidad de mejorar el uso de los recursos mediante la mejora de la calidad, lo que genera reducción de los costos (Goldratt, 1992). Goldratt argumenta que la productividad se puede mejorar mediante el uso de técnicas de "gestión de la

cadena de suministro" y "gestión de los procesos", con el objetivo de aumentar la eficiencia y la rentabilidad (Goldratt, 1992).

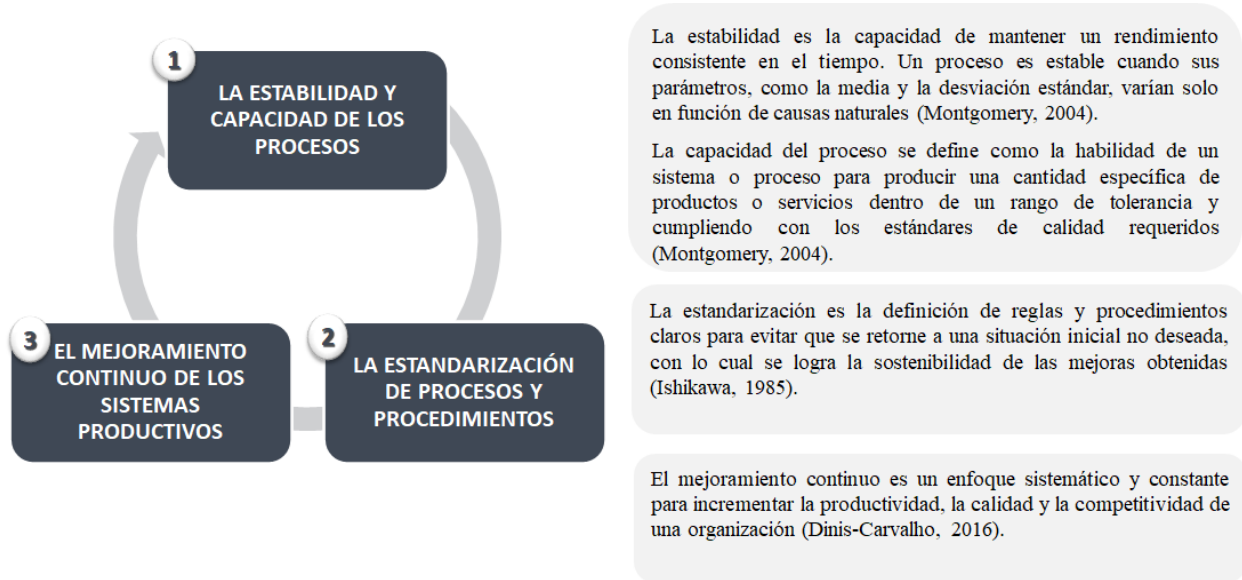
La productividad y la calidad permiten reducir y controlar la generación de los costos de la no calidad, los cuales crean consecuencias negativas para las compañías debido a las reparaciones sobre los productos defectuosos, costos asociados a las pérdidas de los clientes, costos derivados de reclamaciones y la mala reputación (Goldratt, 1992). También existen costos de la no calidad adicionales como los derivados del control de la calidad (detección de defectos), corrección de defectos y la pérdida de confianza de los clientes (Goetsch & Davis, 2015).

Se considera que “la productividad y la calidad son dos caras de la misma moneda” con lo cual se pueden incrementar las utilidades mientras se logra la lealtad de los clientes (Stoner, 1996). Con lo expuesto, se pone de manifiesto el vínculo entre la calidad y la productividad.

### **2.1. Pilares de la productividad.**

La gestión de la productividad reúne conceptos, metodologías y técnicas las cuales se pueden enmarcar en tres pilares: la estabilidad y capacidad de los procesos; la estandarización de procesos y procedimientos; y, el mejoramiento continuo de los sistemas productivos (EL-Khalil et al., 2020). A continuación, en la ilustración 4 se explican brevemente cada uno de los pilares mencionados.

Ilustración 4. Definición de los Pilares de la productividad.



Nota: Ilustración creada a partir de la investigación realizada.

### 2.1.1. Metodologías y técnicas para la gestión de los pilares de la productividad

La implementación de los pilares de la productividad en la industria supone la aplicación de metodologías y técnicas desarrolladas ampliamente. A continuación, en la Tabla 3 son mencionadas algunas de ellas.

Tabla 3. Pilares de la productividad y sus metodologías o técnicas de aplicación

Pilar de la productividad	Metodología/ Técnica
La estabilidad y capacidad de los procesos	Análisis de estabilidad y capacidad de procesos
	Gráficos de control
La estandarización de procesos y procedimientos	Métodos APPCC (Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control)
	<i>Standard Work (Lean Manufacturing)</i>
	Método DACUM ( <i>Developing A Curriculum</i> )
	Sistemas gestión de calidad (Normas ISO o Modelo EFQM)
El mejoramiento continuo de los sistemas productivos	Incremental o Kaizen
	Rediseño de procesos
	Reingeniería de Procesos
	<i>Lean Manufacturing</i>
	<i>Six Sigma</i>
	<i>Business Process Improvement</i>

Fuente: investigación realizada.

A continuación, se explica con mayor detalle las metodologías y técnicas que permiten gestionar cada uno de los pilares de la productividad.

### **2.1.1.1. Análisis de la estabilidad y la capacidad de procesos.**

El análisis de estabilidad y capacidad de un proceso es una parte fundamental del enfoque *Six Sigma*, que se utiliza para medir y mejorar la calidad de los procesos (Pulido & De la Vara Salazar, 2013). La estabilidad se refiere a la consistencia y previsibilidad de un proceso a lo largo del tiempo, mientras que la capacidad se refiere a la habilidad del proceso para producir productos o servicios dentro de las especificaciones establecidas.

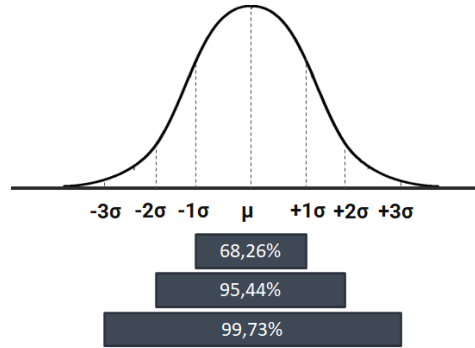
El primer paso en el análisis de estabilidad consiste en recopilar datos sobre el proceso a lo largo de un período de tiempo significativo. Estos datos pueden incluir mediciones de diferentes variables del proceso relacionadas con los atributos de calidad en el producto o servicio (Paipa-Galeano et al., 2020). Como herramienta para el análisis de la estabilidad se emplea el gráfico de control estadístico de procesos (CEP por sus siglas en inglés). El CEP es una gráfica que muestra la variación del proceso a lo largo del tiempo. Se calculan límites de control superior e inferior, que representan los límites dentro de los cuales el proceso se considera estable. Si los datos se encuentran dentro de estos límites y no muestran patrones o tendencias significativas, se puede considerar que el proceso es estable (Pulido & De la Vara Salazar, 2013). En caso de encontrar variación atribuible asociada con -inestabilidad del proceso, se debe identificar la causa raíz y mediante el ciclo de mejora PHVA generar el plan de acción y volver a evaluar la estabilidad del proceso (Paipa-Galeano et al., 2020).

Una vez que se ha logrado la estabilidad del proceso, se procede a analizar su capacidad. La capacidad de un proceso se refiere a su habilidad para producir productos o servicios que cumplan con las especificaciones establecidas por el cliente (Besterfield, 2009). La capacidad real de un proceso no se puede calcular sino hasta que las gráficas de control han logrado obtener la mejora óptima de la calidad sin la necesidad de hacer una considerable inversión en equipo nuevo o en adaptación de este (Pulido & De la Vara Salazar, 2013). Para evaluar la capacidad, se utilizan diferentes índices, lo cuales se describen más adelante.

Un análisis de estabilidad y capacidad requiere aplicar los siguientes conceptos:

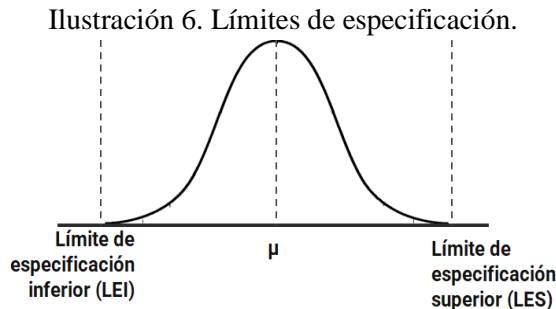
- a) Límites de tolerancia naturales bajo el criterio de *Six Sigma*: la ilustración 5 representa una función de la distribución de la variabilidad explicada a través de causas comunes, donde en el 99,73% los casos se encuentran dentro de la zona de variabilidad debido a causas comunes.

Ilustración 5. Límites de tolerancia naturales desde la perspectiva  $6\sigma$ .



Nota. Adaptado de Yepes Piqueras, V. (2013). *Repositorio Universidad Politécnica de Valencia*. <http://hdl.handle.net/10251/30562>

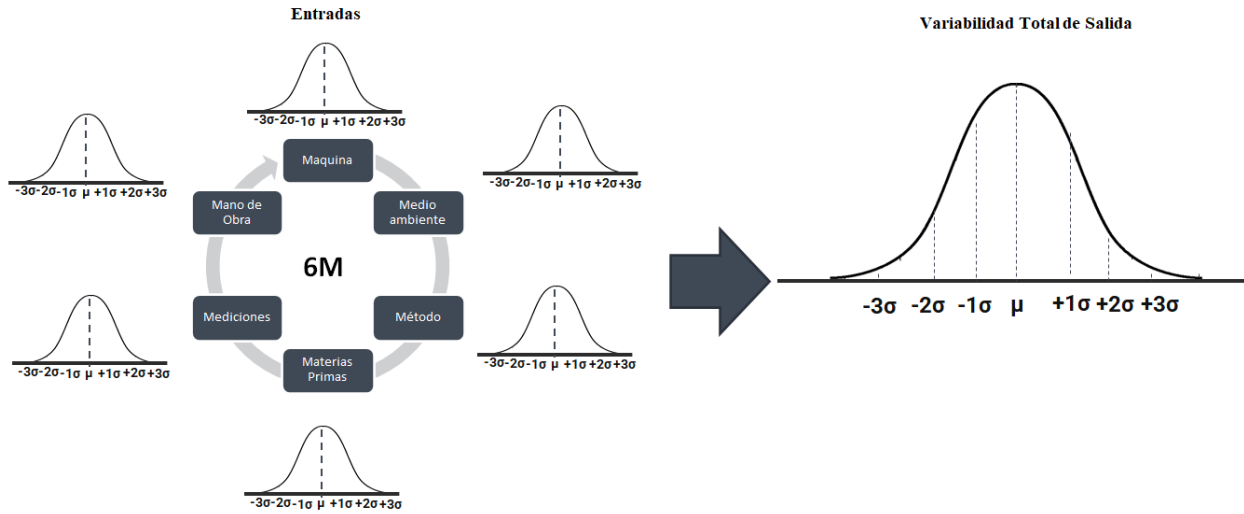
- b) Límites de especificación: son establecidos por el cliente, un fabricante o una norma y definen el cumplimiento de una especificación (Ilustración 6).



Nota. Adaptado de Yepes Piqueras, V. (2013). *Repositorio Universidad Politécnica de Valencia*. <http://hdl.handle.net/10251/30562>

- c) Análisis de estabilidad desde las entradas del proceso  $6M$ : la variabilidad de un proceso sucede durante su ejecución, es el resultado de la alteración o variación en cada una de las entradas del proceso como se observa en la ilustración 7. Por ello para analizar la estabilidad de un proceso es necesario identificar las causas de la variabilidad desde las entradas ( $6M$ ).

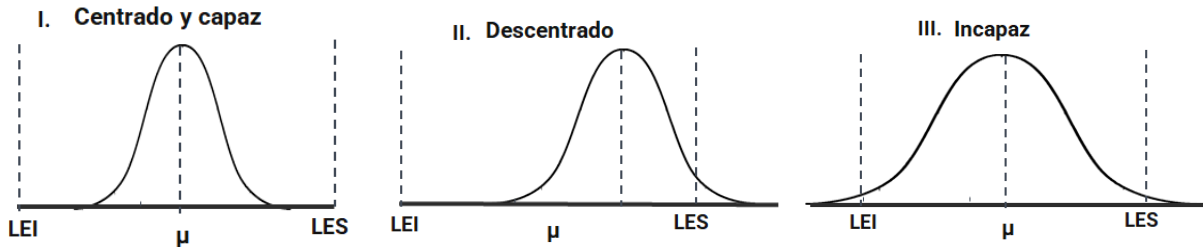
Ilustración 7. Variabilidad de un proceso desde la perspectiva de las 6M.



Nota. Adaptado de Pulido, H. G. (2010). *Calidad Total y Productividad*. México D.F.: *Mc Graw Hill*. Pág. 146. Todos los derechos reservados 2010 por *McGraw-Hill/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V*

- d) Interpretación de la capacidad de proceso: como se muestra en la ilustración 8, en el estado estable, en un primer caso, el proceso está centrado y cumple con las especificaciones; se dice que el proceso es capaz. En el segundo, se observa un descentramiento del proceso lo que genera un cumplimiento parcial de las especificaciones. En el último caso, el proceso es incapaz de cumplir con las especificaciones debido a la alta dispersión de los datos.

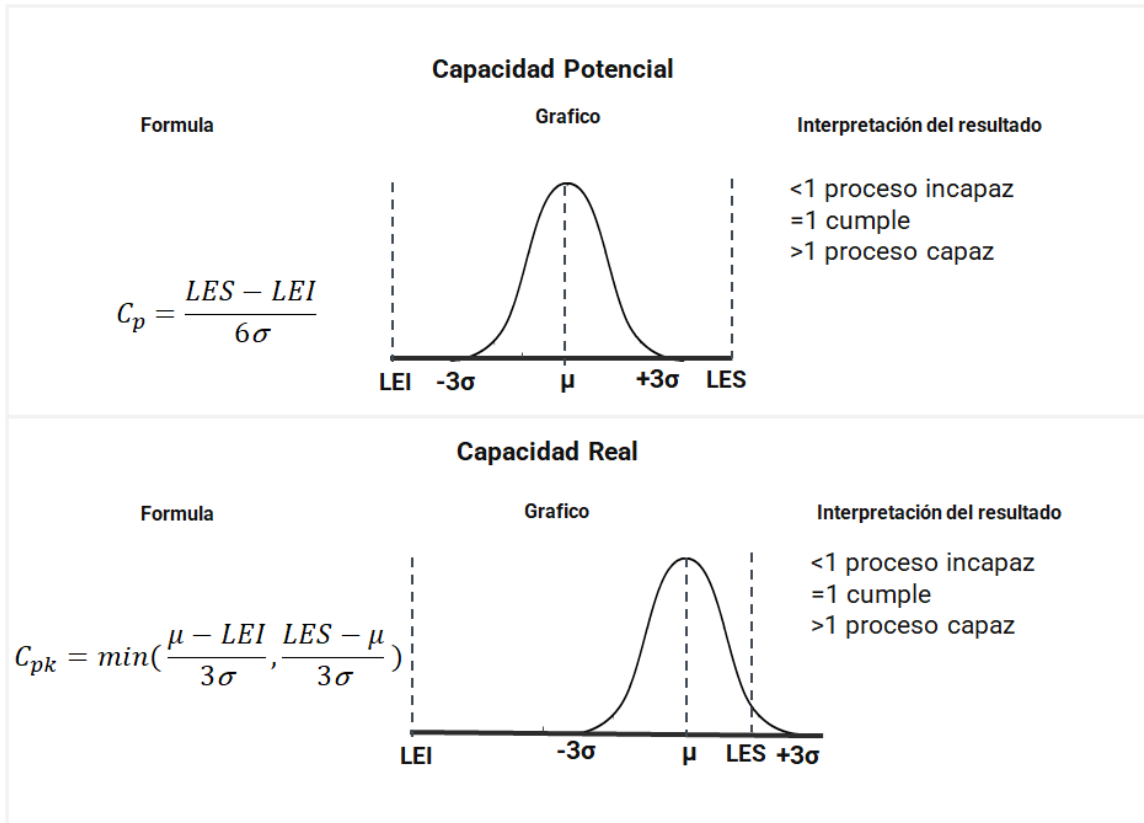
Ilustración 8. Casos de interpretación de la capacidad de procesos.



Nota. Adaptado de Yepes Piqueras, V. (2013). *Repositorio Universidad Politécnica de Valencia*. <http://hdl.handle.net/10251/30562>

e) Medición de la capacidad a través de los índices de capacidad: la capacidad potencial es el cociente entre la diferencia de la tolerancia superior e inferior y  $6\sigma$  en el estado estable. La capacidad real mide el rendimiento real del proceso que experimenta el cliente, es también conocida como capacidad de largo plazo (Pulido & De la Vara Salazar, 2013). Las fórmulas para el cálculo de la capacidad potencial y la capacidad real están expresadas en la ilustración 9.

Ilustración 9. Capacidad potencial y capacidad real.



Nota. Adaptado de Yepes Piqueras, V. (2013). *Repositorio Universidad Politécnica de Valencia*. <http://hdl.handle.net/10251/30562>

De lo anterior se puede concluir que la aplicación del estudio de capacidad de procesos permite establecer que:

- Cuando los procesos se encuentran bajo control se puede evidenciar estadísticamente una variabilidad por causas naturales (Montgomery, 2004).



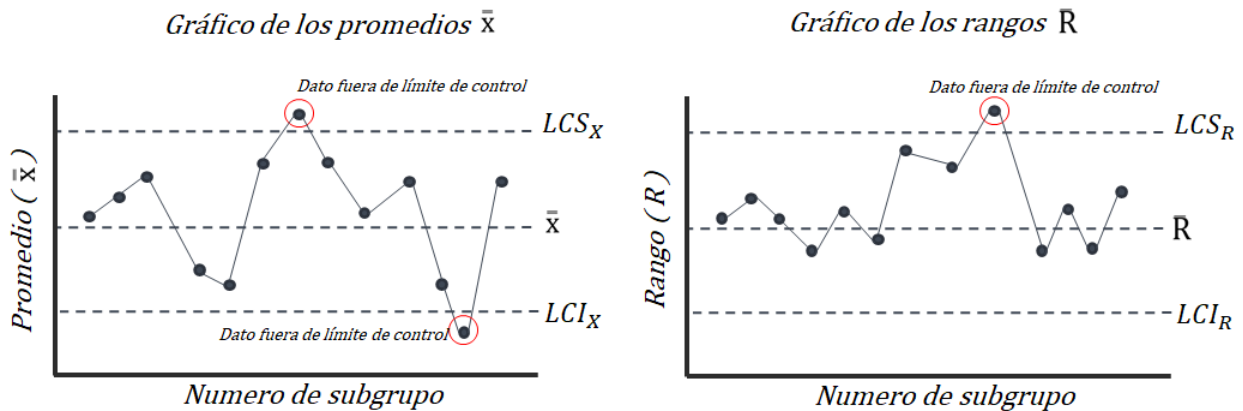
- Cuando un proceso no cumple con las especificaciones de calidad en ocasiones solamente es necesario centrarlo para cumplir con los requisitos (Besterfield, 2009).
- Cuando el proceso es incapaz debido a su variabilidad es necesario aplicar métodos o técnicas que permitan establecer cambios significativos al proceso (Yepes Piqueras, 2013).

### 2.1.1.2. Gráficos de control para el estudio de la estabilidad y capacidad de los procesos.

Los gráficos de control son una herramienta de análisis y representación de datos que indica cuando las variables observadas son mayores que las propias a la causalidad. Allí se representan las variaciones en la tendencia central y la dispersión de un conjunto de observaciones. Este registro gráfico muestra si el proceso está en un estado estable o no (Besterfield, 2009).

Existen dos formas de representar el comportamiento de los subconjuntos de datos. El primero, el gráfico  $\bar{x}$  que representa la variación del valor promedio de las muestras. El segundo, el gráfico R o S (rango o desviación estándar). Ambos gráficos permiten evaluar gráficamente la estabilidad del proceso a partir de la visualización de las diferencias entre los datos de cada subconjunto como se observa en la ilustración 10 (Montgomery, 2004).

Ilustración 10. Gráficos de control de los promedios y los rangos.



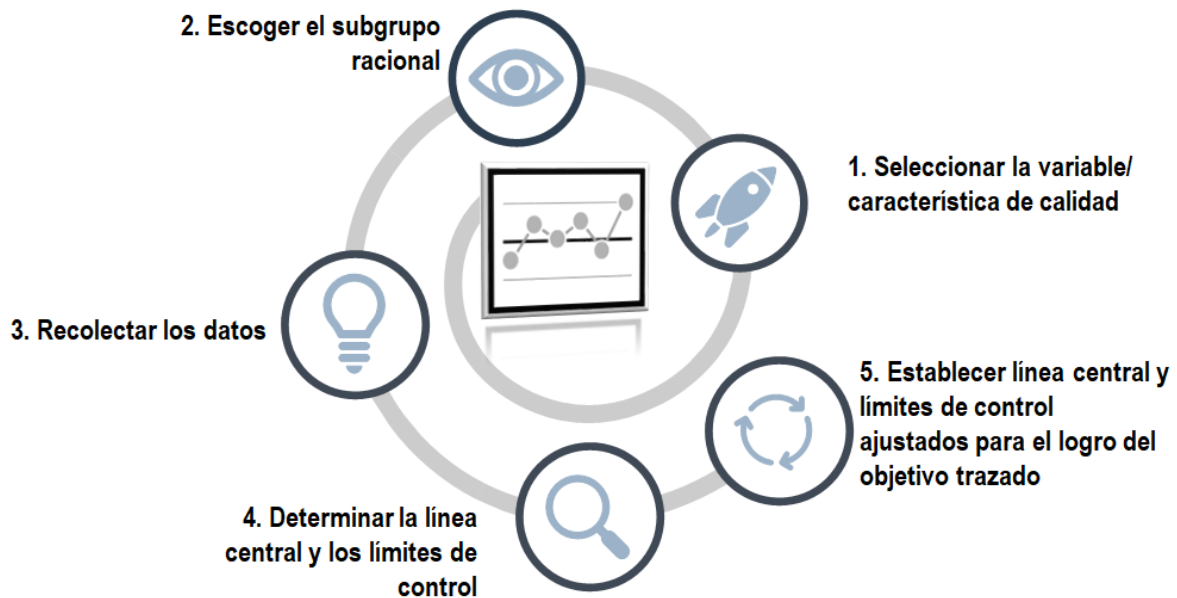
Nota. Adaptado de Besterfield, D. (2009). *Control de calidad*. México: Pearson Educación. Pág. 184. Todos los derechos reservados 2009 por Pearson Educación de México, S.A. de C.V.

La gráfica se construye a partir del registro de observaciones dentro de unos límites de control. Para el establecimiento de estos límites es necesario conocer el tamaño de la muestra (subgrupo)

racional) con el fin de establecer los factores para calcular las líneas centrales y los límites de control de  $3\sigma$  para las gráficas X y R/S. Los factores utilizados son: A2, D3, D4 y d2 (Soler & Gisbert, 2018).

Los pasos para la construcción del análisis a partir de los gráficos de control son:

Ilustración 11. Pasos para la construcción del análisis a través de gráficos de control.



Nota. Ilustración elaborada a partir del procedimiento establecido en Besterfield (2009).

En síntesis, los gráficos de control son una herramienta valiosa para la mejora continua y la gestión de la calidad en los procesos, dado que permiten identificar problemas y desviaciones para la toma de medidas correctivas antes que afecten significativamente la calidad de productos y procesos (Montgomery, 2004).

### **2.1.1.3 Metodologías para la estandarización de procesos y procedimientos.**

La estandarización de procesos y procedimientos se lleva a cabo mediante la documentación detallada de las tareas, las responsabilidades, las condiciones y los resultados esperados de un proceso (Ishikawa & Lu, 1985). La estandarización también implica la educación y la capacitación

de los trabajadores para la creación y ejecución de procedimientos estandarizados, así como la implementación de mecanismos para garantizar el cumplimiento (Ishikawa & Lu, 1985).

Existen varias metodologías que plantean la importancia de la estandarización de procesos y procedimientos a través de la documentación de estos. Algunas de ellas se mencionan en la Ilustración 12.

Ilustración 12. Metodologías para la estandarización y documentación de proceso.



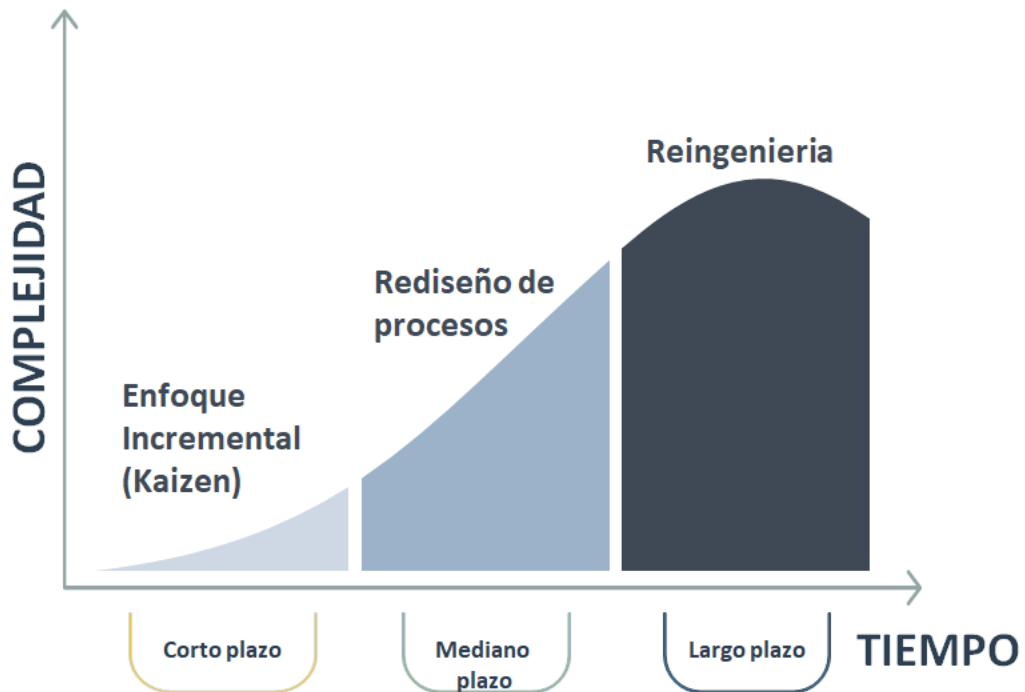
Nota. Ilustración elaborada a partir de los conceptos: Método APPCC (Celaya, 2005), método DACUM (Medina León et al., 2020), *Standard Works* (Womack & Jones, 2003) y Sistemas de gestión (Celaya, 2005).

La documentación del proceso es un paso definitivo para lograr que existan estándares que sean preservados en el tiempo, también permiten la posibilidad de plantear un lenguaje unificado para la definición detallada de la ejecución y el control de los procesos. Los estándares son la línea base de la mejora continua, permiten comparar los cambios y evidenciar los procesos de mejoramiento continuo (Medina León et al., 2020).

#### 2.1.1.4 Metodologías para el mejoramiento continuo de los sistemas productivos

En relación con la gestión del mejoramiento continuo de los sistemas productivos se plantean tres enfoques, los cuales poseen niveles de complejidad y profundidad dependiendo de la necesidad evidenciada en el proceso a intervenir como se señala en la Ilustración 13.

Ilustración 13. Enfoques sobre el mejoramiento continuo



Nota: Ilustración elaborada a partir de las etapas para el desarrollo del mejoramiento planteadas en Jackson & Sloane (2003)

A continuación, en la tabla 4 se plantean las definiciones de cada uno de los conceptos mencionados:

Tabla 4. Definición de los enfoques sobre el mejoramiento continuo

Enfoques	Definición
Kaizen o incremental	<p>El Mejoramiento de Procesos Incremental o Kaizen plantea que cualquier proceso puede ser mejorado a través de pequeños cambios constantes (Ohno, 1988). Se enfoca en mejorar continuamente la eficiencia y la calidad mediante la eliminación de desperdicios y la simplificación de los procesos (Ohno, 1988). El mejoramiento de procesos incremental plantea que cualquier trabajador puede proponer y liderar mejoras en su área de trabajo (Ohno, 1988).</p> <p>Es un término del japonés que se refiere a la mejora continua o "cambio para mejorar" (Imai, 1986).</p>
Rediseño de procesos	<p>El Rediseño de Procesos es un enfoque para mejorar la eficiencia, la calidad y la flexibilidad de un proceso mediante la revisión y la reestructuración de sus componentes clave (Krajewski et al., 2016). El rediseño de procesos se basa en el análisis de los procesos existentes, la identificación de problemas y la propuesta de nuevas soluciones (Krajewski et al., 2016).</p> <p>Es importante tener en cuenta que el rediseño de procesos no es un proyecto puntual, sino un proceso continuo de mejora y adaptación (Krajewski et al., 2016).</p> <p>Para (Harrington, 1991), el rediseño de procesos es una herramienta estratégica para lograr una ventaja competitiva y una mejora en la productividad.</p>
Reingeniería de procesos	<p>La reingeniería de procesos es un enfoque para mejorar la eficiencia y la efectividad de los procesos de negocio mediante una revisión radical y una reorganización de estos. Es un proceso de transformación que busca la creación de un nuevo diseño para los procesos de negocio con el objetivo de mejorar la productividad, reducir costos, mejorar la calidad y aumentar la satisfacción del cliente (Hammer &amp; Champy, 2003).</p> <p>Así mismo, la implementación de cambios profundos implica un alto riesgo porque se trata de ajustes medulares sobre los procesos. Si estos ajustes son adecuados entonces los resultados son usualmente relevantes permitiendo la eliminación de desperdicios y la integración de nuevos métodos, técnicas y/o tecnologías innovadoras (Davenport, 1993).</p> <p>Cabe señalar que la incorporación de cambios radicales implica tener una cultura organizacional flexible que permita adaptarse a los cambios y mantener un enfoque hacia el mejoramiento continuo (Hunt, 1995).</p>

Fuente: investigación realizada.

De acuerdo con Jackson & Sloane (2003) los enfoques mencionados podrían ser también un camino secuencial de acciones, que inicia con el mejoramiento incremental asociado a mejoras pequeñas. Si el objetivo no se logra en esta primera etapa se recomienda generar iniciativas de mejoramiento a partir del rediseño de procesos con lo que se buscaría remodelar el proceso. Si la falencia se mantiene el siguiente paso es la definición de iniciativas con el enfoque de reingeniería donde se busca un alto impacto al generar un cambio integral en los procesos (Jackson & Sloane, 2003).

Por otra parte, en general, en la literatura se encuentra tres metodologías reconocidas por su efectividad en el mejoramiento continuo de los sistemas productivos. *Lean Manufacturing*, *Six*

*Sigma* y *Business Process Improvement* (BPI) las cuales plantean procesos integrales para la búsqueda del mejoramiento en el desempeño de las organizaciones:

**a) *Lean Manufacturing*.**

*Lean Manufacturing* busca maximizar el valor para el cliente mediante la eliminación de desperdicios (Ohno, 1988). El objetivo es mejorar la eficiencia y la calidad mediante la reducción de tiempos de ciclo, inventarios y costos (Womack & Jones, 2003).

Uno de los principios fundamentales de *Lean Manufacturing* es la identificación y eliminación de los "7 tipos de desperdicios" que son: transportes, inventarios, movimientos innecesarios, esperas, sobreproducción, sobre procesamiento y los defectos del producto o servicio (Ohno, 1988). Otro principio clave es la implementación de un flujo continuo de trabajo, conocido como "*one piece flow*", que permite a los trabajadores detectar y corregir problemas de manera rápida y eficiente (Womack & Jones, 2003).

De acuerdo con lo anterior *Lean Manufacturing* plantea que se deben ajustar los recursos de acuerdo con lo que requieran los clientes (Andersson et al., 2006), buscando reducir sistemáticamente los desperdicios, los cuales son identificados y eliminados si no añaden valor al proceso.

Dentro de los principios *Lean Manufacturing* más aplicados se encuentran (Kumar et al., 2022):

- Concepto de valor agregado: solo es importante lo que el cliente percibe como valor.
- Flujo del proceso: las acciones que no añaden valor deben modificarse o eliminarse, para que exista un flujo constante de agregación de valor al cliente.
- Halar: la demanda de los clientes ajusta el inventario de materias primas, insumos, producto terminado o producto en proceso al interior de la compañía.
- La excelencia: la eliminación sistemática de residuos a través de un proceso de mejora continua.

Existen herramientas a través de las cuales se gestionan cada uno de los principios anteriormente mencionados. Una de las herramientas utilizadas para el análisis simple de causas es "*5 Whys*" el cual plantea Ohno (1988). Parte del principio de que si se pregunta "por qué" en más o menos 5

veces es posible encontrar la causa subyacente de los problemas analizados. Esto fue considerado por Ohno (1988) como la base del enfoque científico de Toyota Industries (King, 2019).

Una herramienta similar a “5 Whys” es “5 Whys & 2 How’s” cuyo propósito es profundizar en las posibles causas y permitir la creación de planes de acción efectivos (Nagyová et al., 2019). Las preguntas por la herramienta son las siguientes:

- *What is the problem?*
- *Why is the problem?*
- *When did the problem arise?*
- *Who revealed the problem?*
- *Where was the problem revealed?*
- *How was the problem revealed?*
- *How many non-conformity components were found?*

Estas preguntas pueden ser aplicadas en el contexto externo de la compañía desde la perspectiva del cliente o desde el contexto interno para el análisis de problemas que pueden afectar la conformidad del producto, los resultados económicos de la compañía o la seguridad de los trabajadores (Nagyová et al., 2019).

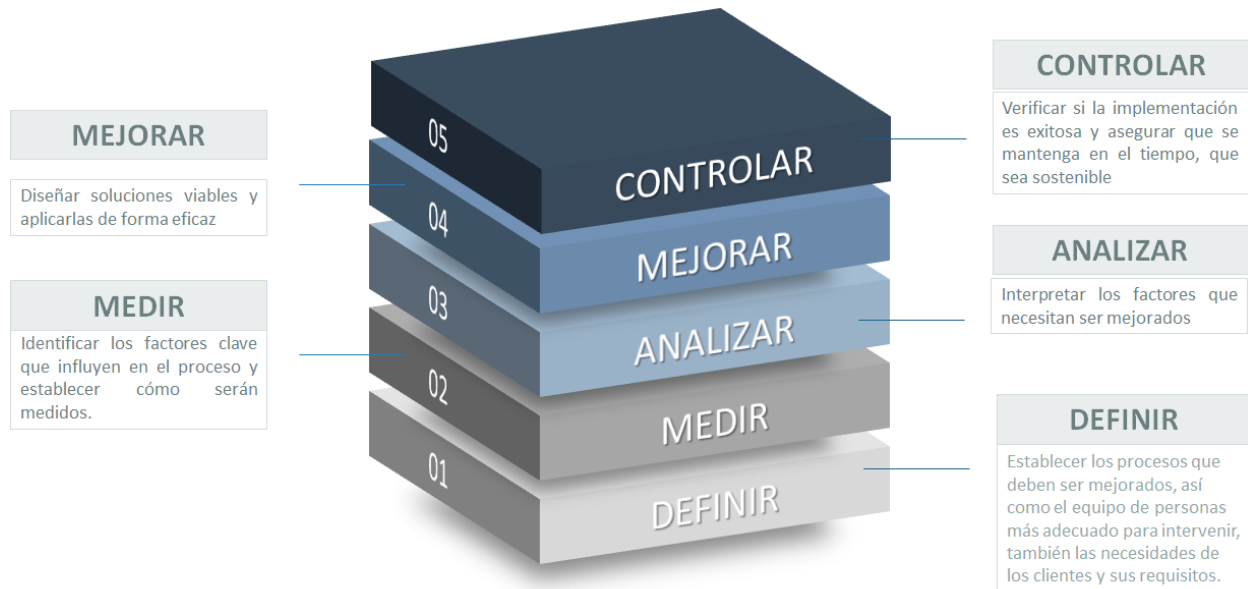
#### **b) Six Sigma.**

En relación con las metodologías para la reducción de la variación se describe a continuación el concepto *Six Sigma* cuya finalidad es reducir la variabilidad y mejorar la calidad en un proceso. Esta metodología se enfoca en identificar y eliminar los causantes de errores y defectos en un proceso con el objetivo de alcanzar una tasa de error de no más de 3.4 defectos por millón de oportunidades (Pyzdek, 2003). De allí que, para reducir la variabilidad, utiliza una serie de herramientas estadísticas y técnicas para identificar y solucionar problemas (Pyzdek, 2003).

*Six Sigma* define como elementos de la metodología la participación de la dirección, la infraestructura, la estandarización, la formación y las herramientas estadísticas a través del ciclo denominado DMAIC (Pyzdek, 2003).

A continuación, se describen los conceptos del ciclo DMAIC:

Ilustración 14. Metodologías para la estandarización de procesos.



Nota. Adaptado de Pyzdek (2003). *The Six Sigma Project Planner*. McGraw-Hill. *Six Sigma Project DMAIC Cycle Questions* Pág. xvi. Todos los derechos reservados 2003 por The McGraw-Hill Companies, Inc.

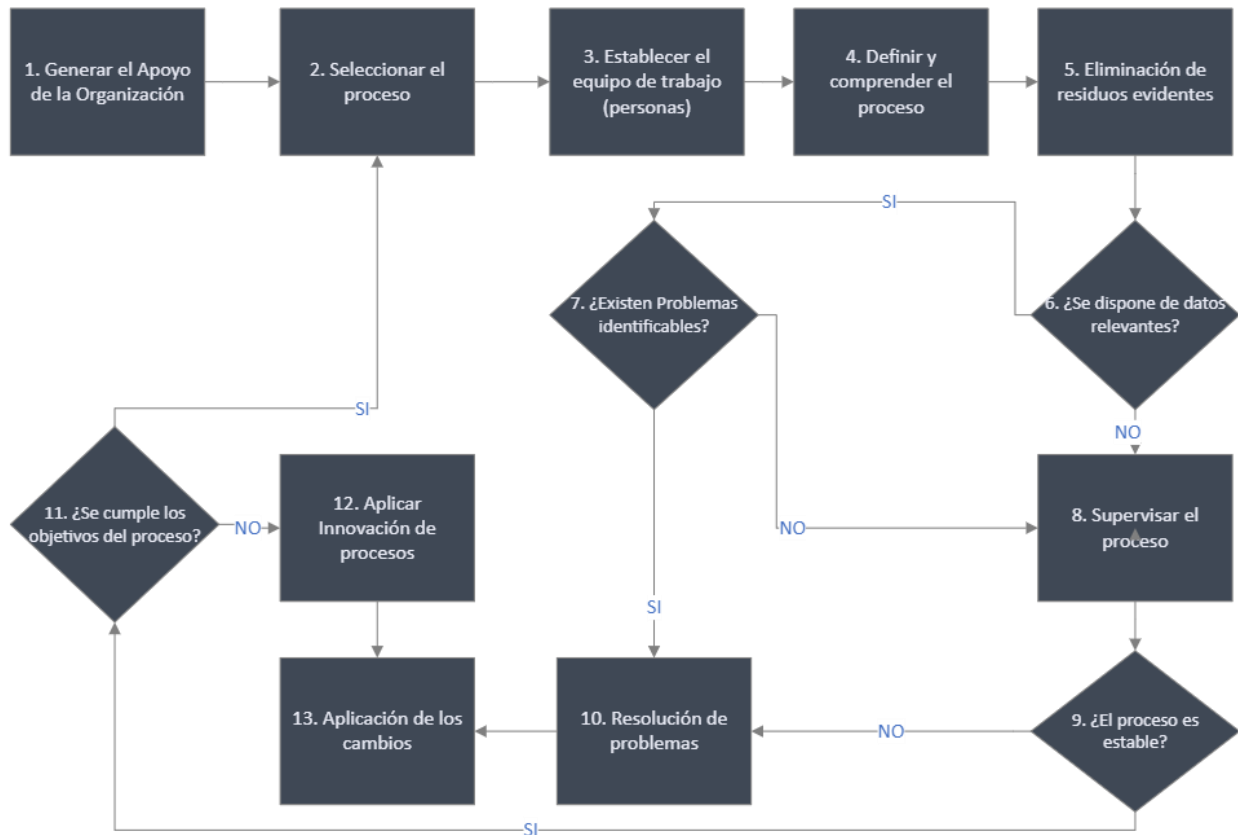
### c) *Business Process Improvement.*

El *Business Process Improvement* (BPI) es un enfoque sistemático y metodológico para mejorar la eficiencia, efectividad y adaptabilidad de los procesos de negocio. Se basa en la identificación y eliminación de cuellos de botella, la automatización de tareas repetitivas y la eliminación de procesos redundantes (Harrington, 1991).

El artículo "*A tutorial on business process improvement*" de Thomas R. Rohleder proporciona un tutorial detallado sobre cómo mejorar los procesos de negocio y ofrece aplicaciones útiles para las organizaciones que buscan mejorar la estabilidad en sus procesos, identificar problemas y cuellos de botella, implementar metodologías y mejorar continuamente sus procesos (Rohleder & Silver, 1997).



Ilustración 15. Pasos para la mejora de los procesos.



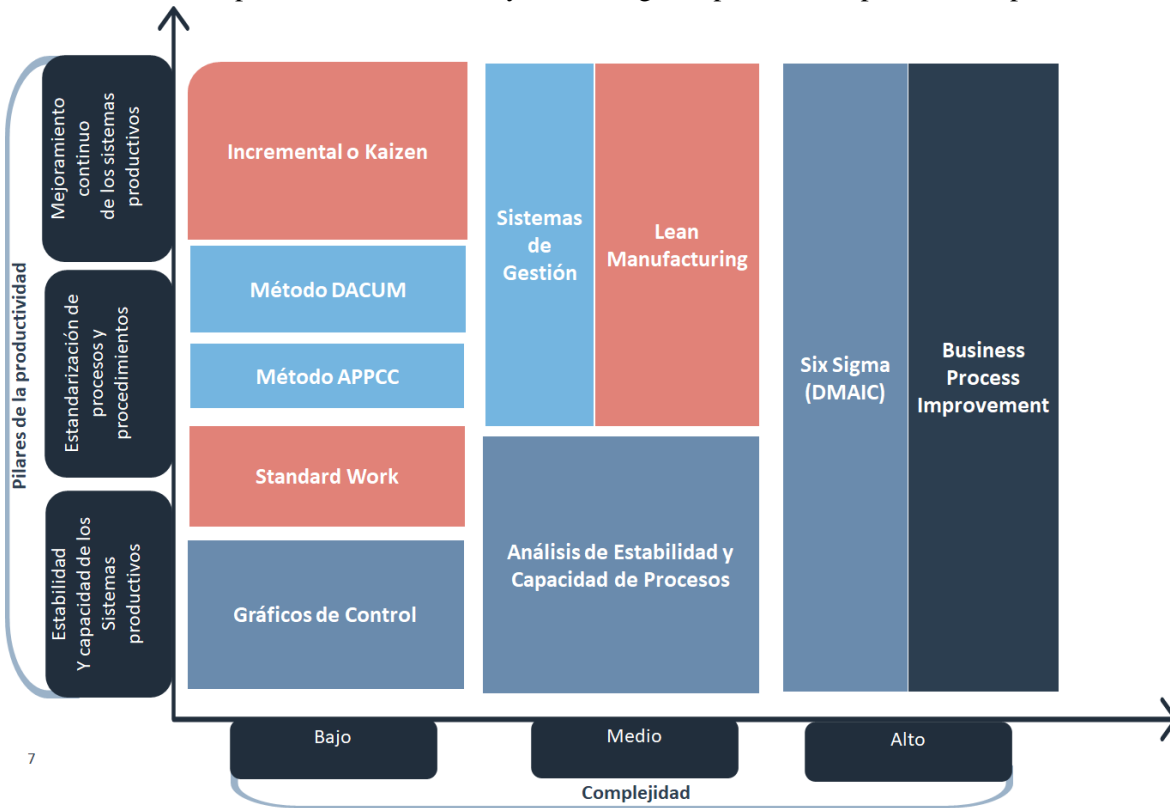
Nota. Adaptado de Rohleder & Silver (1997). *A tutorial on business process improvement*. Journal of Operations Management. Pag. 141. Todos los derechos reservados 1997 por Journal of Operations Management, faculty of management, University of Calgary, AB, Canada.

Cómo se observa en la ilustración 15, se parte por establecer el apropiado soporte de la alta dirección. Posteriormente, se selecciona el proceso a intervenir con el establecimiento del equipo de trabajo encargado de ejecutar el mejoramiento. El equipo de trabajo inicia con el entendimiento del proceso identificando las variables asociadas con el desempeño del producto y la disponibilidad de datos para el estudio de estabilidad y capacidad del proceso. Al mismo tiempo, con el entendimiento del proceso se identifican y eliminan las actividades que no agregan valor para el proceso (desperdicios obvios). Desarrollado los pasos anteriores, se inicia con la recolección de datos para establecer si el proceso es estable y tiene la capacidad de cumplir con las especificaciones establecidas para cada una de las variables vitales del proceso y con esto,

identificar las acciones de mejora pertinentes. Cuando no se cumplen los objetivos se plantea la necesidad de innovar el proceso a través de un cambio radical (Rohleder & Silver, 1997).

A manera de síntesis, la estabilidad y capacidad de los procesos, la estandarización de procesos y procedimientos y, el mejoramiento continuo de los sistemas productivos, son el resultado de la implementación de las metodologías adecuadas para los retos organizaciones que se establezcan. Estos métodos estructurados conducen a aumentar la efectividad en la toma de decisiones y el flujo de trabajo adecuado para que se agregue valor en cada instancia del proceso. A continuación, en la Ilustración 16 se plantea un comparativo entre las metodologías y técnicas descritas con el fin establecer un escenario de interacción entre las mismas a partir de los pilares de la productividad:

Ilustración 16. Comparativo entre técnicas y metodologías a partir de los pilares de la productividad.



Nota: Ilustración creada a partir de la investigación desarrollada.

De acuerdo con lo anterior los pilares de la productividad son principios transversales que permiten entender el propósito detrás de la implementación de las metodologías y técnicas mencionadas. Como se muestra en la ilustración 16, cada uno de los pilares de la productividad pueden ser

desarrollados en conjunto y se sugieren metodologías o técnicas específicas de acuerdo con el nivel de complejidad del proceso o problema a intervenir.

### 3. DISEÑO METODOLÓGICO

A partir de la revisión de diferentes metodologías, se consideraron los elementos descritos en los pilares de la productividad. Por ello, se plantea la aplicación de algunos de los pasos del método del *Business Process Improvement* descrito en el artículo “*A tutorial on business process improvement*” de Rohleder & Silver (1997). Este método permite aplicar los pilares de la productividad: el análisis de la estabilidad y capacidad del proceso, su estandarización y luego de implementar los ajustes planteados validar el mejoramiento del proceso intervenido.

Los elementos que se describen en el modelo de *BPI* por Rohleder & Silver (1997), que fueron aplicados en el proceso metodológico son:

- Seleccionar el proceso
- Definir y comprender el proceso
- Establecer si se dispone de datos relevantes
- Definir si existen problemas identificables
- Verificar si el proceso es estable
- Plantear el proceso de resolución del problema
- Aplicar los cambios sugeridos

Durante la ejecución del método se tuvo acompañamiento por parte de las personas que ocupan los cargos mencionados a continuación e integran el área de producción de la compañía:

- Ingeniero Químico y de Desarrollo de productos
- Líder de línea
- Supervisor de producción y calidad
- Operario de Resina y fibra de vidrio
- Operario de materias primas
- Técnico de mantenimiento.
- Gerente de Operaciones

Con la participación de los miembros de la compañía mencionados se realizó análisis de causa raíz a través de entrevistas a las personas mencionadas y se determinaron las variables críticas del

proceso. Adicionalmente, se realizó la revisión de los instructivos de trabajo y/o manuales operacionales existentes, así como de las fichas técnicas de las materias primas que se utilizan en el proceso de producción.

Posteriormente, se realizó la supervisión del proceso de fabricación con el fin de validar la información obtenida previamente, su coherencia y relevancia durante la puesta en marcha de la producción en el escenario real.

Luego de la determinación de las variables críticas de proceso, se realizó el registro sistemático de datos directamente del proceso de producción. Se ejecutó un análisis de la estabilidad y capacidad del proceso sobre la variable escogida y el análisis de las entradas del proceso desde la perspectiva de las 6M.

Posteriormente se realizó la aplicación de la estandarización y documentación del proceso a través de una propuesta sobre el control de las variables del proceso de producción con lo que se busca reducir la variabilidad.

Finalmente se verifica el cumplimiento de los objetivos planteados para medir el impacto del mejoramiento del proceso y establecer recomendaciones de mejora posteriores.

Para establecer las etapas de la metodología a ejecutar se generó evaluación de: los pilares de la productividad El-Khalil et al. (2020) que incluyen técnicas y metodologías; la metodología establecida por Rohleder & Silver (1997); y, las características del proceso a intervenir.

A partir de la evaluación generada se plantean 8 pasos, los cuales mantienen coherencia y un orden lógico. Con ello se busca contribuir mediante una propuesta metodológica a una mejora tangible y sostenible aplicable en procesos de manufactura. En la tabla 5 se describe la relación entre los términos establecidos en los Pilares de la productividad, la metodología “*A tutorial on business process improvement*” de Rohleder & Silver (1997) y las etapas establecidas en la metodología a ejecutar.

Tabla 5. Pasos planteados en el diseño metodológico.

<b>Pilares de la Productividad</b>	<b>Etapas del Método “A tutorial on business process improvement”</b>	<b>Etapas establecidas en la metodología a ejecutar</b>
El mejoramiento continuo de los sistemas productivos	Seleccionar el proceso (etapa 2)	1. Determinación del proceso a intervenir
	Definir y comprender el proceso (etapa 4)	2. Definición del problema
	¿Se dispone de datos relevantes? (etapa 6)	3. Recopilación de datos disponibles
La estabilidad y capacidad de los procesos	¿Existen problemas identificables (etapa 7)	4. Análisis de causas
	¿El proceso es estable? (etapa 9)	5. Análisis sobre el comportamiento de las variables
		6. Análisis sobre la estabilidad y capacidad del proceso
El mejoramiento continuo de los sistemas productivos	Resolución de problemas (etapa 10)	7. Implementación de mejoras y control de proceso
La estandarización de procesos y procedimientos	Aplicar los cambios (etapa 13)	8. Estandarización y documentación del método estructurado para la definición de variables críticas

Fuente: investigación realizada.

A continuación, en la ilustración 17 se describe con mayor detalle el proceso establecido en la metodología ejecutada.

Ilustración 17. Diagrama sobre el proceso metodológico.



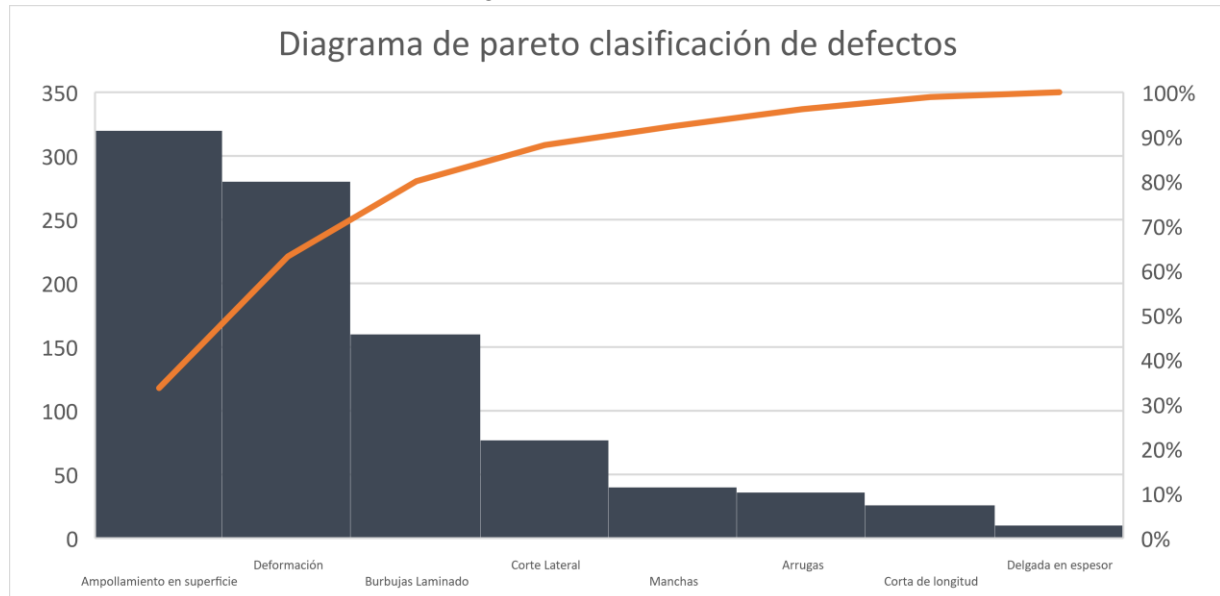
## 4. ANALISIS Y RESULTADOS

### 4.1. Definición del defecto a intervenir que genera producto no conforme.

Para la identificación de los defectos representativos se generó un gráfico Pareto. Posteriormente, para los defectos del Parero se realizó un análisis de causa-efecto, así como la identificación de las variables del proceso asociadas a los defectos.

La toma de datos para la realización del análisis Pareto se realizó sobre los pedidos fabricados en el primer trimestre de 2022. Se registró la frecuencia de ocurrencia de los defectos catalogados por la compañía. El resultado se presenta en la ilustración 18.

Ilustración 18. Diagrama de Pareto clasificación de defectos.



El análisis de Pareto pudo determinar que los defectos que generan hasta el 80% de los metros lineales no conformes en el proceso son: ampollas en superficie (35%), deformación (30%) y burbujas en el laminado (17%).

Con el fin de determinar las variables asociadas se realizaron análisis de causa efecto en el que se incorporó el análisis de 5W. El análisis se realizó con el equipo administrativo encargado del control del proceso y con los operarios encargados de la operación.



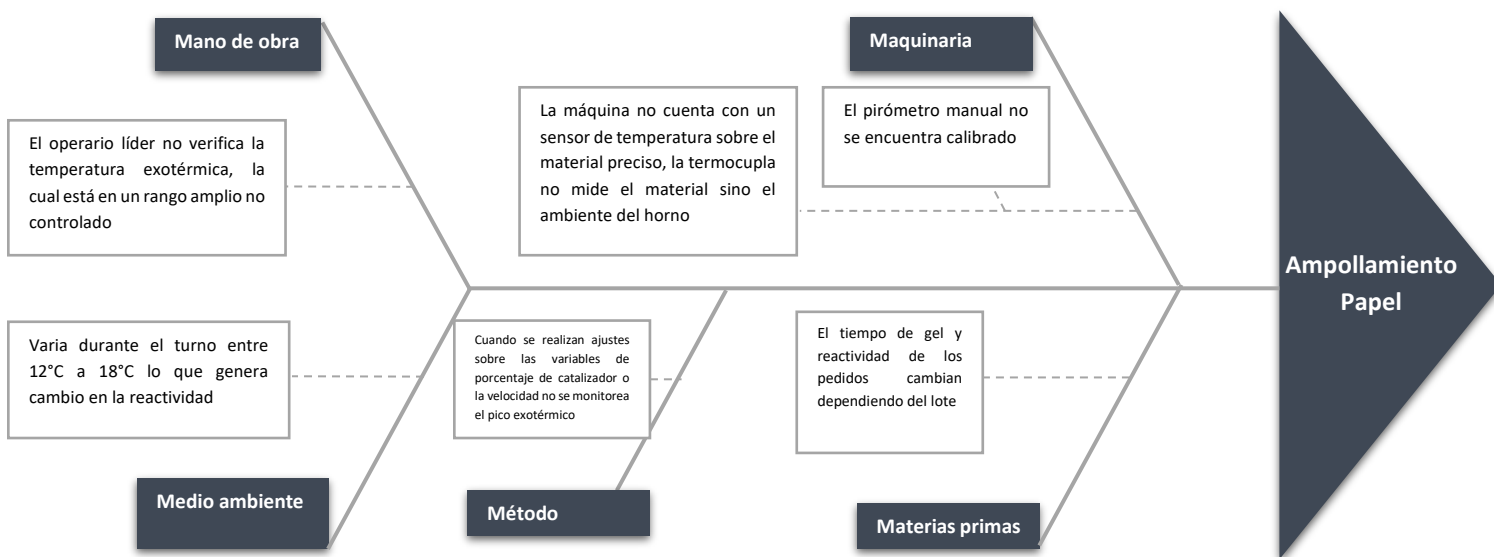
## 4.2 Análisis de causas sobre los defectos del Pareto.

Se ejecuto análisis de causa-efecto sobre cada uno de los defectos registrados en el Pareto. A partir del análisis ejecutado se establecen las variables del proceso y los rangos de trabajo establecidos en los estándares planteados en el proceso.

### 4.2.1 Análisis causa-efecto ampollamiento de papel.

A continuación, se plantea el análisis sobre el defecto ampollamiento sobre el papel, el cual genera el 35% de los metros lineales defectuosos (Ilustración 19, 20 y Tabla de Variables).

Ilustración 19. Análisis Causa-efecto para el Ampollamiento papel.



Se realizó el análisis de 5W con el fin de profundizar en los elementos necesarios para realizar el análisis de causas potenciales. Se identificaron las variables que se tienen establecidas en el proceso como estándares y fueron relacionados en la tabla 6.

Ilustración 20. Análisis 5 W para el defecto Ampollamiento papel.

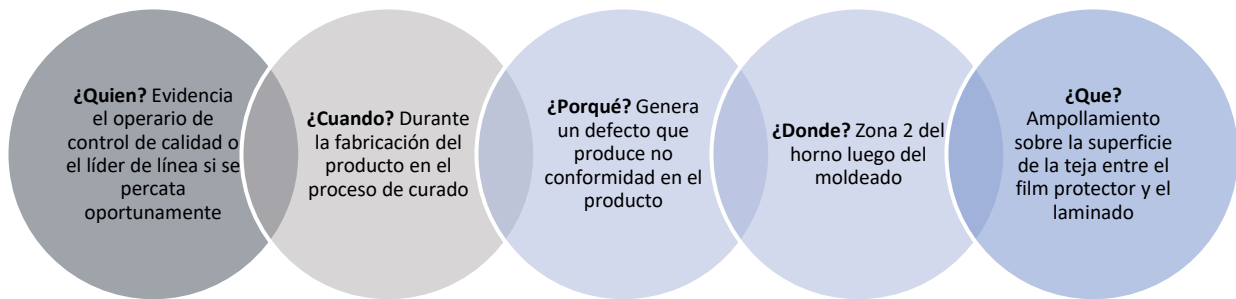


Tabla 6. Variables estandarizadas en el proceso asociadas al defecto ampollamiento de papel.

Variable	Mínimo	Máximo
Temperatura exotérmica	110°C	140°C
Velocidad de producción (ml/min)	2,5	5
Porcentaje de catalización	1,90%	2,10%

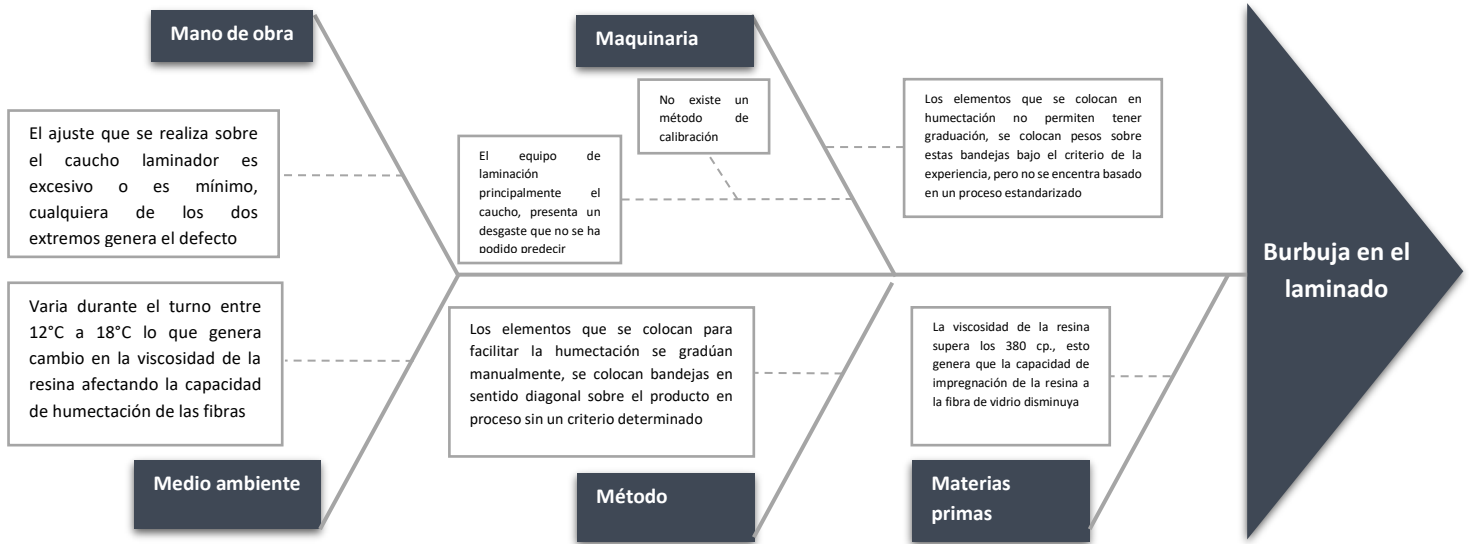
Fuente: Análisis con equipo operativo de la compañía.

A partir del análisis anterior se estableció la sección de la línea en donde se evidencia la aparición del defecto. También, se pudo establecer que las variables del proceso asociadas a la presencia o ausencia del defecto son: temperatura exotérmica, velocidad de producción y porcentaje de catalización.

#### 4.2.2 Análisis para el defecto burbujas en el laminado.

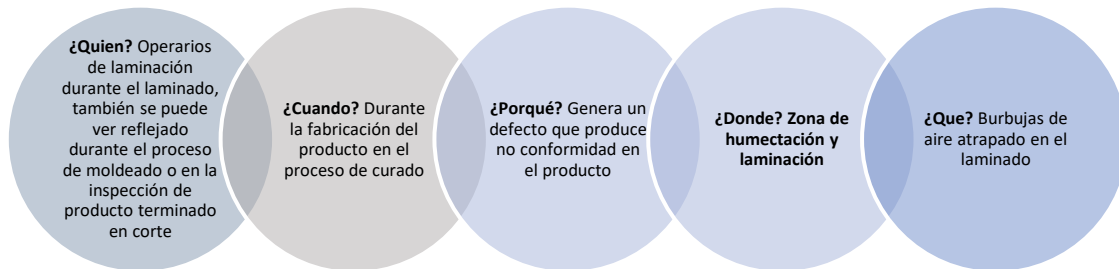
Se realizó el análisis del segundo defecto más frecuente en la línea de producción denominado burbujas en el laminado, como se evidencia en la Ilustración 21.

Ilustración 21. Análisis Causa-efecto Defecto burbujas en laminado.



Así mismo, se realizó el análisis de 5W con el fin de profundizar en los elementos necesarios para realizar el análisis de causas potenciales.

Ilustración 22. Análisis 5 W para el defecto Ampollamiento papel.



Se identificaron las variables que se tienen establecidas en el proceso como estándares y fueron relacionados en la tabla 6.

Tabla 7. Variables estandarizadas en el proceso asociadas al defecto burbujas laminado.

Variable	Mínimo	Máximo
Temperatura de las bandejas de humectación	10 °C	35 °C
Velocidad de producción (ml/min)	2,5	5
Porcentaje de catalización	1,90%	2,10%
Temperatura ambiente	9°C	14°C
Viscosidad de la resina	350	400

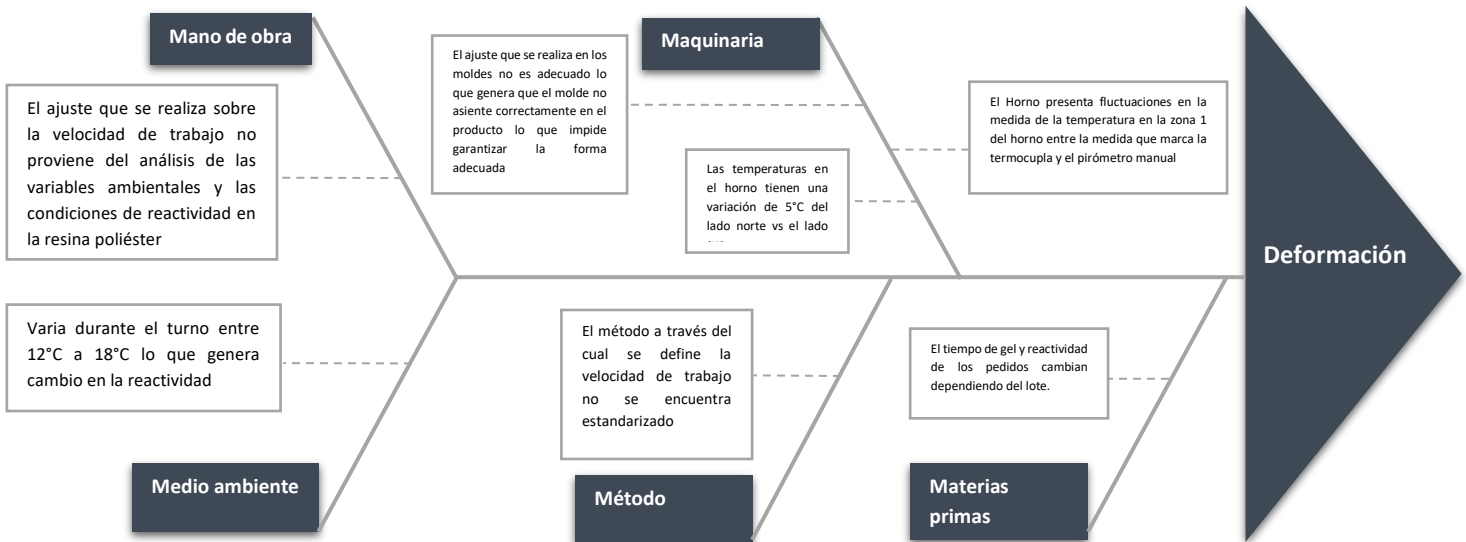
Fuente: Análisis con equipo operativo de la compañía.

A partir del análisis realizado, se determinó que el defecto se evidencia durante el proceso en la zona de humectación y laminación de la resina poliéster con la fibra de vidrio. También se evidenció que las variables del proceso que pueden estar asociadas al defecto son: la temperatura de las bandejas de humectación, la velocidad de producción, el porcentaje de catalización, la temperatura ambiente y la viscosidad de la resina poliéster.

### 4.2.3 Análisis para el defecto deformación de laminado.

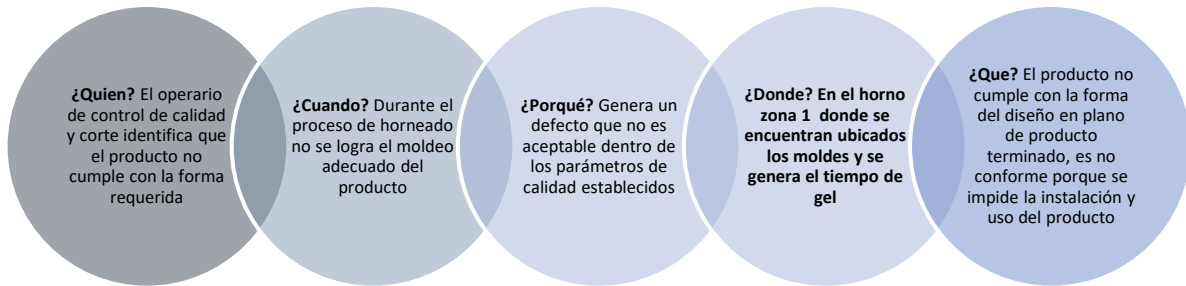
Finalmente, se realizó el análisis del tercer defecto más frecuente en la línea de producción, denominado deformación de laminado, el cual está representado en la ilustración 23.

Ilustración 23. Análisis Causa-efecto y 5W defecto deformación de producto terminado.



Se realizó el análisis de 5W con el fin de profundizar en los elementos necesarios para realizar el análisis de causas potenciales.

Ilustración 24. Análisis 5 W para el defecto ampollamiento papel.



Se identificaron las variables que se tienen establecidas en el proceso como estándares y fueron relacionados en la tabla 8.

Tabla 8. Variables estandarizadas en el proceso asociadas al defecto de deformación.

Variables	Mínimo	Máximo
Temperatura de las bandejas de humectación	10°C	35°C
Velocidad de producción (ml/min)	2,5	5
Porcentaje de catalización	1,90%	2,10%
Temperatura ambiente	9°C	14°C
Temperatura Zona 1 horno	65°C	80°C

Fuente: Análisis de proceso

A partir del análisis realizado se pudo evidenciar que el defecto tiene su aparición en la zona 1 del horno donde se encuentran ubicados los moldes y se genera la gelación de la resina poliéster.

En el análisis se determinó que las variables que pueden estar asociadas a la aparición del defecto son: la temperatura de las bandejas de humectación, la velocidad de producción, el porcentaje de catalización, la temperatura ambiente y la temperatura de la zona 1 del horno.

#### **4.2 Análisis del proceso basado en variables asociadas al defecto de ampollamiento sobre el papel.**

En este proceso se busca centrar el análisis en la sección de trabajo donde se origina la variación más que en la presencia del defecto. La evidencia de la información recolectada hasta el momento mostró que la temperatura exotérmica, que se da como consecuencia del proceso de polimerización de la resina, está asociada a la presencia del defecto de ampollamiento sobre papel. Por lo anterior se considerará la temperatura exotérmica como *CTQ (Critical to Quality)* a nivel de proceso.

Adicionalmente, la temperatura exotérmica cumple las siguientes condiciones:

- Es medible en el proceso previamente a la aparición del defecto.
- En el análisis causa efecto existen apreciaciones sobre la relación del defecto ampollamiento (defecto principal del Pareto), con la variable temperatura de pico exotérmico.

- Su comportamiento está asociado a los ajustes que se realizan en los *sets point* de temperatura, así como a la velocidad de la línea, el porcentaje de catalizador utilizado en la mezcla y también tiene un efecto en la variable dureza sobre el producto terminado.

Así mismo, se identificaron las variables del proceso y sus respectivos rangos de trabajo para establecer los parámetros de ajuste de la línea de producción. En la tabla 9 se presentan las variables identificadas junto con la herramienta de medición utilizada en el proceso, la unidad de medida y el tipo de variable.

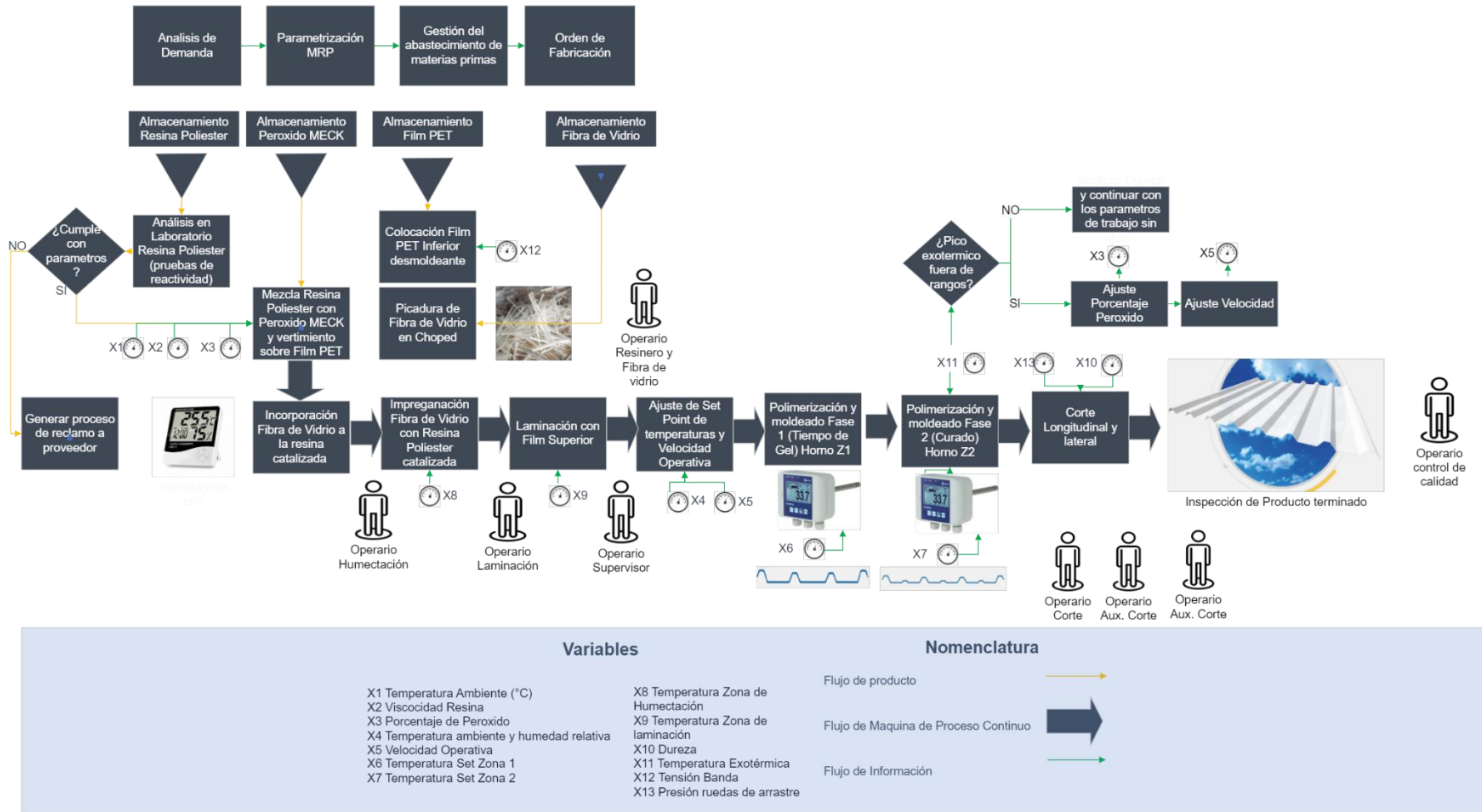
Tabla 9. Listado de variables “estándares” del proceso de laminación continua.

Variables del Proceso					
Variables de Proceso	Min	Max	Herramienta de medición	Unidades	Tipo
Temperatura Z1	45	90	Termocupla	°C	Continua
Temperatura Z2	60	110	Termocupla	°C	Continua
Temperatura Humectación	22	36	Termocupla	°C	Continua
Temperatura Laminación	25	36	Termocupla	°C	Continua
Temperatura Exotérmica	120	127	Pirómetro manualmente	°C	Continua
Dureza	45	60	Durómetro	Shore	Continua
Velocidad de producción	2,5	5	Variador máquina	Metros/min	Continua
Tensión de la banda	35	60	Control máquina	unidades	Continua
Viscosidad de la resina	200	380	Viscosímetro	cp.	Continua
Porcentaje de Catalización	1,50%	2,20%	Báscula	%	Continua
Presión ajuste de ruedas arrastre	50	100	Manómetro	PSI	Continua
Defectos Producto terminado	0	60	Observación visual	Metros lineales	Discreta

Fuente. Desarrollado durante el proceso de análisis.

A partir del análisis causa efecto, se elaboró un diagrama en el cual se identifica la ubicación de las variables del proceso asociadas a los defectos principales del Pareto (Ilustración 25).

Ilustración 25. Diagrama de flujo de proceso y variables críticas línea de laminación continua.



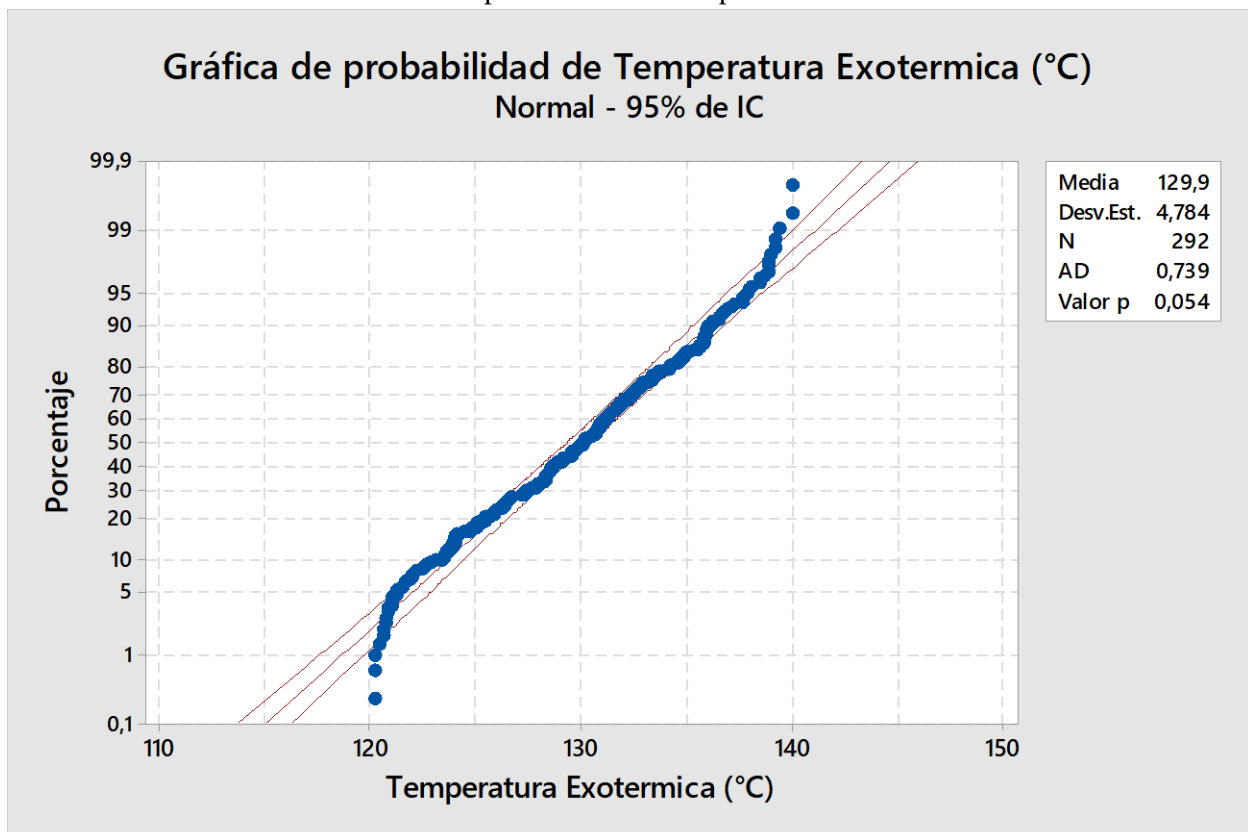


### 4.3 Estado inicial del proceso.

El análisis de causa raíz, permitió identificar que la temperatura exotérmica es la variable del proceso que se encuentra asociada a la presencia o ausencia del defecto de ampollamiento de superficie. Esta variable debe encontrarse en el rango de 105 a 135 grados. Temperaturas superiores a 135 hacen que se presente el ampollamiento. Temperaturas inferiores a 105 hacen que la película no se fije a la fibra de vidrio.

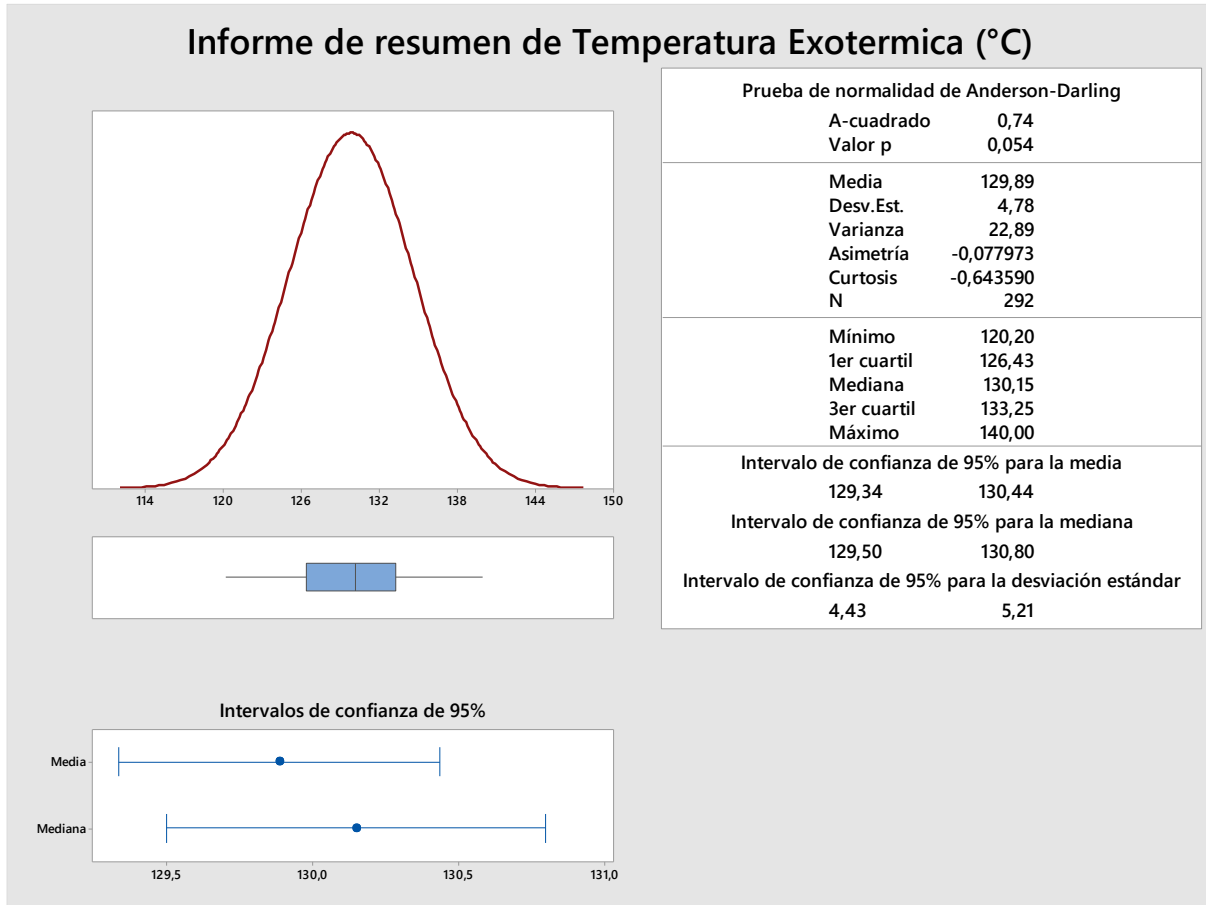
A partir de 292 datos recopilados del proceso (entre enero 2022 a junio 2022) se obtiene el *baseline* para determinar la situación actual del proceso. Una prueba de normalidad refleja que los datos de la muestra provienen de una población que se distribuye igual a la normal (P valor = 0,054) (Ilustración 26)

Ilustración 26. Grafica de probabilidad de temperatura exotérmica línea base.



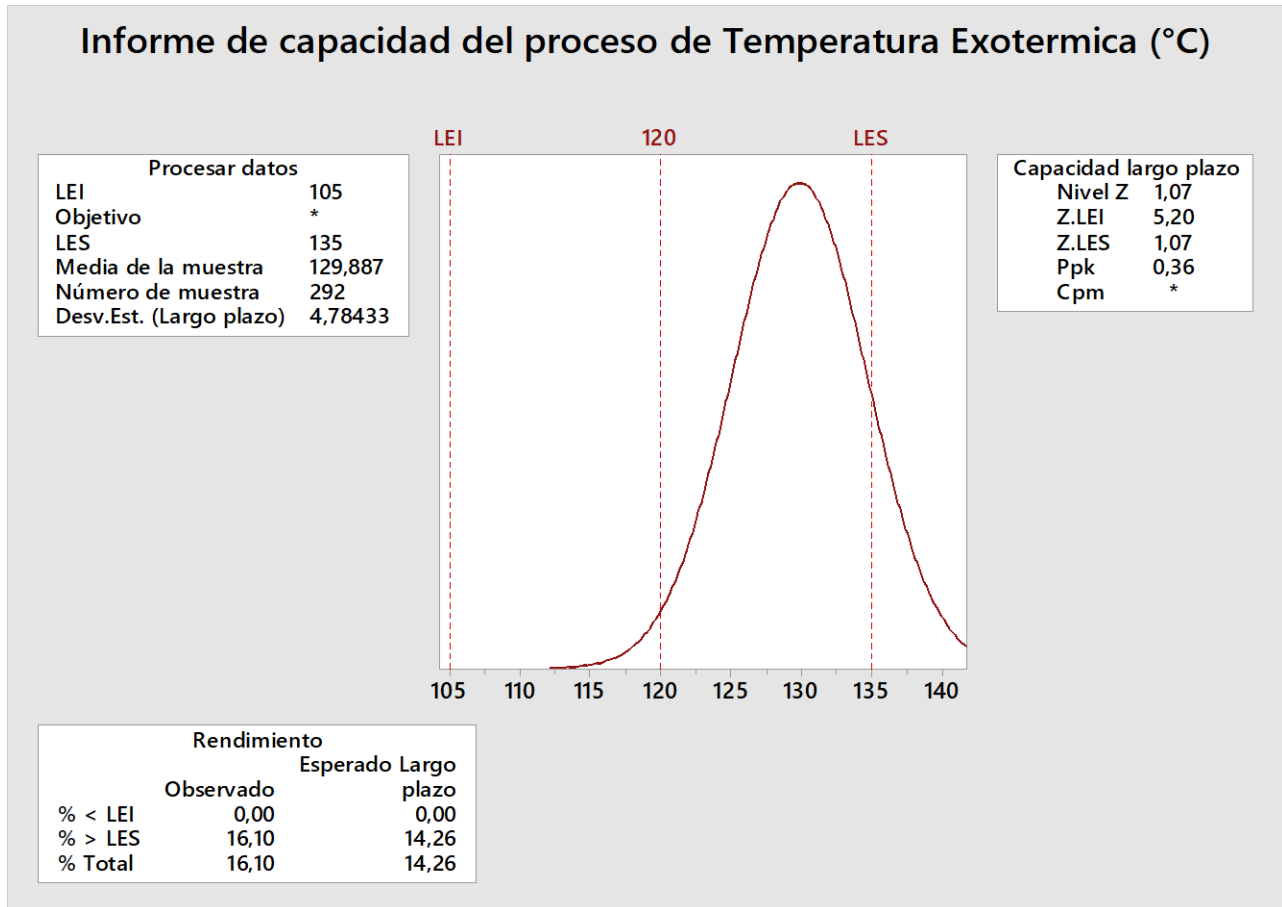
La media de la temperatura exotérmica es de 129 grados con una desviación estándar de 4.78 grados. Los valores de curtosis y sesgo también representan que la población se comporta de manera normal (Ilustración 27).

Ilustración 27. Informe estadístico resumen de la Temperatura Exotérmica línea base.



De acuerdo con el análisis de capacidad, el proceso presenta una probabilidad de falla del 14,26% en la especificación superior. Así mismo, el proceso se encuentra descentrado a la derecha con respecto al valor nominal de 120 grados. El nivel del proceso es 1,07. El proceso evidencia alta dispersión (Ilustración 28).

Ilustración 28. Informe estadístico de capacidad de proceso respecto de la Temperatura Exotérmica línea base.



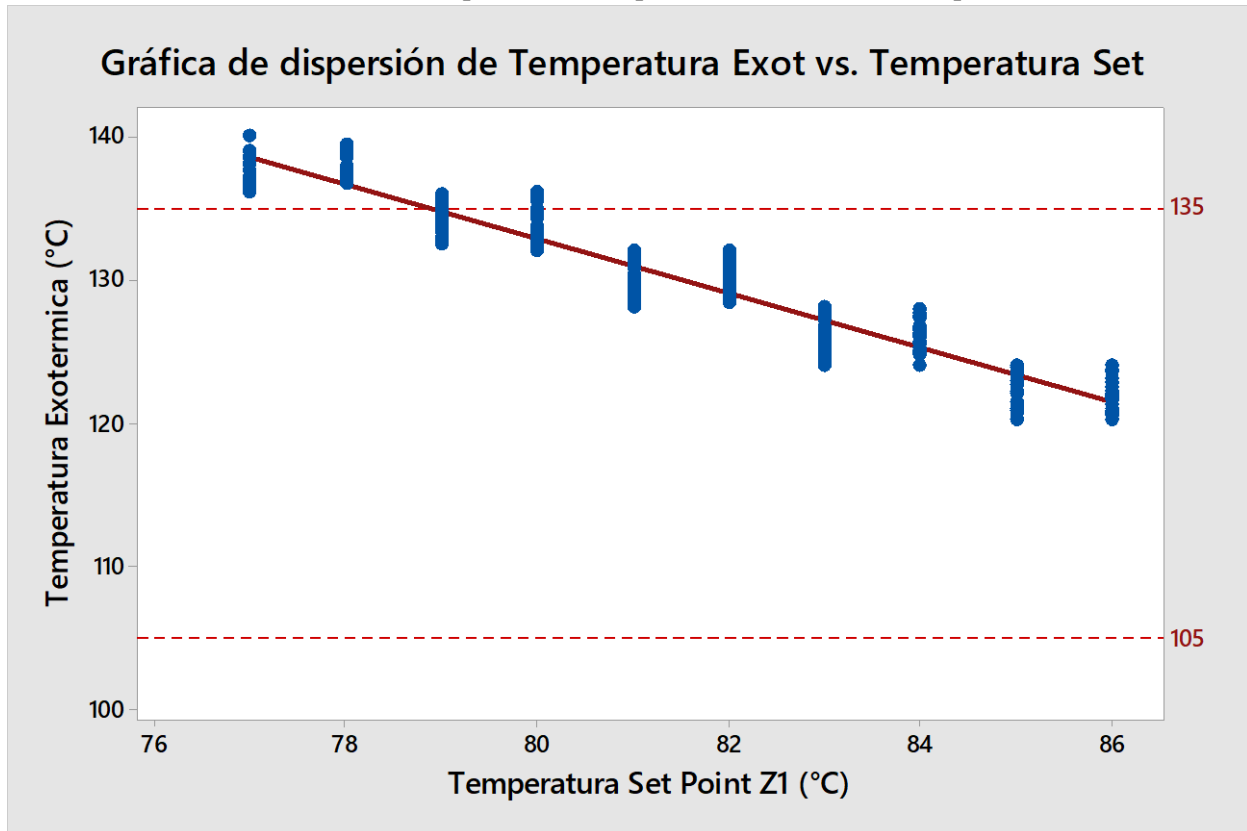
#### 4.4.1 Análisis de Y vs X's

El baseline considerado para el presente estudio tomó en cuenta las siguientes variables que fueron consideradas asociadas a la variación de la temperatura exotérmica.

- Temperatura *Set Point* Z1 (°C) (continua)
- Temperatura *Set Point* Z2 (°C) (continua)
- Velocidad de trabajo (m/min) (continua)
- Catalizador (%) (continua)
- Temperatura Ambiente (°C) (continua)

#### 4.4.1.1. Análisis de Y vs X's: temperatura exotérmica vs temperatura en Z1.

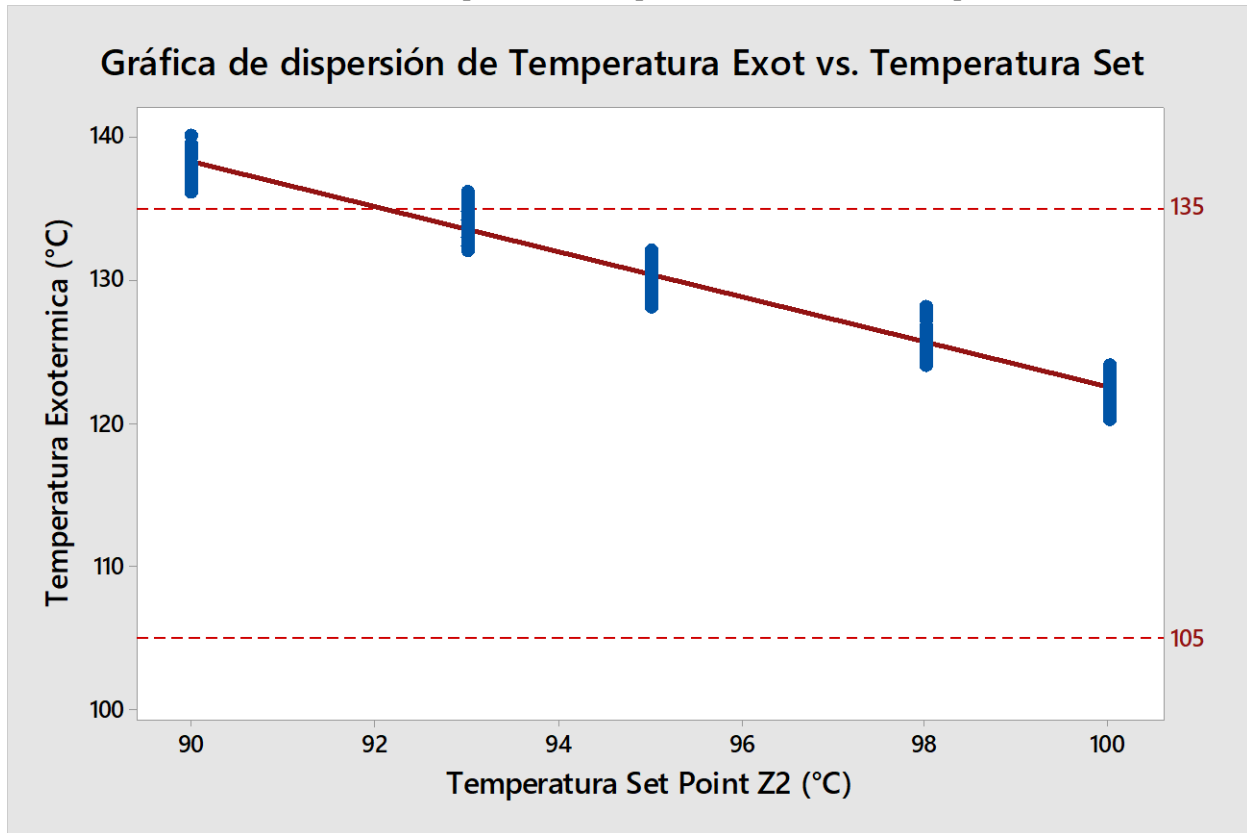
Ilustración 29. Grafica de dispersión de temperatura exotérmica vs temperatura set Z1.



Del análisis gráfico se puede identificar que el aumento en la temperatura Z1 tiene un efecto inverso en la disminución de la temperatura exotérmica. El análisis de causa raíz mostro que los operarios, una vez aumentan o disminuyen la velocidad de trabajo o se tiene una variación de la temperatura ambiental, deben estar ajustando los parámetros de temperatura en Z1. Del análisis gráfico se puede establecer que para centrar el proceso se requiere de temperaturas en la zona 1 superior a 84 grados.

#### 4.4.1.2 Análisis de Y vs X's: temperatura exotérmica vs temperatura en Z2

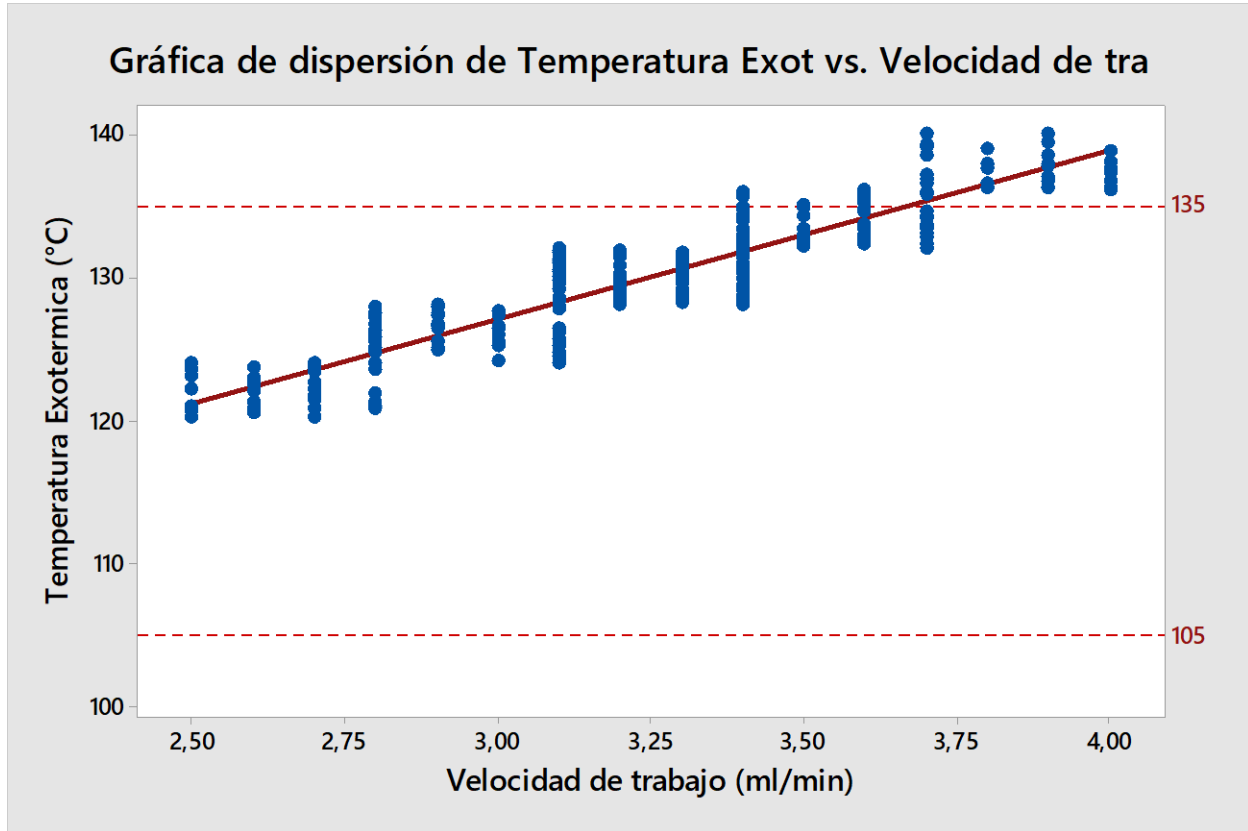
Ilustración 30. Grafica de dispersión de temperatura exotérmica vs temperatura set Z2.



Del análisis gráfico se puede identificar que el aumento en la temperatura Z2 tiene un efecto inverso en la disminución de la temperatura exotérmica. El análisis de causa raíz mostro que los operarios, una vez aumentan o disminuyen la velocidad de trabajo o se tiene una variación de la temperatura ambiental, deben estar ajustando los parámetros de temperatura en Z2. Del análisis gráfico se puede establecer que para centrar el proceso se requiere de temperaturas en la zona 2 superior a 98 grados.

#### 4.4.1.3 Análisis de Y vs X's: temperatura exotérmica vs velocidad de trabajo

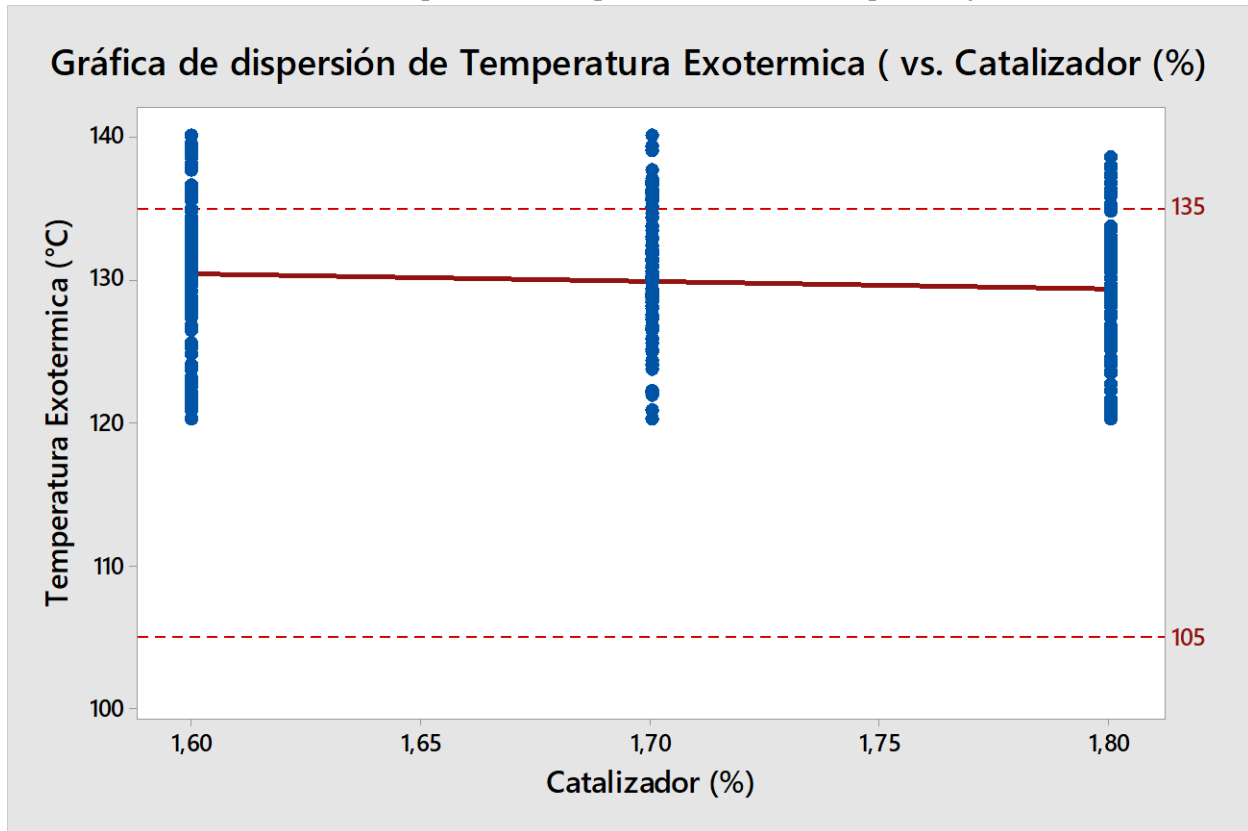
Ilustración 31. Grafica de dispersión de temperatura exotérmica vs velocidad de trabajo.



Del análisis gráfico se puede identificar que la velocidad de trabajo tiene un efecto positivo sobre el desplazamiento de la temperatura exotérmica. Valores bajos de velocidad tienden a centrar el proceso. El análisis de causa raíz mostró que los operarios aumentan la velocidad de trabajo de la banda en función de lograr pasar más rápido la lámina. Cuanto más se ven acosados por la carga de trabajo, tienden a aumentar la velocidad de la banda.

#### 4.4.1.4 Análisis de Y vs X's: temperatura exotérmica vs % de catalizador

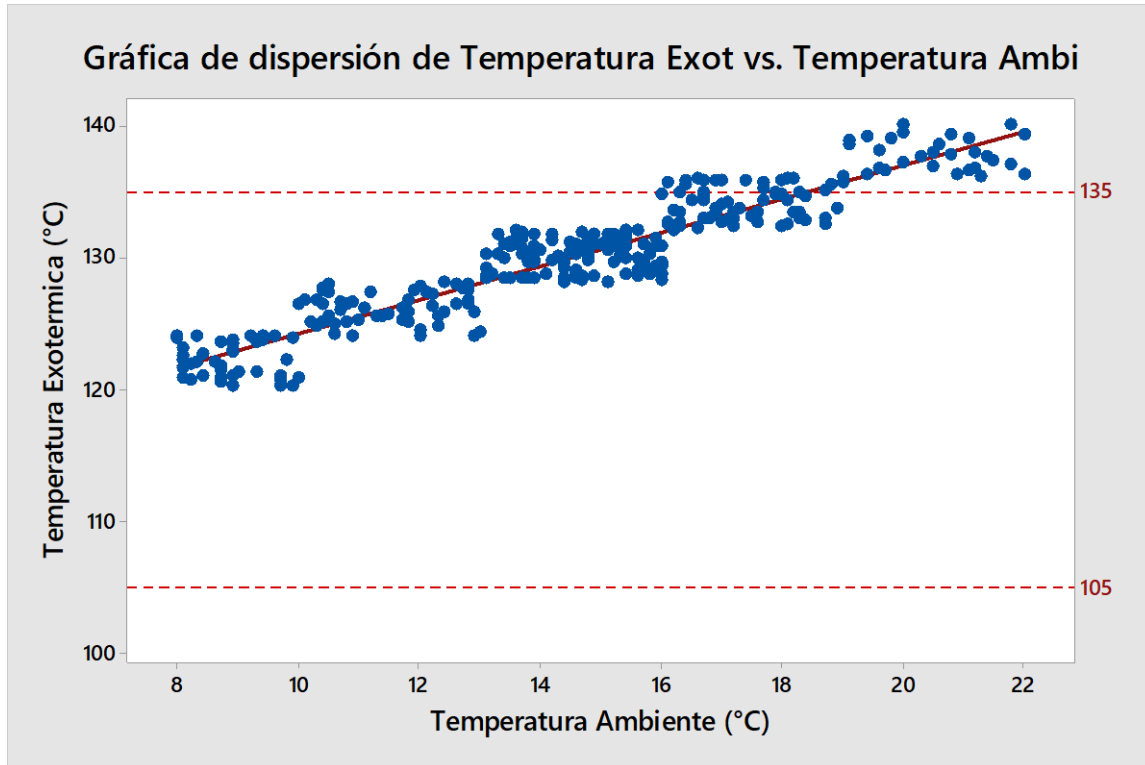
Ilustración 32. Grafica de dispersión de temperatura exotérmica vs porcentaje de catalización.



Del análisis gráfico se puede identificar si el porcentaje de catalizador no tiene un efecto sobre la variación de la temperatura exotérmica. El catalizador es una de las materias primas más costosas en el proceso de producción y bajo las condiciones actuales se tiene baja disponibilidad de esta en el mercado.

#### 4.4.1.5 Análisis de Y vs X's: temperatura exotérmica vs temperatura ambiental

Ilustración 33. Grafica de dispersión de temperatura exotérmica vs temperatura ambiental.



Del análisis gráfico se puede identificar que la temperatura ambiental tiene un efecto directo sobre la temperatura exotérmica. El análisis causa raíz mostró que los operarios de línea modifican las condiciones de temperatura de Z1 y Z2 en función de las condiciones cambiantes de temperatura ambiental en el área de trabajo.



#### 4.5. Settings para el proceso

Basado en el análisis gráfico, se puede establecer los siguientes parámetros de operación para el proceso de producción:

Tabla 10. Settings planteados para el proceso.

Settings para el proceso			
Variables de Proceso	Min	Max	Parámetro de operación
Temperatura Z1 (continua)	45	90	Mayor a 84 °C
Temperatura Z2 (continua)	60	110	Mayor a 98 °C
Velocidad de producción (continua)	2,5	6	2,5 – 3,0 Metros/min
% Catalización (continua)	1,50%	2,20%	1,5%
Temperatura ambiente	8	21	8 a 14 °C

Fuente: análisis del proceso

#### 4.6. Análisis de estabilidad del proceso (situación inicial).

De manera simultánea se realizó un análisis de estabilidad mediante gráficos de control por variables. Se emplearon las siguientes variables y parámetros:

Tabla 11. Parámetros utilizados para el desarrollo de los gráficos de control.

Parámetro	Valor
Variable de análisis	Temperatura de pico exotérmico
Equipo para la captura del dato	Pirómetro Laser <i>Fluke Mt4 Max</i> ®
Tamaño de subgrupo racional	3
Factor para límite de control (diagrama para medias)	A2= 1,023
Factor para límite de control (diagrama para amplitudes)	D3=0 D4= 2,574
Factores para línea central	d2=1,693
Elementos para el análisis	Maquinas: Velocidad de trabajo, hermeticidad del horno de curado. Materiales: referencia de la resina de poliéster insaturado a utilizar Medio ambiente: temperatura ambiente y humedad relativa Medición: Temperatura de <i>sef</i> zona 1 y zona 2 del horno de curado Método: Cambios en la velocidad operativa u otra condición del trabajo

Se realizó el gráfico de control X-R durante el turno del 28 de abril de 2022 obteniendo los siguientes resultados:

Ilustración 34. Gráfico R variable pico exotérmico turno de producción del abril de 2022

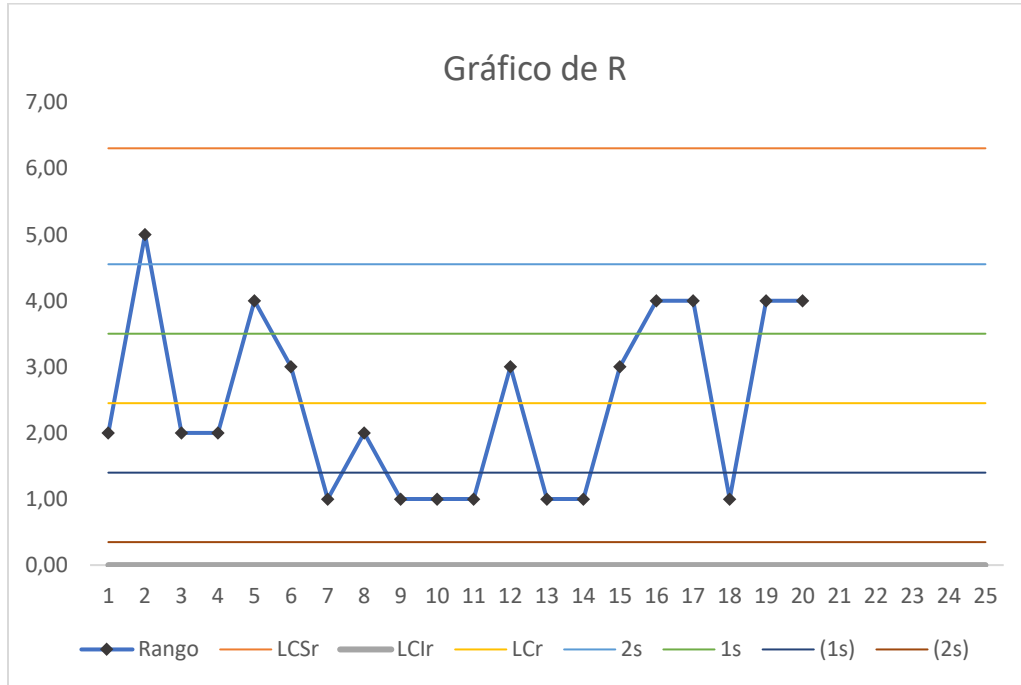
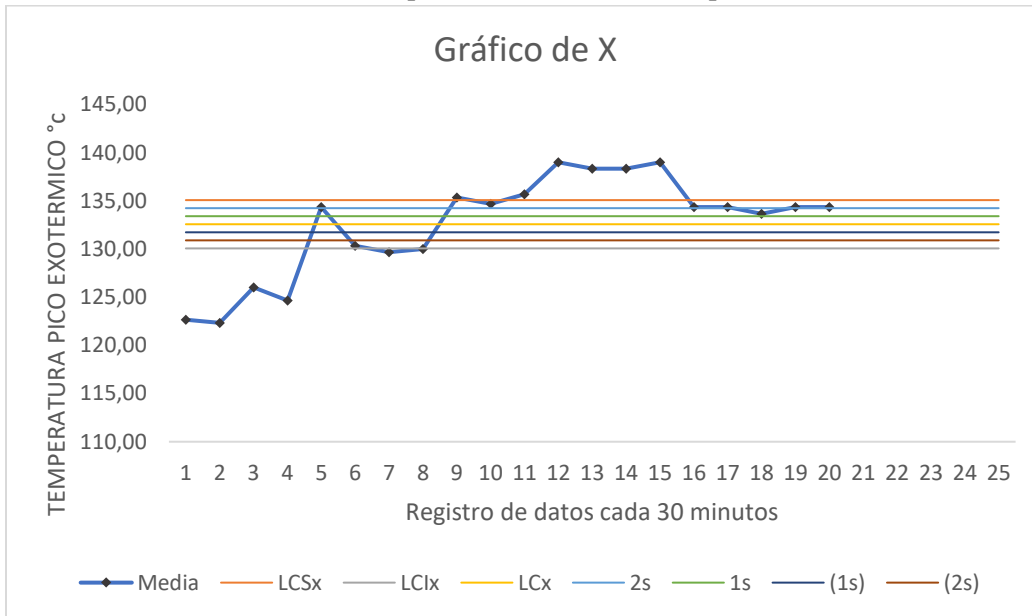


Ilustración 35. Gráfico R variable pico exotérmico turno de producción del abril de 2022



Se evidenció que el proceso se encuentra fuera de control principalmente cuando se realizan cambios de velocidad en la línea de producción. Durante el turno de 8 horas se evidenció la

aparición del defecto ampollamiento en 3 oportunidades cuando la temperatura del pico exotérmico supera el límite superior de la gráfica de los promedios.

Como parte del análisis de las variables se evidenciaron las siguientes variaciones en el proceso:

Tabla 12. Análisis 5M durante el desarrollo del diagnóstico con gráficos de control.

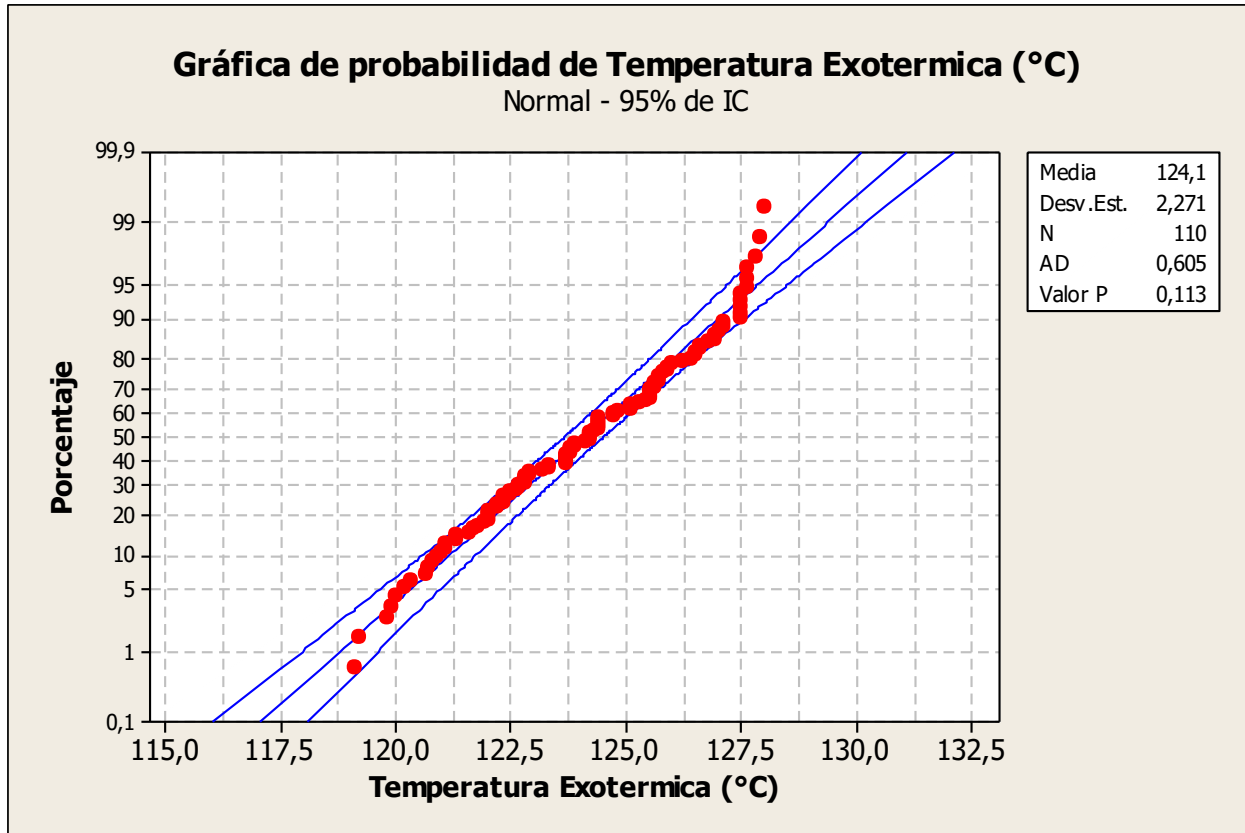
Factores	Observaciones
Materias Primas	La referencia de resina poliéster se mantuvo en las proporciones adecuadas durante la toma de datos.
Métodos	Se incrementó la velocidad operativa en tres oportunidades Se modificaron durante la producción la temperatura del horno en cuatro oportunidades
Mano de Obra	Se evidenciaron rotación de personal y relevos establecidos para los momentos de recesos del personal
Medición	No se evidenciaron modificaciones al <i>set point</i> de las temperaturas del horno La temperatura exotérmica fluctúa entre los 122,67°C y 139°C
Medio Ambiente	Se evidenciaron cambios en la temperatura ambiente con un rango de 14°C a 19°C y la humedad relativa varió entre 81% a 64%
Máquina	Se evidenciaron cambios de velocidad operativa en tres oportunidades lo que afecta las condiciones de ajuste de la máquina. La velocidad operativa fue ajustada iniciando en 3.2 metros lineales/ min a 4.2 metros lineales/min

Fuente: Registro sobre los análisis realizados.

#### 4.7. Implementación de mejoras y control de proceso en el tiempo.

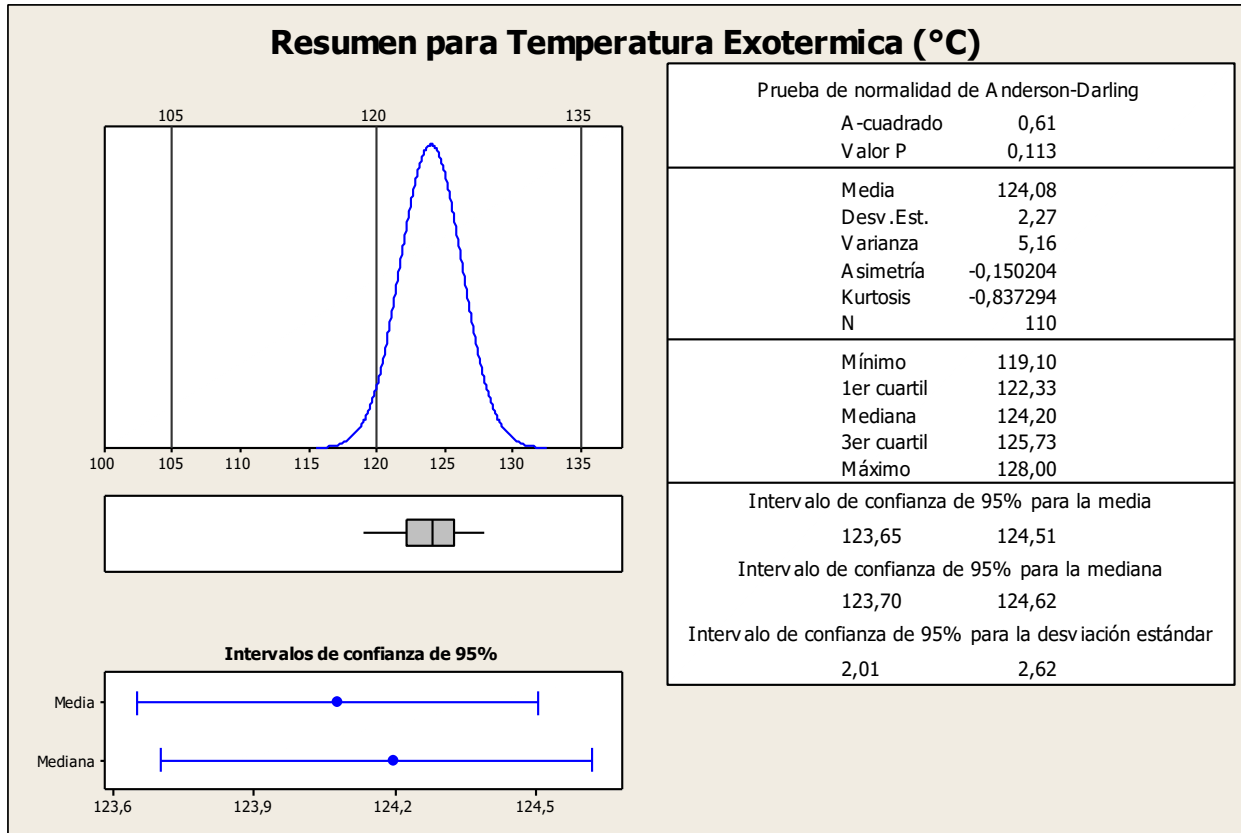
Entre el junio y agosto del 2022 se recopilan nuevamente datos del proceso bajo los *settings* definidos mediante el análisis gráfico. Se obtienen 110 datos. Una prueba de normalidad refleja que los datos de la muestra provienen de una población que se distribuye igual a la normal (P valor = 0,113) (Ilustración 30).

Ilustración 36. Gráfico de probabilidad de temperatura exotérmica luego de generados las mejoras al proceso.



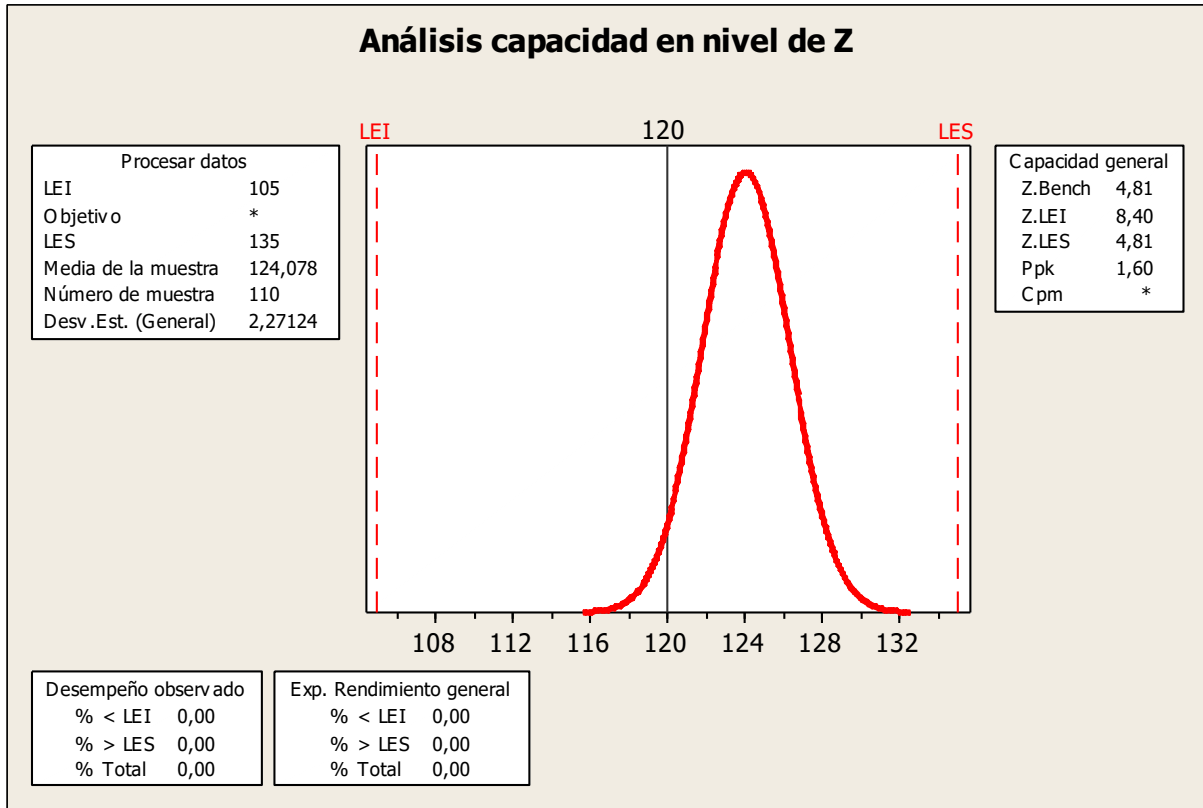
Bajo las nuevas condiciones, la media de la temperatura exotérmica es de 124,08 grados con una desviación estándar de 2.27 grados. Los valores de curtosis y sesgo también representan que la población se comporta de manera normal (Ilustración 37).

Ilustración 37. Informe estadístico resumen temperatura exotérmica luego de generadas las mejoras al proceso.



Así mismo, según el análisis de capacidad, el proceso presenta una probabilidad de falla del 0% para las dos especificaciones. Si bien, el proceso se encuentra descentrado a la derecha con respecto al valor nominal de 120 °C, se evidencia una mejora en el nivel de Z del proceso, registrándose un valor de es 4,81 (Ilustración 38).

Ilustración 38. Informe estadístico resumen temperatura exotérmica luego de generadas las mejoras al proceso.



#### 4.7.1 Análisis de estabilidad de proceso (situación luego de aplicación de mejoras sugeridas).

Durante el mismo periodo de incorporación de mejoras en los *settings* del proceso, se realizó aplicación del gráfico de control para el análisis de la variable temperatura de pico exotérmico en °C. Para este caso, se trabajó con velocidad operativa fija en *3.5 metros lineales/minuto*.

Ilustración 39. Gráfico de R sobre la temperatura exotérmica luego de generadas las mejoras sobre el proceso.

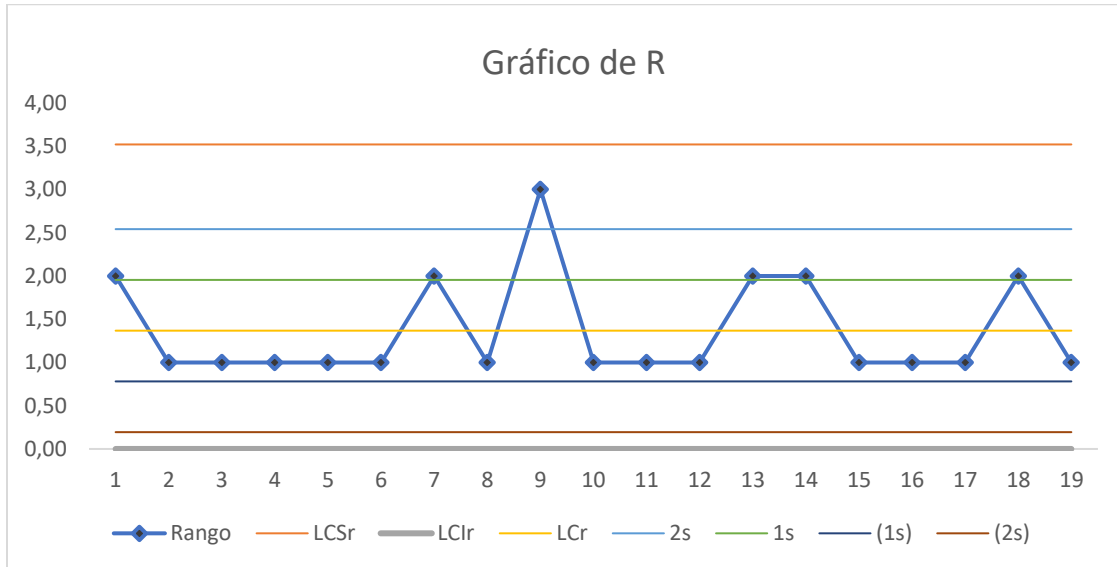
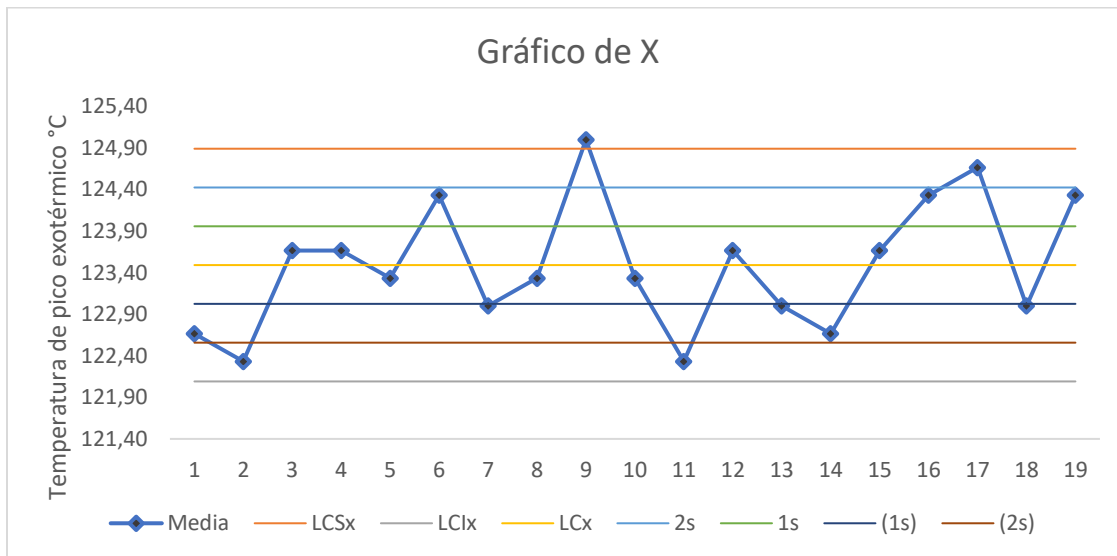


Ilustración 40. Gráfico de X sobre la temperatura exotérmica luego de generadas las mejoras sobre el proceso.



Durante el análisis se presentó un punto fuera de control y se evidenció que fue posiblemente generado por un incremento en la temperatura ambiente y una disminución de la humedad relativa.

Se evidenció que el proceso se mantuvo bajo control a partir de la configuración de parámetros planteada como mejora al proceso.

#### 4.8. Comparativo entre el proceso en la situación inicial y el proceso con la mejora implementada.

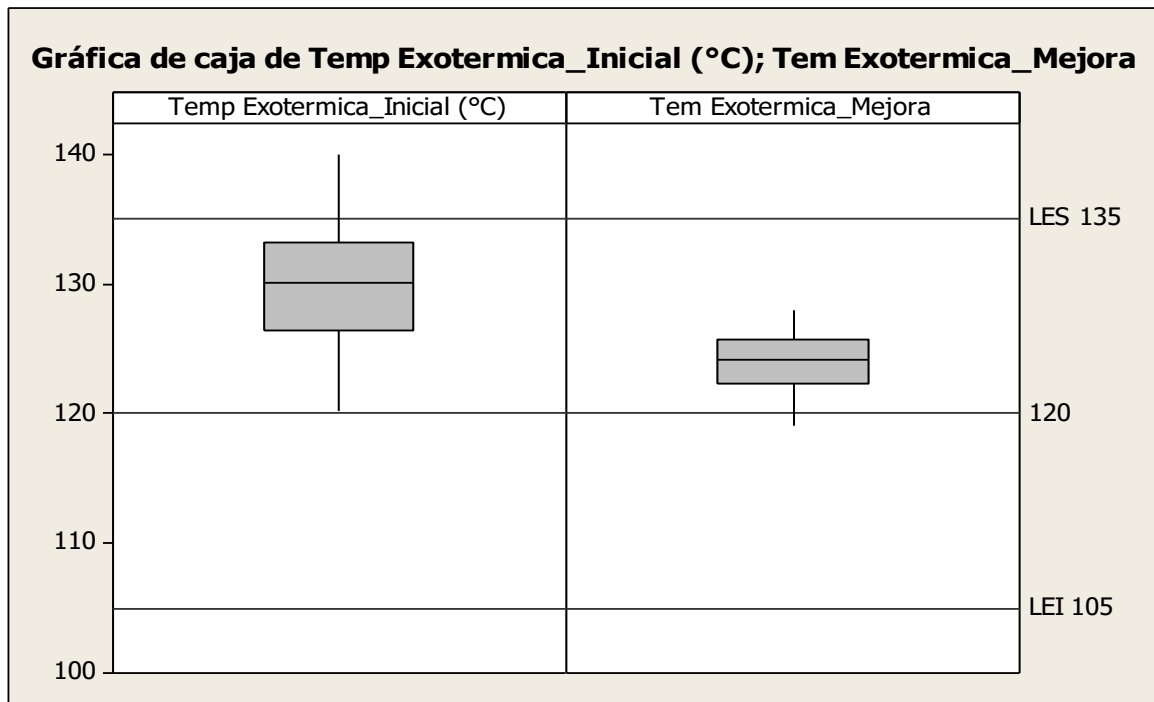
Un análisis comparativo entre las condiciones iniciales de operación del proceso y las condiciones de operación nuevas basadas en el ajuste de los *settings* muestra que se obtiene una reducción de la desviación estándar, pasando de 4,78 a 2,27.

Tabla 13. Resumen de análisis estadístico comparativo sobre la Temperatura exotérmica inicial vs Temperatura exotérmica mejorada.

Variable	N N*	Media	media	Desv.Est.	Varianza
Temperatura Exotérmica Inicial	292 0	129,89	0,280	4,78	22,89
Temperatura Exotérmica Mejorada	110 0	124,08	0,217	2,27	5,16

Fuente: Análisis estadístico

Ilustración 41. Gráfico de caja de temperatura exotérmica inicial vs temperatura exotérmica mejorada.



En términos del valor de Z, se obtiene una mejora, pasando el proceso de 1,07 a 4,81.



Tabla 14. Resumen de análisis estadístico comparativo condición inicial vs condición con mejoras

Concepto	Condición inicial	Condición mejorada
Z bench	1,07	4,81
% < LEI	0	0
% > LES	14,26	0
% Total	14,26	0

#### 4.8.1. Recursos requeridos para la implementación del proyecto.

Para la ejecución del método planteado se requirió de recursos económicos durante el proceso de diagnóstico, análisis e implementación

Tabla 15. Costos asociados a la implementación del proyecto.

Rubro	Cantidad	Valor Unitario COP	Valor Total COP
Honorario investigador	675 horas	\$13.200	\$ 8.910.000
Personal de apoyo planta de producción SAS	129 horas	\$8.400	\$ 1.083.600
Personal de apoyo administrativo y técnico Exiplast SAS	78 horas	\$13.795	\$ 717.340
Equipo de cómputo (terminal en planta de producción)	1 unidad	\$1.980.000	\$1.980.000
<b>Total</b>			<b>\$12.690.940</b>

El proyecto fue ejecutado de acuerdo con el cronograma relacionado a continuación:

Tabla 16. Cronograma del proyecto.

Nombre de tarea	Comienzo	Fin	% Completado
<b>Proyecto</b>	<b>mié. 1/09/21</b>	<b>mié. 10/01/24</b>	<b>100%</b>
Revisión sistemática de literatura con el fin de identificar las metodologías existentes aplicables.	mié. 1/09/21	jue. 30/06/22	100%
<b>1. Determinación del proceso a intervenir</b>	<b>jue. 30/09/21</b>	<b>mié. 30/11/22</b>	<b>100%</b>
Analizar el proceso productivo	jue. 15/09/22	mié. 30/11/22	100%
Establecer los factores de alto impacto en el costo de producción	jue. 30/09/21	mié. 15/12/21	100%
<b>2. Definición del problema</b>	<b>vie. 1/10/21</b>	<b>mar. 30/11/21</b>	<b>100%</b>
Caracterización del proceso	vie. 1/10/21	lun. 1/11/21	100%
Definir el Pareto de defectos	lun. 1/11/21	mar. 30/11/21	100%
<b>3. Recopilación de datos disponibles</b>	<b>lun. 1/11/21</b>	<b>mié. 12/01/22</b>	<b>100%</b>
Establecer los datos históricos cantidad y costo de producto no conforme	lun. 1/11/21	mié. 12/01/22	100%
<b>4. Análisis de Causas</b>	<b>mié. 26/01/22</b>	<b>mié. 30/03/22</b>	<b>100%</b>
Generar análisis causa-efecto para cada uno de los defectos del Pareto	mié. 26/01/22	mié. 30/03/22	100%

Identificar las variables críticas del proceso asociadas a los defectos analizados	mié. 26/01/22	mié. 30/03/22	100%
<b>5. Análisis sobre el comportamiento de las variables</b>	<b>vie. 1/04/22</b>	<b>mié. 15/06/22</b>	<b>100%</b>
Establecer los rangos aceptables de operación, unidades de medida y método de medición sobre las variables identificadas.	vie. 1/04/22	mié. 18/05/22	100%
Análisis estadístico sobre las variables críticas identificadas Y vs X's	mié. 25/05/22	mié. 15/06/22	100%
<b>6. Análisis sobre estabilidad y capacidad de procesos</b>	<b>mié. 25/04/22</b>	<b>mié. 31/08/22</b>	<b>100%</b>
Aplicar la herramienta de gráficos de control con registro de cambios en 6M	mié. 25/04/22	mié. 24/08/22	100%
Plantear propuesta sobre ajustes en los parámetros de control de proceso	mié. 20/07/22	mié. 31/08/22	100%
Establecer los Settings para el proceso	mié. 20/07/22	mié. 31/08/22	100%
<b>7. Implementación de las mejoras y control de procesos</b>	<b>jue. 1/09/22</b>	<b>mié. 26/10/22</b>	<b>100%</b>
Definir acciones para reducir la variabilidad del proceso	jue. 1/09/22	mié. 28/09/22	100%
Generar comparativo a partir de análisis estadístico luego de ejecutar los cambios	mié. 12/10/22	mié. 12/10/22	100%
Medición del impacto sobre el costo y la reducción de desperdicios a partir de los cambios propuestos	mié. 26/10/22	mié. 26/10/22	100%
<b>8. Estandarización y documentación del Método estructurado para la definición de variables críticas</b>	<b>mié. 22/11/23</b>	<b>mié. 10/01/24</b>	<b>100%</b>
Generar una herramienta que permita establecer de forma estandarizada los sets up sobre las variables de decisión críticas del proceso de producción	mié. 22/11/23	mié. 10/01/24	100%

#### 4.9. Herramienta para el control y la estandarización de las variables críticas del proceso.

Luego de realizados los cambios en el proceso se establece la necesidad de generar una herramienta que permita generar la parametrización de los equipos a partir de las condiciones adecuadas de operación basados en el análisis de variables realizado durante la ejecución de los gráficos de control.

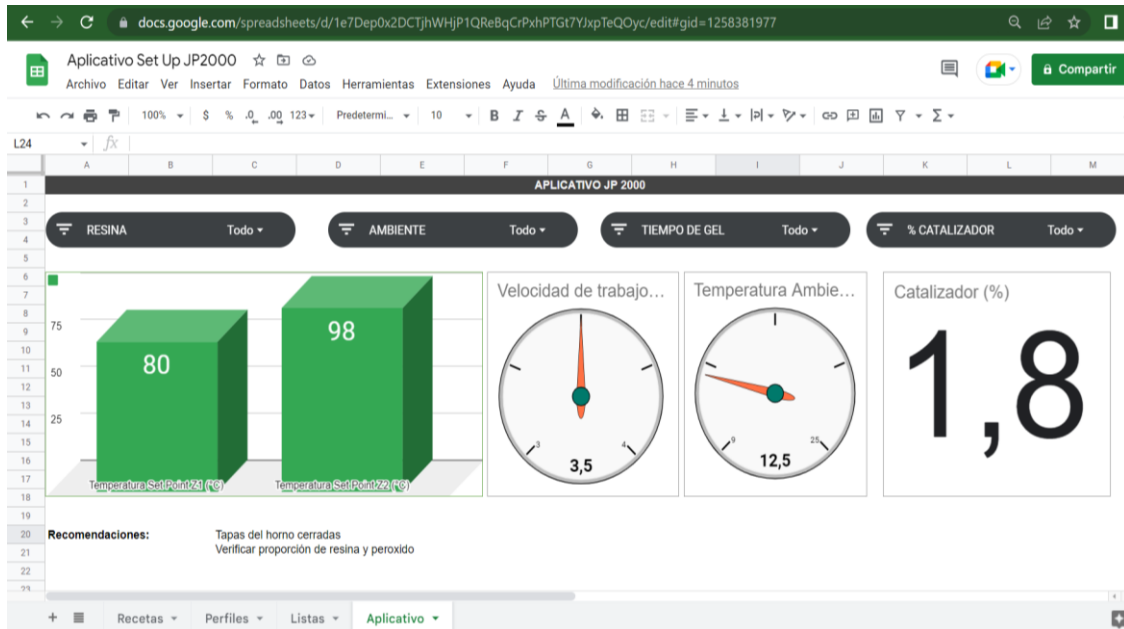
Se diseñó una herramienta en el *software Hojas de Cálculo de Google*® que permita al usuario (operario de producción) consultar los *sets point* adecuados y velocidad de trabajo recomendada a partir de las variables aleatorias mencionadas a continuación:

- Temperatura Ambiente
- Humedad relativa
- Referencia de Resina
- Porcentaje de catalizador

El operador de la línea debe seleccionar, entre una serie de opciones, las variables propias del pedido a producir y el aplicativo le sugerirá la velocidad de trabajo y los *sets point* de las temperaturas de cada zona del horno, así como el porcentaje de catalizador recomendado.

A continuación, se muestra la pantalla de acceso al aplicativo desde donde el usuario accede a la información:

Ilustración 42. Pantalla principal del Aplicativo de ajuste de variables críticas de la línea de producción.



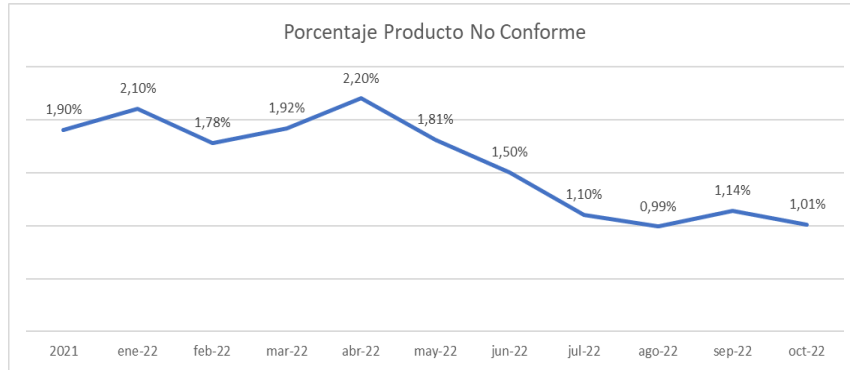
Para mayor detalle se generó un procedimiento para el acceso y uso del operativo (Anexo 2)

Se desarrolló un procedimiento para que el usuario pueda parametrizar el aplicativo aplicando los cambios que se requieran en la medida en que se incorporen nuevas resinas o se modifiquen las condiciones del proceso, también se describe en el procedimiento los pasos para operar el aplicativo y acceder a sus funciones (Anexo 1).

#### 4.10 Resultados en la reducción de costos

Durante los meses de junio a octubre se aplicaron de manera sostenida los ajustes planteados y se evidencia una reducción en la tasa de producto no conforme con 0% de ampollamiento.

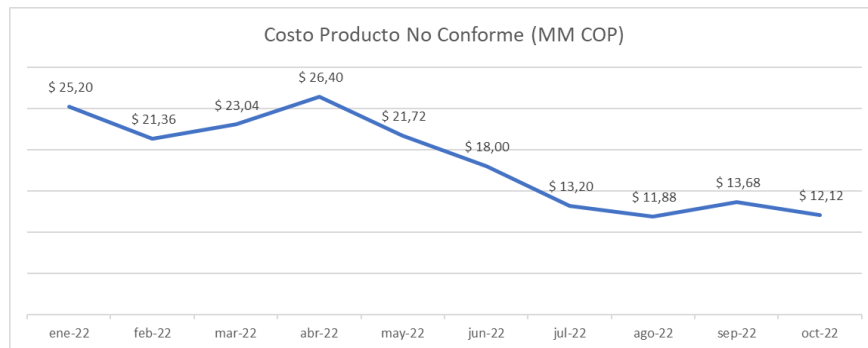
Ilustración 43. Gráfico de porcentaje de producto no conforme 2022



El ahorro calculado a partir de los ajustes que se realizaron a partir del mes de junio de 2022 asciende a 93 MM COP/año. Lo que representa el 34% del costo total del producto no conforme del año 2021. Debido a que para la implementación del proyecto se requirieron recursos económicos el ahorro neto se calcula en 80,3 MM COP para el primer año de implementación.

Así mismo, se evidencian los resultados sobre el comportamiento del producto no conforme en COP.

Ilustración 44. Gráfico de Producto no conforme en pesos 2022.



De igual forma, se reduce el riesgo de generar producto no conforme y que este producto llegue al cliente evitando reclamaciones que pueden afectar la reputación de la compañía y afectaciones económicas.

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Luego de ejecutar la metodología propuesta y de analizar los resultados obtenidos en el proceso de producción se obtienen las siguientes conclusiones:

- A partir de la revisión de literatura se identificó información relevante con la que se define la metodología a desarrollar.
- Se identificaron las variables críticas de proceso y los rangos de trabajo adecuados para la línea de laminación continua de PRFV.
- A partir del análisis de estabilidad y capacidad se pudo establecer la relación existente entre la variabilidad de las entradas del proceso (6M) y sus efectos sobre la conformidad del producto.
- Se analizó la variable crítica temperatura de pico exotérmico y su relación directa con la aparición del principal defecto del Pareto (ampollamiento).
- Se estableció la sección de la línea donde se debe controlar la variable crítica (temperatura de pico exotérmico).
- A partir de los análisis estadísticos realizados, se estableció como línea base una probabilidad de falla del proceso del 14,26% con una alta dispersión en los datos. Lo anterior se ve reflejado en la generación constante del defecto ampollamiento durante la producción.
- Durante la evaluación del proceso, se evidenció que el ajuste de la velocidad operativa en el rango establecido por la compañía de 2,5 metros/min hasta 4,2 metros/min, es un factor causal que genera variabilidad y efectos negativos en la aparición del defecto mencionado.

- Fueron implementados en el proceso los parámetros sugeridos a partir del análisis estadístico, se evidenció que cuando el operador de la línea mantiene estable la velocidad operativa en 3,5 metros/min la variabilidad de la temperatura de pico exotérmico se reduce, así como la aparición del defecto principal de la línea de producción.
- A partir de la identificación de los factores que generaban variabilidad sobre la temperatura exotérmica se generó ajuste en el método operacional reduciendo la probabilidad de falla al 0% y una reducción en la desviación estándar de los datos significativa pasando de 4,78 a 2,27.
- En términos del valor de capacidad Z se obtiene una mejora, pasando de 1,07 a 4,81 lo que permite que el proceso aumente su capacidad de generar producto conforme.
- Se evidencia un impacto tangible en la operación a partir de los ahorros obtenidos, los cuales se calculan en 93,05 MM COP aproximadamente por año desde la aplicación de los cambios sugeridos en el mes de julio de 2022. Para el primer año de aplicación el ahorro neto se calcula en 80.3 MM COP debido a la diferencia que existe entre el ahorro y el costo que generó la ejecución del proyecto.
- A partir del proceso desarrollado se establece el método estructurado para el ajuste de variables críticas en la línea de laminación continua en PRFV<sup>2</sup> de acuerdo con lo establecido en el anexo 1.
- Con el fin de garantizar que las variables crítica sean ajustadas a partir de los parámetros establecidos y validados, se creó una herramienta en *el software Hojas de Cálculo de Google* ®. Se estableció la restricción de velocidad operativa, la herramienta fue validada en el proceso, recomendada para su uso y mejoramiento continuo por parte de la compañía.

---

<sup>2</sup> PRFV: Poliéster Reforzado con Fibra de Vidrio

- Se recomienda la aplicación del ciclo de mejora establecido en este documento para los defectos relacionados en el Pareto con el fin de generar un proceso continuo y sostenido de mejoramiento.
- Se recomienda la aplicación de equipos tecnológicos que permita a los operarios de producción la visualización de las variables: temperatura exotérmica, temperaturas por sección en los hornos de curado, velocidad operativa y porcentaje de catalización.

## REFERENCIAS

- Alpa Tapan Bhatt, . P. (2018). Primary Manufacturing Processes for Fiber Reinforced, History, Development & Future Research Trends. *Materials Science and Engineering*, 330.
- Anderssson, R., Eriksson, H., & Tortensson, H. (2006). Similarities and Differences between TQM, Six Sigma and Lean. *The TQM Magazine*, 18, 282-296.
- Antil, P. S. (2019). Metaheuristic approach in machinability evaluation of silicon carbide particle/glass fiber-reinforced polymer matrix composites during electrochemical discharge machining process. *Measurement and Control (United Kingdom)*, 52 7-8.
- Antonio Blázquez, J. J. (2018). A PROCEDURE FOR THE ESTIMATION OF THE SHAPE. *ECCM18 - 18th European Conference on Composite Materials*. Athens, Greece.
- Antony, J. (2006). Six-sigma for service processes. *Business Process Management Journal*, 12(2) 234-248.
- Baghel, N. B. (2005). An overview of continuous. *Management Decision*.  
<https://doi.org/10.1108/00251740510597761>
- Barraza, M. F. (2007). LA SOSTENIBILIDAD DE LA MEJORA CONTINUA DE PROCESOS EN LA ADMINISTRACIÓN PÚBLICA UN ESTUDIO EN LOS AYUNTAMIENTOS DE ESPAÑA.
- Bateman, N. (2002). Process improvement programmes: a model for assessing sustainability. *International Journal of Operations & Production Management*.
- Besterfield, D. (2009). *Control de calidad*. México: pearson educacion.
- Bothe, D. R. (2002). Statistical Reason for the 1.5  $\sigma$  Shift. *Quality Engineering*, 14(3), 479-487.  
<https://doi.org/10.1081/qen-120001884>
- Celaya, C. (2005). Evaluación de la implantación del sistema de análisis de peligros y puntos de control crítico (APPCC) en las pequeñas industrias alimentarias de la Comunidad de Madrid. *Universidad Complutense de Madrid*.
- Che, J. (2018). Relative analysis of the dependency of spectrophotometric data. *Wiley*.
- Cheng-Ho Chen, J.-J. W.-S. (2012). Application of a UV curable hard coating containing j-aluminum oxide particles. *SciVerse ScienceDirect*.
- Crosby, P. (1980). *Quality is Free: The Art of Making Quality Certain*. New American Library.
- Davenport, T. H. (1993). *Process Innovation: Reengineering Work Through Information Technology*. Harvard Business School Press.
- Dean, J. W. (1994). Management Theory and Total Quality: Improving Research and Practice through Theory Development. *The Academy of Management Review*. <https://doi.org/10.2307/258933>
- Deming, W. (2000). *Out of the Crisis*. The MIT Press.
- Dinis-Carvalho, J. R. (2016). Performance enhancing in the manufacturing industry: An improvement KATA application. *Paper presented at the IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, (págs. 1250-1254).
- Edge, M. D. (2019). *Statistical Thinking from Scratch*. Oxford: Oxford University Press is a department of the University of Oxford.
- EL-Khalil, R., Leffakis, Z., & Hong, P. (2020). Impact of improvement tools on standardization and stability goal practices : An empirical examination of US automotive firms. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 705-723.
- EXIPLAST S.A.S. (2021). *Informe Pareto de Causas Defectos 1H 2021 MPC*. Bogotá.



- Farris, J. A. (2008). Learning from Less Successful Kaizen Events. *Engineering Management Journal*, 10–20.
- Farris, J. A. (2008). Learning from Less Successful Kaizen Events. *Engineering Management Journal*, 10–20.
- Feigenbaum, A. (1991). *Total Quality Control*. McGraw-Hill.
- Feng, X. Z. (2020). Simulation optimization framework for online deployment and adjustment of reconfigurable machines in job shops. *aper presented at the IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, 20.
- Fernández, S. V. (2016). Criticality of response time in the usage of metaheuristics in industry. *Paper presented at the GECCO 2016 Companion Proceedings of the 2016 Genetic and Evolutionary Computation Conference*, 937-940.
- Galetto, F. F. (2002). Asymptotic defectiveness of manufacturing plants: An estimate based on process learning curves. *International Journal of Production Research*, 40:3, 537-545.  
<https://doi.org/10.1080/00207540110090948>
- Gastelum-Acosta, C. L.-R.-L.-C. (2022). Assessing the adoption of critical success factors for lean six sigma implementation. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 33(1), 124-145.  
<https://doi.org/10.1108/JMTM-12-2020-0488>
- Gavriliuță, A. C. (2021). Algorithm to use some specific lean manufacturing methods: Application in an industrial production process. *Processes*, 9.
- Gitlow, H. a. (2004). *Quality Management*. McGraw-Hill.
- Goetsch, D., & Davis, S. (2015). *Quality Management for Organizational Excellence: Introduction to Total Quality*. Pearson.
- Goldratt, E. (1992). *The Goal: A Process of Ongoing Improvement*. North River Press.
- Guo, D. L. (2021). Synchroperation in industry 4.0 manufacturing. *International Journal of Production Economics*, 13.
- Hammer, M., & Champy, J. (2003). *Reengineering the Corporation: A Manifesto for Business Revolution*. HarperCollins.
- Harrington, D. (1991). *Business process improvement: The breakthrough strategy for total quality, productivity, and competitiveness*. New York: McGraw Hill.
- Henríquez-Machado, R., Muñoz-Villamizar, A., & Santos, J. (2021). Sustainability through operational excellence: An emerging country perspective. *Sustainability (Switzerland)*, p. 13(6).  
<https://doi.org/10.3390/su13063165>
- Hunt, V. D. (1995). *Reengineering*. John Wiley & Sons, inc.
- Imai, M. (1986). *Kaizen: The Key To Japan's Competitive Success*. McGraw-Hill Education.
- Ishikawa, K., & Lu, D. (1985). *What is Total Quality Control? The Japanese Way*. Prentice-Hall.
- Ito, M. S. (2020). Internet of things and simulation approach . *Journal of Advanced Mechanical Design, Systems and Manufacturing*, 12.
- Jackson, M., & Sloane, A. (2003). Modelling information and communication technology in business. *Business Process Management Journal*, 81–113.
- Jagtar Singha, V. R. (2014). Implementation of 5S practices: A review. *Uncertain Supply Chain Management*.
- Juran, J. M. (1988). *Juran's Quality Handbook*. McGraw-Hill.
- KLEIN, W. H. (1991). *MEASUREMENT SYSTEMS, SAMPLING, AND*. Houston, Texas: Quality Engineering.

- Koch, C. &. (2021). Towards agile standardization: Testbeds in support of standardization for the IIoT. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 59-74.
- Krajewski, L., Malhotra, M., & Ritzman, L. (2016). *Operations Management: Processes and Supply Chains*. Pearson.
- Kraus, S., Filser, M., Puumalainen, K., Kailer, N., & Thurner, S. (2020). Business Model Innovation: A Systematic Literature Review. *International Journal of Innovation and Technology Management*.
- Kumar, N., Shahzeb Hasan, S., Srivastava, K., Akhtar, R., Kumar Yadav, R., & Choubey, V. K. (2022). Lean manufacturing techniques and its implementation: A review. *Materials Today: Proceedings*, 64, 1188-1192. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.03.481>
- Liker, J. L. (2004). *Las Claves del Exito de Toyota*. McGraw-Hill.
- M. Mohan Prasad, J. D. (2020). A framework for lean manufacturing implementation in Indian textile industry. *Mater. Today*, 2986–2995.
- Magnusson, K. K. (2003). *Six-sigma The pragmatic approach. 2nd ed. Lund. Sweden: Student literature*.
- McClusky, R. (2000). The rise, fall and revival of six-sigma. *Measuring Business Excellence*, 6-17.
- Medina León, A., Nogueira Rivera, D., El Assafiri Ojeda, Y., Medina Nogueira, Y. E., & Hernández Nariño, A. (2020). De la documentación de procesos a su mejora y gestión. *Revista Cubana De Administración Pública Y Empresarial*, 4(2), 206–224.
- Mendling, J. v. (2018). *Business Process Management Cases Digital Innovation and Business Transformation in Practice*. Springer.
- Mithun Sharma, S. P. (2019). Reduction of defects in the lapping process of the silicon wafer manufacturing: the Six Sigma application.
- Montgomery, D. C. (2004). *Introduction to Statistical Quality Control. 5ª ed.* Indianapolis, Ind., Wiley Publishing.
- Motorcu, A. R., & Abdulkadir, G. (2006). Statistical process control in machining, a case study for machine tool capability and process capability. *Materials & Design*, 364-372. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2004.11.003>.
- Nava Carbellido, V. M. (2005). *¿Qué es la calidad? Conceptos, gurús y modelos fundamentales*. Mexico: Limusa.
- Ohno, T. (1988). *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*. Taylor & Francis.
- Page, S. (2010). *The Power of Business Process Improvement*. American Management Association.
- Paipa-Galeano, L., Bernal-Torres, C. A., Otálora, L. M., Nezhad, Y. J., & González-Blanco, H. A. (2020). Key Lessons to Sustain Continuous Improvement: A Case Study of Four Companies. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 13(1).
- Pereira, R. B. (2016). Combining scott-knott and GR&R methods to identify special causes of variation. *Journal of the International Measurement Confederation*, 135-144.
- Pettersen, J. (2009). Defining lean production: some conceptual and practical issues. *The TQM Journal Vol. 21*, 27-142.
- Piñero, E. A., & Vivas, F. E. (2018). *Programa 5S's para el mejoramiento continuo de la calidad y la productividad en los puestos de trabajo*.
- Prateek Guleria, A. P. (2022). Lean six-sigma implementation in an automobile axle manufacturing industry: A case study. *Materials Today: Proceedings*, 1739-1746. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.09.177>
- Pulido, G., & De la Vara Salazar, R. (2013). Control estadístico de la calidad y Seis Sigma. En *Control estadístico de la calidad y Seis Sigma*. México DF: Mc Graw Hill Education.

- Pulido, H. G. (2010). *Calidad Total y Productividad*. Mexico D.F.: Mc Graw Hill.
- Pyzdek, T. (2003). *The Six Sigma Project Planner*. United States of America: McGraw-Hill.
- Randhawa, J. S. (2018). An investigation into manufacturing performance achievements accrued by Indian manufacturing organization through strategic 5S practices. *International Journal of Productivity and Performance Management*.
- Ries, E. (2011). *The Lean Startup*. New York: Crown Business.
- Rohleder, T. R., & Silver, E. A. (1997). A tutorial on business process improvement. 15(2), 139–154. [https://doi.org/10.1016/s0272-6963\(96\)00100-3](https://doi.org/10.1016/s0272-6963(96)00100-3)
- Rother, M. a. (2003). *Learning to See: Value Stream Mapping to Add Value and Eliminate Muda*. Taylor & Francis.
- Saleh, H. E.-D. (2012). *Polyester*. Rijeka, Croatia: Intech Open.
- Shores, A. R. (1994). *Reengineering the Factory: A Primer for World-class Manufacturing*. ASQC Quality Press.
- Soler, M. P., & Gisbert, V. (2018). *CONTROL ESTADÍSTICO DE LA CALIDAD: UNA APLICACIÓN PRACTICA*. ÁREA DE INNOVACIÓN Y DESARROLLO, S.L. <https://doi.org/10.17993/EcoOrgyCso.2018.44>
- Sosa-Perez, V. P.-M.-C.-I. (2020). Lean manufacturing production management model focused on worker empowerment aimed at increasing production efficiency in the textile sector. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 796(1).
- Stoner, J. A. (1996). Administración. En *Management* (pág. 223). México: Pearson.
- Sutrisno, S. S. (2019). Study On Mechanical Properties of Composite Geomaterial. *International Conference on Mechanical Engineering Research and Application*. East Java, Indonesia.
- Swarnakar, V. &. (2020). Evaluating the effect of critical failure factors associated with sustainable Lean Six Sigma framework implementation in healthcare organization. *International Journal of Quality & Reliability Management*. <https://doi.org/10.1108/IJQRM>
- Taguchi, G. (1986). *Introduction to Quality Engineering: Designing Quality into Products and Processes*. Asian Productivity Organization.
- Tague, N. R. (2005). *The Quality Toolbox*. Milwaukee, Wisconsin: ASQ Quality Press.
- Taylor, F. (1998). *The Principles of Scientific Management*. Dover Publications.
- Vamsi Krishna Balla, K. H. (2019). Additive manufacturing of natural fiber reinforced polymer composites: Processing and prospects. En *Composites Part B: Engineering*.
- Wari, E. &. (2016). A survey on metaheuristics for optimization in food manufacturing industry. *Applied Soft Computing Journal*, 328-343.
- Weske, M. (2007). *Business Process Management: Concepts, Languages, Architectures*. Springer Berlin Heidelberg.
- Wil van der Aalst, K. v. (2004). *Workflow Management Models, Methods, and Systems*. London: First MIT Press.
- Womack, J., & Jones, D. (2003). *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation, Revised and Updated*. Free Press.
- Xu, J. Z. (2009). Curing process simulation of fiberglass-reinforced plastic (FRP) pipes. *Materials and Manufacturing Processes*, 24(6), 24(6).
- Yang, C. -. -.-. (2022). The development of the new process of design for six sigma (DFSS) and its application. *Sustainability (Switzerland)*, 14(15). <https://doi.org/doi:10.3390/su14159294>

Yepes Piqueras, V. (2013). *Repositorio Universidad Politécnica de Valencia*.

[https://polimedia.upv.es/visor/?id=51a98747-6519-d949-bdbb-5e41c98ea265:](https://polimedia.upv.es/visor/?id=51a98747-6519-d949-bdbb-5e41c98ea265)

<https://riunet.upv.es/handle/10251/30562>

Zhang, L. H. (2021). Data-driven dispatching rules mining and real-time decision-making methodology in intelligent manufacturing shop floor with uncertainty. *Sensors*, *21(14)*, 14.

## ANEXOS

### ANEXO 1.

#### Procedimiento para el ajuste de variables críticas de la línea de proceso continuo.

A continuación, se describe el procedimiento desarrollado para el ajuste de variables críticas de la línea de proceso continuo.

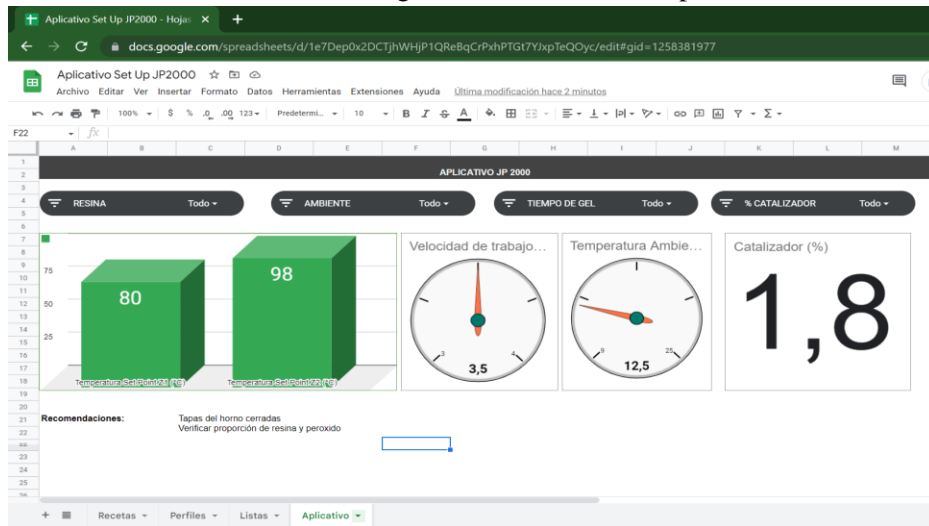
Ilustración 45. Procedimiento *SIPOC* para el ajuste de variables críticas de la línea de proceso continuo.



A continuación, se describe el procedimiento para el acceso y operación del aplicativo desarrollado.

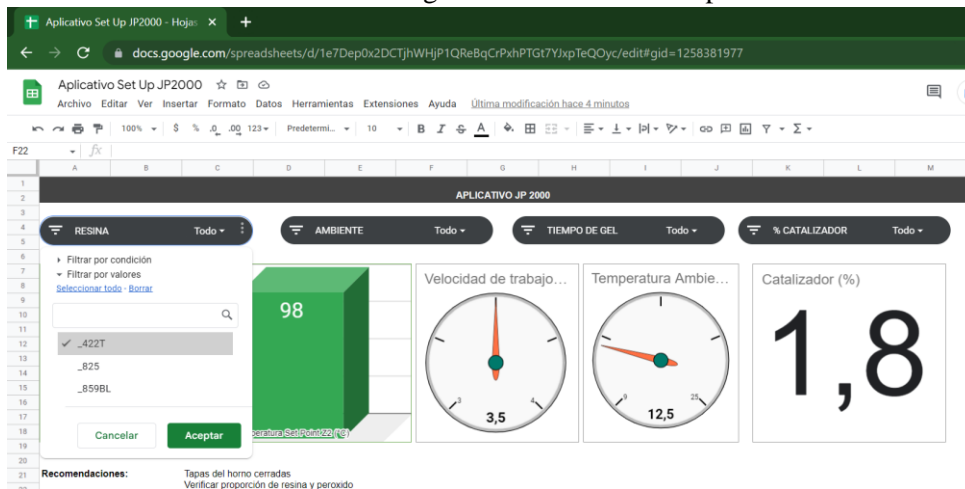
1. Ingrese al aplicativo a través del acceso directo en el escritorio del pc
2. Seleccione la hoja “Aplicativo” o acceda a la dirección web para el acceso al documento ubicado en *Google Hojas de Calculo* ®

Ilustración 46. Imagen de acceso sobre el aplicativo en PC.



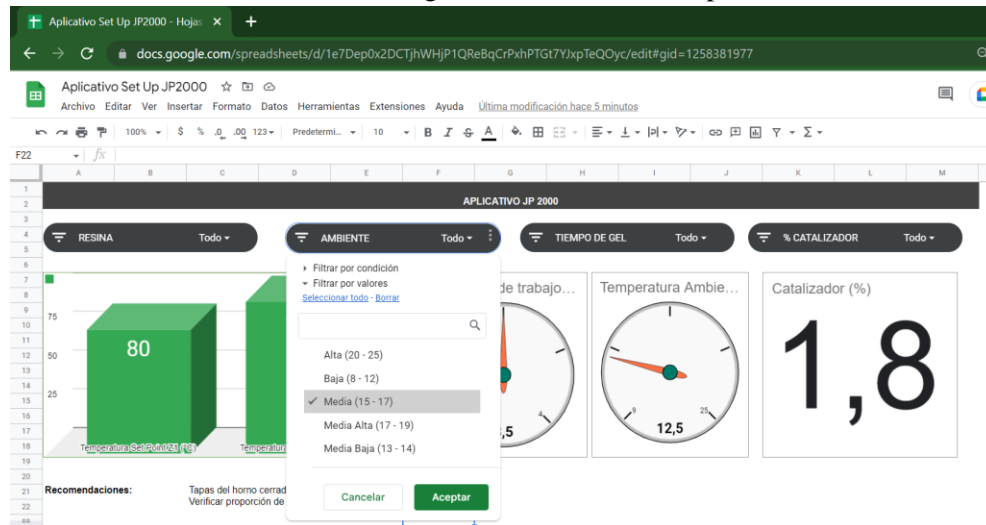
3. Dirijase al filtro “Resina” y seleccione la opción de acuerdo con la referencia requerida en la orden de fabricación

Ilustración 47. Imagen de acceso sobre el aplicativo en PC



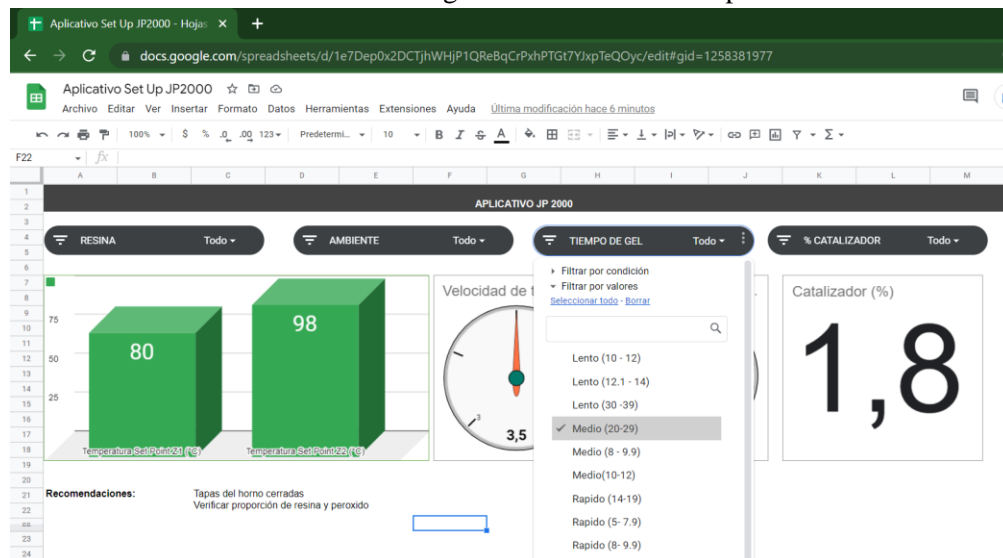
- Diríjase al filtro Ambiente y seleccione el rango de temperatura ambiente real, verifique el termohigrómetro de la planta

Ilustración 1 Imagen de acceso sobre el aplicativo en PC



- En el filtro de tiempo de gel seleccione el tiempo de gel de acuerdo con la información suministrada por el laboratorio en el registro “Información M.P. laboratorio”

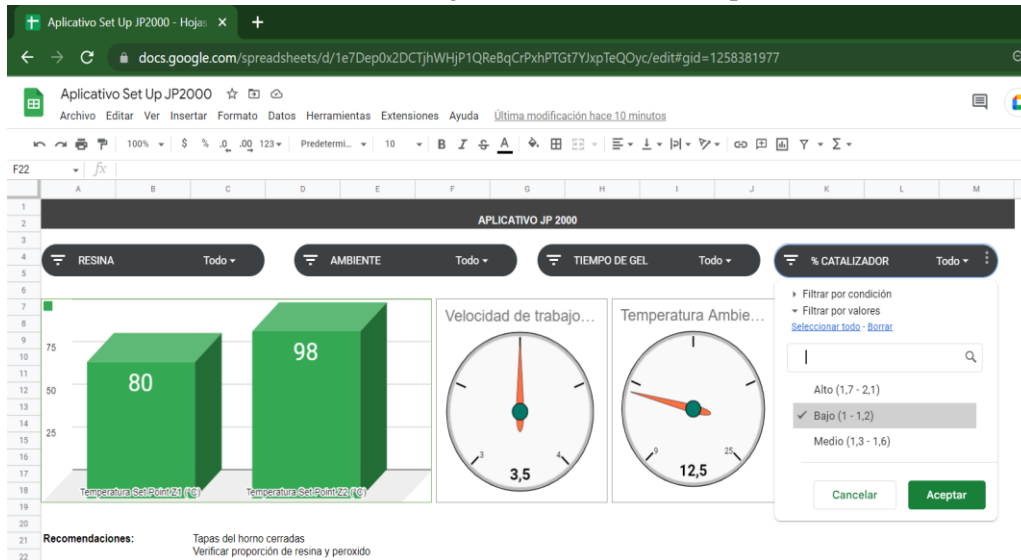
Ilustración 49. Imagen de acceso sobre el aplicativo en PC





6. Finalmente, en el filtro “Catalizador” seleccione el porcentaje sugerido por el laboratorio en el registro “Información M.P. Laboratorio”

Ilustración 50. Imagen de acceso sobre el aplicativo en PC.



7. El aplicativo le indicará los parámetros de temperatura *set point* a registrar en el *display* del *PLC* de la máquina para las zonas 1 y 2 así como la velocidad de trabajo recomendada y una lista de recomendaciones generales en texto para el producto a fabricar.

Ilustración 51.2 Imagen de acceso sobre el aplicativo en PC.

