



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA INGENIERÍA INDUSTRIAL

**APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DMAIC ENFOCADA EN
LA MEJORA DEL PROCESO PRODUCTIVO EN LAS LÍNEAS DE
RETORCIDO Y BOBINADO DE HILOS PLÁSTICOS DE LA
EMPRESA HIPLAS**

Trabajo de Titulación

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO INDUSTRIAL

AUTORES:

EDISON JOEL BARRAGÁN PURCACHI

DAVID ALEXANDER VÁSCONEZ CASTILLO

Riobamba – Ecuador

2022



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA INGENIERÍA INDUSTRIAL

**APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DMAIC ENFOCADA EN
LA MEJORA DEL PROCESO PRODUCTIVO EN LAS LÍNEAS DE
RETORCIDO Y BOBINADO DE HILOS PLÁSTICOS DE LA
EMPRESA HIPLAS**

Trabajo de Titulación

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO INDUSTRIAL

AUTORES: EDISON JOEL BARRAGÁN PURCACHI

DAVID ALEXANDER VÁSCONEZ CASTILLO

DIRECTOR: Ing. ÁNGEL GEOVANNY GUAMÁN LOZANO

Riobamba – Ecuador

2022

© 2022, Edison Joel Barragán Purcachi & David Alexander Vásquez Castillo

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Nosotros, EDISON JOEL BARRAGÁN PURCACHI y DAVID ALEXANDER VÁSCONEZ CASTILLO, declaramos que el presente Trabajo de Titulación es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 15 de noviembre del 2022



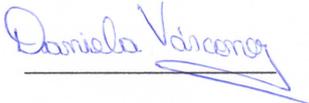
Edison Joel Barragán Purcachi
020213028-2



David Alexander Vásquez Castillo
060387640-0

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA INGENIERÍA INDUSTRIAL

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El Trabajo de Titulación; Tipo: Proyecto Técnico, **APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DMAIC ENFOCADA EN LA MEJORA DEL PROCESO PRODUCTIVO EN LAS LÍNEAS DE RETORCIDO Y BOBINADO DE HILOS PLÁSTICOS DE LA EMPRESA HIPLAS**, realizado por los señores: **EDISON JOEL BARRAGÁN PURCACHI y DAVID ALEXANDER VÁSCONEZ CASTILLO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Eugenia Mercedes Naranjo Vargas PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2022-11-15
Ing. Ángel Geovanny Guamán Lozano DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN		2022-11-15
Ing. Daniela Carina Vásconez Núñez MIEMBRO DEL TRIBUNAL		2022-11-15

DEDICATORIA

De la manera más especial a mi madre Diana que desde niño siempre confió en todo lo que soñé, brindándome su apoyo, amor y cuidado incondicional, siendo el pilar, motor y ahora el motivo que le da sentido a mi vida. A mi padre Geovanny, que a pesar de todas las adversidades pudo mantenerse siempre firme, cada consejo y palabras de aliento crearon en mi la fuente de inspiración para alcanzar cada una de mis metas. A mis hermanos Lia y Alex que siempre me hicieron sentir capaz de alcanzar lo que me proponga. Cada lágrima y cada risa valieron la pena. Todo eternamente por ellos y para ellos.

Joel

Dedico el presente trabajo realizado a mi familia, a mis padres Sonia y César por siempre brindarme su apoyo incondicional durante toda mi vida, forjándome como el ser humano que soy ahora y permitiéndome alcanzar un logro más en mi vida. Se lo dedico a Jennifer, por ser mi apoyo durante el final de mi etapa universitaria, ayudándome a superar cada obstáculo presentado en el camino.

David

AGRADECIMIENTO

A mi madre, mi ángel de la guarda, a mi padre, mi guía y mentor, a mis hermanos y amigos, que por su parte nunca faltó el “¡tú puedes!”, me faltaría vida para agradecerles todo lo que han hecho por mí. Mi agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo a la facultad de Mecánica, de manera especial a Escuela de Industrial y a el Ing. Ángel Guamán y la Ing. Daniela Vásconez en calidad de director y miembro de tesis quienes dieron parte de su tiempo en la realización de este trabajo.

Joel

Agradezco inmensamente a mi familia, en especial a mis padres Sonia y César, y a mi hermano Jean quienes han sido aquellos que han estado a mi lado en todo momento, impulsándome a cumplir mis sueños y convertirme en un profesional repleto de valores y grandes capacidades. A todos mis compañeros y buenos amigos que conocí durante el camino, en especial a Jennifer quien además de ser una persona excepcional, se convirtió en uno de mis pilares fundamentales sobre todo en los momentos difíciles. Al Ing. Ángel Guamán y la Ing. Daniela Vásconez por compartirnos su amplio conocimiento en la materia. Al Ing. Carlos Quisnia quien en calidad de gerente de la empresa HIPLAS, supo abrirnos las puertas de par en par para la realización del presente trabajo además de brindarnos su apoyo y compromiso total.

David

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	xii
ÍNDICE DE ANEXOS	xiv
RESUMEN.....	Error! Bookmark not defined.
SUMMARY	xvi
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	2
1.1. Antecedentes.....	2
1.2. Planteamiento del problema	3
1.3. Justificación.....	3
1.4. Objetivos.....	4
1.4.1. <i>Objetivo general</i>	4
1.4.2. <i>Objetivos específicos</i>	4

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO	5
2.1. Antecedentes de la investigación.....	5
2.2. Referencias Teóricas	7
2.2.1. <i>La filosofía six sigma</i>	7
2.2.2. <i>Metodología DMAIC</i>	8
2.2.3. <i>Diagrama de Gantt del proyecto</i>	9
2.2.4. <i>Definir</i>	10
2.2.5. <i>Voz del cliente</i>	10
2.2.6. <i>Diagrama de Pareto</i>	10
2.2.7. <i>Medir</i>	11
2.2.8. <i>Cartas de control de Shewhart</i>	12
2.2.9. <i>Capacidad del proceso</i>	12
2.2.10. <i>Índice de capacidad potencial Cp</i>	13
2.2.11. <i>Índice de capacidad real Cpk</i>	14
2.2.12. <i>Flujograma</i>	14
2.2.13. <i>Prueba de normalidad</i>	14

2.2.14.	<i>Analizar</i>	15
2.2.15.	<i>Análisis modal de fallas y efectos</i>	15
2.2.16.	<i>Diagrama de dispersión</i>	17
2.2.17.	<i>Mejorar</i>	18
2.2.18.	<i>Diseño experimental</i>	18
2.2.19.	<i>Análisis de varianza</i>	18
2.2.20.	<i>Controlar</i>	20
2.2.21.	<i>Planes de control</i>	20

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	21
3.1.	Tipo de estudio	21
3.2.	Tipo de investigación	21
3.2.1.	<i>Investigación descriptiva</i>	21
3.2.2.	<i>Investigación de campo</i>	21
3.3.	Metodología	22
3.4.	Desarrollo de la metodología DMAIC	22
3.4.1.	<i>Gantt del proyecto</i>	22
3.4.2.	<i>Definir la situación actual de la empresa</i>	23
3.4.2.1.	<i>Voz del cliente</i>	23
3.4.2.2.	<i>Característica crítica de calidad</i>	26
3.4.3.	<i>Medir</i>	26
3.4.3.1.	<i>Norma técnica ecuatoriana NTE INEN-ISO 2307</i>	26
3.4.3.2.	<i>Instrumentos de medición</i>	27
3.4.3.3.	<i>Metodología de medición</i>	27
3.4.3.4.	<i>Registro de las mediciones</i>	27
3.4.3.5.	<i>Prueba de normalidad de datos</i>	30
3.4.3.6.	<i>Cartas de control</i>	30
3.4.3.7.	<i>Estabilidad del proceso</i>	31
3.4.3.8.	<i>Capacidad del proceso actual</i>	32
3.4.4.	<i>Analizar</i>	33
3.4.4.1.	<i>Mapeo del proceso</i>	34
3.4.4.2.	<i>Análisis modal de fallos y efectos</i>	35
3.4.5.	<i>Mejorar</i>	36
3.4.5.1.	<i>Planteamiento del modelo experimental</i>	36
3.4.5.2.	<i>Diseño factorial 2²</i>	36
3.4.5.3.	<i>Planteamiento de hipótesis</i>	37

3.4.5.4.	<i>Hipótesis factor A (temperatura del horno)</i>	37
3.4.5.5.	<i>Hipótesis factor B (temperatura del refrigerante)</i>	37
3.4.5.6.	<i>Hipótesis interacción de factores</i>	38
3.4.5.7.	<i>Variable de respuesta</i>	38
3.4.5.8.	<i>Desarrollo del modelo</i>	38
3.4.5.9.	<i>Proceso de aleatorización de datos</i>	38
3.4.5.10.	<i>Supuesto de normalidad</i>	40
3.4.5.11.	<i>Supuesto de homogeneidad de varianza</i>	41
3.4.5.12.	<i>Prueba de Bartlett</i>	41
3.4.5.13.	<i>Residuos del modelo</i>	42
3.4.5.14.	<i>Cálculo análisis de varianza (ANOVA) y gráfica de distribución</i>	43
3.4.5.15.	<i>Conclusiones ANOVA (factores significativos)</i>	44
3.4.5.16.	<i>Factor A (temp. cañón)</i>	44
3.4.5.17.	<i>Factor B (temp. agua)</i>	44
3.4.5.18.	<i>Factor AxB (temp. cañón vs temp. agua)</i>	44
3.4.5.19.	<i>Cálculo del coeficiente de determinación</i>	44
3.4.5.20.	<i>Ecuación de regresión</i>	45
3.4.6.	<i>Presentación de gráficas</i>	45
3.4.6.1.	<i>Diagrama Pareto de efectos estandarizados</i>	45
3.4.6.2.	<i>Gráfica de efectos principales</i>	46
3.4.6.3.	<i>Parámetros de operación</i>	47
3.4.6.4.	<i>Gráfica de intervalos</i>	47
3.4.6.5.	<i>Validación de hipótesis</i>	48
3.4.6.6.	<i>Implementación de hojas de procedimientos</i>	48
3.4.6.7.	<i>Carencia de líderes</i>	50
3.4.6.8.	<i>Desmotivación del personal</i>	50
3.4.6.9.	<i>Plan de capacitaciones</i>	51
3.4.6.10.	<i>Propuesta de implementación de un sistema de refrigeración (chiller)</i>	52
3.4.7.	<i>Controlar</i>	54
3.4.7.1.	<i>Hoja de verificación</i>	54
3.4.7.2.	<i>Estudio del proceso mejorado</i>	55
3.4.7.3.	<i>Prueba de normalidad de datos</i>	56
3.4.7.4.	<i>Cartas de control</i>	57
3.4.7.5.	<i>Estabilidad del proceso mejorado</i>	58
3.4.7.6.	<i>Capacidad del proceso mejorado</i>	58

CAPÍTULO IV

4.	MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	60
4.1.	Comparación cartas de control (media y desviación estándar)	60
4.2.	Comparación de la estabilidad del proceso	61
4.3.	Comparación de normalidad de datos.....	61
4.4.	Comparación de la capacidad del proceso.....	62
	CONCLUSIONES	63
	RECOMENDACIONES	65
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2:	Indicadores del nivel sigma del proceso.....	8
Tabla 2-2:	Valores del indicador Cp y su interpretación.....	13
Tabla 1-3:	Diagrama de Gantt del proyecto	22
Tabla 2-3:	Clientes encuestados.....	24
Tabla 3-3:	Registro de mediciones actuales de resistencia última a la tensión del hilo bananero.....	28
Tabla 4-3:	Informe de resultados ensayo INEN.....	29
Tabla 5-3:	AMFE de proceso del hilo bananero 21x1.	35
Tabla 6-3:	Factores y niveles del modelo experimental	37
Tabla 7-3:	Modelo de aleatorización de datos.	39
Tabla 8-3:	Datos aleatorizados en el modelo.....	39
Tabla 9-3:	Hipótesis del modelo	40
Tabla 10-3:	Hoja de procedimientos	49
Tabla 11-3:	Costo de la proforma.	54
Tabla 12-3:	Checklist	55
Tabla 13-3:	Registro nuevo de mediciones de resistencia última a la tensión del hilo bananero posterior a la mejora implementada	56

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-1:	Ventas totales en miles de dólares por Sectores económicos.....	2
Ilustración 1-2:	Operacionalización del DMAIC.....	9
Ilustración 2-2:	Diagrama de Gantt.....	9
Ilustración 3-2:	Diagrama de Pareto	11
Ilustración 4-2:	Capacidad potencial Cp.	13
Ilustración 5-2:	Índice de capacidad real Cpk.	14
Ilustración 6-2:	Gráfica de probabilidad normal.....	15
Ilustración 7-2:	Esquema de actividades para realizar un AMEF de proceso.	16
Ilustración 8-2:	Formato AMEF para proceso, encabezados y análisis de riesgo	17
Ilustración 9-2:	Variables involucradas en un proceso	19
Ilustración 1-3:	Resultados de la encuesta de interés a clientes representativos de HIPLAS.	24
Ilustración 2-3:	Resultados característica de calidad adicional.	25
Ilustración 3-3:	Diagrama de Pareto CTQ.....	25
Ilustración 4-3:	Prueba de normalidad de los datos actuales	30
Ilustración 5-3:	Comportamiento actual del proceso	30
Ilustración 6-3:	Gráfico de intervalos de variación de resistencia última a la tensión lotes. ...	31
Ilustración 7-3:	Análisis de medias individuales.	31
Ilustración 8-3:	Capacidad del proceso actual.	32
Ilustración 9-3:	Diagrama de flujo del proceso.	34
Ilustración 10-3:	Prueba de normalidad del modelo.	40
Ilustración 11-3:	Pruebas homogeneidad de varianza.....	41
Ilustración 12-3:	Gráfica de caja de la fuerza de rotura.	41
Ilustración 13-3:	Prueba de Bartlett.	41
Ilustración 14-3:	Prueba de igualdad de varianzas.	42
Ilustración 15-3:	Residuos del modelo.....	42
Ilustración 16-3:	Análisis de varianza.....	43
Ilustración 17-3:	Gráfica de distribución	43
Ilustración 18-3:	Coefficiente de determinación.....	44
Ilustración 19-3:	Ecuación de regresión.....	45
Ilustración 20-3:	Diagrama de Pareto de efectos estandarizados.....	45
Ilustración 21-3:	Gráfica normal de efectos estandarizados.....	46
Ilustración 22-3:	Gráfica de efectos principales.	46
Ilustración 23-3:	Gráfica de cubos.....	47
Ilustración 24-3:	Intervalos de fuerza de rotura según la experimentación.....	47

Ilustración 25-3: Capacitación al líder de producción.	50
Ilustración 26-3: De normalidad del proceso mejorado.	56
Ilustración 27-3: Comportamiento del proceso mejorado.	57
Ilustración 28-3: Estabilidad del proceso mejorado.....	58
Ilustración 29-3: Capacidad del proceso mejorado.....	58
Ilustración 1-4: Comparación del comportamiento del proceso antes y después.	60
Ilustración 2-4: Estabilidad del proceso mejorado.....	61
Ilustración 3-4: Comparación de la distribución de normalidad, antes y después de mejora.	61
Ilustración 4-4: Comparación de la capacidad del proceso.	62

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: PLAN DE CAPACITACIONES

ANEXO B: FICHA TÉCNICA CHILLER AGGREKO WCC50 MK4

ANEXO C: DENSIDAD DEL AGUA ENTRE 0 °C Y 100 °C

ANEXO D: CALOR ESPECÍFICO DEL AGUA ENTRE 0 °C Y 100 °C

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo aplicar la metodología DMAIC enfocada en la mejora del proceso productivo en las líneas de retorcido y bobinado de hilos plásticos de la empresa HIPLAS. Dicha metodología consta de cinco etapas: definir, medir, analizar, mejorar y controlar. Inicialmente, se determinó que el Hilo Bananero es uno de los productos más demandados dentro del mercado agrícola, sin embargo, la aceptación del cliente por el producto de la empresa es baja. Mediante la aplicación de encuestas se determinó que la resistencia a la tensión, o fuerza de rotura, era la característica crítica de calidad (CTQ) a analizar. Se realizó ensayos de tracción, bajo la norma NTE INEN-ISO 2307, los cuales determinaron que el producto se encontraba aproximadamente un 20% bajo el nivel de la competencia. A través del Análisis Modal de Fallos y Efectos, se comprobó que los procesos de fundición de la fórmula y el enfriamiento por agua de la película son críticos. Así, para conocer su incidencia en la CTQ se aplicó un diseño experimental 2^2 que, al trabajar en sus niveles altos de 30°C para la temperatura de refrigeración y 350°C para la temperatura de fundición, demostró su significancia hacia el producto final, siendo estos los parámetros técnicos óptimos de operación. Debido a la incapacidad del proceso actual, se diseñaron herramientas de apoyo para el personal facilitando la realización de un trabajo más eficaz, reflejado en el aumento de los índices Pp de 0,62 a 1,02 y Ppk de 0,49 a 0,87, además de la reducción aproximada del 47% en cuanto a la desviación estándar del proceso. Se recomienda para el control de dichos procesos, la adquisición de un chiller AGGREKO modelo WCC50 MK4 en respuesta a la falta de un sistema de control en el proceso de refrigeración.

Palabras clave: <METODOLOGÍA DMAIC> <MEJORA CONTINUA> <HILOS PLÁSTICOS> <DISEÑO EXPERIMENTAL> <CARACTERÍSTICA CRÍTICA DE CALIDAD (CTQ)>.

0252-DBRA-UPT-2023

ESPOCH - DBRAI
PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS
BIBLIOGRÁFICO Y DOCUMENTAL



26 ENE 2023

REVISIÓN DE RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Por: J. P. P. Hora: 12:48

SUMMARY

The aim of this work was to apply the Define, Measure, Analyze, Improve, and Control (DMAIC) methodology focused on the improvement of the production process in the twisting and winding lines of plastic yarns of the company HIPLAS. This methodology consists of five stages: define, measure, analyze, improve and control. Initially, it was resolved that Banana thread is one of the most required products in the agricultural market; however, customer acceptance of the company's product is low. Through the application of surveys, it was determined that tensile strength, or breaking strength, was the critical to quality (CTQ) characteristic to be analyzed. On the one hand, tensile tests were carried out under the NTE INEN-ISO 2307 standard, which determined that the product was approximately 20% below the level of the competition. On the other hand, through the Failure Mode and Effects Analyze, it was found that the processes of melting the formula and the water cooling of the film are critical. Thus, an experimental design 2^2 was applied to determine its incidence on the CTQ, the same as when working at its high levels of 30°C for cooling temperature and 350°C for the melting temperature, showed its importance for the final product, as a result the optimum technical operating parameters. Due to the incapacity of the current process, support tools were designed for the staff which facilitated more efficient work, reflected in the increase of the Pp index from 0.62 to 1.02 and Pp from 0.49 to 0.87, as well as the reduction of approximately 47% in the standard deviation of the process. For the control of these processes, the acquisition of an AGGREKO chiller model WCC50 MK4 is recommended in response of the lack of a control system on the refrigeration process.

Keywords: <METHODOLOGY DMAIC> <CONTINUOUS IMPROVEMENT> <PLASTIC THREADS> <EXPERIMENTAL DESIGN> <CRITICAL TO QUALITY CHARACTERISTICS (CTQ)>



Lic. Angela Cecibel Moreno Novillo

0602603938

INTRODUCCIÓN

La empresa ecuatoriana HIPLAS se dedica a la producción y comercialización de diferentes tipos de hilos de polipropileno demandados mayormente por el sector agrícola, en lo cual cuenta con una experiencia de más de 25 años. Esta organización está catalogada, por lo tanto, como una industria manufacturera, que actualmente se enfrenta al reto de competir dentro del mercado nacional buscando posicionarse como una de las empresas líderes, asegurando la calidad de sus productos frente a la alta exigencia de sus consumidores.

Dentro del sector agrícola, el campo bananero tiene un alto requerimiento del hilo bananero debido a su uso dentro de las plantaciones de banano, razón por la cual, su demanda y rentabilidad es demasiado alta. Esto ha llevado a la mayoría de empresas dedicadas a la producción de hilos de polipropileno, intentar acaparar la mayor parte del mercado, objetivo compartido por parte de la empresa HIPLAS. Es por este motivo que el presente trabajo tiene como finalidad la mejora del proceso productivo de hilos plásticos en dicha organización, esto mediante la determinación de la influencia de las líneas de retorcido y bobinado en la calidad del producto final.

Se ha escogido la metodología DMAIC como el procedimiento a seguir como parte de la mejora continua de la empresa, donde se buscará determinar aquellas características técnicas relacionadas al hilo bananero que resulten más demandadas por parte del mercado consumidor. Una vez que se haya identificado la característica crítica de calidad para el cliente, será necesario diagnosticar la situación actual de la empresa en cuanto a esta necesidad como parte del uso de esta metodología, mediante el uso de herramientas de calidad y la interpretación de diversos indicadores de calidad a largo plazo.

De igual manera, luego de haber conocido el estado del proceso, es necesario identificar aquellas variables que se ven mayormente involucradas en el desarrollo del hilo bananero, para la posterior experimentación en busca de los parámetros de trabajo óptimos en cuanto a la mejora de la característica de calidad estudiada en el producto. Adicionalmente, se evaluará el factor humano con el fin de desarrollar e implementar herramientas de apoyo que permitan la correcta ejecución de actividades, así como su debido control a corto y mediano plazo buscando una solución perdurable a través del tiempo.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1. Antecedentes

La actividad comercial de la empresa HIPLAS constituye la producción y comercialización de diversos tipos de hilos de polipropileno, sujetos a una amplia gama de diseños, colores y calibres, demandados principalmente en los sectores agropecuario, industrial y artesanal. Este tipo de actividad encasilla a esta empresa dentro de la industria manufacturera del Ecuador con más de 25 años de experiencia.

En la Ilustración 1-1 se observa las ventas totales en miles de dólares por sectores económicos en el Ecuador, esto según el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC 2020), con referencia a su última actualización de datos, se puede observar que en el año 2020 la industria manufacturera abarcó el 21,05% del total de ventas en miles de dólares en el Ecuador clasificado por sectores económicos. Mientras que, en lo que respecta a la provincia de Chimborazo, este tipo de industria representa el 23,10%, siendo el tercer sector económico más influyente de este territorio.

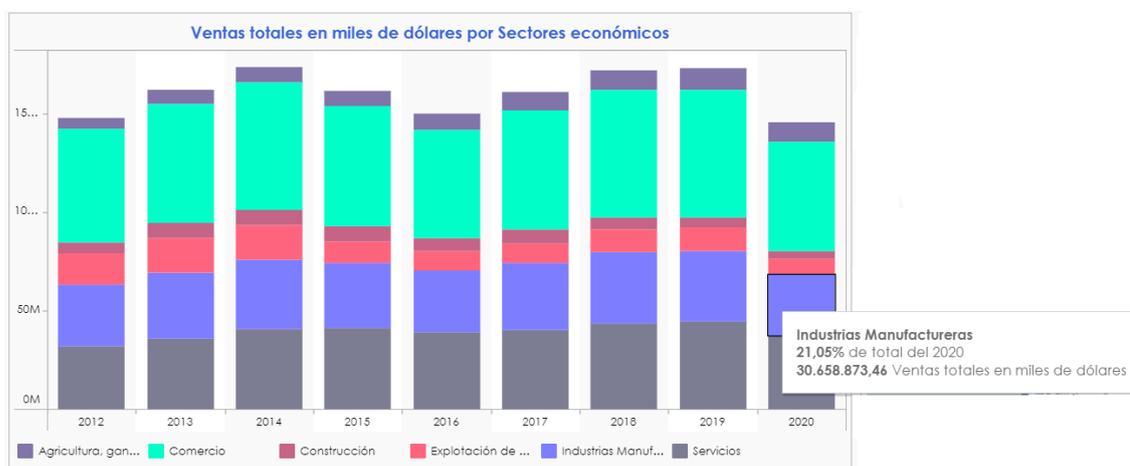


Ilustración 1-1: Ventas totales en miles de dólares por Sectores económicos.

Fuente: INEC 2020

En lo que respecta a las empresas encargadas de la fabricación de productos del caucho y plástico, de acuerdo con la Corporación Financiera Nacional (CFN 2021), indica que el aporte de dichas organizaciones al Producto interno bruto (PIB) del país corresponde al 0,47% del total en el año 2020, esto según la última actualización difundida.

1.2. Planteamiento del problema

En los últimos años la empresa HIPLAS se ha visto afectada por el nivel de la competencia, ya que la misma ha sido capaz de ofrecer sus mismos productos con un mayor nivel de aceptación, en términos de calidad, por parte de los clientes, desplazando a la empresa del mercado nacional, lo mismo que ha desembocado en la disminución del volumen de producción tanto como de ventas anuales para la empresa.

La calidad de los productos ofertados por la empresa HIPLAS se ha visto comprometida por la misma opinión de sus clientes, ya que con frecuencia estos presentan devoluciones y quejas demandando diversas irregularidades en los productos, entre las cuales están la insuficiente resistencia a la tracción del hilo, el incumplimiento de la longitud establecida del hilo en los empaques, la disparidad de los rollos del mismo tipo, por citar las más comunes.

Actualmente, la empresa no cuenta con un departamento encargado de supervisar la calidad de sus productos, así como tampoco se lleva un control sobre las diferentes líneas de producción que se disponen. Las líneas de retorcido y bobinado son aquellas que podrían estar directamente ligadas a las características críticas de calidad o CTQ, citadas anteriormente, razón por la cual el presente estudio se enfocará en dichas líneas de producción.

1.3. Justificación

Las empresas ecuatorianas afrontan la necesidad de mejorar sus procesos productivos, a fin de cumplir con las expectativas del cliente y entregar productos con altos estándares de calidad, todo esto con el objetivo de convertirse en empresas más competitivas dentro del mercado.

Dentro del campo manufacturero de hilos plásticos, enfocado a la parte agrícola, la mayoría del mercado respecto al sector bananero está acaparado por empresas extranjeras, que brindan productos con mejores características. Este sector es clave al momento de comercializar el producto denominado “Hilo Bananero” o más comúnmente llamado “Cabo Bananero” debido a su alta demanda y rentabilidad para las empresas que lo producen.

El por qué se seleccionó este producto como objeto de estudio del presente proyecto se debe principalmente a que el hilo bananero presenta un alto índice de rentabilidad para la empresa comprendida entre el 8% al 9,5%, pero que, en consecuencia, del alto nivel de la competencia tanto a escala nacional como extranjera, no se tiene el grado de aceptación deseado. Actualmente, existen dos grandes empresas a nivel nacional consideradas como entes

referenciales para pequeñas y medianas empresas dedicadas a la fabricación de hilos de polipropileno entre otros productos plásticos, Fortex S.A. y Plastiempaques S.A., esta última, por ejemplo, generó cerca de \$300.000,00 de utilidad en el año 2020 según datos de la revista Ekos. (Dueñas 2020)

Por lo expuesto anteriormente, la empresa HIPLAS, se encuentra en el desafío de mejorar la calidad de este producto, relacionado a su proceso productivo, para lo cual se ha planteado la aplicación de la metodología DMAIC considerando que en la misma el punto de partida es la “voz del cliente”. A partir de aquí, se puede relacionar dichas necesidades del cliente con los procesos productivos y de servicio, a fin de encontrar las causas de la generación de la mala calidad en los productos finales, y mediante el diseño y aplicación de mejoras, alcanzar una solución eficiente y perdurable a través del tiempo.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Aplicar la metodología DMAIC enfocada en la mejora del proceso productivo en las líneas de retorcido y bobinado de hilos plásticos de la empresa HIPLAS.

1.4.2. Objetivos específicos

- Definir la situación actual de la empresa en las líneas de retorcido y bobinado de hilos plásticos a través de herramientas de gestión de calidad.
- Evaluar las variables que tengan mayor relación en el proceso de producción a través del uso de Minitab como software para el control estadístico.
- Implementar la fase de mejora, de la metodología DMAIC, en base a los resultados obtenidos.
- Establecer medidas de control para el nuevo escenario propuesto con el fin de evitar posibles fallos y que a la par constituya una solución perdurable y manejable a largo plazo.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

A continuación, se presenta los resultados de investigaciones relacionadas directamente con el objeto de estudio.

Del trabajo de titulación denominado: Implementación de la metodología DMAIC para la mejora de capacidad de producción en la elaboración de prototipos de madera plástica (Pozo 2019). El autor consiguió aumentar la productividad en la producción de prototipos de madera plástica mediante la aplicación de la metodología DMAIC, donde en sus dos primeras etapas, Definir y Medir, se delimita la problemática principal basada en la falta de estrategias que ayuden a mejorar la capacidad de producción. Para esto, se tiene como punto de partida un diagnóstico inicial de la empresa determinando tanto el nivel de producción que se alcanza por día, así como el tiempo de producción actual. A esto se le suma el cálculo de los índices de calidad (C_p , C_{pk} y C_{pm}), mismos que reflejan la ineficiencia del trabajo realizado al registrarse altos tiempos de producción con mucha variabilidad.

En las siguientes etapas, Analizar e Implementar, se realiza el análisis causa-raíz del bajo volumen de producción, encontrándose entre lo más importante, la necesidad de capacitación del personal y el diseño de moldes con un mayor nivel de capacidad. Finalmente, en la etapa de Control se realiza la evaluación de las mejoras implementadas, encontrándose una mejora del 19% con respecto al tiempo de producción, así como un aumento significativo de los indicadores de gestión mismo que comprueba la eficacia del proyecto implementado.

Del trabajo de titulación denominado: Mejora de procesos basada en la metodología DMAIC para la empresa Gisell ubicada en la ciudad de Otavalo (Conterón 2021). Como primera instancia, se ejecuta un diagnóstico inicial de las actividades operativas de la empresa, encontrándose que estas son realizadas de manera empírica y que, debido a esto, se presentan un gran número de problemas, desde el incumplimiento de los requerimientos del cliente hasta la generación frecuente de demoras en la entrega de los productos al consumidor. De esta forma se plantea la implementación de la metodología DMAIC Six Sigma con un enfoque en el análisis estadístico que permita medir y disminuir la variabilidad de los procesos, y de esta forma, contribuir a alcanzar un nivel superior de calidad.

Mediante el cálculo de la capacidad heterogénea en los diferentes procesos de interés se define que existe un cuello de botella en el proceso de tejido, convirtiéndose este en el proceso clave del proyecto. Se procede así, a medir el proceso clave a profundidad mediante el uso de herramientas estadísticas, se analizan las posibles causas que generan la variabilidad para poder darles tratamiento mediante el planteamiento y posterior implementación de acciones correctivas, finalmente, se necesita controlar el proceso optimizado mediante el uso de tablas comparativas establecidas en función de los recursos utilizados y, de esta forma, poder validar las mejoras.

Los resultados finales obtenidos en este proyecto responden al incremento, tanto de la capacidad del proceso C_p , como del nivel de productividad medido en docenas de prendas por hora; también se logró disminuir la variabilidad registrada en el proceso de tejido, haciendo que el mismo sea capaz de cumplir con el requerimiento de producción y su comportamiento se ajuste a una distribución normal.

Del trabajo de titulación denominado: Mejora del proceso productivo lácteo mediante la aplicación de DMAIC (Villafuerte 2019). El objetivo principal es disminuir la variabilidad presentada en el peso final del producto crítico de la empresa, el queso fresco “La Zuleteña”, para lo cual se optó por hacer uso de la herramienta DMAIC como parte de la metodología Lean Six Sigma.

A partir de la revisión del registro histórico de ventas, se determina que el producto que más ingresos genera para la organización es el queso La Zuleteña. En la etapa de medición se estudia 8 lotes al azar de producción, en los cuáles se registra el peso de cada uno de los quesos, así como cuáles fueron los parámetros de producción considerados.

En la etapa de Análisis, se determinan las causas raíz principales en la generación de la variabilidad, estas resultan ser: la falta de control de pH en los diferentes puntos de interés del proceso total, así como la falta de estandarización del mismo. En esta etapa se aplican herramientas como el AMFE (Análisis modal de efectos y fallas), Diagrama de Ishikawa y un Análisis de Correlación, que ayudaron a definir aquellos procesos específicos a mejorar.

Una vez delimitadas las causas raíz, se diseñan estrategias de mejora basadas en Kaisen, buscando asegurar su sostenibilidad en el tiempo y con ello, mantener el nivel de calidad obtenido. Finalmente, se establecen planes de control basados en capacitaciones continuas, incentivos y la planificación de acciones integras con el personal.

Del trabajo de maestría denominado: Mejora del proceso de elaboración de alimentos para broilers mediante la implementación del proceso de negocios Seis sigma-DMAIC, en una planta de producción de alimentos balanceados (Quillupangui 2019). Se decide aplicar el proceso Seis Sigma-DMAIC a fin de generar mejoras en el procesado de alimento balanceado destinado a aves de engorde. Para esto es necesario identificar y detallar los procesos involucrados, de los cuáles se seleccionan los más importantes bajo el enfoque de insatisfacción de los clientes, resultando los procesos de: dosificación de bins, dosificación de aceite y calidad de mezcla.

Dichos procesos deben ser medidos, para lo cual se hace uso de diferentes indicadores como lo son el tiempo de ciclo y la productividad en una primera instancia. También, se evalúa la capacidad de los procesos de dosificación de bins y dosificación de aceite mediante el índice Cp, obteniéndose 0,75 y 0,18 respectivamente. En el caso del proceso de mezcla se determina el tiempo de ciclo, fijándolo en 3,50 minutos.

Con la ayuda de un análisis de correlación para las variables involucradas en los procesos (temperatura y humedad), se diseñan pruebas de hipótesis, mismas que son llevadas a cabo y cuyos resultados reflejan una considerable mejora en relación con la situación actual, pues se obtiene un valor Cp de 0,9 y 2,02 para los procesos de dosificación de bins y aceite, respectivamente. Además de conseguir reducir el tiempo de mezcla a 3 minutos, y por tanto reducir también el tiempo total de ciclo en aproximadamente un 20%.

2.2. Referencias Teóricas

2.2.1. *La filosofía six sigma*

Six Sigma comprende una filosofía de trabajo enfocada hacia el cliente que, mediante el análisis de datos, así como la aplicación de diversas metodologías, permite contrarrestar la variabilidad producida en un determinado proceso. Además de esto, es posible también aminorar los tiempos de ciclo de producción, como también los costos, lo que desemboca en el aumento de la rentabilidad para la organización.

Dentro del análisis para Six Sigma, se hace uso de diferentes herramientas estadísticas que permiten la caracterización y el estudio de procesos, entendiéndose así a sigma como la desviación estándar que, a su vez, refleja la variabilidad medida dentro de un proceso. Es así que el objetivo principal comprende el reducir dicha variación, procurando que el proceso se encuentre trabajando dentro de los límites definidos para la satisfacción del cliente.

Se dice que, por lo general, los procesos estándar llegan a generar 67 000 defectos por cada millón de oportunidades (DPMO), lo que los encasilla en la categoría de tres sigmas, registrando un nivel de calidad del 93,32% frente al 99,9997% equivalente a un proyecto seis sigmas, como se puede apreciar en la Tabla 1-2. (Socconini y Escobedo 2021, p. 13)

Tabla 1-2: Indicadores del nivel sigma del proceso.

Nivel sigma	Defectos por millón de oportunidades	Rendimiento
6	3.4	99.9997%
5	233	99.977%
4	6 210	99.379%
3	66 807	93.32%
2	308 537	69.2%
1	690 000	31%

Fuente: Socconini y Escobedo 2021, p. 13

2.2.2. Metodología DMAIC

Es normal que entre diversos autores se mencione la metodología DMAIC como el proyecto Seis Sigma, definiéndolo como un proceso esquematizado y lineal de cinco etapas enfocado hacia la resolución de problemas, como se puede apreciar en la Ilustración 1-2, y que basándose en una base datos, es de gran utilidad para el diseño y aplicación de mejoras ya sea a productos, prototipos o procesos.

En la mayoría de las ocasiones, dentro de la industria la aplicación de esta metodología presenta un enfoque hacia la gestión de la calidad, en donde mediante el uso de herramientas estadísticas se desea alcanzar y mantener un mayor nivel de desempeño en un determinado proceso, haciendo posible que la organización en estudio sea capaz de reconocer y comprender de mejor manera los diferentes requerimientos de sus clientes. (Herrera y Fontalvo 2011, p. 4)

Los proyectos Six Sigma permiten alcanzar dos objetivos clave para cualquier organización, por un lado, es posible aumentar el nivel de calidad del producto o servicio que se ofrece, y por consiguiente, generar más ingresos; así como también, se logra un ahorro significativo de costos relacionados a la generación de defectos y la optimización de los tiempos de producción. (Socconini y Escobedo 2021, p. 15)

La metodología DMAIC conlleva un proceso estructurado en las siguientes etapas:

1. Definir

2. Medir
3. Analizar
4. Mejorar
5. Controlar

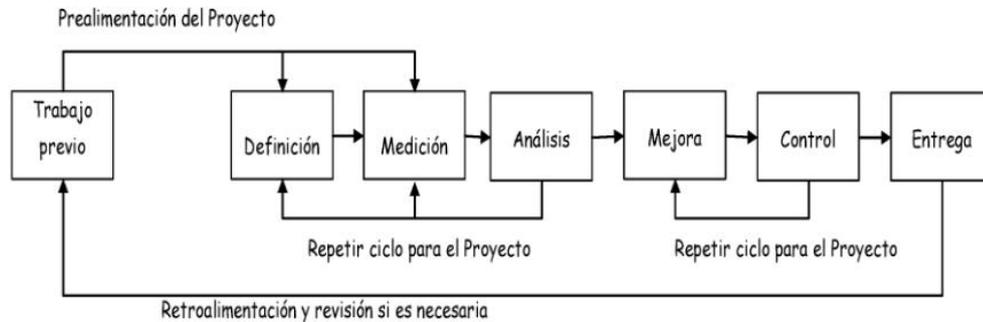


Ilustración 1-2: Operacionalización del DMAIC.

Fuente: Socconini y Escobedo 2021, p. 15.

2.2.3. Diagrama de Gantt del proyecto

Es un factor importante y determinante para el buen desarrollo del proyecto que consiste en el registro por semanas de las actividades que se planeen realizar, con sus respectivos tiempos estimados. Dentro de la metodología DMAIC, se realizará este proceso para cada una de sus etapas, como se detalla en la Ilustración 2-2, además de que la información concerniente a esta técnica deberá ser compartida con el equipo encargado de desarrollar este plan para luego ser analizada semana a semana. (Niebel y Freivalds 2009, p. 20).

GANTT DE PROYECTO LEAN SIX SIGMA					PROYECTO # LSSI - 001																	
	Duración	Inicio	Fin		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
DEFINIR	13	06/01/2020	19/01/2020																			
Definir el proyecto, desarrollo de la carta de proyecto	7	06/01/2020	13/01/2020																			
Definir el proceso y métricas del problema	3	13/01/2020	16/01/2020																			
Formación del equipo	2	16/01/2020	18/01/2020																			
Aprobación del proyecto	1	18/01/2020	19/01/2020																			
MEDIR	16	18/01/2020	03/02/2020																			
Mapear el proceso	2	18/01/2020	20/01/2020																			
Analizar los sistemas de medición	2	20/01/2020	22/01/2020																			
Medir el desempeño del proceso	2	22/01/2020	24/01/2020																			
Definir la línea base	10	24/01/2020	03/02/2020																			
Revisar y actualizar estatus del proyecto	0	03/02/2020	03/02/2020																			
ANALIZAR	28	03/02/2020	02/03/2020																			
Analizar las limitantes de la productividad	8	03/02/2020	11/02/2020																			
Determinar las variables críticas del proceso	10	11/02/2020	21/02/2020																			
Determinar los modos y efectos de falla	10	21/02/2020	02/03/2020																			
Revisar y actualizar estatus del proyecto	0	02/03/2020	02/03/2020																			
MEJORAR	25	02/03/2020	27/03/2020																			
Determinar las mejoras a implementar	10	02/03/2020	12/03/2020																			
Estimar los beneficios para el proceso mejorado	5	12/03/2020	17/03/2020																			
Determinar y ajustar los modos de falla	5	17/03/2020	22/03/2020																			
Implementar y verificar los cambios al proceso	5	22/03/2020	27/03/2020																			
Revisar y actualizar estatus del proyecto	0	27/03/2020	27/03/2020																			
CONTROLAR	17	27/03/2020	13/04/2020																			
Implementar acciones de control	9	27/03/2020	05/04/2020																			
Implementar plan control con el dueño del proceso	2	05/04/2020	07/04/2020																			
Implementar plan de análisis mensual de logros	5	07/04/2020	12/04/2020																			
Documentar las lecciones aprendidas	1	12/04/2020	13/04/2020																			
Terminación formal del proyecto	0	13/04/2020	13/04/2020																			

Ilustración 2-2: Diagrama de Gantt.

Fuente: Socconini y Escobedo, 2021, p. 28.

2.2.4. Definir

Dentro de esta etapa se establece la razón de ser del proyecto, ligado a los intereses de la empresa donde se vaya a ejecutar, esta, estando bien sustentada por fuentes claras y concretas que permitan el avance del proyecto. En esta fase se debe administrar los recursos humanos por cada estrategia planificada, evitando superar la capacidad de los mismos.

2.2.5. Voz del cliente

La determinación de las necesidades de los clientes, internos o externos constituye el primer paso a dar al momento de desarrollar la metodología DMAIC, sin embargo, esto muchas veces llega a ser muy conflictivo, ya que frecuentemente los clientes no están seguros de lo que desean llegando, incluso, a ser contradictorios.

A partir de la determinación de la VOC es importante obtener las características clave para la calidad o CTQ, pues es a través de estas que se sabrá satisfacer dichos requerimientos establecidos por el cliente. Es fundamental, por tanto, que las CTQ comprendan el vivo reflejo de la voz del cliente.

Dentro de la planificación, el primer paso es determinar cuántos recursos se disponen para realizar el acercamiento con los clientes, así como determinar a cuántos de ellos se piensa contactar. Existen diferentes herramientas que se pueden usar para realizar el levantamiento de la voz del cliente, como:

- Entrevista
- Cuestionario y encuesta
- Paneles
- Quejas de cliente
- Investigación de Mercado

Una vez realizado el levantamiento de datos, se debe verificar que estos sean fieles a la realidad a fin de que se puedan generar conclusiones a partir de estos, mismas que servirán de base para seguir con la definición del proyecto DMAIC. (Socconini y Escobedo 2021, p. 33)

2.2.6. Diagrama de Pareto

También conocido como diagrama 80-20, comprende un gráfico de barras mediante el cual es posible analizar la frecuencia en la que se presentan fallos, ya sea en un proceso, producto, etc. Este diagrama parte de un principio sencillo, el cual establece que cerca del 80% de los problemas son producidos por aproximadamente el 20% de los defectos más determinantes, esto haciendo relación a la calidad que se puede llegar a obtener en un producto final.

En la Ilustración 3-2 se puede apreciar un ejemplo de la representación gráfica de este diagrama.

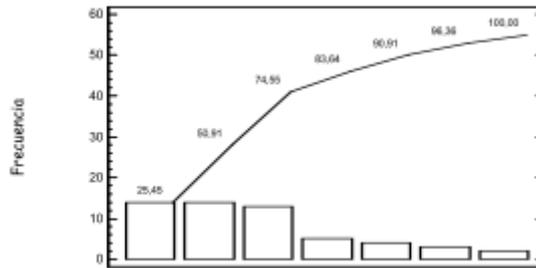


Ilustración 3-2: Diagrama de Pareto

Fuente: Herrera y Fontalvo 2011, p. 35.

Para realizar un diagrama de Pareto de forma adecuada, se debe realizar los siguientes pasos:

1. Diagnosticar y determinar los principales problemas que atentan a la calidad del producto.
2. Estratificar las observaciones.
3. Seleccionar el método de toma de datos.
4. Clasificar los tipos de fallas relacionados con los problemas de calidad, con su respectiva frecuencia y total.
5. Organizar de mayor a menor los datos.
6. Partiendo de un eje horizontal donde estarán citados los tipos de defecto y en el eje vertical donde estará descrita su frecuencia, se procede a realizar un diagrama de barras, donde una curva indicará un porcentaje del total de la frecuencia de defectos.

Este diagrama se realiza para analizar tanto variables de producción como de servicios. (Herrera y Fontalvo 2011, p. 35–36)

2.2.7. Medir

El principal objetivo que se persigue durante esta etapa es lograr entender y dimensionar el problema identificado en el estudio. Para esto, es necesario que se tenga una idea más clara del proceso que se va a seguir, saber que actividades se van a desarrollar, así como cuáles van a ser los criterios de decisión a tomar en cuenta; de igual forma, se detallan de mejor manera las métricas de éxito del proyecto, o también llamadas Y.

Es importante, además, que se valide el sistema de medición a emplear a fin de asegurarse que los resultados reflejen la verdadera situación actual de los procesos, y de esta forma, tener un punto de partida confiable con respecto a las Y. (Humberto y Román 2013)

Parte fundamental de la descripción del proceso es la inclusión de las características clave asociadas al producto o servicio (variables de estudio), y los diferentes parámetros que pueden llegar a incidir sobre el desempeño de las operaciones.

2.2.8. Cartas de control de Shewhart

Para poder efectuar un control estadístico de calidad se frecuenta el uso de las cartas de control, este tipo de gráfico ayuda de forma fácil y práctica a determinar que un conjunto de datos se encuentre controlado. Esta herramienta permite además colaborar en la toma de decisiones para la mejora y alcance de diferentes metas y objetivos planteados por la empresa.

Este gráfico consiste en la determinación de un límite central de control (LCC) que se elabora a partir del valor medio de los datos extraídos del proceso que se quiere evaluar. El límite de control superior (LCS) y el límite de control inferior (LCI) se encuentran a la misma distancia con referencia al LCC. (Florez, Florez y Cogollo 2019)

Sí el proceso se encuentra bajo control, se puede asegurar el comportamiento futuro del mismo; no se puede asegurar que no haya presencia de causas especiales que puedan afectar a la variabilidad del proceso. Cuando el proceso está por fuera de los límites de control, este quiere decir que necesita una acción correctiva para llevarlo a un “estado de control estadístico” o con un comportamiento controlado.

2.2.9. Capacidad del proceso

Una vez determinada la “voz del cliente”, es decir, la expresión de las necesidades de los clientes convertida en especificaciones técnicas, es importante compararla con la “voz del proceso”, entendida esta como el nivel de variabilidad registrado en el proceso productivo. Esta comparación es la que permitirá medir la capacidad del proceso, y a través de la misma se puede establecer de mejor manera la naturaleza del problema presentado.

Medir la capacidad del proceso permite, además, detectar el nivel de generación de defectos a futuro, justificando la necesidad de mejoras al proceso siendo que el producto o servicio ofertado no cumpla con las especificaciones predefinidas. (Humberto y Román 2013, p. 98)

Actualmente, se dispone de dos índices primordiales utilizados para medir la capacidad del proceso:

Capacidad potencial: C_p o P_p (a largo plazo)

Capacidad real: Cpk o Ppk (a largo plazo)

En la Tabla 2-2, se puede ver la categorización del proceso, además del criterio a seguir según el valor de Cp encontrado.

Tabla 2-2: Valores del indicador Cp y su interpretación.

VALOR DEL ÍNDICE C_p	CLASE O CATEGORÍA DEL PROCESO	DECISIÓN (SI EL PROCESO ESTÁ CENTRADO)
$C_p \geq 2$	Clase mundial	Se tiene calidad Seis Sigma.
$C_p > 1.33$	1	Adecuado.
$1 < C_p < 1.33$	2	Parcialmente adecuado, requiere de un control estricto.
$0.67 < C_p < 1$	3	No adecuado para el trabajo. Es necesario un análisis del proceso. Requiere de modificaciones serias para alcanzar una calidad satisfactoria.
$C_p < 0.67$	4	No adecuado para el trabajo. Requiere de modificaciones muy serias.

Fuente: Humberto y Román 2013, p. 102

2.2.10. Índice de capacidad potencial C_p

Se puede medir la capacidad actual de proceso haciendo una comparación entre los límites de especificación de cierta característica del producto, con los propios límites del proceso, tal como se presenta en la Ilustración 4-2. La diferencia comprendida entre los límites superior e inferior de especificación será definida como el ancho de especificación, mientras que el ancho del proceso comprende seis veces su desviación estándar, esto considerando que aproximadamente el 99,7% de los datos se encuentran en este rango. (Socconini y Escobedo 2021, p. 15–16)

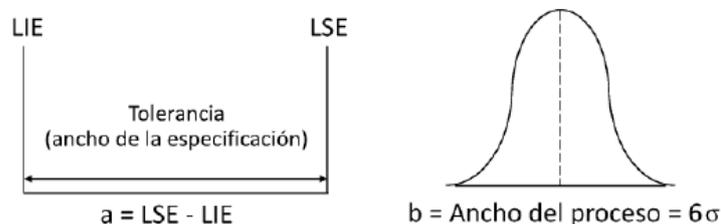


Ilustración 4-2: Capacidad potencial C_p .

Fuente: Socconini y Escobedo 2021, p. 15.

Cabe recalcar que este índice no servirá para evaluar la ubicación o centralidad del proceso, debido a que para su cálculo solo se considerarán los límites del mismo, obviando así la media de los datos y su desviación en relación a la media teórica.

2.2.11. Índice de capacidad real C_{pk}

Según (Socconini y Escobedo 2021, p. 16), el índice de capacidad real es la relación entre la distancia comprendida desde el límite de especificación más cercano a la media del proceso, y la mitad del ancho del proceso o lo que es igual, el valor de la desviación estándar del mismo multiplicado por 3. Véase Ilustración 5-2.

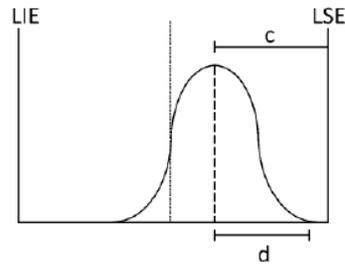


Ilustración 5-2: Índice de capacidad real C_{pk} .

Fuente: Socconini y Escobedo 2021, p. 16

2.2.12. Flujograma

Se utilizan para explicar de forma más sencilla, ordenada, dinámica y lógica las etapas de un determinado proceso, en el que pueden estar involucradas varias decisiones que al mismo tiempo indican sus resultados. Son de uso práctico para el desarrollo de procesos y sirven de guía para la elaboración de manuales y diversos diagramas donde se muestran las actividades a desarrollar en un proceso junto con sus tiempos. (Palacios 2016, p. 95-96)

2.2.13. Prueba de normalidad

La gráfica de probabilidad constituye un método gráfico bajo el cual es posible evidenciar si los datos muestrales con los que se cuentan se ajustan a un tipo de probabilidad específica. Para esto, se hace uso de una gráfica 2D (X, Y) cuya escala será determinada por el tipo de probabilidad a probar.

El primer paso a seguir será ordenar los datos de menor a mayor, después se debe graficarlos versus la frecuencia acumulada observada (distribución empírica). Si los datos graficados presentan un comportamiento lineal quiere decir que la distribución propuesta se ajusta, caso contrario, los datos tenderán a alejarse de una línea recta denotando otro tipo de comportamiento.

En la Ilustración 6-2 se puede observar la forma en la que un conjunto de datos se ajusta a una gráfica de probabilidad normal.

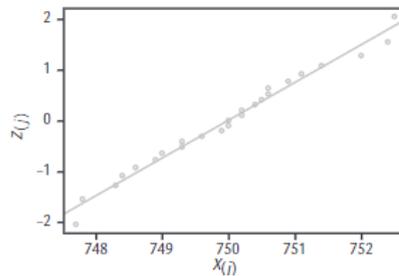


Ilustración 6-2: Gráfica de probabilidad normal

Fuente: Humberto y Román 2013, p. 52

Cabe recalcar que la apreciación bajo este método gráfico es meramente subjetiva, y que adicionalmente a este es posible aplicar otros estadísticos de prueba de tipo analíticos, como lo son las pruebas Ji-cuadrada, para bondad de ajuste, Kolmogrov, Shapiro-Wilks y Anderson Darling. (Humberto y Román 2013, p. 51-52)

2.2.14. Analizar

Dentro de lo que corresponde a la DMAIC, esta etapa viene a representar el punto más importante de la aplicación de la metodología debido a que se debe evidenciar el estudio de la generación de problemas y con ello la variabilidad, ligada a los factores que la producen.

Se busca determinar que variables influyen de manera directa en el desarrollo del producto final, con el fin de poder implementar una solución en la fase de mejora.

2.2.15. Análisis modal de fallas y efectos

El Análisis modal de fallos y efectos (AMFE), o también llamado Análisis de modo y efecto de las fallas (AMEF) comprende una metodología mediante la cual se pueden identificar las fallas más probables que se pueden presentar ya sea en el desarrollo de un producto, o la ejecución de un proceso. Además, se realiza el análisis de su índice de ocurrencia, vías de detección y el efecto que generan, de esta forma es posible jerarquizar el conjunto de fallas en función del nivel de afectación que representen a la confiabilidad del producto o proceso, para finalmente, poder diseñar y ejecutar acciones correctivas que permitan eliminar o apaciguar este efecto.

Es así como esta metodología analítica asegura que aquellos problemas que puedan presentarse en la etapa de desarrollo sean considerados. Sin embargo, para que la aplicación de un AMEF resulte efectiva se debe dar atención a cada componente del producto o proceso, priorizando aquellos que tengan una mayor criticidad, es decir, que puedan llegar a generar una mayor repercusión sobre el cliente.

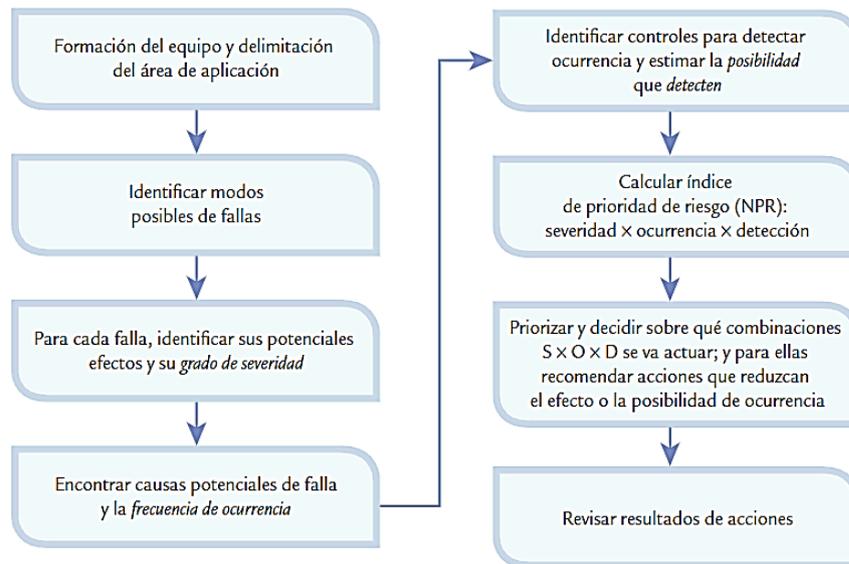


Ilustración 7-2: Esquema de actividades para realizar un AMEF de proceso.

Fuente: Humberto y Román 2013, p. 383

Tal como se puede apreciar en la Ilustración 7-2 en relación al esquema de actividades a seguir para realizar un AMEF de proceso, la primera instancia consiste en conformar un equipo interdisciplinario en la organización, juntamente con los encargados del proceso, que permita obtener un enfoque general del mismo. A su vez, se debe definir el producto a mejorar, así como sus características, funcionalidades y los requisitos exigidos por parte del cliente.

A continuación, hay que detallar el proceso en cada una de las áreas que intervienen, para posteriormente llevar a cabo una “brainstorming” o lluvia de ideas mediante la cual se puedan encontrar los fallos potenciales sobre el desarrollo del proceso. Una vez identificadas, se debe evaluar las consecuencias de cada falla desde el punto de vista del cliente, así se podrá cuantificar su Índice de severidad respectivo entendiéndose como 10 aquel que resulte más crítico.

También es necesario determinar el Nivel de Ocurrencia de cada falla, y para esto es indispensable que se identifiquen de manera correcta cuáles son sus debidas causas y así poder tener un criterio acertado.

ordenados”, que conformarán el sistema cartesiano. Es necesario asegurar la confiabilidad de los datos a tomarse para evitar sesgos en las investigaciones. Esta herramienta solo sirve para determinar la relación de las variables, más no las causas que la provocan. (Humberto y Román 2013, p. 154–155)

2.2.17. Mejorar

Esta etapa comprende el planteamiento de nuevas o mejores condiciones presentes en un determinado proceso, a fin de que se logre su optimización, esto en base a los objetivos previamente establecidos en la etapa de Definir. Además, es importante establecer cuáles serán los futuros beneficios para la organización una vez alcanzados dichos objetivos.

El objetivo principal de esta etapa de la metodología es la planificación y la consecuente aplicación de diferentes soluciones dirigidas a atacar las causas, más no a los efectos, de los problemas identificados; y una vez aplicadas, dichas soluciones deben ser igualmente validadas por parte del equipo encargado del proyecto. (Gutiérrez 2010, p. 293)

2.2.18. Diseño experimental

En lo que concierne al diseño de experimentos, en conjunto con la aplicación de diferentes técnicas que buscan la mejor manera de efectuar un proceso, el diseño experimental, toma estas bases para ejecutar el proyecto de forma sistemática. Este diseño está conformado por las variables respuesta o características de calidad que se quieren analizar y mejorar en el transcurso del estudio, los factores que afectan a la variabilidad de estas y en sí, los datos que comprenderán las variables, es decir valores cualitativos o cuantitativos. (Socconini y Escobedo 2021, p. 204–205)

2.2.19. Análisis de varianza

El método de Análisis de varianza o ANOVA se basa en el principio fundamental de que en todo proceso se ven involucradas dos tipos de variables entrada, unas llamadas “controlables” que pueden ser manipuladas bajo interés del investigador para conocer su efecto sobre las salidas; y las entradas “ruido” cuya intención principal por parte de quien experimenta es bloquearlas para que los resultados no se vean alterados. Esto se ve representado de una manera gráfica en la Ilustración 9-2.

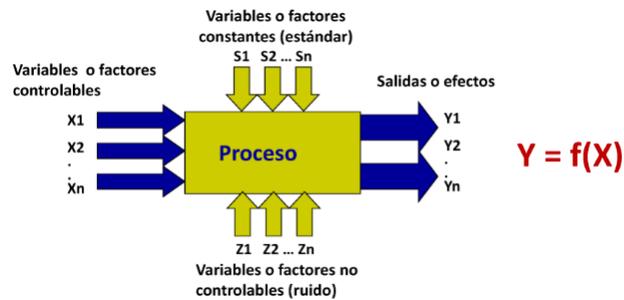


Ilustración 9-2: Variables involucradas en un proceso

Fuente: Socconini y Escobedo 2021, p. 154

Un estudio ANOVA se rige bajo la prueba estadística de Fisher, en donde si el valor F calculado es mayor que el F tabulado, se determina que existe un grado significativo de influencia del factor sobre la variable respuesta.

En primer lugar, para el procedimiento de esta metodología se deben definir los Factores (variables de entrada), entendiéndose como aquellas variables de interés que influyen sobre la variable respuesta (variable de salida). Estos pueden ser cualitativos o cuantitativos, y en este último caso ser discretos o continuos. También, se deben establecer Niveles que son aquellos valores que pueden tomar cada uno de los factores, mínimo dos niveles, asegurando que la diferencia entre sí permita obtener diferencias considerables en los resultados. Por último, a la interacción entre los diferentes niveles se las definirá como Tratamientos, entendiéndose estos como la configuración de operación para obtener las diferentes muestras de análisis.

Una vez que se hayan establecido estos parámetros, se puede documentar el proceso mediante el diseño del experimento, para cual se define tanto el procedimiento, fecha, tiempo, responsables, entre otros. De esta forma, se llevan a cabo las diferentes pruebas sobre los tratamientos según el orden de corridas propuesto.

Una vez obtenidos los datos, hará falta el uso de un software estadístico, en este caso Minitab, para realizar el correspondiente análisis ANOVA sobre los resultados obtenidos, y así obtener conclusiones sobre la influencia de cada uno de los factores en el comportamiento de la variable respuesta. (Socconini y Escobedo 2021, p. 154-156).

Se han establecido tres principios básicos a considerar para el correcto desarrollo del análisis ANOVA:

- ✓ **Replicar:** Se recomienda efectuar al menos dos veces cada prueba o tratamiento, para así poder hacer una suposición efectiva del error. Mientras más replicas se hagan más exacto el resultado.
- ✓ **Aleatorización:** Ejecutar las pruebas asumiendo un orden de corrida totalmente aleatorio es una buena forma de eliminar fuentes de variación adicionales.
- ✓ **Bloquear:** Aplicar técnicas para mantener bajo control los factores ruido a fin de disminuir lo más posible su efecto en el experimento.

2.2.20. Controlar

Como etapa final de la metodología DMAIC se tiene el control de las mejoras implantadas en el proceso, a fin de que las mismas sean perdurables y validas con el paso del tiempo. En casi todos los proyectos Sig Sigma esta etapa es la más difícil de lograr, ya que en primer lugar se debe lograr que las acciones de mejora se institucionalicen y generalicen dentro de la organización, lo cual involucra la completa participación y compromiso por parte de todo el conjunto de personas que de una u otra manera, forman parte del proceso. (Humberto y Román 2013, p. 408).

Contar con un sistema de control eficiente se vuelve necesario para:

- Evitar que los problemas presentados en el proceso no vuelvan a aparecer.
- Hacer que las mejoras obtenidas desaparezcan
- Mantener el aumento en el nivel de desempeño de los procesos
- Impulsar un pensamiento de mejora continua dentro de la organización

2.2.21. Planes de control

Con la finalidad de controlar las variables detectadas que alteran el proceso, es decir, aquellas que responden a la generación de desviación en el producto final, los planes de control constituyen el camino para hacerlo. Principalmente, estos son desarrollados en función de los resultados obtenidos en el análisis modal de efectos y fallas mediante el cual se definen los procesos críticos a considerar.

La información contenida en los planes de control debe incluir entre otras cosas, el detalle del procedimiento en forma clara y concisa para abordar la problemática, la fecha y tiempo de ejecución, los responsables, los recursos empleados, y demás especificaciones necesarias según el caso

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo de estudio

El presente trabajo de titulación es de tipo técnico ya que se fundamentó en la aplicación de la metodología DMAIC dirigida a la mejora de la productividad en las líneas de producción de retorcido y bobinado de la empresa HIPLAS, a través del uso de técnicas y herramientas enfocadas a la mejora continua.

3.2. Tipo de investigación

Para el desarrollo de la metodología DMAIC se aplicó investigación de tipo:

3.2.1. *Investigación descriptiva*

Se detalló el producto a analizar el cual corresponde al Hilo bananero 21x1, así como también su línea de producción correspondiente, y por tanto objeto de estudio. Así, se realizó el mapeo del proceso mediante la esquematización de un flujograma con la colaboración del área administrativa encargada de supervisar los procesos, y contando también con el conocimiento aportado por los operadores debido a su gran experiencia en la ejecución de los diferentes procesos.

Esta información resulta útil para alcanzar la estandarización del proceso productivo total, al conocer a detalle cada operación a realizar, así como las diferentes consideraciones a tener en cuenta en su ejecución.

3.2.2. *Investigación de campo*

Fue necesario realizar pruebas de laboratorio mediante las cuales se obtuvo información directa sobre la resistencia a la rotura de diferentes muestras extraídas de hilo bananero. Estos datos fueron conseguidos a través del Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) y su laboratorio especializado en el análisis de las propiedades físicas y químicas en fibras textiles.

De esta forma se obtuvieron los informes correspondientes en los que se puede apreciar la fuerza de rotura en Newtons, medida por la máquina de ensayos para cada muestra.

3.3. Metodología

3.4. Desarrollo de la metodología DMAIC

El presente trabajo se va a enfocar en el estudio del ciclo de producción del hilo bananero, mediante el análisis de los diferentes procesos que lo componen. Esto tiene como objetivo el poder entender de una mejor manera como actúa el proceso, cuáles son las posibles variables que tienen efecto sobre el mismo, y de la misma forma, identificar las posibles causas que generan la variación dentro del comportamiento de dichas variables, para finalmente poder diseñar e implementar un escenario de mejora eficaz y controlable por la organización a través del tiempo.

3.4.1. Gantt del proyecto

Para la ejecución del presente proyecto Seis Sigma es necesario diseñar un cronograma donde se vean reflejadas las actividades a realizar dentro de cada etapa que comprende la metodología, además, se establecerán los periodos de ejecución para cada una de ellas.

En la Tabla 1-3 se presenta con detalle la planificación de las actividades a desarrollar, en un tiempo establecido aproximado de tres meses.

Tabla 1-3: Diagrama de Gantt del proyecto

Actividades	Duración (Semanas)										
	Mayo			Junio				Julio			
	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
DEFINIR											
Aplicación de encuestas (Escuchar la Voz del Cliente).											
Transformar la VOC en las características de calidad del producto.											
Determinar la característica crítica de calidad.											
MEDIR											
Toma de datos del proceso.											
Analizar el sistema de medición.											
Medir el desempeño del proceso.											
ANALIZAR											
Mapeo del proceso.											
Proposición de hipótesis en cuanto al proceso.											

Evaluación de datos.											
Validación de hipótesis.											
Identificar las causas de los problemas.											
MEJORAR											
Determinar las mejoras a implementar.											
Estimar los beneficios a alcanzar.											
Implementar y verificar los cambios al proceso.											
CONTROLAR											
Diseñar plan de control junto a las personas responsables de su ejecución.											
Documentación de mejoras.											
Culminación del proyecto.											

Realizado por: Barragán y Vásquez, 2022.

3.4.2. Definir la situación actual de la empresa

Dentro de la etapa de definir se realiza el análisis de la situación actual de la empresa en torno a la problemática principal que la aqueja, la cual es la poca aceptación del hilo bananero, o también llamado cabo bananero, que producen dentro de un mercado altamente demandado en el país por parte del sector productivo de banano.

Una vez contextualizado el problema, es necesario fijar un objetivo dentro de esta etapa, mismo que comprende identificar cuál es la característica crítica de calidad del producto una vez sea escuchada la voz del cliente. Esto será la base para realizar el respectivo análisis posterior y determinar si la organización ha alineado sus procesos productivos hacia la satisfacción de estos parámetros.

Como punto de partida, por tanto, se tiene escuchar la voz de los principales consumidores de la empresa en relación con el hilo bananero.

3.4.2.1. Voz del cliente

Dentro de lo que corresponde a la voz del cliente se ha realizado una encuesta a los clientes más representativos de la empresa con relación al volumen de compras, dentro de los cuales se delimitó un grupo de 4 clientes dedicados meramente a la industria bananera, como se observa en la Tabla 2-3. Será entonces a través de su certero conocimiento, como se llegará a determinar cuáles son las características de calidad más relevantes para la producción del Hilo

Bananero o comúnmente conocido como Cabo Bananero, en cuanto a su utilidad dentro del sector agrónomo.

Tabla 2-3: Clientes encuestados.

ENCUESTADO	PRESENCIA EN EL MERCADO
Cliente A	Comerciante mayorista
Cliente B	Representante empresa PLASTIFORT Cía. Ltda.
Cliente C	Representante empresa Hasanrita S.A.
Cliente D	Representante empresa RICABAN S.A.

Realizado por: Barragán y Vásconez, 2022.

Se utilizó la Escala de Likert para cuantificar el grado de importancia que los clientes asocian a las siguientes características del producto: densidad lineal, resistencia a la tensión, diámetro del hilo y presentación del producto, además que, como valor agregado, dentro de la encuesta se dio apertura a la opinión de los consumidores en cuanto a señalar una característica de calidad extra que consideren importante en el producto.

En la Ilustración 1-3 se detallan los resultados una vez que han sido aplicadas las diferentes encuestas.

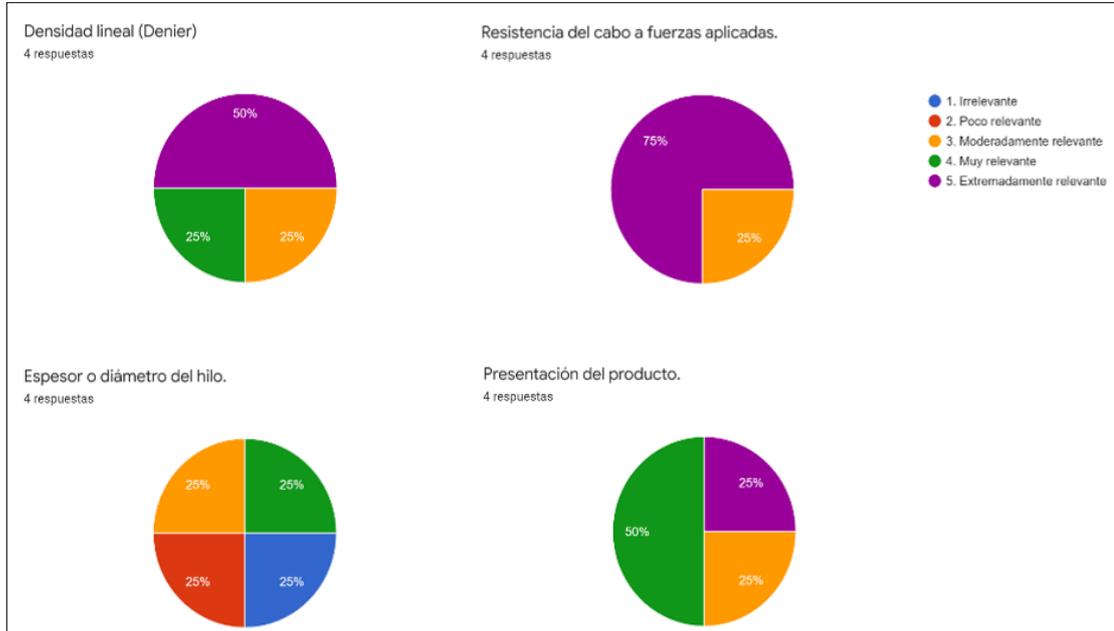


Ilustración 1-3: Resultados de la encuesta de interés a clientes representativos de HIPLAS.

Realizado por: Barragán y Vásconez, 2022.

Como valor agregado, el cuestionario contó con una pregunta abierta que buscaba identificar que otra característica debería contar el producto en cuestión, en la Ilustración 2-3 se presentan las diferentes opiniones de los clientes.

¿Qué otra característica de calidad le parece importante que tenga el producto, aparte de las mencionadas?

4 respuestas

- El metraje debe estar con números que sean visibles.
- Color, ya que dentro del sector agrícola esta propiedad ayuda a repeler diferentes tipos de plagas.
- El producto debe tener un menor peso cuando se habla del sector platanero (Presentación 2kg). El cabo bananero, mientras más fino y resistente sea, mejor, debido a que es más fácil de puntalear.
- Trenzado del cabo.

Ilustración 2-3: Resultados característica de calidad adicional.

Realizado por: Barragán y Vásquez, 2022

Mediante un diagrama de Pareto se busca determinar las CTQ a analizar de manera más profunda en el presente proyecto.

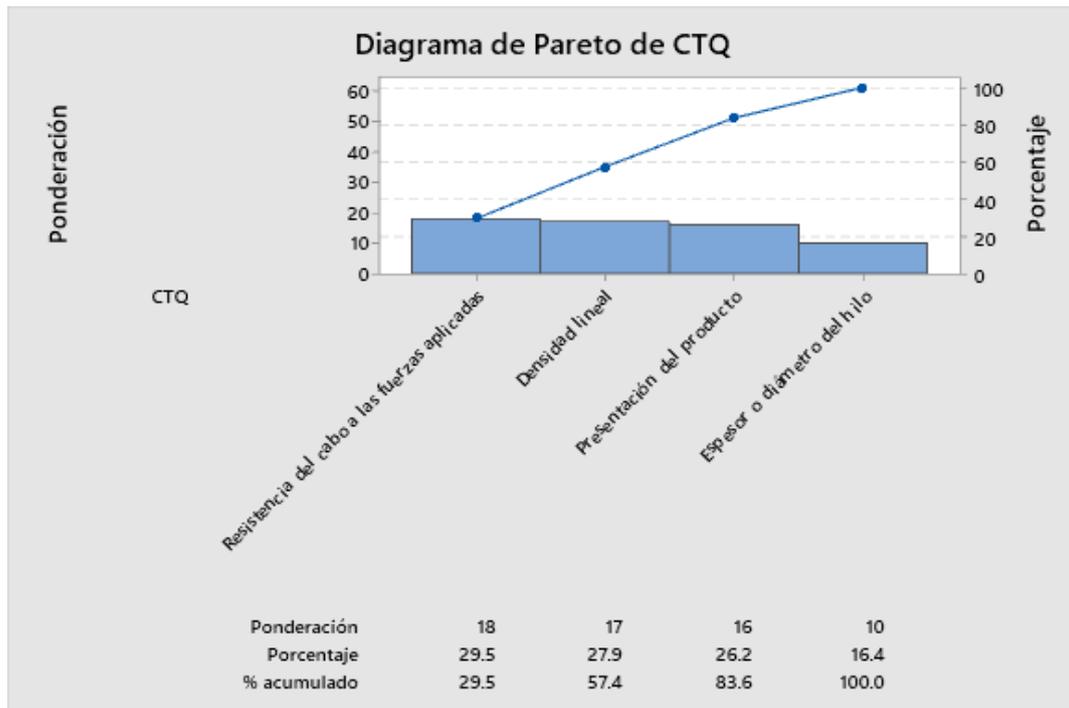


Ilustración 3-3: Diagrama de Pareto CTQ

Realizado por: Barragán y Vásquez, 2022

En la Ilustración 3-3 se puede apreciar que aproximadamente el 84% del total de ponderaciones asignadas por parte de los clientes de HIPLAS se encuentra asociado a tres de las cuatro

características planteadas en la encuesta: la resistencia del cabo a las fuerzas aplicadas, la densidad lineal y la presentación del producto con un 29,5%, 27,9%, y 26,2%, respectivamente. El presente trabajo está enfocado en las líneas de retorcido y bobinado para lo cual, la CTQ que está directamente ligada a las mismas es la resistencia del cabo a las fuerzas aplicadas o comúnmente conocida como resistencia última a la tensión, por lo que se decide atacar a esta característica con la finalidad de hallar una mejora dentro del proceso productivo.

Cabe recalcar que las características como densidad lineal o denier y la presentación del producto no requieren de un estudio técnico para su mejora, además de ser características subjetivas de los consumidores dependiendo del trabajo al cual vaya a ser destinado el hilo, no están acordes al objetivo del estudio.

3.4.2.2. Característica crítica de calidad

Mediante las encuestas previamente aplicadas, se determinó que la característica más importante para los consumidores del Hilo Bananero es la resistencia del cabo a fuerzas aplicadas o técnicamente conocido como el esfuerzo a la tensión.

En segundo lugar, se hallan el denier o densidad lineal y la presentación del producto. Estas características sirven de punto de partida para determinar los posibles factores que influyen en la variación de su comportamiento.

3.4.3. Medir

Para poder determinar el estado actual del proceso, se pretende realizar mediciones en torno a la característica crítica de calidad previamente definida, que en este caso es la resistencia última a la tensión o el esfuerzo máximo que puede soportar el hilo antes de su ruptura, variable determinada en Newtons (N). Estas mediciones surgen a partir de ensayos de tracción y bajo la norma técnica NTE INEN-ISO 2307 que indica las particularidades bajo las cuales se debe determinar esta propiedad mecánica. Los datos que se extraerán a partir de este ensayo son continuos.

3.4.3.1. Norma técnica ecuatoriana NTE INEN-ISO 2307

Esta norma habla acerca de la determinación de propiedades físicas y mecánicas en las cuerdas de fibra, es decir la guía para los ensayos de tracción, en donde se establecen los parámetros de medición en materia de instrumentos, toma de muestras, procedimiento operatorio, informes, etc.

3.4.3.2. Instrumentos de medición

Para la obtención de estos valores de medición se debe trabajar con los siguientes aparatos:

- Flexómetro
- Máquina de ensayos de tracción.

Cabe recalcar que la empresa no cuenta con una máquina de ensayos de tracción, razón por la cual las mediciones se realizarán en laboratorios externos.

3.4.3.3. Metodología de medición

El plan bajo el cual se va a realizar el muestreo se basa en la completa aleatoriedad, por lo que se recolectan muestras de 5 diferentes lotes. Cada uno de estos estará compuesto de 200 hilos, de los cuales se tomarán 3 unidades aleatoriamente, obteniéndose al final un total de 15 datos. El objetivo principal de estos ensayos constituye conocer la resistencia máxima a la tensión del producto final, los ensayos para tal propósito serán realizados por medio del personal del INEN y el uso del laboratorio especializado en el análisis de fibras plásticas y textiles.

Cabe recalcar que el hilo bananero producido por la empresa es aceptado por los clientes mientras este cumpla con un intervalo de tolerancia de 600 ± 10 Newtons en lo que respecta a la resistencia máxima a la tensión.

3.4.3.4. Registro de las mediciones

Con el objetivo de estudiar el nivel de variación presente en la resistencia última a la tensión de los hilos bananeros, se decidió realizar el análisis a partir de 5 lotes de producción aleatorios, asegurándose de que fueron obtenidos bajo los mismos parámetros operativos. Cada uno de estos lotes estaba comprendido de aproximadamente 200 unidades, de las cuales fueron seleccionadas 3 de manera aleatoria. Los resultados obtenidos en los ensayos de tracción sobre dichas muestras se pueden apreciar en la Tabla 3-3.

Tabla 3-3: Registro de mediciones actuales de resistencia última a la tensión del hilo bananero.

Corrida	Lote	Resistencia última a la tensión (N)
1	1	595,15
2	1	599,20
3	1	598,77
4	2	601,04
5	2	606,37
6	2	612,31
7	3	599,04
8	3	601,98
9	3	596,59
10	4	597,75
11	4	594,38
12	4	609,42
13	5	606,37
14	5	605,37
15	5	606,07

Realizado por: Barragán y Vásquez, 2022

En la Tabla 4-3 se puede observar la presentación del informe de resultados de la solicitud de trabajo con código ST-2022-309, realizada a cargo del INEN.

Tabla 4-3: Informe de resultados ensayo INEN.

 Servicio Ecuatoriano de Normalización	LABORATORIO DE ENSAYOS INFORME DE RESULTADOS	Hoja N° 1 de 1
		Edición: 06

INFORME DE RESULTADOS N° LE-2022-1008-01 **FECHA:** 2022-08-30

INFORMACIÓN GENERAL			
N° SOLICITUD DE TRABAJO:	ST-2022-309		
ENTIDAD/EMPRESA ⁽¹⁾ :	HIPLAS		
FECHA DE INGRESO DE OBJETO DE ENSAYO:	2022-08-19	E-MAIL ⁽¹⁾ :	ventas@hiplas.ec
MUESTREO/ TOMA DE MUESTRA REALIZADO POR ⁽¹⁾ :	No Aplica	ACTA No. ⁽¹⁾ :	No Aplica

RESISTENCIA A LA TRACCIÓN Y PORCENTAJE DE ALARGAMIENTO A LA RUPTURA				
FECHA DE REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS:	2022-08-26			
NORMA DE REQUISITOS ⁽¹⁾ :	No Aplica			
MÉTODO DE ENSAYO ⁽¹⁾ :	NTE INEN ISO 2307:2014			
LUGAR DE EJECUCIÓN DEL ENSAYO:	Laboratorio de Calzado			
CONDICIONES AMBIENTALES:	Temperatura, °C:	23,0	Humedad Relativa, %:	42,1
EQUIPOS UTILIZADOS:	Dinamómetro Electrónico. Código: 3843; Calibrador. Código: EI-G-15, Termohigrómetro. Código: EI-06			
DESCRIPCIÓN DEL OBJETO DE ENSAYO ⁽¹⁾ :	Cuerda de fibra plástica	MARCA ⁽¹⁾ :	No Aplica	
CÓDIGO DE OBJETO DE ENSAYO:	OE-2022-309-05	CÓDIGO DE CLIENTE ⁽¹⁾ :	Denier 22000	

Fuerza rotura N	Alargamiento %
609,42	24

OBSERVACIONES: Ninguna

- Los resultados de este informe se Aplican al objeto de ensayo como se recibió y son exclusivos del mismo. - Este Informe de Resultados no debe ser reproducido, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita del Laboratorio.	
Realizado por:  FRANKLIN PATRICIO VILLA FARINANGO Ing. Franklin Villa	Autorizado por:  SANDRA MARIBEL VIRACUCHA ORTIZ Ing. Sandra Viracucha

DIRECCIÓN - INEN: Autopista General Rumiñahui. Puente Peatonal N° 5, 500 m a mano derecha. Barrio El Rosal.

Realizado por: INEN, 2022

3.4.3.5. Prueba de normalidad de datos

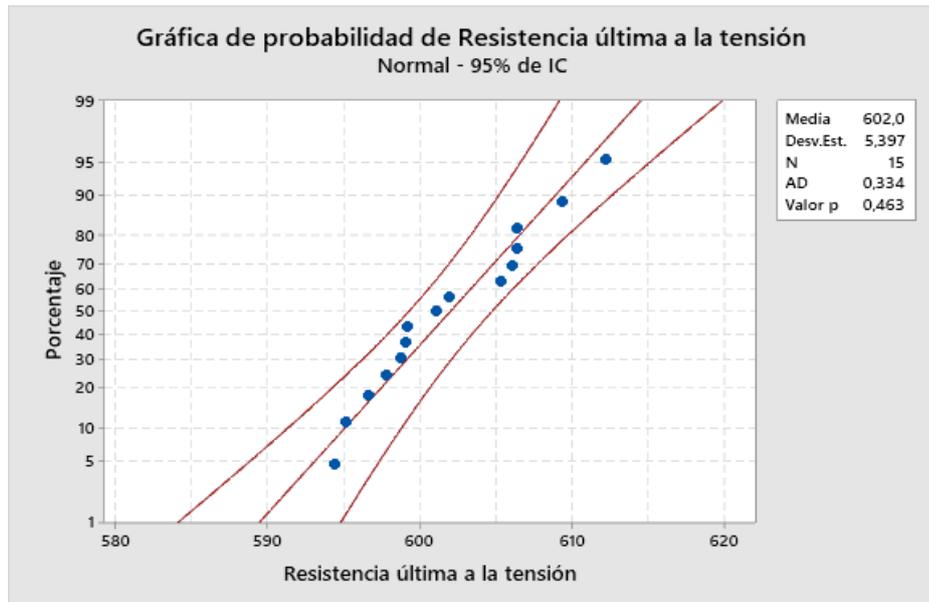


Ilustración 4-3: Prueba de normalidad de los datos actuales

Realizado por: Barragán y Vásconez, 2022

En la Ilustración 4-3 se obtuvo la gráfica de normalidad de los datos obtenidos, dicha gráfica muestra que los datos obtenidos se ajustan a un modelo de distribución normal ya que presenta un valor P mayor a 0,05, considerando además que se trabaja a un 95% de nivel de confianza.

3.4.3.6. Cartas de control

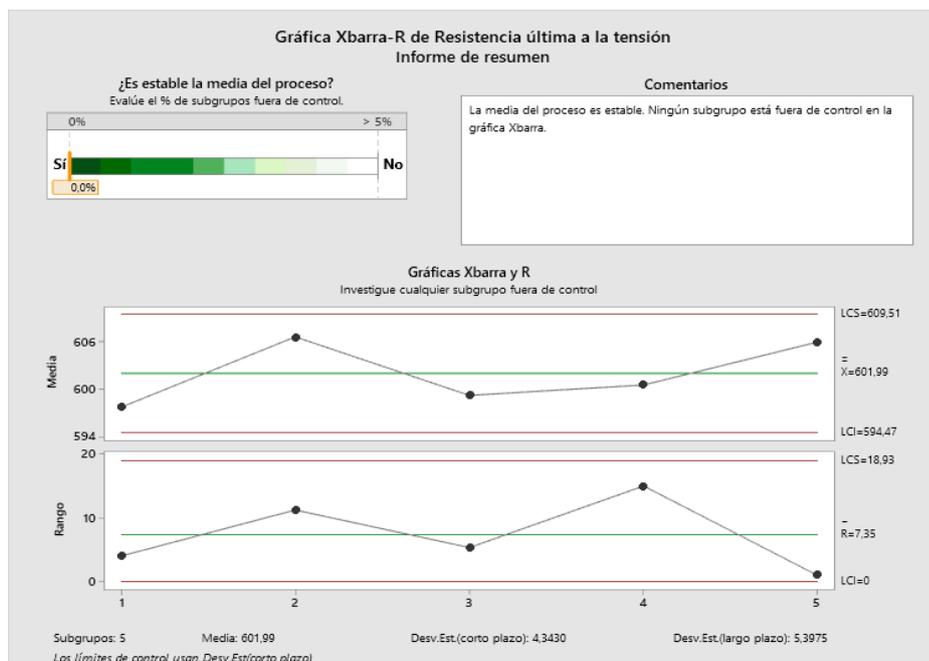


Ilustración 5-3: Comportamiento actual del proceso

Realizado por: Barragán y Vásconez, 2022

La Ilustración 5-3 muestra el comportamiento actual del proceso, es así como se puede observar que, tanto en la gráfica de control de medias como de rangos para los lotes, dichos puntos tienen un comportamiento que se encuentra controlado, es decir, están dentro de los límites solicitados por el proceso. Se puede observar también que la media global de la resistencia a la rotura de los hilos en los lotes es de 602 N aproximadamente, encontrándose muy cercano al estándar central establecido de 600 N.

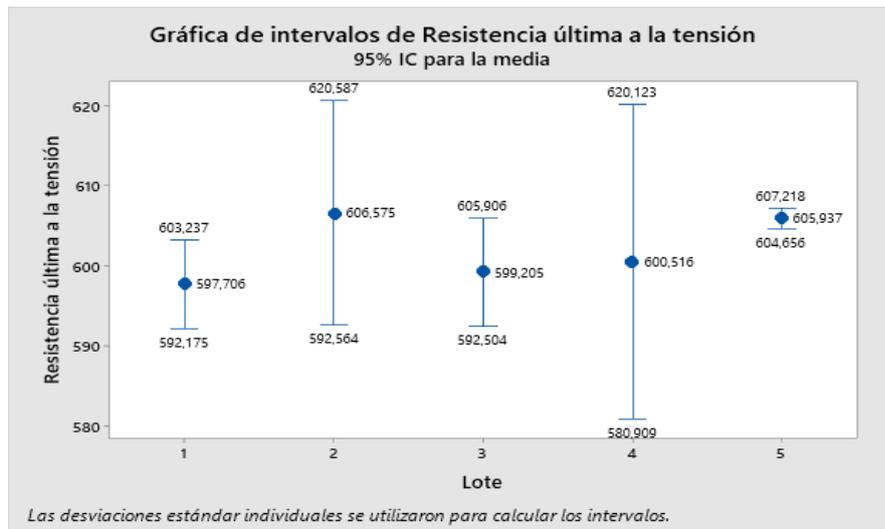


Ilustración 6-3: Gráfico de intervalos de variación de resistencia última a la tensión por lotes.

Realizado por: Barragán y Vásquez, 2022

De acuerdo con la Ilustración 6-3 acerca de los intervalos de variación de la resistencia por lotes, es el lote número 4 aquel que presentan el mayor intervalo con respecto a los demás, mientras que el lote 5 es el menor en términos de variación. Es así que si se comparan ambos lotes, se puede ver que el lote número 5 presenta una variación de aproximadamente el 7,5% de la variación total registrada en el lote 4.

3.4.3.7. Estabilidad del proceso

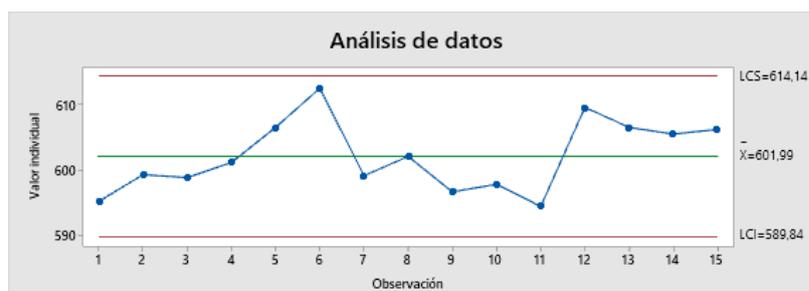


Ilustración 7-3: Análisis de medias individuales.

Realizado por: Barragán y Vásquez, 2022

Según la Ilustración 7-3 existe 1 dato que se encuentran por fuera del límite de control superior, denotando que el proceso no se encuentra bajo control. A continuación, se procede a calcular el índice de inestabilidad del proceso:

$$St = \frac{\text{Nro. de datos fuera de control}}{\text{Nro. total de datos}} * 100\%$$

$$St = \frac{1}{15} * 100\%$$

$$St = 6,66\%$$

Obteniéndose un índice de inestabilidad del 6,66%, este puede considerarse aceptable para el proceso al ser inferior al 10%. Se denota un gran nivel de estabilidad en la propiedad de resistencia a la tensión de los productos fabricados actualmente.

3.4.3.8. Capacidad del proceso actual

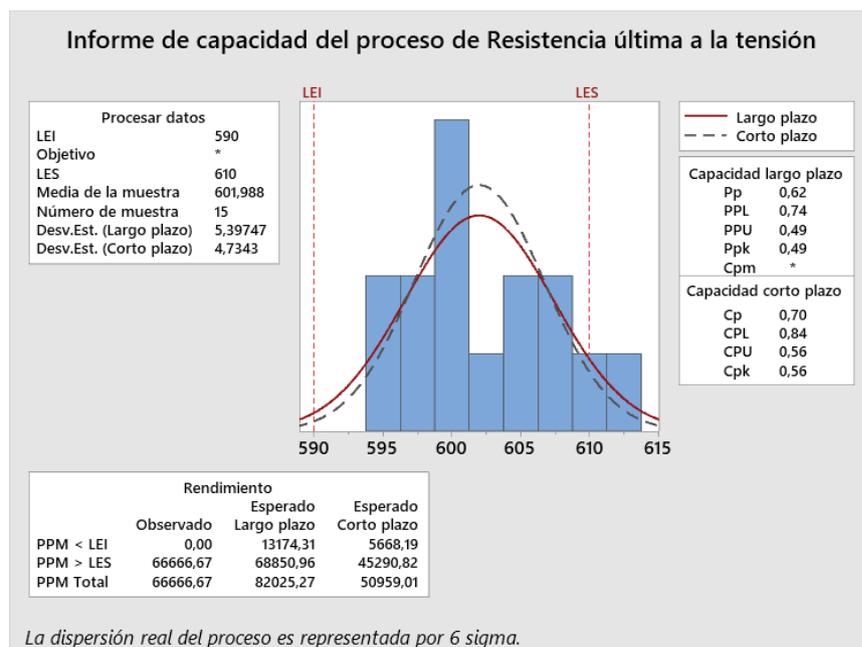


Ilustración 8-3: Capacidad del proceso actual.

Realizado por: Barragán y Vásconez, 2022.

De acuerdo con la Ilustración 8-3, se puede observar que los datos se alejan del valor central presentando un sesgo negativo, es decir, que estos tienen hacia el límite de especificación superior.

En cuanto se refiere a la capacidad del proceso, se tiene un Cp de 0,70; categorizando al proceso en una clase 3, lo cual indica que es de suma importancia que se apliquen modificaciones serias

al proceso, ya que este es incapaz de cumplir con las especificaciones. De igual forma, el indicador Pp a largo plazo, con un valor de 0,62; indica que el proceso se mantendrá incapaz.

En cuanto a la capacidad real Cpk, se obtuvo un valor de 0,56 el cual se puede considerar próximo al índice Cp denotando que la media del proceso está cerca del punto medio de las especificaciones, es decir 600 N. Sin embargo, al tener un Cpk mucho menor a 1, el proceso sigue siendo incapaz.

En materia de unidades defectuosas, se puede percibir que se tiene 82 026 productos defectuosos, alcanzado un nivel 3 sigma y un rendimiento del 91,79% a largo plazo; así como 50 960 defectuosos a corto plazo por cada millón de unidades producidas aproximadamente.

3.4.4. Analizar

Dentro de esta fase se plantea analizar el ciclo de producción de los hilos desde la etapa de recepción de materia prima hasta el retorcido y bobinado automático, mediante el desarrollo de un Análisis Modal de Fallos y Efectos (AMFE), donde se pretende evaluar los procesos que tengan relación directa con la resistencia última a la tensión, variable crítica de calidad anteriormente determinada, y mediante la aplicación del diseño experimental evaluar las condiciones óptimas de trabajo con mira en la mejora de esta.

A través de este diseño y mediante el planteamiento y posterior validación de diversas hipótesis en función de los factores inmersos en la CTQ, se buscará determinar la significancia de los mismos en el desarrollo del producto final.

3.4.4.1. Mapeo del proceso

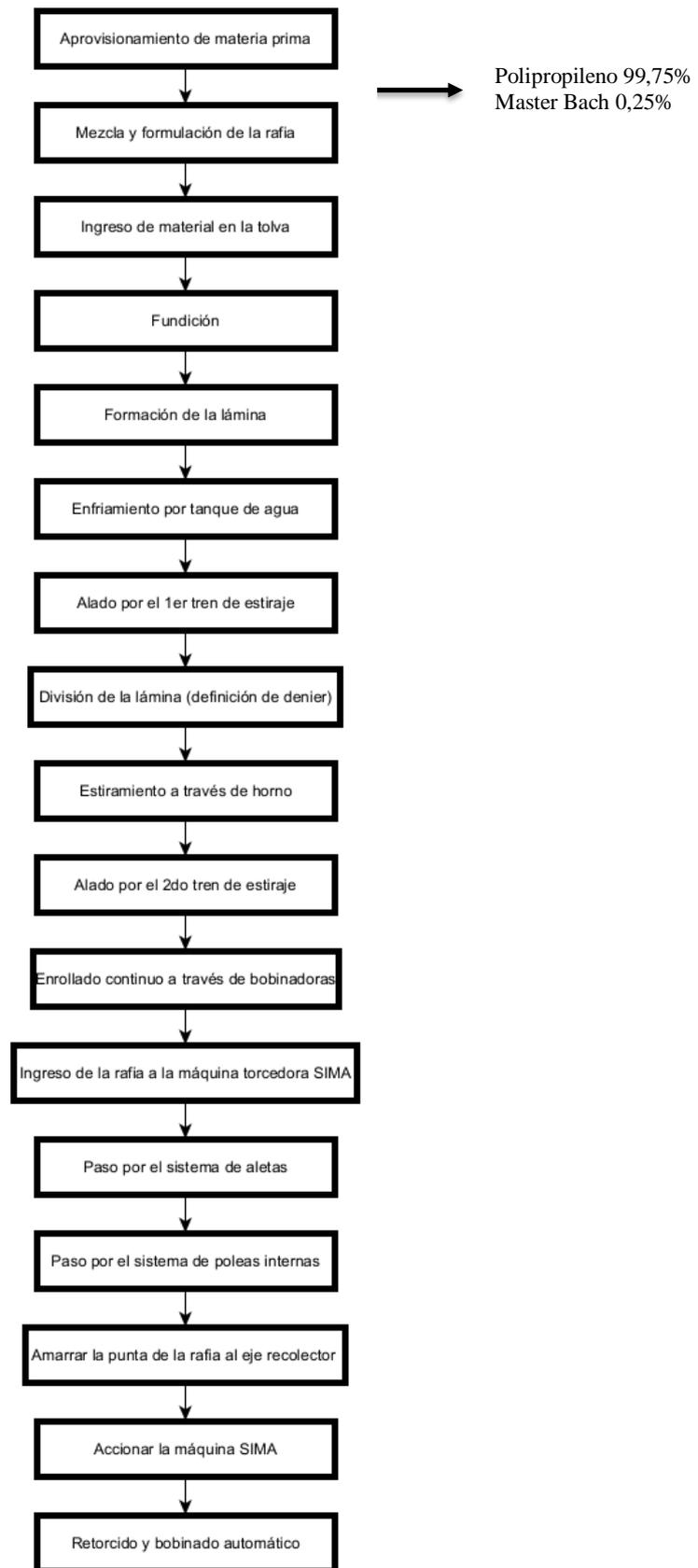


Ilustración 9-3: Diagrama de flujo del proceso.

Realizado por: Barragán y Vásquez, 2022

En la Ilustración 9-3 se puede apreciar el flujograma del proceso productivo para el hilo bananero.

3.4.4.2. Análisis modal de fallos y efectos

El objetivo del Análisis Modal de Fallos y Efectos es determinar cuáles de los procesos inmersos en el ciclo productivo tienen una mayor influencia en la variabilidad estudiada del producto final, desde la preparación y mezcla de la fórmula, hasta el bobinado y el retorcido del hilo bananero.

Dentro del AMFE son tres los indicadores clave que, mediante su valoración de 1-10 y posterior multiplicación, servirán para determinar el Índice prioritario de riesgo o IPR. Como primer punto, se analiza el índice de severidad entendiéndose como el nivel de repercusión que tendrá la falla sobre el consumidor final; en segundo lugar, se tiene el índice de ocurrencia de la causa potencial del fallo dentro del proceso; y finalmente, el índice de detección que tiene dicho fallo a través de los sistemas de control, al momento de su aparición.

Tabla 5-3: AMFE de proceso del hilo bananero 21x1.

Proceso	Modo Potencial de Falla	Efecto Potencial de Falla	Sev	Causa Potencial	Ocu	Detección de la Causa	Det	IPR
Mezcla y formulación	Formulación incorrecta	Perdida de propiedades mecánicas en el producto final	8	Proporción incorrecta de componentes	4	Inspección mediante balanza	5	160
Fundición de la fórmula	Pérdida de propiedades mecánicas	Rotura inminente ante la aplicación de esfuerzos	9	Parámetros de temperatura incorrectos	7	Inspección visual	4	252
Formación de la lámina	Película discontinua	Rotura parcial de las fibras que componen el hilo	7	Cabezal obstruido	4	Inspección visual	6	168
Enfriamiento por agua	Propiedades de la lámina alteradas	Cambio en la resistencia a la tensión del hilo	9	Sistema de recirculación de agua en mal funcionamiento	4	Inspección mediante termómetro	6	216
Alado por el 1er tren de estiraje	Generación de fisuras en la película	Rotura parcial de las fibras que componen el hilo	7	Velocidad inadecuada de los rodillos	4	Inspección visual	5	140
Corte y división de la película	Corte discontinuo de la película	Imposibilidad de recibir el producto	5	Cuchillas desafiladas	4	Inspección visual	3	60
Estiramiento a través de la cama de calentamiento	Ancho inadecuado de la lámina	Aumento del denier en el hilo	8	Calibración inadecuada de la temperatura del horno	5	Inspección visual	3	120
Alado por el 2do tren de estiraje	Generación de fisuras en las láminas	Rotura parcial de las fibras que componen el	7	Velocidad inadecuada de los rodillos	4	Inspección visual	5	140

		hilo						
Enrollado continuo a través de bobinadoras	Enrollamiento disparatejo de la rafia	Disparidad de los rollos	6	Mal estado de las bobinadoras	4	Inspección visual	4	96
Retorcido y bobinado automático	Enrollamiento disparatejo del rollo.	Aumento del denier en el hilo	8	Parámetros incorrectos de trabajo	4	Inspección visual	5	160

Realizado por: Barragán y Vásconez, 2022

Según la Tabla 5-3, son dos las actividades en las que se generan los problemas críticos dentro de la cadena de producción, tomando como consideración aquellos indicadores IPR superiores a 200. Estas corresponden a la Fundición de la fórmula, y el Enfriamiento de la película en el tanque de agua, esto debido a que se encuentran en el rango Alto de riesgo de falla según AMFE.

De esta forma se determina que las actividades antes mencionadas deben ser objeto de control durante su desarrollo en el proceso, y de esta forma controlar su posible efecto de variabilidad sobre la resistencia a la tensión del producto final.

3.4.5. *Mejorar*

Esta fase constituye la puesta en marcha de los mecanismos que buscaran solventar las falencias identificadas de la empresa, tales como la alta variabilidad, los bajos índices de resistencia a la tensión del cabo bananero; definidos en la etapa de análisis previamente ejecutada.

3.4.5.1. *Planteamiento del modelo experimental*

El presente proyecto busca aumentar la resistencia a la tensión del cabo bananero, mediante la experimentación de los factores previamente identificados en el AMFE, como son: la temperatura del horno y la temperatura del refrigerante ya que estos factores comprenden la etapa inicial del proceso en donde se realiza la composición del material que dará como resultado el producto final una vez hayan pasado a través de las líneas de retorcido y bobinado.

3.4.5.2. *Diseño factorial 2²*

Este tipo de diseño permite estudiar cada factor por separado, donde también se puede analizar el efecto individual y de interacción de los mismos, se estudian dos factores (A y B) con dos niveles en cada factor. Debido a que en este caso el número de factores es menor a cuatro se recurre a obtener dos réplicas por cada tratamiento.

Los factores que influyen de forma directa y sus niveles se detallan en la Tabla 6-3.

Tabla 6-3: Factores y niveles del modelo experimental

	+ (Nivel alto)	- (Nivel Bajo)
Temperatura del horno (Factor A)	350 °C	300 °C
Temperatura del refrigerante (Factor B)	30 °C	35 °C

Realizado por: Barragán y Vásquez, 2022

3.4.5.3. Planteamiento de hipótesis

Para la realización de este diseño se deben formular hipótesis para cada uno de los factores involucrados en la CTQ, tanto hipótesis nulas, como alternativas que indiquen si va a existir efecto en la misma, es decir si los factores son significativos. Las hipótesis se indican a continuación:

3.4.5.4. Hipótesis factor A (temperatura del horno)

- *Hipótesis Nula* = $H_0: \mu_{350^\circ C} = \mu_{300^\circ C}$

La temperatura del horno, ya sea a 350°C o a 300°C, no afecta en la resistencia última a la tensión del cabo bananero.

- *Hipótesis Alternativa* = $H_A: \mu_i \neq \mu_j$

La temperatura del horno, ya sea a 350°C o a 300°C, afecta en la resistencia última a la tensión del cabo bananero.

3.4.5.5. Hipótesis factor B (temperatura del refrigerante)

- $H_0: \mu_i \neq \mu_j$

La temperatura del refrigerante a 30°C o a 35°C aplicada sobre los hilos no afecta en la resistencia última a la tensión del cabo bananero.

- $H_A: \mu_i \neq \mu_j$

La temperatura del refrigerante a 30°C o a 35°C aplicada sobre los hilos afecta en la resistencia última a la tensión del cabo bananero.

3.4.5.6. Hipótesis interacción de factores

- $H_0: (\alpha\beta)_{ij} = 0$

La interacción entre la temperatura del horno y la temperatura del refrigerante no afecta en la resistencia última a la tensión del cabo bananero

- $H_A: (\alpha\beta)_{ij} \neq 0$

La interacción entre la temperatura del horno y la temperatura del refrigerante no afecta en la resistencia última a la tensión del cabo bananero

3.4.5.7. Variable de respuesta

La variable con la cual se piensa experimentar es la Resistencia última a la tensión, medida en Newtons (N), debido a que es la característica crítica de calidad del producto según los clientes. Esto se puede explicar en función del uso que se le da al hilo bananero, ya que como su nombre lo indica este es utilizado en las plantaciones de banano para realizar los respectivos amarres entre matas, así como el amarre de los propios racimos para que puedan ser soportados por la planta. Adicionalmente, hace función de pesticida ya que es fabricado con un aditivo extra que lo dota de esta característica muy importante en la agricultura.

3.4.5.8. Desarrollo del modelo

Para el desarrollo del modelo experimental 2^2 propuesto en el presente trabajo, se va a hacer uso del software estadístico Minitab 19, mediante el cual primero se debe garantizar el cumplimiento del principio de aleatoriedad. Esto se lo hará mediante la aleatorización del orden de corridas, misma que es proporcionada por el mismo programa en la etapa de diseño del modelo.

Es importante recalcar la necesidad de realizar dos réplicas por cada tratamiento, ya que de esta forma se asegura que los datos obtenidos puedan reflejar de una manera confiable el comportamiento del proceso bajo dichos parámetros de operación.

3.4.5.9. Proceso de aleatorización de datos

Para la obtención de resultados precisos de debe trabajar con los datos de forma aleatorizada véase Tabla 7-3, es decir, se debe ingresar los datos acordes a los niveles que el software MINITAB arroja una vez creado el modelo.

Tabla 7-3: Modelo de aleatorización de datos.

OrdenEst	OrdenCorrida	PtCentral	Bloques	Temp. Cañón (°C)	Temp. Agua (°C)	Fuerza Rotura (N)
5	1	1	1	300°C	35°C	
3	2	1	1	300°C	30°C	
2	3	1	1	350°C	35°C	
8	4	1	1	350°C	30°C	
7	5	1	1	300°C	30°C	
4	6	1	1	350°C	30°C	
6	7	1	1	350°C	35°C	
1	8	1	1	300°C	35°C	

Realizado por: Barragán y Vásquez, 2022

Teniendo el orden de las corridas, se realiza la producción de las diferentes unidades experimentales modificando los parámetros de producción según los niveles definidos. Una vez obtenidas todas las muestras, se debe aplicar el ensayo de tracción de la misma forma que se hizo en la etapa de Medición.

Las muestras son analizadas en el laboratorio del INEN, y los diferentes resultados son registrados de acuerdo al diseño previamente establecido, esto se puede apreciar en la Tabla 8-3.

Tabla 8-3: Datos aleatorizados en el modelo

OrdenEst	OrdenCorrida	PtCentral	Bloques	Temp. Cañón (°C)	Temp. Agua (°C)	Fuerza Rotura (N)
5	1	1	1	300°C	35°C	609,42
3	2	1	1	300°C	30°C	613,30
2	3	1	1	350°C	35°C	619,22
8	4	1	1	350°C	30°C	741,20
7	5	1	1	300°C	30°C	622,78
4	6	1	1	350°C	30°C	815,08
6	7	1	1	350°C	35°C	625,04
1	8	1	1	300°C	35°C	601,98

Realizado por: Barragán y Vásquez, 2022

3.4.5.10. *Supuesto de normalidad*

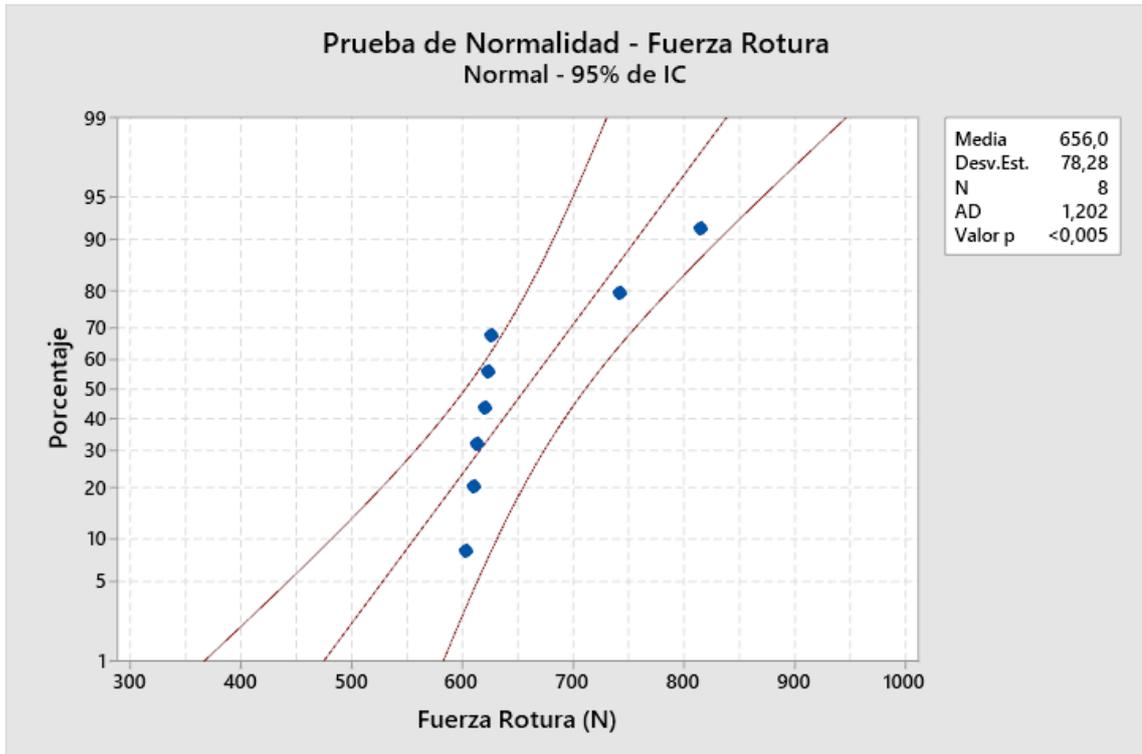


Ilustración 10-3: Prueba de normalidad del modelo.

Realizado por: Barragán y Vásquez, 2022.

Según la Ilustración 10-3, después de haberse aplicado la prueba de normalidad correspondiente al conjunto de datos, y obteniéndose un valor P menor al 0,05, se determinó que el conjunto de datos no se ajusta a dicho tipo de distribución. Sin embargo, se debe analizar la influencia de los factores para determinar si estos representan la principal causa de variabilidad en los datos.

Además, se busca verificar la variabilidad de la resistencia a la tensión de hilos plásticos trabajando con sus distintos factores a un nivel alto y bajo por cada uno. Para esto se plantean dos tipos de hipótesis, como se puede ver en la Tabla 9-3.

Tabla 9-3: Hipótesis del modelo

Hipótesis nula:	Los datos de la experimentación siguen una distribución normal.
Hipótesis alternativa:	Los datos de la experimentación no siguen una distribución normal.

Realizado por: Barragán y Vásquez, 2022

3.4.5.11. *Supuesto de homogeneidad de varianza*

Pruebas		
Método	Estadística de prueba	Valor p
Comparaciones múltiples	—	0,104
Levene	*	*

Ilustración 11-3: Pruebas homogeneidad de varianza.

Realizado por: Barragán y Vásconez, 2022

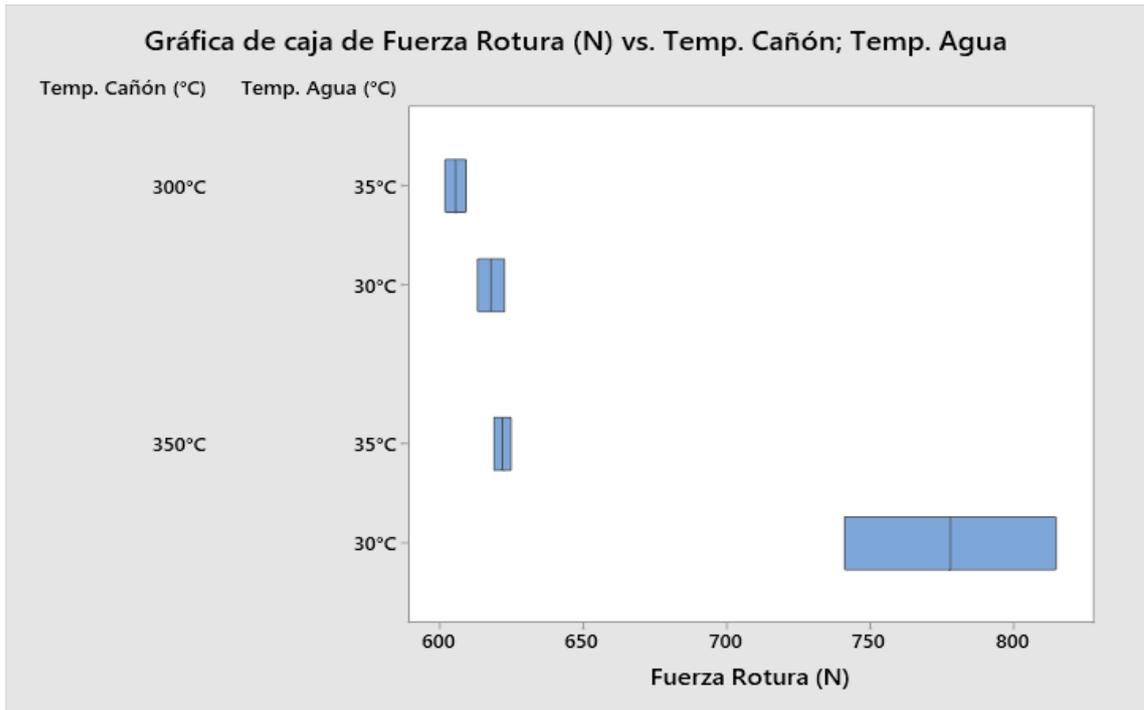


Ilustración 12-3: Gráfica de caja de la fuerza de rotura.

Realizado por: Barragán y Vásconez, 2022.

De acuerdo a la Ilustración 11-3, con un Valor p de 0,104 se comprueba que las varianzas presentadas por los diferentes tratamientos en el experimento pueden considerarse iguales. Esto hace posible el poder comparar los grupos de muestras entre sí, como se puede ver en la Ilustración 12-3 los intervalos de varianza son semejantes entre sí.

3.4.5.12. *Prueba de Bartlett*

Pruebas		
Método	Estadística de prueba	Valor p
Bartlett	5,90	0,116

Ilustración 13-3: Prueba de Bartlett.

Realizado por: Barragán y Vásconez, 2022

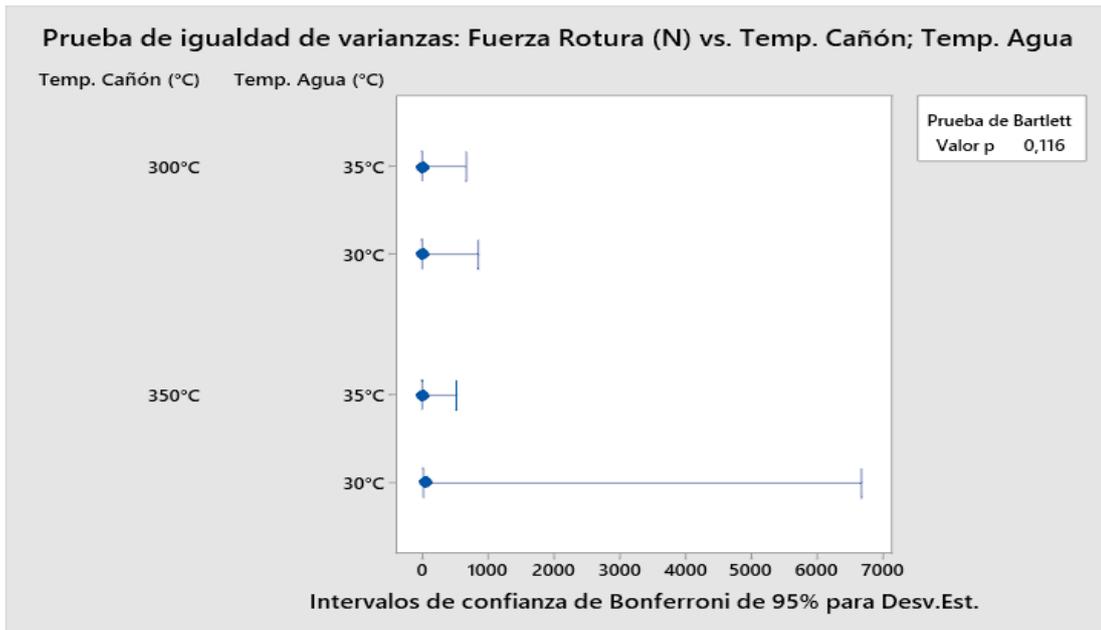


Ilustración 14-3: Prueba de igualdad de varianzas.

Realizado por: Barragán y Vásconez, 2022

Según la Ilustración 14-3, mediante la prueba de Bartlett será posible comprobar la homogeneidad de varianzas de las muestras, y esto se demuestra al haber obtenido un Valor p de 0,116 mediante el cual se aprueba la hipótesis nula misma que establece que cada muestra proviene de poblaciones que pueden considerarse con varianzas iguales.

3.4.5.13. Residuos del modelo

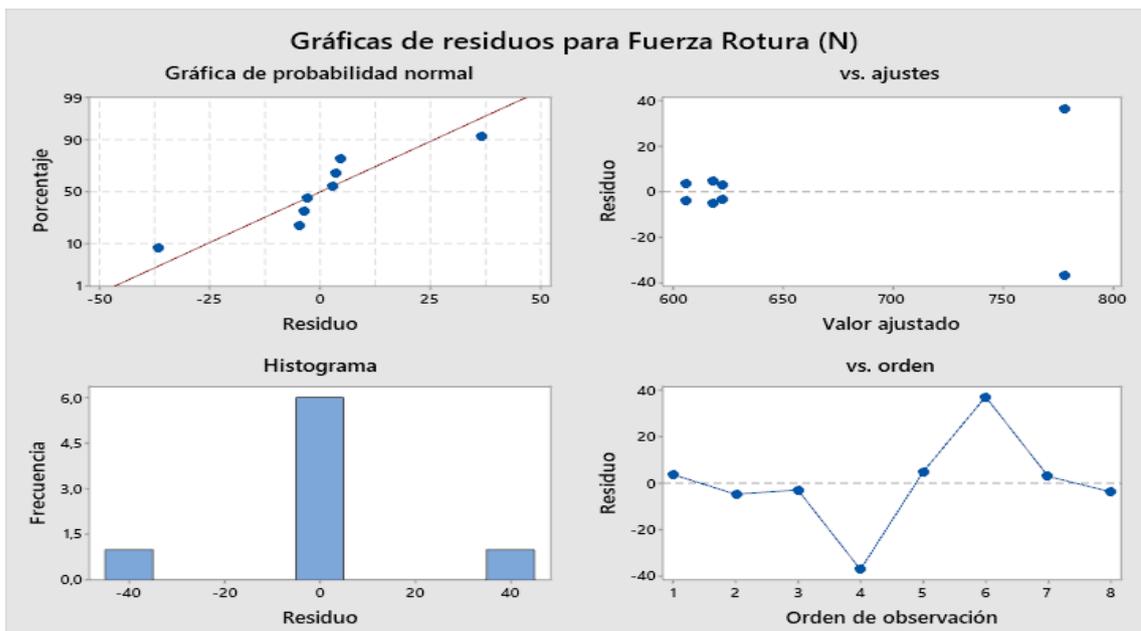


Ilustración 15-3: Residuos del modelo.

Realizado por: Barragán y Vásconez, 2022

La Ilustración 15-3, permite determinar diferentes afirmaciones sobre los datos analizados:

- ❖ La gráfica de “Residuo vs ajustes” permite evidenciar que los residuos están distribuidos aleatoriamente y tienen una varianza constante.
- ❖ En cuanto al Histograma de residuos, se puede observar que los mismos se encuentran concentrados principalmente en el centro, alrededor de 0, al igual que se tienen otros por debajo y sobre denotándose simetría.
- ❖ La gráfica de “Residuos vs Orden de observación” demuestra la independencia de residuos, ya que se observa que estos no siguen un patrón o una tendencia dentro de su distribución.

3.4.5.14. Cálculo análisis de varianza (ANOVA) y gráfica de distribución.

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC	Ajust. MC	Ajust. Valor F	Valor p
Modelo	3	40073	13357,6	18,96	0,008
Lineal	2	29752	14876,1	21,11	0,007
Temp. Cañón (°C)	1	15581	15581,4	22,11	0,009
Temp. Agua (°C)	1	14171	14170,9	20,11	0,011
Interacciones de 2 términos	1	10321	10320,5	14,65	0,019
Temp. Cañón (°C)*Temp. Agua (°C)	1	10321	10320,5	14,65	0,019
Error	4	2819	704,7		
Total	7	42891			

Ilustración 16-3: Análisis de varianza.

Realizado por: Barragán y Vásconez, 2022

En la Ilustración 16-3, se observa el resultado del ANOVA con relación a los factores estudiados. Es así que para el factor A (Temperatura del Horno) se tiene un valor F de 22,11, al factor B (Temperatura del Agua) le corresponde un valor de 20,11, y finalmente, para el factor de interacción de AxB se tiene un valor F de 14,65. Ahora, dichos valores serán contrastados con el estadístico crítico de Fisher correspondiente.

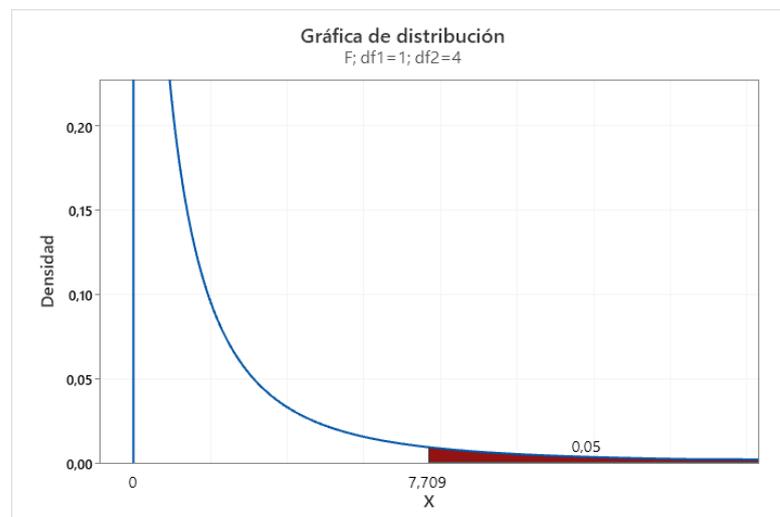


Ilustración 17-3: Gráfica de distribución

Realizado por: Barragán y Vásconez, 2022

El valor tabulado de Fisher con el que serán comparados los estadísticos obtenidos en el diseño experimental corresponde a 7,709, como se puede apreciar en la Ilustración 17-3.

3.4.5.15. Conclusiones ANOVA (factores significativos)

Una vez realizado el ANOVA, se puede obtener las siguientes conclusiones con relación a los factores estudiados y su significancia sobre la fuerza de rotura de los hilos.

3.4.5.16. Factor A (temp. cañón)

El valor F de la temperatura a la que trabaja el horno resultó 22,11 siendo este mayor al F crítico de 7,709, lo que conlleva a aceptar la hipótesis alternativa misma que establece que este factor representa una fuente de variabilidad sobre la resistencia a la tensión de los hilos.

3.4.5.17. Factor B (temp. agua)

Se obtuvo un valor F de 20,11 el cual es mayor al F crítico de 7,709 lo que explica la existencia de variación en la resistencia a la tensión de los hilos cuando se modifica la temperatura del agua, usada como medio de refrigeración, aceptando por tanto la hipótesis alternativa.

3.4.5.18. Factor AxB (temp. cañón vs temp. agua)

En cuanto al factor de interacción presentado entre la temperatura del cañón como del agua, se obtuvo un valor F de 14,65 el cual también es mayor al F crítico de 7,709; esto nos permite entender mediante la hipótesis alternativa que este factor también debe ser considerado como una causa de variabilidad.

3.4.5.19. Cálculo del coeficiente de determinación

Resumen del modelo			
S	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)	
26,5456	93,43%	88,50%	73,71%

Ilustración 18-3: Coeficiente de determinación.

Realizado por: Barragán y Vásquez, 2022

De acuerdo a la Ilustración 18-3, en el modelo de estudio el 93.43% de la variabilidad que se encuentra en la fuerza de rotura es explicada por la temperatura del horno y la temperatura del

refrigerante y, el 6,57% es una variabilidad no explicada, es decir, puede ser un error de experimentación o un error por parte del factor humano. En conclusión, se determina que los datos se ajustan de buena manera al modelo utilizado.

3.4.5.20. Ecuación de regresión

Ecuación de regresión en unidades no codificadas

$$\text{Fuerza Rotura (N)} = 656,00 + 44,13 \text{ Temp. Cañón (}^{\circ}\text{C)} + 42,09 \text{ Temp. Agua (}^{\circ}\text{C)} + 35,92 \text{ Temp. Cañón (}^{\circ}\text{C)} * \text{Temp. Agua (}^{\circ}\text{C)}$$

Ilustración 19-3: Ecuación de regresión.

Realizado por: Barragán y Vásconez, 2022

De acuerdo a la Ilustración 19-3 la ecuación de regresión a la que se ajusta el comportamiento de la resistencia a la tensión de los hilos, en función de los factores estudiados, menciona que tanto la temperatura de refrigeración, como la del horno tiene un mayor efecto.

3.4.6. Presentación de gráficas

3.4.6.1. Diagrama Pareto de efectos estandarizados

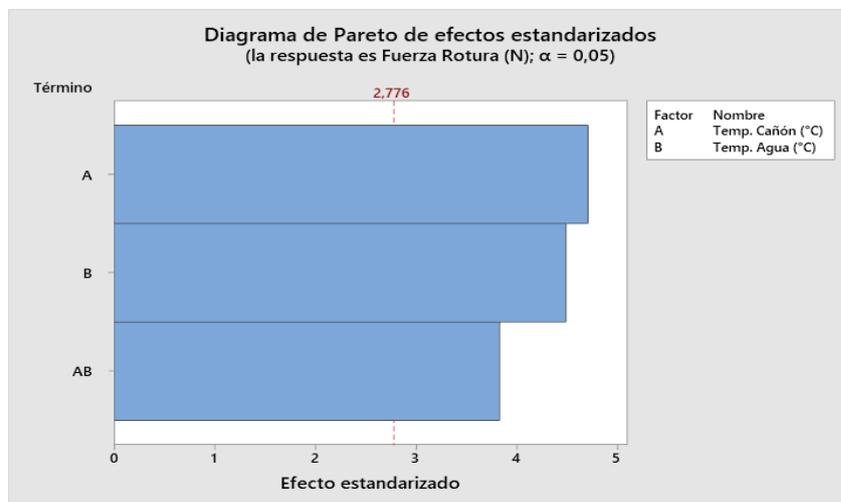


Ilustración 20-3: Diagrama de Pareto de efectos estandarizados.

Realizado por: Barragán y Vásconez, 2022

Como se puede apreciar en la Ilustración 20-3, mediante la realización de un diagrama de Pareto para los efectos estandarizados, se puede observar cómo los tres factores estudiados tienen una incidencia significativa sobre la variable respuesta del diseño (resistencia a la tracción del hilo).

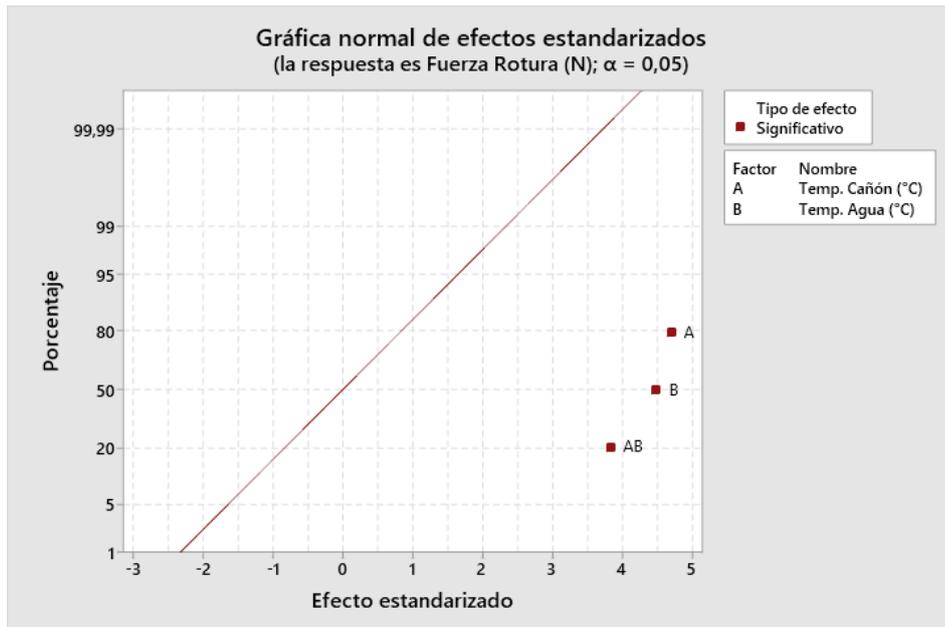


Ilustración 21-3: Gráfica normal de efectos estandarizados.

Realizado por: Barragán y Vásquez, 2022

En la Ilustración 21-3, se puede apreciar la gráfica la normal de efectos estandarizados, misma que confirma los resultados obtenidos en la gráfica de Pareto analizada anteriormente.

3.4.6.2. Gráfica de efectos principales

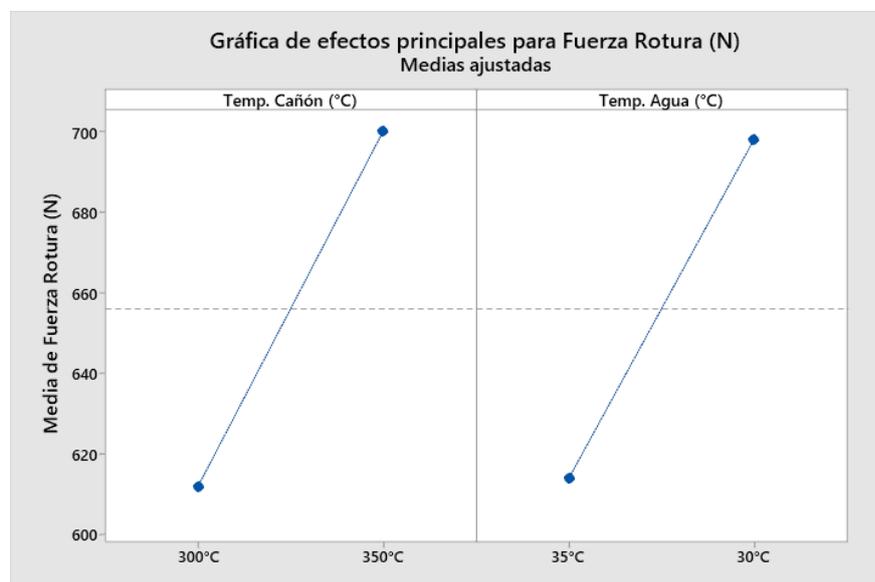


Ilustración 22-3: Gráfica de efectos principales.

Realizado por: Barragán y Vásquez, 2022

Se puede apreciar en la Ilustración 22-3 que tanto la temperatura del cañón como de refrigeración tienen un efecto muy similar sobre la resistencia de los hilos.

3.4.6.3. Parámetros de operación

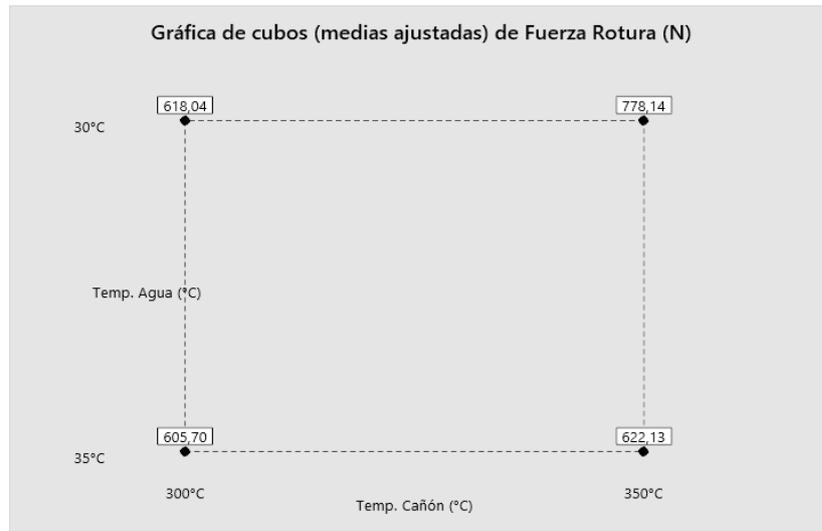


Ilustración 23-3: Gráfica de cubos.

Realizado por: Barragán y Vásconez, 2022

De acuerdo con la Ilustración 23-3 se observa que la configuración que arroja un mayor valor medio en cuanto a resistencia a la tensión es trabajar con una temperatura de fundición de 350°C (nivel alto del factor), al igual que con una temperatura de refrigeración de 30°C (nivel alto), arrojando un valor de 778,14 N.

3.4.6.4. Gráfica de intervalos

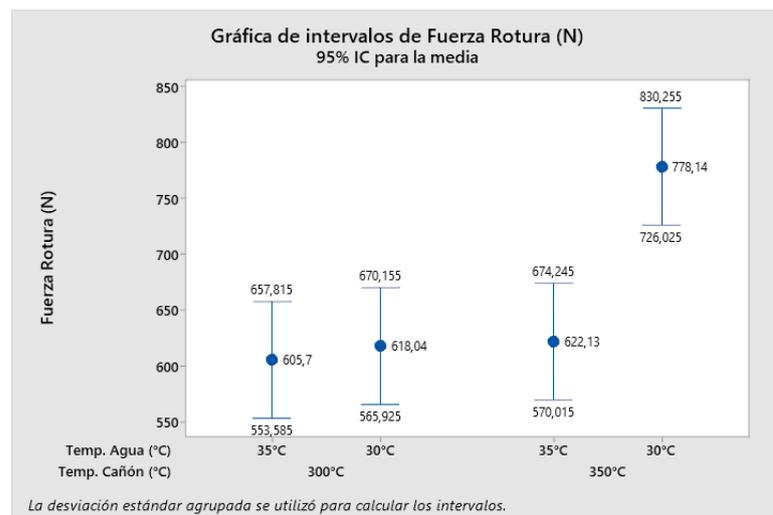


Ilustración 24-3: Intervalos de fuerza de rotura según la experimentación.

Realizado por: Barragán y Vásconez, 2022

La Ilustración 24-3 indica que, bajo los parámetros de operación previamente mencionada, la configuración de trabajo óptima es con ambos factores en sus respectivos niveles altos, de esta

forma se logra obtener una resistencia máxima a la tensión en los hilos comprendida en un intervalo de 830,255 y 726,025 N; con una media de 778,14 N.

3.4.6.5. Validación de hipótesis

Se concluye, debido a que el estadístico crítico de Fisher que tiene un valor de 7,709; de acuerdo a la Ilustración 17-3, es menor al estadístico calculado o valor F del análisis de varianza, véase Ilustración 16-3, que, para el factor A (Temperatura del horno), para el factor B (Temperatura del refrigerante) y para la interacción de ambos factores, con una valor F de 22,11; 20,11 y 14,65; respectivamente, se aceptan las hipótesis alternativas indicando que estos son significativos en la resistencia última a la tensión del cabo bananero.

3.4.6.6. Implementación de hojas de procedimientos

Como parte del proceso de estandarización que se persigue, es necesario diseñar una herramienta que permita conocer al operario la forma correcta en la que deber realizar su trabajo. Por esta razón, se ha optado por la creación de una hoja de procedimientos, tal como se aprecia en la Tabla 10-3, misma que contiene los lineamientos tanto de mano de obra como de maquinaria, bajo los cuales se debe llevar a cabo el proceso de fabricación total del Hilo bananero 21x1.

Tabla 10-3: Hoja de procedimientos

	Nombre del documento:	Página: 01/01
	1. Procedimiento para la elaboración del cabo bananero.	

Objetivo: Elaborar un producto de calidad con un trabajo estandarizado

Descripción del procedimiento:

SECUENCIA DE ETAPAS	ACTIVIDAD	RESPONSABLE
1. Mezcla y formulación	1.1. Recibir del departamento administrativo la solicitud de trabajo en función a la cantidad de producto solicitado. 1.2. Poner en marcha y setear los parámetros de operación en el cañón de fundición, entre los cuales están: Temperatura: 350°C 1.3. Preparar la formulación con las siguientes características: Polipropileno 99,75% y Master Bach 0,25%. 1.4. Llevar la formulación a la mezcladora por x minutos.	Operarios
2. Fundición de la fórmula	2.1. Colocar la mezcla dentro de la tolva de alimentación hasta el límite máximo indicado. 2.2. Accionar el funcionamiento del tornillo sin fin del cañón.	
3. Formación de la lámina	3.1. Revisar que la lámina de plástico se obtenga de forma continua por el cabezal.	
4. Enfriamiento por agua	4.1. Revisar que el sistema de redistribución de agua funcione correctamente. 4.2. Halar la película de plástico a través de la tina de refrigeración.	
5. Halado por el 1er tren de estiraje	5.1. Pasar la película de plástico a través del primer grupo de rodillos.	
6. Corte y división de la película	6.1. Colocar la película por sobre las cuchillas de corte.	
7. Estiramiento a través de la cama de calentamiento	7.1. Colocar las tiras de polipropileno sobre la plancha de calentamiento. 7.2. Ordenar las tiras.	
8. Alado por el 2do tren de estiraje	8.1. Pasar las tiras plásticas a través del segundo grupo de rodillos.	Operarios
9. Enrollado continuo a través de bobinadoras	9.1. Pasar las tiras plásticas por dentro de los anillos separadores. 9.2. Ajustar las tiras en los diferentes ejes de las bobinadoras. 9.3. Verificar que el rollo empiece a bobinarse correctamente.	
10. Retorcido y bobinado automático	10.1. Pasar el hilo de la rafia por los anillos del soporte para la máquina SIMA. 10.2. Ajustar la rafia en el eje de la máquina SIMA. 10.3. Accionar la máquina, con los siguientes parámetros: 10.4. Verificar que el rollo de hilos bananero se bobine de forma homogénea.	

Realizado por: Barragán y Vásquez, 2022

3.4.6.7. *Carencia de líderes*

La empresa no cuenta con un jefe de producción que esté presente en las diferentes etapas procurando su buen desarrollo, esto depende enteramente de la predisposición y el criterio de los diferentes trabajadores. Esto provoca que no se realice el trabajo de una manera conjunta entre todos los involucrados, sino que se lo haga bajo un enfoque individual, en donde la calidad del trabajo realizado en cada etapa se vuelve variable lo cual desemboca en la pérdida de calidad del producto final.

La persona encargada de asumir el liderazgo deberá asumir diversas responsabilidades enfocadas a la medición del trabajo que supervisa, la disposición del personal, la identificación de problemas y el planteamiento de posibles soluciones ante los mismos. Ante esto, es indispensable asegurar un canal directo de comunicación entre el líder y la alta dirección a fin de asegurar que el trabajo realizado este enfocado hacia objetivos comunes.

En la ilustración 25-3 se puede apreciar cómo se están dictando las indicaciones para el correcto trabajo conjunto.



Ilustración 25-3: Capacitación al líder de producción.

Realizado por: Barragán y Vásquez, 2022

3.4.6.8. *Desmotivación del personal*

La manera en la que se realiza el trabajo actualmente por parte de los operarios es meramente empírica y subconsciente, ya que no se cuenta con un manual de operaciones que pueda servir

de guía para el trabajador y así tenga el conocimiento necesario para ejecutar sus actividades de una forma óptima. Esto sin duda desemboca en la generación de errores dentro del proceso productivo que, a su vez, implica realizar el reproceso del material empleado lo cual genera un desperdicio de tiempo y, por consecuencia, la disminución de la productividad del empleado.

Ante esto último, cabe recalcar que actualmente la alta gerencia aplica cierta política de alcance de objetivos, bajo la cual se fijan metas de producción a cada empleado mismas que deben ser cumplidas a final del mes, y que, en caso de no ser así, se procede a aplicar una sanción relacionada con la disminución del sueldo para los empleados.

Es importante también que el empleado se sienta parte del equipo de trabajo, como una pieza clave y fundamental para la detección de problemas en su entorno y cuyas ideas de mejora puedan ser tomadas en cuenta por sus superiores, que, a su vez, serán capaces de reconocerlos mediante incentivos, fomentando de esta forma la participación del trabajador para con el plan de mejora.

Para esto, se ha tomado la decisión de adquirir un pizarrón y colocarlo en el área de trabajo, en él los trabajadores podrán responder preguntas planteadas por la alta dirección con solicitudes tanto a corto, como mediano plazo. En las reuniones programadas para el fin de semana se podrá discutir sobre las soluciones planteadas y tratar de poder tomar una decisión favorable, así los trabajadores podrán sentirse apoyados por sus superiores.

3.4.6.9. Plan de capacitaciones

Como ya se dijo antes, el personal realiza su trabajo de manera empírica lo cual genera que las operaciones realizadas sean propensas a presentar errores. Para esto, la persona líder designada será la encargada de ejecutar procesos de control a fin de obtener un trabajo completo y correcto.

El objetivo principal del plan de capacitaciones es generar la información requerida por los trabajadores para comprender los métodos que se pueden emplear y así, poder ejecutar sus actividades con un gran nivel de calidad.

Sin embargo, también es necesario delimitar objetivos parciales que conlleven a alcanzar dicho objetivo primordial, entre los cuales se tienen:

- Incrementar el índice de productividad de los trabajadores involucrados.
- Redefinir las metas productivas propuestas a los empleados, tanto a corto y mediano plazo, a fin de reconocer sus destrezas.

- Evaluar e implementar aquellas mejoras planteadas por el personal enfocadas a la mejora de la calidad de producto final.
- Fortalecer la predisposición de los obreros a realizar un trabajo correcto y eficiente, bajo un impulso a la motivación personal.

Para llevar un control sobre los resultados obtenidos por el plan de capacitaciones, se realizará una reunión todos los jueves al inicio de la jornada con una duración no mayor a los 30 minutos. Se espera que los trabajadores interpreten el mensaje compartido por la dirección de una forma clara y simplificada, aportando también sus comentarios lo cual desembocará en la retroalimentación de ambas partes.

Las personas encargadas de dirigir estas capacitaciones serán los operarios con más experiencia en los diferentes puestos, el gerente general y la persona líder designada considerados como referencias principales para los demás empleados. Todos los empleados de la fábrica deberán estar presentes en dichas reuniones, de esta forma, se asegurará el trabajo conjunto de todas las áreas productivas, pues la calidad es la suma de pequeñas acciones individuales que cumplen objetivos colectivos.

Los temas que se espera tratar en las diferentes capacitaciones están relacionados con:

- El desglose y ejecución de los procesos, estudio de las actividades y los requisitos de operación necesarios.
- Las variables que se ven implicadas en los procesos: la formulación, las temperaturas de trabajo, las dimensiones de la rafia, los tiempos de operación, procedimientos para el retorcido y bobinado de los hilos.
- Principios de la calidad: formas de identificar y evaluar causas raíz, variabilidad, costos de la mala calidad, solución de problemas.
- Trabajo en equipo.
- Importancia y medición de la productividad y la eficiencia.
- Formas de mejorar los procesos.

Trabajar de esta forma con el recurso humano sin duda desembocará en un aumento de la calidad del producto final, lo que a su vez se traduce en un mayor índice de ventas y una fuerte competitividad de la organización en el mercado actual.

3.4.6.10. *Propuesta de implementación de un sistema de refrigeración (chiller)*

Para la adecuada selección del chiller del sistema en cuestión se deben realizar una serie de cálculos para determinar la capacidad de refrigeración (Q_f) necesaria en el sistema actual, esto en función del caudal de agua que se abastece a la tina de refrigeración, junto con sus características como densidad (ρ) y calor específico (C_p), además de la temperatura a la cual se

desea que esté el tanque (T₂) y la temperatura a la cual se calienta el tanque (T₁). El procedimiento se detalla a continuación.

Datos para los cálculos:

- Diámetro de la tubería: 1 ½ “
- Velocidad del flujo: 2 m/s, según (Vigué 1990, p. 8)
- Densidad del Agua a 18°C = 998,68 kg/m³, según el Anexo C
- CP del agua a 18°C = 4183 $\frac{J}{^{\circ}C * kg}$, según el Anexo D

Caudal volumétrico

$$\dot{v} = \text{Área} * \overline{V_{\text{flujo}}}$$

$$\dot{v} = 1,140 * 10^{-3} \text{ m}^2 * 2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\dot{v} = 2,280 * 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Flujo másico

$$\dot{m}_{\text{agua}} = \dot{v} * \rho$$

$$\dot{m}_{\text{agua}} = 2,280 * 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 998,68 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\dot{m}_{\text{agua}} = 2,277 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

Capacidad de refrigeración

$$Q_f = \dot{m}_{\text{agua}} * C_{p_{\text{agua}}} * (T_1 - T_2)$$

$$Q_f = \left(2,277 \frac{\text{kg}}{\text{s}} * \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} \right) * \left(4183 \frac{\text{J}}{^{\circ}\text{C} * \text{kg}} * \frac{1 \text{ kWh}}{3,6 * 10^6 \text{ J}} \right) * (35^{\circ}\text{C} - 30^{\circ}\text{C})$$

$$Q_f = 47,62 \text{ kW}$$

Tomando como punto de partida la capacidad de refrigeración necesaria de 47,62 kW, se plantea una proforma para la adquisición del Chiller AGGREKO, modelo WCC50 MK4, cuya ficha técnica se detalla en el Anexo B, el mismo que cuenta con una capacidad de refrigeración de 50 kW, satisfaciendo de esta forma con lo requerido por el sistema.

La temperatura de refrigeración a la cual se debería trabajar corresponde a 30°C, previamente determinada como influyente y significativa en el diseño experimental, además de la justificación aportada por el trabajo de titulación desarrollado en Lima, Perú, denominado

“NORMALIZACIÓN Y CONTROL DE LA CALIDAD EN LA INDUSTRIA DEL POLIPROPILENO” (Bontemps y Burlando 2012), en el cual mediante la búsqueda de la estandarización del proceso productivo de hilos a base de polipropileno, en conjunto con tres asociaciones productivas de la zona, se determina la importancia de trabajar con dicho parámetro técnico.

Costo de la proforma

A continuación, en la Tabla 11-3 se puede apreciar el costo total de la inversión necesaria para la compra e instalación del equipo propuesto. Además, se realizó la estimación del costo anual relacionado con el mantenimiento del chiller.

Tabla 11-3: Costo de la proforma.

INVERSIÓN INICIAL	
- Adquisición del Chiller AGGREKO WCC50 MK4	\$4915.00
- Instalación del equipo	\$300.00
<i>TOTAL</i>	\$5215.00
COSTOS DERIVADOS	
- Mantenimiento anual del equipo	\$500.00

Realizado por: Barragán y Vásconez, 2022

3.4.7. Controlar

Con la finalidad de que se pueda obtener una solución perdurable a través del tiempo se plantean métodos para llevar un registro constante de las actividades que se realizan y bajo los parámetros establecidos anteriormente, buscando mantener documentadas las mejoras.

3.4.7.1. Hoja de verificación

Una de las necesidades que se identificó en la empresa es una herramienta que ayude a los operarios a determinar si las condiciones son óptimas para su trabajo, así se puede apreciar en la Tabla 12-3 la hoja de verificación diseñada para la producción del hilo de bananero. De esta forma se espera determinar las principales necesidades que se tiene en la planta para la correcta realización de las actividades productivas, y promover a la oficina gerencial a apoyar de una manera directa para las necesidades de los trabajadores.

Tabla 12-3: Checklist

LISTA DE CHEQUEO:		
CONTROL DE CALIDAD DE PRODUCTOS FABRICADOS		
Ítem/s inspeccionado/s:	Fecha:	
Puntos chequeados: 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/>	Inspector:	
1. Componentes usados		
¿Existen los componentes necesarios?	<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> N/A	
¿La formulación usada es la correcta?	<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> N/A	
2. Actividades realizadas		
¿Se encuentra seteada la temperatura de operación del cañón de fundición en 350°C?	<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> N/A	
¿Al momento de la fundición, la mezcla excede el límite indicado?	<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> N/A	
¿Se ordenaron las tiras de polipropileno en la plancha de calentamiento?	<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> N/A	
3. Incidencias.		
¿Producto final conforme?	<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> N/A	
¿Existe alguna incidencia relacionada?	<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> N/A	
4. Revisiones periódicas		
¿La lámina de plástico se obtiene de forma continua por el cabezal?	<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> N/A	
¿El sistema de redistribución de agua funciona correctamente?	<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> N/A	
¿La película circula de forma correcta por los trenes de estiraje?	<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> N/A	
¿El rollo se bobina correctamente?	<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> N/A	
¿El rollo de hilos bananero se bobina de forma homogéna?	<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> N/A	
5. Tiempos de producción		
¿Existieron retrasos en la fabricación?	<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> N/A	
¿Hubieron máquinas que no estuvieron disponibles?	<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> N/A	

Realizado por: Barragán y Vásquez, 2022

3.4.7.2. Estudio del proceso mejorado

Una vez determinados cuales son los factores influyentes dentro de la resistencia última a la tensión, se propone trabajar con la temperatura del horno en su nivel alto (350°C), factor que previamente fue determinado significativo dentro del análisis ANOVA, véase ilustración 29-3, con el nivel bajo del refrigerante (35°C) que según el diseño experimental, aunque este factor no implique una mejora significativa en su nivel bajo, la interacción de ambos factores si representará un aumento en esta variable.

Dado que por el momento la empresa solamente puede manipular la temperatura del horno y no la del refrigerante, a gran escala, debido a que no cuenta con el presupuesto necesario para la

implementación de este sistema los datos trabajando en estas condiciones se pueden apreciar en la Tabla 13-3.

Tabla 13-3: Registro nuevo de mediciones de resistencia última a la tensión del hilo bananero posterior a la mejora implementada

Corrida	Lote	Resistencia última a la tensión (N)
1	1	621,21
2	1	622,77
3	1	622,60
4	2	621,77
5	2	625,53
6	2	622,71
7	3	623,53
8	3	619,97
9	3	622,21
10	4	620,92
11	4	627,81
12	4	625,53
13	5	627,17
14	5	623,48
15	5	625,14

Realizado por: Barragán y Vásquez, 2022

3.4.7.3. Prueba de normalidad de datos

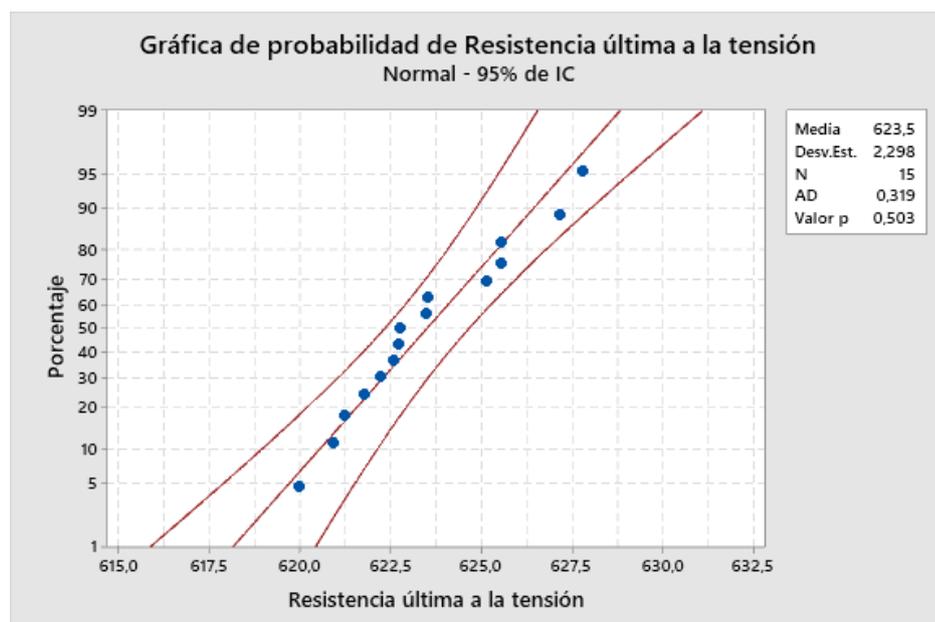


Ilustración 26-3: de normalidad del proceso mejorado.

Realizado por: Barragán y Vásquez, 2022

La Ilustración 26-3 demuestra que los datos obtenidos se ajustan a un modelo de distribución normal ya que presenta un valor P mayor a 0,05, considerando además que se trabaja a un 95% de nivel de confianza.

3.4.7.4. Cartas de control

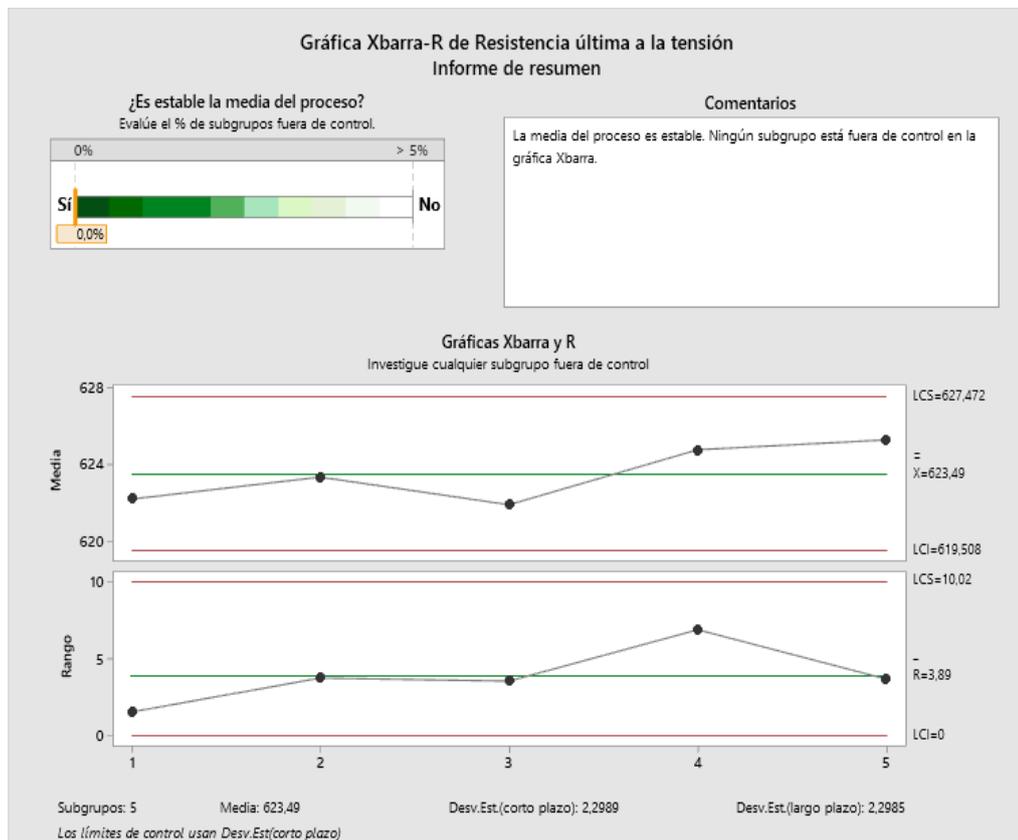


Ilustración 27-3: Comportamiento del proceso mejorado.

Realizado por: Barragán y Vásquez, 2022

En la Ilustración 27-3, lo que respecta a la gráfica de control para las diferentes medias de los lotes, una vez aplicadas las mejoras, se puede observar que estos puntos tienen un comportamiento que se encuentra controlado, es decir están comprendidos entre el límite de control superior con un valor de 627,47 N y el inferior, con un valor de 619,51 N. Se puede observar también que la media global de resistencia a la rotura de los hilos ahora tiene un valor de 623,49 N, se encuentra por encima del estándar central establecido por la empresa.

3.4.7.5. Estabilidad del proceso mejorado

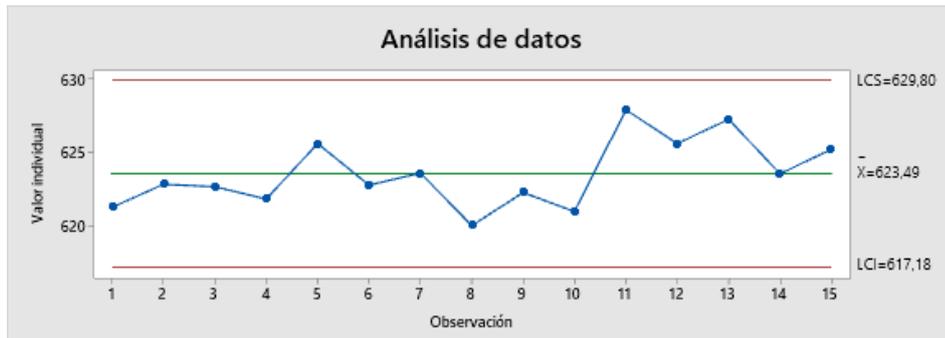


Ilustración 28-3: Estabilidad del proceso mejorado.

Realizado por: Barragán y Vásquez, 2022

Según la Ilustración 28-3, todos los datos obtenidos bajo el proceso mejorado se encuentran bajo control, ya que se encuentran dentro de los límites de especificación en su totalidad, además de no observarse ningún tipo de patrón o tendencia en su comportamiento.

3.4.7.6. Capacidad del proceso mejorado

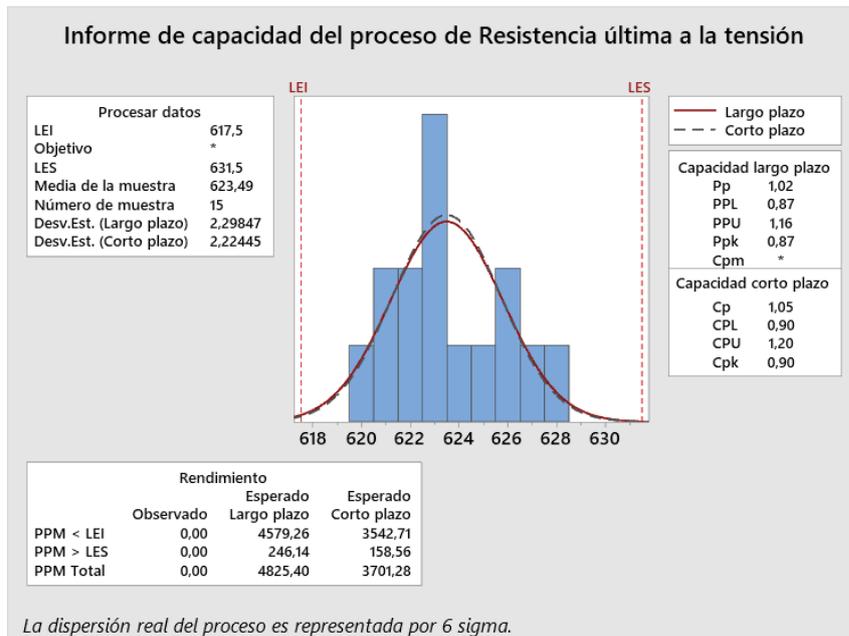


Ilustración 29-3: Capacidad del proceso mejorado.

Realizado por: Barragán y Vásquez, 2022

Referente al estudio de centralidad del proceso, se puede observar que los datos tienden un poco hacia la izquierda del valor central, denotándose un pequeño sesgo como se muestra en la Ilustración 29-3.

En cuanto a la capacidad del proceso mejorado, se tiene un Cp de 1,05; categorizando al proceso en una clase 2, denotándolo como adecuado bajo un control estricto. De igual forma, el indicador Pp a largo plazo, con un valor de 1,02 indica que el proceso se mantendrá capaz bajo el control de los supervisores.

En cuanto a la capacidad real Cpk, se obtuvo un valor de 0,90 el cual se puede considerar próximo al índice Cp denotando que la media del proceso está cerca del punto medio de las especificaciones, es decir 635,5 N. Además, al tener un Cpk cercano a 1, se puede establecer que el proceso mejorado cuenta con una capacidad aceptable en cuanto a cumplir con las especificaciones establecidas.

En materia de unidades defectuosas, se tiene 4826 defectuosos a largo plazo, lo cual denota un nivel 4 sigma y un rendimiento del 99,52% del proceso mejorado; mientras que a corto plazo se tienen 3702 unidades defectuosas por cada millón de unidades producidas aproximadamente.

CAPÍTULO IV

4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Para el nuevo análisis de datos, estos se recolectaron pasadas dos semanas de la implementación de las mejoras previamente mencionadas. La finalidad de la nueva toma de información ayudará a determinar el efecto que tuvo la aplicación de dichas mejoras en el comportamiento, estabilidad y capacidad del proceso productivo.

4.1. Comparación cartas de control (media y desviación estándar)

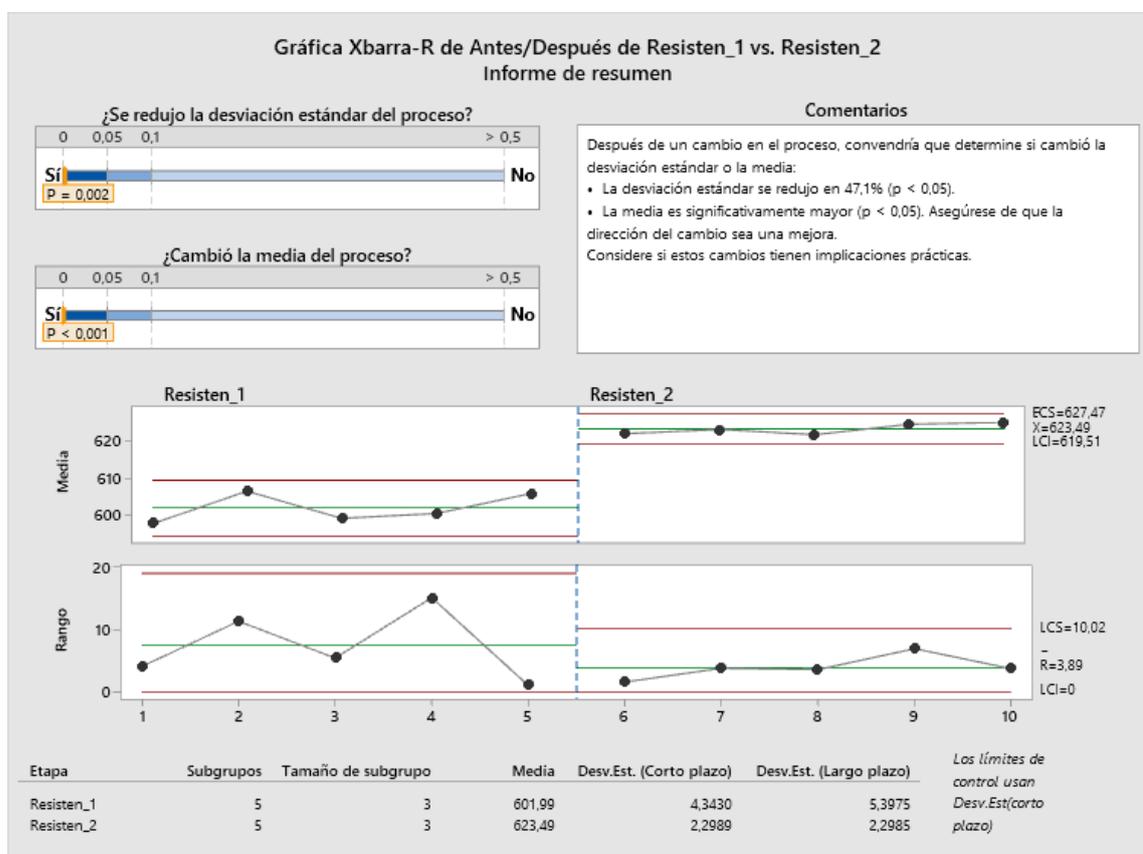


Ilustración 1-4: Comparación del comportamiento del proceso antes y después.

Realizado por: Barragán y Vásquez, 2022.

Como se puede observar en el informe de estabilidad de las cartas de control, según la Ilustración 1-4, la media del proceso actualmente, con las condiciones de trabajo previamente detalladas, ha aumentado en un 4%, demostrando así la mejora, así como sus límites de control también son superiores a los de antes. Se puede observar además que el proceso se encuentra controlado en ambas etapas.

En lo que respecta a la desviación estándar en el nuevo proceso, esta presenta una disminución de aproximadamente el 47%, lo que produce que cada lote producido de hilo bananero presente menos variación de resistencia a la tensión.

4.2. Comparación de la estabilidad del proceso

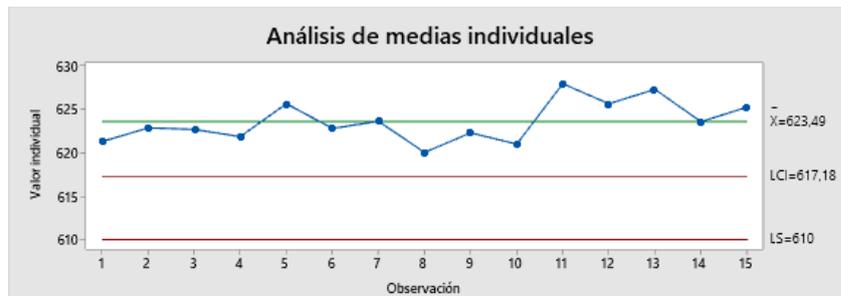


Ilustración 2-4: Estabilidad del proceso mejorado.

Realizado por: Barragán y Vásquez, 2022

En la Ilustración 2-4 se encuentran los resultados obtenidos del proceso mejorado en comparación con la situación inicial, donde se puede observar como la media de las observaciones se encuentra por encima del límite superior del proceso actual. Esto denota una evidente mejora de la resistencia a la rotura del hilo bananero, demostrando la efectividad de las diferentes modificaciones implementadas en el presente trabajo.

4.3. Comparación de normalidad de datos

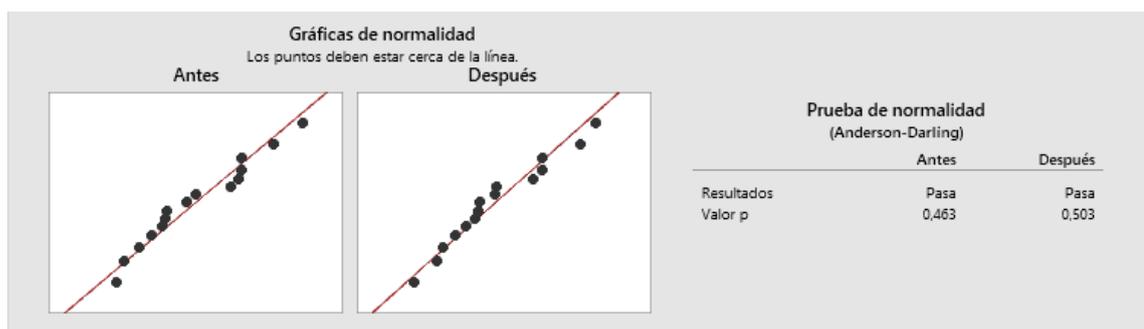


Ilustración 3-4: Comparación de la distribución de normalidad, antes y después de la mejora.

Realizado por: Barragán y Vásquez, 2022

Como se puede observar en la Ilustración 3-4, a partir de la estandarización del proceso mediante las hojas de procedimientos y las hojas de verificación se puede obtener un proceso con una tendencia que se ajusta de mejor manera a la distribución normal.

4.4. Comparación de la capacidad del proceso

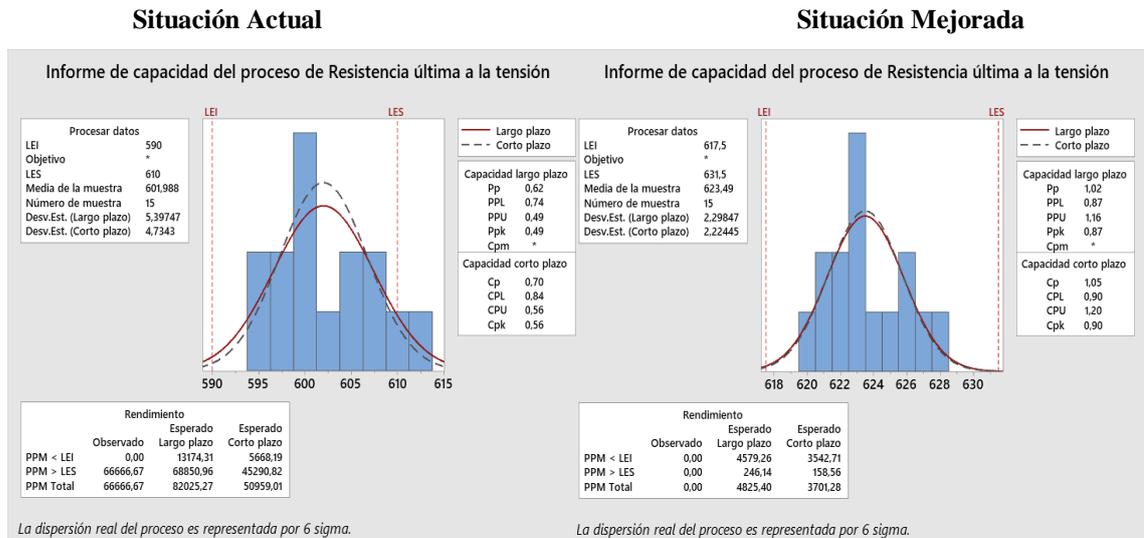


Ilustración 4-4: Comparación de la capacidad del proceso.

Realizado por: Barragán y Vásconez, 2022

En la Ilustración 4-4 se puede apreciar el cambio significativo que existe en la capacidad del proceso a largo plazo, aumentando de 0,62 (proceso no adecuado para el trabajo) a 1,02 (proceso parcialmente adecuado), además de que en términos de partes por millón se percibe el declive de 82026 a 4826 unidades defectuosas, pasando de un nivel sigma de 2,5 que indicaba la necesidad de mejora, a un nivel 4 que indica calidad convencional, representando a su vez el aumento del 84,14% al 99,4% del rendimiento en la situación mejorada.

CONCLUSIONES

Mediante la aplicación de un diagrama de Pareto, en torno a la poca aceptación del hilo bananero en el mercado debido a que presenta una calidad inferior a la competencia, condición por la que estaba pasando dicho producto en la empresa, se definieron las características fundamentales para la aprobación de sus consumidores, que cabe mencionar no se tomaban en cuenta, se logró determinar la necesidad de toma de acciones de mejora en lo que concierne a la resistencia última a la tensión, siendo esta la característica crítica de calidad (CTQ), previamente definida y que puede ser manipulada dentro de las líneas de retorcido y bobinado del proceso productivo de hilos plásticos de la empresa HIPLAS.

A través del análisis de varianza (ANOVA) y con el apoyo del software estadístico Minitab 19 se evaluaron las variables que influyen de manera significativa en el proceso productivo. Por medio del planteamiento de hipótesis y la creación de un diseño experimental 2^2 en base al análisis modal de fallas y efectos (AMFE) con el cual se pudo determinar en una primera instancia cuales son los factores que estarían más relacionados con la resistencia última a la tensión, en este caso la temperatura del horno o cañón y la temperatura del refrigerante que fueron aquellos que tenían una mayor ponderación dentro de este análisis, posteriormente, se determinarían como significativos, bajo el criterio del estadístico crítico y tabulado de Fisher, en el proceso productivo teniendo incidencia en el desarrollo del producto final en materia de la CTQ.

Una vez demostrada la influencia de la temperatura de refrigeración en la resistencia a la rotura del hilo, y como respuesta a la falta de un sistema de control para este factor en la planta, se diseñó la propuesta de implementación de un Chiller marca AGGREKO modelo WCC50 MK4, mediante el cual se podrá fijar la temperatura del agua utilizada en la refrigeración en 30°C que, al trabajar simultáneamente con una temperatura de fundición de 350°C, se podrá obtener el mayor índice de resistencia a la rotura en el producto final.

A fin de alcanzar la estandarización del proceso productivo del hilo bananero, se implementaron mejoras dirigidas principalmente al personal encargado de la línea de extrusión y bobinado del producto:

- La creación y aplicación de la hoja de procedimientos como una guía para los trabajadores, y de esta forma, encaminarlos hacia la correcta realización de sus actividades.
- La ejecución de un plan de capacitaciones realizado junto al departamento gerencial y dirigido hacia los obreros, mediante el cual se desarrollaron estrategias conjuntas a fin de

preparar de mejor manera al personal y de esta forma, lograr reducir la variabilidad generada producto de su trabajo.

Para la evaluación del proceso productivo mejorado se realizó la medición de diferentes indicadores en base a la resistencia de los hilos, obteniéndose lo siguiente:

Con respecto a la obtención de unidades defectuosas por millón de unidades producidas a largo plazo, se logró reducir el índice DPMO del 8,5% al 0,5% aproximadamente, pasando de un nivel 3 sigma a un nivel 4 sigma en el proceso.

En cuanto a la capacidad a largo plazo, se obtuvo un incremento de los índices Pp y Ppk de 0,62 a 1,02; y de 0,49 a 0,87 respectivamente. Esto categoriza al proceso en una clase 2 lo cual indica que este es adecuado en cuanto al cumplimiento de las especificaciones para la resistencia del hilo bananero, no obstante, se debe tener un control estricto bajo supervisión sobre el mismo.

Se establecieron medidas de control adecuadas para realizar el seguimiento a largo plazo de las mejoras implementadas, así se diseñó una hoja de verificación o checklist mediante la cual los operadores encargados de las líneas de retorcido y bobinado verifican, tanto la disponibilidad de máquinas y herramientas como su correcto funcionamiento, así como la correcta ejecución de las actividades productivas requeridas. Con esto se pretende mantener el proceso bajo control y de una forma estable, tal como se presentó en el nuevo escenario mejorado.

RECOMENDACIONES

Se recomienda el estricto trabajo en conjunto del personal encargado de desarrollar la metodología DMAIC, con la gerencia, para así poder obtener resultados más acertados y en menor tiempo.

Implementar el sistema de control propuesto para la temperatura de refrigeración, mediante la adquisición e instalación del chiller AGGREKO WCC50 MK4, el cual a pesar de su elevado costo repercute en una mayor resistencia en el producto final. El costo de la inversión inicial será recuperado mediante el aumento del índice de ventas del producto en el mercado, incrementando a su vez, la competitividad de la empresa HIPLAS.

BIBLIOGRAFÍA

BONTEMPS, W. & BURLANDO, B., *Normalización y control de la caldidad en la Industria de Polipropileno*. Lima, Perú: s.n.

CFN, *Ficha sectorial - Fabricación de Productos de Plástico*. [en línea]. S.l.: [Consulta: 16 mayo 2022]. Disponible en: <https://www.cfn.fin.ec/wp-content/uploads/downloads/biblioteca/2021/fichas-sectoriales-3-trimestre/Ficha-Sectorial-Fabricacion-de-Productos-de-Plastico.pdf>.

CONTERÓN, J., *Mejora de procesos basada en la metodología DMAIC para la empresa Gisell ubicada en la ciudad de Otavalo* [en línea]. Ibarra, Ecuador: Universidad Técnica del Norte. [Consulta: 28 mayo 2022]. Disponible en: <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/11569/8/04%20IND%20314%20TRABAJO%20GRADO.pdf>.

DUEÑAS, R., *Guía de Negocios - Plastiempaqués S.A. Ekos* [en línea]. [Consulta: 8 junio 2022]. Disponible en: <https://www.ekosnegocios.com/empresa/plastiempaqués-sa>.

FLOREZ, N., FLOREZ, A. & COGOLLO, J., *Notas de control estadístico de la calidad* [en línea]. Primera. Medellín, Colombia: s.n. [Consulta: 15 agosto 2022]. ISBN 9789591643032. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/epoch/120109>.

GUTIÉRREZ, H., *Calidad total y productividad* [en línea]. Tercera. Ciudad de México, México: Mc Graw-Hill. [Consulta: 11 mayo 2022]. ISBN 9786071503152. Disponible en: <https://clea.edu.mx/biblioteca/files/original/56cf64337c2fcc05d6a9120694e36d82.pdf>.

HERRERA, R. & FONTALVO, T., *Seis Sigma: Métodos Estadísticos y Sus Aplicaciones* [en línea]. Tercera. Baranquilla, Colombia: Corporación para la gestión del conocimiento ASD 2000. [Consulta: 10 mayo 2022]. ISBN 9781449279295. Disponible en: http://biblioteca.utec.edu.sv/siab/virtual/elibros_internet/55821.pdf.

HUMBERTO, G. & ROMÁN, de la V., *Control estadístico de la calidad y Seis Sigma* [en línea]. Tercera. Ciudad de México, México: McGraw-Hill. [Consulta: 11 mayo 2022]. ISBN 978-607-15-0929-1. Disponible en: https://www.academia.edu/16455512/Control_Estadístico_de_la_Calidad_y_Seis_Sigma_3ed.

INEC, *Visualizador de estadísticas empresariales*. Visualizador de estadísticas empresariales. S.l.:

NIEBEL, B. & FREIVALDS, A., *Ingeniería Industrial Métodos Estándares y Diseño del Trabajo* [en línea]. Duodécima. Ciudad de México, México: McGraw-Hill. [Consulta: 11 mayo 2022]. ISBN 978-970-10-6962-2. Disponible en: <https://edupointvirtual.com/wp-content/uploads/2020/03/Ingeniería-Industrial-Niebel.pdf>.

PALACIOS, L., *Ingeniería de métodos, movimientos y tiempos* [en línea]. Segunda. Bogotá, Colombia: Ecoe Ediciones. [Consulta: 11 mayo 2022]. ISBN 978-958-771-343-5. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/epoch/114350>.

POZO, E., *Implementación de la metodología DMAIC para la mejora de capacidad de producción en la elaboración de prototipos de madera plástica* [en línea]. Ibarra, Ecuador: Universidad Técnica del Norte. [Consulta: 28 mayo 2022]. Disponible en: <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/9401/2/04%20IND%20177%20TRABAJO%20GRADO.pdf>.

QUILLUPANGUI, P., *Mejora del proceso de elaboración de alimentos para broilers mediante la implementación del proceso de negocio Seis sigma-DMAIC, en una planta de producción de alimentos balanceados* [en línea]. Quito, Ecuador: s.n. [Consulta: 13 septiembre 2022]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/20553/1/CD%2010047.pdf>.

SOCCONINI, L. & ESCOBEDO, E., *Lean six sigma green belt: paso a paso* [en línea]. Primera. Barcelona: Marge Books. ISBN 978-84-18532-45-0. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/epoch/172966?page=1>.

VIGUÉ, J., *Biblioteca Atrium de las Instalaciones: Agua* [en línea]. Primera. S.l.: Océano. [Consulta: 11 septiembre 2022]. ISBN 9788477411260. Disponible en: <https://cidta.usal.es/cursos/etap/modulos/libros/hidraulica.pdf>.

VILLAFUERTE, J., *Mejora del proceso productivo lácteo mediante la aplicación de DMAIC* [en línea]. Quito, Ecuador: s.n. [Consulta: 13 septiembre 2022]. Disponible en: <https://dspace.udla.edu.ec/bitstream/33000/10874/1/UDLA-EC-TIPI-2019-20.pdf>.

ANEXOS

ANEXO A: PLAN DE CAPACITACIONES

Descripción del hito	Lugar	Responsable	Progreso	Fecha de inicio	Duración (días)	Recursos
Planificar programa de sugerencias e incentivos a obreros.	Oficina gerencial	Gerencia		13/6/2022	7 días	- Papel - Botes metálicos
CAPACITACIÓN 1						
Procesos implicados, su composición e importancia.	Oficina gerencial	David Vásquez Joel Barragán		14/6/2022	1	- Presentación - Portátil - Proyector
Reconocimiento de procesos dentro de la planta.	En el área de trabajo	Joel Barragán Ing. Carlos Quisnia				- Flujograma del proceso para el hilo bananero
CAPACITACIÓN 2						
Incidencia y control de las variables involucradas en los procesos.	En el área de trabajo	David Vásquez Joel Barragán		16/6/2022	1	- Presentación - Portátil - Proyector
Presentación de hoja de procedimientos y checklist.	En el área de trabajo	David Vásquez Ing. Carlos Quisnia				- Hoja de procedimientos - Checklist
CAPACITACIÓN 3						
Importancia de la temperatura en la fabricación del hilo.	Oficina gerencial	David Vásquez Joel Barragán		21/6/2022	1	- Presentación - Portátil - Proyector
Supervisión del sistema de control de temperatura en el horno.	En el área de trabajo	Ing. Carlos Quisnia Alex Tierra		23/6/2022	1	Ninguno
Supervisión del sistema de control de temperatura en la refrigeración por agua.	En el área de trabajo	Ing. Carlos Quisnia Alex Tierra				Ninguno
CAPACITACIÓN 4						
Consolidación del proceso de estandarización.	Oficina gerencial	David Vásquez Joel Barragán		27/6/2022	21	- Presentación - Portátil - Proyector
Recolección de datos de la temperatura del horno.	En el área de trabajo	Fernando Chuquín				- Hoja de recolección de datos
Recolección de datos de la temperatura de refrigeración.	En el área de trabajo	Fernando Chuquín				- Hoja de recolección de datos
Aplicación de hoja de procedimientos y checklist.	En el área de trabajo	Alex Tierra Fernando Chuquín				- Hoja de procedimientos - Checklist

ANEXO B: FICHA TÉCNICA CHILLER AGGREKO WCC50 MK4



10 YEARS
2011 - 2021

Way2cool

info@vrt-int.com
[+31 \(0\)30 7909712](tel:+3161307909712)

AGGREKO WCC50 MK4

Brand:

AGGREKO

Type:

WCC50 MK4

Stock number:

M20-4460

Cooling capacity:

50.0 kW

Application:

Cooling

Number of fans:

2

Refrigerant:

R407C

Refrigerant Content:

14 kg

Voltage:

400 Volts

Dimensions:

2400 x 1260 x 1800 mm

Weight:

1,250 kg

Year:

2002

Number in stock:

1 piece(s)

Price:

€ 4.750,-

Description:

Air-cooled Aggreko water chiller with 2 scroll compressors. Mentioned capacity at a water temperature of +12/7°C and an ambient temperature of +35°C.



ANEXO C: DENSIDAD DEL AGUA ENTRE 0 °C Y 100 °C

Densidad del agua líquida entre 0 °C y 100 °C

www.vaxasoftware.com

Software destacado

Generadores de Colecciones de Ejercicios y Problemas	www.vaxasoftware.com/gp/index.html
WinVal - Valoraciones ácido-base	www.vaxasoftware.com/soft_edu/winval.html
HEstadis - Herramientas de Estadística y Probabilidad	www.vaxasoftware.com/soft_edu/hestadis.html
EABW - Equilibrios ácido-base para Windows	www.vaxasoftware.com/soft_edu/eabw.html
SDES - Simulador de destilaciones para Windows	www.vaxasoftware.com/soft_edu/sdes.html
FunGraf - Gráficas de funciones matemáticas	www.vaxasoftware.com/soft_edu/fungraf.html

Presión externa: 1 atm = 101 325 Pa

Temperatura °C	Densidad kg / m ³	Temperatura °C	Densidad kg / m ³	Temperatura °C	Densidad kg / m ³
0 (hielo)	917,00	33	994,76	67	979,34
0	999,82	34	994,43	68	978,78
1	999,89	35	994,08	69	978,21
2	999,94	36	993,73	70	977,63
3	999,98	37	993,37	71	977,05
4	1000,00	38	993,00	72	976,47
5	1000,00	39	992,63	73	975,88
6	999,99	40	992,25	74	975,28
7	999,96	41	991,86	75	974,68
8	999,91	42	991,46	76	974,08
9	999,85	43	991,05	77	973,46
10	999,77	44	990,64	78	972,85
11	999,68	45	990,22	79	972,23
12	999,58	46	989,80	80	971,60
13	999,46	47	989,36	81	970,97
14	999,33	48	988,92	82	970,33
15	999,19	49	988,47	83	969,69
16	999,03	50	988,02	84	969,04
17	998,86	51	987,56	85	968,39
18	998,68	52	987,09	86	967,73
19	998,49	53	986,62	87	967,07
20	998,29	54	986,14	88	966,41
21	998,08	55	985,65	89	965,74
22	997,86	56	985,16	90	965,06
23	997,62	57	984,66	91	964,38
24	997,38	58	984,16	92	963,70
25	997,13	59	983,64	93	963,01
26	996,86	60	983,13	94	962,31
27	996,59	61	982,60	95	961,62
28	996,31	62	982,07	96	960,91
29	996,02	63	981,54	97	960,20
30	995,71	64	981,00	98	959,49
31	995,41	65	980,45	99	958,78
32	995,09	66	979,90	100	958,05

ANEXO D: CALOR ESPECÍFICO DEL AGUA ENTRE 0 °C Y 100 °C

Calor específico del agua entre 0 °C y 100 °C

www.vaxasoftware.com

Temp. °C	Calor específico		Temp. °C	Calor específico		Temp. °C	Calor específico	
	$\frac{\text{kJ}}{\text{K} \cdot \text{kg}}$	$\frac{\text{kcal}}{\text{K} \cdot \text{kg}}$		$\frac{\text{kJ}}{\text{K} \cdot \text{kg}}$	$\frac{\text{kcal}}{\text{K} \cdot \text{kg}}$		$\frac{\text{kJ}}{\text{K} \cdot \text{kg}}$	$\frac{\text{kcal}}{\text{K} \cdot \text{kg}}$
0 (hielo)	1,960	0,468	34	4,178	0,999	68	4,189	1,001
0	4,217	1,008	35	4,178	0,999	69	4,189	1,001
1	4,213	1,007	36	4,178	0,999	70	4,190	1,001
2	4,210	1,006	37	4,178	0,999	71	4,190	1,001
3	4,207	1,005	38	4,178	0,999	72	4,191	1,002
4	4,205	1,005	39	4,179	0,999	73	4,192	1,002
5	4,202	1,004	40	4,179	0,999	74	4,192	1,002
6	4,200	1,004	41	4,179	0,999	75	4,193	1,002
7	4,198	1,003	42	4,179	0,999	76	4,194	1,002
8	4,196	1,003	43	4,179	0,999	77	4,194	1,002
9	4,194	1,002	44	4,179	0,999	78	4,195	1,003
10	4,192	1,002	45	4,180	0,999	79	4,196	1,003
11	4,191	1,002	46	4,180	0,999	80	4,196	1,003
12	4,189	1,001	47	4,180	0,999	81	4,197	1,003
13	4,188	1,001	48	4,180	0,999	82	4,198	1,003
14	4,187	1,001	49	4,181	0,999	83	4,199	1,004
15	4,186	1,000	50	4,181	0,999	84	4,200	1,004
16	4,185	1,000	51	4,181	0,999	85	4,200	1,004
17	4,184	1,000	52	4,182	1,000	86	4,201	1,004
18	4,183	1,000	53	4,182	1,000	87	4,202	1,004
19	4,182	1,000	54	4,182	1,000	88	4,203	1,005
20	4,182	1,000	55	4,183	1,000	89	4,204	1,005
21	4,181	0,999	56	4,183	1,000	90	4,205	1,005
22	4,181	0,999	57	4,183	1,000	91	4,206	1,005
23	4,180	0,999	58	4,184	1,000	92	4,207	1,005
24	4,180	0,999	59	4,184	1,000	93	4,208	1,006
25	4,180	0,999	60	4,185	1,000	94	4,209	1,006
26	4,179	0,999	61	4,185	1,000	95	4,210	1,006
27	4,179	0,999	62	4,186	1,000	96	4,211	1,006
28	4,179	0,999	63	4,186	1,000	97	4,212	1,007
29	4,179	0,999	64	4,187	1,001	98	4,213	1,007
30	4,178	0,999	65	4,187	1,001	99	4,214	1,007
31	4,178	0,999	66	4,188	1,001	100	4,216	1,008
32	4,178	0,999	67	4,188	1,001	100 (gas)	2,080	0,497
33	4,178	0,999						