

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA

Departamento de Ingeniería Industrial



Trabajo de Graduación

Propuesta de un plan de mejora enfocado en reducir la variabilidad y la elaboración de productos defectuosos en el proceso de extrusión de una planta de empaques industriales en Guatemala, a través del desarrollo de la metodología Six Sigma y el enfoque DMAIC.

Trabajo de graduación presentado por Joshua Jonathan Franco Ponce para optar por el grado académico de Licenciado en Ingeniería Industrial

Guatemala

2023

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA

Departamento de Ingeniería Industrial



Trabajo de Graduación

Propuesta de un plan de mejora enfocado en reducir la variabilidad y la elaboración de productos defectuosos en el proceso de extrusión de una planta de empaques industriales en Guatemala, a través del desarrollo de la metodología Six Sigma y el enfoque DMAIC.

Trabajo de graduación presentado por Joshua Jonathan Franco Ponce para optar por el grado académico de Licenciado en Ingeniería Industrial

Guatemala

2023

Vo.Bo.



MBA Ing. Luz Ester Coyoy Orozco

Tribunal examinador:



MBA Ing. Luz Ester Coyoy Orozco



Ing. Mardoqueo Velásquez Gómez



José Antonio Medrano García

Fecha de aprobación de examen de graduación: Guatemala 14 de agosto de 2024.

PREFACIO

Primeramente, quiero agradecer a Dios por permitirme culminar una meta más en mi vida y por haberme guiado y acompañado a lo largo de toda mi carrera y durante el desarrollo de este trabajo. Él me dio fortaleza y valentía en los momentos difíciles y me ayudó a persistir y perseverar a lo largo de todo el camino. Todo se lo debo a Él y le dedico especialmente este trabajo de graduación.

Con el deseo de poder ser su mayor orgullo, también dedico este trabajo a mis padres Danilo Franco y Marleny Ponce, a quienes agradezco por haber sido el mayor apoyo durante mi vida universitaria. Siempre estuvieron ahí para mí, apoyándome incansablemente en lo moral y lo económico en todo momento, contribuyendo a mi educación y formación como persona y cultivando en mí valores y principios que me permitieron convertirme en el profesional que soy actualmente.

Mis padres fueron un pilar fundamental para que pudiera desarrollar este trabajo y culminar mi carrera universitaria, ya que ellos sentaron en mí, las bases del compromiso, la responsabilidad y la perseverancia. Por eso les agradezco enormemente al haber estado siempre presentes para mí, brindándome su apoyo y sus recursos de manera incondicional.

De manera especial, también quiero agradecer a mi novia Abigail Molina por ser mi principal apoyo moral y por siempre darme su amor y su apoyo de forma incondicional. Ella me dio la motivación y la confianza que necesitaba para completar este trabajo, además, me ayudó a creer en mí, brindando palabras de apoyo que me dieron fuerzas cuando más lo necesitaba para seguir adelante.

De igual manera, quiero agradecer a mis familiares y amigos por ser una parte fundamental en mi desarrollo como persona y por compartir conmigo momentos memorables que guardaré en mi memoria por el resto de mi vida.

Agradezco particularmente a mi casa de estudios, la Universidad del Valle de Guatemala, y a todos mis catedráticos por ser el principal pilar que permitió mi formación profesional durante mi etapa universitaria.

A mi asesora, la Licda. Luz Coyoy, que me apoyó y me guio durante todo el proceso del presente trabajo. Agradezco su enorme esfuerzo y dedicación al orientarme y asesorarme durante mi trabajo de investigación. Así mismo, agradezco el apoyo de la Inga. Ingrid de León, cuyos consejos y recomendaciones fueron de vital relevancia para que el trabajo realizado pudiera tomar la dirección adecuada. Sin el apoyo de estas personas no habría sido posible culminar este trabajo.

Finalmente, agradezco el apoyo de todo el equipo de la empresa, especialmente al Ing. Vinicio Toledo, cuyos aportes me permitieron dar las pautas y la dirección apropiada al proyecto durante las fases fundamentales del mismo.

ÍNDICE

Prefacio.....	VI
Lista de tablas.....	X
Lista de figuras.....	XIV
RESUMEN	XV
1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	3
2.1 Objetivo general.....	3
2.2 Objetivos específicos	3
3. JUSTIFICACIÓN	4
4. MARCO TEÓRICO.....	6
4.1 Metodología Six Sigma.....	6
4.1.1 Cálculo del nivel Sigma y ajustes en el desplazamiento.....	7
4.1.2 Definición de conceptos relacionados a Six Sigma	8
4.2 Oportunidad de error.....	10
4.3 Metodología DMAIC.....	10
4.4 Metodologías alternativas para la implementación de Six Sigma	12
4.4.1 Metodología DMADV (Definir, Medir, Analizar, Diseñar, Verificar) .	12
4.4.2 Metodología IDOV (Diseñar, Optimizar, Validar).....	12
4.4.3 Metodología DFSS (Design For Six Sigma)	13
4.4.4 Metodología Lean Six Sigma.....	13
4.4.5 Selección de la metodología DMAIC	13
4.4.6 Control de calidad	14
4.5 Gráficos de control.....	14
4.5.1 Definición de gráfico de control	14
4.5.2 Límites de control	14
4.5.3 Desarrollo de un gráfico de control	14
4.5.4 Importancia de los gráficos de control.....	15
4.6 Campana de Gauss	15
4.6.1 Medidas de tendencia central.....	16
4.7 Análisis de la capacidad del proceso mediante sistemas de control	17
4.8 Denier.....	17

4.9	Carga	18
4.10	Elongación	18
4.11	Tenacidad.....	18
4.12	Variabilidad.....	18
4.13	ANOVA de un factor	19
4.13.1	Conceptos relacionados al análisis ANOVA de un factor:	19
4.14	Metodología SMED	20
5.	PRIMERA FASE: ESTADO ACTUAL DEL PROCESO	21
5.1	Metodología	21
5.2	Resultados	25
5.2.1	Descripción del proceso de extrusión	25
5.2.2	Sistema de muestreo y análisis de calidad	28
5.2.3	Análisis para determinar el estado actual de la empresa.....	28
5.2.4	Información recabada a partir de entrevistas	35
5.3	Análisis y discusión de resultados	36
6.	SEGUNDA FASE: ANÁLISIS DE VARIABILIDAD.....	42
6.1	Metodología	42
6.2	Resultados	45
6.2.1	Gráficos de control.....	45
6.2.2	Sistemas de control especializados	70
6.2.3	Información recabada a partir de entrevistas	110
6.3	Análisis y discusión de resultados	111
7.	TERCERA FASE: CAUSAS RAÍZ	118
7.1	Metodología	118
7.2	Resultados	119
7.2.1	Análisis de varianza y comparación de factores por incumplimientos	119
7.2.2	Información recabada a partir de entrevistas	135
7.3	Análisis y discusión de resultados	136
8.	CUARTA FASE: PLAN DE MEJORA	139

8.1	Metodología	139
8.2	Resultados	140
8.2.1	Plan de mejora.....	140
8.3	Análisis y discusión de resultados	142
9.	CONCLUSIONES	150
10.	RECOMENDACIONES.....	151
11.	BIBLIOGRAFÍA	152
12.	ANEXOS	155
12.1	Procedimiento paso a paso para determinar el nivel Sigma y la proporción Yield de cada mes (en Excel).....	155
12.2	Procedimiento para calcular el índice Cpk	160
12.3	Procedimiento para la elaboración de gráficos de control	162
12.4	Procedimiento para desarrollar los sistemas de control de cumplimiento.....	169
12.5	Procedimiento para llevar a cabo el análisis ANOVA.....	173
12.6	Procedimiento detallado para llevar a cabo el análisis de comparación de factores por incumplimiento	176
12.7	Información complementaria: Nivel Sigma y Relación Yield.....	178
12.8	Información complementaria para el análisis del índice Cpk.....	182
12.9	Información complementaria para el análisis de gráficos de control.....	197
12.10	Información complementaria para el análisis de los sistemas de control especializados	208
12.11	ANOVA de un factor	219
12.12	Más información relacionada.....	230

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Niveles Sigma con su DPMO y rendimiento correspondiente	6
Tabla 2. No. Defectos por cada especificación para diferentes meses del periodo 2022-2023	28
Tabla 3. Proporción Yield para diferentes los diferentes meses del periodo 2022-2023.....	29
Tabla 4. Nivel Sigma y DPMO para diferentes meses	30
Tabla 5. Índice de la capacidad del proceso para 5 muestras (evaluado para el denier) – junio	31
Tabla 6. Índice de la capacidad del proceso para 5 muestras (evaluado para el denier) – julio	31
Tabla 7. Índice de la capacidad del proceso para 5 muestras (evaluado para el denier) – agosto.....	32
Tabla 8. Índice de la capacidad del proceso para 5 muestras (evaluado para el denier) – septiembre.....	32
Tabla 9. Índice de la capacidad del proceso para 5 muestras (evaluado para el denier) – octubre	33
Tabla 10. Índice de la capacidad del proceso para 5 muestras (evaluado para el denier) – noviembre	33
Tabla 11. Índice de la capacidad del proceso para 5 muestras (evaluado para el denier) – diciembre	34
Tabla 12. Índice de la capacidad del proceso para 5 muestras (evaluado para el denier) – enero	34
Tabla 13. Índice de la capacidad del proceso para 5 muestras (evaluado para el denier) – febrero.....	34
Tabla 14. Resumen estadístico para diferentes meses – Denier 640	71
Tabla 15. Resumen mensual del análisis de tendencia central – Denier 640.....	71
Tabla 16. Desviaciones estándar sobre la media – Denier 640 (junio).....	72
Tabla 17. Desviaciones estándar sobre la media – Denier 640 (julio).....	73
Tabla 18. Desviaciones estándar sobre la media – Denier 640 (agosto).....	74
Tabla 19. Desviaciones estándar sobre la media – Denier 640 (septiembre)	75
Tabla 20. Resumen estadístico para diferentes meses – Denier 650	76
Tabla 21. Resumen mensual del análisis de tendencia central – Denier 650.....	76
Tabla 22. Desviaciones estándar sobre la media – Denier 650 (junio).....	77
Tabla 23. Desviaciones estándar sobre la media – Denier 650 (julio).....	78
Tabla 24. Desviaciones estándar sobre la media – Denier 650 (agosto).....	79
Tabla 25. Desviaciones estándar sobre la media – Denier 650 (septiembre)	80
Tabla 26. Desviaciones estándar sobre la media – Denier 650 (diciembre).....	81
Tabla 27. Desviaciones estándar sobre la media – Denier 650 (febrero)	82

Tabla 28. Resumen estadístico para diferentes meses – Denier 720	83
Tabla 29. Resumen mensual del análisis de tendencia central – Denier 650.....	83
Tabla 30. Desviaciones estándar sobre la media – Denier 720 (septiembre)	84
Tabla 31. Desviaciones estándar sobre la media – Denier 720 (octubre).....	85
Tabla 32. Desviaciones estándar sobre la media – Denier 720 (noviembre).....	86
Tabla 33. Resumen estadístico para diferentes meses – Denier 800	87
Tabla 34. Resumen mensual del análisis de tendencia central – Denier 800.....	87
Tabla 35. Desviaciones estándar sobre la media – Denier 800 (junio).....	88
Tabla 36. Desviaciones estándar sobre la media – Denier 800 (julio).....	89
Tabla 37. Desviaciones estándar sobre la media – Denier 800 (agosto).....	90
Tabla 38. Desviaciones estándar sobre la media – Denier 800 (septiembre)	91
Tabla 39. Desviaciones estándar sobre la media – Denier 800 (octubre).....	92
Tabla 40. Desviaciones estándar sobre la media – Denier 800 (noviembre).....	93
Tabla 41. Desviaciones estándar sobre la media – Denier 800 (diciembre).....	94
Tabla 42. Resumen estadístico para diferentes meses – Denier 1,090	95
Tabla 43. Resumen mensual del análisis de tendencia central - Denier 1,090	95
Tabla 44. Desviaciones estándar sobre la media – Denier 1,090 (junio).....	96
Tabla 45. Desviaciones estándar sobre la media – Denier 1,090 (julio).....	97
Tabla 46. Desviaciones estándar sobre la media – Denier 1,090 (agosto).....	98
Tabla 47. Desviaciones estándar sobre la media – Denier 1,090 (septiembre)	99
Tabla 48. Desviaciones estándar sobre la media – Denier 1,090 (octubre).....	100
Tabla 49. Desviaciones estándar sobre la media – Denier 1,090 (noviembre)....	101
Tabla 50. Desviaciones estándar sobre la media – Denier 1,090 (diciembre)....	102
Tabla 51. Resumen estadístico para diferentes meses – Denier 2,165	103
Tabla 52. Resumen mensual del análisis de tendencia central – Denier 2,165....	103
Tabla 53. Desviaciones estándar sobre la media – Denier 2,165 (junio).....	104
Tabla 54. Desviaciones estándar sobre la media – Denier 2,165 (agosto).....	105
Tabla 55. Desviaciones estándar sobre la media – Denier 2,165 (octubre).....	106
Tabla 56. Desviaciones estándar sobre la media – Denier 2,165 (noviembre)....	107
Tabla 57. Desviaciones estándar sobre la media – Denier 2,165 (diciembre)....	108
Tabla 58. Porcentaje de error promedio mensual	109
Tabla 59. Porcentaje de error promedio por Denier	109
Tabla 60. Resumen mensual del análisis ANOVA realizado para el denier 640.	121
Tabla 61. Comparación de factores por incumplimiento – Denier 640 (julio)....	122
Tabla 62. Comparación de factores por incumplimiento – Denier 640 (agosto).	122
Tabla 63. Comparación de factores por incumplimiento – Denier 640 (septiembre)	122
Tabla 64. Resumen mensual del análisis ANOVA realizado para el denier 650.	123
Tabla 65. Comparación de factores por incumplimiento – Denier 650 (junio) ...	124
Tabla 66. Comparación de factores por incumplimiento – Denier 650 (julio)....	124
Tabla 67. Comparación de factores por incumplimiento – Denier 650 (agosto).	125

Tabla 68. Comparación de factores por incumplimiento – Denier 650 (septiembre)	125
Tabla 69. Comparación de factores por incumplimiento – Denier 650 (febrero)	126
Tabla 70. Resumen mensual del análisis ANOVA realizado para el denier 720.	126
Tabla 71. Comparación de factores por incumplimiento – Denier 720 (septiembre)	127
Tabla 72. Comparación de factores por incumplimiento – Denier 720 (noviembre).....	127
Tabla 73. Resumen mensual del análisis ANOVA realizado para el denier 80...	127
Tabla 74. Comparación de factores por incumplimiento – Denier 800 (junio)...	128
Tabla 75. Comparación de factores por incumplimiento – Denier 800 (julio)....	129
Tabla 76. Comparación de factores por incumplimiento – Denier 800 (agosto).	129
Tabla 77. Comparación de factores por incumplimiento – Denier 800 (septiembre)	130
Tabla 78. Comparación de factores por incumplimiento – Denier 800 (octubre)	130
Tabla 79. Comparación de factores por incumplimiento – Denier 800 (noviembre).....	130
Tabla 80. Comparación de factores por incumplimiento – Denier 800 (diciembre).....	131
Tabla 81. Resumen mensual del análisis ANOVA realizado para el denier 1,090.....	131
Tabla 82. Comparación de factores por incumplimiento – Denier 1,090 (junio)	132
Tabla 83. Comparación de factores por incumplimiento – Denier 1,090 (agosto)	133
Tabla 84. Comparación de factores por incumplimiento – Denier 1,090 (octubre).....	133
Tabla 85. Comparación de factores por incumplimiento – Denier 1,090 (noviembre).....	134
Tabla 86. Comparación de factores por incumplimiento – Denier 1,090 (diciembre).....	134
Tabla 87. Resumen mensual del análisis ANOVA realizado para el denier 2,165.....	134
Tabla 88. Comparación de factores por incumplimiento – Denier 2,165 (junio)	135
Tabla 89. Plan de mejora	141

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Niveles Sigma representados sobre una campana de Gauss.....	7
Figura 2: Gráfico de control.....	15
Figura 3. Campana de Gauss.....	16
Figura 4. Mapeo del proceso de extrusión	27
Figura 5. Evolución mensual del nivel Sigma para proceso de extrusión durante periodo 2022-2023	30
Figura 6. Gráfico de control para Denier 640 - junio.....	50
Figura 7. Gráfico de control para Denier 640 - julio	51
Figura 8. Gráfico de control para Denier 640 - agosto	52
Figura 9. Gráfico de control para Denier 640 - septiembre	52
Figura 10. Gráfico de control para Denier 650 - junio.....	53
Figura 11. Gráfico de control para Denier 650 - julio	54
Figura 12. Gráfico de control para Denier 650 - agosto	54
Figura 13. Gráfico de control para Denier 650 - septiembre	55
Figura 14. Gráfico de control para Denier 650 - diciembre.....	55
Figura 15. Gráfico de control para Denier 650 – febrero (2023).....	56
Figura 16. Gráfico de control para Denier 720 – septiembre.....	57
Figura 17. Gráfico de control para Denier 800 – junio	57
Figura 18. Gráfico de control para Denier 800 – julio.....	58
Figura 19. Gráfico de control para Denier 800 – agosto.....	58
Figura 20. Gráfico de control para Denier 800 – septiembre.....	59
Figura 21. Gráfico de control para Denier 800 – octubre	59
Figura 22. Gráfico de control para Denier 800 – noviembre	60
Figura 23. Gráfico de control para Denier 800 – diciembre	61
Figura 24. Gráfico de control para Denier 850 – enero (2023).....	61
Figura 25. Gráfico de control para Denier 920 – noviembre	62
Figura 26. Gráfico de control para Denier 920 – diciembre	63
Figura 27. Gráfico de control para Denier 1,090 – junio.....	63
Figura 28. Gráfico de control para Denier 1,090 – julio.....	64
Figura 29. Gráfico de control para Denier 1,090 – agosto.....	65
Figura 30. Gráfico de control para Denier 1,090 – septiembre.....	65
Figura 31. Gráfico de control para Denier 1,090 – octubre	66
Figura 32. Gráfico de control para Denier 1,090 – noviembre	67
Figura 33. Gráfico de control para Denier 1,090 – diciembre	67
Figura 34. Gráfico de control para Denier 2,165 – junio.....	68
Figura 35. Gráfico de control para Denier 2,165 – agosto.....	68
Figura 36. Gráfico de control para Denier 2,165 – octubre	69
Figura 37. Gráfico de control para Denier 2,165 – noviembre	69

Figura 38. Gráfico de control para Denier 2,165 – diciembre	70
Figura 39. Gráfico de normalidad – Denier 640 (junio)	72
Figura 40. Gráfico de normalidad – Denier 640 (julio)	73
Figura 41. Gráfico de normalidad – Denier 640 (agosto)	74
Figura 42. Gráfico de normalidad – Denier 640 (septiembre)	75
Figura 43. Gráfico de normalidad – Denier 650 (junio)	77
Figura 44. Gráfico de normalidad – Denier 650 (julio)	78
Figura 45. Gráfico de normalidad – Denier 650 (agosto)	79
Figura 46. Gráfico de normalidad – Denier 650 (septiembre)	80
Figura 47. Gráfico de normalidad – Denier 650 (diciembre)	81
Figura 48. Gráfico de normalidad – Denier 650 (febrero)	82
Figura 49. Gráfico de normalidad – Denier 720 (septiembre)	84
Figura 50. Gráfico de normalidad – Denier 720 (octubre)	85
Figura 51. Gráfico de normalidad – Denier 720 (noviembre)	86
Figura 52. Gráfico de normalidad – Denier 800 (junio)	88
Figura 53. Gráfico de normalidad – Denier 800 (julio)	89
Figura 54. Gráfico de normalidad – Denier 800 (agosto)	90
Figura 55. Gráfico de normalidad – Denier 800 (septiembre)	91
Figura 56. Gráfico de normalidad – Denier 800 (octubre)	92
Figura 57. Gráfico de normalidad – Denier 800 (noviembre)	93
Figura 58. Gráfico de normalidad – Denier 800 (diciembre)	94
Figura 59. Gráfico de normalidad – Denier 1,090 (junio)	96
Figura 60. Gráfico de normalidad – Denier 1,090 (julio)	97
Figura 61. Gráfico de normalidad – Denier 1,090 (agosto)	98
Figura 62. Gráfico de normalidad – Denier 1,090 (septiembre)	99
Figura 63. Gráfico de normalidad – Denier 1,090 (octubre)	100
Figura 64. Gráfico de normalidad – Denier 1,090 (noviembre)	101
Figura 65. Gráfico de normalidad – Denier 1,090 (diciembre)	102
Figura 66. Gráfico de normalidad – Denier 2,165 (junio)	104
Figura 67. Gráfico de normalidad – Denier 2,165 (agosto)	105
Figura 68. Gráfico de normalidad – Denier 2,165 (octubre)	106
Figura 69. Gráfico de normalidad – Denier 2,165 (noviembre)	107
Figura 70. Gráfico de normalidad – Denier 2,165 (diciembre)	108

RESUMEN

El presente proyecto se centra en estudiar la variabilidad y el nivel de cumplimiento de una empresa manufacturera de Guatemala. La empresa en cuestión se dedica a la manufactura de empaques industriales, telas agrícolas y productos de cordelería. Sin embargo, este estudio se limitó a analizar exclusivamente el proceso de extrusión, correspondiente al área de sacos agroindustriales. La empresa es consciente de que la variabilidad y el nivel de incumplimiento actual en el proceso están generando costos adicionales y hacen que el rendimiento de la planta disminuya, pero no se conocen las causas de esto, ni la magnitud exacta del desempeño de dicho proceso. Además, se sabe que durante la segunda mitad de 2022 y parte de 2023 ha habido inconformidad con los estándares de cumplimiento manejados para este proceso, ya que varios de los hilos extruidos suelen presentar características fuera de las especificaciones, las cuales son “denier”, ancho, elongación y tenacidad.

Por ello, la empresa requiere estudiar el nivel de variabilidad actual y encontrar soluciones que permitan mejorar la calidad del proceso en términos de cumplimiento en las especificaciones del producto. A partir de estas necesidades, se llevaron a cabo diversos análisis para estudiar el proceso durante un periodo de 9 meses, en donde se evaluó la calidad del proceso actual, la variabilidad, la tasa de defectos mensual y los factores de mayor impacto sobre la variabilidad del proceso.

Los resultados de dichos análisis permitieron concluir que el proceso tuvo un desempeño aceptable a nivel general, y que la calidad del proceso aumentó durante el segundo semestre de 2022. No obstante, al analizar por separado el denier (la especificación más crítica), se determinó que, para la mayoría de los meses, las tasas de incumplimiento resultan ser elevadas. También se percibió una alta variabilidad en el proceso para la mayoría de los meses estudiados, indicando notables dificultades para mantenerse dentro de los rangos de tolerancia establecidos. Otros análisis permitieron encontrar sesgos, y patrones de comportamiento, los cuales representaron hallazgos relevantes para el estudio realizado. Por otro lado, se analizaron diversos factores involucrados que podrían tener un impacto significativo en el proceso con el fin de determinar las causas raíz de la variabilidad.

A raíz de los análisis realizados, se plantearon diferentes propuestas de desarrollo práctico presentadas sobre un plan de mejora, enfocadas en mejorar tres factores de impacto específicos: la maquinaria, el turno operativo y la materia prima. Se concluyó que estas fueron las principales causas de la variabilidad en el proceso de extrusión para el periodo estudiado.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la aplicación de la calidad en la industria de la manufactura adquiere cada vez más importancia, pues representa un factor clave para el éxito de cualquier empresa dentro de un mercado altamente competitivo. Por ello, desde los primeros años de la producción en masa, varias empresas han dirigido gran parte de sus esfuerzos hacia mantener altos estándares de calidad, lo cual representa un factor diferenciador que les permite destacar sobre la competencia y garantizar la satisfacción del cliente. De esta manera, las empresas han implementado diferentes técnicas de control de calidad a lo largo de los años, buscando diferentes metodologías y herramientas que les permitan obtener mejores resultados en términos de calidad.

De esta forma, el control de calidad representa una estrategia que desempeña un papel fundamental para asegurar el buen rendimiento de una empresa. Esta disciplina consiste en un conjunto de técnicas y herramientas que se implementan sistemáticamente con el fin de mejorar la calidad de un producto o servicio (Sydle, 2023). Además, el control de calidad puede extenderse a diversas aplicaciones y enfoques, y su método de implementación puede diferir según el tipo de industria. Sin embargo, esta estrategia siempre busca cumplir con el objetivo de garantizar la satisfacción del cliente, o bien estar al nivel de los estándares requeridos.

Dentro de este contexto, el presente proyecto se centra en estudiar el caso de una planta de empaques industriales líder en Guatemala, mediante la implementación de diferentes técnicas relacionadas al control de calidad. La planta en cuestión lleva más de 50 años operando a nivel regional y se especializa en la producción de sacos de polipropileno, entre otros productos.

Estos sacos suelen utilizarse comúnmente para el almacenamiento de productos a granel, como el concentrado para animales, azúcar, maíz, frijol, etc. Pero también son utilizados en el sector de la construcción y las biomásas (pellets y materiales). Esto implica que los sacos producidos deben estar diseñados para soportar cargas elevadas. Además, también deben cumplir con ciertas propiedades, como la resistencia a la ruptura, el desgaste y la flexibilidad.

Para cumplir con esto, es conveniente destacar que, se deben tomar en cuenta 4 características principales: el denier, el ancho, la elongación y la tenacidad. Estas especificaciones son criterios fundamentales para proporcionar al saco las propiedades adecuadas. Además, dichas características se miden a partir del hilo utilizado para confeccionar los sacos, el cual sale directamente del proceso de extrusión.

Así mismo, la planta de sacos produce bajo ciertas especificaciones, pero al igual que en cualquier proceso industrial, siempre existe un margen de error. Es por esto por lo que, cada característica de cumplimiento se evalúa a partir de un rango de tolerancia (o incertidumbre) establecido según la especificación nominal.

Tomando esto en cuenta, el presente estudio se centra en medir el cumplimiento de las características mencionadas y estudiar la variabilidad del proceso en términos del denier, la característica más relevante. Esto se hizo con el fin de evaluar la calidad de los hilos utilizados para la confección de los sacos y posteriormente, proponer mejoras en el proceso que permitan aumentar la calidad y reducir la probabilidad de obtener productos defectuosos.

Para ello, se implementó la metodología Six Sigma a través del modelo DMAIC, y se emplearon herramientas de calidad asociadas que permitieron estudiar paso a paso el proceso de extrusión, comenzando desde la identificación de los objetivos y una esquematización detallada del proceso en cuestión, hasta la propuesta de las soluciones que se plantearon durante la última etapa del proyecto. Desarrollar esta metodología por etapas permitió cumplir con los objetivos y el alcance del proyecto de forma ordenada y eficiente.

Para el análisis, se emplearon bases de datos que corresponden al proceso de extrusión de la planta. Estas bases de datos se registraron de manera mensual desde junio de 2022 hasta febrero de 2023. Los datos de cada muestra mensual fueron sometidos a un análisis riguroso en donde se tomaron en cuenta las características de evaluación para diferentes meses.

En primer lugar, se emplearon indicadores de calidad para medir el estado actual del proceso en términos de incumplimientos para cada mes y se determinó que normalmente, el denier es la característica que suele presentar la mayor tasa de defectos, exceptuando enero y febrero de 2023. A partir de estos resultados, el enfoque de trabajo se centró específicamente en analizar el denier como criterio principal, sumando a esto que dicha especificación se considera la más crítica.

Luego se analizó la variabilidad y la capacidad del proceso y se determinó que éste presenta tendencias de aumento en la variabilidad conforme pasa el tiempo. Además, los resultados permitieron observar que la mayoría de los incumplimientos se producen por arriba del límite superior. Finalmente se llevó a cabo un análisis de varianza para identificar cuáles de los factores involucrados en el proceso presentan un impacto significativo en la variabilidad de los resultados, y se determinó que, tanto el tipo de extrusor como el turno laboral y la resina utilizada son factores que demostraron tener efectos significativos en el proceso.

Con los resultados obtenidos tras el análisis se discutió sobre las causas raíz y las oportunidades de mejora, y se plantearon propuestas para reducir la variabilidad en el proceso de extrusión y aumentar la capacidad de producción dentro de los límites de especificación. Las propuestas se diseñaron para ser prácticas, de bajo costo, fácil implementación y buscan mantener una mejora permanente en el proceso. Además, cada propuesta presenta un diferente enfoque, según la necesidad que busca abordar.

Cada propuesta de mejora se planteó de manera detallada y con la información necesaria para evaluar su implementación en los próximos meses, posteriores a la presentación de este trabajo.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Proponer un plan de mejora enfocado en reducir la variabilidad y la elaboración de productos defectuosos en el proceso de extrusión de una planta de empaques industriales en Guatemala, a través del desarrollo de la metodología Six Sigma y el enfoque DMAIC.

2.2 Objetivos específicos

- Evaluar el estado actual del proceso de extrusión para el periodo de junio 2022 - febrero 2023, con el fin de medir su cumplimiento de acuerdo con las especificaciones técnicas de calidad (en el denier, ancho, elongación y tenacidad) establecidos por la empresa, por medio de la medición del nivel Sigma, el desempeño actual del proceso y el índice de la capacidad del proceso.
- Analizar la variabilidad y el nivel de error presente en el proceso de extrusión para el periodo de junio 2022 - febrero 2023, a fin de identificar factores y patrones de comportamiento que puedan afectar la calidad del proceso, mediante el uso de herramientas estadísticas de calidad que analicen los datos históricos mensuales (utilizando el denier como especificación de interés).
- Realizar un análisis estadístico que permita determinar las causas raíz responsables de la variabilidad y los errores presentes en el proceso de extrusión, mediante la aplicación de un análisis de varianza (ANOVA).
- Elaborar un plan de mejora enfocado en proponer soluciones que busquen reducir la variabilidad del proceso de extrusión y mejorarlo con base en su estado actual, a partir de los resultados obtenidos en el análisis estadístico del proceso y los indicadores de desempeño calculados (nivel Sigma, YIELD, Cpk).

3. JUSTIFICACIÓN

La calidad es un factor clave en el éxito de cualquier empresa, ya que es indispensable para mantener un alto nivel de competitividad sobre los demás. Además, en un mercado saturado en donde existen miles de empresas dedicadas al mismo propósito, el compromiso con la calidad del producto o servicio que se está ofreciendo se vuelve un factor diferenciador que los clientes toman en consideración al momento de comprar o contratar. De igual manera, implementar un sistema de gestión de calidad adecuado para una empresa no solamente refleja este factor diferenciador, sino que también aporta con beneficios financieros y operativos internamente para la empresa. Al tener una mejor calidad en los productos, los costos por desperdicios disminuyen, al igual que otros factores. Además, tener altos estándares de calidad se reflejan a largo plazo en la imagen que la empresa transmite hacia los consumidores. Por ello, la calidad es una de las principales propiedades que cada empresa que brinde productos o servicios debe considerar para su modelo de trabajo.

En la actualidad varias empresas utilizan indicadores que permiten medir la calidad de los procesos según diferentes enfoques y necesidades, uno de ellos es el nivel Sigma, el cual es un indicador que refleja el nivel de calidad en un proceso productivo, normalmente asociado a procesos que involucran la producción en masa y la manufactura.

De esta manera, el nivel Sigma les permite a las empresas evaluar el desempeño de un proceso en términos de calidad, a través de una referencia cuantitativa. Además, mejorar el nivel Sigma es de gran importancia para una empresa, ya que tener un buen indicador de calidad en la planta representa una mayor satisfacción del cliente, mayor cumplimiento de los estándares y mayores beneficios económicos. Estos beneficios económicos se traducen a menores costos y mayores utilidades para la empresa.

En este marco, una empresa que se dedica a la producción de sacos con tejido a base de polipropileno reconoce la calidad del tejido como uno de los principales factores que sus clientes valoran al momento de comprar productos con la empresa. Es por esta razón que la empresa debe llevar un control riguroso sobre la calidad de los hilos con que se elabora el tejido.

El desarrollo de este proyecto adquiere especial relevancia para la empresa, puesto que se enfoca en identificar las principales causas que producen variabilidad en el proceso y busca proponer soluciones a las mismas. Para ello, se pretende implementar el modelo Six Sigma, con el que se espera identificar y medir las tasas de error para evaluar el estado actual de la empresa, y de esta manera desarrollar un proceso que permita corregir las deficiencias correspondientes, recurriendo a diversos métodos y herramientas asociadas a la metodología DMAIC, que será la base del trabajo por etapas establecida para el proyecto.

De esta manera, se espera que, con este proyecto, la empresa pueda determinar la existencia de posibles deficiencias en la calidad del proceso de producción, y en base a esta

información, la empresa pueda tomar un plan de acción adecuado a partir del análisis y las propuestas de mejora a implementar durante el transcurso de la metodología planteada.

Así mismo, se espera que, al lograr reducir la variabilidad y los defectos en el proceso, la empresa pueda plantearse alcanzar un aumento en sus beneficios económicos. Esto reflejado principalmente en apuntar a mejorar el nivel Sigma de la planta y el rendimiento durante los próximos meses, cuyos beneficios pueden traducirse a menores tiempos muertos por producción de lotes rechazados, menor consumo de materia prima y menores costos de producción para lotes de producto que termina siendo rechazado. De esta forma, al eliminar o reducir estos costos y gastos innecesarios, la empresa podrá incrementar su presupuesto sustancialmente, dependiendo del impacto logrado con las mejoras implementadas.

Para un ingeniero industrial, tomar las mejores decisiones a partir de la recopilación y análisis de datos es una de las principales actividades que lleva a cabo con el fin de tomar las mejores decisiones para un proyecto. De igual manera, su trabajo se basa en la planificación y la adecuada implementación de estrategias, por lo que este proyecto busca cumplir con estas cualidades. Además, uno de los principales pilares de la ingeniería industrial que sirve para sentar las bases de este proyecto es la investigación e implementación de procesos y metodologías, involucrando factores como maquinaria, equipo y materia prima, permitiendo conocer el trasfondo del proyecto para buscar conseguir una mejora apropiada a los problemas determinados a partir de esto.

4. MARCO TEÓRICO

4.1 Metodología Six Sigma

La metodología Six Sigma es un enfoque de mejora de procesos que tiene como objetivo mejorar la calidad de un proceso, llevándolo a niveles con muy poca tasa de error. Esta metodología se basa en la eliminación de defectos y el control óptimo de la variabilidad en la calidad de las características del producto final, proponiendo una tasa de error equivalente a 3.4 defectos por millón de oportunidades (*Montoya y Barrera, 2011*).

Al seguir esta metodología, se examinan las operaciones repetitivas de un proceso a través de datos para buscar una mejora continua en la calidad de un producto y establecer uniformidad y consistencia en los procesos correspondientes (*Laoyan, 2022*).

El término Six Sigma se denomina de esa manera debido a que el método establece 6 diferentes niveles, equivalentes a un índice de 3.4 DPMO, reflejados en una probabilidad de error del proceso de 0.00034% (*Ionos, 2020*), propio de un proceso con un alto nivel de perfección. El nivel Sigma se establece de acuerdo con los estándares que la empresa busca conseguir y el nivel de defectos que desean permitir.

La Tabla 1 muestra los diferentes niveles Sigma que pueden establecerse al momento de analizar un proceso:

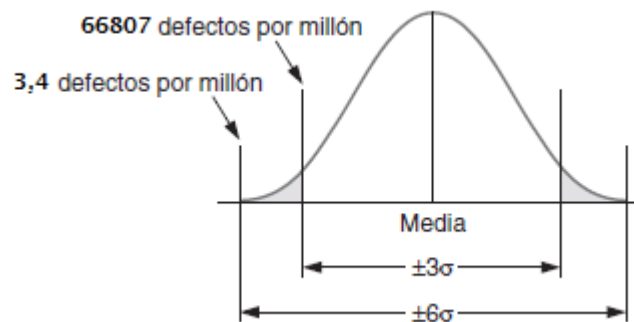
Tabla 1. Niveles Sigma con su DPMO y rendimiento correspondiente

NIVEL EN SIGMA	DPMO	RENDIMIENTO
6	3.40	99.9997 %
5	233.00	99.98 %
4	6.210,00	99.3 %
3	66.807,00	93.3 %
2	308.537,00	69.15 %
1	690.000,00	30.85 %
0	933.200,00	6.68 %

Fuente: PDCA, 2013.

Tal como se ilustra en la Tabla 1, el nivel Six Sigma es el más alto. Además, cabe mencionar que el nivel Sigma corresponde a cuántas desviaciones estándar caben entre los límites de especificación del proceso (*López, 2019*). Por ejemplo, para un nivel Six Sigma corresponden 6 desviaciones estándar (3 desviaciones por cada lado de la media).

Figura 1. Niveles Sigma representados sobre una campana de Gauss



Fuente: López, 2019.

La Figura 1 ilustra los DPMO que corresponden a cada nivel Sigma y los representa sobre una campana de Gauss.

4.1.1 Cálculo del nivel Sigma y ajustes en el desplazamiento

Para determinar el nivel Sigma, existen diferentes métodos, sin embargo, en la práctica es común utilizar la distribución normal para calcular el valor z correspondiente de la proporción de cumplimiento.

Esto se materializa matemáticamente de la siguiente manera (usando el software estadístico Excel):

“DISTR.NORM.ESTAND.INV (%Yield) + 1.5”

(Escobedo, 2021)

Como se puede observar en la fórmula, se realiza un ajuste que consiste en adicionar el coeficiente 1.5 al resultado de la función. Dicho ajuste se realiza debido al tipo de proceso que se está realizando, según lo definido a continuación:

Para determinar el nivel Sigma debe evaluarse si el proceso estudiado se trabajará como un análisis a corto plazo o a largo plazo.

LARGO PLAZO: Son datos tomados durante periodos largos y bajo condiciones suficientemente diversas para que sea probable la existencia de varios cambios y otras causas especiales (Escobedo, 2021).

CORTO PLAZO: Son datos tomados durante periodos de tiempo tan cortos que se vuelve improbable la existencia cambios y otras causas especiales. Para este tipo de

datos, debe aplicarse un ajuste de desplazamiento equivalente a 1.5, el cual se suma al resultado obtenido de la fórmula (Escobedo, 2021).

La constante 1.5 se utiliza por convención para proporcionar un margen de seguridad adicional con respecto a la evaluación del proceso, acomodando la variabilidad no esperada y evitando la incertidumbre en los resultados.

4.1.2 Definición de conceptos relacionados a Six Sigma

4.1.2.1 Defectos por millón de oportunidades (DPMO)

Los DPMO se calculan con la fórmula:

$$DPMO = \frac{1,000,000 * D}{U * O}, \text{ donde:}$$

$D = \text{Defectos}$

$U = \text{Unidades}$

$O = \text{Oportunidades}$

(López, 2019)

- Defectos por oportunidad (DPO)

Es el número de defectos en una muestra dividido entre el número total de oportunidades de defectos por la cantidad de unidades en la muestra (Craig Gygi, 2012).

$$DPO = \frac{(\text{Defectos totales})}{\text{No. Observaciones Total} * \text{Oportunidades}}$$

4.1.2.2 Defectos por unidad (DPU)

Los defectos por unidad son igual al total de defectos en una muestra dividido dentro del número de unidades incluidas en la muestra (Craig Gygi, 2012).

4.1.2.3 Relación YIELD

Es el desempeño del proceso que se calcula a partir de los DPMO obtenidos del proceso (López, 2019). El desempeño del proceso se calcula de la siguiente manera:

$$Yield \% = (1 - DPO) * 10$$

Luego de determinar el desempeño del proceso, se utiliza una tabla para determinar el nivel sigma correspondiente al porcentaje del yield calculado, o bien se utiliza la fórmula de Excel “DISTR.NORM.ESTAND.INV(% yield) + 1.5” (López, 2019).

4.1.2.4 Índice Cpk

Es un índice que determina la relación entre la media del proceso y su distancia al límite de especificación. Este índice se utiliza para saber si el proceso se ajusta a las tolerancias, de manera que cuando este índice sea mayor o igual a 1, se considera que el proceso es capaz de cumplir con las especificaciones. Por otro lado, si el índice es menor a este valor, se considera que el proceso no cumple con las especificaciones (Gladys, 2008). El índice de la capacidad del proceso C_{pk} se define matemáticamente de la siguiente manera:

$$C_{pk} = \text{Min} (C_{pu} - C_{pl})$$

La definición matemática del índice C_{pk} expresa que, para obtener dicho valor, debe encontrarse el valor mínimo entre el índice unilateral inferior y el índice unilateral superior.

- **Índice de la capacidad del proceso:** Índice que mide la capacidad potencial de un proceso. Es decir, evalúa si el proceso es potencialmente capaz de cumplir con las especificaciones. (Antonucci, 2020)

El índice C_p se expresa por medio de la siguiente fórmula:

$$C_p = \frac{LES - LEI}{6\sigma}$$

Para que el proceso se considere potencialmente capaz, C_p debe ser igual o mayor a 1.

- **Índice unilateral superior:** Se define como C_{pu} y mide la capacidad del proceso de cumplir con la especificación inferior (Antonucci, 2020). Se expresa por medio de la siguiente fórmula:

$$C_{pu} = \frac{(\mu - LEI)}{3\sigma}$$

- **Índice unilateral inferior:** Se define como Cpl y mide la capacidad del proceso de cumplir con la especificación superior (Antonucci, 2020). Se expresa por medio de la siguiente fórmula:

$$C_{pl} = \frac{(\mu - LEI)}{3\sigma}$$

Los índices Cpu y Cpl sirven para evaluar la capacidad de procesos no centrados, es decir, funcionan como índices complementarios que evalúan el proceso contra cada uno de sus límites (Antonucci, 2020).

4.2 Oportunidad de error

Las oportunidades son todos aquellos elementos en una unidad de producción que tienen la probabilidad de presentar defectos en la pieza (López, 2019).

Bajo este concepto, una pieza puede tener múltiples oportunidades de salir defectuosa (debido a que existe la probabilidad de no cumplir con el requerimiento de uno o más criterios).

Ej. La producción de hilos de polipropileno que se usan para la fabricación de empaques industriales.

Aquí, las especificaciones principales que se toman en cuenta son el Denier, el ancho, la elongación y la tenacidad. Para cada especificación se establece un valor objetivo (lo que teóricamente debería medir dicha especificación) y un rango de error permisible. Por ejemplo, para el Denier, se establece un -5% y +5% de error permisible.

De esta manera, al tener 4 diferentes elementos que pueden suponer una probabilidad de error, se dice que el hilo tiene 4 oportunidades de defecto por cada bobina tomada en cuenta para la muestra.

Con esta información, las oportunidades se calculan multiplicando la cantidad de unidades presentes en el análisis por la cantidad de oportunidades que tiene cada unidad.

Siguiendo con el caso de los hilos, y sabiendo que se están tomando en cuenta 4 oportunidades. En una muestra de 10,000 unidades, habrá 40,000 oportunidades.

4.3 Metodología DMAIC

DMAIC es una metodología que permite mejorar procesos dentro del sistema de gestión Six Sigma, y es utilizada para resolver problemas relacionados a la gestión de calidad en los procesos de una empresa, permitiendo conseguir una mejora continua en las

operaciones que se llevan a cabo. Para ello, la metodología DMAIC se centra en identificar y eliminar las causas raíz de los defectos y la variabilidad presente en los procesos (Montoya y Barrera, 2011). El modelo está constituido por 5 fases, las cuales buscan ser aplicadas en cada etapa del proceso:

4.3.1.1 Definir

En esta etapa se establece la situación actual de la empresa, se identifican las problemáticas que se van a abordar en el proyecto y se definen los objetivos que se quieren conseguir. Además, en esta etapa también se define el alcance del proyecto y se programan las actividades necesarias para cumplir con los objetivos mediante cronogramas, presupuestos y equipos de trabajo (González, 2020). Adicionalmente, existen herramientas de apoyo como mapas de flujo que permiten responder preguntas clave como ¿qué?, ¿por qué?, ¿dónde?, ¿quién?, las cuales permiten obtener mayor claridad en cuanto a la definición y el alcance del proyecto a desarrollar (Montoya y Barrera, 2011).

4.3.1.2 Medir

Esta etapa permite conocer información importante con relación al rendimiento de los procesos, las deficiencias y áreas de mejora, fortalezas, oportunidades, pero, además, también permite determinar la capacidad y estabilidad del proceso. La capacidad se refiere al nivel de aptitud que tiene un proceso para cumplir con las especificaciones técnicas y la estabilidad, a la consistencia respecto a la variación del proceso (González, 2020). En esta etapa, también se lleva a cabo la recolección de datos, que permite cuantificar la situación de la empresa, reflejado en el nivel de variación y defectos y determinando las oportunidades del proyecto que se desarrollarán posteriormente. La etapa de medición involucra herramientas especializadas en gestión de calidad tales como diagramas de Pareto, análisis de la capacidad de un proceso, gráficos de control, entre otras herramientas (Montoya y Barrera, 2011).

4.3.1.3 Analizar

Esta etapa permite establecer las hipótesis y planes de mejora que buscan alternativas y posibles vías para la mejora del proceso y el cumplimiento de los objetivos establecidos (González, 2020). Además, en esta etapa se identifican y confirman las correlaciones entre las variables, se comienzan a obtener los primeros resultados, y se identifican las fuentes de variación y las causas que generan el problema. Para ello, se analiza la información recolectada y se utilizan herramientas analíticas que permitan identificar las causas de variación y defectos, así como las oportunidades de mejora del proceso (Montoya y Barrera, 2011).

4.3.1.4 Mejorar

El propósito de esta etapa es verificar y dar validación a la etapa de análisis, a través de la implementación de las propuestas de mejora. Es decir, se evalúan las soluciones propuestas para asegurarse de que cumplan con los objetivos establecidos. Aquí se diseñan las soluciones, dándoles una dirección apropiada para afrontar los problemas raíz y llevar los resultados hacia las expectativas deseadas (*Montoya y Barrera, 2011*).

4.3.1.5 Controlar

En esta etapa, se busca diseñar un sistema que integre las soluciones implementadas en el proceso, el cual permita mantener el trabajo realizado en las etapas anteriores, encargándose de establecer controles prácticos y automatizados para que la mejora del proceso dure por más tiempo. Además, para evitar que la solución sea temporal, se elabora un plan de monitoreo y se desarrolla un plan de mitigación que sirva para gestionar riesgos y responder eficientemente antes incidentes ocurridos en el proceso (*González, 2020*).

4.4 Metodologías alternativas para la implementación de Six Sigma

Además de la metodología DMAIC, existen otras herramientas que también sirven para mejorar la calidad de un proceso. Sin embargo, hay razones específicas por las que la metodología DMAIC es la más apropiada para el presente proyecto.

A continuación, se presentan metodologías alternativas para la implementación del modelo Six Sigma, y, además, se exponen las razones por las cuales se descartaron para este proyecto:

4.4.1 Metodología DMADV (Definir, Medir, Analizar, Diseñar, Verificar)

A diferencia de la metodología DMAIC, esta metodología propone soluciones enfocadas al diseño o rediseño de nuevos procesos o productos, permitiendo desarrollar un proceso óptimo desde cero (*Gómez y Barrera, 2011*).

En el caso de la empresa estudiada, se descartó el uso de esta metodología ya que se está tratando de mejorar un proceso ya existente.

4.4.2 Metodología IDOV (Diseñar, Optimizar, Validar)

La metodología IDOV se enfoca principalmente en el diseño de procesos nuevos o existentes (*Merline 2023*). Sin embargo, al contrastar con la metodología DMAIC, se terminó por descartar este método, porque a diferencia de esta herramienta, DMAIC es una metodología más accesible, además que no requiere equipos con tanta experiencia en la mejora de procesos. También cabe mencionar que la metodología DMAIC ofrece un mejor

enfoque en la identificación y análisis de los problemas. Adicionalmente, la metodología IDOV presenta un menor énfasis en el control de procesos, ya que se centra en la validación de los resultados, dejando en segundo plano el control de los procesos a largo plazo.

4.4.3 Metodología DFSS (Design For Six Sigma)

El modelo DFSS es una metodología muy similar a IDOV y DMADV ya que se enfoca principalmente en el diseño de los procesos, centrándose en cumplir con los requisitos del cliente de forma consistente (*Maza, 2004*). Esta metodología se basa en un enfoque proactivo porque se centra en prevenir la variabilidad antes de que ocurra. Por otro lado, la metodología DMAIC se basa en un enfoque reactivo porque se implementa para solucionar problemáticas ya existentes (*Ricardo, 2020*). Por ello, la metodología DFSS es particularmente útil para prevenir problemas, sin embargo, no se considera la mejor herramienta para este proyecto ya que se busca enfrentar problemáticas ya existentes.

Cabe mencionar que, tanto este como otros modelos que se descartaron durante el proceso de selección de la metodología, pueden aplicarse en proyectos de este tipo. Sin embargo, para obtener mejores resultados es recomendable buscar las herramientas que más se adapten a las circunstancias del proyecto en cuestión.

4.4.4 Metodología Lean Six Sigma

Combina la metodología Six Sigma y la metodología Lean, volviéndose la herramienta por excelencia en cuanto a calidad y mejora de procesos, ya que permite obtener un estudio mucho más completo. La metodología se centra en la mejora de procesos y el aumento en la calidad, pero también se enfoca en la eliminación de desperdicios y optimización del flujo de procesos para mejorar la eficiencia (*González, 2020*). No obstante, la desventaja de utilizar esta metodología es que, al ser tan completa requiere de más tiempo y recursos. Así que, tomando en cuenta el alcance del proyecto, así como el tiempo y los recursos a disposición, se considera que implementar esta metodología implicaría añadir mayor complejidad al estudio, de manera que también se descarta.

4.4.5 Selección de la metodología DMAIC

Tomando en cuenta que los objetivos del proyecto se centran en identificar y analizar los problemas en las actividades de un proceso ya existente, sin enfocarse tanto en el diseño, se considera que la mejor metodología para desarrollar el caso es el enfoque DMAIC. Además, también es importante tomar en cuenta los recursos disponibles y el entorno sobre el que se llevará a cabo el proyecto, por lo que la metodología establecida debe ser bastante accesible y adecuarse al alcance definido para el proyecto.

Para el presente proyecto, las etapas del modelo DMAIC se desarrollaron a través de 4 fases. La primera fase comprende la etapa de “Definir” y “Medir”, la segunda y tercera fase comprenden la etapa de “Analizar”, y la cuarta fase comprende la etapa de “Mejorar”.

4.4.6 Control de calidad

Es un proceso que se lleva a cabo para garantizar que un producto cumple con los estándares de calidad requeridos por el cliente. Dicho proceso implica identificar los requisitos de calidad, definir los métodos y herramientas de medición apropiados, la realización de análisis y pruebas que permitan encontrar hallazgos con respecto al cumplimiento establecido y la implementación de medidas correctivas que sirvan para asegurar que los productos cumplan con los estándares establecidos (Nirian, 2020).

4.4.6.1 Ventajas de implementar planes de control de calidad en un proceso:

- Permite reducir los costos: Al identificar y corregir la tasa de error en etapas específicas de la producción, se reducen los defectos en el producto final, lo que lleva a un menor rechazo de productos defectuosos y, por tanto, a una reducción en los costos de producción.
- Mejora la eficiencia del proceso: Al identificar y corregir los cuellos de botella y procesos ineficientes, el proceso se vuelve más productivo y eficiente.
- Cumplimiento y garantía de calidad: Los productos de alta calidad surgen de procesos con alta calidad. La empresa le garantiza al cliente el cumplimiento de los requerimientos que busca en el producto, cuidando cada aspecto. (Imagar, 2022).

4.5 Gráficos de control

4.5.1 Definición de gráfico de control

Es una herramienta utilizada en el control de procesos y sirve para analizar un proceso a través del tiempo para detectar la variabilidad en las operaciones de este. Esta herramienta se presenta de manera gráfica y se realiza a partir de un muestreo de datos en diferentes tiempos de un proceso (Ponce, 2020).

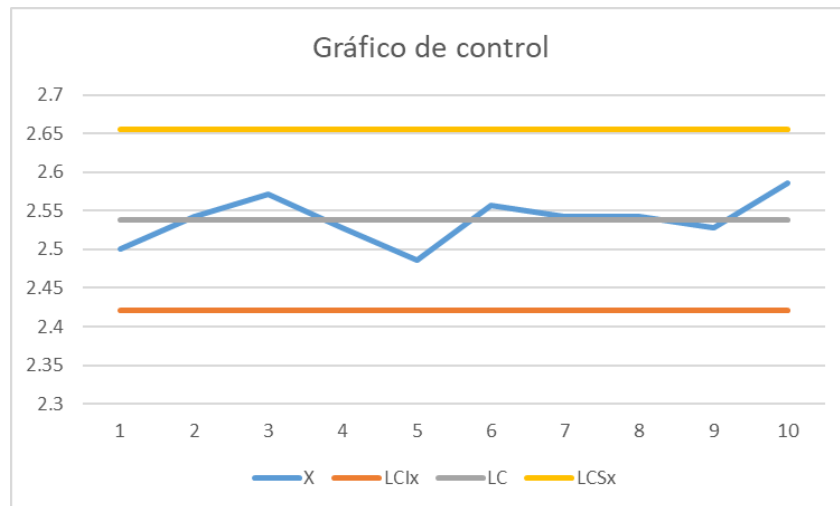
4.5.2 Límites de control

Los límites de control sirven para determinar la variación en los procesos y se identifican como líneas horizontales ubicadas arriba y debajo de la línea central. Estos límites se calculan a partir de los datos obtenidos del proceso y sirven para determinar si un proceso se encuentra fuera de control o bajo control (Ponce, 2020).

4.5.3 Desarrollo de un gráfico de control

Para elaborar un gráfico de control es necesario establecer un límite central, un límite superior y un límite inferior, todo esto en base a los datos de la muestra obtenida. Aunque existen diferentes métodos para eso, comúnmente se utilizan constantes que permiten calcular estos límites.

Figura 2: Gráfico de control



Fuente: Elaboración propia, 2023.

En cuanto al análisis de un gráfico de control, existen diferentes consideraciones a tomar en cuenta, sin embargo, los criterios clave consisten principalmente en verificar que todos los puntos del periodo muestreado se encuentren dentro de los límites. En el gráfico también se refleja la variabilidad del proceso, ya que mientras más alejado están los puntos del límite central, mayor variabilidad tendrá el proceso. De igual manera, los saltos abruptos de un tiempo a otro reflejan una menor uniformidad en el proceso. Por otro lado, si hay varios puntos fuera de los límites inferior y superior, se considera que el proceso no está bajo control.

Adicionalmente, también hay que tomar en cuenta que, existen ciertas anomalías en los gráficos que pueden llevar a la necesidad del uso de otras herramientas y análisis. Por ejemplo, cuando hay gráficas que para 3 tiempos o más, presentan puntos prácticamente iguales o con muy poca variación, produciendo una recta horizontal en el gráfico.

4.5.4 Importancia de los gráficos de control

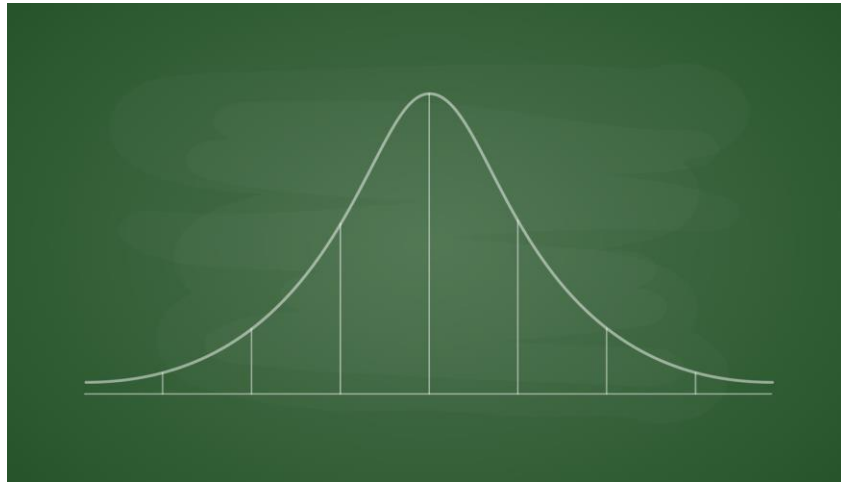
Los gráficos de control son importantes durante el desarrollo de análisis enfocados en control de calidad, ya que permite analizar procesos y determinar qué aspectos se encuentran en orden y cuales aspectos están mal. También permite determinar si los procesos han mejorado o empeorado durante el transcurso del tiempo. De igual manera, los gráficos de control permiten conocer que tan estable es el proceso e identificar donde se generan las fallas, con el fin de plantear soluciones apropiadas que conlleven al mejoramiento del proceso (Ponce, 2020).

4.6 Campana de Gauss

La campana de Gauss es la representación gráfica de la distribución normal, y su importancia en la calidad de procesos industriales radica en que estos comúnmente se

ajustan a esta distribución, permitiendo establecer límites de control y detectar variaciones estadísticas en el proceso (Santander, 2022).

Figura 3. Campana de Gauss



Fuente: Santander, 2022.

En una distribución normal, se puede esperar que:

- El **68.3%** de los valores se distribuyen dentro de una distribución estándar respecto a la media.
- El **95.4%** de los valores se distribuyen dentro de una distribución estándar respecto a la media.

El **99.7%** de los valores se distribuyen dentro de una distribución estándar respecto a la media. (inbestMe, 2022)

4.6.1 Medidas de tendencia central

- **Media (promedio):** Valor obtenido al dividir la suma de los valores de un conjunto de datos entre la cantidad de datos (Ricardi, 2011).
- **Desviación estándar:** Medida de dispersión que indica la variabilidad de los datos alrededor de una media. Es decir, mide cuanto se dispersan los valores en torno a su promedio (Ricardi, 2011).
- **Mediana:** Valor ubicado en el medio del conjunto de datos, cuando estos se ordenan de mayor a menor (Ricardi, 2011).
- **Moda:** Valor que más veces se repite dentro de un conjunto de datos (Ricardi, 2011).

4.7 Análisis de la capacidad del proceso mediante sistemas de control

Es una técnica que se utiliza para determinar la capacidad que tiene un proceso de elaborar unidades dentro de las especificaciones requeridas. El proceso se considera bajo control cuando la mayoría de las piezas cumplen con las especificaciones. De esta manera, el análisis establece un límite de errores permisibles, el cual es comúnmente establecido por la empresa, y bajo este criterio, se calcula el porcentaje de error del proceso. Si dicho porcentaje es menor que el límite permisible, se considera que el proceso está bajo control (*Benites, 2022*).

La herramienta se complementa con un análisis gráfico que permite estudiar gráficamente el comportamiento de una distribución, analizando su nivel de dispersión, uniformidad de datos, normalidad y simetría.

Factores de importancia:

- Identifica aquellas operaciones o variables que pueden estar causando variabilidad en el proceso. Determinar estos factores de variabilidad es importante porque permite reducir la probabilidad de defectos en las unidades producidas.
- Establecer límites de especificación más apropiados de acuerdo con el producto que maneja la empresa. Esto permite aumentar la calidad del producto, de manera que consigue una mayor satisfacción en el cliente.
- Permite mejorar la calidad del proceso y aumenta la satisfacción del cliente a través del producto final, a la vez que busca reducir costos en la producción.

4.8 Denier

El Denier es una medida de la masa lineal de una fibra natural o sintética, la cual se define como el peso en gramos de 9,000 metros de fibra. Existen diferentes grados de finura correspondientes a diferentes medidas de denier (*H. Blucher, 2020*):

- sedas al cobre 0.25 den
- celulosa de fibra fina 1.0 - 2.5 den
- celulosa normal 2.5-5 den
- celulosa basta 5-10 den

En el contexto de los sacos de polipropileno, el denier es utilizado para describir la densidad de los hilos usados para fabricar los sacos, estableciendo que cuanto menor sea el denier, más fina será la fibra. Por el contrario, cuanto mayor sea el denier, más gruesa será la fibra, y, por ende, más resistente será el saco fabricado.

Los sacos de polipropileno suelen tener un denier que va desde 500 hasta 2,000 y la finura de los hilos que se utilizan dependerá del uso que se le dará al saco y a la carga que se espera que soporten.

4.9 Carga

Es una de las variables críticas durante la fabricación de sacos debido a que afecta directamente a la resistencia y la calidad del producto final. Es fundamental que la carga de los hilos permanezca dentro de los límites de tolerancia especificados, ya que una carga menor aumenta el riesgo de desgarrar los sacos al aplicar grandes cantidades de fuerza. Por otro lado, una carga muy alta también afecta a la calidad del saco, llegando a afectar en la capacidad del saco en mantener el tejido unido.

4.10 Elongación

Mide la cantidad de alargamiento o deformación que tiene el hilo cuando se somete a una tensión determinada. Esta variable indica la resistencia y la capacidad del saco para soportar el estrés al que será sometido durante su utilización. Esta variable también influye en la forma y el ajuste del empaque.

4.11 Tenacidad

Es una variable que sirve para medir la capacidad de resistencia a la ruptura y estiramiento bajo tensión. Esta variable es crítica para determinar la calidad de los sacos porque afecta en la resistencia del producto. Esta variable debe mantenerse dentro de los límites de tolerancia porque una tenacidad muy baja resulta en mayor fragilidad del saco. Por otro lado, si la tenacidad del hilo es demasiado alta puede dificultar las etapas posteriores del proceso, afectando en el área de telares y corte.

4.12 Variabilidad

Son fluctuaciones que se presentan en los procesos y que afectan a las propiedades del producto final. La variabilidad es inevitable en cualquier proceso y se mide mediante diferentes técnicas de control de calidad. El control de la variación de un proceso solo se puede dar al controlar la causa raíz de esta variación (*Ponce, 2020*).

4.13 ANOVA de un factor

El análisis de varianza para un factor es un método estadístico utilizado para comparar las medias de 3 o más grupos pertenecientes a un único factor (*JMP, s.f.*). Este análisis se basa en la comprobación de dos hipótesis:

Hipótesis nula: Afirma que no existe una diferencia significativa entre las medias poblacionales. Es decir, todas las medias son estadísticamente iguales.

Hipótesis alternativa: Afirma que existe una diferencia significativa en al menos una de las medias poblacionales, con respecto a las otras medias.

En el contexto productivo, determinar si las medias poblacionales son estadísticamente iguales o diferentes puede ayudar a determinar resultados relevantes dentro de un proceso específico, que puedan explicar determinado comportamiento en un conjunto de datos segmentado por varias categorías. Es decir, este análisis puede servir como métrica de calidad durante la evaluación de un proceso productivo (*JMP, s.f.*).

Este análisis utiliza un estadístico de prueba que determina si la varianza explicada es significativamente mayor que la varianza no explicada. Si el estadístico de prueba es significativo, entonces se rechaza la hipótesis nula y se concluye que existe una diferencia entre las medias de los grupos.

El estadístico de prueba utilizado para el análisis es el valor F. En la práctica, el valor F calculado se compara con el valor F crítico, de manera que si $F > F$ crítico, la hipótesis nula se rechaza, mientras que si $F < F$ crítico, la hipótesis nula no se rechaza.

Adicionalmente, el análisis de varianza también se puede interpretar a través de otro estadístico, llamado valor-p, o probabilidad de que la diferencia observada en las medias se deba al azar. (*Molina, 2017*)

De esta manera, si el valor-p es menor que el nivel de significancia, la hipótesis nula se rechaza. Por el contrario, si esta probabilidad es mayor que el nivel de significancia, la hipótesis nula no se rechaza.

4.13.1 Conceptos relacionados al análisis ANOVA de un factor:

Nivel de significancia: Es la probabilidad de que el estadístico de prueba caiga dentro de la región crítica. Es decir, representa la probabilidad de rechazar una hipótesis que realmente es verdadera (*Triola, 2006*), *Estadística, p. 376*.

F de Snedecor (valor F): Es una medida de relación entre la varianza explicada y la varianza no explicada. El valor F permite determinar si la prueba realizada es estadísticamente significativa (*IBM, 2023*).

Este estadístico de prueba presenta se interpreta de acuerdo con las siguientes condiciones:

- Si $F_{\text{calculado}} > F_{\text{crítico}}$, entonces H_0 se rechaza.
- Si $F_{\text{calculado}} < F_{\text{crítico}}$, entonces H_0 no se rechaza.

Entre más grande sea la diferencia del valor F calculado respecto del valor F crítico, más significativa será la prueba.

F crítico: Valor requerido para rechazar la hipótesis nula.

Valor-p: Valor que indica la probabilidad de que la diferencia observada en las medias se deba al azar (*Molina, 2017*). El estadístico de prueba presenta las siguientes condiciones de interpretación:

- Si el valor-p $< \text{Sig.}$, entonces H_0 se rechaza.
- Si el valor-p $> \text{Sig.}$, entonces H_0 no se rechaza.

Varianza explicada: Representa la diferencia entre la varianza de destino y la varianza no explicada. Es decir, refleja la varianza que se debe a las diferencias entre los grupos (*IBM, 2023*).

Varianza no explicada (varianza de error): Representa la variabilidad residual debida al azar. Refleja la dispersión de datos dentro de un grupo (*Velazco, 2012*).

4.14 Metodología SMED

SMED es una técnica que permite reducir tiempos entre operaciones y es particularmente útil cuando se necesita trabajar con una mayor variedad de productos en la misma línea. SMED significa “Single Minute Exchange of Die” y su principal finalidad es convertir las operaciones internas en operaciones externas para agilizar el cambio de operación. Las operaciones internas son aquellas que se realizan cuando la maquinaria se encuentra parada, mientras que las operaciones externas son aquellas que se realizan cuando la maquinaria se encuentra en funcionamiento (*Rodríguez, 2003*).

5. PRIMERA FASE: ESTADO ACTUAL DEL PROCESO

5.1 Metodología

Esta fase de la metodología tuvo como objetivo evaluar la situación actual del proceso de extrusión, mediante la medición del cumplimiento de los hilos extruidos respecto a las especificaciones técnicas de calidad establecidas por la empresa. Para ello, se utilizaron indicadores de calidad basados en el nivel de cumplimiento del proceso, los cuales fueron calculados a partir de datos históricos del proceso de extrusión de hilos. Estos datos se registraron en bases de datos mensuales que contenían varias observaciones de hilos extruidos pertenecientes a diferentes bobinas. Estas bobinas se clasifican según el gramaje teórico del hilo (denier), y la fecha de extrusión. La información disponible para el análisis se registró en bases de datos mensuales pertenecientes al periodo de **junio de 2022 a febrero de 2023**, comprendiendo un total de 9 bases de datos disponibles.

Cabe mencionar que las observaciones recopiladas en cada muestra mensual se tomaron siguiendo un sistema de muestreo basado en las normas ISO-2859 y Military Standard (MIL-STD-105E). Además, cabe resaltar que cada tornillo del extrusor produce hilos para 5 bobinas diferentes. Por ende, el sistema para el levantamiento de datos consiste en enumerar cada bobina producida en la planta del 1 al 5, de acuerdo con la posición en la que se encuentran, según una serie de pasillos. Posteriormente, se toma 1 de cada 5 bobinas (una observación por cada tornillo, siguiendo el orden de numeración) para obtener las observaciones de los hilos, los cuales son registrados posteriormente en las tablas correspondientes. Este método permite conseguir una mayor uniformidad en la distribución muestral, asegurando que el comportamiento de las muestras levantadas sea confiable para su análisis.

Para cada una de las observaciones, las especificaciones de calidad que se registran son el denier, el ancho, la elongación y la tenacidad del hilo, y para cada una de estas especificaciones, se considera el valor teórico establecido según los estándares de la empresa, con sus respectivos rangos de aceptación (generalmente se establecen rangos de -5% a +5% para calibres ordinarios o de -10% a +10% para calibres más altos), así como el valor real obtenido del muestreo. Se tomaron en cuenta las 4 especificaciones mencionadas para evaluar la calidad de los hilos. Estas especificaciones permiten proporcionar al producto terminado las propiedades físicas y mecánicas necesarias para garantizar una correcta funcionalidad.

Además de los criterios de calidad mencionados, también se registró información complementaria que adquiere relevancia en el desarrollo de diversos análisis, como el extrusor del que salió cada observación, así como el turno correspondiente y el tipo de resina utilizada, entre otros datos. La información completa contenida por cada base de datos se lista a continuación:

- Denier (g)
- Carga (kg)
- Ancho (mm)
- Elongación (cm)
- Tenacidad
- Denier (g) [*Teórico*] $\pm 5\%$; $\pm 10\%$
- Ancho (mm) [*Teórico*] $\pm 5\%$; $\pm 10\%$
- Elongación (cm) [*Teórico*], (Min, Max) > No existe especificación nominal
- Tenacidad [*Teórico*], (Min, Max) > No existe especificación nominal
- Extrusor
- Fecha
- Semana del mes
- Turno (diurno, nocturno)
- Tipo de Resina

Esta información se registra por columnas y se filtra según las categorías que corresponden a cada observación.

Teniendo a disposición esta información, se investigó sobre el proceso de extrusión y se obtuvo una descripción breve pero detallada del mismo. Esta descripción fue relevante para el análisis ya que era necesario tener un conocimiento claro sobre cómo se desarrolla dicho proceso. Para una mayor claridad, se trazó un mapeo del proceso de extrusión ilustrado en la Figura 4.

Posteriormente, se procedió con el análisis correspondiente comenzando por los indicadores de calidad, los cuales se implementaron para evaluar el estado actual del proceso. Los indicadores que se calcularon fueron el nivel Sigma (con sus DPMO correspondientes), el porcentaje de desempeño actual del proceso (dado por la proporción *Yield*), y el índice de la capacidad del proceso. Todos calculados mensualmente.

El nivel Sigma y el porcentaje de desempeño total fueron indicadores importantes para evaluar el estado actual del proceso de extrusión. Estos indicadores se calcularon a partir del cumplimiento de las especificaciones y la proporción de defectos dentro del proceso en determinado periodo. Para ello, se tomaron en cuenta las cuatro especificaciones de calidad establecidas, considerándolas como oportunidades de fallo e integrándolas en un mismo análisis.

Primero, se midió el tamaño de la muestra, así como la cantidad de defectos encontrados en la misma (incluyendo los incumplimientos atribuibles a cada oportunidad de fallo). Con estos datos, se calcularon los DPMO, DPO y DPU. A partir de los DPO calculados se obtuvo la proporción *Yield* y posteriormente el nivel Sigma (Anexo 12.1).

Cabe resaltar que, para calcular el nivel Sigma se utilizó la función de distribución estándar de Microsoft Excel (Anexo 12.1). Además, se consideró que las bases de datos disponibles, al ser mensuales, se pudieron definir como conjuntos de datos a corto plazo. Esto implica que, a los cálculos efectuados se les debe aplicar un coeficiente de ajuste de desplazamiento, como se especifica en el apartado 4.1.1 de la sección del Marco Teórico.

El procedimiento desarrollado para calcular el nivel Sigma y la proporción *Yield* se detalla paso por paso en el Anexo 12.1.

También se calculó la proporción de defectos atribuibles a cada especificación. Es decir, el número de incumplimientos producidos en cada una de las oportunidades de fallo. Este análisis se llevó a cabo mensualmente con el fin de estudiar cómo se comportan estas proporciones entre los diferentes meses e identificar cuáles son los principales patrones presentes en los resultados.

Para ciertos meses en particular, los resultados tuvieron diferencias altamente significativas entre las proporciones, principalmente en las tasas de elongación de los últimos dos meses estudiados, como se observa en la sección de resultados de la primera fase. Estas diferencias denotan cambios relevantes en el proceso para estos periodos, por lo que, surgió la necesidad de llevar a cabo un análisis más exhaustivo sobre los defectos por elongación para estos meses. Por ello, para cada mes se calculó la proporción de defectos arriba del rango de tolerancia y debajo del rango de tolerancia, con el fin de identificar sesgos o tendencias en los incumplimientos producidos.

De forma adicional, también se llevaron a cabo entrevistas al supervisor de calidad en el área de operaciones, así como a algunos operarios encargados de manipular los extrusores y verificar los hilos. Dichas entrevistas tuvieron como finalidad aportar a la discusión sobre la diferencia observada en la tasa de defectos atribuidos a la elongación entre los meses de enero y febrero.

Finalmente, con los resultados y la información cualitativa que se obtuvo de las entrevistas, se discutió sobre las posibles causas del comportamiento presentado durante enero y febrero de 2023.

En cuanto al índice de capacidad, o "*C_{pk}*", se trata de un indicador que se emplea para evaluar la capacidad que tiene un proceso de producir unidades dentro de las especificaciones requeridas. Este indicador, a diferencia de los otros dos, se desarrolló mediante métodos que involucran diversas medidas estadísticas y parámetros que solo pueden involucrarse en el análisis a través de la evaluación independiente de las especificaciones.

Es decir, al tratarse de medidas estadísticas como la media, la desviación estándar, límites máximos y mínimos, entre otros, es imposible trazar un análisis que involucre las cuatro oportunidades de fallo al mismo tiempo (denier, ancho, elongación y tenacidad), ya que cada criterio de evaluación maneja sus propios rangos numéricos y especificaciones, y, por ende, cada uno presenta sus propios resultados estadísticos. Incluso el *denier* por sí mismo, es una especificación que debe segmentarse según el tipo de hilo que se maneja, ya que no pueden integrarse o relacionarse dos gramajes de hilo que son totalmente diferentes para llevar a cabo mediciones estadísticas. Estos datos deben filtrarse, debido a que cada variación de hilo maneja diferentes rangos y valores teóricos.

Por ejemplo:

Una muestra para un hilo con denier 640 no puede trabajarse junto a una muestra para un hilo con denier 1090, ya que, al ser dos hilos con un gramaje totalmente diferente, sus mediciones y datos estadísticos también lo serán (diferencias, rangos, media, desviación, máximos y mínimos, etc.).

La limitación anterior también implica desarrollar un análisis más extenso y menos práctico para cumplir con el propósito de la investigación. Por ello, solamente se tomó en cuenta el denier como principal variable de interés, ya que es la especificación más crítica que la empresa considera al momento de evaluar la calidad de los hilos.

Como se mencionó anteriormente, pueden presentarse muestras para varios tipos de denier en una sola base de datos, debido a que el plan de producción que se maneja es bastante amplio. Además, tomando en cuenta que no para todos los tipos de denier hay suficiente información para analizar, surge la necesidad de segmentar y filtrar este criterio de calidad. Por ello, se tomaron en cuenta solamente los tipos de denier que mayor concentración de datos presentaron para cada mes (los que mayor cantidad de observaciones registran), y los que más presencia tuvieron en el estudio (los denieres más comunes con los que se suele trabajar durante cada mes). Y de esta manera, se buscó realizar un análisis para cada tipo de hilo, del cual se obtuvo el índice Cpk correspondiente y la probabilidad de error según la muestra estudiada. Dicho enfoque se puso en práctica para el análisis del índice Cpk presente en esta fase, y posteriormente fue adquiriendo ajustes según las necesidades de los otros análisis. El procedimiento desarrollado para calcular el índice Cpk de cada muestra se detalla paso por paso en el Anexo 12.2.

Después de calcular el índice Cpk para diferentes tipos de hilo por cada mes, se determinó que algunos de los índices diferían en interpretación con los resultados del nivel Sigma y la proporción *Yield*, dando la percepción de generar contradicciones, como se expresa en la sección de discusión de resultados.

Por ello, con el objetivo de demostrar una explicación lógica para la diferencia entre estas interpretaciones, se diseñaron experimentos controlados para buscar comprender el comportamiento del índice Cpk ante diferentes escenarios que puedan presentarse al llevar a cabo el análisis (Figura A189). Estos escenarios se basaron en representar diferentes tipos de distribuciones en un conjunto de datos, considerando sesgos, variabilidad, entre otros factores. Plantear estos escenarios fue de utilidad para explicar las diferencias entre las interpretaciones de los diferentes análisis, permitiendo discutir los diferentes escenarios posibles en una distribución y como estos se reflejan en el estudio real.

Finalmente, es importante mencionar que, como se mencionó con anterioridad, para la estimación del nivel Sigma y el porcentaje de desempeño se evaluó el cumplimiento de las 4 especificaciones de calidad de los hilos. Sin embargo, por las razones expuestas, el índice Cpk , así como el resto de los análisis que se llevaron a cabo en etapas posteriores del proyecto, se desarrollaron tomando en cuenta únicamente el denier como especificación de interés. Este cambio de enfoque se consideró como parte de un acuerdo con la organización para que el proyecto sea alcanzable y presente resultados precisos, debido a

que el análisis y herramientas mencionados utilizan métodos principalmente estadísticos. Lo que, como se mencionó, resulta en un proceso más extenso y laborioso, tomando en cuenta la limitación del periodo de investigación, además que resulta impráctico. Por ello, se acordó que lo más apropiado para ciertas etapas del estudio sería centrarse en el dinero, que es la especificación más crítica, y la comúnmente priorizada al momento de aceptar o rechazar un lote.

De igual manera, otra aclaración que vale la pena comentar, es que el alcance de este proyecto excluye en parte la etapa de “Control” de la metodología DMAIC. En esta etapa se busca monitorear los cambios y mejoras que va presentando el proceso con la implementación de las soluciones. Sin embargo, en este caso no fue posible abarcar dicha etapa, ya que, cabe recalcar que solamente se contó con 8 meses de análisis y desarrollo, el cual es insuficiente considerando que durante esta etapa se necesita de la aprobación entre departamentos, así como el tiempo de implementación y monitoreo, y un nuevo levantamiento de datos para su posterior análisis, entre otros factores. Por tanto, el alcance final del proyecto abarca hasta la propuesta de las soluciones a implementar.

5.2 Resultados

En esta sección se exponen los resultados obtenidos durante la primera fase del proyecto, en donde se encuentra una descripción y diagramado del proceso de extrusión, así como los resultados obtenidos a partir del análisis realizado para determinar el estado actual de la empresa.

5.2.1 Descripción del proceso de extrusión

A continuación, se detallan las etapas que corresponden a la fabricación de empaques industriales dentro de la planta:

Carga del material: La materia prima se carga en silos manualmente para almacenar el material hasta que se necesite. Estos silos funcionan como una fuente de suministro que provee la cantidad de material necesario cuando se requiere. También son conocidos como “dosificadores”. La materia prima se compra a diferentes proveedores, por lo que ya viene lista para procesar al momento de ingresar a la planta.

Alimentación: Los dosificadores se encargan de suministrar el material plástico en la tolva, agregando carbonato de calcio y otros aditivos en concentraciones que corresponden a una formulación establecida. La formulación del material es programada en la computadora del extrusor, donde se indica la concentración de cada material que el dosificador debe descargar en la tolva.

Calentamiento: El material se calienta a altas temperaturas hasta alcanzar su temperatura de fusión, luego se mezcla en el husillo hasta conseguir una masa uniforme y homogénea. La temperatura puede variar entre 200°C y 300°C dependiendo del tipo de hilo

que se quiera extruir. Es importante establecer una temperatura adecuada, ya que de esto dependerá el cumplimiento de ciertas propiedades que debe presentar el hilo.

Extrusión y moldeado: En esta etapa se expulsa la masa fundida a través del dado, formando una película de polipropileno. El espesor de la película está dado por los tornillos, los cuales se abren o se cierran para aumentar o reducir el gramaje (denier). Aquí se involucran dos factores importantes, la presión y la velocidad de extrusión, los cuales influyen directamente en el gramaje del material extruido, por lo que es importante controlarlos durante el proceso.

Enfriamiento: En esta etapa se enfría la película extruida en un baño de agua a una temperatura de 30°C a 40°C, con el fin de solidificar la mezcla extruida.

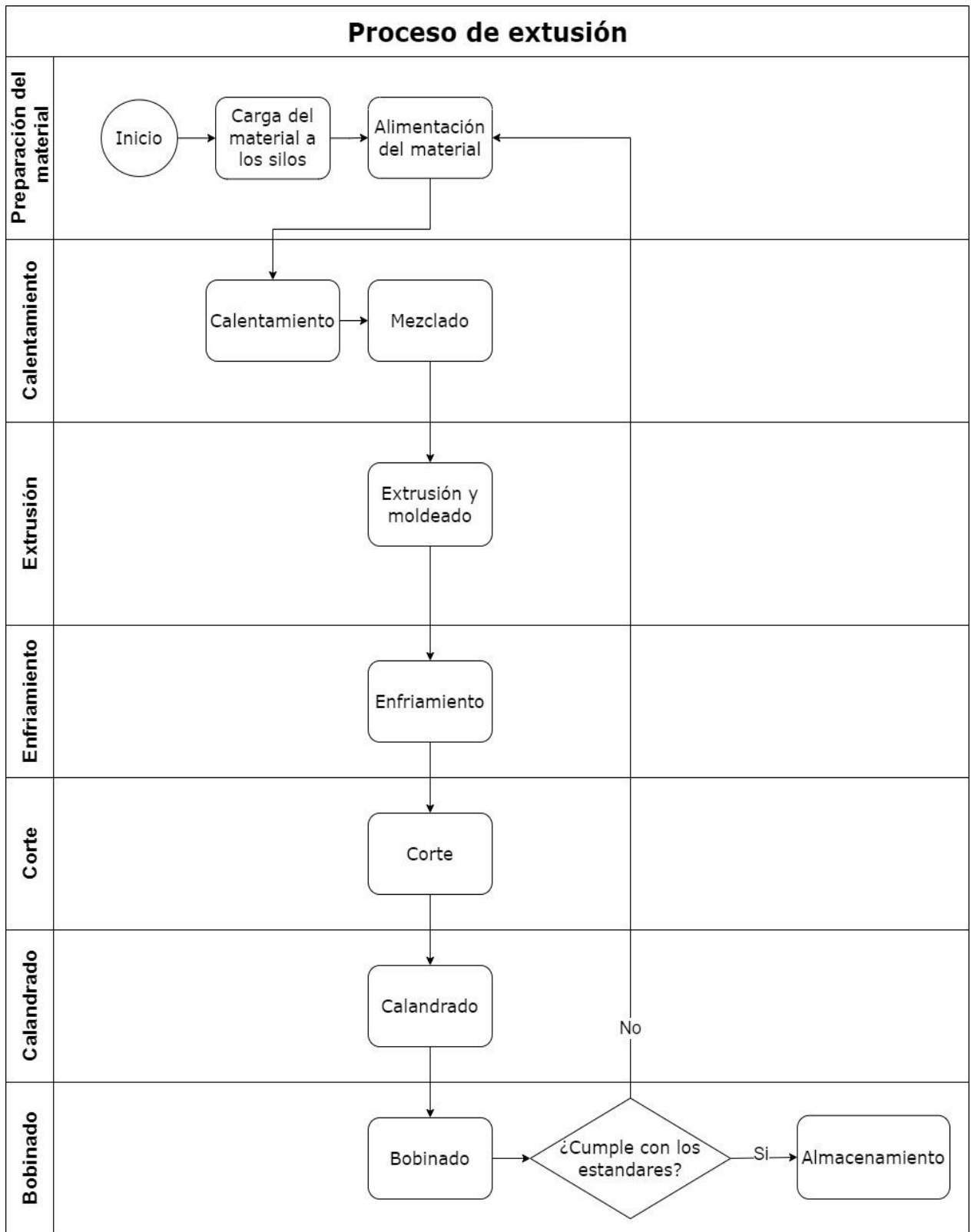
Peinado/Cortado: Una vez que la mezcla se encuentra fría y sólida, se corta el material en todo lo ancho con ayuda de un peine que consta de varias cuchillas.

Calandrado: Luego de cortar la película para formar varios hilos, estos se calandran por medio de dos rodillos metálicos que ejercen presión sobre los hilos. Su función es darle uniformidad a la película extruida para que tenga la misma medida de grosor en toda su superficie.

Bobinado: Es la última etapa del proceso de extrusión. Aquí se enrollan los hilos en diferentes bobinas ordenadas y numeradas en estantes. Unas guías automatizadas ayudan a que sea posible trabajar varios rollos de manera simultánea y sin interrupciones. En esta etapa, existen operarios que se encargan de mantener limpia el área, y evitan que los hilos no se enreden entre sí. Los rollos terminados se almacenan en sacos y se transportan hacia el área de telares.

El proceso de extrusión se ilustra detalladamente en el mapeo de la Figura 4.

Figura 4. Mapeo del proceso de extrusión



Fuente: Elaboración propia, 2023.

5.2.2 Sistema de muestreo y análisis de calidad

Las bobinas obtenidas durante el proceso de extrusión, antes de ser enviadas al área de telares (proceso donde se confeccionan los hilos), se someten a una inspección de calidad, en donde se recoge una muestra de cada rollo cuya longitud es de nueve metros. Esta muestra se lleva al laboratorio para medir el denier (gramos), el ancho (mm), la elongación (cm) y la tenacidad (J/m^3). Si la muestra analizada presenta disconformidades, esta se rechaza. Los rollos que corresponden a las muestras rechazadas durante el análisis se localizan por número y se llevan a reprocesamiento.

El sistema de muestreo se basa en analizar una de cada cinco bobinas, ya que los tornillos de extrusión corresponden a una proporción de la película equivalente a 5 hilos, los cuales se obtienen al cortar la película.

5.2.3 Análisis para determinar el estado actual de la empresa

5.2.3.1 Defectos totales según diferentes especificaciones

Tabla 2. No. Defectos por cada especificación para diferentes meses del periodo 2022-2023

Especificación/Mes	% Defectos por especificación			
	Espesor (<i>Denier</i>)	Ancho	Elongación	Tenacidad
<i>Junio</i>	34%	43%	4%	19%
<i>Julio</i>	40%	34%	3%	23%
<i>Agosto</i>	62%	7%	4%	27%
<i>Septiembre</i>	62%	15%	3%	20%
<i>Octubre</i>	58%	24%	3%	15%
<i>Noviembre</i>	60%	15%	7%	18%
<i>Diciembre</i>	70%	6%	4%	19%
<i>Enero (2023)</i>	19%	21%	50%	10%
<i>Febrero (2023)</i>	22%	9%	50%	19%
Promedio	47%	19%	14%	19%

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Se calculó el porcentaje de defectos atribuibles al incumplimiento de cada especificación, y se determinó que, en promedio, el 47% de los defectos totales son causados debido al incumplimiento en el denier, siendo para la mayoría de las muestras, la principal fuente de error (Tabla 2).

Los resultados también reflejan que, para enero y febrero, el porcentaje de defectos causados por incumplimientos en el denier fue relativamente menor en comparación a los demás meses del segundo semestre de 2022.

Por otro lado, se presentan bajas tasas de error provenientes de incumplimientos en la elongación para la mayoría de los meses, exceptuando enero y febrero de 2023. Para estos meses, la mayor parte de los errores provenían de defectos en la elongación, llegando a tasas del 50%, en ambos casos. Es decir, la mitad de todos los incumplimientos encontrados para estos meses corresponden a la elongación del hilo. Asimismo, se determinó que la tasa de error proveniente del espesor del hilo (denier) para estos meses, fue considerablemente menor en comparación al resto.

La diferencia sustancial presentada en los resultados de enero y febrero, respecto a los otros meses, fue motivo para desarrollar un análisis más exhaustivo sobre los incumplimientos provenientes de la elongación. Los detalles de este procedimiento se encuentran en la sección de metodología.

Los resultados obtenidos reflejaron que, para ambos meses, la mayoría de los incumplimientos producidos en la elongación se encuentran por debajo del límite inferior de la especificación, con proporciones de 84% y 86%, respectivamente (Figura A45 y Figura A46).

5.2.3.2 Indicadores mensuales de cumplimiento y calidad

5.2.3.2.1 Porcentaje de cumplimiento mensual a través de la proporción Yield

Tabla 3. Proporción Yield para diferentes los diferentes meses del periodo 2022-2023

% de Cumplimiento	
Mes	% Yield
Junio	84%
Julio	83%
Agosto	87%
Septiembre	88%
Octubre	90%
Noviembre	90%
Diciembre	93%
Enero (2023)	77%
Febrero (2023)	80%

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Diciembre se registra como el mes con mayor porcentaje de cumplimiento, con una proporción Yield de 93%, seguido por octubre y noviembre, que presentan un cumplimiento del 90% en ambos casos.

El mes con menor porcentaje de cumplimiento registrado fue febrero del 2023, con una proporción Yield del 80%

5.2.3.2.2 Nivel Sigma

Al realizar el cálculo correspondiente para determinar los DPO, DPMO y DPU de cada muestra mensual, se determinó que el proceso de extrusión se encuentra en promedio, sobre un nivel Sigma de 2.63, para el periodo establecido. Esto refleja que el proceso cabe dentro de lo aceptable, sin embargo, aún existe un gran margen de mejora que puede lograrse a través del análisis y corrección de las deficiencias existentes en el proceso. En la Tabla 4 se presenta un resumen del nivel Sigma calculado para cada uno de los meses del periodo establecido, donde se incluyen los respectivos DPMO de cada mes.

Tabla 4. Nivel Sigma y DPMO para diferentes meses

Nivel Sigma Mensual 2022-2023		
Mes	Nivel Sigma	DPMO
Junio	2.48	163,490
Julio	2.44	172,805
Agosto	2.64	127,200
Septiembre	2.67	121,898
Octubre	2.78	100,490
Noviembre	2.78	99,496
Diciembre	2.96	72,429
Enero (2023)	2.48	233,446
Febrero (2023)	2.44	195,159

Fuente: Elaboración propia, 2023.

En la Figura 5 puede observarse el comportamiento gráfico del nivel Sigma a través del tiempo.

Figura 5. Evolución mensual del nivel Sigma para proceso de extrusión durante periodo 2022-2023



Fuente: Elaboración propia, 2023.

La gráfica refleja que el indicador de calidad crece con el avance de cada mes partiendo de junio, llegando al máximo nivel de calidad en diciembre, y luego disminuyendo drásticamente durante enero y febrero de 2023.

5.2.3.2.3 Índice de la capacidad del proceso (C_{pk})

Tabla 5. Índice de la capacidad del proceso para 5 muestras (evaluado para el denier) – junio

Junio					
Tipo de Denier	Promedio	Desv. Estándar	Tolerancia	C_{pk}	Probabilidad de error
Denier 640	649.7	32.77	64	0.226	35.00%
Denier 650	652.2	35.64	65	0.283	36.27%
Denier 800	798.0	39.03	80	0.325	30.61%
Denier 1090	1,092.2	50.01	109	0.349	27.63%
Denier 2165	2,186.7	115.07	216.5	0.251	35.54%

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Según los resultados presentados en la Tabla 5, puede observarse que ninguna de las muestras analizadas cuenta con un índice C_{pk} mayor a 1. Por ende, se infiere que el proceso no es capaz de producir dentro de las especificaciones en ninguno de los casos.

Además, puede observarse que la muestra del denier 1,090 cuenta con el mayor índice C_{pk} en comparación a los demás tipos de hilo, con una probabilidad de error correspondiente de 27.63%.

La media del índice C_{pk} obtenido de los 5 casos es de 0.287, con una probabilidad de ocurrencia de error respectiva de 33.01%.

Tabla 6. Índice de la capacidad del proceso para 5 muestras (evaluado para el denier) – julio

Julio					
Tipo de Denier	Promedio	Desv. Estándar	Tolerancia	C_{pk}	Probabilidad de error
Denier 640	649.6	45.93	64	0.162	49.55%
Denier 650	661.0	37.53	65	0.191	40.66%
Denier 750	752.6	54.02	75	0.215	48.81%
Denier 800	796.2	33.78	80	0.358	23.92%
Denier 1090	1,091.4	59.91	109	0.296	36.31%

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Según los resultados de la Tabla 6, puede observarse que en julio se tiene una menor capacidad del proceso para cumplir con las especificaciones. En este caso, el denier 800 fue la muestra que alcanzó el mayor índice C_{pk} , siendo este de 0.358, y con una probabilidad de error respectiva de 23.92%.

Por otro lado, el denier 640 presentó la menor tasa de capacidad, siendo esta de 0.162, y teniendo una probabilidad de error del 49.55%.

La media estimada para el índice C_{pk} de este mes fue de 0.244, y manteniendo una probabilidad de error del 39.85%.

Tabla 7. Índice de la capacidad del proceso para 5 muestras (evaluado para el denier) – agosto

Agosto					
Tipo de Denier	Promedio	Desv. Estándar	Tolerancia	C_{pk}	Probabilidad de error
Denier 640	649.0	46.87	64	0.164	50.27%
Denier 650	658.0	38.59	65	0.212	40.96%
Denier 800	802.0	56.80	80	0.223	48.16%
Denier 1090	1,097.9	66.79	109	0.233	41.78%
Denier 2165	2,183.0	133.75	216.5	0.225	42.25%

Fuente: Elaboración propia, 2023.

En agosto se promedió un índice C_{pk} de 0.211 para todos los casos conjuntamente, y teniendo una probabilidad de error del 44.68%. Aunque fue el índice más alto, se encuentra muy por debajo de 1, por lo que se considera que el proceso no es capaz para ninguna de las muestras analizadas.

Para este mes, el denier 1,090 tuvo la muestra con un mayor índice C_{pk} , siendo este de 0.233, con una probabilidad de error de 41.78%. Nuevamente, el denier 640 presentó el menor índice C_{pk} en comparación a las otras muestras, siendo dicho índice de 0.164, con una probabilidad de error del 50.27%.

Tabla 8. Índice de la capacidad del proceso para 5 muestras (evaluado para el denier) – septiembre

Septiembre					
Tipo de Denier	Promedio	Desv. Estándar	Tolerancia	C_{pk}	Probabilidad de error
Denier 640	654.1	46.64	64	0.128	51.21%
Denier 650	664.3	43.37	65	0.140	47.76%
Denier 720	724.8	40.69	72	0.256	37.96%
Denier 800	806.1	49.46	80	0.228	42.22%
Denier 1090	1,092.2	76.21	109	0.229	47.47%

Fuente: Elaboración propia, 2023.

La Tabla 8 presenta los resultados del análisis C_{pk} para septiembre. Según los resultados, el proceso no se considera capaz para ninguna de las muestras.

En la tabla se refleja que la muestra con mayor índice C_{pk} fue el denier 720, siendo dicho índice de 0.256, con una probabilidad de error de 37.96%.

El índice C_{pk} promedio fue de 0.196, con una probabilidad de error respectiva de 45.32%.

De igual manera, también se puede observar, según la Tabla 8, que las muestras presentan resultados semejantes, con poca variación entre sí.

Tabla 9. Índice de la capacidad del proceso para 5 muestras (evaluado para el denier) – octubre

Octubre					
Tipo de Denier	Promedio	Desv. Estándar	Tolerancia	C_{pk}	Probabilidad de error
Denier 680	696.4	37.27	68	0.158	40.63%
Denier 720	726.7	34.96	72	0.279	31.19%
Denier 800	799.3	46.67	80	0.281	39.14%
Denier 1090	1,101.0	61.42	109	0.236	38.26%
Denier 2165	2,162.5	117.80	216.5	0.299	35.83%

Fuente: Elaboración propia, 2023.

La Tabla 9 presenta los resultados del análisis C_{pk} para octubre, en donde se puede observar que el mayor índice de capacidad pertenece a la muestra del denier 2,165, logrando un índice de 0.299 y una probabilidad de error de 35.83%. Dicho índice sigue siendo inferior a 1, por lo que el proceso no se considera capaz para ninguno de los casos.

Cabe resaltar que, aunque el denier 2,165 tiene el mayor índice C_{pk} , este no precisamente tiene la menor probabilidad de error. La menor probabilidad de error la tiene el denier 720.

Tabla 10. Índice de la capacidad del proceso para 5 muestras (evaluado para el denier) – noviembre

Noviembre					
Tipo de Denier	Promedio	Desv. Estándar	Tolerancia	C_{pk}	Probabilidad de error
Denier 720	729.2	32.24	72	0.278	28.32%
Denier 800	804.7	42.43	80	0.278	34.87%
Denier 920	924.9	45.52	92	0.301	31.50%
Denier 1090	1,098.8	66.7	109	0.228	41.79%
Denier 2165	2,143.2	150.75	216.5	0.191	47.73%

Fuente: Elaboración propia, 2023

La Tabla 10 presenta los resultados del análisis C_{pk} para noviembre.

Se observa que noviembre refleja mejores resultados en comparación con otros meses, puesto que, en este caso, se tienen menores probabilidades de error a nivel general. Sin embargo, el proceso aún no se considera capaz.

El mayor índice C_{pk} pertenece a la muestra del denier 920, siendo dicho índice de 0.301. Sin embargo, la menor probabilidad de error se encuentra en el análisis del denier 720. Esto indica que el denier 720 tiene una menor variabilidad con respecto al denier 920. No obstante, su índice C_{pk} fue de 0.278, menor al denier 920.

La media estimada del índice C_{pk} para el mes actual fue de 0.255, con una probabilidad de error respectiva de 36.84%.

Tabla 11. Índice de la capacidad del proceso para 5 muestras (evaluado para el denier) – diciembre

Diciembre					
Tipo de Denier	Promedio	Desv. Estándar	Tolerancia	C_{pk}	Probabilidad de error
Denier 650	651.2	30.44	65	0.343	28.60%
Denier 800	797.5	30.18	80	0.415	18.65%
Denier 920	933.1	55.06	92	0.199	41.67%
Denier 1090	1,090.7	50.38	109	0.356	27.94%
Denier 2165	2,162.5	123.64	216.5	0.285	38.14%

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Según los resultados presentados en la Tabla 11, puede observarse que el denier 800 es la muestra que presenta el índice C_{pk} más alto, siendo este de 0.415, con una probabilidad de error del 18.65%. Sin embargo, dicho índice es inferior a 1, por lo que el proceso no se considera capaz.

El índice medio estimado fue de 0.320, con una probabilidad de error de 31%.

Tabla 12. Índice de la capacidad del proceso para 5 muestras (evaluado para el denier) – enero

Enero					
Tipo de Denier	Promedio	Desv. Estándar	Tolerancia	C_{pk}	Probabilidad de error
Denier 375	380.2	10.51	37.5	0.43	11.01%
Denier 400	397.9	16.09	40	0.371	21.78%
Denier 425	425.7	9.56	42.5	0.715	2.67%
Denier 850	850.9	42.57	85	0.326	31.82%
Denier 1100	1,126.3	70.82	110	0.135	46.82%

Fuente: Elaboración propia, 2023.

La Tabla 12 presenta los resultados obtenidos del análisis C_{pk} para enero. Durante este mes, se pudieron observar resultados más estables. En este caso, el denier 425 obtuvo el mayor índice alcanzado, el cual fue de 0.715, con una probabilidad de error de 2.67%. A nivel general, pueden observarse mayores índices en comparación con otros meses.

Tabla 13. Índice de la capacidad del proceso para 5 muestras (evaluado para el denier) – febrero

Febrero					
Tipo de Denier	Promedio	Desv. Estándar	Tolerancia	C_{pk}	Probabilidad de error
Denier 375	377.4	13.84	37.5	0.393	18.23%
Denier 425	432.7	20.1	42.5	0.224	32.54%
Denier 650	646.8	15.59	65	0.627	4.11%
Denier 850	860.8	43.55	85	0.243	34.38%
Denier 2400	2,350.4	128.42	240	0.183	38.51%

Fuente: Elaboración propia, 2023.

La Tabla 13 presenta los resultados obtenidos del análisis C_{pk} para febrero. Se puede observar que, durante este mes, el mayor índice de capacidad alcanzado pertenece al

denier 650. Dicho índice fue de 0.627, con una probabilidad de error de 4.11%. La media del índice Cpk fue de 0.334, con una probabilidad de error de 25.55%.

5.2.4 Información recabada a partir de entrevistas

Las entrevistas realizadas a colaboradores, supervisores y encargados de diferentes áreas se llevaron a cabo con el previo consentimiento informado. Se implantó esta acción con el objetivo de salvaguardar la integridad ética de la investigación y asegurar a los participantes que su involucramiento fue completamente voluntario e informado. Es importante señalar que se contó con el respaldo del gerente del departamento de calidad, encargado de supervisar y dar seguimiento a la investigación.

Para esta fase del proyecto, se llevó a cabo una entrevista con la finalidad de obtener información cualitativa que permitiera complementar los resultados de los análisis obtenidos. La entrevista realizada se dirigió al supervisor de calidad en el área de operaciones, con amplio conocimiento en el proceso de extrusión, así como en los aspectos más relevantes que influyen en la calidad de los hilos.

5.2.4.1 Entrevista al supervisor de calidad en el área de operaciones

Tras entrevistar al supervisor de calidad de turno en el área de operaciones, con el fin de recabar información relevante sobre las variaciones de la elongación presentes en los hilos durante enero y febrero, se recabó la siguiente información:

- a. Todos los denieres llevan un 20% de carbonato de calcio en la mezcla (esta proporción puede variar en leves cantidades según el tipo de resina empleada).
La variación en las concentraciones de carbonato de calcio puede influir significativamente en la elongación. Sin embargo, este factor no produce efectos significativos sobre el comportamiento de otras especificaciones, como el gramaje o el ancho (el ancho solamente se ve afectado por los peines).
- b. Los factores que más pueden influir sobre la calidad del denier son los siguientes:
 - i. La velocidad del extrusor
 - ii. Calibración de los tornillos
 - iii. Funcionamiento de rodillos
 - iv. Materia prima
 - v. Temperatura de extrusión
- c. Las termocuplas presentan el riesgo de quemarse con el uso prolongado. Cuando esto sucede, unos adaptadores integrados que detectan el fallo en el indicador mandan una señal de advertencia al sistema para avisar al operario que el dispositivo presenta problemas.
- d. Los dosificadores necesitan calibrarse, ya que son indispensables para que la formulación de la mezcla sea lo más exacta y precisa posible. Variaciones significativas en la concentración del polímero, el carbonato u otros aditivos pueden afectar a las

propiedades de la mezcla durante la extrusión, entre ellas, la elongación, la homogeneidad, la uniformidad del hilo, etc.

5.3 Análisis y discusión de resultados

Luego de analizar el cumplimiento actual del proceso de extrusión según los indicadores establecidos, se determinó el estado actual de la empresa en términos de calidad, con base en la evaluación de los resultados obtenidos para los diferentes análisis desarrollados. En primer lugar, se evaluaron los porcentajes de defectos atribuibles al incumplimiento de cada especificación del hilo (Tabla 2). Los resultados reflejan que, de junio a diciembre de 2022, las tasas de error provenían, en su mayoría, de incumplimientos en el gramaje (expresado como denier). Mientras que, para enero y febrero de 2023, las tasas de error provenían, en su mayoría, de incumplimientos en la elongación.

La diferencia del comportamiento entre ambos grupos fue altamente significativa, y se percibe al analizar las tasas de error que provienen de la elongación, puesto que, para los meses de 2022, las tasas de error atribuibles a dicha especificación fueron inferiores al 10% de los incumplimientos totales. Por otro lado, enero y febrero presentaron tasas de error atribuibles a la elongación del 50%, en ambos casos. Estos datos reflejan que, durante los últimos dos meses analizados, hubo factores o condiciones particulares en el proceso que no se presentaron en otros meses, y que terminaron afectando al nivel de cumplimiento en la elongación. En su momento, se entrevistó al personal de trabajo, así como al respectivo supervisor de turno para obtener información al respecto, buscando determinar si durante estos meses se habían observado cambios significativos en la calidad del proceso, y si el problema en cuestión era parte de un evento aislado o se trataba de algo más persistente. Sin embargo, no se obtuvieron respuestas concluyentes, así que se optó por obtener respuestas a través del análisis de posibles causas involucradas.

Los resultados apuntan a que la variación en el comportamiento de las tasas de error se debe a factores relacionados con la alimentación de la materia prima al extrusor, durante la etapa de dosificación. Además, parte de los hallazgos encontrados a partir de entrevistas con diferentes colaboradores y supervisores sugieren que, diferentes concentraciones en el carbonato de calcio pueden provocar variaciones significativas en la elongación de los hilos. La literatura confirma que existe una relación inversamente proporcional entre la concentración de carbonato de calcio y la distancia de elongación, expresando que dicha distancia disminuye a medida que la concentración de este compuesto aumenta y viceversa (Lozano, 2014).

A partir de este hallazgo, se vio la necesidad de desarrollar un análisis más extenso sobre los defectos por elongación producidos durante enero y febrero. Los resultados de este análisis sugieren que la alta tasa de defectos atribuidos a la elongación se debió al uso de una alta concentración de carbonato de calcio en la mezcla de extrusión. Se llegó a este argumento luego de determinar que la proporción de incumplimientos por debajo del rango

de tolerancia (reflejando menor elongación de la necesaria) fue significativamente mayor en ambos meses (Figura A45 y Figura A46).

Sin embargo, también existe la posibilidad de que la alta cantidad de defectos por elongación se deba a otros factores como la temperatura o la velocidad del extrusor. Por un lado, mantener la temperatura a niveles adecuados es crucial en el proceso de extrusión, ya que una temperatura muy elevada podría producir una mezcla más maleable, lo que a fin de cuentas vuelve al hilo más propenso a estirarse. En cuanto a la velocidad de extrusión, cabe resaltar que una velocidad muy alta no puede darle tiempo suficiente al hilo para enfriarse y solidificarse en los chillers, por lo que este se termina estirando.

Estos dos factores tienen la capacidad de influir en la elongación del hilo, sin embargo, se consideran escenarios poco probables por dos motivos principales. En primer lugar, los operarios verifican constantemente los indicadores de temperatura y velocidad de extrusión para cada corrida (según el supervisor, aunque no puede garantizarse que así sea en el 100% de los casos, debido a que no se hacen monitoreos al respecto). Esto implica que, haber presentado problemas con el control de estos factores en más de una ocasión, habría sido motivo suficiente para advertir al personal de mantenimiento sobre la falla técnica y corregir la deficiencia lo antes posible, según lo indicado en el manual de procedimiento para puesta a punto del extrusor (Figura A190). Sin embargo, el problema permaneció durante más de dos meses. En segundo lugar, de ser este el caso, las otras propiedades del hilo también se hubiesen visto afectadas, puesto que la temperatura y la velocidad de extrusión también afectan directamente al espesor y la tenacidad del hilo, según entrevistas hechas a los encargados de procesos y operaciones.

Esto da lugar a una tercera explicación, que la composición de la mezcla de extrusión tenga irregularidades en alguno de los compuestos y termine por afectar a las propiedades del hilo. Esta también se considera una causa poco probable, ya que, si hubiera irregularidades en la fibra o el polímero como tal, no solo se verían efectos en la elongación, sino también en las otras especificaciones.

A raíz de todo esto, la explicación más razonable, según los argumentos presentados, es que el dosificador tuvo problemas de calibración durante varios días, pasando desapercibido en el proceso, y produciendo variaciones significativas en las proporciones administradas del carbonato de calcio. Además, este argumento cobra mayor solidez luego de realizar entrevistas a los encargados de mantenimiento y calibración, y determinar que, en la planta, no se llevan a cabo pruebas frecuentes de dosificación para probar el funcionamiento adecuado de estos dispositivos. Por ello, a partir de las evidencias y los argumentos que sustentan esta explicación, se considera altamente probable que los dosificadores no funcionaron adecuadamente durante los meses de enero y febrero.

A partir de los resultados obtenidos de junio a diciembre, también se recabó información por medio de entrevistas a colaboradores de diferentes departamentos, con el fin de encontrar una explicación para la alta tasa de incumplimientos provenientes del espesor en estos meses. Se encontró que, normalmente, el espesor es la principal fuente de error para la mayoría de los casos debido a que el cumplimiento de esta especificación está dado por varios factores. Aquí no solamente se involucran factores como la mezcla, la

temperatura y la velocidad de extrusión, sino que esta característica también se encuentra asociada a otras condiciones de operación propias del extrusor, como el ajuste de los tornillos de extrusión, el aumento del holding o el ajuste de rodillos. Por estas razones se expresa que, bajo condiciones normales, el proceso tiende a generar mayores incumplimientos atribuibles al espesor, llegando a representar en algunos casos incluso más de la mitad de los defectos totales.

El análisis del nivel sigma mensual propuesto para el periodo de estudio se presenta en la Tabla 4 de la sección de resultados. Se muestra que el indicador Sigma fue más alto en diciembre en comparación con otros meses, mientras que el menor indicador se registró en julio y febrero. En la Figura 5 de la sección de resultados, se muestra el comportamiento gráfico que tuvo el indicador Sigma a lo largo del periodo estudiado. Se observó que durante la segunda mitad del 2022 hubo una mejora sustancial de este indicador, aumentando de un índice inicial de 2.48 a un índice de 2.96. A partir de allí, se observó un decrecimiento significativo para los primeros dos meses de 2023. Esto se debe a que, como se explicó anteriormente, enero y febrero presentaron problemas en el cumplimiento de la elongación, factor que la empresa no considera tan crítico al momento de aceptar o rechazar un lote, pero que, a fin de cuentas, resulta en un menor nivel de cumplimiento a nivel general. Los índices del indicador Sigma calculados para enero y febrero de 2023 fueron 2.48 y 2.44, respectivamente (Tabla 4).

Por otra parte, en la Tabla 3 de la sección de resultados, se encuentra un resumen con la proporción Yield calculada para cada mes del periodo estudiado. Se puede observar que el rendimiento porcentual para cada mes corresponde al nivel del indicador sigma, expresando que, durante noviembre, se alcanzó un cumplimiento total del 93%, mientras que, para enero y febrero, se percibió un rendimiento del 77% y 80%, respectivamente.

En la dirección de explicar el aumento observado en el cumplimiento del proceso durante la segunda mitad del 2022, se llevó a cabo una entrevista directa con el gerente de calidad para discutir sobre las causas de esta mejora. En ella se detalló que a partir de mayo de 2022 se estuvo implementando un programa de mejora, el cual se enfocó en un mayor monitoreo del proceso a nivel general, en donde los supervisores y encargados jugaron un rol importante al fomentar la comunicación abierta entre los colaboradores de distintas áreas, así como la introducción de prácticas más eficientes para la medición y análisis de datos. Además, este programa estableció, como regla general, que para todos los hilos debía implementarse un ajuste en los tornillos de -10 denier. Este ajuste se consideró necesario debido a que los extrusores tienen una ligera tendencia a producir sobre el límite superior del rango de tolerancia, por lo que esta leve modificación permitió compensar dicha tendencia en el proceso.

El análisis de los resultados permitió determinar que el programa de mejora implementado tuvo efectos significativos sobre la calidad del proceso, tal como se observa en la Figura 5 de la sección de resultados. Sin embargo, se dificulta llegar a una conclusión definitiva en cuanto a la mejora percibida, ya que la variación en el comportamiento observada durante enero y febrero representa una obstrucción en el análisis y la predicción de futuros comportamientos.

Además del nivel Sigma y la proporción *Yield*, se calculó el índice de la capacidad del proceso (*Cpk*) para los denieres más relevantes de cada mes. Los resultados presentados de la Tabla 5 a la Tabla 13 de la sección de resultados, indican que el proceso no fue capaz de producir dentro de las especificaciones en ningún momento del periodo estudiado, para ninguno de los denieres analizados (los criterios de evaluación se encuentran en la sección del marco teórico).

A nivel general, pudo observarse que los denieres no presentaron cambios significativos en la capacidad del proceso a través de los diferentes meses analizados, puesto que los valores del índice *Cpk* se mantuvieron en un rango cercano para varios meses en la mayoría de los casos.

Por otra parte, cabe mencionar que, al comparar los meses, se determinó que diciembre, enero y febrero fueron los periodos con mejores índices. Sin embargo, cabe resaltar que los resultados de enero y febrero no son equiparables a los de otros meses, ya que el análisis de la capacidad se centró en estudiar específicamente el espesor (denier), que es la especificación más relevante en este estudio y la mayor fuente de error (comúnmente) en el proceso de extrusión (exceptuando estos meses). Enero y febrero le atribuyeron la mayor parte de los defectos encontrados a la elongación del hilo, en vez del espesor, por lo que, al tener diferencias significativas entre las tasas de error de estas especificaciones, resulta evidente que el proceso para estos meses pueda dar la percepción de ser más capaz que en otros, a pesar de haber sido más deficientes.

Por otra parte, los bajos índices de capacidad presentados a nivel general no parecen coincidir con los resultados del rendimiento porcentual calculado para cada mes. Diciembre, por ejemplo, presentó una proporción *Yield* del 93%, la cual es bastante aceptable. Sin embargo, el análisis de la capacidad indica que el proceso no fue capaz de producir dentro de las especificaciones, según los criterios establecidos para su evaluación. Esta conclusión se obtiene al observar que, de los denieres analizados durante este mes, el denier 800 presentó el índice más alto, con un valor de 0.415, reflejando un proceso ineficiente.

La discrepancia entre los resultados de ambos análisis despertó inquietud sobre la validez de los métodos utilizados, por lo que se desarrollaron pruebas experimentales para estudiar el comportamiento del índice *Cpk* ante diferentes escenarios, con el fin de justificar la divergencia entre estos resultados (Figura A189). Los hallazgos permitieron explicar que el índice *Cpk* reacciona de diferente manera ante ciertas variaciones, representadas por tres diferentes escenarios. El primer escenario plantea que cuando la mayoría de los datos tienden a estar por arriba de la especificación nominal (presentando poca dispersión), pero permanecen dentro de los límites de tolerancia, el índice *Cpk* aumenta a valores no mayores que uno. El segundo escenario plantea que cuando la mayor parte de los datos tiende a estar por debajo de la especificación nominal (presentando poca dispersión), pero respetando los límites de tolerancia, el *Cpk* tendrá valores inferiores, pero mayores que uno. Y, por último, el tercer escenario plantea que, cuando los datos presentan altos niveles de variabilidad, (ya sea que la distribución de datos sea variable pero uniforme o presente sesgos), el índice será inferior. En este tercer escenario se expresa que, a medida que mayor sea la

variabilidad, o bien, mayor sea la distancia entre el promedio y la especificación nominal, entonces, el índice Cpk será menor.

En el presente estudio, se determinó que, para la gran mayoría de los casos se presenta un escenario de tipo 3, puesto que en varias de las muestras se percibe una alta variabilidad, así como sesgos que se extienden mayormente hacia el límite superior. Esto se comprobó en análisis posteriores que se detallan más adelante.

Las pruebas experimentales también permitieron identificar que, entre más concentrados se encuentren los datos alrededor de la media (es decir, menos dispersos), mayor será el índice Cpk , ya que la desviación de los datos será menor. En otras palabras, se busca que la distancia porcentual entre la media y la especificación nominal sea la menor posible, y que, además, esta media también se encuentre acompañada de una baja desviación.

Por otra parte, al comparar las diferencias de enfoque entre el análisis del índice Cpk y la proporción $Yield$, se determinaron dos factores clave que también permiten explicar la discrepancia en los datos presentados.

En primer lugar, la proporción $Yield$ se obtiene a partir de los defectos de una muestra. Este indicador no considera la variabilidad, ni la dispersión, ni los sesgos presentes en una muestra, mientras que el índice de la capacidad sí lo hace. La proporción $Yield$ solamente determina el desempeño del proceso a través del cumplimiento, basándose en la cantidad de defectos presentes en un conjunto de datos.

Por otro lado, el análisis de la capacidad se obtiene a partir de la relación entre los límites de especificación y la media, en respuesta a la variabilidad reflejada en la desviación. Aquí se considera la dispersión de los datos, así como los efectos de las tendencias explicadas en los primeros dos escenarios.

En el presente estudio, se pudo observar que en la mayoría de los casos se obtuvo una proporción $Yield$ aceptable, pero un bajo índice Cpk . Esto se debe a que los conjuntos de datos siguen una distribución tal que reflejan altos niveles de variabilidad, produciendo observaciones con valores cercanos a los límites, pero sin llegar al incumplimiento. De esta manera, la distribución presenta una dispersión en los datos que produce un aumento en la desviación estándar, resultando en un menor índice de la capacidad.

Según la interpretación de los resultados del análisis de la capacidad, también se expresa que, como regla general, mientras mayor sea el índice Cpk , mayor capacidad tendrá el proceso para producir dentro de las especificaciones. Por ende, la probabilidad de error disminuirá.

No obstante, dicho argumento no se cumplió para la mayoría de los análisis, como se puede observar en la sección de resultados, sin embargo, se comprobó que esta relación inversa no siempre se cumple. Destaca el caso de los denieres 650 y 750, analizados en el mes de julio. Al comparar los resultados de ambos análisis, puede observarse que, para el denier 750, se observó un proceso más capaz que para el denier 650, y que, a pesar de ello, el denier con menor índice tuvo una probabilidad de error significativamente menor (Tabla

6). Estos comportamientos anormales se deben a que no todas las distribuciones analizadas presentan un comportamiento normal, afectando a los cálculos de la probabilidad acumulada.

6. SEGUNDA FASE: ANÁLISIS DE VARIABILIDAD

6.1 Metodología

Luego de evaluar el estado actual del proceso mediante el cálculo de los indicadores propuestos, se llevaron a cabo análisis estadísticos con el fin de estudiar la variabilidad y el nivel de incumplimiento mensual en el proceso de extrusión.

Para cumplir con lo anterior, se seleccionaron las herramientas de Six Sigma más adecuadas, según las necesidades específicas del proyecto. Estas herramientas se enfocaron en demostrar el comportamiento de la variabilidad en el proceso de forma clara y evidencial.

Para ello, se continuó trabajando con las bases de datos mensuales del periodo de **junio 2022 - febrero 2023**, para llevar a cabo los análisis correspondientes. En este caso, el enfoque principal se basó en reducir la variabilidad y la presencia de defectos en el proceso de extrusión. Por ello, se consideró la implementación de gráficos de control que permitieran conocer el nivel de variabilidad en el proceso a lo largo de diferentes fechas, así como de forma general, tomando en cuenta el gramaje del hilo (denier) como variable de interés.

Cabe mencionar que, durante esta fase de la metodología propuesta, se hicieron leves ajustes en el enfoque de estudio planteado inicialmente. En vez de analizar los tipos de denier con mayor concentración de datos durante cada mes, se identificó también cuáles eran los denieres que más presencia tenían durante los meses del periodo estudiado. Es decir, se tomaron en cuenta los denieres que se registraron con mayor frecuencia mensual dentro de los tipos principales dentro de las bases de datos.

Este ajuste en el enfoque fue necesario para conseguir un análisis más completo y con menos ambigüedad en la interpretación, ya que los gráficos de control se segmentaron por fechas, lo que implica que debe contarse con un tamaño de muestra considerablemente grande para un análisis apropiado (no todas las muestras presentan una cantidad adecuada de datos para el análisis). Además, este ajuste también permitió una mayor estandarización en el análisis de los resultados, asegurando consistencia y fiabilidad en la interpretación realizada.

También cabe aclarar que, para algunos denieres, no se incluyeron los resultados de algunos meses, debido a la falta de fechas registradas, o bien porque estos resultados no fueron suficientemente concluyentes durante la interpretación de los mismos, por lo que fueron descartados. De esta manera, los denieres que se tomaron en cuenta para el análisis correspondiente se listan a continuación:

- Denier 640
- Denier 650
- Denier 720
- Denier 800
- Denier 850
- Denier 920
- Denier 1,090
- Denier 2,165

En cuanto al desarrollo de los gráficos como tal, es importante tener en cuenta que los límites de cumplimiento establecidos en estos gráficos se calcularon a partir del promedio y la tasa media de defectos de la muestra, y no a partir de los rangos de tolerancia especificados para el cumplimiento del denier (-5% y +5% respecto al valor nominal).

Este enfoque se consideró principalmente porque al usar los rangos de tolerancia normales se hubiera requerido promediar las observaciones del denier en cada fecha para poder trazar los puntos de la gráfica. Sin embargo, este método no permitiría obtener resultados precisos, ya que al promediar las observaciones para cada fecha se está buscando un acercamiento forzado a los límites centrales, lo que podría dar la falsa noción de que el proceso se encuentra controlado y estable, cuando en realidad no es así.

Por ello, el enfoque establecido para llevar a cabo los gráficos de control consistió en definir límites basados en la media, la desviación y el porcentaje de error presente en la muestra. El procedimiento que se llevó a cabo para desarrollar los gráficos de control se detalla paso por paso en el Anexo 12.3.

Siguiendo estas consideraciones, primero se desarrolló un análisis general, para estudiar cómo se comportan diferentes tipos de denier para diferentes meses. El enfoque consistió en extraer los datos que corresponden al denier analizado de cada uno de los meses involucrados (aquellos que registran datos del denier de interés), y agrupar dichos datos en una base de datos general. De esta manera, el análisis considera el comportamiento del proceso a lo largo de todo el periodo estudiado para cada tipo de hilo, y el gráfico de dispersión respectivo presenta una distribución más amplia y general. De manera posterior, se realizó la segmentación detallada anteriormente para diferentes periodos (meses), esto con el fin de estudiar de manera más específica el comportamiento del proceso, permitiendo identificar tendencias y patrones que puedan contribuir en el análisis realizado.

Además de los gráficos de variabilidad, también se implementaron sistemas de control desarrollados a partir del análisis estadístico y gráfico de los datos de la distribución. Estos sistemas tuvieron como principal objetivo determinar si el proceso se encuentra bajo control según la tasa media de defectos en cada muestra analizada. El análisis se llevó a cabo aplicando el mismo enfoque utilizado para los gráficos de variabilidad. Sin embargo, se excluyeron los denieres 850 y 920, debido a que los resultados no fueron suficientemente concluyentes por los pocos meses registrados.

El primer paso para desarrollar los sistemas de control fue calcular las estadísticas descriptivas más relevantes por medio de funciones básicas de Microsoft Excel (ver Anexo 12.4), principalmente las medidas de tendencia central. Este procedimiento fue de vital importancia para poder determinar el nivel de simetría que presenta la distribución. Esta simetría se midió a través de la diferencia porcentual entre la media y la mediana. Entre menor sea esta diferencia, más se podrá considerar que la distribución es simétrica en torno al valor central que comparten la media y la mediana. Por otro lado, si la diferencia porcentual es alta, se considera que la distribución es asimétrica en torno al valor central de la distribución.

Luego de calcular las medidas de tendencia central, se desarrolló una distribución normal por medio de una segmentación de datos realizada a partir de la media y la desviación de la muestra, con el fin de elaborar una campana de Gauss para el análisis gráfico y cuantitativo de la distribución. El análisis gráfico consistió en determinar el nivel de dispersión y homogeneidad en el conjunto de datos. La homogeneidad se reflejó por medio del número de intervalos en el gráfico. Entre más intervalos, más heterogénea se considera la distribución, es decir, mayor dispersión hay en los datos.

Además, también se calcularon las medias desplazadas a 3 desviaciones estándar por cada lado del valor central. Esto también permitió estudiar el nivel de dispersión y variabilidad de los datos, ya que entre menor sea la distancia entre el valor central y las desviaciones, menor será la variabilidad y mayor será la concentración de datos alrededor de la media. El análisis gráfico también permitió identificar sesgos, tendencias y patrones de comportamiento en la distribución de los datos, lo que proporcionó información adicional sobre la variabilidad en los datos estudiados.

Por otro lado, los sistemas de control también permitieron determinar si el proceso se encuentra o no bajo control, según el nivel de incumplimiento en el denier de los hilos. Para ello, se estableció un límite de tolerancia que indicó la proporción máxima de defectos permisibles por muestra. Dicha proporción dio la pauta para concluir sobre la capacidad y el nivel de cumplimiento, ya que, si el porcentaje de defectos calculado es mayor a dicho límite, el proceso se considera fuera de control.

En este caso, la empresa estandarizó un límite defectivo del 25% por cada lote producido. Por ello, para evitar que un lote se rechace, al menos el 75% de las unidades deben estar totalmente libres de defectos y cumplir con el rango de las especificaciones que establece la empresa. De lo contrario, el lote completo se rechaza y es enviado a reprocesamiento, donde se funde nuevamente el material del saco o se desecha completamente, dependiendo de su estado. De esta manera, luego de desarrollar los sistemas de control, se comparó el porcentaje de defectos real del proceso contra la tolerancia establecida y se concluyó para cada tipo de denier durante los diferentes meses. El procedimiento para desarrollar los sistemas de control especializados se detalla en el Anexo 12.4.

6.2 Resultados

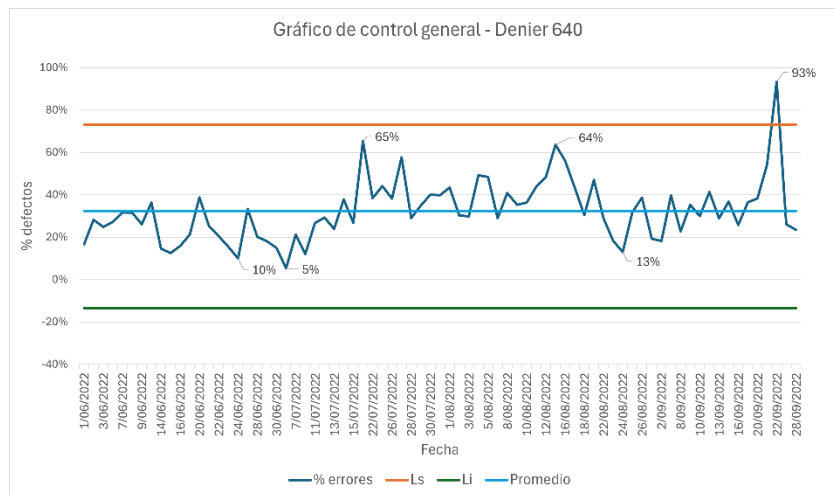
En esta sección se exponen los resultados obtenidos durante la segunda fase del proyecto, en donde se encuentran los resultados del análisis de variabilidad (gráficos de control) y los sistemas de control elaborados.

6.2.1 Gráficos de control

ANÁLISIS GENERAL

6.2.1.1 Análisis general – Denier 640

Figura 1. Denier 640



Fuente: Elaboración propia, 2023.

La Figura 1 muestra el comportamiento del proceso durante todo el periodo estudiado para el Denier 640. Los meses que abarca son junio, julio, agosto y septiembre. A nivel general, el comportamiento de la gráfica muestra que la curva se mantiene dentro de los límites, aunque con algunas variaciones significativas durante el transcurso de todo el periodo estudiado. Durante el último mes, destaca la fecha del 22 de septiembre de 2022, donde se registró el mayor pico del proceso, con una tasa de error equivalente al 93%. Este pico corresponde al único punto de la gráfica que desbordó uno de los límites centrales (en este caso, el límite superior). Los siguientes picos más significativos fueron registrados para las fechas del 21 de julio y el 15 de agosto, con tasas de error correspondientes del 65% y 64%, respectivamente.

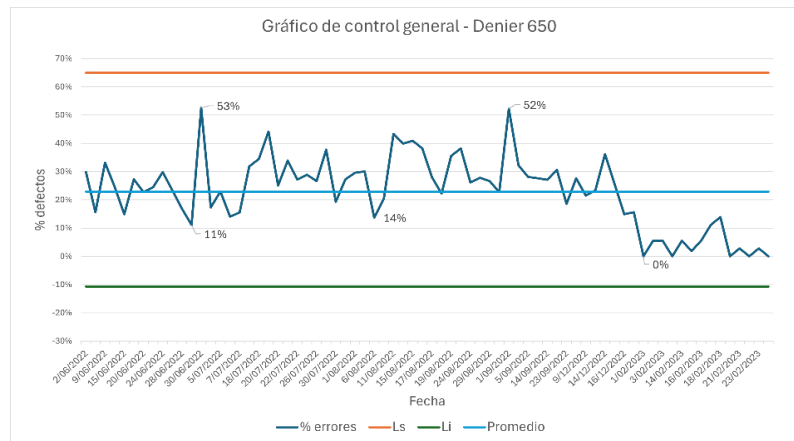
Por otra parte, puede observarse a grandes rasgos, que el proceso fue más eficaz durante el mes de junio, mostrándose mayormente bajo control y con menores tasas defectivas, mientras que durante julio y agosto aumentó tanto la variabilidad, como la tasa de defectos en varios de los puntos. Sin embargo, durante el mes de septiembre, los resultados mejoraron, y la variabilidad, así como los porcentajes de error, redujeron significativamente, a excepción del pico registrado para el día 22 de dicho mes.

Finalmente, también cabe mencionar que los picos con mayor cercanía al límite inferior fueron registrados el 24 de junio y el 1 de julio, con tasas de error equivalentes del 10% y 5%, respectivamente.

Es posible observar que, al inicio de cada mes, el proceso se muestra más controlado, y a medida que pasan los días, este va reflejando mayor incertidumbre y menor control, lo que denota cambios mensuales o periódicos en el comportamiento de la variable.

6.2.1.2 Análisis general – Denier 650

Figura 2. Denier 650



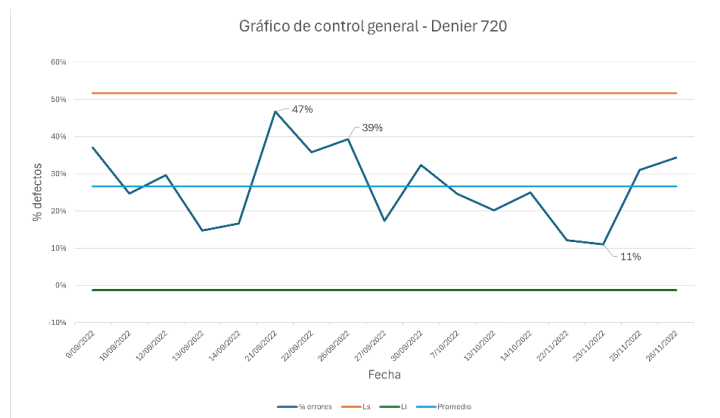
Fuente: Elaboración propia, 2023.

La Figura 2 muestra el comportamiento del proceso durante todo el periodo estudiado para el Denier 650. En este caso, los meses incluidos son junio, julio, agosto, septiembre, diciembre y febrero. Se muestra un comportamiento igualmente variable para la mayoría de los meses. Sin embargo, febrero demuestra tener una reducción significativa en cuanto a variabilidad y porcentajes de error. Los mayores picos de error se registraron el 30 de junio y el 1 de septiembre, con tasas del 53% y 52%, respectivamente.

Gráficamente, puede percibirse una variabilidad significativamente mayor que para el proceso del Denier 640, sin traspasar los límites centrales, pero indicando una baja eficacia en el proceso productivo. Del periodo estudiado, se observa que fue junio el cuál presentó los mayores niveles de variabilidad (mostrando un comportamiento muy distinto para este hilo que para el Denier 640, donde se le asoció con un proceso más estable), y seguidamente, julio y agosto.

6.2.1.3 Análisis general – Denier 720

Figura 3. Denier 720



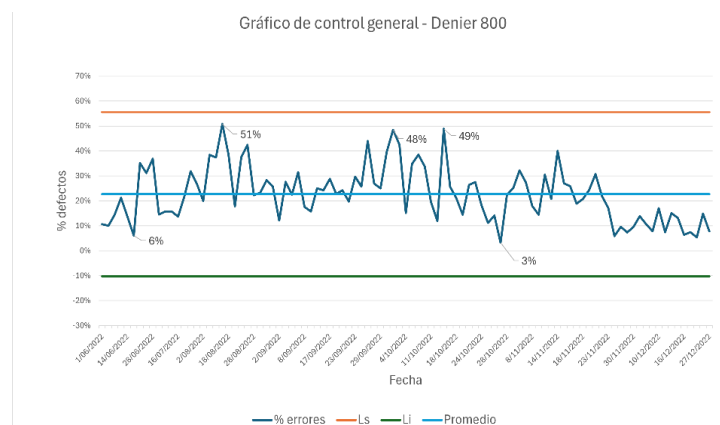
Fuente: Elaboración propia, 2023.

La Figura 3 muestra el comportamiento que tuvo el proceso de extrusión para el Denier 720, durante todo el periodo estudiado (abarcando septiembre, octubre y noviembre). Se percibe en el gráfico una variabilidad que alcanza picos máximos de 47% y 39%, durante las fechas del 21 y 26 de septiembre, respectivamente. El rango variable es relativamente menor al gráfico obtenido de otros tipos de hilo, y, además, no se presenta ningún punto fuera de los límites centrales.

La comparación entre meses y periodos se dificulta al analizar este gráfico, debido a que se registraron pocas fechas para algunos de los meses, principalmente octubre y noviembre. Septiembre, por otra parte, presenta una mayor actividad en el gráfico y permite observar un comportamiento irregular, con relativamente menor variabilidad respecto a otros hilos, pero sin demostrar comportamientos cíclicos evidentes que pueden percibirse en otros gráficos. Se describe como un comportamiento bastante aleatorio.

6.2.1.4 Análisis general – Denier 800

Figura 4. Denier 800



Fuente: Elaboración propia, 2023.

La Figura 4 representa el comportamiento que tuvo el proceso de extrusión para el Denier 800, durante todo el periodo estudiado (abarcando junio, julio, agosto, septiembre, octubre, noviembre y diciembre). Se observa mayor densidad de datos respecto a otras muestras, con una variabilidad significativamente mayor. Aunque ningún punto de la gráfica desborda los límites centrales, se perciben varios picos abruptos que denotan un proceso poco controlado y con bastantes problemas productivos. Los mayores porcentajes de error registrados marcaron picos del 51%, 48% y 49% de error, durante las fechas del 15 de agosto, 1 y 14 de octubre, respectivamente. Por otra parte, los valles que representan las menores tasas de error fueron del 6% y 3%, durante el 15 de junio y el 27 de octubre, respectivamente.

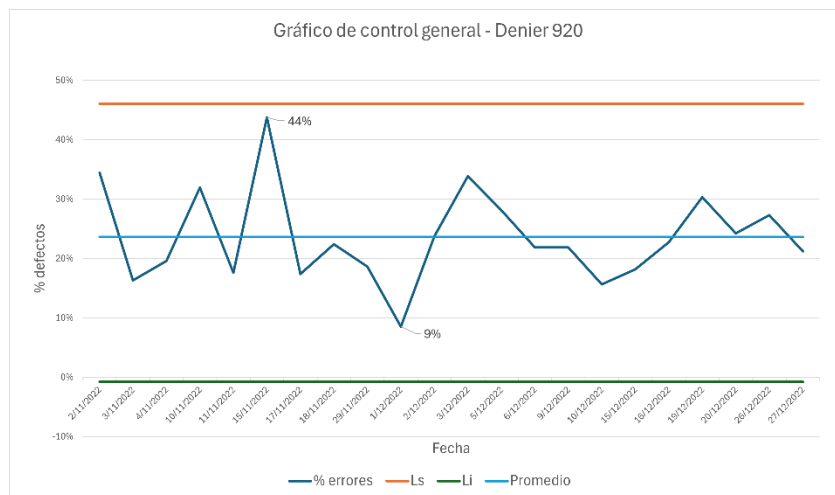
A partir de la gráfica, es posible observar comportamientos cíclicos que se extienden entre cada mes, indicando normalmente un proceso más controlado en los primeros días del mes. No obstante, noviembre muestra un comportamiento adverso a estos ciclos. En ese caso particular, se observa que la variabilidad va reduciendo a lo largo de los días, y finalmente, durante los últimos días de noviembre, las tasas de defectos llegan a ser menores al 10%.

Diciembre tuvo los mejores resultados del periodo estudiado, permaneciendo con tasas alrededor del 10%, en promedio.

Viendo el comportamiento del gráfico de una manera más amplia, se percibe que el proceso comienza a reducir la curva de defectos a partir de octubre. Sin embargo, se observa también grandes picos y variaciones que se extienden durante la mayor parte del periodo, exceptuando diciembre.

6.2.1.5 Análisis general – Denier 920

Figura 5. Denier 920

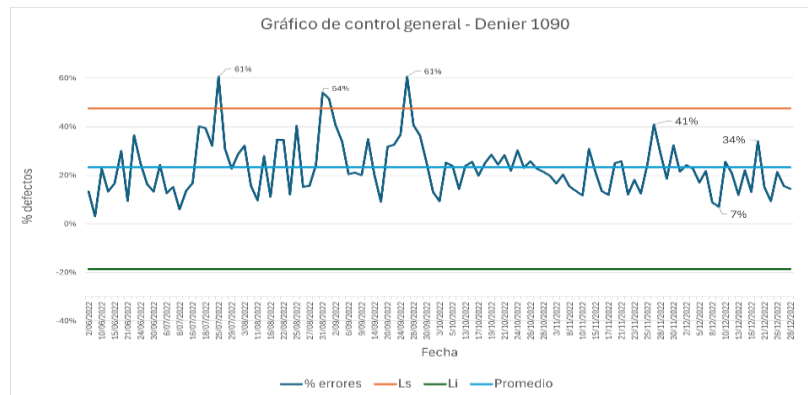


Fuente: Elaboración propia, 2023.

La Figura 5 muestra una curva con menor cantidad de datos en comparación a otros tipos de hilo. Esto se debe a que solamente se registraron datos para un periodo de dos meses, que son noviembre y diciembre. En el gráfico se observa un poco de variabilidad a nivel general. Sin embargo, hay ciertos puntos en particular que denotan cambios abruptos en los resultados del proceso. En primer lugar, se tienen las fechas del 2 y 15 de noviembre, que registraron tasas de error del 34% y 44%, respectivamente. Por otra parte, también se observa un valle significativo en la fecha que corresponde al primer día de diciembre, registrando únicamente un 9% de errores para ese día. Por lo demás, el gráfico parece mostrar un comportamiento ordinario, sin reflejar tendencias específicas.

6.2.1.6 Análisis general – Denier 1090

Figura 6. Denier 1090



Fuente: Elaboración propia, 2023.

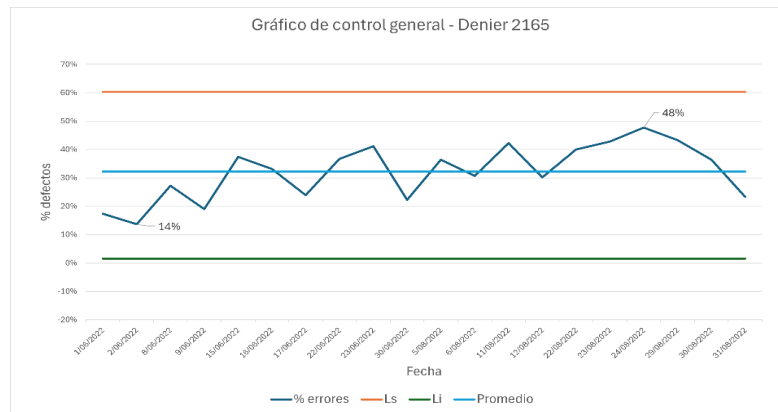
La Figura 6 muestra el comportamiento que tuvo el proceso de extrusión para el denier 1090, durante todo el periodo estudiado (abarcando desde junio hasta diciembre de 2022). El gráfico muestra grandes niveles de variabilidad, los cuales se reflejan en picos abruptos que sobresalen significativamente, en algunos casos, incluso superan el límite central superior. Específicamente, se supera este límite central en tres ocasiones. La primera de ellas, para la fecha del 25 de julio, con un porcentaje de error del 61%. El segundo de estos picos corresponde al 1 de septiembre, con un porcentaje de error del 54%. Y el último de los picos que supera el límite superior corresponde al 27 de julio, con un porcentaje del 61%.

Por otra parte, a partir de octubre en adelante, se observa un proceso más controlado, se mantienen los picos de variación, pero con una menor amplitud. A pesar de ello, el 26 de noviembre se registró un pico de mayor tamaño, equivalente al 41%.

El mes que mejores resultados demostró a partir de la gráfica fue octubre.

6.2.1.7 Análisis general – Denier 2165

Figura 7. Denier 2165



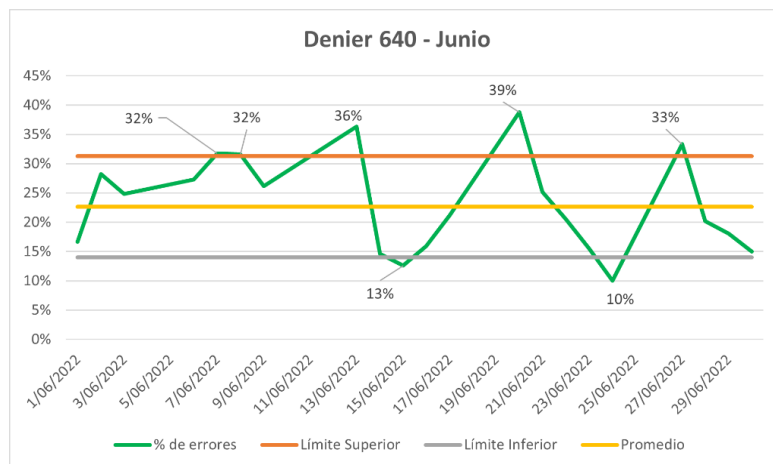
Fuente: Elaboración propia, 2023.

La Figura 7 muestra el comportamiento que tuvo el proceso de extrusión para el Denier 2165, durante los meses de julio y agosto. La gráfica permite observar que el proceso mantuvo una baja variabilidad a lo largo de todo el periodo. No hubo variaciones significativas, excepto durante la fecha del 24 de agosto, para la cual se registró un porcentaje de error del 48%. El proceso parece reflejar una ligera tendencia a disminuir la eficacia del proceso, ya que se observa un patrón de aumento a lo largo de los días. Puede inferirse que el proceso de extrusión fue más eficaz durante junio.

ANÁLISIS MENSUAL (POR DENIER)

6.2.1.8 Resultados para Denier 640:

Figura 6. Gráfico de control para Denier 640 - junio

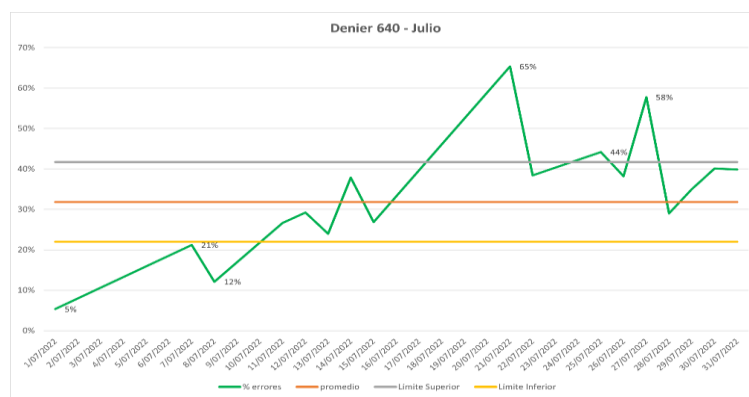


Fuente: Elaboración propia, 2023.

La Figura 8 presenta los resultados del gráfico de control realizado para el denier 640 en el mes de junio. El comportamiento de la gráfica refleja un proceso bajo control durante los primeros días del mes y una variabilidad mayor a partir del 14 de junio. El comportamiento muestra tendencias a sobrepasar el límite de especificación superior. Sin embargo, a partir del día 14 se observa una mayor dispersión de las observaciones, mostrando tendencias a sobrepasar ambos límites.

Se observa en los resultados de la Figura 6 que el día con mayor proporción de error registrado fue el 20 de junio, alcanzando un 39% de error, con 64 de 165 observaciones defectuosas (Figura A92).

Figura 7. Gráfico de control para Denier 640 - julio



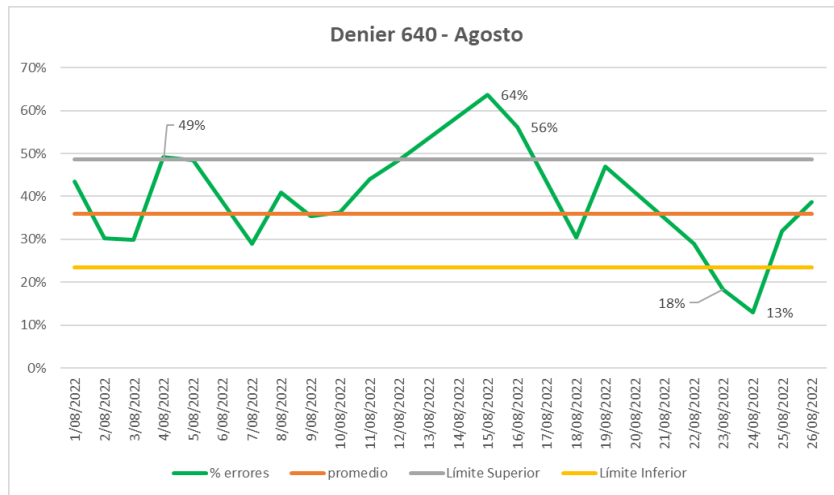
Fuente: Elaboración propia, 2023.

La Figura 7 presenta el gráfico de control elaborado para el denier 640, en el mes de julio. El comportamiento del gráfico refleja un proceso controlado durante los primeros días, pero se observa que conforme pasa el tiempo, el proceso va adquiriendo una mayor tendencia a sobrepasar el límite superior. Este comportamiento se mantiene igual durante todo el mes, presentando a su vez, picos pronunciados y comportamientos cíclicos.

Según los resultados, los días con mayor proporción de error registrados fueron el 21 y 27 de julio, con porcentajes de error de 65% y 58%, respectivamente. Cabe resaltar que dichos puntos representan valores atípicos en el gráfico, ya que como puede observarse en la tabla del Figura A93, ambas fechas tienen una baja cantidad de datos registrados, lo que aumenta el riesgo de presentar una alta proporción de errores, aunque la cantidad de incumplimientos sea menor en comparación con el promedio.

(El resultado se explica más detalladamente en la sección de discusión e interpretación)

Figura 8. Gráfico de control para Denier 640 - agosto



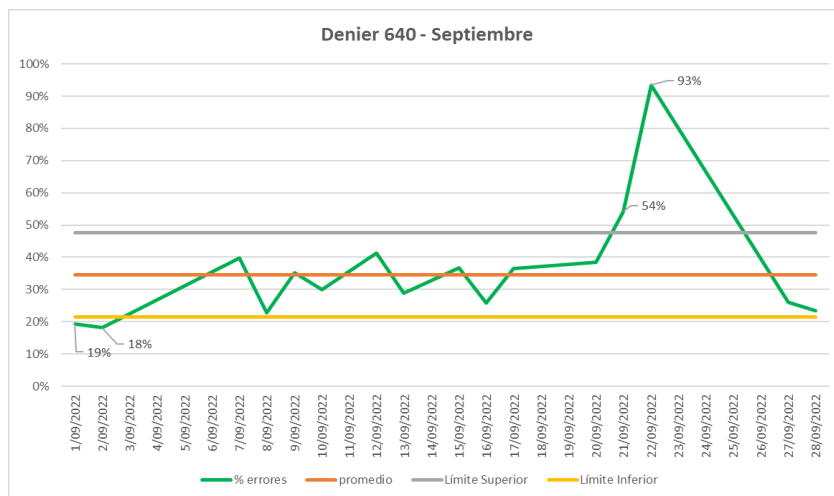
Fuente: Elaboración propia, 2023.

La Figura 8 presenta el gráfico de control elaborado para el denier 640, en el mes de agosto. El comportamiento del gráfico refleja un proceso controlado durante los primeros días, pero se observa que conforme pasa el tiempo, el proceso va adquiriendo una mayor variabilidad. Los días de menor cumplimiento son el 15 y el 16 de agosto, con porcentajes de error de 64% y 56%, respectivamente.

Cabe mencionar que el 23 y 24 de agosto se presentaron resultados estables, con bajas proporciones de errores. Sin embargo, son puntos en la gráfica que se salen de los límites establecidos, indicando una alta variabilidad en el comportamiento del gráfico.

También puede observarse que a partir del día 15, el proceso muestra un comportamiento más controlado, reflejando disminuciones significativas en la proporción de error de los siguientes días.

Figura 9. Gráfico de control para Denier 640 - septiembre



Fuente: Elaboración propia, 2023.

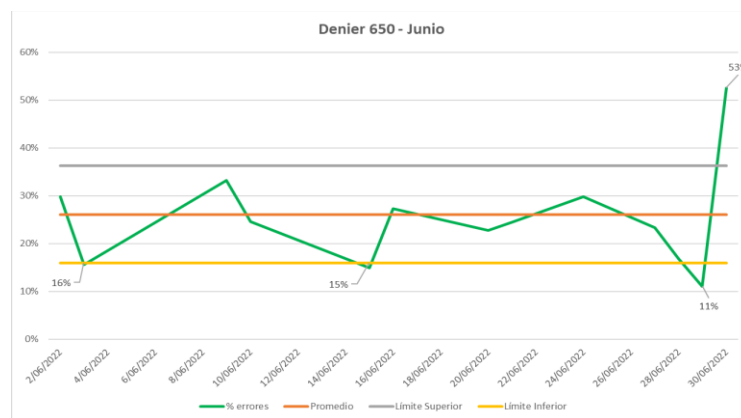
La Figura 9 presenta el gráfico de control elaborado para el denier 640 en el mes de septiembre. El gráfico refleja un comportamiento estable durante la primera mitad del mes. Sin embargo, durante la segunda quincena se observa un comportamiento anormal en el proceso, en el que destaca un punto sobresaliente para el día 22, el cual registra una proporción de error del 93%.

Para dicha fecha, se registró un total de 46 observaciones, de las cuales 43 observaciones se encuentran fuera de rango. Esta evidencia permite inferir que se trata de un valor atípico en el análisis, causado por la baja densidad de datos presente en la fecha del 22 de junio. Obviando este dato, el proceso puede considerarse en su mayoría, bajo control durante la mayor parte del mes.

El porcentaje de error promedio estimado para esta muestra fue del 35%.

6.2.1.9 Resultados para Denier 650:

Figura 10. Gráfico de control para Denier 650 - junio



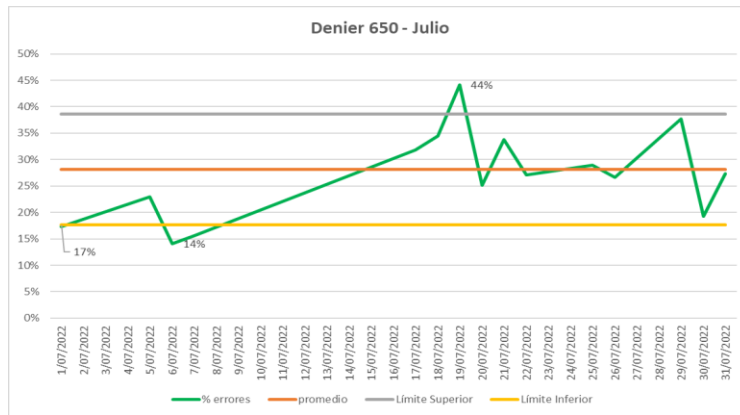
Fuente: Elaboración propia, 2023.

En la Figura 10 se ilustra el gráfico desarrollado para el denier 650 en junio. La gráfica muestra un proceso controlado durante la mayor parte del mes. Sin embargo, el último punto trazado, correspondiente al 30 de junio (último día registrado), presenta una desviación sustancial, superando el límite de tolerancia superior y llegando a una proporción de error del 53%.

El número de observaciones registradas para esta fecha es medianamente aceptable, considerando la densidad de datos promedio, por lo que este valor no puede considerarse como atípico. Esto indica que la anomalía que se presentó durante el 30 de junio se produjo a raíz de errores o fallas técnicas de especial relevancia durante el penúltimo día del mes.

El porcentaje de error promedio para la muestra actual fue del 26%, una proporción que refleja un proceso aceptable si se toma en cuenta los efectos negativos que el último punto inflige en dicha proporción.

Figura 11. Gráfico de control para Denier 650 - julio



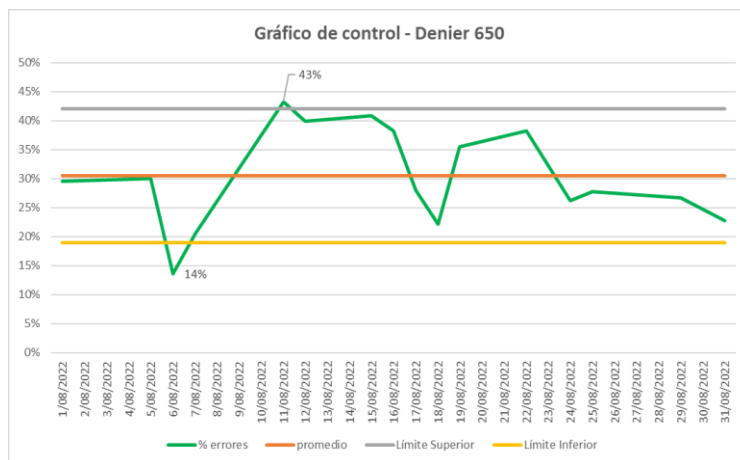
Fuente: Elaboración propia, 2023.

En la Figura 11 se ilustra el gráfico desarrollado para el denier 650 en julio. La gráfica muestra un comportamiento estable durante los primeros días del mes, pero a partir del 7 de julio existe una notable ausencia de datos que afecta en la calidad de los resultados del gráfico.

A pesar de ello, puede observarse que durante el salto existente entre el 7 y 17 de julio, la tendencia a sobrepasar el límite superior aumentó considerablemente, y dicha tendencia continuó por unos días hasta registrar un pico máximo que sobrepasa el límite superior.

Este pico se registró el 19 de julio y registra una proporción de error del 44%. A partir de este punto, el proceso se mostró más controlado, logrando permanecer dentro del límite de tolerancia durante las últimas fechas registradas.

Figura 12. Gráfico de control para Denier 650 - agosto

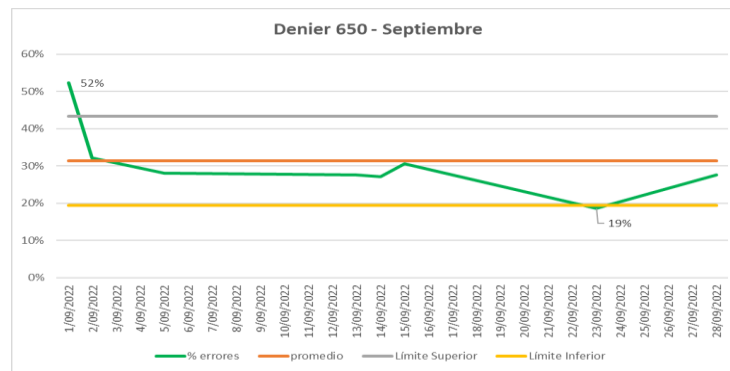


Fuente: Elaboración propia, 2023.

En la Figura 12 se ilustra el gráfico desarrollado para el denier 650 en agosto. Desde las primeras fechas registradas pudo notarse una variabilidad significativa que no sigue una tendencia en específico, pero que sí va creando ciclos de comportamiento con mucha desviación.

Se observa que algunas fechas tuvieron mayor cumplimiento que otras, pero la curva se mantuvo dentro de los límites durante la mayor parte del tiempo. El único punto fuera de control en este caso fue el que corresponde al 11 de agosto, ya que superó el límite superior alcanzando una proporción de error del 43%. El error promedio estimado para la muestra actual fue del 30%.

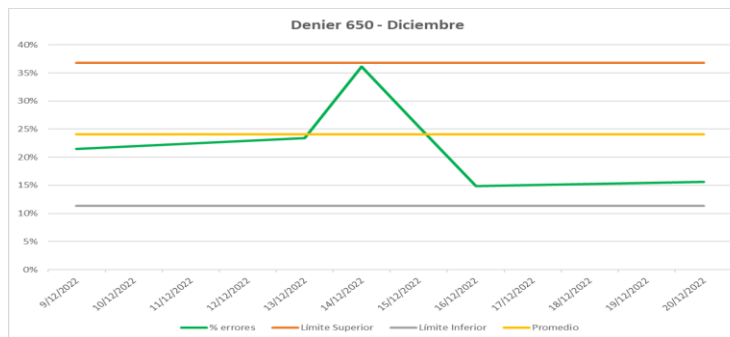
Figura 13. Gráfico de control para Denier 650 - septiembre



Fuente: Elaboración propia, 2023.

La Figura 13 presenta el gráfico de control elaborado para el denier 650 en septiembre. El gráfico muestra un punto fuera del límite durante la primera fecha registrada. Sin embargo, el comportamiento de la curva se vuelve más estable para el resto del mes, presentando una baja variabilidad y proporción de errores en comparación con el primer punto registrado. Este punto registró una proporción de error del 52%, la cual es significativa, considerando que el tamaño de la muestra para esta fecha es mayor que el promedio de observaciones por fecha estimado.

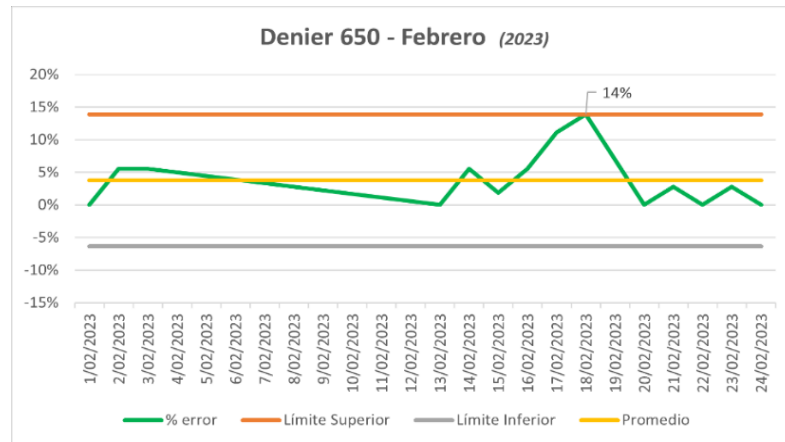
Figura 14. Gráfico de control para Denier 650 - diciembre



Fuente: Elaboración propia, 2023.

La Figura 14 presenta el gráfico de control elaborado para el denier 650 en diciembre. Durante este mes, se pudo observar un proceso controlado en su totalidad, puesto que ninguno de los puntos trazados sale de los límites establecidos. El punto más alto registrado fue para el 14 de diciembre. En esta fecha se obtuvo un error promedio del 36%. El error promedio mensual para la muestra fue de 24%.

Figura 15. Gráfico de control para Denier 650 – febrero (2023)



Fuente: Elaboración propia, 2023.

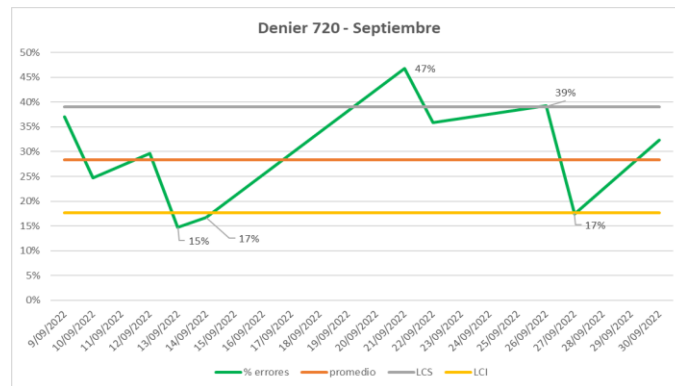
La Figura 15 presenta los resultados del gráfico de control elaborado para el denier 650 en febrero de 2023. En este caso, se pudo notar un proceso controlado y con poca variabilidad durante la primera mitad del mes. Aunque también cabe resaltar que hubo un salto significativo de datos, que omite información del proceso para varias fechas, entre el 3 y 13 de febrero.

Después del 13, pudo observarse que el proceso tomó una tendencia a aumentar la proporción de errores, produciendo un pico significativo durante el 17 y 18 de febrero que indican deficiencias en el cumplimiento del proceso. A pesar de ello, se considera que el gráfico está bajo control según los límites de tolerancia establecidos, ya que ningún punto del gráfico sobrepasa estos límites.

El error promedio mensual para esta muestra fue del 4%, una proporción que refleja un proceso altamente controlado durante todo el mes.

6.2.1.10 Resultados para Denier 720:

Figura 16. Gráfico de control para Denier 720 – septiembre

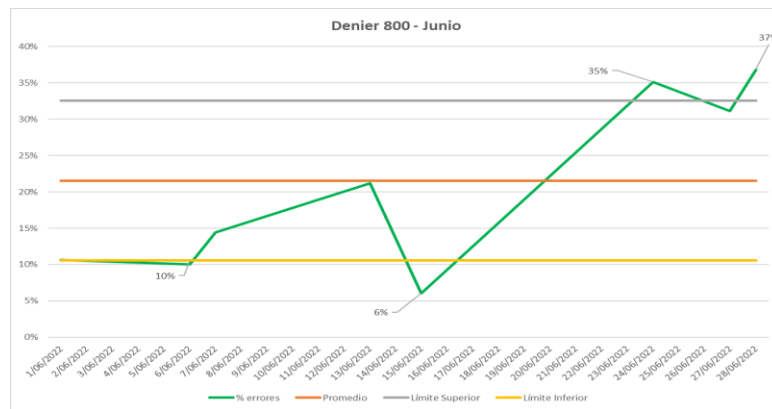


Fuente: Elaboración propia, 2023.

La Figura 16 presenta los resultados del gráfico de control elaborado para el denier 720 en septiembre. Los resultados demuestran que durante todo el mes hubo un alto nivel de variabilidad en el proceso, mostrándose un comportamiento cíclico a lo largo del tiempo. Cabe mencionar que el salto más abrupto se observó entre el 14 y 21 de septiembre, ya que para estas fechas el error promedio del proceso pasó del 17% al 47%. El error promedio mensual para la muestra fue del 28%.

6.2.1.11 Resultados para Denier 800:

Figura 17. Gráfico de control para Denier 800 – junio

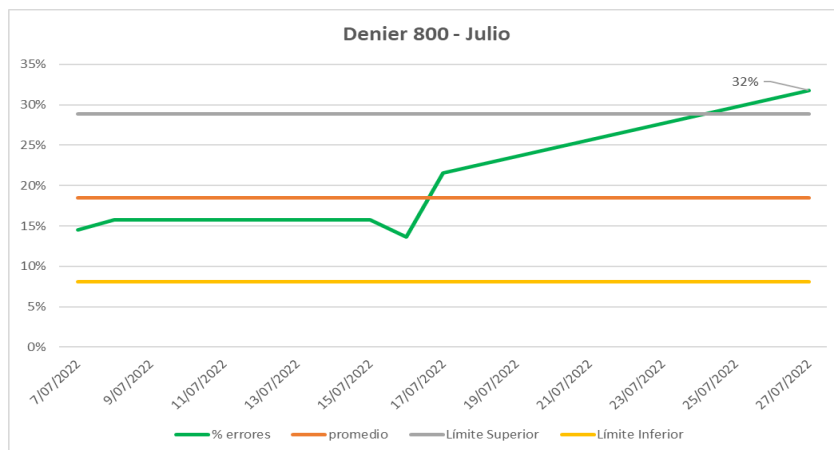


Fuente: Elaboración propia, 2023.

La Figura 17 presenta los resultados del gráfico de control elaborado para el denier 800, en junio. El gráfico muestra un proceso controlado durante los primeros días, aunque con una variabilidad considerable se extiende durante la segunda quincena. Esta variabilidad va acompañada por una tendencia a aumentar la producción de unidades con incumplimiento.

Se puede observar que los puntos con mayor incumplimiento corresponden al 24 y 28 de junio, teniendo un error promedio de 35% y 37%, respectivamente.

Figura 18. Gráfico de control para Denier 800 – julio

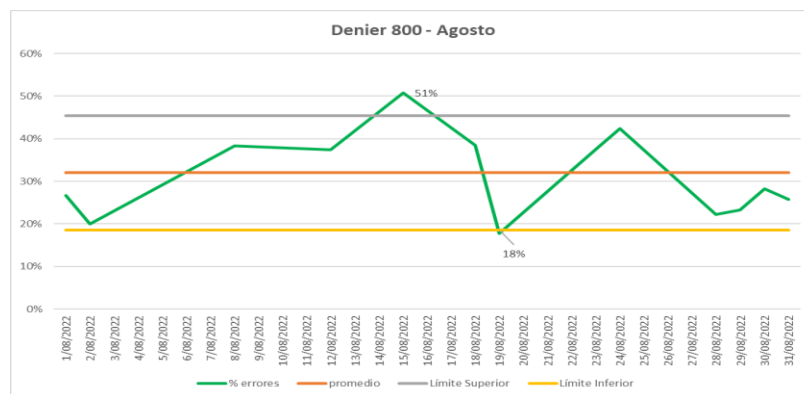


Fuente: Elaboración propia, 2023.

La Figura 18 muestra los resultados del gráfico de control elaborado para el denier 800, en julio. Esta muestra refleja en el gráfico una baja densidad de datos, teniendo pocas fechas registradas. Sin embargo, puede notarse que el proceso se encuentra altamente controlado durante la mayor parte del mes, llegando hasta el 17 de julio sin niveles altos de incumplimiento. Es a partir del 27 de julio que se observan aumentos en el error medio del proceso, llegando a un 32%. A partir de esta fecha no se conoce más información sobre los días siguientes.

El error promedio mensual de la muestra fue del 18%, por lo que se considera que el proceso para este mes fue aceptable.

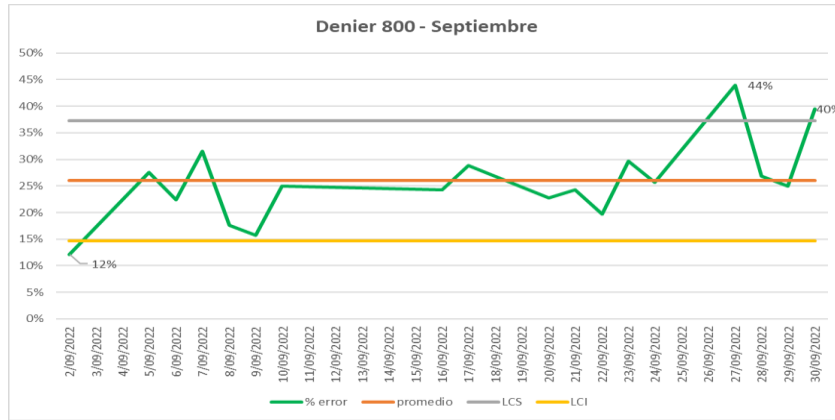
Figura 19. Gráfico de control para Denier 800 – agosto



Fuentes: Elaboración propia, 2023.

La Figura 19 presenta los resultados del gráfico de control elaborado para el denier 800, en agosto. El gráfico refleja un comportamiento con un nivel de variabilidad significativo, aunque a nivel general, el proceso logra mantenerse dentro de los límites en casi todos los puntos, exceptuando al día 15, ya que en esta fecha se pudo observar un pico pronunciado que alcanzó un error promedio del 51%, sobrepasando el límite superior del gráfico.

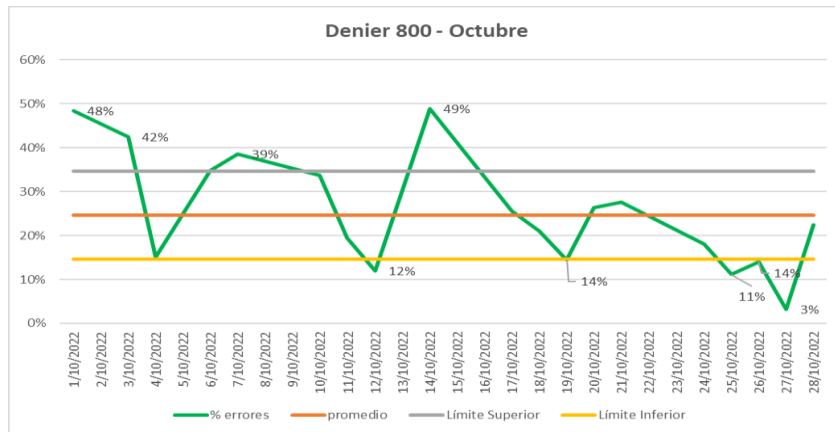
Figura 20. Gráfico de control para Denier 800 – septiembre



Fuente: Elaboración propia, 2023.

La Figura 20 presenta los resultados del gráfico de control elaborado para el denier 800 en septiembre. El gráfico refleja un proceso estable, con un comportamiento levemente cíclico, pero presentando una baja variabilidad en el error medio durante los primeros 20 días del mes. Sin embargo, a partir del 22 de septiembre el proceso comienza gradualmente a producir más errores por día de producción. Mostrando una tendencia corta a aumentar esta proporción hasta terminar en el día 27, con un error medio del 44% que claramente desborda del límite superior. A partir de esta fecha, el error promedio se reduce por un par de días, pero el 30 de septiembre, este vuelve a aumentar, alcanzando un segundo pico equivalente al 40% de error medio. El error medio mensual para la muestra fue del 26%.

Figura 21. Gráfico de control para Denier 800 – octubre



Fuente: Elaboración propia, 2023.

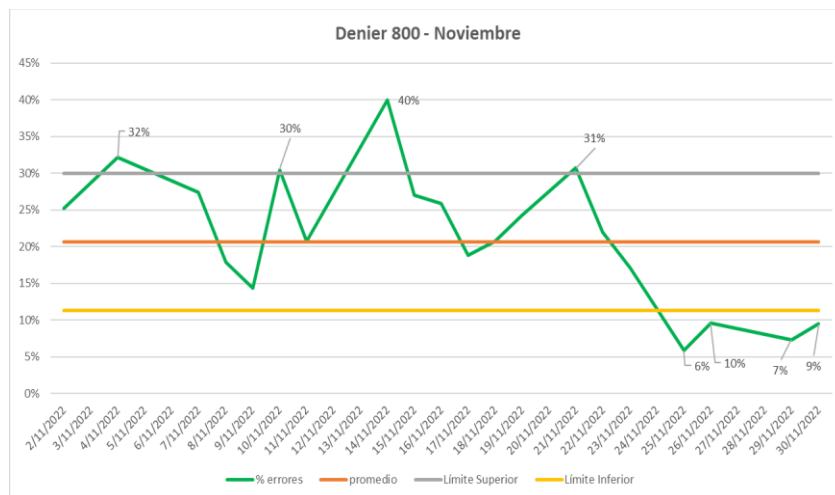
La Figura 21 presenta los resultados del gráfico de control elaborado para el denier 800 en octubre. Durante este mes, el proceso demostró tener un comportamiento con alta variabilidad desde los primeros días, teniendo varios puntos que sobrepasan el límite superior. Entre estos puntos, destacan principalmente los días 1 y 14 de octubre, ya que estas fechas alcanzaron un error medio del 48% y 49%, respectivamente.

Sin embargo, al analizar estos dos puntos específicos en la tabla de análisis (Figura A107), puede observarse que el alto porcentaje de error promediado para estas fechas se debe, en parte, a la poca cantidad de observaciones registradas en estos días. Para el 1 de octubre, se registraron 95 observaciones, y para 14 de octubre, 88 observaciones. Tomando en cuenta el tamaño promedio de observaciones por muestra, no puede decirse que estos puntos tengan suficientes datos para considerarse representativos en el gráfico.

En este sentido, puede decirse que al obviar los puntos que corresponden al 1 y 14 de octubre, el gráfico se mostraría más controlado, aunque igualmente siempre presentaría una variabilidad en los puntos durante la primera quincena, pero mostrándose más controlado durante la segunda quincena del mes.

El error promedio mensual para la muestra fue de 25%.

Figura 22. Gráfico de control para Denier 800 – noviembre



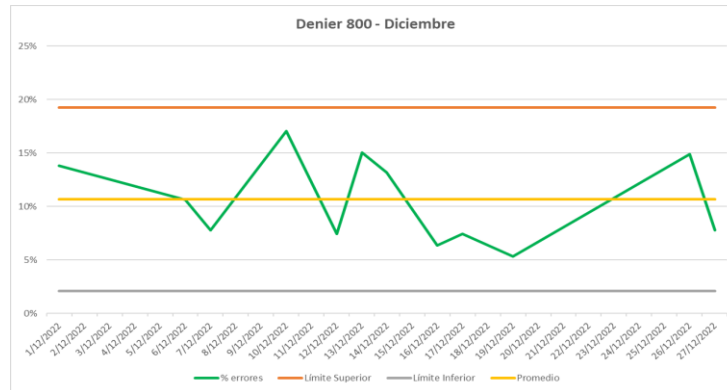
Fuente: Elaboración propia, 2023.

La Figura 22 presenta el gráfico de control elaborado para el denier 800 en noviembre. El gráfico presenta alta variabilidad durante todo el mes, acompañado de una alta cantidad de incumplimientos por fecha durante toda la primera quincena.

El punto más alto registrado en el gráfico corresponde al 14 de noviembre, contando un error medio del 40%. A partir de este punto, se observa una disminución gradual del error promedio, pero a su vez, también se notan comportamientos cíclicos que generan incertidumbre en el comportamiento de la curva.

Finalmente, durante los últimos 4 días registrados, se pudo observar un proceso con baja tasa de defectos, ya que los días 25, 26, 29 y 30 de noviembre registraron porcentajes de incumplimiento significativamente bajos, los cuales fueron de 6%, 10%, 7% y 9%, respectivamente. El error promedio mensual registrado para la muestra fue de 21%.

Figura 23. Gráfico de control para Denier 800 – diciembre



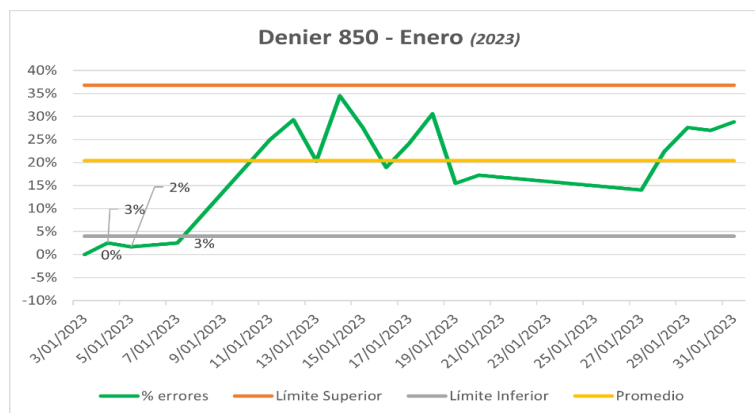
Fuente: Elaboración propia, 2023.

La Figura 23 presenta los resultados del gráfico de control elaborado para el denier 800 en diciembre. El gráfico demostró un proceso controlado durante todo el mes, ya que presentó poca variabilidad y ningún punto se registró fuera de los límites establecidos. Sin embargo, aunque no hubo tanta variabilidad en el proceso, se determinó que la proporción de incumplimientos mensual se mantiene más o menos igual que otros meses, siendo este de 24% para el presente mes.

Además, se observa que el punto con mayor proporción de error registrado corresponde al 14 de diciembre.

6.2.1.12 Resultados para Denier 850:

Figura 24. Gráfico de control para Denier 850 – enero (2023)



Fuente: Elaboración propia, 2023.

La Figura 24 presenta el gráfico de control elaborado para el denier 850, en enero de 2023. El comportamiento del gráfico refleja un proceso con alto nivel de cumplimiento durante la primera semana, pero a partir de la segunda semana se observa un incremento sustancial en la variabilidad y el error promedio del proceso. Esto se refleja a través de picos significativos que se producen entre la segunda y la tercera semana del mes.

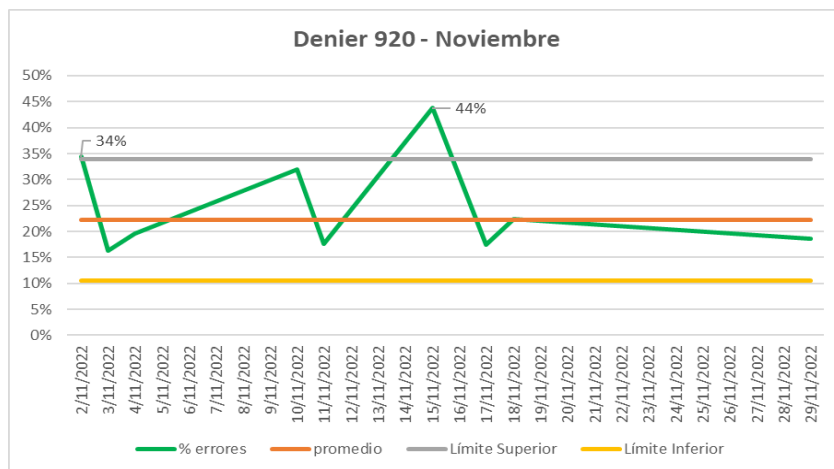
A partir de la 4ta semana se observan resultados más estables. La variabilidad se redujo y los puntos se trazaron cercanos al límite central del gráfico.

A pesar de la variabilidad y el nivel de incumplimiento presentado entre las semanas 2 y 3, puede inferirse que el proceso estuvo bajo control, con base en los límites de tolerancia establecidos, ya que ningún punto se registró fuera de estos límites.

En cuanto al error promedio, se registra un 20% mensual, presentando los niveles más bajos durante la primera semana, y los niveles más altos durante la semana 2 y 3.

6.2.1.13 Resultados para Denier 920:

Figura 25. Gráfico de control para Denier 920 – noviembre



Fuente: Elaboración propia, 2023.

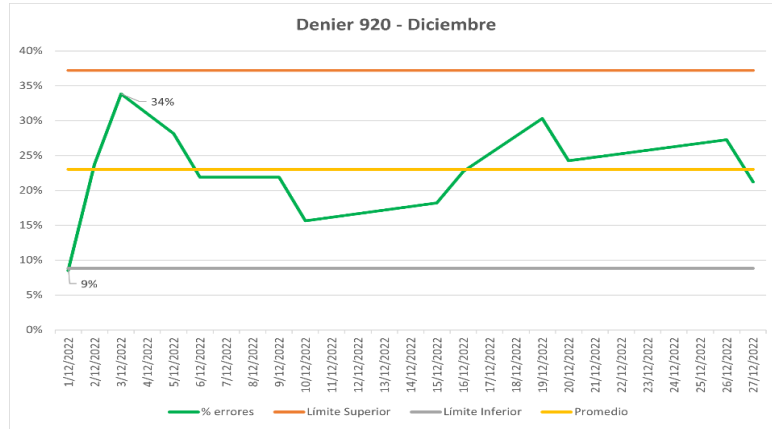
La Figura 25 presenta los resultados del gráfico de control elaborado para el denier 920 en noviembre. El gráfico refleja una poca densidad de datos. Sin embargo, muestra un comportamiento controlado durante la mayor parte del mes.

A lo largo del mes pueden observarse dos puntos que se salen del límite superior, estos puntos corresponden al 2 y 15 de noviembre, y tienen un error promedio de 34% y 44%, respectivamente. También se puede observar que durante la primera quincena del mes se percibe una mayor variabilidad que durante la segunda quincena.

Se infiere que el proceso se encuentra mayormente bajo control respecto a la variabilidad, pero, por otro lado, muestra susceptibilidad a presentar altos porcentajes de error.

El promedio de error mensual de la muestra es de 22%.

Figura 26. Gráfico de control para Denier 920 – diciembre

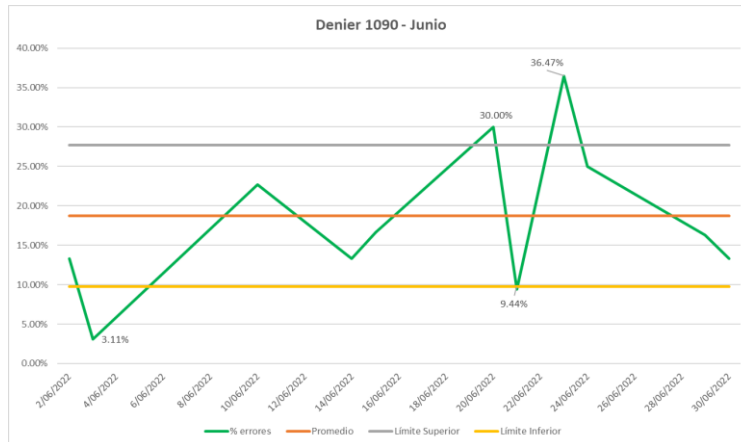


Fuente: Elaboración propia, 2023.

La Figura 26 presenta los resultados del gráfico de control elaborado para el denier 910, en noviembre. Este gráfico presenta un comportamiento bajo control durante todo el mes. Se percibe poca variabilidad, aunque cabe resaltar que la fecha con mayor incumplimiento se registró en la primera semana del mes, específicamente, el 3 de diciembre, donde se alcanzó un error medio de 34%. El error medio de este mes fue de 23%.

6.2.1.14 Resultados para Denier 1,090:

Figura 27. Gráfico de control para Denier 1,090 – junio

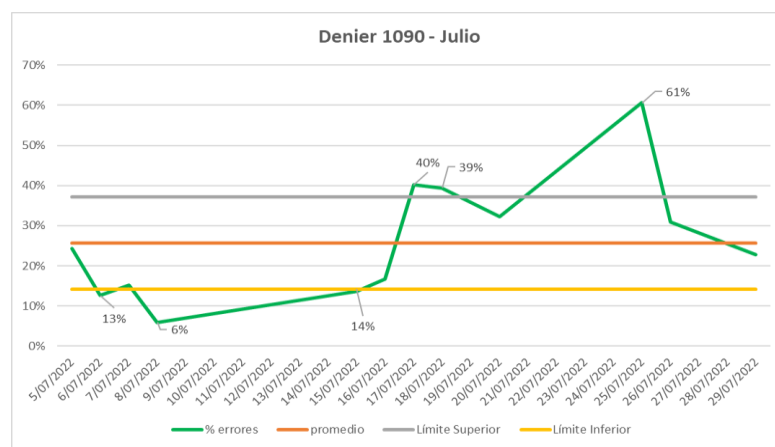


Fuente: Elaboración propia, 2023.

La Figura 27 presenta el gráfico de control elaborado para el denier 1,090 en junio. El comportamiento del gráfico para este mes presenta una alta variabilidad en los puntos graficados durante la segunda mitad del mes.

Inicialmente, la primera semana del mes registra porcentajes bajos de incumplimiento, pero a partir de la segunda semana se forman picos significativos con puntos que se salen del límite superior. Estos puntos corresponden al 6 y 8 de junio, con proporciones de error de 30% y 36%, respectivamente. Obviando estos dos puntos, el comportamiento del gráfico se muestra estable y a grandes rasgos, presenta bajas proporciones de incumplimiento, teniendo un promedio mensual de 19%.

Figura 28. Gráfico de control para Denier 1,090 – julio



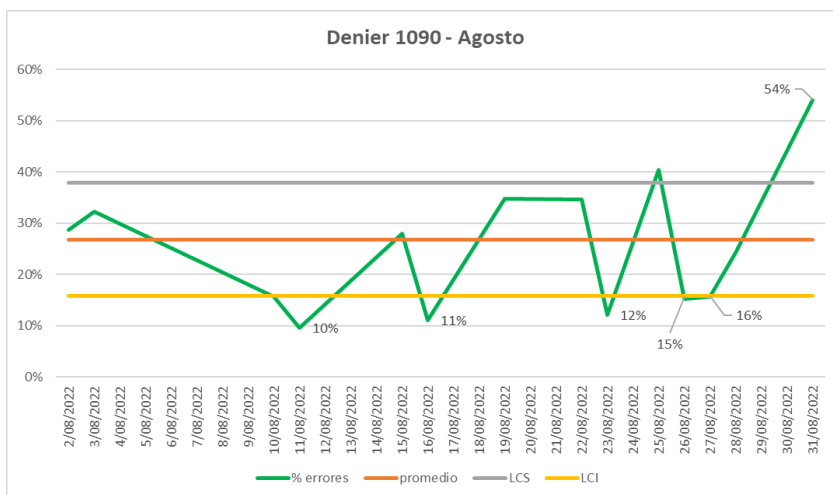
Fuente: Elaboración propia, 2023.

La Figura 28 presenta los resultados del gráfico de control elaborado para el denier 1,090 en julio. Este gráfico presenta una baja proporción de incumplimiento durante las primeras dos semanas, pero a partir de la tercera semana, puede observarse un incremento sustancial del porcentaje de error y variabilidad en el proceso.

El punto con mayor nivel de incumplimiento en este caso corresponde al 25 de julio, ya que el error promedio registrado para esa fecha es del 61%. Este porcentaje claramente denota problemas en el proceso de extrusión, ya que la cantidad de observaciones para esa fecha es representativa, según el promedio de observaciones por fecha calculado (Figura A114).

El error medio para este mes fue del 26%.

Figura 29. Gráfico de control para Denier 1,090 – agosto



Fuente: Elaboración propia, 2023.

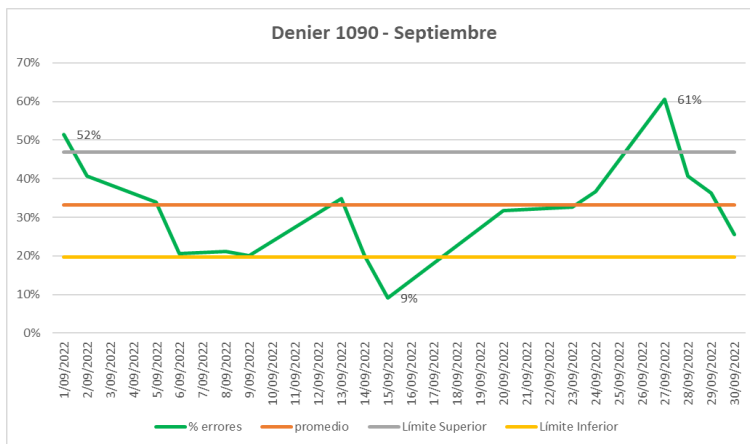
La Figura 29 presenta los resultados del gráfico de control elaborado para el denier 1,090 en agosto. El gráfico muestra picos pronunciados durante la mayor parte del mes, donde varios de ellos sobrepasan el límite inferior, indicando una variabilidad significativa, más no implica niveles bajos de incumplimiento.

Por otro lado, se registran dos picos que sobresalen del límite superior. El que más destaca pertenece a la fecha del 31, y tiene una proporción de incumplimiento del 54%.

A grandes rasgos, puede percibirse que el proceso se mantiene más controlado durante las primeras dos semanas del mes, y que a partir de la segunda semana se empieza a notar una mayor variabilidad y nivel de incumplimiento en las fechas registradas.

El porcentaje de error promedio para este mes fue del 27%.

Figura 30. Gráfico de control para Denier 1,090 – septiembre



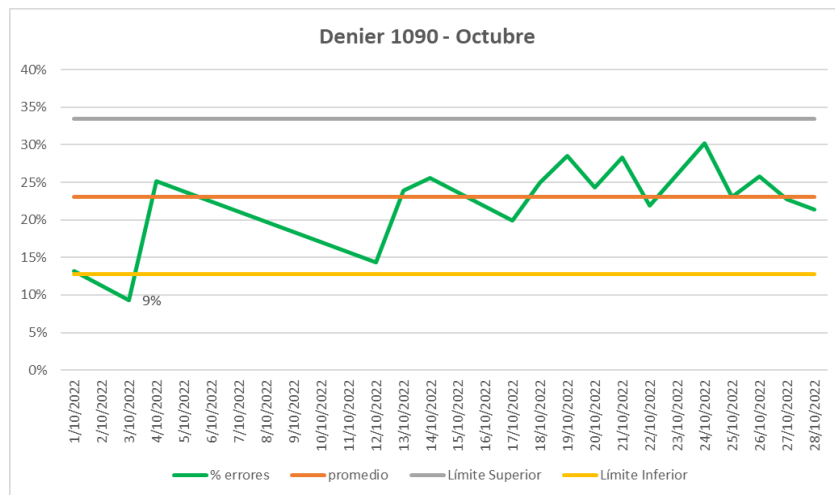
Fuente: Elaboración propia, 2023.

La Figura 30 presenta los resultados del gráfico de control obtenido para el denier 1,090 en septiembre. El gráfico presenta un alto porcentaje de error registrado para el 1 de septiembre, siendo este de 52%.

A partir de aquí, dicho porcentaje se va reduciendo de forma gradual y reflejando un proceso más controlado durante la segunda y tercera semana del mes. Sin embargo, a partir de la cuarta semana, la curva vuelve a presentar tendencias de aumento, hasta registrar un punto que sobrepasa el límite superior, con 61% de incumplimiento.

Este punto corresponde al 27 de septiembre y representa la fecha con mayor proporción de errores durante el mes.

Figura 31. Gráfico de control para Denier 1,090 – octubre



Fuente: Elaboración propia, 2023.

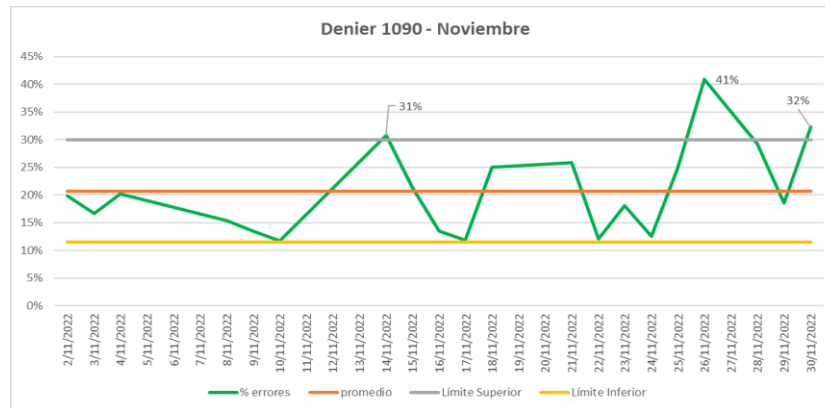
La Figura 31 presenta el gráfico de control elaborado para el denier 1,090 en octubre. El gráfico muestra un comportamiento cíclico, con un bajo nivel de incumplimiento a lo largo de todo el mes.

El gráfico se considera bajo control debido a que no tiene ningún punto que sobrepase el límite superior, además, la variabilidad es significativamente baja.

El gráfico solamente presenta un punto fuera del límite inferior. Este resultado, lejos de ser un problema para el proceso, indica que, durante el 3 de octubre, se registró la fecha con menor nivel de incumplimiento en toda la muestra, teniendo una proporción del 9%.

El error medio para este mes fue del 23%.

Figura 32. Gráfico de control para Denier 1,090 – noviembre

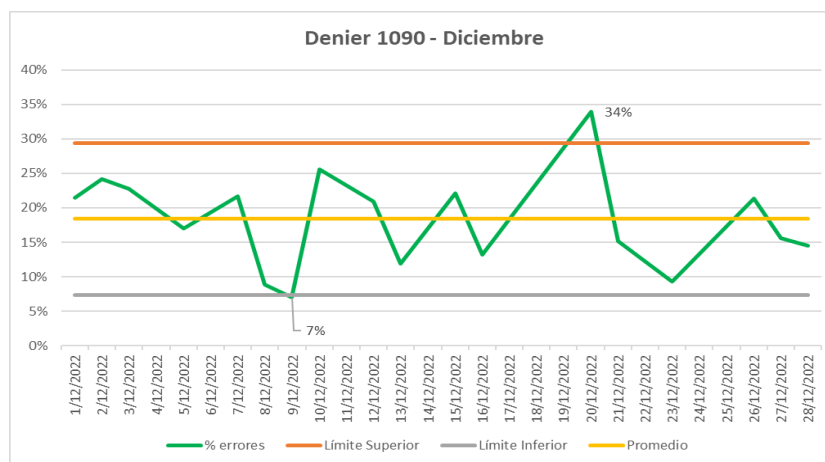


Fuente: Elaboración propia, 2023.

La Figura 32 presenta el gráfico de control elaborado para el denier 1,090 en noviembre. Durante este mes, pudo observarse un proceso mayormente controlado durante las primeras semanas. No obstante, cabe resaltar la presencia de un punto que sobrepasa el límite superior. Este punto genera un pico de inestabilidad entre el 11 y 17 de noviembre.

Además, durante los últimos días del mes se pudo notar un aumento en la variabilidad de los resultados. También hubo puntos con alto grado de incumplimiento, principalmente los que corresponden al 26 y 30 de noviembre, ya que en estas fechas se registraron porcentajes de incumplimiento del 41% y 32%, respectivamente.

Figura 33. Gráfico de control para Denier 1,090 – diciembre



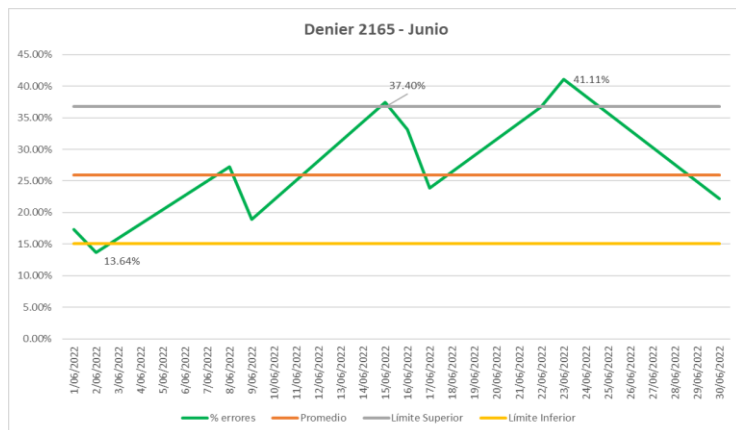
Fuente: Elaboración propia, 2023.

La Figura 33 presenta los resultados del gráfico de control elaborado para el denier 1,090 en diciembre. Durante este mes pudo observarse un proceso variable, pero aceptable en su mayoría, puesto que la única fecha que supera al límite superior en proporción de incumplimientos fue la del 20 de diciembre, con un porcentaje del 34%. Adicionalmente, cabe mencionar que el comportamiento del gráfico fue uniforme a lo largo de todo el mes.

El error medio estimado para este mes fue del 18%.

6.2.1.15 Resultados para Denier 2,165:

Figura 34. Gráfico de control para Denier 2,165 – junio

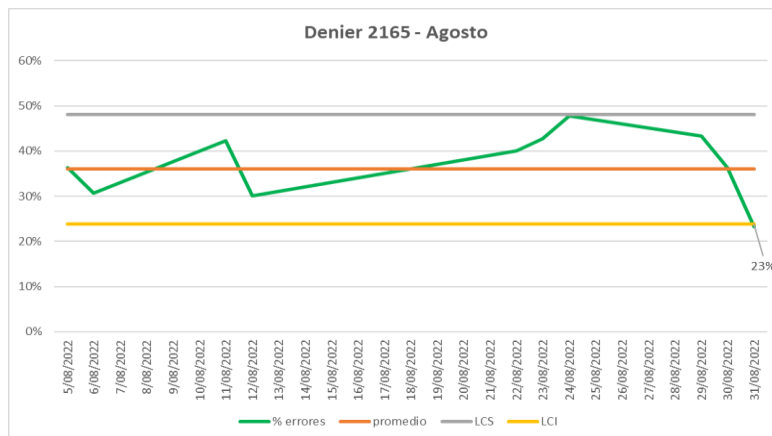


Fuente: Elaboración propia, 2023.

La Figura 34 presenta el gráfico de control elaborado para el denier 2,165 en junio. En este mes, pudo observarse que el proceso estuvo controlado durante los primeros días, pero desde el inicio se fue mostrando una tendencia de crecimiento gradual para el nivel de incumplimiento en el proceso. Esta tendencia, además, se presentó con un comportamiento cíclico a lo largo de todo el mes.

Además, pueden observarse dos puntos que desatacan en el gráfico, ya que estos sobrepasan el límite superior. Estos puntos corresponden a los días 15 y 23 de junio, alcanzando proporciones de incumplimiento de 37% y 41%, respectivamente. Se estima que el error promedio total para este mes fue del 26%.

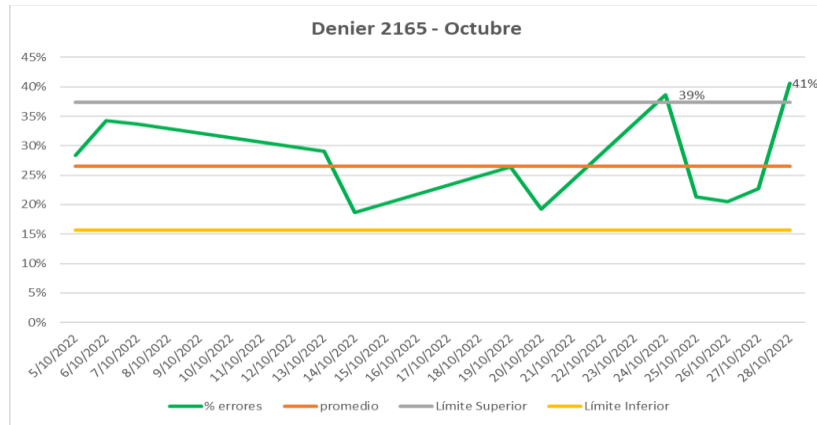
Figura 35. Gráfico de control para Denier 2,165 – agosto



Fuente: Elaboración propia, 2023.

La Figura 35 presenta el gráfico de control elaborado para el denier 2,165 en agosto. El gráfico se encuentra bajo control, y presenta poca variabilidad a lo largo de todo el mes. Sin embargo, cabe mencionar que el error medio representa un porcentaje del 36%. Esto indica que, aunque no hubo mucha variabilidad, existió una alta tasa de incumplimientos durante todo el mes.

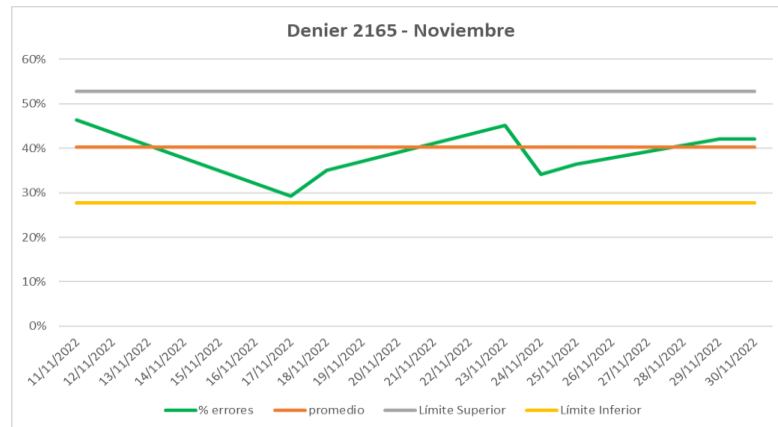
Figura 36. Gráfico de control para Denier 2,165 – octubre



Fuente: Elaboración propia, 2023.

La Figura 36 presenta los resultados del gráfico de control elaborado para el denier 2,165 en octubre. Durante este mes pudo observarse proporciones significativas de incumplimientos, pero con un poco de variabilidad. No obstante, a partir de la tercera semana, la variabilidad comienza a aumentar hasta registrar un par de puntos fuera del límite superior. Estos puntos son del 24 y 28 de octubre, y tienen porcentajes de error del 39% y 41%, respectivamente. Se estimó que el error promedio para este mes fue del 27%.

Figura 37. Gráfico de control para Denier 2,165 – noviembre

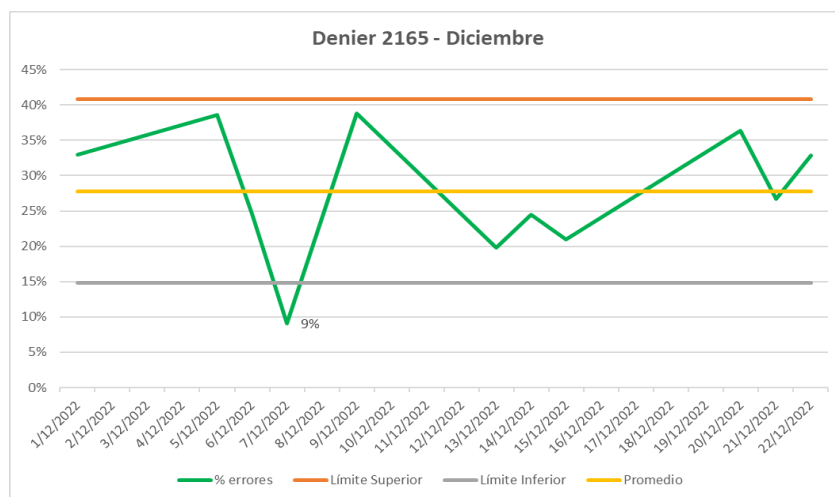


Fuente: Elaboración propia, 2023.

La Figura 37 muestra el gráfico de control elaborado para el denier 2,165 en noviembre. Los resultados reflejan un proceso bajo control durante todo el mes, presentando poca probabilidad, pero teniendo tasas de error considerables, pues se puede observar en los límites que el nivel superior se ajusta a un nivel cercano al 50% de error. En cuanto a la curva, se percibe que esta se traza sobre valores entre el 30% y 50% de error.

Lo anterior también se sustenta al observar el error medio calculado, que para este mes fue de 40%, el cual es significativamente alto para el tipo de proceso que se lleva a cabo.

Figura 38. Gráfico de control para Denier 2,165 – diciembre



Fuente: Elaboración propia, 2023.

La Figura 38 presenta el gráfico de control desarrollado para el denier 2,165 en diciembre. Este gráfico muestra una alta variabilidad durante todo el mes, principalmente durante las primeras dos semanas. Sin embargo, la curva no sobrepasa el límite superior del gráfico.

A nivel general, se percibió un error medio estimado del 28%.

6.2.2 Sistemas de control especializados

6.2.2.1 Resultados para Denier 640:

La Tabla 14 muestra un resumen estadístico durante diferentes meses para el denier 640. En esta, también se detalla el porcentaje de incumplimientos de cada mes. Dicho porcentaje fue clave para la interpretación de este análisis porque es el indicador de mayor relevancia que permite determinar si el proceso se encuentra bajo control.

Tabla 14. Resumen estadístico para diferentes meses – Denier 640

Denier 640				
Mes	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
Media	649.74	649.62	649.00	654.10
Desv. Estándar	32.77	45.93	46.88	46.64
Valor Min.	447	450	456	510
Valor Max.	907	924	918	1008
Mediana	650	645	648	648
Moda	672	672	672	630
Observaciones	4441	3397	2748	1908
incumplimientos	1023	1101	990	659
% de incumplimientos	23.04%	32.41%	36.03%	34.54%

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Según la Tabla 14, el único mes que se considera bajo control basándose en la tasa de incumplimiento fue junio, teniendo un porcentaje de error del 23.04%, con una media de 649.74 respecto a un valor nominal de 640, y una desviación estándar de 32.77.

También se observa que el mes con mayor grado de incumplimientos para el denier 640, es agosto.

Por otro lado, el mes cuya media estuvo más alejada del valor nominal es septiembre, con una diferencia de 14.10 gramos.

Tabla 15. Resumen mensual del análisis de tendencia central – Denier 640

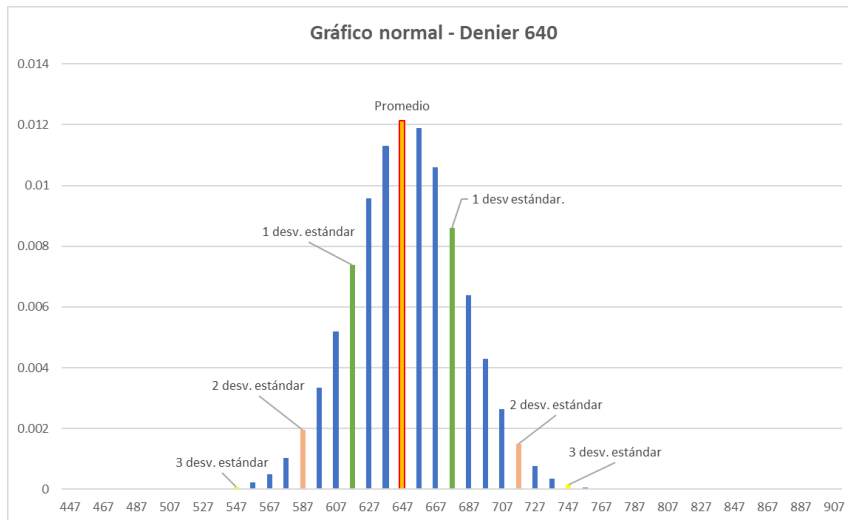
Denier 640	
Mes	Diferencia
Junio	0.41%
Julio	7.22%
Agosto	1.57%
Septiembre	9.54%

Fuente: Elaboración propia, 2023.

La Tabla 15 muestra un resumen del análisis de tendencia central realizado en diferentes meses para el denier 640. La tabla presenta las diferencias porcentuales entre la media y la mediana para cada mes, permitiendo determinar la cercanía de su valor central e identificar si existe una simetría en la distribución de los datos.

6.2.2.2 Denier 640 - Junio

Figura 39. Gráfico de normalidad – Denier 640 (junio)



Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla 16. Desviaciones estándar sobre la media – Denier 640 (junio)

No. Desv	Inferior (negativo)	Superior (positivo)
1 Desv. Estándar	616.97	682.51
2 Desv. Estándar	584.20	715.28
3 Desv. Estándar	551.43	748.05

Fuente: Elaboración propia, 2023.

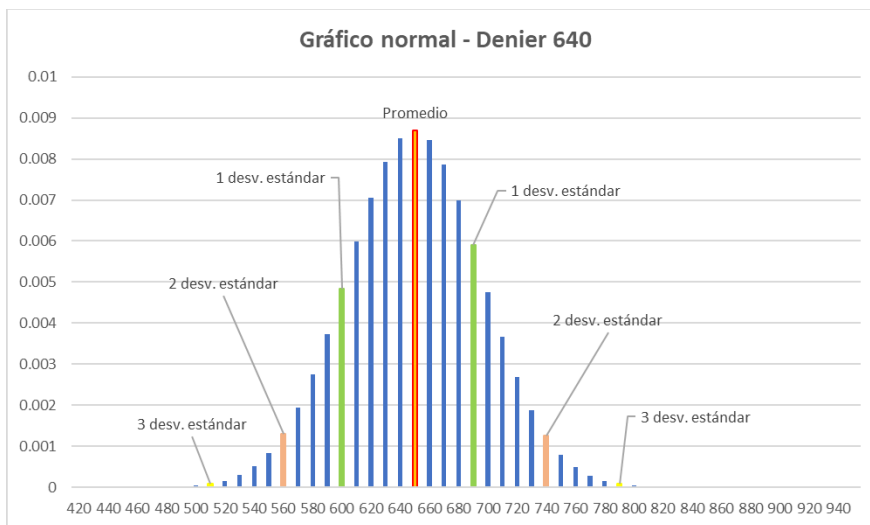
El gráfico de normalidad para el denier 640 desarrollado en el mes de junio se muestra en la Figura 39. La gráfica presenta una distribución simétrica y uniformemente distribuida, presentando una diferencia porcentual entre los valores centrales de media/mediana equivalente al 0.41%, es decir que los valores centrales se encuentran notablemente cerca. En la Tabla 16, se pueden observar las medias desplazadas o “puntos de corte” correspondientes a la muestra analizada.

La gráfica representa una distribución normal y con alta concentración de datos alrededor de la primera media desplazada, como demuestra el comportamiento de los puntos de corte graficados. Esto indica que existe normalidad y hay poca dispersión en los datos.

Por otro lado, según los resultados de la Tabla 14, se puede inferir que el proceso está bajo control, ya que el porcentaje de incumplimientos en la muestra es del 23.04%, estando por debajo de la tolerancia permitida. Sin embargo, cabe resaltar que el porcentaje de defectos estimado se encuentra muy cerca del límite permitido, presentando un riesgo de caer en incumplimiento.

6.2.2.3 Denier 640 - Julio

Figura 40. Gráfico de normalidad – Denier 640 (julio)



Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla 17. Desviaciones estándar sobre la media – Denier 640 (julio)

No. Desv	Inferior (negativo)	Superior (positivo)
1 Desv. Estándar	603.69	695.55
2 Desv. Estándar	557.76	741.48
3 Desv. Estándar	511.83	787.42

Fuente: Elaboración propia, 2023.

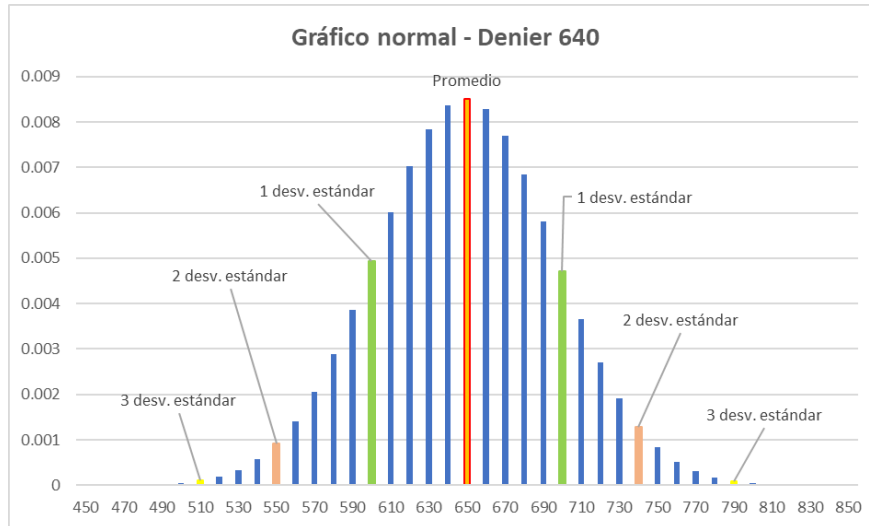
El gráfico de normalidad para el denier 640 desarrollado en el mes de julio se muestra en la Figura 40. En este caso, la gráfica presenta una distribución considerablemente más dispersa que durante el mes de junio. Además, la diferencia porcentual del análisis de tendencia resumido en la Tabla 15 permite determinar que la diferencia porcentual de la muestra es del 7.22%, lo que refleja una menor simetría y uniformidad en la distribución de los datos.

Las medias desplazadas que se ilustran en la distribución también reflejan una mayor dispersión de los datos, ya que se encuentran más alejada de la media original. Esto refleja que la muestra tiene una menor normalidad en los datos, porque que la mayoría de estos se encuentran dentro de las medias desplazadas a dos desviaciones estándar, como se observa en el gráfico.

Por otro lado, según los resultados presentados en la Tabla 14, se puede inferir que el proceso se encuentra fuera de control, ya que el porcentaje de incumplimientos en la muestra es del 32.41%, superando la tolerancia permitida. Estos resultados indican que el proceso tiene un nivel alto de variabilidad y una fuerte probabilidad de producir unidades fuera de las especificaciones.

6.2.2.4 Denier 640 - Agosto

Figura 41. Gráfico de normalidad – Denier 640 (agosto)



Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla 18. Desviaciones estándar sobre la media – Denier 640 (agosto)

No. Desv	Inferior (negativo)	Superior (positivo)
1 Desv. Estándar	602.13	695.88
2 Desv. Estándar	555.26	742.76
3 Desv. Estándar	508.38	789.63

Fuente: Elaboración propia, 2023.

El gráfico de normalidad para el denier 640 desarrollado en el mes de agosto se muestra en la Figura 41. El gráfico presenta una distribución que da una percepción de presentar dispersión en los datos, sin embargo, hay evidencia que comprueba lo contrario.

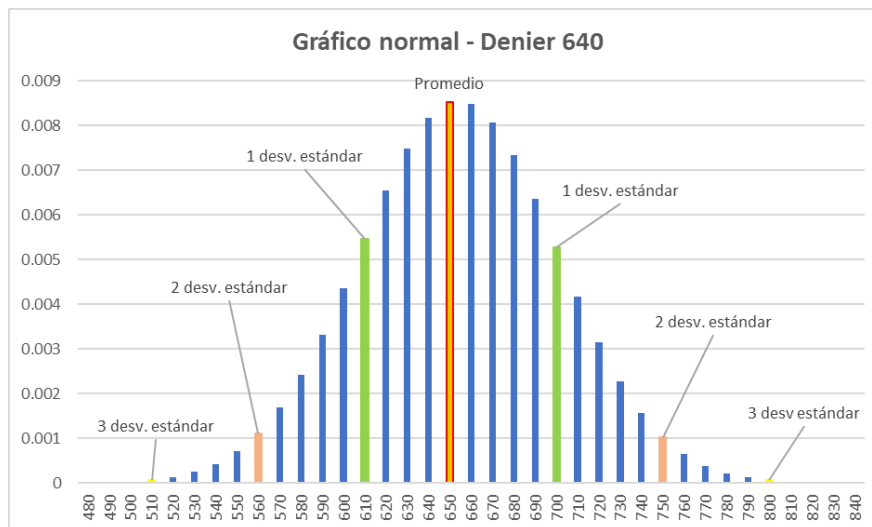
En primer lugar, una diferencia porcentual media/mediana es de 1.57% (Tabla 15), dicho resultado que refleja simetría y uniformidad en la distribución.

Además, al observar el gráfico a grandes rasgos, puede notarse una dispersión significativa en los datos. No obstante, al observar los puntos de corte ubicados en la distribución, se puede percibir que la mayoría de los datos se encuentran dentro de la media desplazada a una desviación estándar, como se refleja en la Figura 41.

En cuanto al cumplimiento y capacidad del proceso, puede observarse en la Tabla 14 que el proceso se encuentra fuera de control, ya que el porcentaje de incumplimientos estimado fue del 36.03%.

6.2.2.5 Denier 640 - Septiembre

Figura 42. Gráfico de normalidad – Denier 640 (septiembre)



Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla 19. Desviaciones estándar sobre la media – Denier 640 (septiembre)

No. Desv	Inferior (negativo)	Superior (positivo)
1 Desv. Estándar	607.46	700.75
2 Desv. Estándar	560.82	747.39
3 Desv. Estándar	514.17	794.04

Fuente: Elaboración propia, 2023.

El gráfico de normalidad para el denier 640 desarrollado en el mes de septiembre se muestra en la Figura 42. En este caso, la gráfica desarrollada presenta una distribución con una dispersión de datos bastante significativa. La diferencia porcentual entre los valores centrales fue del 9.54%, siendo la proporción más alta del mes para el denier 640. Dicha diferencia refleja que existe poca simetría y uniformidad en la distribución.

Además, los puntos de corte ubicados en la distribución indican que las medias desplazadas se encuentran significativamente alejadas del valor central, y que no existe simetría en estos desplazamientos. Este comportamiento refleja una mayor dispersión en los datos alrededor de la media, lo cual puede percibirse en la Figura 42.

Por otro lado, al analizar los resultados de la Tabla 14, se puede inferir que el proceso se encuentra fuera de control, ya que presenta un porcentaje de incumplimientos superior a la tolerancia establecida. Dicho porcentaje fue de 34.54% para el presente mes.

6.2.2.6 Resultados para Denier 650:

La Tabla 20 muestra un resumen estadístico realizado durante varios meses para el denier 650. Asimismo, en esta tabla se detallan los porcentajes de incumplimiento correspondientes a cada mes, para este tipo de hilo.

Tabla 20. Resumen estadístico para diferentes meses – Denier 650

Denier 650						
Mes	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Diciembre	Febrero
Media	652.2	660.99	657.98	664.28	651.17	646.82
Desv. Estándar	35.64	37.54	38.59	43.37	30.44	15.59
Valor Min.	462	540	489	517	560	585
Valor Max.	969	919	854	1017	771	719
Mediana	651	658	657	661	648	646
Moda	660	660	651	663	636	637
Observaciones	2197	2478	2302	1085	610	449
No. incumplimientos	574	696	702	340	147	17
% de incumplimientos	26%	28%	30%	31%	24%	4%

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Según la Tabla 20, los únicos dos meses que se consideran bajo control fueron diciembre y febrero, teniendo porcentajes de incumplimiento de 24% y 4%, respectivamente. Diciembre tuvo una media de 651.17 y una desviación estándar de 30.44, mientras que febrero tuvo una media de 646.82 (más alejada de la media) con una desviación estándar de 15.59.

También se observa que el mes con mayor grado de incumplimientos para el denier 640, es septiembre, con una proporción de error del 31%. Este mes también registró la media más alejada del valor nominal, con un valor de 664.28.

Tabla 21. Resumen mensual del análisis de tendencia central – Denier 650

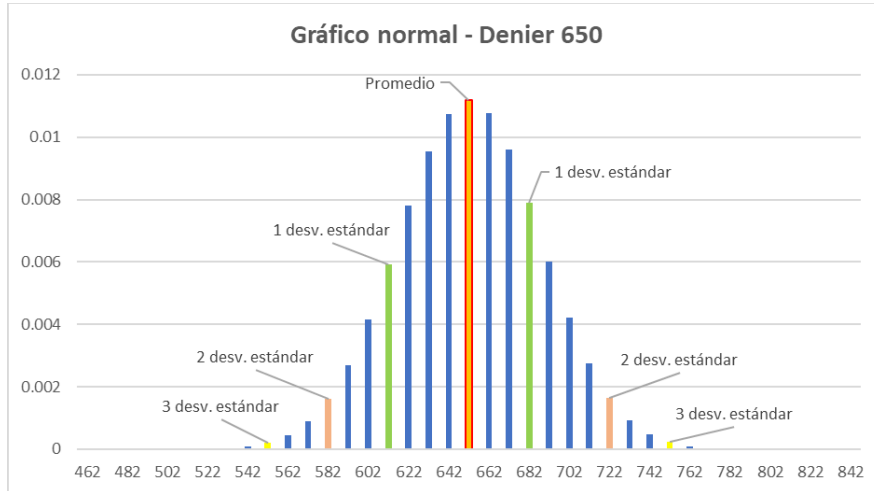
Denier 650	
Mes	Diferencia
Junio	1.85%
Julio	4.60%
Agosto	1.50%
Septiembre	5.04%
Diciembre	4.88%
Febrero	1.25%

Fuente: Elaboración propia, 2023.

La Tabla 21 muestra un resumen del análisis de tendencia central realizado en diferentes meses para el denier 650. La tabla presenta las diferencias porcentuales entre la media y la mediana de cada mes, permitiendo determinar la cercanía de su valor central e identificar si existe una simetría en la distribución de los datos.

6.2.2.7 Denier 650 - Junio

Figura 43. Gráfico de normalidad – Denier 650 (junio)



Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla 22. Desviaciones estándar sobre la media – Denier 650 (junio)

No. Desv	Inferior (negativo)	Superior (positivo)
1 Desv. Estándar	616.56	687.84
2 Desv. Estándar	580.93	723.47
3 Desv. Estándar	545.29	759.11

Fuente: Elaboración propia, 2023.

El gráfico de normalidad para el denier 650 desarrollado en el mes de junio se muestra en la Figura 43. La gráfica presenta una distribución uniforme, con alta concentración de datos alrededor del valor central. Además, la diferencia porcentual entre la media y la mediana fue del 1.85% para este mes, lo que cabe dentro de lo aceptable para inferir que los datos se distribuyen normalmente alrededor de los valores centrales.

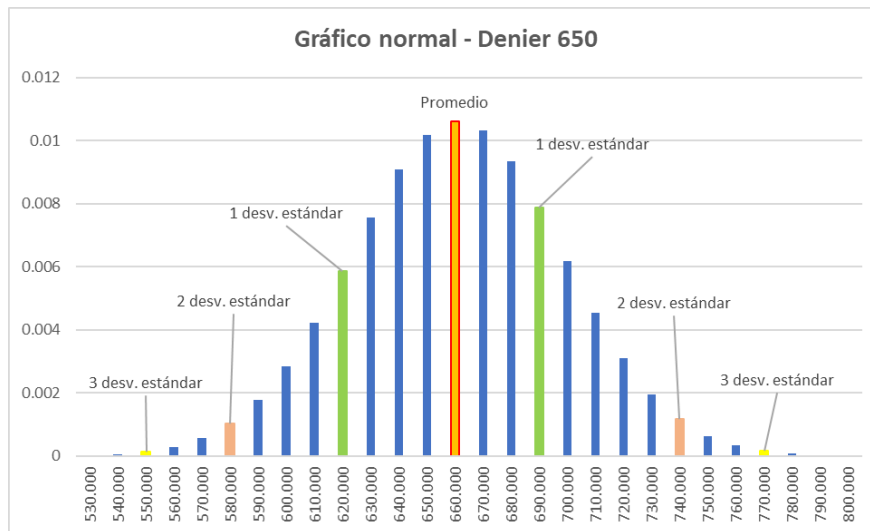
De igual manera, en la Tabla 22 se observan las medias desplazadas a 3 desviaciones estándar de la media original. Estas se ubican en el gráfico como puntos de corte y su posición indica que la mayoría de los datos se concentran dentro de las medias desplazadas a una desviación estándar.

En cuanto al estado de cumplimiento del proceso, puede observarse en los resultados de la Tabla 20 que el proceso se encuentra por arriba del límite de tolerancia,

con un porcentaje de incumplimiento del 26%, por lo que el proceso no se encuentra totalmente bajo control, pero está cerca de caer dentro de cumplimiento.

6.2.2.8 Denier 650 - Julio

Figura 44. Gráfico de normalidad – Denier 650 (julio)



Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla 23. Desviaciones estándar sobre la media – Denier 650 (julio)

No. Desv	Inferior (negativo)	Superior (positivo)
1 Desv. Estándar	623.46	698.53
2 Desv. Estándar	585.92	736.06
3 Desv. Estándar	548.39	773.60

Fuente: Elaboración propia, 2023.

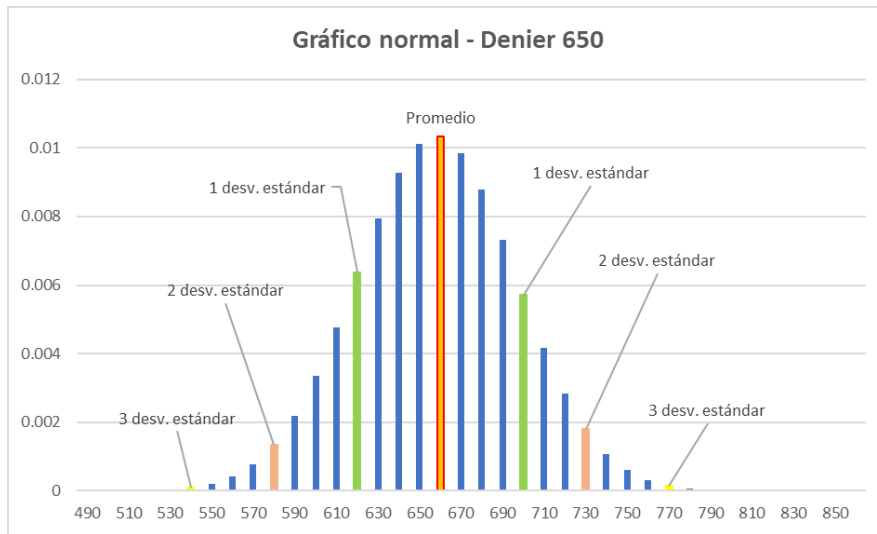
El gráfico de normalidad para el denier 650 desarrollado en el mes de julio se muestra en la Figura 44. El gráfico presenta una distribución uniforme, pero con un poco de dispersión en los datos.

La diferencia porcentual entre los valores centrales fue de 4.60%, reflejando que existe un nivel de normalidad moderado. Además, este porcentaje sustenta la interpretación gráfica, que, por otro lado, también indica una dispersión media en los datos, puesto que los puntos de corte indican que la mayoría de los datos se encuentran dentro de las medias desplazadas a dos desviaciones estándar.

Por otro lado, al analizar los resultados de la Tabla 20, se puede inferir que el proceso se encuentra fuera de control, ya que tiene un porcentaje de incumplimiento del 28%, lo cual es mayor al límite de tolerancia.

6.2.2.9 Denier 650 - Agosto

Figura 45. Gráfico de normalidad – Denier 650 (agosto)



Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla 24. Desviaciones estándar sobre la media – Denier 650 (agosto)

No. Desv	Inferior (negativo)	Superior (positivo)
1 Desv. Estándar	619.39	696.57
2 Desv. Estándar	580.80	735.15
3 Desv. Estándar	542.22	773.74

Fuente: Elaboración propia, 2023.

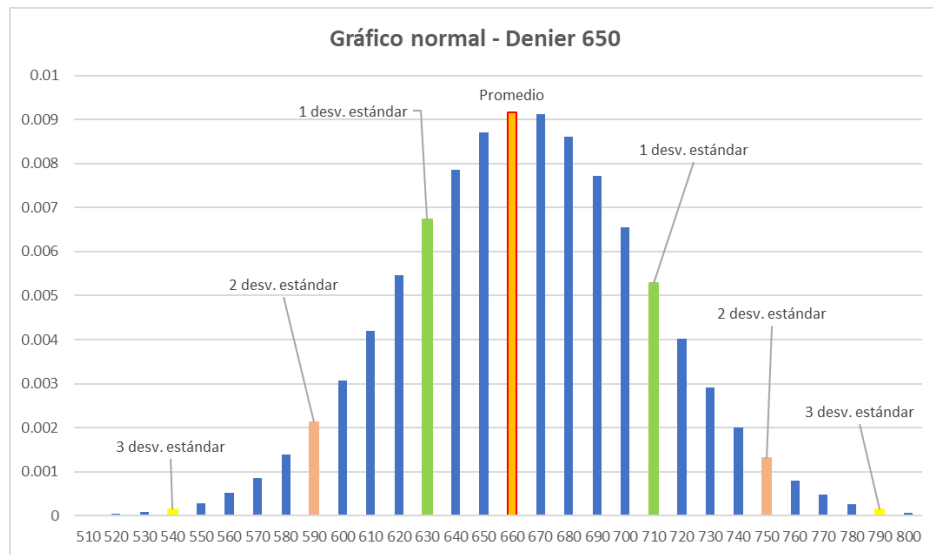
El gráfico de normalidad para el denier 650 desarrollado en el mes de agosto se muestra en la Figura 45. En este caso, la gráfica desarrollada presenta una distribución con una alta uniformidad en los datos.

La diferencia porcentual para este mes fue de 1.50%, indicando que la distribución es uniforme y simétrica. Sin embargo, las medias desplazadas se encuentran alejadas del punto central, lo que indica una alta dispersión de los datos.

Por otro lado, puede observarse, según la Tabla 20 que el proceso se encuentra fuera de control, ya que para este mes se estimó un porcentaje de incumplimiento del 30%, mayor que el límite de tolerancia aceptado.

6.2.2.10 Denier 650 - Septiembre

Figura 46. Gráfico de normalidad – Denier 650 (septiembre)



Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla 25. Desviaciones estándar sobre la media – Denier 650 (septiembre)

No. Desv	Inferior (negativo)	Superior (positivo)
1 Desv. Estándar	620.90	707.65
2 Desv. Estándar	577.53	751.02
3 Desv. Estándar	534.16	794.40

Fuente: Elaboración propia, 2023.

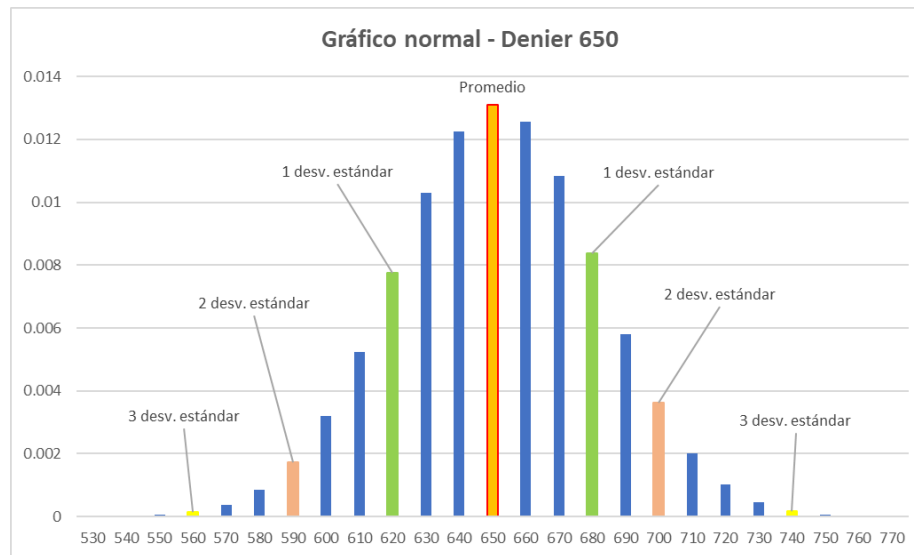
El gráfico de normalidad para el denier 650 desarrollado en el mes de septiembre se muestra en la Figura 46. En este caso, la gráfica desarrollada presenta una dispersión de datos significativa. La forma de la distribución muestra que existe un sesgo hacia la izquierda y que las medias desplazadas se encuentran alejadas del valor central, por lo que existe un nivel de variabilidad significativo entre los datos.

La diferencia porcentual en este caso es del 5.04%, reflejando poca uniformidad y simetría en la distribución de los datos.

En cuanto al cumplimiento del proceso, cabe mencionar que este no se considera bajo control, ya que tiene un porcentaje de incumplimiento del 31%, el cual es mayor al límite de tolerancia permitido.

6.2.2.11 Denier 650 - Diciembre

Figura 47. Gráfico de normalidad – Denier 650 (diciembre)



Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla 26. Desviaciones estándar sobre la media – Denier 650 (diciembre)

No. Desv	Inferior (negativo)	Superior (positivo)
1 Desv. Estándar	620.73	681.61
2 Desv. Estándar	590.29	712.05
3 Desv. Estándar	559.85	742.49

Fuente: Elaboración propia, 2023.

El gráfico de normalidad para el denier 650 desarrollado en el mes de septiembre se muestra en la Figura 47. La distribución muestra un comportamiento uniforme y con alta concentración de datos alrededor de la media.

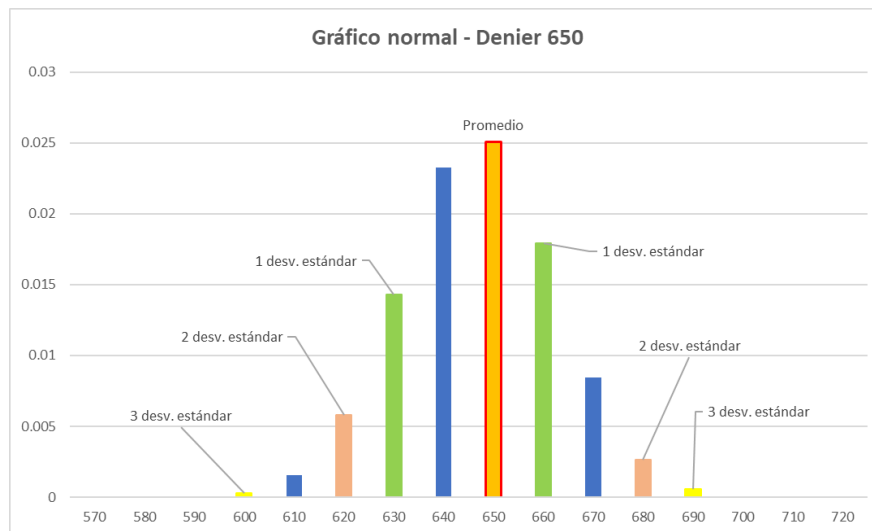
La diferencia porcentual de la distribución entre la media y la mediana es del 4.88%. Este resultado indica que los valores centrales se encuentran a una distancia moderada, sin ser suficientemente lejos para causar asimetría en la distribución.

Al analizar las medias desplazadas también puede observarse que la distribución sigue un comportamiento normal, y que la mayoría de los datos se encuentran dentro de la media desplazada a una desviación estándar.

Por otro lado, el porcentaje de incumplimiento fue del 24%, por lo que el proceso se puede considerar bajo control.

6.2.2.12 Denier 650 - Febrero

Figura 48. Gráfico de normalidad – Denier 650 (febrero)



Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla 27. Desviaciones estándar sobre la media – Denier 650 (febrero)

No. Desv	Inferior (negativo)	Superior (positivo)
1 Desv. Estándar	631.22	662.41
2 Desv. Estándar	615.63	678.00
3 Desv. Estándar	600.04	693.59

Fuente: Elaboración propia, 2023.

El gráfico de normalidad para el denier 650 desarrollado en el mes de septiembre se muestra en la Figura 48. En este caso, la gráfica desarrollada presenta una distribución con una baja concentración de datos. Además, existe un sesgo hacia la izquierda, lo que indica una mayor tendencia a presentar datos por arriba del promedio.

La diferencia porcentual del análisis de tendencia central fue de 1.25%, lo cual indica que los valores centrales son cercanos entre sí.

En cuanto al cumplimiento del proceso, este se considera bajo control, ya que tiene un porcentaje de incumplimiento del 4%.

6.2.2.13 Resultados para Denier 720:

La Tabla 28 muestra un resumen estadístico realizado durante varios meses para el denier 720. Además, en esta tabla se detallan los porcentajes de incumplimiento correspondientes a cada mes, para este tipo de hilo.

Tabla 28. Resumen estadístico para diferentes meses – Denier 720

Denier 720			
Mes	Septiembre	Octubre	Noviembre
Media	724.77	726.7	729.16
Desv. Estándar	40.69	34.96	32.24
Valor Min.	525	600	530
Valor Max.	925	908	918
Mediana	721	726	729
Moda	720	720	720
Observaciones	1594	481	572
No. incumplimientos	452	110	105
% de incumplimientos	28%	23%	18%

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Según la Tabla 28, los únicos dos meses que se consideran bajo control fueron octubre y noviembre, teniendo porcentaje de incumplimiento de 23% y 18%, respectivamente. Octubre tuvo una media de 726.7 y una desviación estándar de 34.96, mientras que noviembre tuvo una media de 729.16, con una desviación estándar de 32.24.

También se observa que el mes con mayor grado de incumplimientos para el denier 720, fue septiembre, con un porcentaje del 28%.

Por otro lado, el mes cuya media se encuentra más alejada es noviembre, con una diferencia de 9.16 unidades por encima.

Tabla 29. Resumen mensual del análisis de tendencia central – Denier 650.

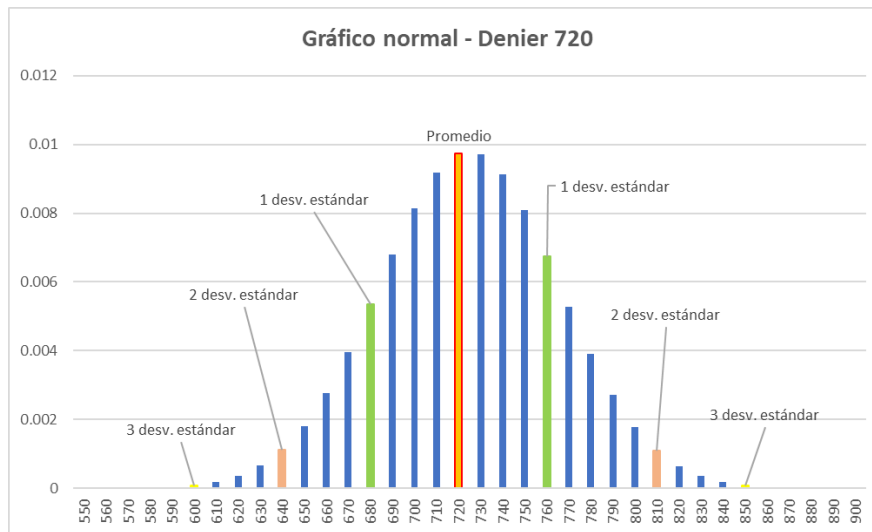
Denier 720	
Mes	Diferencia
Septiembre	5.24%
Octubre	0.97%
Noviembre	0.22%

Fuente: Elaboración propia, 2023.

La Tabla 29 muestra un resumen del análisis de tendencia central realizado en diferentes meses para el denier 720. La tabla presenta las diferencias porcentuales entre la media y la mediana de cada mes, permitiendo determinar la cercanía de su valor central e identificar si existe una simetría en la distribución de los datos.

6.2.2.14 Denier 720 - Septiembre

Figura 49. Gráfico de normalidad – Denier 720 (septiembre)



Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla 30. Desviaciones estándar sobre la media – Denier 720 (septiembre)

No. Desv	Inferior (negativo)	Superior (positivo)
1 Desv. Estándar	684.08	765.46
2 Desv. Estándar	643.39	806.16
3 Desv. Estándar	602.69	846.85

Fuente: Elaboración propia, 2023.

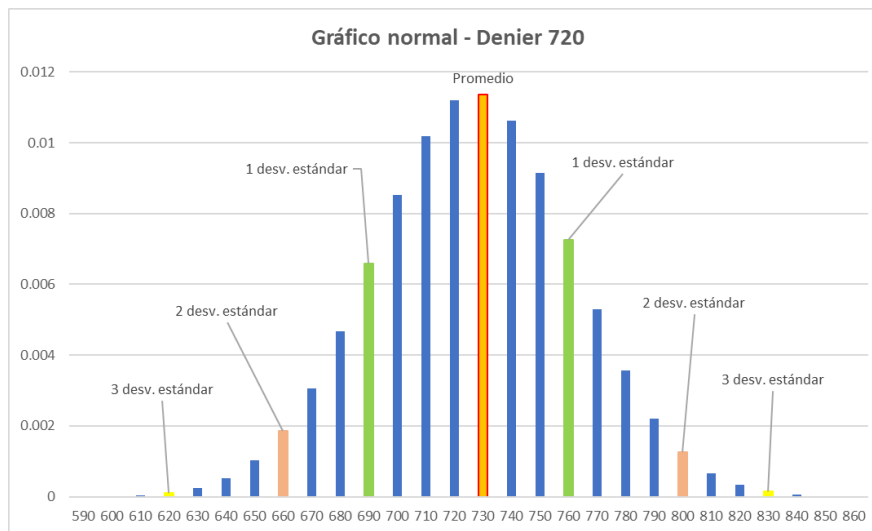
El gráfico de normalidad para el denier 720 desarrollado en el mes de junio se muestra en la Figura 49. La gráfica presenta una distribución con alta dispersión de datos alrededor del valor central. Además, la diferencia porcentual entre la media y la mediana fue del 5.24%. Esto indica que la distribución es moderadamente normal.

Las medias desplazadas se encuentran alejadas del valor central, lo que indica una mayor variabilidad en el proceso.

En cuanto al cumplimiento del proceso, cabe resaltar que este obtuvo un porcentaje de incumplimiento del 28%, por lo que no puede considerarse bajo control.

6.2.2.15 Denier 720 – Octubre

Figura 50. Gráfico de normalidad – Denier 720 (octubre)



Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla 31. Desviaciones estándar sobre la media – Denier 720 (octubre)

No. Desv	Inferior (negativo)	Superior (positivo)
1 Desv. Estándar	691.74	761.66
2 Desv. Estándar	656.78	796.62
3 Desv. Estándar	621.83	831.58

Fuente: Elaboración propia, 2023.

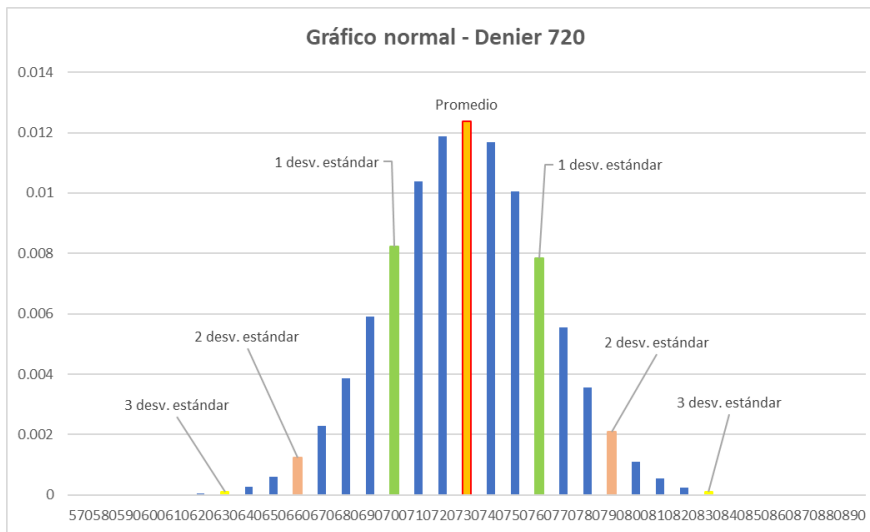
El gráfico de normalidad para el denier 720 desarrollado en el mes de octubre se muestra en la Figura 50. La gráfica presenta una distribución uniforme, con comportamiento normal, y sin presentar sesgos significativos. La diferencia porcentual del análisis de tendencia fue de 0.97%, lo que significa que existe poca diferencia entre los valores centrales, indicando que la distribución es uniforme y simétrica.

Al analizar las medias desplazadas, se puede observar que estas se encuentran a una distancia moderada de la media, por lo que no generan dispersión en los datos.

Por otro lado, se considera que el proceso se encuentra bajo control ya que tiene un porcentaje de incumplimiento del 23%, el cual se encuentra dentro del límite de tolerancia permitido.

6.2.2.16 Denier 720 - Noviembre

Figura 51. Gráfico de normalidad – Denier 720 (noviembre)



Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla 32. Desviaciones estándar sobre la media – Denier 720 (noviembre)

No. Desv	Inferior (negativo)	Superior (positivo)
1 Desv. Estándar	696.92	761.40
2 Desv. Estándar	664.69	793.64
3 Desv. Estándar	632.45	825.87

Fuente: Elaboración propia, 2023.

El gráfico de normalidad para el denier 720 desarrollado en el mes de junio se muestra en la Figura 51. La gráfica presenta una distribución uniforme y simétrica. Además, se determinó una diferencia porcentual del 0.22%, lo que significa que la media y la mediana se encuentran cercanas, y, por tanto, la distribución tendrá un comportamiento normal.

Al analizar las medias desplazadas puede notarse que éstas se ubican estrechamente en la distribución. Esto significa que existe una alta concentración de datos alrededor de la media y hay poca dispersión en la muestra.

En cuanto al nivel de cumplimiento del proceso, se determinó que este obtuvo un porcentaje de incumplimiento del 18%, por lo que este proceso puede considerarse bajo control.

6.2.2.17 Resultados para Denier 800:

La Tabla 33 muestra un resumen estadístico realizado durante varios meses para el denier 800. A su vez, la tabla también muestra los porcentajes de incumplimiento obtenidos que corresponden a cada mes, para este tipo de hilo.

Tabla 33. Resumen estadístico para diferentes meses – Denier 800

Mes	Denier 800						
	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Media	797.99	796.25	801.93	806.13	799.34	804.67	797.54
Desv. Estándar	39.03	33.78	56.81	49.46	46.67	42.43	30.18
Valor Min.	559	677	557	177	522	579	645
Valor Max.	981	987	1167	1236	1195	1146	975
Mediana	795	795	800	804	798	807	796
Moda	810	780	840	840	798	840	798
Observaciones	1132	753	1404	2438	3147	3365	1403
No. incumplimientos	257	153	464	634	776	720	154
% de incumplimientos	23%	20%	33%	26%	25%	21%	11%

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Según la Tabla 33, la mayoría de los meses presentaron un proceso bajo control, a excepción de agosto y septiembre, ya que tuvieron tasas de incumplimiento del 33% y 26%, respectivamente. Además, puede notarse que septiembre fue el mes con cuya media está más alejada del valor nominal, siendo esta de 806.13, y con una desviación estándar de 49.46.

Por otro lado, se puede observar que el mes con mayor grado de incumplimientos fue agosto, con 33%, el mes con menor grado de incumplimientos fue diciembre, con 11%.

Tabla 34. Resumen mensual del análisis de tendencia central – Denier 800

Denier 800	
Mes	Diferencia
Junio	3.75%
Julio	1.56%
Agosto	2.42%
Septiembre	2.66%
Octubre	1.67%
Noviembre	2.91%
Diciembre	0.19%

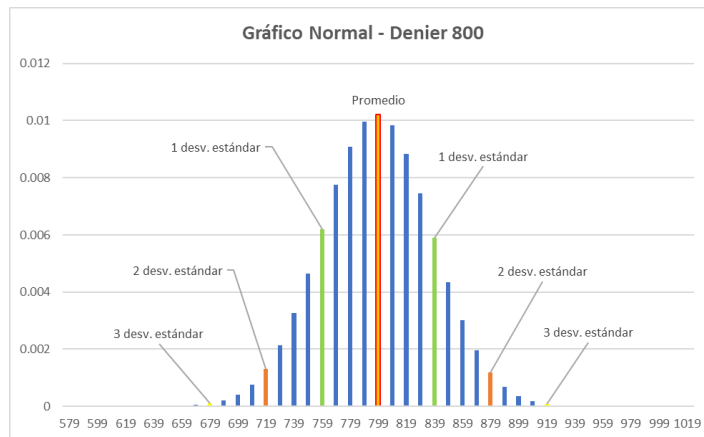
Fuente: Elaboración propia, 2023.

La Tabla 34 muestra un resumen del análisis de tendencia central realizado en diferentes meses para el denier 800. La Tabla 34 presenta las diferencias porcentuales entre

la media y la mediana de cada mes, permitiendo determinar la cercanía de su valor central e identificar si existe una simetría en la distribución de los datos.

6.2.2.18 Denier 800 - Junio

Figura 52. Gráfico de normalidad – Denier 800 (junio)



Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla 35. Desviaciones estándar sobre la media – Denier 800 (junio)

No. Desv	Inferior (negativo)	Superior (positivo)
1 Desv. Estándar	758.97	837.02
2 Desv. Estándar	719.94	876.05
3 Desv. Estándar	680.91	915.08

Fuente: Elaboración propia, 2023.

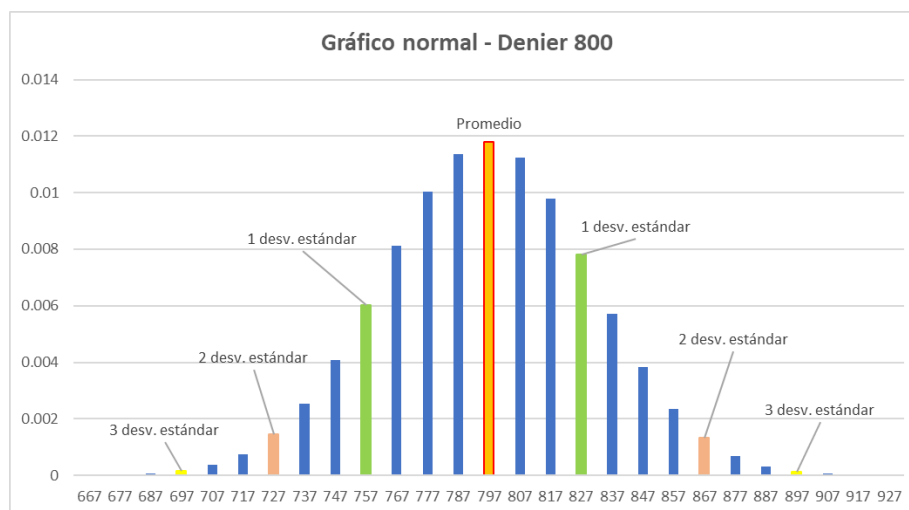
El gráfico de normalidad para el denier 800 desarrollado en el mes de junio se muestra en la Figura 52. Esta gráfica muestra una distribución uniforme y simétrica, pero con dispersión en los datos.

La diferencia porcentual entre los valores centrales fue de 3.75% y las medias desplazadas se encuentran alejadas del valor central, indicando que los datos registrados en la distribución se encuentran dispersos alrededor de la media.

Durante este mes, el proceso se encontró bajo control, con un 23% de error, dentro del límite de tolerancia especificado.

6.2.2.19 Denier 800 - Julio

Figura 53. Gráfico de normalidad – Denier 800 (julio)



Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla 36. Desviaciones estándar sobre la media – Denier 800 (julio)

No. Desv	Inferior (negativo)	Superior (positivo)
1 Desv. Estándar	762.47	830.03
2 Desv. Estándar	728.69	863.80
3 Desv. Estándar	694.91	897.58

Fuente: Elaboración propia, 2023.

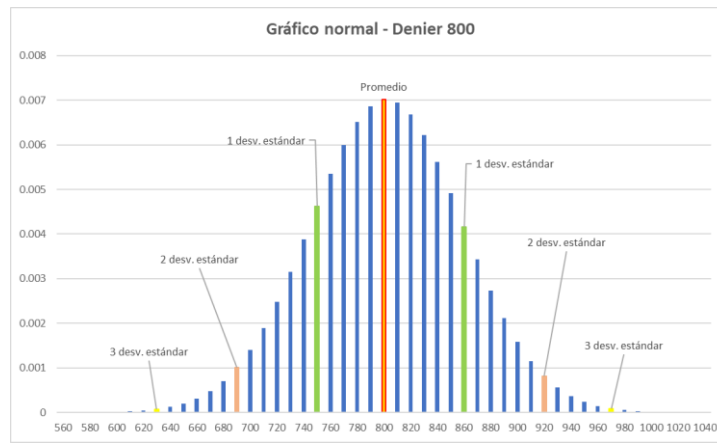
El gráfico de normalidad para el denier 800 desarrollado en el mes de julio se muestra en la Figura 53. Esta gráfica presenta una distribución uniforme y simétrica. La diferencia porcentual fue de 1.56%, una diferencia baja que indica la cercanía entre los valores centrales.

Además, las medias desplazadas se ubican a una distancia moderada de la media original, indicando que los datos se encuentran concentrados alrededor de la media.

El porcentaje de incumplimiento estimado para este mes fue del 20%, por lo que puede inferirse que el proceso se encuentra bajo control.

6.2.2.20 Denier 800 - Agosto

Figura 54. Gráfico de normalidad – Denier 800 (agosto)



Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla 37. Desviaciones estándar sobre la media – Denier 800 (agosto)

No. Desv	Inferior (negativo)	Superior (positivo)
1 Desv. Estándar	745.13	858.74
2 Desv. Estándar	688.32	915.55
3 Desv. Estándar	631.51	972.36

Fuente: Elaboración propia, 2023.

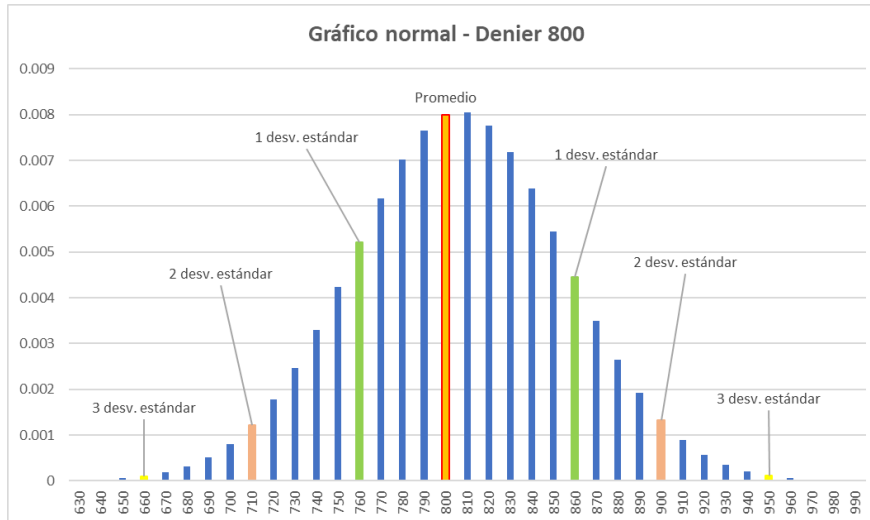
El gráfico de normalidad para el denier 800 desarrollado en el mes de agosto se muestra en la Figura 54. El gráfico muestra un comportamiento normal, presentando uniformidad y simetría en su distribución.

La diferencia porcentual del análisis de tendencia central fue de 2.42%, lo que indica una cercanía entre los valores centrales. También puede observarse que las medias desplazadas se encuentran en cercanía, por lo que se percibe una alta concentración de datos alrededor de la media.

En cuanto al cumplimiento del proceso para este mes, se notó un porcentaje de error del 33%, lo que significa que dicho proceso no se encuentra bajo control.

6.2.2.21 Denier 800 - Septiembre

Figura 55. Gráfico de normalidad – Denier 800 (septiembre)



Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla 38. Desviaciones estándar sobre la media – Denier 800 (septiembre)

No. Desv	Inferior (negativo)	Superior (positivo)
1 Desv. Estándar	756.67	855.59
2 Desv. Estándar	707.21	905.05
3 Desv. Estándar	657.75	954.52

Fuente: Elaboración propia, 2023.

El gráfico de normalidad para el denier 800 desarrollado en el mes de septiembre se muestra en la Figura 55. El gráfico presenta una distribución normal, con simetría, pero con un poco de dispersión y un leve sesgo hacia la izquierda.

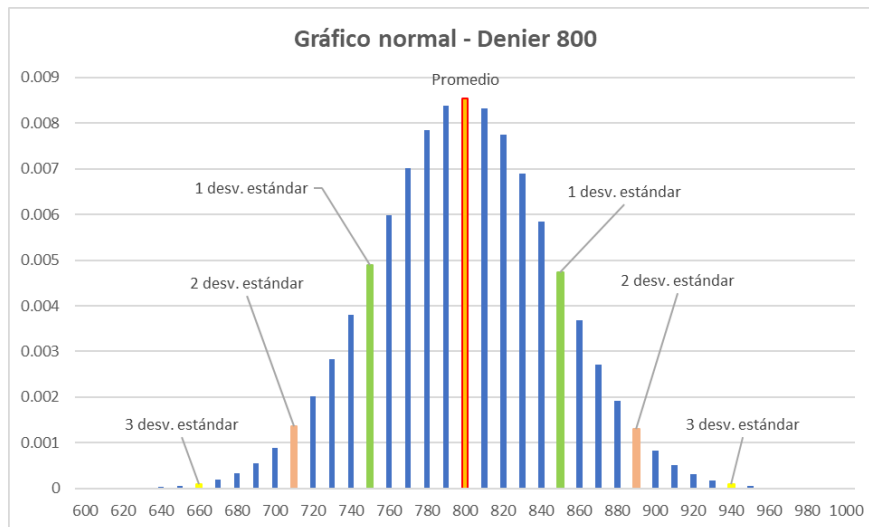
La diferencia porcentual fue del 2.66%, indicando que los valores centrales se encuentran en cercanía.

Al analizar las medias desplazadas puede notarse que existe dispersión en los datos.

Por otro lado, se obtuvo un nivel de incumplimiento del 26%, por lo que el proceso se considera incapaz y fuera de control.

6.2.2.22 Denier 800 - Octubre

Figura 56. Gráfico de normalidad – Denier 800 (octubre)



Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla 39. Desviaciones estándar sobre la media – Denier 800 (octubre)

No. Desv	Inferior (negativo)	Superior (positivo)
1 Desv. Estándar	752.67	846.01
2 Desv. Estándar	706	892.68
3 Desv. Estándar	659.33	939.35

Fuente: Elaboración propia, 2023.

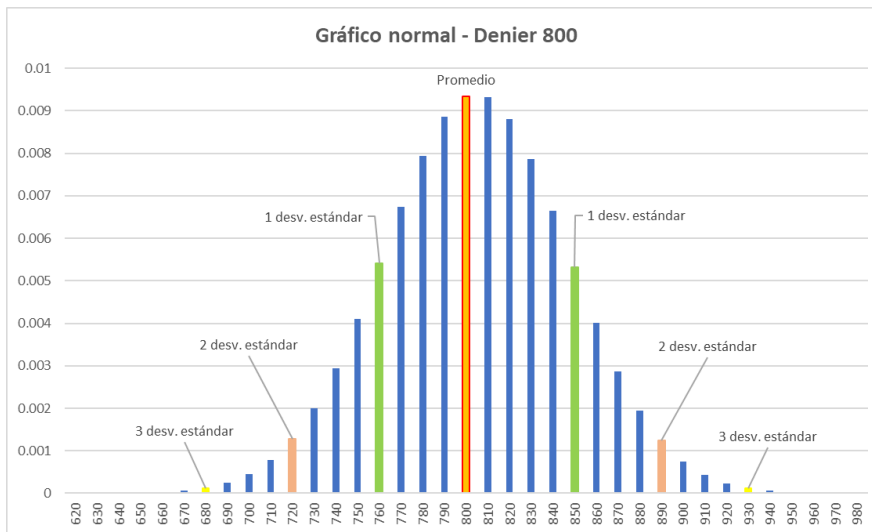
El gráfico de normalidad para el denier 800 desarrollado en el mes de octubre se muestra en la Figura 56. Esta gráfica muestra un comportamiento normal, no presenta sesgos y tiene una diferencia porcentual del 1.67%, lo que significa que los valores cercanos están en cercanía.

En cuanto a las medias desplazadas, puede observarse un poco de separación entre los puntos de corte y la media de la muestra.

El porcentaje de incumplimiento para este mes fue de 25%, justo sobre el límite de tolerancia permitido, por lo que el proceso se considera bajo control.

6.2.2.23 Denier 800 - Noviembre

Figura 57. Gráfico de normalidad – Denier 800 (noviembre)



Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla 40. Desviaciones estándar sobre la media – Denier 800 (noviembre)

No. Desv	Inferior (negativo)	Superior (positivo)
1 Desv. Estándar	762.24	847.10
2 Desv. Estándar	719.81	889.53
3 Desv. Estándar	677.38	931.96

Fuente: Elaboración propia, 2023.

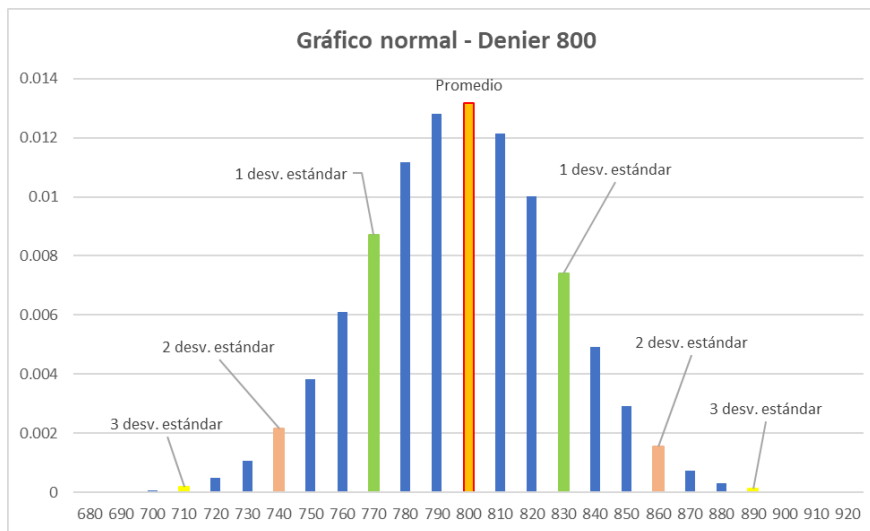
El gráfico de normalidad para el denier 800 desarrollado en el mes de noviembre se muestra en la Figura 57. La gráfica presenta una distribución con un leve sesgo hacia la izquierda. Además, presenta una diferencia porcentual de 2.91%, que indica cercanía entre los valores centrales.

Por otro lado, las medias se encuentran alejadas de la media, lo que indica una dispersión y falta de uniformidad en los datos.

El porcentaje de incumplimiento estimado para este mes fue del 21%, menor que el límite de tolerancia especificado, por lo que se asegura que el proceso se encuentra bajo control.

6.2.2.24 Denier 800 - Diciembre

Figura 58. Gráfico de normalidad – Denier 800 (diciembre)



Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla 41. Desviaciones estándar sobre la media – Denier 800 (diciembre)

No. Desv	Inferior (negativo)	Superior (positivo)
1 Desv. Estándar	767.36	827.72
2 Desv. Estándar	737.18	857.89
3 Desv. Estándar	707	888.07

Fuente: Elaboración propia, 2023.

El gráfico de normalidad para el denier 800 desarrollado en el mes de diciembre se muestra en la Figura 58. La gráfica presenta una distribución con poca concentración de datos registrados. Sin embargo, la gráfica muestra una distribución simétrica y uniforme.

La diferencia porcentual para este mes fue de 0.19%, donde se percibió bastante cercanía entre los valores centrales, así como una distribución con poca variabilidad y un comportamiento con poca dispersión en los datos.

Durante este mes, se estimó un porcentaje de incumplimientos del 11%. Esta cifra cabe dentro de lo aceptable, ya que es menor que el límite de tolerancia permitido. Por ello, se considera que el proceso se encuentra bajo control.

6.2.2.25 Resultados para Denier 1,090:

La Tabla 42 muestra un resumen estadístico realizado durante varios meses para el denier 1,090. Además, en la tabla también se presentan los porcentajes de incumplimiento correspondientes a cada mes, para este tipo de hilo.

Tabla 42. Resumen estadístico para diferentes meses – Denier 1,090

Mes	Denier 1090						
	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Media	1092.18	1091.37	1097.88	1092.23	1101.04	1098.79	1090.74
Desv. Estándar	50.01	59.91	66.79	76.21	61.42	66.7	50.39
Valor Min.	828	798	768	753	772	522	828
Valor Max.	1409	1402	1558	1688	2130	2190	1428
Mediana	1091	1086	1095	1086	1099	1096	1089
Moda	1095	1080	1077	1038	1074	1098	1104
Observaciones	1871	1568	2026	1712	2688	2768	2000
No. incumplimientos	350	403	543	570	620	574	368
% de incumplimientos	19%	26%	27%	33%	23%	21%	18%

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Según la Tabla 42, cuatro de siete meses tuvieron un proceso bajo control: junio, octubre, noviembre y diciembre.

Por otro lado, el mes con el porcentaje de incumplimiento más alto fue septiembre con 33%.

El mes con mayor diferencia entre la media y el valor nominal fue octubre, con 11.04 unidades, y con una desviación de 61.42.

Tabla 43. Resumen mensual del análisis de tendencia central - Denier 1,090

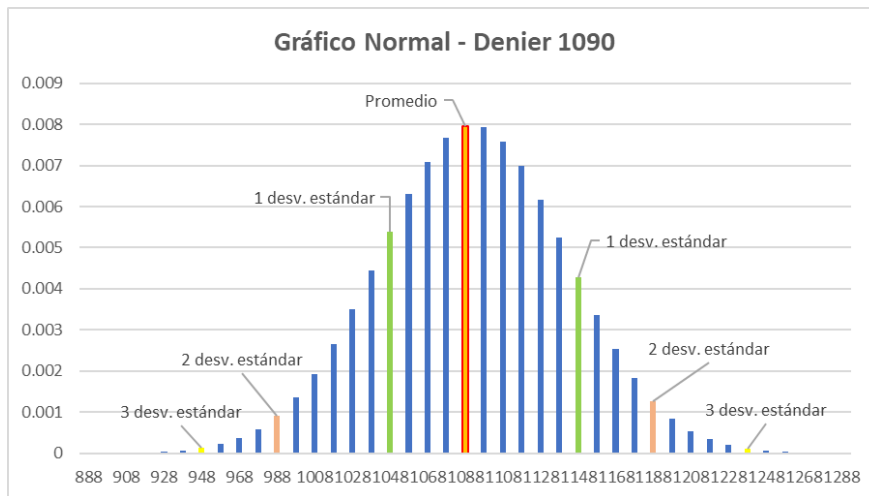
Denier 1,090	
Mes	Diferencia
Junio	1.09%
Julio	4.93%
Agosto	2.64%
Septiembre	5.71%
Octubre	1.87%
Noviembre	2.56%
Diciembre	1.59%

Fuente: Elaboración propia, 2023.

La Tabla 43 muestra un resumen del análisis de tendencia central realizado en diferentes meses para el denier 1,090. La tabla presenta las diferencias porcentuales entre la media y la mediana de cada mes, permitiendo determinar la cercanía de su valor central e identificar si existe una simetría en la distribución de los datos.

6.2.2.26 Denier 1,090 - Junio

Figura 59. Gráfico de normalidad – Denier 1,090 (junio)



Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla 44. Desviaciones estándar sobre la media – Denier 1,090 (junio)

No. Desv	Inferior (negativo)	Superior (positivo)
1 Desv. Estándar	1,042.17	1,142.20
2 Desv. Estándar	992.16	1,192.21
3 Desv. Estándar	942.15	1,242.22

Fuente: Elaboración propia, 2023.

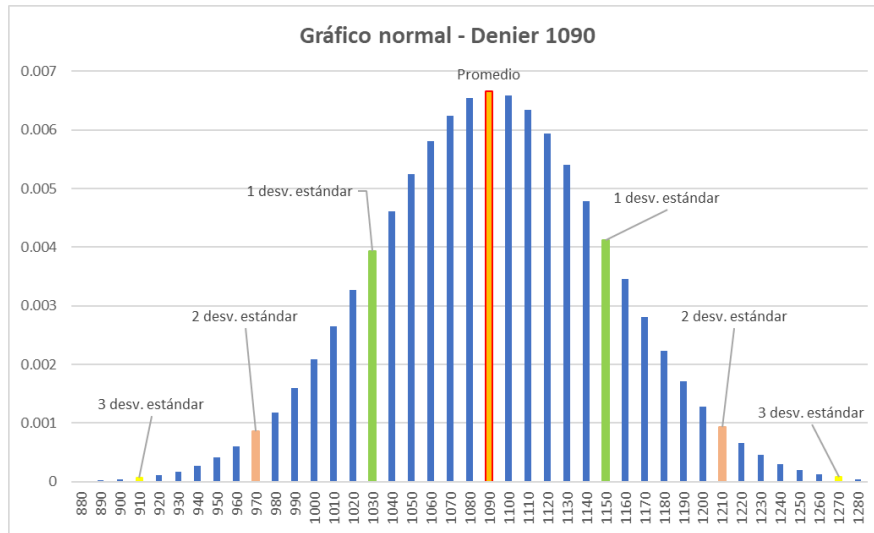
El gráfico de normalidad para el denier 1,090 desarrollado en el mes de junio se muestra en la Figura 59. La gráfica muestra una distribución con un comportamiento simétrico y uniforme, aunque presentando niveles de dispersión considerables. La diferencia porcentual fue de 1.09%, lo que indica una cercanía entre los valores centrales de la media y la mediana.

Además, se observó que las medias desplazadas se ubican lejanamente en el gráfico de normalidad, esto refleja mayor variabilidad en los datos de la distribución.

Por otro lado, se determinó que el porcentaje de incumplimientos medio para el denier 1,090 fue del 19%, menor que el límite defectivo establecido. Este resultado permite determinar que el proceso se encuentra bajo control para este mes.

6.2.2.27 Denier 1,090 - Julio

Figura 60. Gráfico de normalidad – Denier 1,090 (julio)



Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla 45. Desviaciones estándar sobre la media – Denier 1,090 (julio)

No. Desv	Inferior (negativo)	Superior (positivo)
1 Desv. Estándar	1,031.46	1,151.28
2 Desv. Estándar	971.55	1,211.19
3 Desv. Estándar	911.63	1,271.10

Fuente: Elaboración propia, 2023.

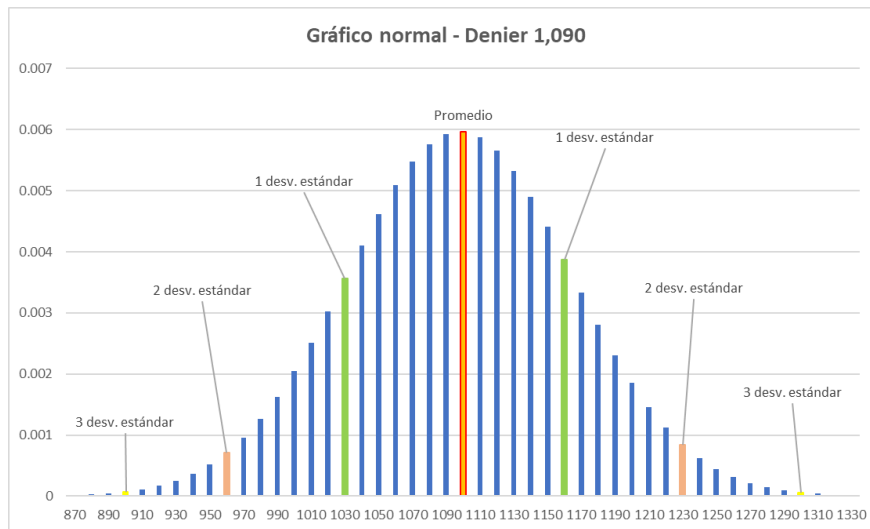
El gráfico de normalidad para el denier 1,090 desarrollado en el mes de julio se muestra en la Figura 60. La distribución de la gráfica muestra simetría y uniformidad. Tiene una diferencia porcentual de 4.93%, indicando que los valores centrales están a una distancia moderada entre sí.

Las medias desplazadas se observan levemente alejadas de la media, reflejando que existe cierta dispersión entre los datos.

Por otro lado, el porcentaje de incumplimiento del proceso durante este mes fue el 26%. Este resultado demuestra que el proceso no se encuentra bajo control, ya que supera el límite de tolerancia establecido para cada lote.

6.2.2.28 Denier 1,090 - Agosto

Figura 61. Gráfico de normalidad – Denier 1,090 (agosto)



Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla 46. Desviaciones estándar sobre la media – Denier 1,090 (agosto)

No. Desv	Inferior (negativo)	Superior (positivo)
1 Desv. Estándar	1,031.08	1,164.67
2 Desv. Estándar	964.29	1,231.46
3 Desv. Estándar	897.50	1,298.25

Fuente: Elaboración propia, 2023.

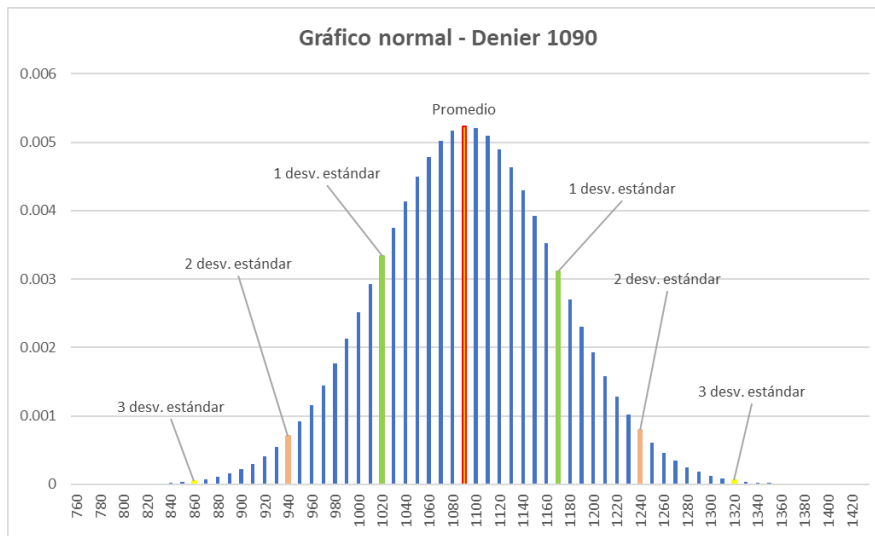
El gráfico de normalidad para el denier 1,090 desarrollado en el mes de agosto se muestra en la Figura 61. La distribución muestra un comportamiento uniforme, sin sesgos significativos y con una forma simétrica. La diferencia porcentual correspondiente fue de 2.64%, por lo que se estima que existe cercanía entre la media y la mediana, indicando un comportamiento normal en los datos.

Por otro lado, las medias desplazadas se observan ligeramente alejadas del valor central, lo que señala que los datos pueden encontrar cierta dispersión alrededor de la media.

En cuanto al porcentaje de incumplimiento, se estimó que para este mes se obtuvo una proporción del 27% de error, mayor que el límite de tolerancia, por lo que dicho proceso no puede considerarse bajo control.

6.2.2.29 Denier 1,090 - Septiembre

Figura 62. Gráfico de normalidad – Denier 1,090 (septiembre)



Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla 47. Desviaciones estándar sobre la media – Denier 1,090 (septiembre)

No. Desv	Inferior (negativo)	Superior (positivo)
1 Desv. Estándar	1,016.02	1,168.44
2 Desv. Estándar	939.81	1,244.64
3 Desv. Estándar	863.81	1,320.85

Fuente: Elaboración propia, 2023.

El gráfico de normalidad para el denier 1,090 desarrollado en el mes de septiembre se muestra en la Figura 62. El gráfico presenta una distribución con comportamiento normal, simétrica, y puede percibirse en la forma una alta concentración de datos alrededor del valor central.

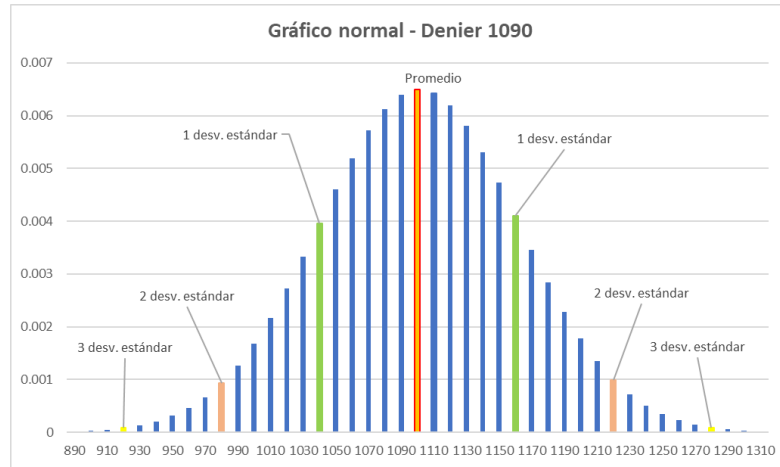
La diferencia porcentual entre los valores centrales fue de 5.71%. Además, no se observan tendencias significativas.

Por otro lado, las medias desplazadas se muestran cercanas a la media, lo que señala una concentración uniforme de los datos y muestra que no existe mucha dispersión en los mismos.

En cuanto al cumplimiento del proceso, se determinó que el porcentaje de error estimado para este mes fue del 33%, mayor que el límite de tolerancia permitido. Esto significa que el proceso se encuentra fuera de control según la cantidad de incumplimientos por muestra.

6.2.2.30 Denier 1,090 - Octubre

Figura 63. Gráfico de normalidad – Denier 1,090 (octubre)



Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla 48. Desviaciones estándar sobre la media – Denier 1,090 (octubre)

No. Desv	Inferior (negativo)	Superior (positivo)
1 Desv. Estándar	1,039.62	1,162.46
2 Desv. Estándar	978.20	1,223.88
3 Desv. Estándar	916.78	1,285.30

Fuente: Elaboración propia, 2023.

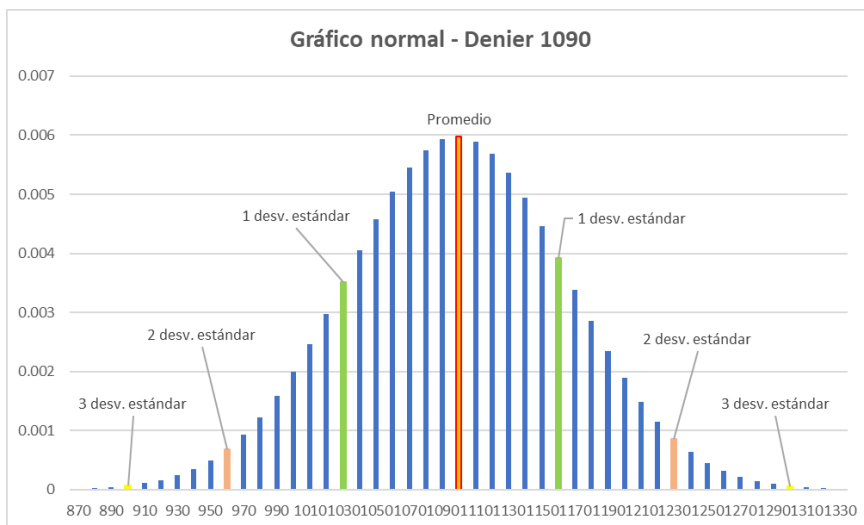
El gráfico de normalidad para el denier 1,090 desarrollado durante el mes de octubre se muestra en la Figura 63. La distribución muestra uniformidad y una dispersión moderada. La diferencia porcentual para este mes fue de 1.87%, señalando que existe cercanía entre los valores centrales, y que la distribución es simétrica y tiene un comportamiento normal.

Las medias desplazadas, ilustradas en el gráfico como puntos de corte, se observan alejadas de la media, evidenciando que existe dispersión de datos alrededor de la media.

El porcentaje de incumplimiento en este caso fue del 23%, lo que sugiere que el proceso se encuentra bajo control y en cumplimiento, ya que dicho porcentaje es menor que el límite de tolerancia.

6.2.2.31 Denier 1,090 - Noviembre

Figura 64. Gráfico de normalidad – Denier 1,090 (noviembre)



Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla 49. Desviaciones estándar sobre la media – Denier 1,090 (noviembre)

No. Desv	Inferior (negativo)	Superior (positivo)
1 Desv. Estándar	1,032.09	1,165.49
2 Desv. Estándar	965.39	1,232.19
3 Desv. Estándar	898.69	1,298.89

Fuente: Elaboración propia, 2023.

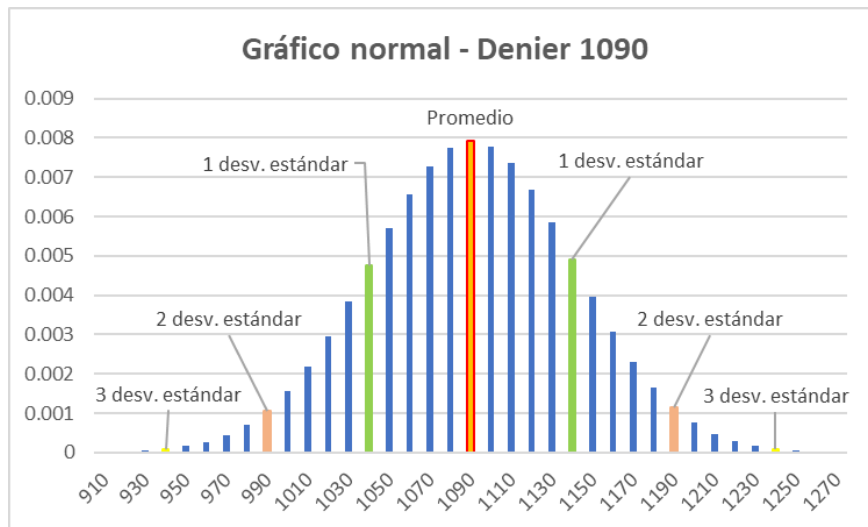
El gráfico de normalidad para el denier 1,090 desarrollado durante el mes de noviembre se muestra en la Figura 64. Este gráfico presenta un comportamiento normal, con una diferencia porcentual de 2.56%, lo que refleja uniformidad y simetría en la distribución.

En cuanto a las medias desplazadas, puede notarse que se encuentran ligeramente alejadas de la media central, lo que señala que los datos pueden encontrarse dispersos, y que estos no estarán tan concentrados alrededor del valor central como se esperaría.

Por otro lado, se estimó que el porcentaje de incumplimiento durante este mes fue de 21%, lo cual se encuentra dentro de la tolerancia permitida. Dicho resultado sugiere que el proceso se encuentra en cumplimiento y bajo control.

6.2.2.32 Denier 1,090 - Diciembre

Figura 65. Gráfico de normalidad – Denier 1,090 (diciembre)



Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla 50. Desviaciones estándar sobre la media – Denier 1,090 (diciembre)

No. Desv	Inferior (negativo)	Superior (positivo)
1 Desv. Estándar	1,040.35	1,141.12
2 Desv. Estándar	989.97	1,191.51
3 Desv. Estándar	939.58	1,241.89

Fuente: Elaboración propia, 2023.

El gráfico de normalidad para el denier 1,090 desarrollado durante el mes de diciembre se muestra en la Figura 65. En este caso, la distribución no muestra sesgos o tendencias anormales, y las medias desplazadas tampoco indican que exista una dispersión en la distribución de los datos.

Además, puede observarse una diferencia porcentual estimada de 1.59%. Esto refleja una cercanía entre los valores centrales, sugiriendo uniformidad y normalidad.

Se estimó que el porcentaje de error promedio para este mes fue del 18%, por lo que puede inferirse que el proceso se encuentra bajo control durante este mes.

6.2.2.33 Resultados para Denier 2,165:

La Tabla 51 muestra un resumen estadístico realizado durante varios meses para el denier 2,165. Además, en cada tabla se especifican los porcentajes de incumplimiento correspondientes a cada mes, para este tipo de hilo.

Tabla 51. Resumen estadístico para diferentes meses – Denier 2,165

Denier 2165					
Mes	Junio	Agosto	Octubre	Noviembre	Diciembre
Media	2186.68	2183.03	2162.45	2143.19	2162.53
Desv. Estándar	115.08	133.75	117.8	150.75	123.64
Valor Mín.	1569	1632	1412	1388	1596
Valor Max.	2869	2687	2706	2874	2997
Mediana	2178	2180	2160	2130	2160
Moda	2175	2148	2088	2100	2058
Observaciones	1467	1419	1786	1099	1176
No. incumplimientos	380	511	474	442	327
% de incumplimientos	26%	36%	27%	40%	28%

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Según la Tabla 51, ninguno de los meses registró un proceso bajo control, ya que en todos los casos se estimó un porcentaje de incumplimiento mayor al límite de tolerancia establecido.

Se observó que el mes con mayor porcentaje de incumplimientos fue noviembre, con 40%. Este mes registró una media de 2,143 (la más alejada de la especificación central), y una desviación estándar de 150.75 (la mayor en comparación con otros meses).

Por otro lado, se pudo observar que el mes con menor grado de incumplimiento fue junio, con un porcentaje del 26%.

Tabla 52. Resumen mensual del análisis de tendencia central – Denier 2,165

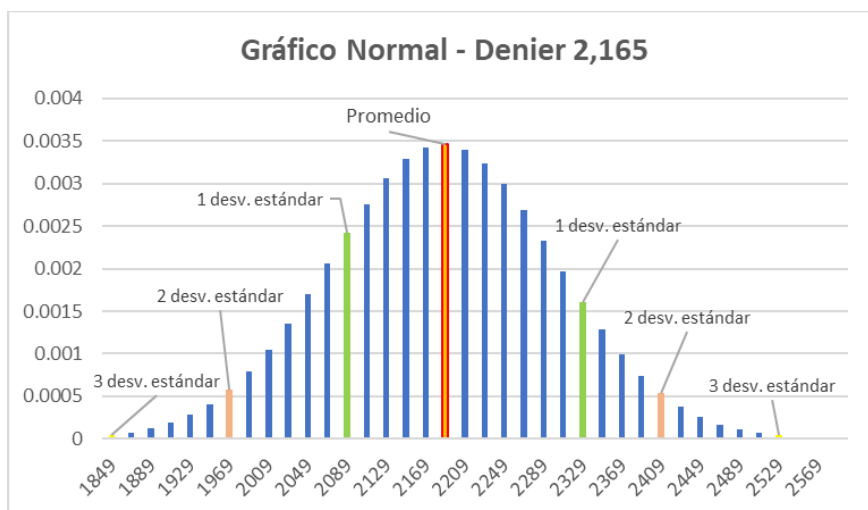
Denier 2,165	
Mes	Diferencia
Junio	4.01%
Agosto	1.40%
Octubre	1.13%
Noviembre	6.09%
Diciembre	1.17%

Fuente: Elaboración propia, 2023.

La Tabla 52 muestra un resumen del análisis de tendencia central realizado en diferentes meses para el denier 2,165. La tabla presenta las diferencias porcentuales entre la media y la mediana de cada mes, permitiendo determinar la cercanía de su valor central e identificar si existe una simetría en la distribución de los datos.

6.2.2.34 Denier 2,165 – Junio

Figura 66. Gráfico de normalidad – Denier 2,165 (junio)



Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla 53. Desviaciones estándar sobre la media – Denier 2,165 (junio)

No. Desv	Inferior (negativo)	Superior (positivo)
1 Desv. Estándar	2,071.60	2,301.75
2 Desv. Estándar	1,956.53	2,416.82
3 Desv. Estándar	1,841.45	2,531.90

Fuente: Elaboración propia, 2023.

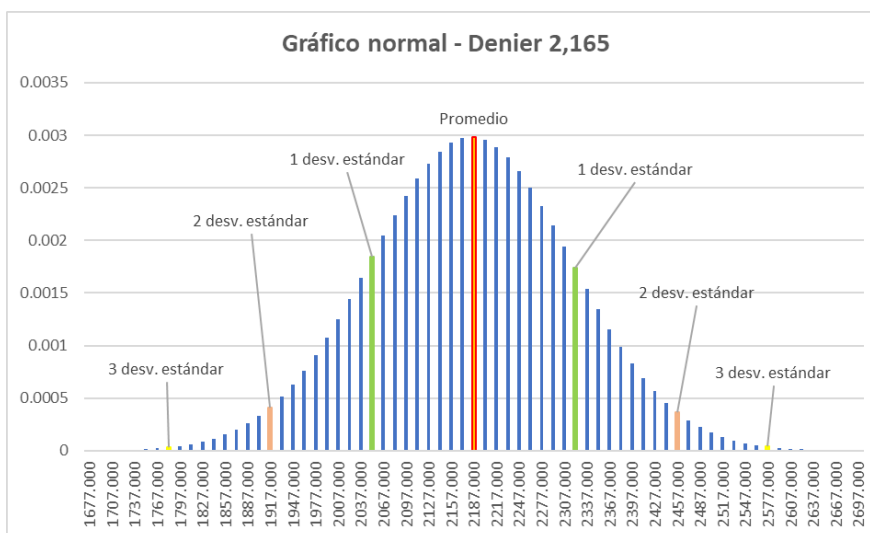
El gráfico de normalidad para el denier 2,165 desarrollado en el mes de junio se muestra en la Figura 66. La distribución de la gráfica muestra un ligero sesgo hacia la izquierda. La diferencia porcentual para este mes fue de 4.01%, y las medias desplazadas se encuentran alejadas de la media central.

Todo esto refleja que el gráfico presenta asimetría y falta de uniformidad en los datos. Además, estos se encuentran significativamente dispersos alrededor de la media central.

En cuanto al cumplimiento del proceso, se estimó para este mes un porcentaje de error del 26%, lo que indica que el proceso no se encuentra bajo control, porque dicha proporción sobrepasa la tolerancia establecida.

6.2.2.35 Denier 2,165 - Agosto

Figura 67. Gráfico de normalidad – Denier 2,165 (agosto)



Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla 54. Desviaciones estándar sobre la media – Denier 2,165 (agosto)

No. Desv	Inferior (negativo)	Superior (positivo)
1 Desv. Estándar	2,049.28	2,316.78
2 Desv. Estándar	1,915.52	2,450.54
3 Desv. Estándar	1,781.77	2,584.29

Fuente: Elaboración propia, 2023.

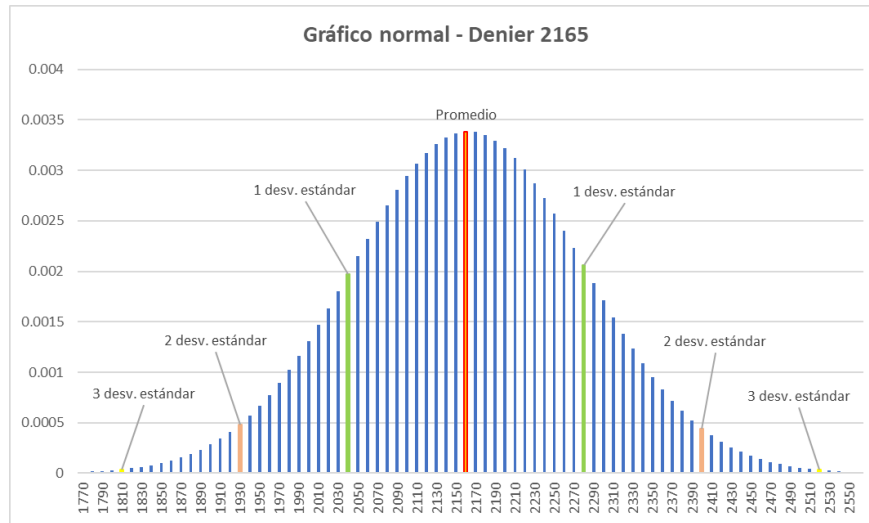
El gráfico de normalidad para el denier 2,165 desarrollado durante el mes de agosto se muestra en la Figura 67. En este caso, el gráfico presenta una distribución con una alta concentración de datos.

La diferencia porcentual corresponde a una proporción de 1.40%, y las medias desplazadas muestran simetría y uniformidad en el gráfico.

Al evaluar el cumplimiento del proceso se determinó que este se encuentra fuera de control, ya que para este mes se estimó un porcentaje de error del 36%, un valor significativamente mayor que la tolerancia establecida.

6.2.2.36 Denier 2,165 - Octubre

Figura 68. Gráfico de normalidad – Denier 2,165 (octubre)



Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla 55. Desviaciones estándar sobre la media – Denier 2,165 (octubre)

No. Desv	Inferior (negativo)	Superior (positivo)
1 Desv. Estándar	2,044.65	2,280.25
2 Desv. Estándar	1,926.84	2,398.05
3 Desv. Estándar	1,809.04	2,515.86

Fuente: Elaboración propia, 2023.

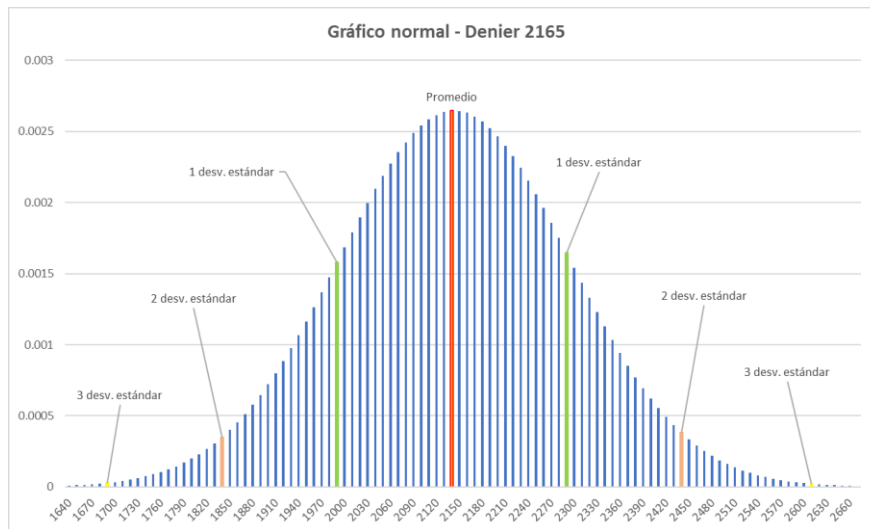
El gráfico de normalidad para el denier 2,165 desarrollado durante el mes de octubre se muestra en la Figura 68. La distribución de la gráfica muestra una alta concentración de datos.

Se estimó una diferencia porcentual entre media y mediana de 1.13%, indicando que los valores centrales tienen cercanía. Además, se determinó por medio de las medias desplazadas a 3 desviaciones estándar, que la distribución presenta simetría y uniformidad, señalando que la mayoría de los datos en la muestra se concentran alrededor de la media central.

Por otro lado, se pudo estimar un porcentaje de incumplimiento mensual del 27%. Dicho resultado refleja que el proceso se encuentra bajo control y en cumplimiento.

6.2.2.37 Denier 2,165 – Noviembre

Figura 69. Gráfico de normalidad – Denier 2,165 (noviembre)



Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla 56. Desviaciones estándar sobre la media – Denier 2,165 (noviembre)

No. Desv	Inferior (negativo)	Superior (positivo)
1 Desv. Estándar	1,992.44	2,293.95
2 Desv. Estándar	1,841.68	2,444.70
3 Desv. Estándar	1,690.93	2,595.46

Fuente: Elaboración propia, 2023.

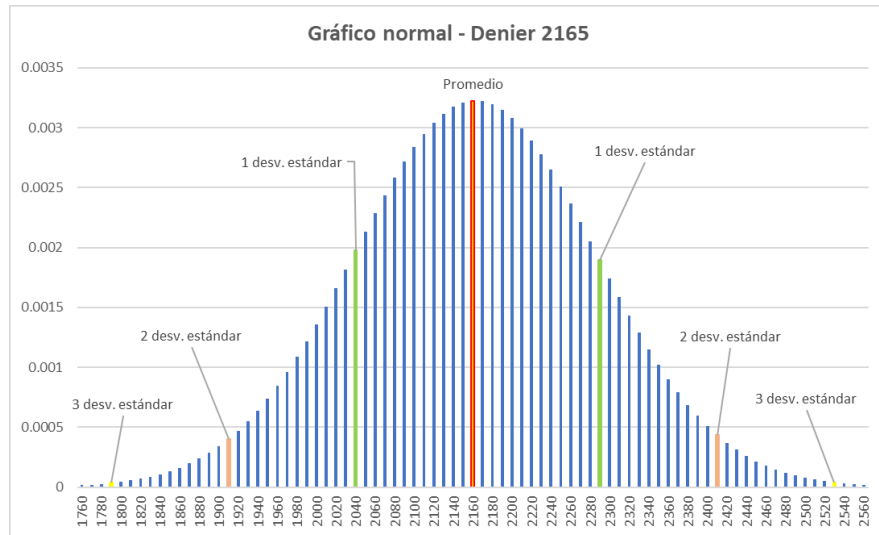
El gráfico de normalidad para el denier 2,165 desarrollado en el mes de noviembre se muestra en la Figura 69. La gráfica presenta una distribución con varias segmentaciones, indicando un amplio de valores y una alta dispersión en los resultados.

La diferencia porcentual estimada entre la media y la mediana fue de 6.09%, indicando que los valores centrales no tienen cercanía, y las medias desplazadas se encuentran alejadas del valor central, por lo que también son un indicador de dispersión en los datos.

Por otro lado, observarse en los resultados de la Tabla 51, que noviembre fue el mes con mayor incumplimiento, estimando un porcentaje de error del 40%. Dicho valor es significativamente superior al límite de tolerancia definido, por lo que, se considera que para este mes el proceso estuvo altamente fuera de control.

6.2.2.38 Denier 2,165 – Diciembre

Figura 70. Gráfico de normalidad – Denier 2,165 (diciembre)



Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla 57. Desviaciones estándar sobre la media – Denier 2,165 (diciembre)

No. Desv	Inferior (negativo)	Superior (positivo)
1 Desv. Estándar	2,038.89	2,286.17
2 Desv. Estándar	1,915.25	2,409.81
3 Desv. Estándar	1,791.62	2,533.44

Fuente: Elaboración propia, 2023.

El gráfico de normalidad para el denier 2,165 desarrollado en el mes de diciembre se muestra en la Figura 70. Se puede observar en el gráfico que la distribución se extiende bajo un enorme rango de valores, señalando que los datos se encuentran dispersos en la muestra.

Por otro lado, se registró una diferencia porcentual entre media y mediana de 1.17%, y las medias desplazadas indican que la distribución tiene una dispersión significativa.

En cuanto al cumplimiento del proceso, cabe resaltar que para este mes se estimó un porcentaje de incumplimiento de 28%, por lo cual, el proceso no puede considerarse bajo control, según los límites de tolerancia del análisis.

6.2.2.39 Resumen de los resultados

Tabla 58. Porcentaje de error promedio mensual

% de error promedio mensual	
Mes	Promedio
Junio	21.86%
Julio	26.63%
Agosto	32.48%
Septiembre	30.71%
Octubre	24.28%
Noviembre	25.18%
Diciembre	20.32%

Fuente: Elaboración propia, 2023.

La Tabla 58 muestra un resumen obtenido del porcentaje de error promedio para cada uno de los meses analizados. El resumen indica que el mes de agosto tuvo en promedio el mayor grado de incumplimiento, lo cual puede reflejarse en varios tipos de hilo. A este mes le sigue septiembre, que fue el segundo con mayor incumplimiento, teniendo un promedio del 30%.

Por otro lado, el mes con menor incumplimiento registrado fue diciembre, con un promedio de 20.32%.

A grandes rasgos, puede notarse que agosto y septiembre fueron los meses que presentaron las peores tasas de calidad en el segundo semestre del 2022. Además, también se observa que los otros meses tuvieron en promedio, porcentajes de incumplimiento aceptables, o cerca de ser aceptables, según los estándares de la empresa.

Tabla 59. Porcentaje de error promedio por Denier

% de error promedio	
Denier	Promedio
Denier 640	32%
Denier 650	24%
Denier 720	23%
Denier 800	23%
Denier 1090	24%
Denier 2165	31%

Fuente: Elaboración propia, 2023.

La Tabla 59 muestra un resumen obtenido del porcentaje de error promedio según la comparación de diferentes tipos de denier. En este caso, pudo observarse que el denier 640 tuvo en promedio el 32% de incumplimientos, siendo el tipo de hilo con mayor proporción de errores. El denier 2,165 le sigue al anterior con un promedio del 31% de errores.

Por otro lado, los tipos de hilo con menor incumplimiento fueron los denieres 720 y 800, con una proporción media de errores de 23%.

6.2.3 Información recabada a partir de entrevistas

6.2.3.1 Entrevista al supervisor de calidad

- a. Los factores ambientales no afectan de manera significativa en la calidad del proceso, en ninguna de sus propiedades (según las condiciones normales de la empresa).
- b. El extrusor presenta dos estados de funcionamiento: “ARRANQUE” y “ESTABLE”. Al momento de encender la máquina, esta comienza a producir en el modo de arranque. Cuando la máquina se encuentra en este estado es menos eficiente y más susceptible a producir unidades fuera de las especificaciones, principalmente en el denier. La máquina tarda alrededor de 3 o 4 horas en llegar al estado de máxima estabilidad. Cuando la máquina se encuentra completamente en funcionamiento estable, el proceso es más controlado y existe una menor probabilidad de que se generen incumplimientos en los hilos extruidos.
- c. La mayoría de los defectos relacionados con la maquinaria se deben a la falta de calibración en algunos instrumentos, ajustes mal realizados, o con poca frecuencia, o maquinaria que recién encendió y se encuentra en fase de “ARRANQUE”.

6.2.3.2 Entrevista al encargado de calibración en el área de extrusión

Tras entrevistar a uno de los calibradores de la planta con el fin de conocer más sobre la calibración de los extrusores, así como los posibles factores que podrían estar afectando a su rendimiento, se recabó la siguiente información:

- d. Mensualmente, la planta sufre varios bajones de electricidad. Esto genera parones en la maquinaria. En promedio, se estima que los extrusores se paran 4 veces por semana, debido a diferentes factores como tormentas (en temporada de lluvia), fallas técnicas, bajones de energía, enrollamiento de los hilos, etc.
- e. La calibración más común en los extrusores consiste en aplicar ajustes en los tornillos de extrusión. Estos ajustes permiten corregir las variaciones en el denier de la película. Se realizan, en promedio, 3 veces durante cada turno.

- i. Cuando los extrusores tienden a producir más denier de lo especificado, los tornillos se aprietan para compensar esta tendencia y regular el denier (ajuste hacia abajo).
- ii. Cuando los tornillos tienden a producir menos denier de lo especificado, los tornillos se aflojan para compensar esta tendencia y regular el denier (ajuste hacia arriba).

La calibración de los tornillos puede llevarse a cabo mientras el extrusor se encuentra en funcionamiento, por lo que no se interrumpe la operación de la maquinaria. Esto implica que la frecuencia de calibración entre cada turno dependerá de la disponibilidad de los encargados, así como de su criterio propio.

Se consultó la literatura para obtener un mayor entendimiento sobre el modo de calibración empleado en un proceso de extrusión de *parison* (Carrera, 2005). La extrusión de *parison* y la extrusión de láminas difieren en algunos aspectos del proceso, pero la calibración se centra en el mismo concepto de aplicación.

- f. No se sabe con certeza cuales son las causas de que los tornillos tiendan a producir hilos con un denier sobre el límite superior. Sin embargo, se sabe que este problema se encuentra relacionado con la resina, o con factores conocidos del extrusor/tornillos.

6.2.3.3 Entrevista al gerente de mantenimiento

Se entrevistó al gerente de mantenimiento de la planta para conocer sobre los procedimientos y métodos que se emplean para darle mantenimiento y chequeo a los extrusores. Se recabó la siguiente información:

- a. Los extrusores reciben mantenimiento de manera mensual, ya que así se establece en los manuales del fabricante. El mantenimiento se lleva a cabo al final de cada mes e incluye lo siguiente:
 - i. Inspección de desgaste para verificar si es necesario el cambio de algún repuesto o componente de la máquina.
 - ii. Cambio de aceite y filtros
 - iii. Revisión de componentes eléctricos y mecánicos
 - iv. Limpieza de la maquinaria
 - v. Otros procedimientos detallados en el manual de limpieza y mantenimiento F01-PPRPD-11

6.3 Análisis y discusión de resultados

Los gráficos de control que se desarrollaron de manera general para cada uno de los hilos, en los que se tomó en cuenta varios meses de muestreo, se presentan de la Figura 1 a la Figura 7. El análisis general demostró que el Denier 1090 es el tipo de hilo que presentó una mayor variabilidad en el proceso. Este gráfico registró 3 puntos sobre el límite central superior, con tasas de error considerablemente altas, y a lo largo de todo el periodo mantuvo variaciones reflejadas en picos y valles abruptos, principalmente durante los primeros 4

meses. Los resultados reflejan que hubo grandes dificultades para producir unidades dentro de las especificaciones.

Por otra parte, los denieres 640, 650 y 800 también denotan niveles significativos de variabilidad durante los periodos propios de estudio. A nivel general, se observa que junio, julio, agosto y septiembre fueron los meses para los cuales se registraron variaciones más significativas. Es decir, el proceso fue menos eficaz durante esos meses, a nivel general. Una excepción notable, es el denier 640, específicamente durante el mes de junio, donde las tasas de error normalmente fueron menores del 20%. Otra excepción notable fue el denier 2165, ya que la gráfica obtenida para esta muestra presenta picos de menor amplitud, y las variaciones de las tasas entre fechas suelen ser menores también, principalmente durante la primera mitad del periodo estudiado.

También se determinó que los mejores resultados se presentaron durante los meses de octubre, noviembre y diciembre, lo que indica que el proceso de extrusión mejoró durante el transcurso de los meses.

Por otra parte, un hallazgo importante que se encontró en la mayor parte de los gráficos fue la existencia de comportamientos cíclicos, que se reflejan en un aumento significativo de la variabilidad a medida que pasan los días de cada mes. Aunque, hay casos específicos que no siguen este patrón, este puede percibirse como un comportamiento general, que se mantiene presente en la mayoría de los meses y en todos los tipos de hilo. Además, en algunos gráficos este aumento de la variabilidad se muestra más abrupto que en otros casos.

La causa de este comportamiento general puede implicar varios factores de manera simultánea. Por ello, fue necesario llevar a cabo un análisis más específico, analizando el comportamiento individual de cada uno de los meses, para los diferentes tipos de hilo.

Los gráficos de control específicos desarrollados para los denieres más concluyentes de cada mes se presentan de la Figura 6 a la Figura 38. Los resultados del análisis indican que el proceso presentó una alta variabilidad para la mayoría de los denieres analizados. A nivel general, se observó que los denieres 650 y 2,165 tuvieron un proceso más controlado a través del periodo estudiado, en comparación con otros hilos. Por otro lado, también se reportó que, en diciembre, el proceso tuvo una variabilidad significativamente menor para varios denieres en general, en comparación a otros meses.

Por otra parte, un hallazgo importante que se encontró en la mayor parte de los denieres analizados fue que, al igual que en el análisis general, el proceso casi siempre presenta tendencias graduales de aumento en la variabilidad conforme el paso del tiempo. En los gráficos se percibió que, el comportamiento de la curva normalmente refleja un proceso más controlado durante los primeros días del mes, pero a medida que los días avanzan, la tasa de error y la variabilidad aumentan. Además, pudo observarse que dicha variabilidad, en varias ocasiones va acompañada de comportamientos cíclicos que generan picos y valles abruptos en el gráfico, los cuales sobrepasan frecuentemente los límites de especificación.

Por otro lado, hay una aclaración importante que debe hacerse respecto a la interpretación de los resultados. Para algunos gráficos, se interpretó que durante los primeros días del mes se obtuvo un proceso controlado, cuando en la gráfica, se puede observar que los primeros puntos trazados se encuentran fuera de los límites, lo que puede dar lugar a confusión. Aquí cabe aclarar dos puntos importantes.

En primer lugar, se interpretó que el proceso se encuentra controlado, ya que dichos puntos, aunque sobrepasan el límite inferior, presentan tasas de error significativamente bajas (un ejemplo de dicha situación se refleja en la interpretación de la Figura 7 de la sección de resultados). Esto da lugar al segundo punto, el cual explica la relación entre la variabilidad y la tasa de defectos por cada fecha, según la interpretación propia del gráfico de control.

Normalmente, los gráficos de control se desarrollan en el contexto de la gestión de calidad para estudiar el comportamiento de un proceso a lo largo del tiempo, según el cumplimiento que este tiene en las especificaciones nominales de sus características. Sin embargo, también se frecuentan otros tipos de enfoques en el mismo contexto de estudio, como acontece en este caso. Para el presente estudio, los gráficos de control se desarrollaron para estudiar el comportamiento del proceso en diferentes momentos, no con base en el cumplimiento de las características, sino en base al error medio obtenido para todos los momentos del análisis. Esto no representó una restricción para la interpretación, ya que el principal objetivo del análisis fue estudiar la variabilidad desde un enfoque que se centra en la dispersión de los datos y la identificación de patrones y tendencias, no en la disconformidad del proceso como tal (ya que para eso se emplearon otras herramientas).

Otro de los hallazgos relevantes en el estudio de la variabilidad fue que varios de los picos abruptos mencionados anteriormente generaron variaciones particularmente altas que no parecían ser normales en el proceso. Estos puntos causaron inquietud durante la interpretación de los resultados.

En primer lugar, cabe hacer la observación de que varios de estos picos corresponden a fechas en la muestra para las cuales no se registró una cantidad representativa de observaciones. La Figura 9 de la sección de resultados presenta un gráfico elaborado para septiembre que ilustra esta situación. La gráfica muestra una tasa de error máxima de 93% estimada para el 22 de abril. Al analizar la tabla de cálculos presentada en la Figura A95 de la sección de anexos, puede observarse que, durante la fecha indicada, solamente se registraron 46 observaciones, el cual no es un tamaño de muestra representativo. Esta explicación se le puede atribuir a la gran mayoría de puntos atípicos que dificultan la interpretación normal de los resultados.

En el proceso de encontrar estas anomalías en los datos, también se encontró que hubo varios días para los que no se registraron observaciones, como se puede observar en el caso del denier 650 para julio, en la Figura 11 de la sección de resultados. En la gráfica se observa que hubo una discontinuidad de datos durante 11 días, en los cuales no se registró información sobre el proceso, generando una brecha de datos significativa durante el análisis.

Siguiendo con la interpretación de las tendencias encontradas, se determinó en base a la información recopilada en entrevistas, que la principal causa del aumento en la variabilidad se debe a problemas provenientes directamente del extrusor. También podría haber otras causas que estén contribuyendo a este problema, como el factor humano, el cual podría estar involucrando cambios desconocidos a lo largo del mes, o que el modo de almacenamiento de la materia prima este afectando su calidad e integridad. Ante esta probabilidad, sería conveniente realizar análisis más exhaustivos que profundicen más en cada uno de los posibles factores involucrados, para descartar o confirmar su impacto y evaluar las consecuencias que tendrían en el proceso. Sin embargo, la información obtenida de las entrevistas se considera evidencia suficiente para relacionar los aumentos de la variabilidad directamente con el extrusor, considerando la máquina como el principal factor involucrado.

En primer lugar, las entrevistas revelaron que la maquinaria sufre parones frecuentes debido a varios motivos, y que, además, los extrusores no reciben mantenimiento con la frecuencia que deberían según el estado actual del proceso (Los hallazgos y testimonios obtenidos a partir de las entrevistas realizadas se explican detalladamente en la sección correspondiente de la Fase 2).

El tema de los parones, por un lado, representa un tema serio en cuanto a la eficiencia de la maquinaria, ya que los entrevistados reiteraron en varias ocasiones que cada vez que la máquina se detiene, esta tiene que pasar por un periodo de arranque después de volverse a encender. Durante este periodo de arranque, se explicó que la maquinaria tiende a generar una alta variabilidad en las especificaciones, principalmente el denier (gramaje). Además, este periodo puede durar algunas horas hasta que la máquina se establezca por completo y comience a producir con mayor precisión. Esto permite explicar el comportamiento cíclico que se llega a percibir en varios de los gráficos analizados.

Por otra parte, los extrusores reciben mantenimiento de forma mensual, generalmente al inicio de cada mes (el mantenimiento y la calibración de las máquinas se explican detalladamente en la sección de entrevistas de la Fase 2). Esto explica las tendencias de aumento que se van presentando a lo largo del mes y por qué el proceso tiende a mantenerse controlado durante los primeros días, pero con mayor variabilidad conforme pasa el tiempo.

Aquí cabe resaltar que, si los extrusores muestran un aumento de la variabilidad con el pasar de los días, debido a problemas del extrusor, entonces se percibe que estos no reciben mantenimiento con la frecuencia adecuada. El departamento de mantenimiento indicó que estos chequeos se hacen de forma mensual, ya que así se establece en los manuales de operación y cuidado del fabricante.

Sin embargo, es importante tomar en cuenta que los extrusores operan las 24 horas del día, la mayor parte de la semana, y sufren parones de forma muy frecuente, por lo que el desgaste de la máquina llega a un punto tal, que el mantenimiento comienza a requerirse de manera más frecuente en el equipo. Por este motivo, se considera conveniente darle mantenimiento a la máquina según su necesidad, incluso si esto implica realizar mantenimientos con más frecuencia de lo establecido en el manual.

Finalmente, es importante no caer en el error de concluir que un proceso bajo control siempre va acompañado de un alto nivel de cumplimiento, ya que esto no siempre es así, como se pudo observar en el análisis. Además, según el método utilizado en el estudio, debe tomarse en cuenta que los límites centrales son variables (no son los mismos que corresponden al cumplimiento de la especificación), ya que estos se determinan a partir del error medio. Debido a esto, hay procesos que pueden mostrar un comportamiento poco variable a lo largo del tiempo y a la vez reflejar una alta tasa de defectos promedio. Esta situación se ejemplifica en la Figura 9 de la sección de resultados. En la gráfica se observa que (obviando el punto atípico percibido durante la cuarta semana), el gráfico presenta el comportamiento de un proceso bajo control y con una variabilidad reducida.

Sin embargo, también se puede observar un error medio total del 35% (Ver Figura A95). Esto implica que, al calcular los límites inferior y superior (con 3 desviaciones por cada lado), el resultado fue un rango de tolerancia con altas tasas defectivas, el cual se extiende entre el 21.5% y el 47.6%. Esto significa que la mayoría de las observaciones registraron proporciones de error dentro de dicho margen. Es por ello que, al analizar la calidad de un proceso es importante no asumir que la variabilidad y el nivel de incumplimiento son lo mismo, ya que pueden estar relacionados, pero son dos conceptos diferentes.

En la misma dirección de seguir analizando la variabilidad y el nivel de cumplimiento, se llevaron a cabo sistemas de control especializados, los cuales permiten estudiar lado a lado ambos conceptos por medio de un análisis gráfico y un análisis de la capacidad del cumplimiento actual. Los resultados reflejan que para todos los denieres se perciben sesgos hacia arriba del valor nominal, en la mayoría de los meses. Este sesgo es más notable para algunos denieres que para otros. El sesgo más significativo se presentó en el denier 640, con una desviación de la media de 10 unidades respecto al valor nominal.

De igual manera, para algunos denieres se percibió una variabilidad significativa en las medias a lo largo de los meses, el que más destaca es del denier 2165, ya que presentó variaciones sustanciales en las medias de cada mes. Particularmente, se determinó que para este denier hubo sesgos marcados hacia arriba durante junio y agosto, con medias de 2187 y 2183, respectivamente. Pero también hubo un sesgo significativo en la media de noviembre, sin embargo, fue un sesgo hacia abajo, con una media de 2143 (Tabla A152 a Tabla 156).

Por otro lado, también se encontró que el denier 800 fue el único espesor que no presentó sesgos significativos, ya que demostró mantenerse centrado durante todos los meses.

Los sesgos particularmente hacia arriba mostrados en las medias de los diferentes denieres se deben principalmente a que los tornillos de los extrusores tienden a producir sobre el límite superior de la especificación. Según los hallazgos y los descubrimientos obtenidos en entrevistas, esta tendencia puede deberse principalmente a problemas relacionados con la materia prima o directamente con los tornillos de extrusión.

Lo más conveniente sería analizar exhaustivamente ambos factores para determinar cuál es la causa principal. Sin embargo, una de las posibles causas del comportamiento descrito corresponde a la viscosidad de la mezcla. Existe la posibilidad de que, en la mayoría de los casos, la resina PET utilizada pueda estar causando demasiada fricción en los tornillos debido a su viscosidad, de manera que, con el tiempo, estos comienzan a desestabilizarse, produciendo una mayor variabilidad en el proceso (*SPE, 2004*). Una mayor viscosidad del material provoca que los tornillos tiendan a abrirse ligeramente, generando una mayor abertura para la extrusión del material, lo que se traduce en un espesor más alto de lo requerido. Para corregir este problema, puede optarse por la calibración de los tornillos, o bien, buscar formas de reducir la viscosidad en el material sin afectar las propiedades y la calidad de la película extruida (en la sección de entrevistas se detalla el modo de calibración empleado en el proceso).

Existen dos maneras de reducir la viscosidad de la mezcla. La primera forma consiste en aumentar la temperatura del extrusor durante la etapa de calentado (*Beltrán, 2011*), y la segunda forma es reducir el peso molecular de las cadenas poliméricas de la resina, ya que entre más longitud tiene una cadena polimérica, más viscoso será el material. La longitud de las cadenas poliméricas se puede reducir durante la policondensación sin afectar a las propiedades del producto (*Méndez, 2023*).

Por otra parte, además del factor de viscosidad, también es posible que los tornillos estén presentando fallas en su funcionamiento debido al desgaste, por lo que también habría que evaluar este problema e intentar resolver con el fabricante para determinar si se requiere la inversión de nuevos tornillos.

Cabe mencionar que, también podría haber otros factores involucrados (posiblemente corregibles) que hasta el momento se desconocen, por lo que sería apropiado llevar a cabo una investigación de bajo costo sobre estas causas, antes de evaluar la necesidad de invertir en nuevas piezas.

Además de las tendencias encontradas en las medias de cada denier, se determinó por medio del análisis gráfico que, para varios meses, los denieres suelen presentar una desviación significativa en la distribución, la cual es casi siempre mayor que la tolerancia. La excepción al caso se presentó en el análisis del denier 720, que presentó una desviación promedio entre todos los meses de 35.96 denier. Este hilo reflejó en promedio una poca variabilidad, sin embargo, cabe mencionar que se trata de un conjunto de muestras poco representativa en comparación a otros denieres, ya que solamente se levantó datos durante 3 meses.

Además, para cada mes se registraron entre 600 a 1,000 observaciones, lo cual representa una cantidad de datos significativa, pero no equiparable a los análisis de las otras muestras. A pesar de esta observación, se demostró que para este espesor se obtuvieron los mejores resultados del estudio en cuanto a variabilidad y distribución de los datos.

Cabe hacer la aclaración que, de entrada, pareciera que estos resultados y aquellos que corresponden al gráfico de control para dicho denier se contradicen, ya que se muestra un comportamiento altamente variable en el gráfico de control. Sin embargo, debe tomarse

en cuenta que, para este denier solamente se realizó un gráfico de control en uno de los tres meses muestreados, el cual fue septiembre. Para octubre y noviembre no se registró una cantidad de fechas significativa para llevar a cabo gráficos de control. La cuestión clave de esto es, que de los tres meses registrados para el denier 720, septiembre fue el único que presentó una cantidad significativa de fechas, pero al mismo tiempo, es el mes con mayor variabilidad y porcentaje de error según la Tabla 28 de la sección de resultados. Por otra parte, octubre y noviembre muestran distribuciones con poca dispersión de datos y bajas tasas de defectos, como se muestra en la misma tabla. Esto permite explicar la lógica de los resultados al comparar ambas interpretaciones.

Siguiendo con el análisis gráfico, se interpretó que cada distribución sigue el orden de homogeneidad, según la desviación de cada conjunto de datos. Aquí se determinó que el denier 2165 fue el espesor que más dispersión de datos presentó, seguido por el denier 640. Estos denieres reflejaron altos niveles de heterogeneidad en la muestra, ya que presentaron varios intervalos de clase en la segmentación de datos. Entre los meses del denier 2165, se evidenció que, para noviembre se tuvo la mayor diferencia porcentual media/mediana (6.09%), con un leve sesgo hacia arriba, y de igual manera, para este mismo mes se registró la mayor tasa de defectos, con un porcentaje del 40%. Estos resultados se presentan en la Tabla 51 y la Tabla 52 de la sección de resultados. Por otro lado, para el denier 640 se registró la diferencia porcentual más alta en septiembre (9.54%), igualmente con sesgo hacia arriba (Tabla 15).

En términos generales, puede observarse que, para la mayoría de los casos, suele presentarse una alta dispersión de datos que denota un proceso poco controlado.

En cuanto a la proporción media de error, se observó que el denier 800 presentó las menores tasas en promedio, presentando un proceso fuera de control en solo dos de los siete meses registrados para dicho espesor. Estos meses fueron agosto y septiembre, con tasas de error de 33% y 26%, respectivamente (Tabla 33).

Por otro lado, el análisis también señala que el denier 2165 no presentó un proceso bajo control para ninguno de los meses, ya que la proporción de error reflejada para cada uno de ellos fue en todos los casos mayor que la tasa de tolerancia. Por ende, se clasifica como el denier con menor nivel de cumplimiento en comparación al resto. Por debajo de este, se encuentra el denier 640, el cual registró datos para junio, julio, agosto y septiembre, meses de los cuales, solo presentó un proceso bajo control para junio, con una tasa media del 23.04%.

En contraste con los gráficos de control, parece haber una contradicción entre los resultados del análisis de variabilidad y el análisis de capacidad, particularmente del denier 2165. Esto debido a que, en el primer análisis se muestra un proceso controlado, pero luego de interpretar el nivel de capacidad, se determinó que el proceso se encuentra fuera de control para todos los meses analizados. Como se explicó anteriormente, este tipo de escenarios se produce cuando el proceso presenta una alta tasa de defectos de forma regular, pero con una baja variación en la proporción de defectos entre diferentes fechas.

7. TERCERA FASE: CAUSAS RAÍZ

7.1 Metodología

El siguiente paso después de analizar la variabilidad y el incumplimiento en el proceso fue determinar las causas raíz responsables de estos problemas. Para ello, se llevó a cabo un análisis de varianza de un factor (ANOVA) de manera mensual, para diferentes tipos de denier. La prueba ANOVA mide si la variable factor produce efectos significativos sobre la variable dependiente, en este caso, el denier.

Para el análisis se tomaron en cuenta tres factores diferentes que se involucran en el proceso de extrusión: el tipo de extrusor, el turno laboral y el tipo de resina empleada para la extrusión. Estos factores se registran para cada observación de la muestra, según el grupo o categoría correspondiente.

Con estos tres factores definidos, se plantearon pruebas de hipótesis para concluir sobre los resultados del análisis posteriormente (ver sección de resultados). Se planteó una hipótesis nula y una hipótesis alternativa para cada factor analizado, también se ordenaron los datos según los grupos de los factores analizados. Y finalmente, se realizaron las pruebas ANOVA por medio de Microsoft Excel.

Cabe mencionar que no para todos los meses se llegó a la misma conclusión, por lo que aquellos resultados que diferían fueron comparados entre diferentes meses (para el mismo denier). También se tomó en cuenta la significancia del valor F y la frecuencia de rechazo de la hipótesis nula para diferentes periodos. De esta forma, se determinaron las causas raíz que son responsables de la variabilidad y el bajo cumplimiento en el proceso. En el Anexo 12.5 se explica detalladamente el procedimiento paso por paso para llevar a cabo este análisis.

Por otra parte, para aquellos denieres cuyo análisis ANOVA demostró que el factor produce efectos significativos sobre la variable, se desarrollaron análisis de comparación de factores por incumplimiento para buscar patrones y sesgos entre los resultados del proceso. Esto se llevó a cabo con el fin de identificar qué grupos presentaban mayor tasa de incumplimientos para cada factor, y analizar cómo se comportaban estos grupos respecto a las medias y el valor central de la especificación.

Para ello, se calculó la tasa de defectos total de las observaciones registradas para cada grupo de los factores estudiados, y también se calculó la proporción de defectos por arriba del límite superior y por debajo del límite inferior. Esto permitió identificar tendencias en los factores, determinar el impacto de cada grupo y su comportamiento para diferentes meses, según el denier analizado. El procedimiento para desarrollar este análisis se detalla paso por paso en el Anexo 12.6.

Adicionalmente, se llevó a cabo nuevamente una serie de entrevistas hechas principalmente al supervisor de calidad en el área de operaciones, y algunos encargados de maquinaria. Esto con el objetivo de complementar el análisis de varianza con información

cualitativa y conocer más sobre los distintos factores que se encuentran involucrados en el proceso.

De igual manera, también se emplearon manuales y documentos oficiales utilizados por la empresa para indicar los procedimientos en el área de operaciones. De aquí se obtuvo información complementaria, principalmente sobre los extrusores y la puesta a punto de la maquinaria.

7.2 Resultados

En este apartado se presentan los resultados del análisis ANOVA realizado, en donde se evaluaron tres diferentes factores respecto al denier: el tipo de extrusor, el turno de trabajo y el tipo de resina. Aquí también se evidencia el desarrollo de la comparación por factores y se incluyen las pruebas de hipótesis planteadas para el análisis ANOVA, así como información adicional que se recopiló en varias entrevistas, las cuales fueron de utilidad para esta fase del proyecto.

7.2.1 Análisis de varianza y comparación de factores por incumplimientos

7.2.1.1 Pruebas de hipótesis del análisis ANOVA

Para el análisis de varianza que se llevó a cabo, se plantearon las siguientes hipótesis:

Factor extrusor:

***H₀:** No existen diferencias significativas en las medias de las observaciones entre los diferentes tipos de extrusor.*

***H_a:** Existen diferencias significativas en las medias de las observaciones entre al menos dos de los diferentes tipos de extrusor.*

Factor turno:

***H₀:** No existen diferencias significativas en las medias de las observaciones entre los diferentes turnos de trabajo.*

***H_a:** Existen diferencias significativas en las medias de las observaciones entre al menos dos de los diferentes turnos de trabajo.*

Factor resina:

***H₀:** No existen diferencias significativas en las medias de las observaciones entre los diferentes tipos de resina.*

***H_a:** Existen diferencias significativas en las medias de las observaciones entre al menos dos de los diferentes tipos de resina.*

En el contexto de este proyecto, se expresa que, al rechazar la hipótesis nula, el factor analizado está creando un efecto significativo en el comportamiento de la variable dependiente (observaciones por denier).

Por otro lado, si la hipótesis nula no se rechaza, se expresa que el factor analizado no tiene efectos significativos sobre el comportamiento de la variable dependiente (observaciones por denier).

Nivel de significancia = 0.05

7.2.1.2 Análisis de varianza y comparación categórica de factores por incumplimientos

El análisis de varianza se llevó a cabo para cada uno de los tres factores definidos en la metodología (extrusor, turno y resina). Para ello, se siguió con el mismo enfoque de analizar los tipos de denier más comunes entre las diferentes muestras obtenidas.

Se identificó que los resultados fueron diferentes en varios análisis, por lo que se comparó el comportamiento del denier respecto a otros factores a través de diferentes meses, con el fin de obtener una interpretación más precisa y confiable.

También se desarrollaron tablas de comparación para el análisis de aquellos factores que demostraron tener efectos significativos sobre el comportamiento de la variable dependiente.

Además, para aquellos factores que demostraron tener efectos significativos sobre el comportamiento del denier, se llevaron a cabo tablas de comparación por factores.

Los resultados en cuestión se presentan a continuación:

7.2.1.3 Resultados para el denier 640

Tabla 60. Resumen mensual del análisis ANOVA realizado para el denier 640

Resultados ANOVA - Denier 640					
Mes	Factor	Sig. (0.05)	F	F crítico	Ho
Junio	Tipo de extrusor	2.0E-01	1.669	3.844	No se rechaza
	Turno laboral	6.4E-01	0.213	3.844	No se rechaza
	Tipo de resina	1.8E-01	1.738	2.998	No se rechaza
Julio	Tipo de extrusor	1.8E-01	1.734	2.998	No se rechaza
	Turno laboral	1.0E-09	37.508	3.844	Se rechaza
	Tipo de resina	1.6E-05	18.643	3.844	Se rechaza
Agosto	Tipo de extrusor	4.7E-05	10.012	2.999	Se rechaza
	Turno laboral	2.4E-02	5.084	3.845	Se rechaza
	Tipo de resina	1.4E-01	2.152	3.845	No se rechaza
Septiembre	Tipo de extrusor	7.8E-01	0.081	3.846	No se rechaza
	Turno laboral	2.5E-04	13.490	3.846	Se rechaza
	Tipo de resina	7.6E-05	15.714	3.846	Se rechaza

Fuente: Elaboración propia, 2023.

La Tabla 60 presenta los resultados obtenidos del análisis de varianza realizado para diferentes meses según el denier 640.

Los resultados reflejan lo siguiente para cada factor:

Tipo de extrusor: Se determinó que, 3 de los 4 meses indican que el factor no tiene efectos significativos en el comportamiento de la variable dependiente, a excepción de agosto, que muestra la existencia de una diferencia entre las medias del factor. Esto indica que, a nivel general, este factor no tiene un efecto significativo en el comportamiento de la variable estudiada, sin embargo, este efecto puede ser variable con el tiempo.

Turno laboral: Se encontró que para 3 de los 4 meses analizados, el turno laboral si demuestra tener efectos significativos sobre la variable dependiente, a excepción de junio.

También puede notarse que la relación entre el F calculado y el F crítico es más significativa para los análisis que rechazan Ho, que para aquel que no rechaza Ho.

Tipo de resina: Se encontró que, para julio y septiembre, los resultados demuestran que el factor tiene efectos significativos sobre la variable dependiente, rechazando Ho. Mientras que para junio y agosto se determinó lo contrario, ya que no se pudo demostrar que existe diferencia entre las medias. Ho no se pudo rechazar.

7.2.1.3.1 Comparación de factores por incumplimiento (denier 640)

Julio:

Tabla 61. Comparación de factores por incumplimiento – Denier 640 (julio)

Variables fuera de especificaciones								
Variable	Categoría	Total observaciones	Frecuencia	Arriba de rango	% Arriba de Rango	Debajo de Rango	% Debajo de Rango	% error Total
Turno	A	1579	501	360	71.9%	141	28.1%	31.7%
	B	1818	581	340	58.5%	241	41.5%	32.0%
Resina	HOMOPOLYMER	1898	737	475	64.5%	262	35.5%	38.8%
	SABIC (PP506P)	1499	345	225	65.2%	120	34.8%	23.0%

Fuente: Elaboración propia, 2023.

La Tabla 61 indica que el turno con mayor porcentaje de error fue el “Turno B”, con 32%, presentando una mayor tendencia a tener incumplimientos por arriba del rango.

La tabla también indica que la resina con mayor porcentaje de error es “HOMOPOLYMER”, la cual presenta una fuerte tendencia a presentar defectos por arriba del rango.

Agosto:

Tabla 62. Comparación de factores por incumplimiento – Denier 640 (agosto)

Variables fuera de especificaciones								
Variable	Categoría	Total observaciones	Frecuencia	Arriba de rango	% Arriba de Rango	Debajo de Rango	% Debajo de Rango	% error Total
Extrusor	L1	1336	377	252	67%	125	33%	28%
	L2	225	81	69	85%	12	15%	36%
	L3	1187	532	286	54%	246	46%	45%
Turno	A	1318	491	306	62%	185	38%	37%
	B	1430	499	301	60%	198	40%	35%

Fuente: Elaboración propia, 2023.

La Tabla 62 indica que el tipo de extrusor con mayor porcentaje de error fue “L3”, con 45%, y presentando una mayor tendencia a tener incumplimientos por arriba del rango.

Por otro lado, la tabla también indica que el turno con mayor porcentaje de error es el “Turno A”, con 37%. Este turno, además, tiene tendencia a presentar incumplimientos por arriba del rango de tolerancia.

Septiembre:

Tabla 63. Comparación de factores por incumplimiento – Denier 640 (septiembre)

Variables fuera de especificaciones								
Variable	Categoría	Total observaciones	Frecuencia	Arriba de rango	% Arriba de Rango	Debajo de Rango	% Debajo de Rango	% error Total
Turno	A	1091	422	314	74%	108	26%	39%
	B	815	237	159	67%	78	33%	29%
Resina	HOMOPOLYMER	935	303	202	67%	101	33%	32%
	SABIC (PP506P)	971	356	271	76%	85	24%	37%

Fuente: Elaboración propia, 2023.

La Tabla 63 indica que el turno con mayor porcentaje de error fue el “Turno A”, con 39%. Además, el 74% de los incumplimientos producidos estuvieron por arriba del rango de tolerancia, por lo que se percibe una tendencia hacia arriba.

Por otro lado, los resultados también indican que la resina con mayor porcentaje de error fue “SABIC (PP506P), con 37%. Además, el 76% de los errores producidos estuvieron por arriba del rango de tolerancia, por lo que se percibe una tendencia hacia arriba.

7.2.1.4 Resultados para el denier 650

Tabla 64. Resumen mensual del análisis ANOVA realizado para el denier 650

Resultados ANOVA - Denier 650					
Mes	Factor	Sig. (0.05)	F	F crítico	Ho
Junio	Tipo de extrusor	3.5E-03	5.682	3.000	Se rechaza
	Turno laboral	7.9E-04	11.302	3.846	Se rechaza
	Tipo de resina	1.8E-02	4.045	3.000	Se rechaza
Julio	Tipo de extrusor	-	-	-	-
	Turno laboral	3.2E-02	4.681	3.900	Se rechaza
	Tipo de resina	-	-	-	-
Agosto	Tipo de extrusor	8.3E-01	0.187	3.000	No se rechaza
	Turno laboral	1.4E-01	2.221	3.846	No se rechaza
	Tipo de resina	6.2E-11	17.019	2.609	Se rechaza
Septiembre	Tipo de extrusor	6.7E-03	7.386	3.850	Se rechaza
	Turno laboral	5.5E-07	25.370	3.850	Se rechaza
	Tipo de resina	2.4E-04	8.417	3.004	Se rechaza
Diciembre	Tipo de extrusor	-	-	-	-
	Turno laboral	3.2E-01	1.001	3.857	No se rechaza
	Tipo de resina	-	-	-	-
Febrero	Tipo de extrusor	3.4E-04	13.053	3.862	Se rechaza
	Turno laboral	1.2E-02	6.337	3.862	Se rechaza
	Tipo de resina	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia, 2023.

La Tabla 64 presenta los resultados obtenidos del análisis de varianza realizado para diferentes meses según el denier 650.

Los resultados reflejan lo siguiente para cada factor:

Tipo de extrusor: Los resultados del análisis indican que el extrusor tuvo efectos significativos sobre el comportamiento del denier para junio, septiembre y febrero, rechazando HO. Sin embargo, no se pudo concluir lo mismo para el mes de agosto, ya que este presentó un F calculado menor que el F crítico, y por ende no pudo rechazarse la hipótesis nula.

Además, para julio y diciembre no se encontró suficiente información en el registro de datos, por lo que no pudo llevarse a cabo el análisis ANOVA en estos meses.

Turno laboral: Los resultados indican que el tipo de turno tuvo efectos significativos sobre el comportamiento del denier para junio, julio, septiembre y febrero, rechazando la hipótesis para todos estos meses.

Por otro lado, los resultados fueron diferentes para agosto y enero, ya que, para estos meses, el tipo de turno no demostró tener efectos significativos sobre el denier.

Tipo de resina: Los resultados del análisis indican que el tipo de resina tuvo efectos significativos sobre el comportamiento denier para los meses de junio, agosto y septiembre,

para los cuales se rechazó la hipótesis nula. Por otro lado, los meses de julio, diciembre y febrero no presentaron información suficiente para llevar a cabo el análisis, por lo que no se cuenta con resultados para estos meses.

No hubo ningún mes que demostrara similitudes en las medias del factor.

7.2.1.4.1 Comparación de factores por incumplimiento (denier 650)

Junio:

Tabla 65. Comparación de factores por incumplimiento – Denier 650 (junio)

Variable	Categoría	Total observaciones	Variables fuera de especificaciones					
			Frecuencia	Arriba de rango	% Arriba de Rango	Debajo de Rango	% Debajo de Rango	% errores Total
Extrusor	L1	1075	258	165	64%	93	36%	24%
	L2	540	116	62	53%	54	47%	21%
	L3	582	200	96	48%	104	52%	34%
Turno	A	1329	356	220	62%	136	38%	27%
	B	868	218	103	47%	115	53%	25%
Extrusor	NATPET	179	28	12	43%	16	57%	16%
	SABIC (PP500P)	809	184	116	63%	68	37%	23%
	SABIC (PP506P)	1209	362	195	54%	167	46%	30%

Fuente: Elaboración propia, 2023.

La Tabla 65 indica que el extrusor con mayor porcentaje de error fue “L3”, con 34%. Además, el 52% de los incumplimientos producidos estuvieron por debajo del rango de tolerancia, por lo que se percibe una tendencia hacia abajo.

Por otro lado, los resultados también señalan que el turno laboral con mayor porcentaje laboral fue el “Turno A” o turno de día, con 27%. En este caso, el 62% de los errores producidos estuvo por arriba del rango de tolerancia, por lo que la tendencia busca aumentar.

En cuanto al tipo de resina, se determinó que el mayor porcentaje de incumplimientos se produce en la resina SABIC (PP506P), con 30%. Así mismo, el 54% de los incumplimientos presentados por este tipo de resina se clasifican por arriba del rango de tolerancia, por lo también existe tendencia a aumentar.

Julio:

Tabla 66. Comparación de factores por incumplimiento – Denier 650 (julio)

Variable	Categoría	Total observaciones	Variables fuera de especificaciones					
			Frecuencia	Arriba de rango	% Arriba de Rango	Debajo de Rango	% Debajo de Rango	% error Total
Turno	A	1265	375	303	81%	72	19%	30%
	B	1213	321	196	61%	125	39%	26%

Fuente: Elaboración propia, 2023.

La Tabla 66 indica que el turno con mayor porcentaje de error fue el “Turno A”, con 30%. Además, el 81% de los incumplimientos producidos estuvieron por arriba del rango de tolerancia, por lo que se percibe una tendencia hacia arriba.

Agosto:

Tabla 67. Comparación de factores por incumplimiento – Denier 650 (agosto)

Variables fuera de especificaciones								
Variable	Categoría	Total observaciones	Frecuencia	Arriba de rango	% Arriba de Rango	Debajo de Rango	% Debajo de Rango	% error Total
Resina	HOMOPOLYMER	399	135	108	80%	27	20%	34%
	NATPET	495	134	84	63%	50	37%	27%
	SABIC (PP500P)	709	204	108	53%	96	47%	29%
	SABIC (PP506P)	699	229	157	69%	72	31%	33%

Fuente: Elaboración propia, 2023.

La Tabla 67 indica que la resina con mayor porcentaje de error en agosto fue “HOMOPOLYMER”, con 34%. Además, el 80% de los incumplimientos producidos estuvieron por arriba del rango de tolerancia, por lo que se percibe una tendencia hacia arriba.

Por otro lado, los resultados también indican que la segunda resina con mayor incumplimiento fue SABIC (PP506P), con 33%, igualmente, presentando una tendencia hacia arriba.

Septiembre:

Tabla 68. Comparación de factores por incumplimiento – Denier 650 (septiembre)

Variables fuera de especificaciones								
Variable	Categoría	Total observaciones	Frecuencia	Arriba de rango	% Arriba de Rango	Debajo de Rango	% Debajo de Rango	% error Total
Extrusor	L1	592	145	110	76%	35	24%	24%
	L2	493	195	144	74%	51	26%	40%
Turno	A	498	185	147	79%	38	21%	37%
	B	587	155	107	69%	48	31%	26%
Resina	HOMOPOLYMER	506	138	108	78%	30	22%	27%
	NATPET	268	122	91	75%	31	25%	46%
	SABIC (PP506P)	311	80	55	69%	25	31%	26%

Fuente: Elaboración propia, 2023.

La Tabla 68 indica que el extrusor con mayor porcentaje de error fue “L2”, con 40%. Además, se observa que este extrusor produjo la mayor parte de sus incumplimientos por arriba del rango de tolerancia, siendo esta proporción del 74%.

Por otro lado, los resultados demuestran que el turno con mayor porcentaje de error fue el turno A, con 37%. De este porcentaje, se determinó que el 79% estuvo por arriba del rango y el 21% permaneció por debajo del rango de tolerancia. Esto indica que el “Turno A” tuvo una tendencia hacia arriba durante el mes de septiembre.

En cuanto al tipo de resina, la que mayor incumplimiento tuvo fue NATPET, con un porcentaje del 46%. Esto refleja que hubo una tendencia hacia arriba durante el mes de septiembre.

Febrero:

Tabla 69. Comparación de factores por incumplimiento – Denier 650 (febrero)

		Variables fuera de especificaciones						
Variable	Categoría	Total observaciones	Frecuencia	Arriba de rango	% Arriba de Rango	Debajo de Rango	% Debajo de Rango	% error Total
Extrusor	BARMAG 2	89	3	2	66.67%	1	33.33%	3.37%
	BARMAG 3	360	14	4	28.57%	10	71.43%	3.89%
Turno	A	233	9	3	33.33%	6	66.67%	3.86%
	B	216	8	3	37.50%	5	62.50%	3.70%

Fuente: Elaboración propia, 2023.

La Tabla 69 indica que el extrusor con mayor grado de incumplimiento fue “BARMAG 3”, con un porcentaje de 3.89%. De este incumplimiento, el 71.43% estuvo por debajo del rango de tolerancia, lo que significa que hubo una tendencia hacia abajo.

7.2.1.5 Resultados para el denier 720

Tabla 70. Resumen mensual del análisis ANOVA realizado para el denier 720

Resultados ANOVA - Denier 720					
Mes	Factor	Sig. (0.05)	F	F crítico	Ho
Septiembre	Tipo de extrusor	1E-02	6.24	3.85	Se rechaza
	Turno laboral	8E-01	0.04	3.85	No se rechaza
	Tipo de resina	-	-	-	-
Octubre	Tipo de extrusor	4E-06	21.96	3.86	Se rechaza
	Turno laboral	5E-02	3.86	3.86	No se rechaza
	Tipo de resina	4E-06	21.96	3.86	Se rechaza
Noviembre	Tipo de extrusor	8E-16	68.86	3.86	Se rechaza
	Turno laboral	4E-01	0.79	3.86	No se rechaza
	Tipo de resina	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia, 2023.

La Tabla 70 presenta los resultados obtenidos del análisis de varianza realizado para diferentes meses según el denier 720.

Los resultados reflejan lo siguiente para cada factor:

Tipo de extrusor: Los resultados del análisis indican que el extrusor tuvo efectos significativos sobre el comportamiento del denier para los meses de septiembre y noviembre, rechazando la hipótesis nula. Octubre no presentó resultados para este factor ya que los datos disponibles en la muestra no permitieron un análisis concluyente para este mes con relación al factor en cuestión.

Turno laboral: Los resultados indican que el tipo de turno no tuvo efectos significativos sobre el comportamiento del denier para ninguno de los meses analizados. Ho no se rechazó para ninguno de los meses.

Tipo de resina: De los tres meses analizados, solo octubre permitió llevar a cabo un análisis de varianza debido a la falta de información en los otros meses. Este análisis determinó que no existe diferencia entre las medias de los diferentes tipos de resina, y, por ende, este factor no tiene efectos significativos sobre el comportamiento del denier.

7.2.1.5.1 Comparación de factores por incumplimiento (denier 720)

Septiembre:

Tabla 71. Comparación de factores por incumplimiento – Denier 720 (septiembre)

Variables fuera de especificaciones								
Variable	Categoría	Total observaciones	Frecuencia	Arriba de rango	% Arriba de Rango	Debajo de Rango	% Debajo de Rango	% error Total
Extrusor	L1	1055	349	233	67%	116	33%	33%
	L2	539	103	56	54%	47	46%	19%

Fuente: Elaboración propia, 2023.

La Tabla 71 indica que el extrusor con mayor grado de incumplimiento fue “L1”, con 33%. Además, el 67% del error producido en el extrusor uno se clasificó como arriba de rango, por lo que puede percibirse una tendencia de aumento hacia el límite superior.

Noviembre:

Tabla 72. Comparación de factores por incumplimiento – Denier 720 (noviembre)

Variables fuera de especificaciones								
Variable	Categoría	Total observaciones	Frecuencia	Arriba de rango	% Arriba de Rango	Debajo de Rango	% Debajo de Rango	% error Total
Extrusor	L1	379	44	25	57%	19	43%	12%
	L3	193	61	54	89%	7	11%	32%

Fuente: Elaboración propia, 2023.

La Tabla 72 indica que el extrusor con mayor grado de incumplimiento fue “L3”, con 32%. Además, la tabla también indica que el 89% de estos incumplimientos se encontraba por arriba del rango de tolerancia, por lo que puede percibirse una tendencia a aumentar.

7.2.1.6 Resultados para el denier 800

Tabla 73. Resumen mensual del análisis ANOVA realizado para el denier 800

Resultados ANOVA - Denier 800					
Mes	Factor	Sig. (0.05)	F	F crítico	Ho
Junio	Tipo de extrusor	4.7E-11	24.291	3.004	Se rechaza
	Turno laboral	2.2E-07	27.182	3.850	Se rechaza
	Tipo de resina	-	-	-	-
Julio	Tipo de extrusor	2.0E-02	5.399	3.854	Se rechaza
	Turno laboral	1.0E-03	10.882	3.854	Se rechaza
	Tipo de resina	2.0E-02	5.399	3.854	Se rechaza
Agosto	Tipo de extrusor	1.8E-08	32.064	3.848	Se rechaza
	Turno laboral	7.5E-02	3.186	3.848	No se rechaza
	Tipo de resina	4.6E-08	30.226	3.848	Se rechaza
Septiembre	Tipo de extrusor	3.6E-14	31.357	2.999	Se rechaza
	Turno laboral	7.0E-01	0.147	3.845	No se rechaza
	Tipo de resina	1.1E-01	2.571	3.845	No se rechaza
Octubre	Tipo de extrusor	0.0E+00	45.622	2.999	Se rechaza
	Turno laboral	6.0E-01	0.276	3.844	No se rechaza
	Tipo de resina	6.3E-12	47.586	3.844	Se rechaza
Noviembre	Tipo de extrusor	2.2E-01	1.477	3.844	No se rechaza
	Turno laboral	8.0E-07	24.459	3.844	Se rechaza
	Tipo de resina	1.5E-01	1.883	2.998	No se rechaza
Diciembre	Tipo de extrusor	2.1E-02	3.898	3.002	Se rechaza
	Turno laboral	3.2E-02	4.608	3.848	Se rechaza
	Tipo de resina	5.6E-03	7.683	3.848	Se rechaza

Fuente: Elaboración propia, 2023.

La Tabla 73 presenta los resultados obtenidos del análisis de varianza realizado para diferentes meses según el denier 800.

Los resultados obtenidos reflejan lo siguiente para cada factor:

Tipo de extrusor: Los resultados del análisis indican que el extrusor tuvo efectos significativos sobre el comportamiento del denier para casi todos los meses, excepto para noviembre. Para este mes no pudo encontrarse una diferencia significativa entre las medias.

Turno laboral: Los resultados indican que el tipo de turno laboral tuvo efectos significativos sobre el comportamiento del denier para los meses de junio, julio, noviembre y diciembre, ya que para estos meses se rechazó la hipótesis nula. Por otro lado, los meses de agosto, septiembre y octubre no presentaron diferencias significativas en las medias el factor, y, por tanto, no se rechazó la hipótesis nula, concluyendo que durante esos meses no se observaron efectos significativos del factor sobre del comportamiento del denier.

Tipo de resina: Los resultados obtenidos indican que el tipo de resina afectó al comportamiento del denier de manera significativa durante los meses de julio, agosto, octubre y diciembre, rechazando la hipótesis nula para estos meses.

También se determinó que para los meses de septiembre y noviembre no hubo diferencias significativas en las medias del factor, y por ello, Ho no se rechazó para estos meses.

Junio es un caso particular, porque para este mes no se pudo obtener información suficiente que permitiera llevar a cabo el análisis ANOVA:

7.2.1.6.1 Comparación de factores por incumplimiento (denier 800)

Junio:

Tabla 74. Comparación de factores por incumplimiento – Denier 800 (junio)

Variables fuera de especificaciones								
Variable	Categoría	Total observaciones	Frecuencia	Arriba de rango	% Arriba de Rango	Debajo de Rango	% Debajo de Rango	% error
Extrusor	L1	268	91	35	38%	56	62%	34%
	L2	270	31	5	16%	26	84%	11%
	L3	594	122	73	60%	49	40%	21%
Turno	A	463	100	58	58%	42	42%	22%
	B	669	144	55	38%	89	62%	22%

Fuente: Elaboración propia, 2023.

La Tabla 74 indica que el extrusor con mayor grado de incumplimiento fue el extrusor “L1”, con un porcentaje del 34%. Además, se determinó que el 62% de estos incumplimientos se clasificaron debajo del rango de tolerancia, por lo que puede observarse una tendencia hacia abajo.

En cuanto al turno de trabajo, puede observarse que ambos tuvieron la misma proporción de incumplimientos. Sin embargo, el “Turno A” tiene una tendencia a aumentar, mientras que el “Turno B” presenta una tendencia a disminuir el valor de especificación.

Julio:

Tabla 75. Comparación de factores por incumplimiento – Denier 800 (julio)

Variables fuera de especificaciones								
Variable	Categoría	Total observaciones	Frecuencia	Arriba de rango	% Arriba de Rango	Debajo de Rango	% Debajo de Rango	% error Total
Extrusor	L1	485	99	48	48%	51	52%	20%
	L2	268	40	12	30%	28	70%	15%
Turno	A	223	29	16	55%	13	45%	13%
	B	530	110	44	40%	66	60%	21%
Resina	HOMOPOLYMER	485	99	48	48%	51	52%	20%
	SABIC (PP500P)	268	40	12	30%	28	70%	15%

Fuente: Elaboración propia, 2023.

La Tabla 75 indica que el extrusor con mayor porcentaje de error fue el extrusor “L1”, con 20%. De este incumplimiento, la mayor parte se concentró por debajo del rango de tolerancia, siendo de 52%.

Por otro lado, puede observarse que el turno con mayor grado de incumplimiento en este caso fue el “Turno B”, con un porcentaje de error del 21%. Además, se observa que la mayoría de los incumplimientos se concentró por debajo del rango de tolerancia.

En cuanto al tipo de resina utilizada, la que mayor grado de incumplimiento tuvo fue “HOMOPOLYMER”, con un porcentaje del 20%, e igualmente teniendo una mayor concentración de datos por debajo del rango de tolerancia, con un porcentaje del 70%.

Agosto:

Tabla 76. Comparación de factores por incumplimiento – Denier 800 (agosto)

Variables fuera de especificaciones								
Variable	Categoría	Total observaciones	Frecuencia	Arriba de rango	% Arriba de Rango	Debajo de Rango	% Debajo de Rango	% error Total
Extrusor	L2	315	90	20	22%	70	78%	29%
	L3	1089	359	188	52%	171	48%	33%
Resina	HOMOPOLYMER	316	91	20	22%	71	78%	29%
	SABIC (PP506P)	1088	358	188	53%	170	47%	33%

Fuente: Elaboración propia, 2023.

La Tabla 76 indica que el extrusor con mayor grado de incumplimiento fue el extrusor “L3”, con un porcentaje de error del 33%. De estos incumplimientos, se determinó que la mayoría se concentran por arriba del rango de tolerancia.

En cuanto al tipo de resina, la que mayor incumplimiento generó fue “SABIC (PP506P)”, con un porcentaje de error del 33%. De igual manera la mayor parte de los datos se encontraban concentrados por arriba del rango superior.

Septiembre:

Tabla 77. Comparación de factores por incumplimiento – Denier 800 (septiembre)

Variables fuera de especificaciones								
Variable	Categoría	Total observaciones	Frecuencia	Arriba de rango	% Arriba de Rango	Debajo de Rango	% Debajo de Rango	% error Total
Extrusor	L1	132	16	4	25%	12	75%	12%
	L2	582	174	137	79%	37	21%	30%
	L3	1724	444	244	55%	200	45%	26%

Fuente: Elaboración propia, 2023.

La Tabla 77 indica que el extrusor con mayor incumplimiento fue “L2”, con un porcentaje de error del 30%. Además, se determinó que el 79% de estos incumplimientos se concentra arriba del límite superior del rango de tolerancia.

Octubre:

Tabla 78. Comparación de factores por incumplimiento – Denier 800 (octubre)

Variables fuera de especificaciones								
Variable	Categoría	Total observaciones	Frecuencia	Arriba de rango	% Arriba de Rango	Debajo de Rango	% Debajo de Rango	% error Total
Extrusor	L1	1302	221	68	31%	153	69%	17%
	L2	911	252	115	46%	137	54%	28%
	L3	934	303	197	65%	106	35%	32%
Resina	HOMOPOLYMER	1783	364	141	39%	223	61%	20%
	SABIC (PP506P)	1364	412	239	58%	173	42%	30%

Fuente: Elaboración propia, 2023.

La Tabla 78 indica que el extrusor con mayor grado de incumplimiento fue el extrusor “L3”, con un porcentaje del 32%. Además, de estos incumplimientos, se encontró que la mayoría se concentra por arriba del límite de tolerancia, específicamente el 65% de los incumplimientos.

En cuanto a la resina, puede observarse que “SABIC (PP506P)” muestra la mayor proporción de error, siendo del 30%. Y, además, muestra una tendencia a concentrar la mayoría de los incumplimientos por arriba del rango de tolerancia.

Noviembre:

Tabla 79. Comparación de factores por incumplimiento – Denier 800 (noviembre)

Variables fuera de especificaciones								
Variable	Categoría	al observaci	Frecuencia	Arriba de rango	% Arriba de Rango	Debajo de Rango	% Debajo de Rango	% error Total
Turno	A	2033	425	249	59%	176	41%	21%
	B	1332	269	137	51%	132	49%	20%

Fuente: Elaboración propia, 2023.

La Tabla 79 indica que el turno con mayor porcentaje de error fue el “Turno A”, con 21%, aunque la diferencia no fue mucha, ya que el “Turno B” tuvo una proporción de error del 20%. También se puede observar que ambos turnos presentan una mayor concentración de incumplimientos por arriba del rango de tolerancia.

Diciembre:

Tabla 80. Comparación de factores por incumplimiento – Denier 800 (diciembre)

Variables fuera de especificaciones								
Variable	Categoría	Total observaciones	Frecuencia	Arriba de rango	% Arriba de Rango	Debajo de Rango	% Debajo de Rango	% error Total
Extrusor	L1	1175	117	53	45%	64	55%	10%
	L2	152	27	15	56%	12	44%	18%
	L3	76	6	4	67%	2	33%	8%
Turno	A	904	78	33	42%	45	58%	9%
	B	499	72	39	54%	33	46%	14%
Resina	NATPET	1175	117	53	45%	64	55%	10%
	SABIC (PP506P)	228	33	19	58%	14	42%	14%

Fuente: Elaboración propia, 2023.

La Tabla 80 indica que el extrusor con mayor grado de variabilidad fue “L2”, con un porcentaje de error del 18%. Además, se percibe una mayor concentración de incumplimientos por arriba del rango de tolerancia.

Por otro lado, puede observarse que el turno con mayor grado de incumplimiento fue “Turno B”, o turno de noche, con un porcentaje de incumplimiento del 14%. En este caso, se puede observar que la mayoría de los incumplimientos se concentran por arriba del rango de tolerancia. Dicha proporción equivale al 54% de los incumplimientos.

En cuanto al tipo de resina, la que mayor grado de incumplimiento tiene es la resina SABIC “(PP506P)”, con un porcentaje de error del 14%, en donde la mayoría de estos datos se concentraron sobre el límite superior, con un porcentaje del 58%.

7.2.1.7 Resultados para el denier 1,090

Tabla 81. Resumen mensual del análisis ANOVA realizado para el denier 1,090

Resultados ANOVA - Denier 1090					
Mes	Factor	Sig. (0.05)	F	F crítico	Ho
Junio	Tipo de extrusor	1.1E-05	19.381	3.846	Se rechaza
	Turno laboral	3.7E-03	8.425	3.846	Se rechaza
	Tipo de resina	2.1E-02	3.871	3.001	Se rechaza
Julio	Tipo de extrusor	1.7E-01	1.801	3.001	No se rechaza
	Turno laboral	9.3E-01	0.009	3.847	No se rechaza
	Tipo de resina	1.6E-01	1.856	3.001	No se rechaza
Agosto	Tipo de extrusor	3.2E-03	8.721	3.846	Se rechaza
	Turno laboral	4.8E-02	3.911	3.846	Se rechaza
	Tipo de resina	1.5E-03	10.078	3.846	Se rechaza
Septiembre	Tipo de extrusor	2.0E-01	1.618	3.847	No se rechaza
	Turno laboral	9.4E-01	0.005	3.847	No se rechaza
	Tipo de resina	2.0E-01	1.618	3.847	No se rechaza
Octubre	Tipo de extrusor	5.2E-01	0.657	2.999	No se rechaza
	Turno laboral	1.1E-05	19.463	3.845	Se rechaza
	Tipo de resina	-	-	-	-
Noviembre	Tipo de extrusor	2.8E-01	1.273	2.999	No se rechaza
	Turno laboral	4.9E-01	0.474	3.845	No se rechaza
	Tipo de resina	4.4E-02	4.045	3.845	Se rechaza
Diciembre	Tipo de extrusor	4.0E-02	4.217	3.846	Se rechaza
	Turno laboral	1.2E-05	19.295	3.846	Se rechaza
	Tipo de resina	5.1E-02	2.979	3.000	No se rechaza

Fuente: Elaboración propia, 2023.

La Tabla 81 presenta los resultados obtenidos del análisis de varianza realizado para diferentes meses según el denier 1,090.

Los resultados reflejan lo siguiente para cada factor:

Tipo de extrusor: Los resultados del análisis indican que el extrusor tuvo efectos significativos sobre el comportamiento del denier para los meses de junio, agosto y diciembre, por lo que se rechazó la hipótesis nula para estos meses.

Por otro lado, los meses julio, septiembre, octubre y noviembre indican que no hubo diferencias significativas en las medias, por lo que la hipótesis nula no se pudo rechazar para estos meses.

Turno laboral: Los resultados obtenidos indican que el tipo de turno laboral tuvo efectos significativos sobre el comportamiento del denier para los meses de junio, agosto, octubre y diciembre, permitiendo rechazar la hipótesis nula.

Por otro lado, la hipótesis nula no se pudo rechazar para los meses de julio, septiembre y noviembre, ya que estos no demostraron tener diferencias significativas entre las medias del factor.

Tipo de resina: Los resultados obtenidos indican que el tipo de resina afectó significativamente al comportamiento del denier durante los meses de junio, agosto y noviembre, por lo que la hipótesis nula se rechazó para estos meses.

Por otro lado, la hipótesis nula no se pudo rechazar para los meses de julio, septiembre y diciembre, ya que no presentaron evidencia que reflejara diferencias significativas en las medias del factor.

Para el mes de octubre, no pudo llevar a cabo el análisis de varianza, debido a la falta de información en la muestra.

Agosto presentó un valor F con una significancia relativamente mayor a otros meses ($F = 10.078$).

7.2.1.7.1 Comparación de factores por incumplimiento (denier 1,090)

Junio:

Tabla 82. Comparación de factores por incumplimiento – Denier 1,090 (junio)

Variables fuera de especificaciones								
Variable	Categoría	Total observaciones	Frecuencia	Arriba de rango	% Arriba de Rango	Debajo de Rango	% Debajo de Rango	% error Total
Extrusor	L2	1574	258	132	51%	126	49%	16%
	L3	297	92	65	71%	27	29%	31%
	A	884	164	98	60%	66	40%	19%
Turno	B	987	186	99	53%	87	47%	19%
	NATPET	90	24	8	33%	16	67%	27%
	Resina	SABIC (PP500P)	854	182	100	55%	82	45%
	SABIC (PP506P)	927	144	89	62%	55	38%	16%

Fuente: Elaboración propia, 2023.

La Tabla 82 indica que el extrusor con mayor grado de incumplimiento fue “L3”, con un porcentaje de error del 31%. Además, puede percibirse que la mayor proporción de incumplimientos para este extrusor se concentra mayormente sobre el límite superior, teniendo un porcentaje de error del 71%. Por otro lado, se puede observar que ambos turnos tienen la misma tasa de incumplimiento.

En cuanto al tipo de resina, se puede observar que “SABIC (PP500P)” presenta el mayor nivel de incumplimiento, con una tasa del 21%, y una concentración de datos mayormente sobre el límite superior del rango de tolerancia.

Agosto:

Tabla 83. Comparación de factores por incumplimiento – Denier 1,090 (agosto)

Variables fuera de especificaciones								
Variable	Categoría	Total observaciones	Frecuencia	Arriba de rango	% Arriba de Rango	Debajo de Rango	% Debajo de Rango	% error Total
Extrusor	L2	808	155	110	71%	45	29%	19%
	L3	1218	388	211	54%	177	46%	32%
Turno	A	903	232	146	63%	86	37%	26%
	B	1123	311	175	56%	136	44%	28%
Resina	HOMOPOLYMER	972	228	150	66%	78	34%	23%
	SABIC (PP506P)	1054	315	171	54%	144	46%	30%

Fuente: Elaboración propia, 2023.

La Tabla 83 indica que el extrusor con mayor grado de incumplimiento fue el extrusor “L3”, con un porcentaje de error del 32%. Además, se puede observar que la mayoría de estos incumplimientos se encuentran concentrados por arriba del rango de tolerancia establecido.

Por otro lado, puede observarse que el turno de trabajo con mayor incumplimiento en este caso fue el turno nocturno “Turno B”, el cual tuvo una tasa de error del 28%, de la cual, el 56% de los incumplimientos se concentró principalmente sobre el límite superior del rango de tolerancia.

En cuanto al tipo de resina, cabe mencionar que “SABIC (PP506P)” tuvo una mayor proporción de errores, siendo esta del 30%. Además, El 54% de los incumplimientos se concentró sobre el límite superior del rango de tolerancia.

Octubre:

Tabla 84. Comparación de factores por incumplimiento – Denier 1,090 (octubre)

Variables fuera de especificaciones								
Variable	Categoría	Total observaciones	Frecuencia	Arriba de rango	% Arriba de Rango	Debajo de Rango	% Debajo de Rango	% error Total
Turno	A	1270	291	212	72.9%	79	27.1%	22.9%
	B	1418	329	192	58.4%	137	41.6%	23.2%

Fuente: Elaboración propia, 2023.

La Tabla 84 indica que el turno con mayor grado de incumplimiento fue el “Turno B”, con una proporción del 23.2%, aunque la diferencia respecto al “Turno A” no fue mucha. Además, la mayor parte de los incumplimientos del “Turno B” se concentró principalmente sobre el límite superior del rango de tolerancia.

Noviembre:

Tabla 85. Comparación de factores por incumplimiento – Denier 1,090 (noviembre)

Variables fuera de especificaciones								
Variable	Categoría	Total observaciones	Frecuencia	Arriba de rango	% Arriba de Rango	Debajo de Rango	% Debajo de Rango	% error Total
Resina	HOMOPOLYMER	2669	542	329	61%	213	39%	20%
	SABIC (PP506P)	99	32	23	72%	9	28%	32%

Fuente: Elaboración propia, 2023.

La Tabla 85 indica que el tipo de resina con mayor grado de incumplimiento fue la resina “SABIC (PP506P)”, con un porcentaje de error del 32%. Además, de esta proporción de incumplimientos, la mayoría se concentró sobre el límite superior del rango de tolerancia.

Diciembre:

Tabla 86. Comparación de factores por incumplimiento – Denier 1,090 (diciembre)

Variables fuera de especificaciones								
Variable	Categoría	Total observaciones	Frecuencia	Arriba de rango	% Arriba de Rango	Debajo de Rango	% Debajo de Rango	% error Total
Extrusor	L2	1540	255	121	47%	134	53%	17%
	L3	460	113	64	57%	49	43%	25%
Turno	A	1266	219	126	58%	93	42%	17%
	B	734	149	59	40%	90	60%	20%

Fuente: Elaboración propia, 2023.

La Tabla 86 indica que el extrusor con mayor grado de incumplimiento fue “L3”, con un porcentaje de error del 25%. De esta proporción de incumplimientos, pudo observarse que la mayor parte se encuentra concentrada sobre el límite superior del rango de tolerancia. Por otro lado, puede observarse que el turno con mayor grado de incumplimiento fue el “Turno B”, con una proporción del 20% de error. Además, de estos incumplimientos, la mayor parte se concentró debajo del límite inferior del rango de tolerancia.

7.2.1.8 Resultados para el denier 2,165

Tabla 87. Resumen mensual del análisis ANOVA realizado para el denier 2,165

Resultados ANOVA - Denier 2165					
Mes	Factor	Sig. (0.05)	F	F crítico	Ho
Junio	Tipo de extrusor	-	-	-	-
	Turno laboral	3.1E-01	1.025	3.848	No se rechaza
	Tipo de resina	3.2E-02	3.443	3.002	Se rechaza
Agosto	Tipo de extrusor	-	-	-	-
	Turno laboral	1.3E-01	2.347	3.848	No se rechaza
	Tipo de resina	2.5E-01	1.346	3.848	No se rechaza
Octubre	Tipo de extrusor	-	-	-	-
	Turno laboral	1.4E-01	2.131	3.847	No se rechaza
	Tipo de resina	7.6E-02	3.154	3.847	No se rechaza
Noviembre	Tipo de extrusor	-	-	-	-
	Turno laboral	3.7E-01	0.788	3.850	No se rechaza
	Tipo de resina	-	-	-	-
Diciembre	Tipo de extrusor	-	-	-	-
	Turno laboral	9.4E-01	0.005	3.849	No se rechaza
	Tipo de resina	2.8E-01	1.183	3.849	No se rechaza

Fuente: Elaboración propia, 2023.

La Tabla 87 presenta los resultados obtenidos del análisis de varianza realizado para diferentes meses según el denier 2,165.

Los resultados obtenidos reflejan lo siguiente para cada factor:

Tipo de extrusor: Para el denier 2,165 no pudo llevarse a cabo el respectivo análisis para ninguno de los meses, ya que en todas las muestras se carece de información, por tanto, no es posible concluir nada para el denier 2,165 con respecto al tipo de extrusor utilizado.

Turno laboral: Los resultados obtenidos indican que el tipo de turno laboral no afectó de manera significativa al comportamiento del denier en ninguno de los casos. Para ninguno de los meses se rechazó H_0 , por lo que no es posible inferir que existan diferencias significativas en las medias del factor.

Tipo de resina: Se determinó que para ninguno de los meses se pudo demostrar efectos significativos del factor sobre el comportamiento del denier. A excepción de junio, que es el único mes donde se pudo observar diferencias significativas en las medias del factor, permitiendo rechazar la hipótesis nula.

7.2.1.8.1 Comparación de factores por incumplimiento (denier 2,165)

Junio:

Tabla 88. Comparación de factores por incumplimiento – Denier 2,165 (junio)

Variables fuera de especificaciones								
Variable	Categoría	Total observaciones	Frecuencia	Arriba de rango	% Arriba de Rango	Debajo de Rango	% Debajo de Rango	% error
Resina	NATPET	309	52	42	81%	10	19%	17%
	SABIC (PP500P)	709	228	161	71%	67	29%	32%
	SABIC (PP506P)	449	100	62	62%	38	38%	22%

Fuente: Elaboración propia, 2023.

La Tabla 88 indica que la resina con mayor grado de incumplimiento es la “SABIC (PP500P)”, con un porcentaje de error del 32%. Esta proporción de incumplimientos se concentra principalmente sobre el límite superior del rango de tolerancia, representando el 71% de los errores registrados para esta resina.

7.2.2 Información recabada a partir de entrevistas

7.2.2.1 Entrevista al supervisor de calidad en el área de operaciones

Tras entrevistar al supervisor de calidad de turno en el área de operaciones, con el fin de recabar información relevante sobre los factores que se estudiaron en el análisis ANOVA, se recabó la siguiente información:

- En la empresa de empaques se utiliza una resina PET virgen de baja viscosidad. Estas resinas pueden venir de distintos proveedores y la formulación puede variar según el

tipo de producto a elaborar, así como las necesidades del cliente. Algunas formulaciones pueden proporcionar mejores propiedades mecánicas, y otras formulaciones se enfocan en elaborar un producto de menor costo.

- b. El turno de día presenta más cambios de operación que el turno de noche.

7.3 Análisis y discusión de resultados

Los resultados del análisis de varianza desarrollado para los denieres más concluyentes de cada mes se presentan de la Tabla 60 a la Tabla 88 de la sección de resultados. Según el análisis, se demostró que los tres factores estudiados tienen efectos significativos sobre el comportamiento del denier. Sin embargo, estos efectos son variables en el tiempo y en el tipo de denier.

Debido a que algunas interpretaciones pueden variar entre diferentes meses para un mismo tipo de denier, se estableció un convenio entre la empresa y el autor de la investigación para la forma de interpretación de los resultados. Este consiste en comparar las conclusiones obtenidas a partir del ANOVA entre diferentes meses, evaluando para cuantos de ellos se rechaza la hipótesis nula. Asimismo, este modo de interpretación involucra evaluar el impacto del valor F calculado con respecto al valor F crítico del análisis, y comparar entre diferentes meses la relación que existe entre ambos valores.

Las conclusiones del análisis ANOVA correspondiente al denier 640 se presentan en la Tabla 60 de la sección de resultados. Para este denier, los resultados indican que el tipo de extrusor no tiene efectos significativos sobre el comportamiento del denier, ya que, para tres de los cuatro meses estudiados no fue posible rechazar la hipótesis nula, siendo septiembre el único mes donde se logró rechazar H_0 .

Por otra parte, el turno y la resina si demostraron tener efectos significativos sobre la variable dependiente. El turno de trabajo demostró tener estos efectos para todos los meses excepto junio, mientras que el tipo de resina presentó estas pruebas de rechazo sobre H_0 solamente durante junio y septiembre. En julio y agosto no fue posible rechazar H_0 . Ante esto, entró en materia la evaluación comparativa que relaciona los valores F calculado y F crítico entre los diferentes meses, para determinar que conclusión es más significativa según los resultados.

Siguiendo con el convenio establecido, se concluyó que existen pruebas suficientemente contundentes para demostrar que, en este caso, el turno de trabajo y el tipo de resina producen efectos significativos sobre el comportamiento del denier, mientras que el tipo de extrusor es un factor que no presentó una diferencia significativa entre las medias de los grupos.

Siguiendo la misma lógica de interpretación, se encontró que para el denier 650 y el denier 800, los tres factores analizados demostraron tener efectos significativos sobre el

comportamiento del denier (Tabla 64 y Tabla 73). Sin embargo, también cabe aclarar que estos efectos son variables en el tiempo.

Para el denier 720 los resultados reflejaron que el tipo de extrusor y el tipo de resina producen efectos significativos sobre la variable dependiente. Sin embargo, cabe hacer la observación de que el análisis correspondiente al tipo de resina únicamente presentó resultados para el mes de octubre, careciendo de información para los meses de septiembre y noviembre (Tabla 70). A pesar de ello, el valor F calculado para este mes fue significativamente alto, lo que indica una fuerte relación entre la variable dependiente y el factor en cuestión.

Debido a que los otros meses no cuentan con información suficiente para concluir sobre este factor, resulta necesario investigar más a detalle sobre las resinas “HOMOPOLYMER” y “SABIC (PP506P)” involucradas en el análisis mencionado. Sin embargo, puede observarse de primera mano que, los resultados indican una desviación significativa en el promedio de los datos registrados para la resina “SABIC(PP506P)”, indicando que esta resina puede ser la principal responsable de las diferencias percibidas (De la Tabla A167 a la Tabla A169 de la sección de Anexos).

En cuanto al análisis para el tipo de extrusor, cabe resaltar que durante todos los meses se demostró que este factor influye significativamente en los resultados, permitiendo dar conclusiones más contundentes. Por otro lado, también se concluyó que el turno de trabajo no produce efectos sobre la variable, ya que no se encontró una diferencia significativa entre las medias de los grupos.

Siguiendo con la interpretación, se determinó para el denier 1090 que el turno produce efectos significativos sobre el comportamiento de la variable (mayormente durante octubre y diciembre), pero el extrusor no, ya que aplicando la regla de comparación se concluye que no existen diferencias significativas.

En cuanto al tipo de resina, se puede observar en la Tabla 81 de la sección de resultados que la conclusión de rechazar o no rechazar la hipótesis nula difiere en iguales proporciones. De igual manera, al aplicar la regla de comparación del valor F entre diferentes meses, no se logró observar ningún patrón determinante que permitiera llegar a una decisión concluyente. Por ende, puede inferirse que este factor produce efectos significativos sobre el comportamiento de la variable, pero que dichos efectos son notablemente variables en el tiempo y no pueden ser generalizados para todos los meses del espesor estudiado.

Finalmente, para el denier 2165 se determinó que el turno y la resina no mostraron efectos significativos sobre el comportamiento de la variable. Por otro lado, cabe mencionar que para este denier no se contó con la información suficiente para concluir puntualmente si el tipo de extrusor afecta o no sobre el comportamiento de la variable (Tabla 87).

Una observación importante fue que, durante el análisis de algunos denieres, se pudo haber encontrado falta de información sobre ciertos factores durante algunos meses, más no en todos. Dicha situación se ejemplifica en el caso del denier 2165, ya que, durante el levantamiento de datos, se observó que se registraron observaciones que solamente

provenían de un extrusor (para todos los meses). Por consecuencia, no solamente se dificulta la interpretación del análisis ANOVA para este factor, sino que este problema también indica que la muestra no es representativa del proceso real (en donde realmente se involucra más de un extrusor). Esto puede provocar en gran medida que la calidad de los resultados obtenidos del análisis ANOVA para los otros factores pueda verse afectada.

En términos generales, puede concluirse a partir del análisis ANOVA que todos los factores producen efectos significativos sobre el comportamiento de la variable dependiente. Sin embargo, estos efectos son variables en el tiempo y en el denier analizado.

Para complementar el análisis ANOVA y obtener resultados más completos y concluyentes, se llevó a cabo un análisis de comparación por factores para estudiar el incumplimiento en los diferentes grupos. Los resultados se presentan de la Tabla 61 a la Tabla 88 de la sección de resultados.

El análisis indica que, para la mayoría de los casos, los factores tienden a generar incumplimientos por arriba del límite superior. Esta observación se discutió anteriormente en el apartado de variabilidad y cumplimiento. Por otra parte, se determinó que el extrusor con mayor tasa de defectos en promedio, es “L1”. En cuanto al factor de turno, cabe mencionar que el “Turno A” tiene mayor proporción media de errores. Según entrevistas realizadas al personal de la planta, esto se debe a que durante el día se hacen más cambios de operación (cambio de espesor, denier, formulación, etc.). Sin embargo, la diferencia no es tan significativa, ya que el “Turno B” representa la mayor proporción de error en algunos casos.

Finalmente, los resultados también señalan que las resinas que más afectaron al proceso en la mayoría de los casos analizados fueron “SABIC (PP500P)” y “SABIC (PP506P)”. A partir de esta conclusión, se considera que lo más recomendable es llevar a cabo nuevos estudios diseñados especialmente en analizar estas resinas, ya que, con la información actual, no es posible determinar la causa exacta de que este factor influya significativamente en el comportamiento del denier durante diferentes meses. Sin embargo, como se explicó en apartados anteriores, cabe la posibilidad de que algunas propiedades de la materia prima tales como la viscosidad estén afectando en el funcionamiento de los tornillos. Por ello, en el plan de mejora que se desarrolló en la sección de resultados se propusieron algunas soluciones que se relacionan principalmente con los factores discutidos.

8. CUARTA FASE: PLAN DE MEJORA

8.1 Metodología

Luego de haber identificado las causas raíz de la variabilidad y analizar la forma en que se comportan los diferentes factores para diferentes muestras, se buscaron oportunidades de mejora enfocadas en reducir la variabilidad del proceso. Para ello, fue necesario recabar información adicional que no se presenta en las bases de datos. Esta información incluye, sobre todo, entrevistas a colaboradores, supervisores y encargados de las diferentes áreas de la compañía.

Por medio de estas entrevistas, se recopiló información relacionada al personal de trabajo, las máquinas (mantenimiento, calibración, puesta a punto, etc.) y la materia prima, con la finalidad de complementar el análisis con base en experiencias que se presentan en la práctica del día a día en el proceso de extrusión.

Recabar información basada en experiencias de primera mano durante la práctica fue de vital importancia para entender cómo se desarrolla el proceso más allá de los datos estadísticos, conocer las dificultades que suelen presentarse, así como identificar cuáles son los mayores retos que el proceso de extrusión presenta durante el día a día. Eso permitió encaminar al proceso a encontrar soluciones viables yendo por la dirección correcta, ya que la experiencia dentro de la planta tiene un gran valor en los proyectos de mejora de procesos.

Siguiendo este enfoque, se buscó que el plan de mejora fuera práctico, sencillo, de fácil implementación y de bajo costo. Este último aspecto fue una base fundamental para el desarrollo de las propuestas, ya que la empresa espera implementar prácticas y técnicas que permitan obtener un mayor cumplimiento del proceso sin la necesidad de invertir en recursos.

De esta manera, el plan de mejora propuesto se centró en presentar una serie de tareas y prácticas que deberían implementarse durante el proceso de extrusión para lograr cambios significativos.

Las actividades se clasificaron según el área de mejora, los objetivos, los programas y los subprogramas. Además, para cada actividad se definió el responsable de darle seguimiento al plan, el tiempo que tomará desarrollar la propuesta, la frecuencia de implementación, los recursos necesarios, las restricciones potenciales de aplicar la propuesta y el indicador de cumplimiento.

Los elementos mencionados se integraron al plan de mejora de modo que, la empresa pueda implementar las propuestas de forma práctica y constante, durante un periodo indefinido. Además, cabe mencionar que las propuestas presentadas buscan implantar cambios permanentes en la calidad del proceso. Se espera que, con la implementación de las propuestas elaboradas, la empresa comience a observar un aumento

sustancial en los indicadores de calidad medidos, así como una reducción en los porcentajes de merma del proceso.

Finalmente, el plan de mejora desarrollado (Tabla 89 de la sección de resultados) expone sus beneficios y justifica la razón de cada propuesta, así como los objetivos que se buscan cumplir y otras consideraciones adicionales que la gerencia tendrá que tomar en cuenta al momento de evaluar la implementación de las propuestas. Entre estas consideraciones, se recomendó llevar a cabo un nuevo levantamiento de datos, con un alcance de al menos 3 meses, para determinar los efectos producidos en el proceso luego de implementar las propuestas establecidas.

Así mismo, se recomendó que dicho análisis sea programado trimestralmente entre la implementación de las diferentes propuestas, según se considere necesario, para evaluar periódicamente el comportamiento del proceso a partir del plan de mejora elaborado.

8.2 Resultados

En esta sección se presenta el plan de mejora desarrollado a partir de los hallazgos obtenidos en las fases anteriores.

8.2.1 Plan de mejora

Tras el análisis realizado, se llevó a cabo un plan de mejora que consiste en varias propuestas enfocadas en trabajar los factores analizados durante la investigación. Las propuestas buscan cumplir un objetivo y se clasifican por programas y subprogramas. Cada propuesta plantea los recursos necesarios y las posibles restricciones de llevarse a cabo, entre otra información relevante. El plan de mejora se ilustra en la Tabla 89.

Tabla 89. Plan de mejora

Programa	Objetivo	Sub-Programa	Actividad	Responsable	Duración/Frecuencia	Recursos	Restricciones	Indicador de cumplimiento
Calidad de la materia prima	Garantizar un material de buena calidad para asegurar que la resina no sea un factor de incumplimiento en el proceso de extrusión	Asegurar el cumplimiento de las condiciones y procedimientos de almacenamiento de la materia prima	Desarrollar un estándar que establezca las condiciones apropiadas de almacenamiento, así como los procedimientos adecuados en bodegas de materia prima.	Equipos de producción y calidad	5 meses	- Equipo de computación - Guías y normativas - Coordinadores del área de calidad y producción - Información complementaria - Encargado del desarrollo de la herramienta - Focus Groups	- Tiempo - Falta de colaboración y compromiso - Mala organización	Focus Groups y Desarrollo por etapas
			Desarrollar una matriz de verificación para evaluar el cumplimiento de los procedimientos, las características y las condiciones en bodega de materia prima.	Equipo de calidad	2 semanas (Implement. mensual)	- Tiempo - Focus Groups: - Encargado de bodegas - Coordinador de calidad - Encargado del desarrollo de la herramienta	- Tiempo - Acceso a información - Falta de compromiso - Falta de cumplimiento	Focus Groups, Porcentaje de cumplimiento
		Identificar el impacto de la viscosidad sobre el flujo del material en los tornillos de extrusión.	Llevar a cabo una prueba piloto que evalúe el impacto en los tornillos de reducir la viscosidad de la resina a través de un aumento en la temperatura.	Equipo de calidad con apoyo de expertos en materia prima	6 semanas	- Experto en materia prima - Ingeniero químico - Personal de calidad encargado en levantamiento de datos - Técnico de laboratorio - Muestras de diferentes resinas - Equipos y herramientas de medición - Insumos para el análisis	- Poca disponibilidad del personal técnico y operativo. - Retrasos - Se puede alterar el producto final si se reduce de más la viscosidad del material.	- Porcentaje de reducción de la viscosidad.
Estado del equipo y la maquinaria	Reducir el desgaste de los extrusores y garantizar su estado óptimo en todo momento.	Mejorar el cumplimiento periódico de todos los aspectos mecánicos del proceso.	Establecer un cronograma de mantenimiento preventivo, ajustes y calibración para todos los equipos de control y medición del extrusor.	Equipo de calidad	1 mes	- Calibradores de equipos - Personal calificado para el cumplimiento del cronograma	- Poca disponibilidad del personal calificado para esta operación - Falta de compromiso por parte de los supervisores	Porcentaje de cumplimiento de acuerdo al cronograma
		Mejorar el rendimiento de los extrusores para conseguir un proceso con resultados más estables.	Realizar una prueba piloto para evaluar el impacto de aumentar la frecuencia de mantenimiento preventivo (a nivel general) para los extrusores.	Gerente y equipo de mantenimiento	4 meses (Implementación: 2 veces / mes)	- Personal capacitado para dar mantenimiento a los extrusores. - Herramientas y equipo de mantenimiento. - Insumos: Productos de limpieza, filtros, aceite, lubricantes y repuestos.	- Costos adicionales de mantenimiento - Poca disponibilidad del personal calificado para la tarea - Resistencia al cambio por parte de gerencia	Número de mantenimientos por extrusor al mes
		Prolongar la vida útil de los extrusores y reducir la probabilidad de falla	Implementar un programa de capacitación mensual para operarios de la maquinaria respecto a los cuidados necesarios del equipo y las prácticas apropiadas para prolongar su vida útil.	Gerente de mantenimiento con el apoyo de RRHH.	12 meses (Implementación: mensual)	- Equipo y materiales de prueba - Personal calificado para el cumplimiento de la tarea.	- Baja disponibilidad del personal calificado	Número de calibraciones por día
		Supervisar a los operarios periódicamente por medio de evaluaciones de desempeño para verificar que cumplan con los procedimientos adecuados de arranque y puesta a punto del extrusor, así como del uso apropiado de los instrumentos y el equipo integrado al extrusor.	Implementar un programa de capacitación mensual para operarios de la maquinaria respecto a los cuidados necesarios del equipo y las prácticas apropiadas para prolongar su vida útil.	Gerente de mantenimiento con el apoyo de RRHH.	12 meses (Implementación: mensual)	- Personal altamente calificado en temas de mantenimiento y prevención - Operarios que reciben la capacitación - Material didáctico (presentaciones, manuales, material audiovisual, pruebas de comprobación) - Equipos y herramientas para la capacitación	- Falta de compromiso por parte de los operarios para atender a las capacitaciones. - Poca disponibilidad por parte de los encargados que imparten la capacitación. - Resistencia al cambio - Debe desarrollarse material didáctico. - Eventualidades que dificulten el cumplimiento del cronograma mensual. - Falta de interés	- Porcentaje de operarios que aprueban la evaluación mensual y exámen final de conocimientos. - Nota final de cada operario
Operativo	Mejorar la precisión y confiabilidad de los datos y los resultados de análisis posteriores	Garantizar que los datos se recopilen de forma consistente y uniforme	Estandarizar el levantamiento de datos para facilitar el análisis y prevenir sesgos o interpretaciones erróneas en los resultados.	Supervisor de calidad - Responsable de levantamiento, medición y análisis de datos	1 semana (Implementación: diario)	- Apoyo por parte del área de producción. - Herramientas de medición - Software de análisis de datos y equipo de cómputo - Información sobre los pedidos de cada semana - Nueva capacitación al personal para consolidar los nuevos métodos.	- Resistencia al cambio - Dificultades para conseguir estandarización.	- Número de observaciones registradas por fecha. - Número de fechas registradas por mes.
	Reducir el impacto en la calidad producido por los cambios frecuentes de operación	Diseñar un proceso más eficiente y menos propenso a errores de operación	Reducir los tiempos de operación en el turno A por medio de la metodología SMED.	Equipo de producción	4 a 6 meses	- Equipo de trabajo (Ingenieros de producción, encargado de maquinaria, operadores y Focus Groups) - Herramientas (medición de tiempos, diagramas de flujo, análisis gráfico, análisis de montajes y operaciones).	- Falta de tiempo - Resistencia al cambio - Falta de estandarización en los cambios de operación	- Tiempo promedio del cambio de operaciones. - Tiempo total reducido

Fuente: Elaboración propia, 2023.

El plan de mejora propuesto consta de tres programas, cuatro objetivos, 7 subprogramas y 10 actividades. Cada programa corresponde a cada uno de los tres factores analizados en el ANOVA, y se desglosan por objetivos de mejora. Cada propuesta presenta todas las implicaciones de su implementación y su desarrollo se justifica en la sección de discusión, dentro del apartado correspondiente.

8.3 Análisis y discusión de resultados

En este estudio, se propone un plan de mejora para aumentar la calidad del proceso de extrusión en la planta de empaques industriales. El plan en cuestión se centra en mejorar la precisión del proceso y reducir la variabilidad del denier.

Las propuestas del plan son prácticas y funcionales, ya que están basadas en el análisis exhaustivo del proceso actual, tomando en cuenta los resultados obtenidos durante la investigación. Además, el plan de mejora aborda cada propuesta según las causas raíz analizadas a partir del ANOVA realizado.

Se espera que, entre los beneficios de implementar las propuestas presentadas en el plan de mejora, el proceso logre reducir la variabilidad y el impacto de las tendencias y sesgos encontrados, así como el porcentaje de unidades defectuosas y los costos de reprocesamiento y rechazo.

Concretamente, se recabó por medio de consultas hacia el área de calidad, que el porcentaje de merma total en un mes es de aproximadamente 50 toneladas de material. El 70% de este volumen de merma corresponde al uso de polipropileno (35 toneladas aproximadamente), mientras que el otro 30% del volumen de merma corresponde a otros aditivos, como carbonato de calcio, tratamientos UV, entre otros.

Con ello, se busca que a partir de la implantación de estas propuestas se logre una reducción de al menos un 15% del volumen de merma actual.

También se espera lograr recuperar los indicadores de calidad obtenidos durante el segundo semestre del 2022 y seguir mejorándolos para los siguientes meses.

Cabe mencionar que las propuestas presentadas se plantearon a partir de evidencia sólida, sin embargo, lo más apropiado sería evaluar exhaustivamente la implementación de cada una, considerando la verificación del entorno para su aplicación, la disponibilidad de los recursos necesarios en la planta, así como proyecciones más exactas sobre los beneficios esperados.

Las primeras dos propuestas se centran en las condiciones y procedimientos de almacenamiento en bodegas de materia prima. Durante el análisis de la primera fase pudo notarse que durante los meses de enero y febrero los resultados fueron significativamente

más variables respecto a otros meses, en términos de las tasas de error atribuibles a cada característica medible.

Según lo discutido a partir de estos resultados, se expresó que, entre otras causas, existe la posibilidad de que la materia prima no se almacenó correctamente por diversos motivos durante estos meses.

Para verificar esta teoría se realizó un recorrido por la bodega de materia prima. Sin embargo, estos recorridos se realizaron varios meses después del muestreo en cuestión, en septiembre de 2023, específicamente. Esto debido a que la investigación aún no había llegado al punto de interpretar y analizar los resultados finales. Durante el recorrido por las bodegas de materia prima, se determinó que el material se encontraba almacenado en las condiciones adecuadas, aunque podrían estar mejores en términos de temperatura y ventilación.

Además, no se tiene conocimiento total sobre los procedimientos que se llevan a cabo en las bodegas en base a normativas y reglamentos específicos. Al entrevistar al supervisor de turno, explicó que se manejan criterios de evaluación para las condiciones de almacenamiento, y también aseguró que el personal se encuentra capacitado para la labor, cumpliendo con los procedimientos requeridos, de modo que no se comprometa la calidad del material. Sin embargo, no existe un estándar o manual sobre el que puedan guiarse los colaboradores, por lo que difícilmente se podrán detectar y corregir prácticas inadecuadas.

Por ello, desarrollar un estándar de condiciones y procedimientos podría servir de guía para cubrir todos los aspectos necesarios y poder enfocarse en las oportunidades de mejora presentes en el área de almacenamiento.

Acompañado de esta propuesta, también se planteó desarrollar una matriz de verificación que sirva como medio de evaluación periódica para asegurar el cumplimiento de lo establecido en el estándar. Aquí deben establecerse todos los criterios de verificación necesarios.

Aunque se lleve un control sobre estos criterios, es posible que se estén pasando por alto algunos aspectos. Por ejemplo, es posible que no se esté tomando en cuenta un enfoque de First-in, First-out para la materia prima, lo cual puede afectar a la calidad del material a largo plazo. Al igual que con el producto terminado, debe mantenerse una rotación constante del material, ya que almacenar la resina por mucho tiempo puede deteriorarla debido a las condiciones ambientales, especialmente porque existen oportunidades de mejora en esta área.

Por ello, es importante emplear periódicamente una herramienta específica que cubra todos los aspectos de relevancia para garantizar que las condiciones sean las correctas, permitiendo asegurar que la materia prima se conserve en perfectas condiciones.

Es importante mencionar que estas propuestas no requieren de financiamiento. Sin embargo, como parte de los recursos, se requiere de la colaboración y el apoyo de los coordinadores del área de calidad y el área de almacenamiento, así como Focus Groups que permitan obtener “feedback” de forma periódica.

Como medida de control para el seguimiento de la matriz, se proponer llevar a cabo auditorías periódicas con una frecuencia mensual o trimestral para determinar el nivel de cumplimiento a través de un porcentaje. El resultado de la herramienta será el porcentaje total de cumplimiento y se calcula dividiendo la cantidad de criterios que si cumplen dentro de la cantidad total de criterios en la herramienta. Con dicha operación se obtiene el grado de cumplimiento total de la auditoría. Los resultados de cada auditoría se subirán al sharepoint de la empresa para llevar un control de los resultados, y de esta manera, durante el transcurso del tiempo se irá construyendo una gráfica que indique si existen mejoras en el cumplimiento de criterios, los aspectos en estado pendiente para la toma de acción, y las áreas sobre las que aún falta trabajar.

De igual manera, esta herramienta dará lugar a destacar observaciones importantes sobre los aspectos evaluados, para entregar con mayor detalle los resultados y permitir que se aborden de manera más eficaz las necesidades identificadas.

Por otra parte, la tercera propuesta del plan de mejora se enfoca en la viscosidad del material. Se discutió con base en los resultados obtenidos de la segunda fase de la metodología que la viscosidad podría estar desplazando los tornillos gradualmente debido a la fricción producida por el flujo del material. Para comprobar que estos efectos son ciertos, se recomienda llevar a cabo una prueba piloto para reducir la viscosidad del material sin comprometer las propiedades del hilo. Para ello, lo más práctico es generar un aumento en la temperatura de extrusión. Se espera que, con esto se pueda obtener una mayor estabilidad en los tornillos, y reducir la tendencia de producir sobre las especificaciones.

El control respectivo para dicha propuesta puede llevarse a través de pruebas en laboratorio que busquen reducir la viscosidad del material fundido sin afectar a las propiedades de la resina. Dicha alternativa consiste en determinar la frecuencia de calibración en los tornillos de extrusión antes de reducir la viscosidad, y calcular la diferencia en dicha frecuencia luego de reducir la viscosidad de la mezcla. Deberá responderse cuestiones como: ¿Los tornillos se siguen viendo afectados de la misma forma? ¿La necesidad de calibración por jornada se redujo? ¿Se redujo la tendencia del denier a incumplir sobre el límite superior? ¿Los operarios del área de extrusión y los encargados de calibración lograron notar cambios importantes luego de implantar la propuesta? ¿En qué medida se presentan estos cambios?

Como medida complementaria, se plantea la cuarta propuesta de mejora, que consiste en establecer un cronograma de cumplimiento para el mantenimiento preventivo, ajustes y calibración para todos los equipos de control. Esta propuesta surge debido a la importancia de llevar un control adecuado sobre los ajustes que se le dan a la máquina. Es importante tener en cuenta que el mantenimiento preventivo se desarrolla de manera diferente para cada componente del extrusor. Algunas partes ocupan una revisión semanal, mientras que otras se verifican mensual o trimestralmente. Por ello, para tener un control óptimo es necesario seguir un cronograma que permita no saltarse las revisiones que corresponden a cada parte de la máquina.

Como se mencionó en la sección de discusión, los operarios le dan mantenimiento a la máquina según el manual. Sin embargo, en el día a día resulta poco práctico consultar el manual cada vez que se le da mantenimiento a un extrusor. Además, también cabe resaltar que, los operarios normalmente trabajan bajo presión por procurar que la maquinaria entre rápidamente en funcionamiento. Estos dos factores provocan que los operarios de mantenimiento trabajen con base en su propio criterio y omitan consultar el manual. Esto puede representar un riesgo porque los operarios tienen una mayor probabilidad a cometer errores, así como saltarse algunas revisiones que no consideren relevantes, ya sea por sesgos personales o por lagunas de información. Esto se reflejó durante uno de los testimonios obtenidos en las entrevistas. Se explicó que normalmente se le daba mantenimiento a la máquina cuando ésta comenzaba a presentar fallas en algún aspecto, lo que indica que la mayor parte del mantenimiento es correctivo y no preventivo.

Establecer un cronograma y verificar que se les dé seguimiento a estos procedimientos puede ser una alternativa más práctica para los operarios, por lo que se espera tener un mayor cumplimiento al implementar esta propuesta.

Dicho cumplimiento puede asegurarse por medio de formularios y constancias que validen la realización de los procedimientos. Estos medios deben archivar y compartirse al sharepoint de la empresa para fácil acceso a quien corresponda.

Al implantar esta propuesta se busca un mayor cumplimiento de las especificaciones de los hilos extruidos, particularmente del denier. Se pretende reducir la tasa de error al menos un 10%, considerando que otros factores particulares de la maquinaria influyen en mayor medida sobre el cumplimiento del denier, como los tornillos de extrusión, que representan un factor altamente sensible y que debe controlarse continuamente.

Por otra parte, el mantenimiento rutinario, o general, que se realiza mensualmente, es un factor fundamental para prolongar la vida útil de los extrusores, así como para garantizar un proceso eficaz y con buenos resultados.

La quinta propuesta consiste en aumentar la frecuencia de mantenimiento general. En la sección de discusión se expresó la necesidad de dicho aumento. Sin embargo, debe tomarse en cuenta que aumentar la frecuencia del mantenimiento preventivo puede llevar a un aumento en los costos de mantenimiento, reflejados por un mayor consumo de recursos.

Por ello, se recomienda evaluar los efectos que produce aumentar la frecuencia de mantenimiento sobre el comportamiento del proceso. Para ello, pueden llevarse a cabo pruebas piloto que permitan cuantificar el valor agregado de esta propuesta, en términos de costo-beneficio. Con esta propuesta se busca que el mantenimiento pase de ser mensual, a ser quincenal, ya que varios de los resultados indican que la variabilidad comienza a notarse a partir de la tercera semana del mes.

La metodología para implantar esta propuesta consiste en aumentar la frecuencia de mantenimiento en los extrusores durante un periodo definido (recomendablemente entre 3 y 4 meses, para llegar a resultados concluyentes), y durante este periodo, ir tomando

muestras de hilos que se irán recabando en bases de datos. Luego de cumplirse el periodo de estudio, se llevará a cabo un nuevo análisis para comparar los resultados del presente estudio (antes del cambio), con los nuevos resultados, luego de aumentar la frecuencia de mantenimiento en el proceso. Se recomienda observar y analizar los cambios esperados, principalmente en los gráficos de control, los límites centrales y las tasas promedio de error.

Con la implantación de esta propuesta, se buscará un mejor funcionamiento de los extrusores, por lo que se espera una reducción significativa de la variabilidad en los gráficos, reflejada en los picos y valles abruptos que en varias ocasiones se presentaron. Así mismo, se espera una reducción de al menos un 10% en la tasa media de errores mensual para los diferentes tipos de hilo.

Al implantar esta propuesta en el proceso de producción, deberá responderse a cuestiones como las siguientes: ¿Los gráficos de control siguen mostrando una tendencia significativa de aumento en la variabilidad a medida que pasan los días? ¿Se redujeron los picos y valles abruptos que denotan variaciones significativas en la efectividad del proceso? ¿Se redujeron sustancialmente las tasas de error promedio? ¿Esta reducción se refleja en los gráficos?

Además, como medida de control para asegurar que la implantación de esta propuesta se sostenga con el tiempo (si resulta económicamente viable a partir de los nuevos resultados obtenidos), se recomienda seguir a cabalidad el cronograma de mantenimiento, y subir constancia de ello al sharepoint de la empresa, donde los coordinadores que corresponden al área de extrusión y mantenimiento puedan verificar que, en efecto, se dio seguimiento a la actividad.

La sexta propuesta consiste en aumentar la frecuencia de calibración en los tornillos de extrusión. Esta alternativa no representa ningún costo, y la única restricción que se presenta es la falta de disponibilidad del personal calificado para realizar esta tarea, aunque esto no representa un riesgo significativo. Además, la máquina puede seguir en funcionamiento mientras se realizan estos ajustes, por lo que el proceso no se ve afectado.

El control para la implantación de esta medida consiste en evaluar mediante la observación y medición los cambios en el proceso luego de incrementar el número de calibraciones por jornada en los tornillos de extrusión. De lograr resultados positivos, se esperaría percibir una reducción en la tendencia que existe actualmente en los gráficos de control a sobrepasar el límite superior en la especificación del denier. Para lograr un aumento en la calibración de los tornillos, deberá llevarse a cabo un plan específico que detalle la disponibilidad de cada operario capacitado para la tarea, de modo que sea posible asignar operarios a esta actividad sin dejar desatendidas las otras funciones dentro de la planta.

Para evidenciar resultados tangibles, es importante cumplir puntualmente con el calendario de calibración que se establecerá por cada jornada. Actualmente, se realizan ajustes en los tornillos en promedio 3 veces por cada jornada. Es decir, 6 veces cada 24 horas, aproximadamente. Tomando en cuenta la tendencia de aumento en la especificación del denier, se recomienda incrementar a 5 ajustes por jornada de trabajo, con el fin de tener

un mejor control sobre los tornillos y compensar los sesgos de aumento durante la producción. Seguido de este cambio, deberán realizarse levantamientos de datos durante los siguientes 3 o 4 meses, para contar con una robusta base de datos que permita observar nuevos hallazgos y verificar la efectividad del cambio realizado.

La séptima propuesta desarrollada consiste en implantar un programa de capacitación mensual para operarios respecto al uso y los procedimientos de la maquinaria. El objetivo principal de esta propuesta es prolongar la vida útil de los extrusores y reducir la variación de su resultado, así como lograr un aumento en la efectividad de los mismos y reflejar en el proceso las buenas prácticas operativas.

Cabe mencionar que los operadores se encuentran capacitados para manejar los extrusores. Sin embargo, como en el uso de cualquier equipo, existen prácticas inadecuadas en el encendido y puesta a punto que pueden pasar desapercibidas, y podrían estar reduciendo la vida útil de la máquina y su eficiencia durante la producción. Por ello, implementar un programa de capacitación sería un método de prevención para garantizar el cuidado de la maquinaria y cerciorarse que se esté cumpliendo con los procedimientos adecuados durante el encendido y la puesta en marcha del extrusor.

La implantación de esta propuesta debe partir de una evaluación previa que debe realizarse a todos los operarios que interactúan con los extrusores. Dicha evaluación deberá considerar todos los aspectos relevantes relacionados al uso de los extrusores, como el arranque y encendido, la puesta a punto, el manejo de sus funciones, uso y configuración de la computadora, la calibración de componentes específicos, el mantenimiento, etc. Cabe mencionar que dicha evaluación se realizará en función de los puestos que ocupan los trabajadores.

De esta manera, los trabajadores que obtengan resultados sobresalientes en la evaluación inicial serán exonerados del programa de capacitación, y voluntariamente, se les pedirá apoyo para instruir a otros operarios, ya que demostraron ser completamente capaces para el manejo del equipo. Por otra parte, los trabajadores que presenten más de un error en la prueba tendrán que recibir una capacitación sobre el manejo de los extrusores, de manera semanal o quincenal, según convenga y los recursos lo permitan, tomando en cuenta también el nivel de actividad diario y la carga de trabajo.

Es recomendable subcontratar personal de apoyo con la preparación del material didáctico, como presentaciones, guías y manuales simplificados, así como el apoyo de los expertos más experimentados en la materia.

Como parte de la octava propuesta, se plantea un medio de control para verificar que los operarios estén aplicando las recomendaciones y conocimientos obtenidos de la capacitación. Para ello, se recomienda supervisar su trabajo periódicamente mediante auditorías y recorridos a los puestos de trabajo. Así mismo, se recomienda llevar a cabo evaluaciones de desempeño a través de una matriz de verificación (tipo checklist) que aborde los aspectos que el operario debe cumplir al interactuar con el equipo. Esto permitirá medir la efectividad de la capacitación y la resistencia al cambio que surge en las personas de forma inherente al enfrentar ciertos cambios. Idealmente, estos monitoreos deberían

hacerse semanalmente y deben ser prácticos y sencillos. Con esta propuesta, se busca que los operarios logren mejorar sus resultados en las evaluaciones luego de recibir la capacitación, y más importante aún, garantizar que sean capaces de poner los conocimientos en práctica durante el turno laboral.

La novena propuesta de mejora consiste en estandarizar el sistema de levantamiento de datos para facilitar el análisis y obtener resultados más confiables. El objetivo de esta propuesta es facilitar la interpretación de los datos para la toma precisa de decisiones. En el estudio, se pudo percibir durante repetidas ocasiones, que uno de los grandes problemas en el análisis fue la falta de estandarización en el sistema de muestreo. Esto se pudo notar particularmente al desarrollar los gráficos de control. Tomando en cuenta que estos gráficos serán construidos nuevamente luego de aplicar otras propuestas en el proceso de extrusión, resulta necesario estandarizar el levantamiento de datos.

Además, es recomendable que, para todos los días del mes registrados, se almacene la misma cantidad de observaciones. De preferencia, esta cantidad debe ser superior a 100 observaciones, ya que esto permite reducir el error muestral, además que se logra una mayor capacidad para detectar patrones o tendencias.

Por otra parte, también se sugiere estandarizar los días de muestreo. En este contexto, hacer un muestreo diario sería lo ideal, pero en su defecto, debe estandarizarse el levantamiento de datos programando una frecuencia de cada 2 o 3 días. Debe evitarse en la medida de lo posible que pasen varios días consecutivos sin registrar observaciones, como ocurrió durante ciertos meses del presente estudio.

La resistencia al cambio al implantar esta propuesta es un obstáculo que se presentará en menor o mayor medida, principalmente por parte de los encargados directos de realizar el muestreo de los hilos, e incluso de los encargados de medir las características de los hilos y registrar los datos.

Como medida de control para prevenir esta resistencia, y para asegurar el seguimiento adecuado de la propuesta, se sugiere fijar una orden por escrito que será extendida al responsable del levantamiento de datos. Deberá cumplirse con esta orden a modo de constancia para asegurar que la cantidad de observaciones obtenidas es la misma para cada día. Así mismo, deberá verificarse continuamente que no existen días de por medio para los cuales no se registraron datos. Dicha constancia deberá presentarse al final de cada semana al supervisor correspondiente para que verifique el cumplimiento de la iniciativa.

Además, los encargados de laboratorio que miden las características de los hilos y registran las mediciones obtenidas, también deberán enviar semanalmente a su supervisor las bases de datos con los avances esperados. De presentarse algún problema durante la medición y registro de datos, la situación deberá reportarse directamente con el supervisor, por medio de observaciones adjuntas a los avances realizados, o bien, a través de otros medios más directos.

Por último, la décima propuesta se basa en reducir los tiempos de cambio de operación en el turno A (ya que en este turno existen más cambios de operación), por medio de la metodología SMED. Esta reducción de tiempos se busca ya que, si los operarios trabajan bajo presión durante los cambios de operación, es más probable que se cometan errores al configurar el equipo para el nuevo lote, lo que puede afectar la variabilidad del proceso. Dichos errores pueden estar dados por la influencia de factores como la temperatura y la velocidad de extrusión.

Muchas veces, a la empresa se le solicitan nuevos pedidos, cuando dichos pedidos varían en requerimientos y en gramaje solicitado (variando de un denier 640 a un denier 1090 o 2165, por ejemplo), aumenta la presión y la carga de trabajo en el turno laboral, ya que se requiere un tiempo de cambio entre tipos de hilos y una preparación necesaria que, dependiendo de la cantidad de pedidos, puede retrasar la producción.

Reducir el tiempo de cambio de las configuraciones del proceso puede aumentar la flexibilidad, permitiendo tener una mayor capacidad de respuesta ante nuevos pedidos con diferentes requerimientos.

La metodología para la implantación de esta propuesta consiste en una serie de pasos que comienza por identificar los elementos que están involucrados en el proceso que está siendo sometido al cambio. Una vez identificados los elementos críticos, debe medirse el tiempo actual de realización de cada uno de ellos. Luego deben identificarse que actividades son externas (se realizan con la máquina en funcionamiento) y cuales son internas (se realizan con la máquina detenida).

Con el seguimiento de estos pasos, se llegará al punto más importante, que consiste en eliminar aquellos elementos o actividades no necesarias en el proceso de cambio, y, además, determinar que actividades internas pueden volverse externas. Es decir, identificar qué actividades que se realizan con la máquina detenida, podrían en su lugar, realizarse con la máquina en funcionamiento, sin afectar al proceso. Todos los cambios, hallazgos y avances que se hagan en el proceso por medio de esta metodología tendrán que estar debidamente documentados y estar al acceso de quienes corresponda. Al implantar esta propuesta, se busca que los tiempos de cambio reduzcan en un 30%. Cabe mencionar también, que los operarios deben capacitarse para adaptarse al nuevo proceso de cambio, para que este sea efectivo.

9. CONCLUSIONES

- De acuerdo con los resultados obtenidos a partir de los indicadores utilizados, se determinó que el nivel Sigma y el % Yield del proceso de extrusión aumentó gradualmente durante los últimos 6 meses de 2022, alcanzando un índice máximo de 2.96. A partir de allí, la calidad del proceso se redujo significativamente para enero y febrero, con índices de 2.48 y 2.44, respectivamente.
- Se determinó, según el análisis Cpk, que el proceso de extrusión no fue capaz de cumplir con las especificaciones en el periodo estudiado, puesto que el índice Cpk es menor que 1, en todos los casos.
- Los resultados obtenidos a partir de los gráficos de control indicaron que el proceso presentó una variabilidad significativa durante la mayoría de los meses, principalmente durante octubre y septiembre.
- Según los resultados obtenidos tras el análisis, se determinó que el proceso presentó altas tasas de incumplimiento durante la mayoría de los meses, principalmente durante agosto y septiembre, con una proporción media de 32.48% y 30.71%, respectivamente.
- Los resultados obtenidos a partir del análisis ANOVA permitieron concluir que los tres factores analizados (tipo de extrusor, turno laboral, tipo de resina) tuvieron efectos significativos sobre el comportamiento de la variable dependiente, aunque estos efectos varían en el tiempo y en el tipo de denier.
- Se desarrolló un plan de mejora con 10 propuestas capaces de reducir la variabilidad en el proceso de extrusión y mejorarlo con base en su estado actual.
- Se determinó a partir del análisis gráfico que, la tendencia a producir hilos con mayor denier se debe a que los tornillos de extrusión tienden a abrirse gradualmente con el tiempo.
- De acuerdo con los resultados obtenidos tras el análisis de la variabilidad, se determinó que existe un menor control en el proceso a partir de la segunda quincena de cada mes. Esto pudo observarse en la mayoría de los casos y señala la necesidad de una mayor frecuencia de mantenimiento a los extrusores.
- Los resultados señalan que aún existe un amplio margen de mejora que requiere seguir trabajando para abordar y estudiar más a fondo las causas raíz de los incumplimientos, con el objetivo de mejorar continuamente la calidad del proceso de extrusión.

10. RECOMENDACIONES

- Llevar a cabo un nuevo estudio enfocado en analizar las resinas “SABIC (PP500P)” y “SABIC (PP506P)”, con el fin de determinar la causa exacta de que este factor influya en el comportamiento del denier durante diferentes meses.
- Se considera necesario incrementar la frecuencia de calibración diaria de los tornillos de extrusión, para controlar la tendencia de producir hilos con mayor gramaje de lo esperado.
- Realizar un análisis exhaustivo que se enfoque exclusivamente en el comportamiento de los tornillos de extrusión, y estudiar a profundidad todos los factores involucrados en la variación de gramaje que presentan los tornillos.
- Implementar las propuestas de mejora en el proceso de forma secuencial para determinar la efectividad individual de cada propuesta y de ser necesario, realizar ajustes en aquellas propuestas que no estén teniendo un efecto deseado.
- Desarrollar un plan de comunicación para informar a los interesados sobre el progreso de las mejoras y atender a inquietudes y recomendaciones por parte de los coordinadores de diferentes departamentos. El plan debe ser implementado y monitoreado de manera adecuada para garantizar su efectividad.
- Analizar la variabilidad y el nivel de incumplimiento para los últimos 3 meses antes de la implementación de las propuestas para tener una línea base reciente y actualizada sobre el proceso de extrusión al momento de evaluar el impacto de las propuestas de mejora.
- Realizar benchmarking funcional con empresas de otros sectores para identificar mejores prácticas que podrían acoplarse a la implementación de las propuestas de mejora.
- Formar equipos de trabajo con roles establecidos para la realización de estudios posteriores, principalmente durante la medición y el análisis de datos. Esto permitiría gestionar los recursos de manera eficiente para la obtención de resultados más completos al aprovechar las habilidades y conocimientos de varios miembros del equipo.

11. BIBLIOGRAFÍA

Benites, L. (23 de enero, 2022). Análisis de la capacidad del proceso. Statologos. Obtenido de: <https://statologos.com/analisis-de-la-capacidad-del-proceso/>

Coutinho, V. (14 de septiembre, 2015). KPIs. Rockcontent. Obtenido de: <https://rockcontent.com/es/blog/kpis/>

Craig Gygi, B. W. (2012). “*Six Sigma for Dummies*” (2nd Edition). Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

Esan, C. (30 de junio, 2016). La metodología Six Sigma. Esan. Obtenido de: <https://www.esan.edu.pe/conexion-esan/la-metodologia-six-sigma>

González, M. N.-G. (22 de abril, 2020). El método Lean Six Sigma, clave en la mejora de procesos de tu empresa. izertis. Obtenido de: <https://www.izertis.com/es/-/post/metodo-lean-six-sigma-mejora-procesos-de-tu-empresa>

H. Blucher, A. E. (2020). “*Enciclopedia de Química Industrial*”. Madrid: Editorial Tecnos, S. A.

Imagar. (13 de enero, 2022). Beneficios del control de calidad para una empresa de informática. Imagar Solutions Company. Obtenido de: <https://www.imagar.com/blog-desarrollo-web/beneficios-del-control-de-calidad-para-una-empresa-de-informatica/>

Ionos. (29 de junio, 2020). Modelo Six Sigma: Cómo funciona y para que sirve. Ionos StartUp Guide. Obtenido de: <https://www.ionos.es/startupguide/gestion/que-es-el-modelo-six-sigma/#:~:text=Un%20nivel%20de%20seis%2C%20es,es%20del%200%2C00034%20%25>

Laoyan, S. (2 de noviembre, 2022). Six Sigma. Asana. Obtenido de: <https://asana.com/es/resources/six-sigma>

López, B. S. (22 de octubre, 2019). Nivel Sigma y DPMO. Ingeniería Industrial Online. Obtenido de: <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/gestion-de-calidad/nivel-sigma-y-dpmo/>

Maza, R. P. (octubre, 2004). “*Diseño para Seis Sigma (DFSS) en el diseño del Copete Digital GE*”. Guanajuato, México.

Merline. (2023). Metodología IDOV. Tech-dir. Obtenido de: <https://tech-dir.net/metodologia-idov-identificar-disenar-optimizar-verificar/>

Nirian, P. O. (01 de abril, 2020). Control de Calidad. Economipedia. Obtenido de: <https://economipedia.com/definiciones/control-de-calidad.html>

Ortiz, D. (27 de septiembre, 2022). ¿Qué es un Dashboard y para qué se usa? Cyberclick. Obtenido de: <https://www.cyberclick.es/numerical-blog/que-es-un-dashboard>

PDCA, G. (17 de mayo, 2013). Cómo calcular el nivel de calidad Sigma de un proceso. PDCA Home. Obtenido de: <https://www.pdcahome.com/4466/calcular-el-nivel-sigma-del-proceso/>

Ponce, C. (agosto, 2020). “GUÍA DE CONTROL ESTADÍSTICO DEL PROCESO Y, DETERMINACIÓN DE CAUSAS COMUNES, / ESPECIALES Y ACCIONES CORRECTIVAS”. Quito, Ecuador.

Ricardo, R. (12 de noviembre, 2020). Diseño para Seis Sigma (DFSS). Estudiando. Obtenido de: <https://estudiando.com/disenio-para-six-sigma-dfss-descripcion-general-y-objetivos/>

Rodrigo Andrés Gómez Montoya, S. B. (15 de julio, 2011). “*Seis Sigma: un enfoque teórico y aplicado en el ámbito empresarial basándose en información científica**”.

Santander, U. (28 de diciembre, 2022). Cómo hacer una Campana de Gauss en Excel. Santander | Becas. Obtenido de: <https://www.becas-santander.com/es/blog/campana-de-gauss-excel.html>

Sydle. (2023). ¿Qué es el control de calidad? SYDLE - Gestión de procesos. Obtenido de: <https://www.sydle.com/es/blog/control-de-calidad-cual-es-su-funcion-descubre-como-hacerlo-635692df4037f135695fbd75#:~:text=El%20control%20de%20calidad%20es,o%20problemas%20en%20la%20producci%C3%B3n.>

Gladys. (2008). ¿Qué es Cpk?. MeasureControl. Obtenido de: <https://measurecontrol.com/que-es-cpk/>

Escobedo, E. y Socconini, L. (2021). *Lean Six Sigma Green Belt (paso a paso)*. 1ª Edición. Marge Book. Obtenido de: https://www.google.com.gt/books/edition/Lean_Six_Sigma_Green_Belt_paso_a_paso/fd_kZEAAAQBAJ?hl=es&gbpv=1&dq=como+se+determina+el+nivel+sigma&pg=PA128&printsec=frontcover

Quevedo, F. (2011). Medidas de tendencia central y dispersión. MedWave. Obtenido de: <https://dsp.facmed.unam.mx/wp-content/uploads/2013/12/Quevedo-F.-Medidas-de-tendencia-central-y-dispersion.-Medwave-2011-Ma-113..pdf>

inbestMe. (2022). Desviación estándar, volatilidad, riesgo, movimientos esperados e inesperados. inbestMe. Obtenido de: <https://www.inbestme.com/es/es/blog/desviacion-estandar-volatilidad-riesgo/>

Molina, M. (octubre, 2017). ¿Qué significa realmente el valor-p? Scielo. Obtenido de: https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1139-76322017000500014

IBM. (03 de enero, 2023). Valor F. IBM. Obtenido de: <https://www.ibm.com/docs/es/cognos-analytics/11.1.0?topic=terms-f-value>

IBM. (04 de mayo, 2023). Proporción de varianza explicada. IBM. Obtenido de: <https://www.ibm.com/docs/es/cloud-paks/cp-data/4.5.x?topic=overview-proportion-explained-variance>

JMP (s.f.). ANOVA de un factor. *JMP*: Portal de formación estadística. Obtenido de: https://www.jmp.com/es_co/statistics-knowledge-portal/one-way-anova.html

Velazco, C. (8 de noviembre, 2012). Regresión lineal múltiple y varianza no explicada. YouTube. Obtenido de: <https://www.youtube.com/watch?v=ej7MIxkUYWc>

Triola, M. (2006). *Estadística (9ª Edición)*. Editorial Pearson Education. Ciudad de México. 395 páginas. Obtenido de: <https://www.google.com.gt/books/edition/Estad%C3%ADstica/Lj5VlatlLhsC?hl=es&gbpv=1&dq=que+es+el+nivel+de+significancia&pg=PA392&printsec=frontcover>

Antonucci, I. (23 de septiembre, 2020). Capacidad de procesos: métricas de calidad y estrategia Seis Sigma. Atlas Consultoría. Obtenido de: <https://www.atlasconsultora.com/capacidad-de-procesos/>

Sociedad de Ingenieros Plásticos. (02 de julio, 2004). Efectos de la superficie del tornillo en el proceso de extrusión. Tecnología del Plástico. Obtenido de: <https://www.plastico.com/es/noticias/efectos-de-la-superficie-del-tornillo-en-el-proceso-de-extrusion>

Beltrán, M. (2011). Tema 4. Extrusión. Alicante, España: Universidad de Alicante. Obtenido de: https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/16897/1/TEMA_4_extrusion.pdf

Tello, V. (12 de mayo, 2005). Diseño de una máquina de soplado automática para hacer botellas de polietileno de alta densidad (HDPE), con una capacidad máxima de 1 litro y un ciclo máximo de 12 segundos. Cholula, Puebla, México: Universidad de las Américas. Obtenido de: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lim/tello_c_vr/

Méndez, A. (11 de abril, 2023). Procesamiento de PET: inyección, soplado, extrusión de película y fibra. *Plastics Technology México*. Obtenido de: <https://www.pt-mexico.com/articulos/parmetros-clave-a-considerar-durante-el-procesamiento-del-pet>

Rodríguez, M. (2023). *El proceso de cambio de útiles: La flexibilidad de una fábrica*. Madrid, España: Fundación Confemetal. Obtenido de: https://www.google.com.gt/books/edition/El_proceso_de_cambio_de_%C3%BAtiles/eAtWL-yquTUC?hl=es&gbpv=1&dq=metodologia+smed&pg=PA23&printsec=frontcover

12. ANEXOS

12.1 Procedimiento paso a paso para determinar el nivel Sigma y la proporción Yield de cada mes (en Excel)

Especificaciones analizadas: Denier, Ancho, Elongación y Tenacidad.

Para cada base de datos, las observaciones se encuentran organizadas por columnas con la información especificada en la sección de metodología del documento actual.

La información más relevante en el contexto de este análisis incluye el valor real de cada observación, el valor teórico (o especificación nominal), y los límites de tolerancia (rango de error).

La información anterior se utilizó para determinar la cantidad de defectos en la muestra con relación al tamaño total del conjunto de datos, así como para identificar de manera sistemática aquellas observaciones que cumplen, y aquellas que no cumplen con alguna de las especificaciones.

Para que una observación se considere bajo cumplimiento, su valor real debe permanecer dentro de los límites de tolerancia establecidos, los cuales pueden ser de $\pm 5\%$ o $\pm 10\%$ respecto al valor nominal, según el caso.

Así pues, para determinar el nivel Sigma, primero se prepararon los datos y se establecieron fórmulas condicionales para segmentar la información de forma adecuada. El procedimiento paso a paso para llevar a cabo este proceso se describe a continuación:

Paso 1: Identificar los incumplimientos presentes para cada especificación

En una columna nueva de Excel, se utilizó la función “SI.CONJUNTO ()” para identificar las observaciones que se encuentran dentro y fuera de las especificaciones. Para ello, se emplearon las siguientes pruebas lógicas con sus respectivos valores de salida:

“ARRIBA DEL OBJETIVO” para aquellas observaciones cuyo valor real sea mayor que el rango superior,

“DEBAJO DEL OBJETIVO” para aquellas observaciones cuyo valor real sea menor que el rango inferior.

“EN OBJETIVO”, para aquellas observaciones que se encuentren dentro del rango de tolerancia.

Paso 2: Conteo de defectos por especificación

Luego de clasificar la información, se contó el número de defectos por cada especificación. Para ello, se utilizó la función “CONTAR.SI (Rango, Criterio)”. El rango de la función en este caso corresponde a la columna “No. Ref”, en la cual se estableció la codificación binaria que identifica las observaciones dentro y fuera de las especificaciones. El criterio condicional definido fue el valor “1”, y sirvió para contabilizar el número de celdas que corresponden a la existencia de defectos en las observaciones registradas, según lo establecido en el paso 1.

Figura A4. Conteo de defectos por cada especificación

Criterio	Defectos	% defectos	
Denier	=CONTAR.SI(AM2:AM13931,1)		
Ancho	CONTAR.SI(rango, criterio)	3849	43%
Elongación		369	4%
Tenacidad		1734	19%

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Paso 3: Definir el número de defectos, unidades y oportunidades de la muestra

Se definieron 3 variables para determinar los DPO, DPMO y DPU. Estas variables se listan a continuación:

- D = Defectos totales en la muestra
- U = Unidades totales en la muestra
- = Oportunidades de evaluación

Los **defectos totales** en la muestra se consiguen sumando los totales de los defectos encontrados para cada especificación, de la siguiente manera:

$$*DEFECTOS\ TOTALES = DEFECTOS\ (DENIER) + DEFECTOS\ (ANCHO) + DEFECTOS\ (ELONGACIÓN) + DEFECTOS\ (TENACIDAD)$$

Las **unidades totales** se determinan a partir de la función “CONTAR ()”, definiendo como rango todas las celdas con observaciones registradas en las columnas de datos.

Ejemplo:

En la muestra “Denier 640” correspondiente al mes de julio, se tienen registradas 13,695 observaciones de manera vertical. El rango de aplicación para la

formula mencionada en este caso sería la siguiente: “CONTAR(A2:A13696)”. (La columna A alberga los valores reales de cada observación).

Las **oportunidades** se definieron como cada una de las especificaciones que se tomaron en cuenta para evaluar la calidad, ya que cada una tiene la capacidad de presentar errores de incumplimiento. En este caso se tienen 4 oportunidades: denier, ancho, elongación y tenacidad.

Paso 4: Calcular los DPMO, DPO y DPU

Se determinaron los DPU (defectos por unidad) a partir de la fórmula establecida en el marco teórico.

Se determinaron los DPO (defectos por oportunidad) a partir de la fórmula establecida en el marco teórico.

Se determinaron los DPMO (defectos por millón de oportunidad) a partir de la fórmula establecida en el marco teórico.

Paso 5: Calcular la proporción Yield

Se calculó la proporción Yield a partir de los DPO calculados, por medio de la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Yield} = (1 - \text{DPO}) * 100\%$$

Paso 6: Calcular el nivel Sigma

Existen diferentes métodos para obtener el nivel Sigma de un proceso. Sin embargo, en la práctica de la presente investigación, se realizó de la siguiente manera:

Se utilizó la fórmula de Excel “DISTR.NORM.ESTAND.INV(probabilidad)”. En este caso, el criterio de entrada para dicha fórmula es la proporción Yield obtenida en el paso anterior. Al resultado (o valor de salida) de esta fórmula se le sumó el coeficiente 1.5 para obtener finalmente el nivel Sigma (Figura A5).

Figura A5. Procedimiento en Microsoft Excel para calcular el nivel Sigma

DPO	0.163490325
YIELD	=(DISTR.NORM.ESTAND.INV(BA13))+1.5
Nivel Sigma	DISTR.NORM.ESTAND.INV(probabilidad)
DPU	0.0535015

Fuente: Elaboración propia, 2023.

En términos prácticos, la fórmula utiliza la distribución normal estándar inversa para calcular el “valor z” correspondiente a la proporción Yield calculada en el paso anterior. Dicho “valor z” indica cuantas desviaciones estándar están por encima o por debajo de la media en una distribución estándar, indicando que tan lejos está la proporción Yield de la media.

El valor 1.5 que se suma al resultado de la fórmula anterior, es una constante que sirve como un ajuste de desplazamiento utilizado por la metodología propia (definida en el marco teórico), cuya implementación se debe al tipo de muestra, que, en este caso, comprende un conjunto de datos a corto plazo, ya que los datos se registraron de manera mensual (*en el marco teórico se detallan los conjuntos de datos a corto plazo y largo plazo*).

La Figura A6 ilustra el proceso real que se llevó a cabo para llegar al resultado de la proporción Yield y Nivel Sigma:

Figura A6. Resumen de los cálculos y procedimientos para determinar el nivel Sigma

Oportunidades			
Denier			D = Defectos 8956
Ancho			U = Unidades 13695
Elongación			O = Oportunidades 4
Tenacidad			
			DPMO 163490.3249 --> proceso actual
			DPU 0.6539613
			DPO 0.163490325
criterio	Defectos	% defectos	YIELD 84%
Denier	3004	34%	Nivel Sigma 2.48
Ancho	3849	43%	
Elongación	369	4%	
Tenacidad	1734	19%	

Fuente: Elaboración propia, 2023.

(El ejemplo ilustrativo corresponde al análisis de junio 2022)

12.2 Procedimiento para calcular el índice Cpk

Paso 1: Establecer los parámetros necesarios

En una hoja nueva de Excel, se definieron los siguientes parámetros:

- Especificación nominal
- Límite de especificación Superior (LES)
- Límite de especificación Inferior (LEI)
- Tolerancia

Figura A7. Parámetros que deben definirse para el análisis Cpk

	B	C	D	E	F	G
Especificaciones nominales		640				Total de obs
Límite de especificación superior (LES)		672				
Límite de especificación inferior (LEI)		608				
Tolerancia		64				DES
Índice de la capacidad del proceso	Cp	0.325				
Índice unilateral inferior	C _{pl}	0.425				
Índice unilateral superior	C _{pu}	0.226				
	C _{pk}	0.226				DES

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Paso 2: Calcular la media y la desviación estándar de la muestra

Se calculó la media y la desviación estándar de la muestra por medio de las funciones “PROMEDIO ()” y “DESVEST.M ()”.

Paso 3: Calcular los índices Cp, Cpu, Cpl y Cpk

Se utilizaron los cálculos previos para calcular el índice de la capacidad del proceso, el índice unilateral inferior, el índice unilateral superior y el índice Cpk. Las fórmulas que corresponden a cada índice se detallan en la sección del marco teórico.

Figura A8. Procedimiento para calcular índices Cp, Cpu, Cpl y Cpk

	B	C	D	E	F	G	H	I
Especificaciones nominales		640				Total de observaciones	4441.000	
Límite de especificación superior (LES)		672				MAX	907.000	
Límite de especificación inferior (LEI)		608				MIN	447.000	
Tolerancia		64				MEDIA	649.740	
						DESV. ESTÁND.	32.7714	
Índice de la capacidad del proceso	Cp	0.325						
Índice unilateral inferior	C _{pl}	0.425						
Índice unilateral superior	C _{pu}	0.226						
	C _{pk}	0.226						
						MEDIA μ	649.740	
						DESV. ESTÁNDAR σ	32.7714	

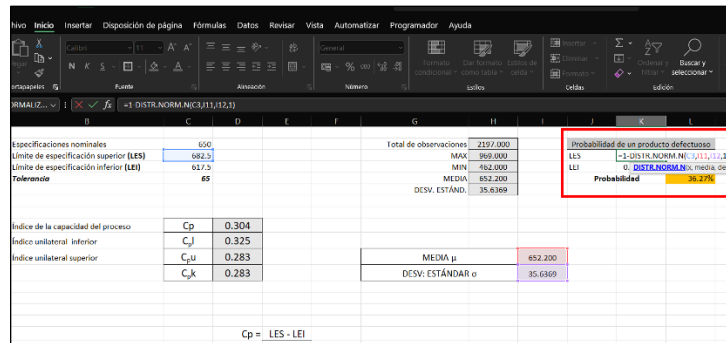
Fuente: Elaboración propia, 2023.

Paso 4: Calcular la probabilidad de incumplimiento

Se calculó la probabilidad de incumplimiento a partir de los límites superior e inferior. Para ello, se calculó la probabilidad de que una observación se encuentre por

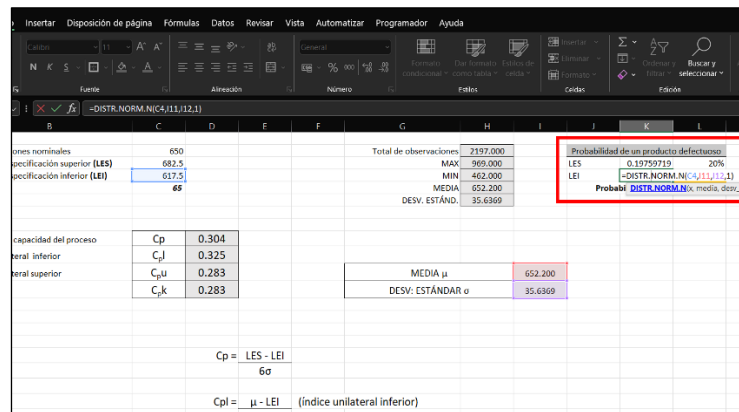
encima del límite superior, y la probabilidad de que una observación se encuentre por debajo el límite inferior. Este procedimiento se detalla en la Figura A9 y la Figura A10.

Figura A9. Procedimiento para calcular la probabilidad de incumplimiento sobre LES



Fuente: Elaboración propia, 2023.

Figura A10. Procedimiento para calcular la probabilidad de incumplimiento bajo LEI



Fuente: Elaboración propia, 2023.

12.3 Procedimiento para la elaboración de gráficos de control

Para elaborar los gráficos de control, fue necesario clasificar la información relevante y ordenarla en una hoja nueva.

En la nueva hoja, se establecieron 8 columnas de información:

- Denier
- Fecha
- Semana (opcional)

- Denier (Teórico)
- Límite inferior de la especificación
- Límite Superior de la especificación
- Cumplimiento (para identificar las variables que cumplen o no)
- No. Ref (números de referencia que siguen una codificación según el cumplimiento de la observación. Estas referencias se utilizan para efectuar los cálculos en Microsoft Excel).

En la Figura A11 se ejemplifica ilustrativamente la forma establecida para la hoja de cálculo:

Figura A11. Disposición de datos para el análisis de variabilidad (Gráficos de control)

DENIER (g)	FECHA	SEMANA	(-) 5%	DENIER	(+) 5%	Cumplimiento	No. Ref
620	1/06/2022	22	608	640	672	EN OBJETIVO	0
580	1/06/2022	22	608	640	672	DEBAJO DEL OBJETIVO	1
575	1/06/2022	22	608	640	672	DEBAJO DEL OBJETIVO	1
608	1/06/2022	22	608	640	672	EN OBJETIVO	0
645	1/06/2022	22	608	640	672	EN OBJETIVO	0
655	1/06/2022	22	608	640	672	EN OBJETIVO	0
676	1/06/2022	22	608	640	672	ARRIBA DEL OBJETIVO	1
632	1/06/2022	22	608	640	672	EN OBJETIVO	0
636	1/06/2022	22	608	640	672	EN OBJETIVO	0
604	1/06/2022	22	608	640	672	DEBAJO DEL OBJETIVO	1
637	1/06/2022	22	608	640	672	EN OBJETIVO	0
620	1/06/2022	22	608	640	672	EN OBJETIVO	0
631	1/06/2022	22	608	640	672	EN OBJETIVO	0
658	1/06/2022	22	608	640	672	EN OBJETIVO	0
665	1/06/2022	22	608	640	672	EN OBJETIVO	0
668	1/06/2022	22	608	640	672	EN OBJETIVO	0
664	1/06/2022	22	608	640	672	EN OBJETIVO	0
626	1/06/2022	22	608	640	672	EN OBJETIVO	0
663	1/06/2022	22	608	640	672	EN OBJETIVO	0
642	1/06/2022	22	608	640	672	EN OBJETIVO	0
655	1/06/2022	22	608	640	672	EN OBJETIVO	0
626	1/06/2022	22	608	640	672	EN OBJETIVO	0
638	1/06/2022	22	608	640	672	EN OBJETIVO	0
664	1/06/2022	22	608	640	672	EN OBJETIVO	0
669	1/06/2022	22	608	640	672	EN OBJETIVO	0
646	1/06/2022	22	608	640	672	EN OBJETIVO	0
673	1/06/2022	22	608	640	672	ARRIBA DEL OBJETIVO	1

Fuente: Elaboración propia, 2023.

- La columna “denier” contiene los valores reales de las observaciones obtenidas.
- En la columna “Fecha” se registra el día exacto del mes en que se extruyó el hilo y se registró la observación.
- En la columna “Semana” se registra la semana del año en que se registró la observación.
- La columna “Denier” registra el valor teórico del denier estudiado (o especificación nominal).
- Las columnas ubicadas a los laterales del denier teórico establecen el límite superior e inferior de la especificación.
- Las columnas “Cumplimiento” y “No. Ref” sirven para identificar y contabilizar los datos dentro y fuera de las especificaciones.

Para la elaboración de los gráficos de control, fue necesario establecer límites de tolerancia inferior y superior (diferentes al rango de tolerancia de la muestra como tal), así como un límite central.

NOTA: El gráfico de control, al ser elaborado con base al promedio de errores de cada muestra, debía contar con límites de cumplimiento específicos. Es decir, no podían ser los mismos que se utilizaron para el rango de cumplimiento del denier (+5% y -5%).

Además, fue necesario contar el número de observaciones total que existen para cada fecha registrada, así como los errores presentes por cada fecha registrada. Esta información se organizó en una tabla de datos, que se utilizó posteriormente para elaborar los gráficos de control. El procedimiento paso a paso que se llevó a cabo para desarrollar dicha tabla y construir el gráfico se detalla a continuación:

Paso 1: Organizar la información y definir las fechas del análisis

En una nueva columna de Excel, se ingresaron las fechas registradas para cada muestra. El formato de las fechas tuvo que coincidir con el formato utilizado para poder contabilizar las observaciones y defectos. El procedimiento en cuestión se ilustra en la Figura A12

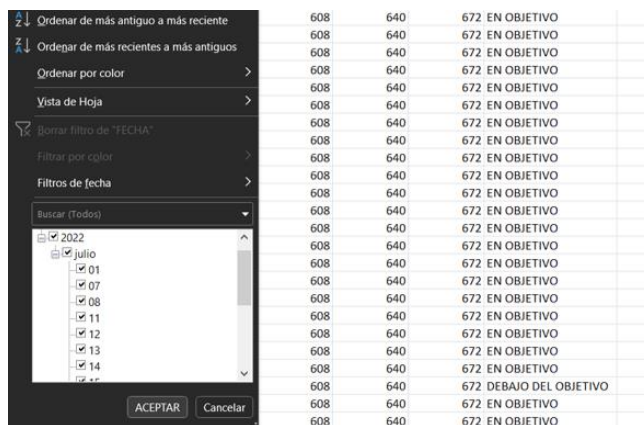
Figura A12. Procedimiento para definir las fechas del análisis

DENIER (FECHA	SEMANA	(-) 5%	DENIER	(+) 5%	cumplimiento	No. Ref	Fecha	Tamaño
651	1/07/2022	26	608	640	672	EN OBJETIVO	0	1/07/2022	
612	1/07/2022	26	608	640	672	EN OBJETIVO	0	7/07/2022	
609	1/07/2022	26	608	640	672	EN OBJETIVO	0	8/07/2022	
663	1/07/2022	26	608	640	672	EN OBJETIVO	0	11/07/2022	
627	1/07/2022	26	608	640	672	EN OBJETIVO	0	12/07/2022	
642	1/07/2022	26	608	640	672	EN OBJETIVO	0	13/07/2022	
639	1/07/2022	26	608	640	672	EN OBJETIVO	0	14/07/2022	
633	1/07/2022	26	608	640	672	EN OBJETIVO	0	15/07/2022	
651	1/07/2022	26	608	640	672	EN OBJETIVO	0	21/07/2022	
642	1/07/2022	26	608	640	672	EN OBJETIVO	0	22/07/2022	
669	1/07/2022	26	608	640	672	EN OBJETIVO	0	25/07/2022	
657	1/07/2022	26	608	640	672	EN OBJETIVO	0	26/07/2022	
666	1/07/2022	26	608	640	672	EN OBJETIVO	0	27/07/2022	
663	1/07/2022	26	608	640	672	EN OBJETIVO	0	28/07/2022	
648	1/07/2022	26	608	640	672	EN OBJETIVO	0	29/07/2022	
651	1/07/2022	26	608	640	672	EN OBJETIVO	0	30/07/2022	
657	1/07/2022	26	608	640	672	EN OBJETIVO	0	31/07/2022	
648	1/07/2022	26	608	640	672	EN OBJETIVO	0		
642	1/07/2022	26	608	640	672	EN OBJETIVO	0		
663	1/07/2022	26	608	640	672	EN OBJETIVO	0		
627	1/07/2022	26	608	640	672	EN OBJETIVO	0		
								Total	

Fuente: Elaboración propia, 2023.

IMPORTANTE: Los errores de digitación pueden producir problemas de reconocimiento al realizar el conteo, ya que al utilizar la función “CONTAR.SI ()”, solo se reconocen los criterios de las observaciones si son idénticos a como se definió en la función. Tuvo que verificarse que las observaciones tampoco tuvieran errores de escritura.

Figura A13. Filtrado de las fechas registradas durante el mes



Fuente: Elaboración propia, 2023.

Paso 2: Conteo de las observaciones

Para realizar el conteo de observaciones se utilizó la función “CONTAR.SI (rango, criterio)”, para lo cual tuvo que considerarse lo siguiente:

Rango = Rango que comprende todas las fechas de las observaciones registradas (Figura A14).

Figura A14. Explicación gráfica del procedimiento para establecer el rango

DENIER (g =	FECHA	SEMANA	(-) 5%	DENIER	(+) 5%	cumplimiento	No. Ref
651	1/07/2022	26	608	640	672	EN OBJETIVO	0
612	1/07/2022	26	608	640	672	EN OBJETIVO	0
609	1/07/2022	26	608	640	672	EN OBJETIVO	0
663	1/07/2022	26	608	640	672	EN OBJETIVO	0
627	1/07/2022	26	608	640	672	EN OBJETIVO	0
642	1/07/2022	26	608	640	672	EN OBJETIVO	0
639	1/07/2022	26	608	640	672	EN OBJETIVO	0
633	1/07/2022	26	608	640	672	EN OBJETIVO	0
651	1/07/2022	26	608	640	672	EN OBJETIVO	0
642	1/07/2022	26	608	640	672	EN OBJETIVO	0
669	1/07/2022	26	608	640	672	EN OBJETIVO	0
657	1/07/2022	26	608	640	672	EN OBJETIVO	0
666	1/07/2022	26	608	640	672	EN OBJETIVO	0
663	1/07/2022	26	608	640	672	EN OBJETIVO	0
648	1/07/2022	26	608	640	672	EN OBJETIVO	0
651	1/07/2022	26	608	640	672	EN OBJETIVO	0
657	1/07/2022	26	608	640	672	EN OBJETIVO	0
648	1/07/2022	26	608	640	672	EN OBJETIVO	0
642	1/07/2022	26	608	640	672	EN OBJETIVO	0
663	1/07/2022	26	608	640	672	EN OBJETIVO	0
627	1/07/2022	26	608	640	672	EN OBJETIVO	0
606	1/07/2022	26	608	640	672	DEBAJO DEL OBJETIVO	1
630	1/07/2022	26	608	640	672	EN OBJETIVO	0
645	1/07/2022	26	608	640	672	EN OBJETIVO	0
663	1/07/2022	26	608	640	672	EN OBJETIVO	0
627	1/07/2022	26	608	640	672	EN OBJETIVO	0

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Criterio = Contar todas las observaciones cuya fecha registrada coincida con la fecha de interés, como se ilustra en la Figura A15.

Figura A15. Procedimiento para contabilizar las observaciones por cada fecha

DENIER (g =	FECHA	SEMANA			
651	1/07/2022	26			
612	1/07/2022	26			
609	1/07/2022	26			
663	1/07/2022	26			
627	1/07/2022	26			
642	1/07/2022	26			
639	1/07/2022	26			
633	1/07/2022	26			
651	1/07/2022	26			
642	1/07/2022	26			
669	1/07/2022	26			
657	1/07/2022	26			
666	1/07/2022	26			
663	1/07/2022	26			
648	1/07/2022	26			
651	1/07/2022	26			
657	1/07/2022	26			
648	1/07/2022	26			
642	1/07/2022	26			
663	1/07/2022	26			
627	1/07/2022	26			

Fecha			
1/07/2022	=CONTAR.SI(\$B\$2:\$B\$3398,"="&K4)		
7/07/2022	CONTAR.SI(rango, criterio)	8	21%
8/ Eje Horizontal (Categoría)		16	12%
11/07/2022		345	27%
12/07/2022		243	29%
13/07/2022		246	24%
14/07/2022		309	38%
15/07/2022		242	27%
21/07/2022		78	65%
22/07/2022		354	38%
25/07/2022		181	44%
26/07/2022		225	38%
27/07/2022		90	58%
28/07/2022		131	29%
29/07/2022		140	35%
30/07/2022		162	40%
31/07/2022		163	40%
Total		3397	32%

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Paso 3: Realizar un conteo de los incumplimientos en la muestra (según cada fecha)

Luego de contabilizar las observaciones, se realizó un conteo de los incumplimientos presentes en las diferentes fechas registradas. Esto se realizó por medio

de la función “SUMAR.SI (rango, criterio, [rango de suma])”, para la cual se establecieron los siguientes criterios:

Rango = Rango de las fechas registradas para cada observación.

Criterio = La fecha registrada debe coincidir con la fecha establecida de suma.

Rango de suma = Columna “No. Ref” que contiene los datos a sumar.

Con estos criterios, se le está indicando a la función que se requiere sumar todas las celdas en la columna de referencia, si y solo si, las celdas a sumar corresponden a una observación cuya fecha registrada coincide con la fecha establecida para la suma.

Este método de conteo permite ahorrar tiempo y trabajo cuando se requiere contabilizar observaciones, incumplimientos o cualquier otro dato que necesite ser clasificado y filtrado en varias categorías.

El procedimiento completo se ilustra en la Figura A16.

Figura A16. Procedimiento para contabilizar los incumplimientos por cada fecha

No.	Fecha	Tamaño	ERRORES	% errores	Promedio	LC
1	2/06/2022	178	53	30%	0.26126536	0.362
2	3/06/2022	179	53	30%	0.26126536	0.362
3	9/06/2022	217	60	28%	0.26126536	0.362
4	10/06/2022	244	60	25%	0.26126536	0.362
5	15/06/2022	161	24	15%	0.26126536	0.362
6	16/06/2022	33	9	27%	0.26126536	0.362
7	20/06/2022	224	51	23%	0.26126536	0.362
8	21/06/2022	90	22	24%	0.26126536	0.362
9	24/06/2022	225	67	30%	0.26126536	0.362
10	27/06/2022	180	42	23%	0.26126536	0.362
11	28/06/2022	225	38	17%	0.26126536	0.362
12	29/06/2022	45	5	11%	0.26126536	0.362
13	30/06/2022	196	103	53%	0.26126536	0.362
Total		2197	574	26%		
Proporción de error				Promedio		
Dev. Estándar		0.03379417		169		
LCS		0.36264787				
LCI		0.15988285				
Dénier 650 - Junio						

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Paso 4: Porcentaje de incumplimiento

Para determinar el porcentaje de incumplimiento de cada fecha registrada, se utilizó la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de incumplimiento} = (\text{No. Incumplimientos} / \text{No. Observaciones}) * 100\%$$

Paso 5: Sumar el total de observaciones e incumplimientos

Luego de llevar a cabo los pasos anteriores, se sumó la cantidad total de observaciones e incumplimientos en la muestra, como se observa en la Figura A17.

La desviación se calculó a partir del límite central y el promedio de observaciones obtenido en la Figura A18. El procedimiento se ilustra en la Figura A19.

Figura A19. Procedimiento para calcular la desviación estándar

29/06/2022	43	5	11%	0.20
30/06/2022	196	103	53%	0.26
Total	2197	574	26%	
Proporción de error	0.26126536		Promedio	
Desv. Estándar	=RAIZ((L18*(1-L18))/N19)		169	
LCS	RAIZ(número)			
LCI	0.15988285			

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Luego, se calcularon los límites de tolerancia por medio de la siguiente fórmula

Límite Superior = Límite central = + (3 * (Desv. Estándar))

Límite Inferior = Límite central = - (3 * (Desv. Estándar))

El procedimiento se ilustra en la Figura A20.

Figura A20. Procedimiento para calcular los límites inferior y superior

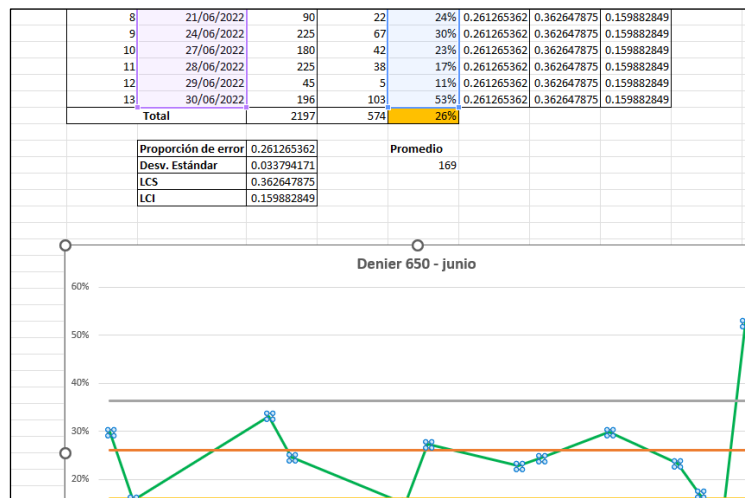
Proporción de error	0.26126536
Desv. Estándar	0.03379417
LCS	=L18+(3*L19)
LCI	0.15988285

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Paso 8: Graficar

Luego de haber llevado a cabo todos los cálculos correspondientes, se construyeron los gráficos de control con la información pertinente (% de cumplimiento, límites de tolerancia y fecha), como se ilustra en la Figura A21.

Figura A21. Procedimiento para elaborar el gráfico de control



Fuente: Elaboración propia, 2023.

12.4 Procedimiento para desarrollar los sistemas de control de cumplimiento

Se llevaron a cabo sistemas de control para determinar la capacidad y el cumplimiento del proceso según el análisis del denier. Esta herramienta busca determinar si el proceso se encuentra bajo control basándose en la proporción de defectos encontrados.

A continuación, se explica detalladamente el proceso que se llevó a cabo para desarrollar los sistemas de control:

Paso 1: Establecer parámetros

Para desarrollar los sistemas de control fue necesario definir los siguientes parámetros:

Tolerancia: Este parámetro indica el nivel de tolerancia permitido. Si las observaciones se encuentran fuera de los límites de tolerancia, se consideran como incumplimientos.

Máximo defectivo: Este parámetro establece la proporción máxima de error permitida por cada lote. Independientemente del tamaño del lote, este valor sirve como referencia para determinar el nivel de cumplimiento de la muestra. Es decir, pueden extrapolarse los resultados de la muestra al lote, aunque estos no tengan el mismo tamaño, ya que las observaciones recogidas son suficientemente representativas y presentan aleatoriedad.

En este caso, se utilizará un máximo defectivo del 25% para el análisis de todos los hilos, ya que este estándar se maneja para todo el proceso de empaques industriales, independientemente del tipo de hilo que se produzca.

Especificación: Es la especificación nominal (o valor real) para el tipo de hilo que se está analizando.

En la Figura A22 se ilustra la configuración de parámetros utilizada para el análisis del denier 650, en junio.

Figura A22. Configuración de parámetros para desarrollar sistemas de control

media	652.2002731		
Tolerancia +/-	0.05		
Máximo Defectivo	25%		
Especificación	650		
Segmentación	Dist. Normal		
	462	7.30257E-09	
	472	3.13907E-08	
	482	1.24718E-07	

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Paso 2: Calcular la media de la muestra

El procedimiento para calcular la media de la muestra se ilustra en la Figura A23.

Figura A23. Procedimiento para calcular la media

media	=PROMEDIO('C-640'!A2:A2198)		
Tolerancia +/-	0.05		
Máximo Defectivo	25%		
Especificación	650		
Segmentación	Dist. Normal		
	462	7.30257E-09	
	472	3.13907E-08	

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Paso 3: Estadísticas descriptivas del proceso

Luego de definir los parámetros y determinar la media, se calcularon estadísticas descriptivas del proceso (Figura A24). Dichas medidas se calcularon por medio de las siguientes funciones de Microsoft Excel:

- “MAX ()”
- “MIN ()”
- “MEDIANA ()”
- “MODA ()”
- “DESVEST.M ()”

Figura A24. Medidas estadísticas de la muestra

TOTAL DE MUESTRAS	2197
MAX	969.000
MEDIANA	651.000
MIN	462.000
MODA	660.000
DESVIACION EST.	35.637
ESPECIFICACION MINIMA	617.500
ESPECIFICACION MAXIMA	682.500
DEFECTOS	574
%DEFECTOS	26.13%

Fuente: Elaboración propia, 2023.

De igual manera, se establecieron las especificaciones mínima y máxima, o bien, el rango de tolerancia definido para la evaluación del cumplimiento. Estos límites se establecieron de la siguiente manera:

Límite de especificación superior = Especificación nominal * 0.95

Límite de especificación inferior = Especificación nominal * 1.05

Paso 4: Incumplimientos en la muestra

% DEFECTOS: Este valor puede copiarse directamente desde el paso 5 del **Anexo 12.3**, ya que ambos análisis trabajan con la misma muestra.

% DEFECTOS:

$$\% \text{ defectos} = \text{No. Defectos} / \text{Total de observaciones}$$

Luego de calcular el porcentaje de defectos, puede compararse este valor con el porcentaje de tolerancia y determinar si el proceso se encuentra o no bajo control para determinados tipos de hilo.

Luego de determinar el cumplimiento del proceso se llevó a cabo un análisis gráfico por medio de una distribución normal segmentada. Este procedimiento se detalla a partir del paso 5 del presente anexo.

Paso 5: Desviaciones estándar (análisis gráfico)

Para calcular el valor de la media con cada desviación estándar, se llevó a cabo el siguiente procedimiento:

Por arriba de la media:

- 1 Desv. Estándar = Media + Desv. Estándar
- 2 Desv. Estándar = Media + (Desv. Estándar * 2)
- 3 Desv. Estándar = Media + (Desv. Estándar * 3)

Por debajo de la media:

- 1 Desv. Estándar = Media - Desv. Estándar
- 2 Desv. Estándar = Media - (Desv. Estándar * 2)
- 3 Desv. Estándar = Media - (Desv. Estándar * 3)

Figura A25. Desplazamiento de la media a 3 desviaciones estándar por cada extremo

	Por Arriba	Por Debajo
1 DESV ESTÁNDAR	616.563	687.837
2 DESV. ESTÁNDAR	580.927	723.474
3 DESV. ESTÁNDAR	545.290	759.111

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Paso 6: Segmentación y distribución normal

Posteriormente, se llevó a cabo una segmentación de datos, la cual fue la base para desarrollar la distribución normal. La segmentación comienza desde el valor mínimo calculado en la muestra y termina con el valor máximo, con el objetivo de incluir en la distribución hasta los valores más extremos en la muestra.

La amplitud establecida corresponde a 10 valores de desplazamiento para la mayoría de los casos. No obstante, en algunos casos, la amplitud puede ser de 15 o 20 desplazamientos, dependiendo de que tan dispersos estén los datos sobre la distribución.

Paso 7: Distribución normal

Se utilizó la función “DISTR.NORM.N ()” para encontrar el valor que corresponde a una proporción de datos específica dentro de la segmentación realizada, tomando en

cuenta la media y la desviación de la muestra. En la Figura A26 se ilustra este procedimiento.

Figura A26. Procedimiento para obtener la distribución normal de diferentes valores

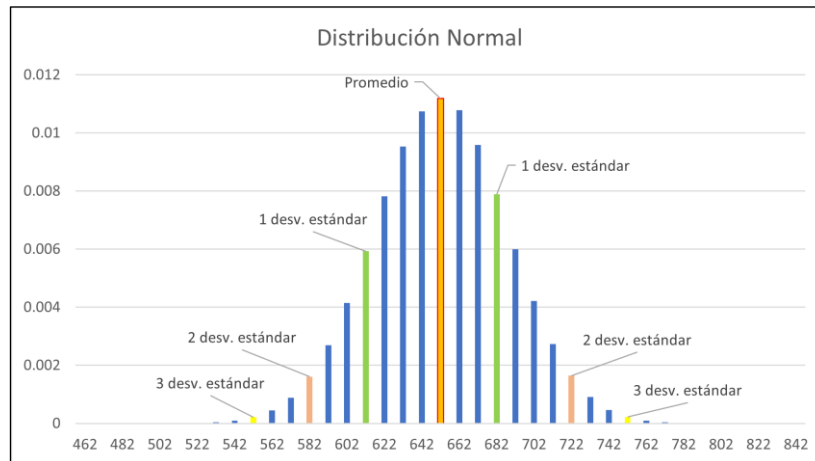
media	652.2002731		
Tolerancia +/-	0.05	TOTAL DE MUESTRAS	2197
Máximo Defectivo	25%	MAX	969.000
Especificación	650	MEDIANA	651.000
		MIN	462.000
		MODA	660.000
		DESVIACION EST.	35.637
		ESPECIFICACION MINIMA	617.500
		ESPECIFICACION MAXIMA	682.500
		DEFECTOS	574
		%DEFECTOS	26.13%
Segmentación	Dist. Normal		
462	7.30257E-09		
472	3.13907E-08		
482	1.24718E-07		
492	=DISTR.NORM.N(C16,\$D\$6,\$J\$13,0)		
502	DISTR.NORM.N(x, media, desv. estándar, acumulado)		

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Paso 8: Gráfico de normalidad

Elaborar el gráfico normal e identificar la posición de los puntos de corte con las 3 desviaciones estándar, por arriba y por debajo de la media central (Figura A27).

Figura A27. Gráfico normal con 3 desviaciones estándar a cada lado de la media



Fuente: Elaboración propia, 2023.

12.5 Procedimiento para llevar a cabo el análisis ANOVA

Paso 1: Ordenar la información

En una nueva hoja de Excel, se definieron 4 columnas principales. En la primera columna se trasladaron los datos del denier medido en cada observación, y en las otras columnas se trasladaron los datos que corresponden a las 3 variables principales para el análisis, que son: tipo de extrusor, turno de trabajo y tipo de resina (Figura A28).

Figura A28. Información ordenada y clasificada para el análisis ANOVA

	A	B	C	D	E
1	DENIER (▼)	EXTRUSC ▼	TURNO ▼	RESINA ▼	
2	620	L1	A	SABIC (PP506P)	
3	580	L1	A	SABIC (PP506P)	
4	575	L1	A	SABIC (PP506P)	
5	608	L1	A	SABIC (PP506P)	
6	645	L1	A	SABIC (PP506P)	
7	655	L1	A	SABIC (PP506P)	
8	676	L1	A	SABIC (PP506P)	
9	632	L1	A	SABIC (PP506P)	
10	636	L1	A	SABIC (PP506P)	
11	604	L1	A	SABIC (PP506P)	
12	637	L1	A	SABIC (PP506P)	
13	620	L1	A	SABIC (PP506P)	
14	631	L1	A	SABIC (PP506P)	
15	658	L1	A	SABIC (PP506P)	
16	665	L1	A	SABIC (PP506P)	

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Paso 2: Plantear las hipótesis H_0 y H_a

Las hipótesis planteadas para el presente estudio se presentan en el apartado de “Resultados”.

Paso 3: Ordenar y preparar tablas de información para el análisis

Se construyeron 3 diferentes tablas para trasladar los datos de las variables factor escogidas para el análisis. Para cada tabla se definieron diferentes columnas, las cuales corresponden a cada categoría de los factores (Figura A29).

Figura A29. Observaciones clasificadas por categoría para cada factor

Tipo de Extrusor		Turno		Resina		
L1	L3	Turno A	Turno B	NATPET	SABIC 500	SABIC 506
620	779	620	636	718	708	620
580	582	580	660	666	668	580
575	620	575	651	654	701	575
608	650	608	652	639	672	608
645	668	645	652	613	705	645
655	690	655	650	628	740	655
676	655	676	650	654	744	676
632	670	632	622	676	732	632
636	631	636	666	655	740	636
604	646	604	668	627	714	604
637	652	637	646	625	677	637
620	662	620	649	632	669	620
631	664	631	685	649	641	631
658	640	658	679	624	655	658
665	686	665	645	660	632	665
668	668	668	680	664	617	668
664	686	664	638	674	637	664
626	700	626	632	694	664	626
663	640	663	660	657	667	663
642	630	642	653	682	615	642
655	649	655	648	653	591	655

Fuente: Elaboración propia, 2023.

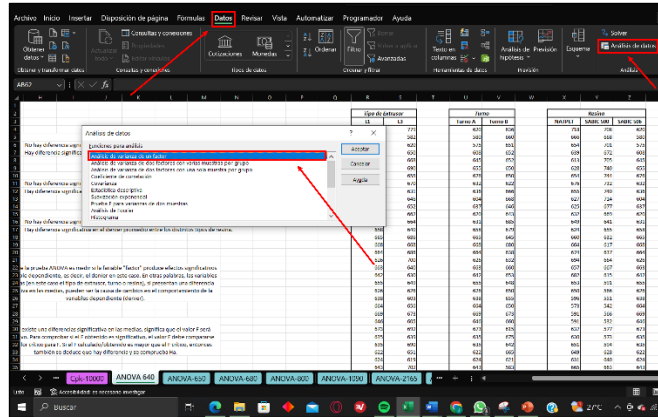
Cabe mencionar, que al igual que los otros análisis, el ANOVA debe llevarse a cabo para cada tipo de denier.

Paso 4: Realizar análisis ANOVA de un factor con Microsoft Excel

Para llevar a cabo el análisis ANOVA de un factor, se utilizó Microsoft Excel. Esto se hizo de la siguiente manera:

Pestaña de “Datos” > Panel de “Análisis” > Seleccionar la opción “Análisis de Datos” > Seleccionar la opción “Análisis de varianza de un factor”.
(Este procedimiento se ilustra en la Figura A30)

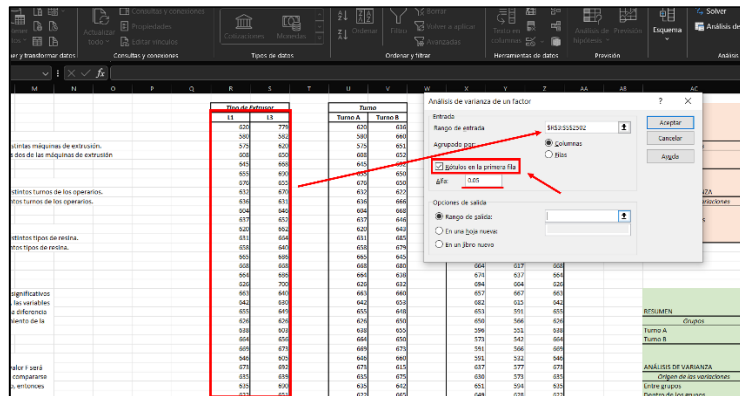
Figura A30. Procedimiento para realizar un análisis ANOVA en Microsoft Excel



Fuente: Elaboración propia, 2023.

Para ingresar los datos al análisis de varianza de Microsoft Excel, se definió el rango de entrada que corresponde al conjunto de datos analizado, luego se habilitó la rotulación en la primera fila y finalmente se estableció un nivel de significancia de 0.05 (Figura A31).

Figura A31. Procedimiento para definir los criterios y parámetros del análisis ANOVA



Fuente: Elaboración propia, 2023.

12.6 Procedimiento detallado para llevar a cabo el análisis de comparación de factores por incumplimiento

Paso 1: Ordenar y preparar tablas de información para el análisis

Se realizó el mismo procedimiento descrito en el paso 3 del **Anexo 12.5** para organizar la información por columnas. En este caso, se definieron 2 columnas adicionales que sirven para referenciar los incumplimientos (Figura A32).

Figura A32. Tabla de datos ordenada para el análisis de comparación

	A	B	C	D	E	F
1	DENIER	EXTRUSC	TURN	RESINA	% error Denier	No. Ref
2	620	L1	A	SABIC (PP506P)	EN OBJETIVO	0
3	580	L1	A	SABIC (PP506P)	DEBAJO DEL OBJETIVO	1
4	575	L1	A	SABIC (PP506P)	DEBAJO DEL OBJETIVO	1
5	608	L1	A	SABIC (PP506P)	EN OBJETIVO	0
6	645	L1	A	SABIC (PP506P)	EN OBJETIVO	0
7	655	L1	A	SABIC (PP506P)	EN OBJETIVO	0
8	676	L1	A	SABIC (PP506P)	ARRIBA DEL OBJETIVO	1
9	632	L1	A	SABIC (PP506P)	EN OBJETIVO	0
10	636	L1	A	SABIC (PP506P)	EN OBJETIVO	0
11	604	L1	A	SABIC (PP506P)	DEBAJO DEL OBJETIVO	1
12	637	L1	A	SABIC (PP506P)	EN OBJETIVO	0
13	620	L1	A	SABIC (PP506P)	EN OBJETIVO	0
14	631	L1	A	SABIC (PP506P)	EN OBJETIVO	0
15	658	L1	A	SABIC (PP506P)	EN OBJETIVO	0
16	665	L1	A	SABIC (PP506P)	EN OBJETIVO	0
17	668	L1	A	SABIC (PP506P)	EN OBJETIVO	0
18	664	L1	A	SABIC (PP506P)	EN OBJETIVO	0
19	626	L1	A	SABIC (PP506P)	EN OBJETIVO	0
20	663	L1	A	SABIC (PP506P)	EN OBJETIVO	0
21	642	L1	A	SABIC (PP506P)	EN OBJETIVO	0
22	655	L1	A	SABIC (PP506P)	EN OBJETIVO	0

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Paso 2: Elaborar la tabla de incumplimientos

En un nuevo conjunto de celdas, se diseñó una tabla para describir los incumplimientos de cada factor, según sus diferentes categorías. Esta tabla indica cuantos incumplimientos hay en la muestra, y también indica cuantos de ellos se encuentran por arriba o por debajo del rango establecido. Los elementos y el formato utilizados para la tabla en cuestión se ilustran en la Figura A33.

Figura A33. Formato de tabla comparativa de factores

Variables fuera de especificaciones							
Variable	Categoría	Total observaciones	Frecuencia	Arriba de rango	% Arriba de Rango	Debajo de Rango	% Debajo de Rango
Extrusor	L1						
	L3						
Turno	A						
	B						
Extrusor	NATPET						
	SABIC (PP500P)						
	SABIC (PP506P)						

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Para contar la cantidad de observaciones, frecuencia de errores, observaciones arriba del rango y observaciones debajo del rango, se utilizaron funciones condicionales de Microsoft Excel, aplicándolas de la misma forma que en pasos anteriores.

Las Figuras A34, A35, A36 y A37 ilustran el procedimiento detallado para completar esta tabla de comparación por factores.

Figura A34. Conteo del número de observaciones por categoría

Variable	Categoría	Total observaciones
Extrusor	L1	1075
	L2	0
	L3	0
Turno	A	1329
	B	868
Extrusor	NATPET	179
	SABIC (PP506P)	809
	SABIC (PP506P)	1308

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Figura A35. Conteo de la frecuencia de incumplimiento por categoría

Variable	Categoría	Total observaciones	Frecuencia	Arriba de rango
Extrusor	L1	1075	258	365
	L2	0	0	0
	L3	0	0	0
Turno	A	1329	356	220
	B	868	218	103
Extrusor	NATPET	179	28	12
	SABIC (PP506P)	809	184	115
	SABIC (PP506P)	1209	362	195

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Figura A36. Conteo de observaciones arriba del rango

Variable	Categoría	Total observaciones	Frecuencia	% Arriba de Rango
Extrusor	L1	1075	258	64%
	L2	0	0	0%
	L3	0	0	0%
Turno	A	1329	356	69%
	B	868	218	47%
Extrusor	NATPET	179	28	43%
	SABIC (PP506P)	809	184	63%
	SABIC (PP506P)	1209	362	54%

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Figura A37. Conteo de observaciones debajo del rango

Variable	Categoría	Total observaciones	Frecuencia	Arriba de rango	% Arriba de Rango	Debajo de Rango	% Debajo
Extruso	LL	1075	296	188	66%	CONTRARSI CONTINUA	100%
	L3	545	115	62	54%	DEBajo DEL OBJETIVO	100%
Turno	A	1329	955	375	28%	CONTRARSI CONTINUA	100%
	B	668	218	103	47%	CONTRARSI CONTINUA	100%
Extrusos	MULTIPLE	278	29	12	4%	CONTRARSI CONTINUA	100%
	SABIC (PP5087)	668	188	125	66%	CONTRARSI CONTINUA	100%
	SABIC (PP5087)	1309	963	485	54%	CONTRARSI CONTINUA	100%

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Adicionalmente, para calcular las proporciones de incumplimiento se utilizaron las siguientes fórmulas:

$$\% \text{ observaciones arriba de rango} = \text{Observaciones arriba de rango} / \text{Frecuencia}$$

$$\% \text{ observaciones debajo de rango} = \text{Observaciones debajo de rango} / \text{Frecuencia}$$

$$\% \text{ errores Total} = \text{Frecuencia} / \text{Total de observaciones}$$

*Cabe mencionar que esta tabla comparativa se llevó a cabo únicamente para aquellos factores que demostraron tener diferencias significativas entre sus medias poblacionales. Este análisis se realizó de manera mensual y no consideró aquellos factores que no pudieron rechazar la hipótesis nula, ya que, al no demostrar efectos significativos sobre la variable dependiente, no tenía sentido realizar un análisis comparativo de incumplimientos para estos casos.

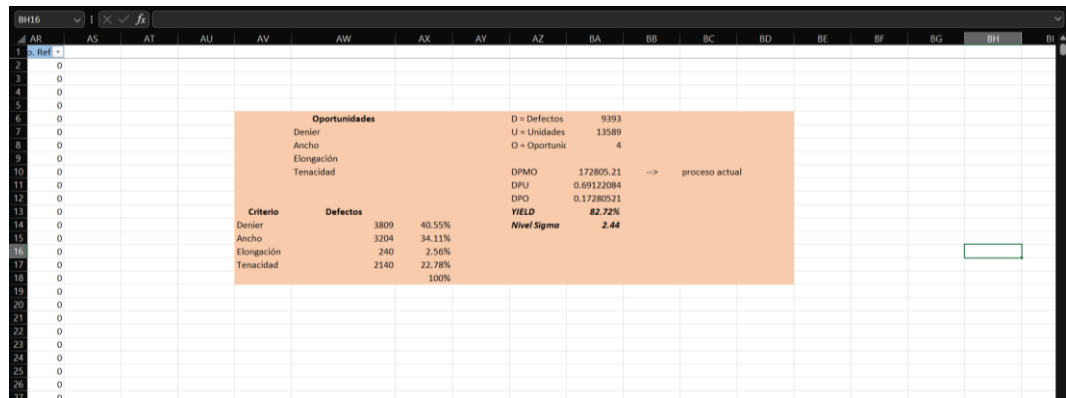
12.7 Información complementaria: Nivel Sigma y Relación Yield

Figura A38. Procedimiento en Excel para calcular el nivel Sigma - junio

	AV	AW	AX	AY	AZ	BA	BB	BC	BD
Oportunidades									
	Denier				D = Defectos	8956			
	Ancho				U = Unidades	13695			
	Elongación				O = Oportunidades	4			
	Tenacidad								
					DPMO	163490.3249	-->	proceso actual	
					DPU	0.6539613			
					DPD	0.163490325			
Criterio	Defectos		% defectos		YIELD	84%			
	Denier	3004	34%		Nivel Sigma	2.48			
	Ancho	3849	43%						
	Elongación	369	4%						
	Tenacidad	1734	19%						

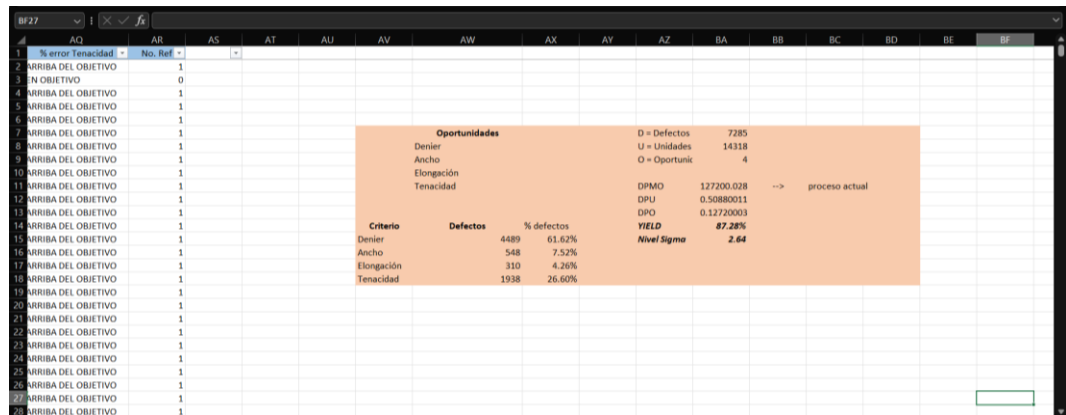
Fuente: Elaboración propia, 2023.

Figura A39. Procedimiento en Excel para calcular el nivel Sigma - julio



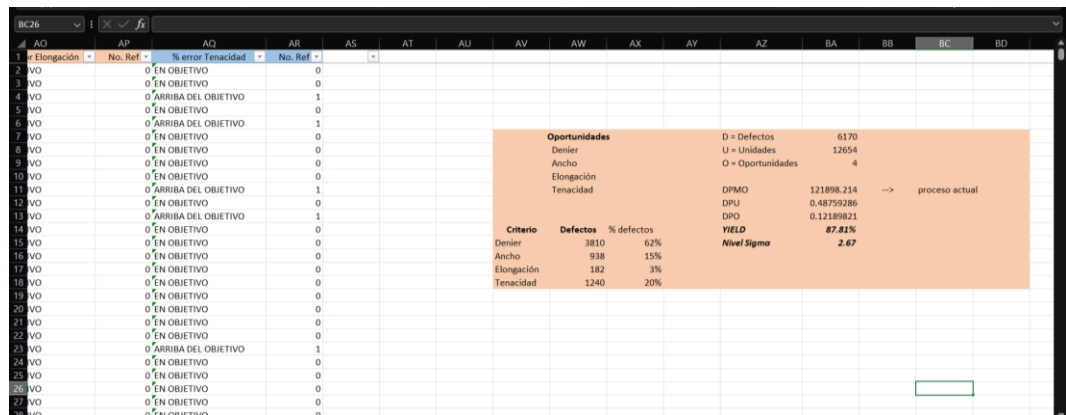
Fuente: Elaboración propia, 2023.

Figura A40. Procedimiento en Excel para calcular el nivel Sigma - agosto



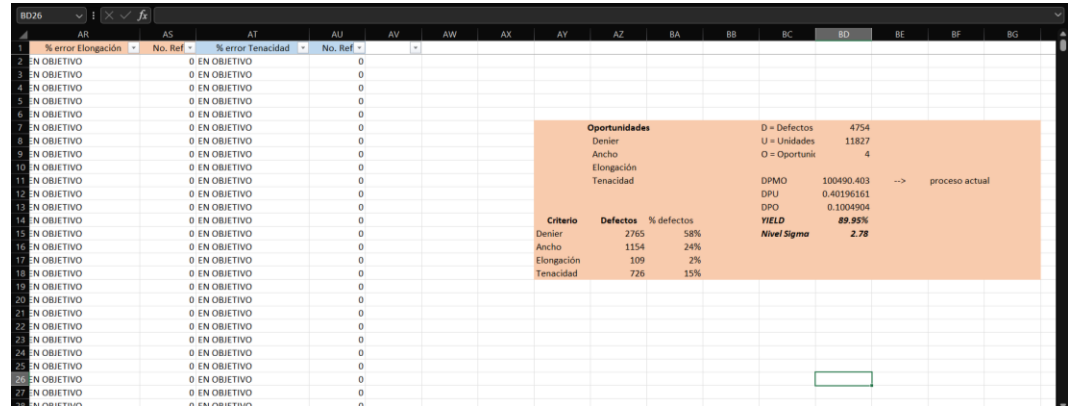
Fuente: Elaboración propia, 2023.

Figura A41. Procedimiento en Excel para calcular el nivel Sigma - septiembre



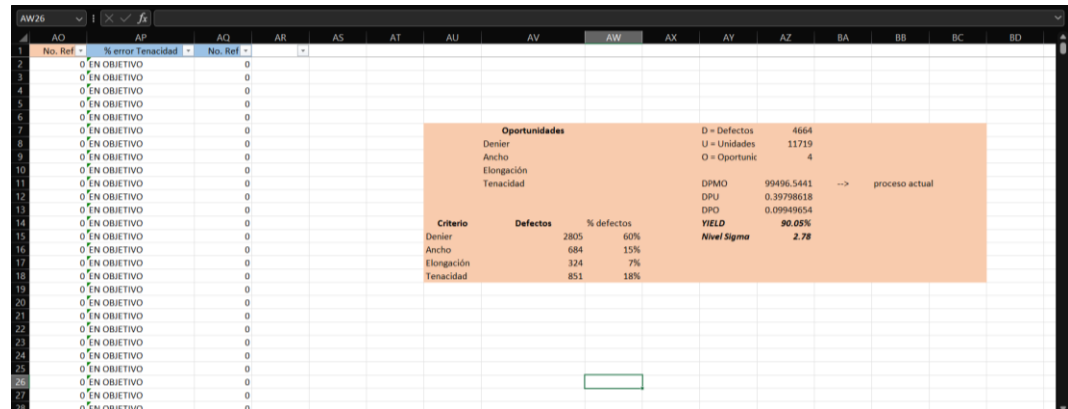
Fuente: Elaboración propia, 2023.

Figura A42. Procedimiento en Excel para calcular el nivel Sigma - octubre



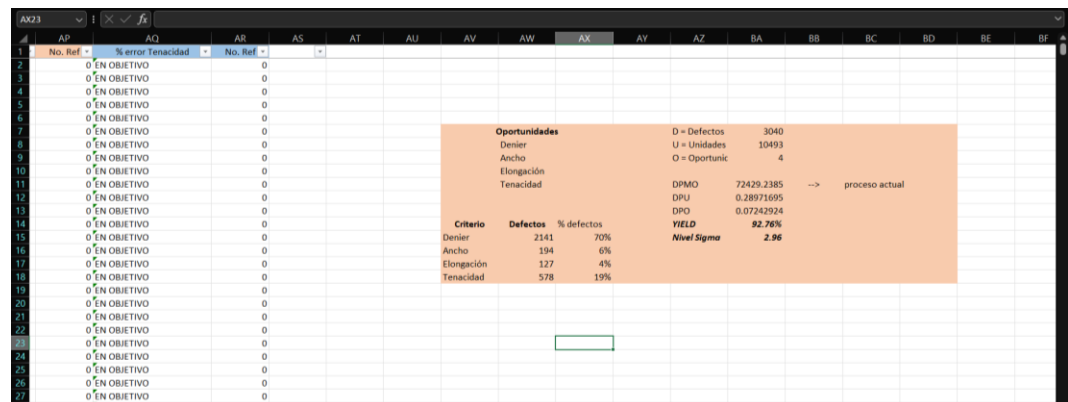
Fuente: Elaboración propia, 2023.

Figura A43. Procedimiento en Excel para calcular el nivel Sigma - noviembre



Fuente: Elaboración propia, 2023.

Figura A44. Procedimiento en Excel para calcular el nivel Sigma - diciembre



Fuente: Elaboración propia, 2023.

Figura A45. Procedimiento en Excel para calcular el nivel Sigma - enero

Oportunidades	D = Defectos	2891
Denier	U = Unidades	3096
Ancho	O = Oportunic	4
Elongación	DPMO	233446.382 --> proceso actual
Tenacidad	DPU	0.93378553
	DPO	0.23344638
	YIELD	76.66%
	Nivel Sigma	2.23

Criterio	Defectos	% defectos
Denier	540	19%
Ancho	611	21%
Elongación	1451	50%
Tenacidad	289	10%

Incumplimiento de elongación	arriba	233	16%
	debajo	1218	84%

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Figura A46. Procedimiento en Excel para calcular el nivel Sigma – febrero

Oportunidades	D = Defectos	2637
Denier	U = Unidades	3378
Ancho	O = Oportunic	4
Elongación	DPMO	195159.858 --> proceso actual
Tenacidad	DPU	0.78063943
	DPO	0.19515986
	YIELD	80.48%
	Nivel Sigma	2.36

Criterio	Defectos	% defectos
Denier	588	22%
Ancho	226	9%
Elongación	1313	50%
Tenacidad	510	19%
sin defectos		
media	819.8102427	
desv. Estand		

Incumplimiento de elongación	arriba	180	14%
	debajo	1133	86%

Fuente: Elaboración propia, 2023.

12.8 Información complementaria para el análisis del índice Cpk

Junio:

Figura A47. Cálculos para el análisis del índice Cpk – Denier 640 (junio)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1																	
2		Especificaciones nominales	640				Total de observaciones	4441.000		Probabilidad de incumplimiento							
3		Límite de especificación superior (LES)	672				MAX	907.000		LES	0.2484865	25%					
4		Límite de especificación inferior (LEI)	608				MIN	447.000		LEI	0.1013915	10%					
5		Tolerancia	64				MEDIA	649.740		Probabilidad		34.99%					
6							DESV. ESTÁND.	32.7714									
7																	
8																	
9		Índice de la capacidad del proceso	Cp	0.325													
10		Índice unilateral inferior	C _{pl}	0.425			MEDIA μ	649.740									
11		Índice unilateral superior	C _{pu}	0.226			DESV. ESTÁNDAR σ	32.7714									
12			C _{pk}	0.226													
13																	
14																	
15																	
16																	
17																	
18		Cpk negativo	Muy deficiente				$Cp = \frac{LES - LEI}{6\sigma}$										
19		Cpk < 1	No cumple														
20		Cpk > 1	Si cumple				$Cpl = \frac{\mu - LEI}{3\sigma}$ (índice unilateral inferior)										
21		Cpk > 2	Es mejor de lo que se esperaba				$Cpu = \frac{LES - \mu}{3\sigma}$ (índice unilateral superior)										
22																	
23																	
24							$Cpk = \min(Cpl, Cpu)$										

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Figura A48. Cálculos para el análisis del índice Cpk – Denier 650 (junio)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1																	
2		Especificaciones nominales	650				Total de observaciones	2197.000		Probabilidad de un producto defectuoso							
3		Límite de especificación superior (LES)	682.5				MAX	969.000		LES	0.19759719	20%					
4		Límite de especificación inferior (LEI)	617.5				MIN	462.000		LEI	0.16509828	17%					
5		Tolerancia	65				MEDIA	652.200		Probabilidad		36.27%					
6							DESV. ESTÁND.	35.6369									
7																	
8																	
9		Índice de la capacidad del proceso	Cp	0.304													
10		Índice unilateral inferior	C _{pl}	0.325			MEDIA μ	652.200									
11		Índice unilateral superior	C _{pu}	0.283			DESV. ESTÁNDAR σ	35.6369									
12			C _{pk}	0.283													
13																	
14																	
15																	
16																	
17																	
18		Cpk negativo	Muy deficiente				$Cp = \frac{LES - LEI}{6\sigma}$										
19		Cpk < 1	No cumple														
20		Cpk > 1	Si cumple				$Cpl = \frac{\mu - LEI}{3\sigma}$ (índice unilateral inferior)										
21		Cpk > 2	Es mejor de lo que se esperaba				$Cpu = \frac{LES - \mu}{3\sigma}$ (índice unilateral superior)										
22																	
23																	
24																	

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Figura A49. Cálculos para el análisis del índice Cpk – Denier 800 (junio)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1																
2		Especificaciones nominales	800			Total de observaciones		1132.000					Probabilidad de un producto defectuoso			
3		Limite de especificación superior (LES)	840					MAX	981.000				LES	0.14091296	14.09%	
4		Limite de especificación inferior (LEI)	760					MIN	559.000				LEI	0.16513842	16.51%	
5		Tolerancia	80					MEDIA	797.996				Probabilidad		30.61%	
6								DESV. ESTÁND.	39.0285							
7																
8																
9		Índice de la capacidad del proceso	Cp	0.342												
10		Índice unilateral inferior	C _{pl}	0.325												
11		Índice unilateral superior	C _{pu}	0.359				MEDIA μ	797.996							
12			C _{pk}	0.325				DESV: ESTÁNDAR σ	39.0285							
13																
14																
15																
16																
17																
18	Cpk negativo	Muy deficiente				Cp =	LES - LEI		6σ							
19	Cpk < 1	No cumple														
20	Cpk > 1	Si cumple				Cpl =	μ - LEI	(índice unilateral inferior)								
21	Cpk > 2	Es mejor de lo que se esperaba						3σ								
22																
23						Cpu =	LES - μ	(índice unilateral superior)								
24								3σ								

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Figura A50. Cálculos para el análisis del índice Cpk – Denier 1,090 (junio)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1																
2		Especificaciones nominales	1090			Total de observaciones		1871.000					Probabilidad de un producto defectuoso			
3		Limite de especificación superior (LES)	1144.5					MAX	1409.000				LES	0.14776077		
4		Limite de especificación inferior (LEI)	1035.5					MIN	829.000				LEI	0.1285096		
5		Tolerancia	109					MEDIA	1092.185				Probabilidad			
6								DESV. ESTÁND.	50.0103							
7																
8																
9		Índice de la capacidad del proceso	Cp	0.363												
10		Índice unilateral inferior	C _{pl}	0.378												
11		Índice unilateral superior	C _{pu}	0.349				MEDIA μ	1092.185							
12			C _{pk}	0.349				DESV: ESTÁNDAR σ	50.0103							
13																
14																
15																
16																
17																
18	Cpk negativo	Muy deficiente				Cp =	LES - LEI		6σ							
19	Cpk < 1	No cumple														
20	Cpk > 1	Si cumple				Cpl =	μ - LEI	(índice unilateral inferior)								
21	Cpk > 2	Es mejor de lo que se esperaba						3σ								
22																
23						Cpu =	LES - μ	(índice unilateral superior)								
24								3σ								

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Figura A51. Cálculos para el análisis del índice Cpk – Denier 2,165 (junio)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1																
2		Especificaciones nominales	2165			Total de observaciones		1467.000					Probabilidad de un producto defectuoso			
3		Limite de especificación superior (LES)	2273.25					MAX	2869.000				LES	0.2259254	22.59%	
4		Limite de especificación inferior (LEI)	2056.75					MIN	1569.000				LEI	0.12943749	12.94%	
5		Tolerancia	216.5					MEDIA	2186.676				Probabilidad		35.54%	
6								DESV. ESTÁND.	115.0747							
7																
8																
9		Índice de la capacidad del proceso	Cp	0.314												
10		Índice unilateral inferior	C _{pl}	0.376												
11		Índice unilateral superior	C _{pu}	0.251				MEDIA μ	2186.676							
12			C _{pk}	0.251				DESV: ESTÁNDAR σ	115.0747							
13																
14																
15																
16																
17																
18	Cpk negativo	Muy deficiente				Cp =	LES - LEI		6σ							
19	Cpk < 1	No cumple														
20	Cpk > 1	Si cumple				Cpl =	μ - LEI	(índice unilateral inferior)								
21	Cpk > 2	Es mejor de lo que se esperaba						3σ								
22																
23						Cpu =	LES - μ	(índice unilateral superior)								
24								3σ								

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Julio:

Figura A52. Cálculos para el análisis del índice Cpk – Denier 640 (julio)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1															
2		Especificaciones nominales	640			Total de observaciones		3397.000					Probabilidad de un producto defectuoso:		
3		Límite de especificación superior (LES)	672				MAX	924.000					LES	0.31305218	31.31%
4		Límite de especificación inferior (LEI)	608				MIN	450.000					LEI	0.18242421	18.24%
5		Tolerancia	64				MEDIA	649.621					Probabilidad	49.55%	
6							DESV. ESTÁND.	45.9314							
7															
8															
9		Índice de la capacidad del proceso	Cp	0.232											
10		Índice unilateral inferior	C _{pl}	0.302											
11		Índice unilateral superior	C _{pu}	0.162			MEDIA μ	649.621							
12			C _{pk}	0.162			DESV: ESTÁNDAR σ	45.9314							
13															
14															
15															
16															
17															
18	Cpk negativo	Muy deficiente				Cp =	LES - LEI	6σ							
19	Cpk < 1	No cumple													
20	Cpk > 1	Si cumple				Cpl =	μ - LEI	(índice unilateral inferior)							
21	Cpk > 2	Es mejor de lo que se esperaba						3σ							
22															
23						Cpu =	LES - μ	(índice unilateral superior)							
24								3σ							

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Figura A53. Cálculos para el análisis del índice Cpk – Denier 650 (julio)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1															
2		Especificaciones nominales	650			Total de observaciones		2478.000					Probabilidad de un producto defectuoso:		
3		Límite de especificación superior (LES)	682.5				MAX	919.000					LES	0.28330951	28.33%
4		Límite de especificación inferior (LEI)	617.5				MIN	540.000					LEI	0.12329185	12.33%
5		Tolerancia	65				MEDIA	660.991					Probabilidad	40.66%	
6							DESV. ESTÁND.	37.5348							
7															
8															
9		Índice de la capacidad del proceso	Cp	0.289											
10		Índice unilateral inferior	C _{pl}	0.386											
11		Índice unilateral superior	C _{pu}	0.191			MEDIA μ	660.991							
12			C _{pk}	0.191			DESV: ESTÁNDAR σ	37.5348							
13															
14															
15															
16															
17															
18	Cpk negativo	Muy deficiente				Cp =	LES - LEI	6σ							
19	Cpk < 1	No cumple													
20	Cpk > 1	Si cumple				Cpl =	μ - LEI	(índice unilateral inferior)							
21	Cpk > 2	Es mejor de lo que se esperaba						3σ							
22															
23						Cpu =	LES - μ	(índice unilateral superior)							
24								3σ							

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Figura A54. Cálculos para el análisis del índice Cpk – Denier 750 (julio)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1																
2		Especificaciones nominales	750			Total de observaciones		687.000					Probabilidad de un producto defectuoso:			
3		Límite de especificación superior (LES)	787.5				MAX	960.000					LES	0.2593263	25.93%	
4		Límite de especificación inferior (LEI)	712.5				MIN	532.000					LEI	0.2287855	22.88%	
5		Tolerancia	75				MEDIA	752.632					Probabilidad	48.81%		
6							DESV. ESTÁND.	54.0238								
7																
8																
9		Índice de la capacidad del proceso	Cp	0.231												
10		Índice unilateral inferior	C _{pl}	0.248												
11		Índice unilateral superior	C _{pu}	0.215			MEDIA μ	752.632								
12			C _{pk}	0.215			DESV: ESTÁNDAR σ	54.0238								
13																
14																
15																
16																
17																
18	Cpk negativo	Muy deficiente				Cp =	LES - LEI	6σ								
19	Cpk < 1	No cumple														
20	Cpk > 1	Si cumple				Cpl =	μ - LEI	(índice unilateral inferior)								
21	Cpk > 2	Es mejor de lo que se esperaba						3σ								
22																
23						Cpu =	LES - μ	(índice unilateral superior)								
24								3σ								
25						Cpk =	min (Cpl, Cpu)									

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Figura A55. Cálculos para el análisis del índice Cpk – Denier 800 (julio)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1																
2		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
17																
18																
19																
20																
21																
22																
23																
24																
25																
26																

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Figura A56. Cálculos para el análisis del índice Cpk – Denier 1,090 (julio)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1																
2		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
17																
18																
19																
20																
21																
22																
23																
24																

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Agosto:

Figura A57. Cálculos para el análisis del índice Cpk – Denier 640 (agosto)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1																
2		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
17																
18																
19																
20																
21																
22																
23																
24																

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Figura A58. Cálculos para el análisis del índice Cpk – Denier 650 (agosto)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1																
2		Especificaciones nominales	650				Total de observaciones	2302.000					Probabilidad de un producto defectuoso			
3		Límite de especificación superior (LES)	682.5				MAX	854.000					LES	0.2625518	26.26%	
4		Límite de especificación inferior (LEI)	617.5				MIN	489.000					LEI	0.1470904	14.71%	
5		Tolerancia	65				MEDIA	657.978					Probabilidad			
6							DESV. ESTÁND.	38.5873							40.96%	
7																
8																
9		Índice de la capacidad del proceso		Cp	0.281											
10		Índice unilateral inferior		C _{pl}	0.350											
11		Índice unilateral superior		C _{pu}	0.212			MEDIA μ	657.978							
12				C _{pk}	0.212			DESV. ESTÁNDAR σ	38.5873							
13																
14																
15																
16																
17																
18		Cpk negativo	Muy deficiente													
19		Cpk < 1	No cumple													
20		Cpk > 1	Si cumple													
21		Cpk > 2	Es mejor de lo que se esperaba													
22																
23																
24																
25																
26																
27																

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Figura A59. Cálculos para el análisis del índice Cpk – Denier 800 (agosto)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1																
2		Especificaciones nominales	800				Total de observaciones	1404.000					Probabilidad de un producto defectuoso			
3		Límite de especificación superior (LES)	840				MAX	1167.000					LES	0.25140717	25.14%	
4		Límite de especificación inferior (LEI)	760				MIN	557.000					LEI	0.23020458	23.02%	
5		Tolerancia	80				MEDIA	801.934					Probabilidad			
6							DESV. ESTÁND.	56.8084							48.16%	
7																
8																
9		Índice de la capacidad del proceso		Cp	0.235											
10		Índice unilateral inferior		C _{pl}	0.246											
11		Índice unilateral superior		C _{pu}	0.223			MEDIA μ	801.934							
12				C _{pk}	0.223			DESV. ESTÁNDAR σ	56.8084							
13																
14																
15																
16																
17																
18		Cpk negativo	Muy deficiente													
19		Cpk < 1	No cumple													
20		Cpk > 1	Si cumple													
21		Cpk > 2	Es mejor de lo que se esperaba													
22																
23																
24																

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Figura A60. Cálculos para el análisis del índice Cpk – Denier 1,090 (agosto)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1																
2		Especificaciones nominales	1090				Total de observaciones	2026.000					Probabilidad de un producto defectuoso			
3		Límite de especificación superior (LES)	1144.5				MAX	1558.000					LES	0.2425726	24.26%	
4		Límite de especificación inferior (LEI)	1035.5				MIN	768.000					LEI	0.1751796	17.52%	
5		Tolerancia	109				MEDIA	1097.876					Probabilidad			
6							DESV. ESTÁND.	66.7915							41.78%	
7																
8																
9		Índice de la capacidad del proceso		Cp	0.272											
10		Índice unilateral inferior		C _{pl}	0.311											
11		Índice unilateral superior		C _{pu}	0.233			MEDIA μ	1097.876							
12				C _{pk}	0.233			DESV. ESTÁNDAR σ	66.7915							
13																
14																
15																
16																
17																
18		Cpk negativo	Muy deficiente													
19		Cpk < 1	No cumple													
20		Cpk > 1	Si cumple													
21		Cpk > 2	Es mejor de lo que se esperaba													
22																
23																
24																
25																
26																
27																

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Figura A61. Cálculos para el análisis del índice Cpk – Denier 2,165 (agosto)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1																
2			2165					1419.000								
3			2273.25					2687.000								
4			2056.75					1632.000								
5			216.5					2183.029								
6								133.7532								
7																
8																
9																
10																
11																
12																
13																
14																
15																
16																
17																
18																
19																
20																
21																
22																
23																
24																

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Septiembre:

Figura A62. Cálculos para el análisis del índice Cpk – Denier 640 (septiembre)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1																
2			640					1508.000								
3			672					3008.000								
4			608					310.000								
5			64					654.104								
6								46.6441								
7																
8																
9																
10																
11																
12																
13																
14																
15																
16																
17																
18																
19																
20																
21																
22																
23																
24																
25																
26																

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Figura A63. Cálculos para el análisis del índice Cpk – Denier 650 (septiembre)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1																
2			650					1085.000								
3			682.5					1017.000								
4			617.5					517.000								
5			65					664.276								
6								43.3736								
7																
8																
9																
10																
11																
12																
13																
14																
15																
16																
17																
18																
19																
20																
21																
22																
23																
24																
25																
26																

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Figura A64. Cálculos para el análisis del índice Cpk – Denier 720 (septiembre)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1																
2		Especificaciones nominales		720			Total de observaciones	1594.000					Probabilidad de un producto defectuoso			
3		Límite de especificación superior (LES)		756			MAX	925.000					LES	0.2214186	22.14%	
4		Límite de especificación inferior (LEI)		684			MIN	525.000					LEI	0.1581889	15.82%	
5		Tolerancia		72			MEDIA	724.772					Probabilidad		37.96%	
6							DESV. ESTÁND.	40.6931								
9		Índice de la capacidad del proceso														
10		Índice unilateral inferior		C _p	0.295											
11		Índice unilateral superior		C _p _I	0.334											
12				C _{pu}	0.256			MEDIA μ	724.772							
13				C _{pk}	0.256			DESV: ESTÁNDAR σ	40.6931							
17																
18		Cpk negativo Muy deficiente														
19		Cpk < 1		No cumple												
20		Cpk > 1		Si cumple												
21		Cpk > 2		Es mejor de lo que se esperaba												
22																
23																
24																
25																
26																
27																

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Figura A65. Cálculos para el análisis del índice Cpk – Denier 800 (septiembre)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1																
2		Especificaciones nominales		800			Total de observaciones	2438.000					Probabilidad de un producto defectuoso			
3		Límite de especificación superior (LES)		840			MAX	1236.000					LES	0.2467438	24.67%	
4		Límite de especificación inferior (LEI)		760			MIN	177.000					LEI	0.1755024	17.55%	
5		Tolerancia		80			MEDIA	806.130					Probabilidad		42.22%	
6							DESV. ESTÁND.	49.4617								
9		Índice de la capacidad del proceso														
10		Índice unilateral inferior		C _p	0.270											
11		Índice unilateral superior		C _p _I	0.311			MEDIA μ	806.130							
12				C _{pu}	0.228			DESV: ESTÁNDAR σ	49.4617							
13				C _{pk}	0.228											
17																
18		Cpk negativo Muy deficiente														
19		Cpk < 1		No cumple												
20		Cpk > 1		Si cumple												
21		Cpk > 2		Es mejor de lo que se esperaba												
22																
23																
24																
25																
26																

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Figura A66. Cálculos para el análisis del índice Cpk – Denier 1,090 (septiembre)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1																
2		Especificaciones nominales		1090			Total de observaciones	1712.000					Probabilidad de un producto defectuoso			
3		Límite de especificación superior (LES)		1144.5			MAX	1688.000					LES	0.2463821	24.64%	
4		Límite de especificación inferior (LEI)		1035.5			MIN	753.000					LEI	0.2283216	22.83%	
5		Tolerancia		109			MEDIA	1092.228					Probabilidad		47.47%	
6							DESV. ESTÁND.	76.2075								
9		Índice de la capacidad del proceso														
10		Índice unilateral inferior		C _p	0.238											
11		Índice unilateral superior		C _p _I	0.248			MEDIA μ	1092.228							
12				C _{pu}	0.229			DESV: ESTÁNDAR σ	76.2075							
13				C _{pk}	0.229											
17																
18		Cpk negativo Muy deficiente														
19		Cpk < 1		No cumple												
20		Cpk > 1		Si cumple												
21		Cpk > 2		Es mejor de lo que se esperaba												
22																
23																
24																
25																
26																

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Figura A70. Cálculos para el análisis del índice Cpk – Denier 1,090 (octubre)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1																
2		Especificaciones nominales		1090			Total de observaciones	2688.000					Probabilidad de un producto defectuoso			
3		Límite de especificación superior (LES)		1144.5			MAX	2130.000					LES	0.2395964	23.96%	
4		Límite de especificación inferior (LEI)		1035.5			MIN	772.000					LEI	0.142965	14.30%	
5		Tolerancia		109			MEDIA	1101.040					Probabilidad		38.26%	
6							DESV. ESTÁND.	61.4190								
7																
8		Índice de la capacidad del proceso		Cp	0.296											
9		Índice unilateral inferior		C _{pI}	0.356											
10		Índice unilateral superior		C _{pU}	0.236											
11				C _{pK}	0.236											
12								MEDIA μ	1101.040							
13								DESV. ESTÁNDAR σ	61.4190							
14																
15																
16																
17																
18		Cpk negativo Muy deficiente														
19		Cpk < 1		No cumple												
20		Cpk > 1		Si cumple												
21		Cpk > 2		Es mejor de lo que se esperaba												
22																
23																
24																
25																
26																

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Figura A71. Cálculos para el análisis del índice Cpk – Denier 2,165 (octubre)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1																
2		Especificaciones nominales		2165			Total de observaciones	1786.000					Probabilidad de un producto defectuoso			
3		Límite de especificación superior (LES)		2273.25			MAX	2706.000					LES	0.1734621	17.35%	
4		Límite de especificación inferior (LEI)		2056.75			MIN	342.000					LEI	0.1847943	18.48%	
5		Tolerancia		216.5			MEDIA	2162.448					Probabilidad		35.83%	
6							DESV. ESTÁND.	117.8028								
7																
8		Índice de la capacidad del proceso		Cp	0.306											
9		Índice unilateral inferior		C _{pI}	0.299											
10		Índice unilateral superior		C _{pU}	0.314											
11				C _{pK}	0.299											
12									MEDIA μ	2162.448						
13									DESV. ESTÁNDAR σ	117.8028						
14																
15																
16																
17																
18		Cpk negativo Muy deficiente														
19		Cpk < 1		No cumple												
20		Cpk > 1		Si cumple												
21		Cpk > 2		Es mejor de lo que se esperaba												
22																
23																
24																
25																
26																

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Noviembre:

Figura A72. Cálculos para el análisis del índice Cpk – Denier 720 (noviembre)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1																
2		Especificaciones nominales		720			Total de observaciones	572.000					Probabilidad de un producto defectuoso			
3		Límite de especificación superior (LES)		756			MAX	918.000					LES	0.2023523	20.24%	
4		Límite de especificación inferior (LEI)		684			MIN	530.000					LEI	0.0806265	8.06%	
5		Tolerancia		72			MEDIA	729.161					Probabilidad		28.31%	
6							DESV. ESTÁND.	32.2377								
7																
8		Índice de la capacidad del proceso		Cp	0.372											
9		Índice unilateral inferior		C _{pI}	0.467											
10		Índice unilateral superior		C _{pU}	0.278											
11				C _{pK}	0.278											
12										MEDIA μ	729.161					
13										DESV. ESTÁNDAR σ	32.2377					
14																
15																
16																
17																
18		Cpk negativo Muy deficiente														
19		Cpk < 1		No cumple												
20		Cpk > 1		Si cumple												
21		Cpk > 2		Es mejor de lo que se esperaba												
22																
23																
24																
25																
26																

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Figura A73. Cálculos para el análisis del índice Cpk – Denier 800 (noviembre)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1																
2		Especificaciones nominales		800			Total de observaciones	3365.000					Probabilidad de un producto defectuoso			
3		Limite de especificación superior (LES)		840			MAX	1146.000					LES	0.2025079	20.25%	
4		Limite de especificación inferior (LEI)		760			MIN	579.000					LEI	0.1462291	14.62%	
5		Tolerancia		80			MEDIA	804.668					Probabilidad		34.87%	
6							DESV. ESTÁND.	42.4304								
7																
8		Índice de la capacidad del proceso		Cp	0.314											
9		Índice unilateral inferior		C _{pI}	0.351											
10		Índice unilateral superior		C _{pU}	0.278		MEDIA μ	804.668								
11				C _{pk}	0.278		DESV. ESTÁNDAR σ	42.4304								
12																
13																
14																
15																
16																
17																
18		Cpk negativo Muy deficiente														
19		Cpk < 1		No cumple												
20		Cpk > 1		Si cumple												
21		Cpk > 2		Es mejor de lo que se esperaba												
22																
23																
24																
25																
26																

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Figura A74. Cálculos para el análisis del índice Cpk – Denier 920 (noviembre)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1																
2		Especificaciones nominales		920			Total de observaciones	1021.000					Probabilidad de un producto defectuoso			
3		Limite de especificación superior (LES)		966			MAX	1230.000					LES	0.183217	18.32%	
4		Limite de especificación inferior (LEI)		874			MIN	699.000					LEI	0.1317828	13.18%	
5		Tolerancia		92			MEDIA	924.889					Probabilidad		31.50%	
6							DESV. ESTÁND.	45.5180								
7																
8		Índice de la capacidad del proceso		Cp	0.337											
9		Índice unilateral inferior		C _{pI}	0.373											
10		Índice unilateral superior		C _{pU}	0.301		MEDIA μ	924.889								
11				C _{pk}	0.301		DESV. ESTÁNDAR σ	45.5180								
12																
13																
14																
15																
16																
17																
18		Cpk negativo Muy deficiente														
19		Cpk < 1		No cumple												
20		Cpk > 1		Si cumple												
21		Cpk > 2		Es mejor de lo que se esperaba												
22																
23																
24																
25																
26																

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Figura A75. Cálculos para el análisis del índice Cpk – Denier 1,090 (noviembre)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1																
2		Especificaciones nominales		1090			Total de observaciones	2768.000					Probabilidad de un producto defectuoso			
3		Limite de especificación superior (LES)		1144.5			MAX	2190.000					LES	0.2465695	24.66%	
4		Limite de especificación inferior (LEI)		1035.5			MIN	522.000					LEI	0.171348	17.13%	
5		Tolerancia		109			MEDIA	1098.789					Probabilidad		41.79%	
6							DESV. ESTÁND.	66.7003								
7																
8		Índice de la capacidad del proceso		Cp	0.272											
9		Índice unilateral inferior		C _{pI}	0.316											
10		Índice unilateral superior		C _{pU}	0.228		MEDIA μ	1098.789								
11				C _{pk}	0.228		DESV. ESTÁNDAR σ	66.7003								
12																
13																
14																
15																
16																
17																
18		Cpk negativo Muy deficiente														
19		Cpk < 1		No cumple												
20		Cpk > 1		Si cumple												
21		Cpk > 2		Es mejor de lo que se esperaba												
22																
23																
24																
25																
26																

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Figura A76. Cálculos para el análisis del índice Cpk – Denier 2,165 (noviembre)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1																
2		Especificaciones nominales	2165				Total de observaciones	1099.000						Probabilidad de un producto defectuoso		
3		Límite de especificación superior (LES)	2273.25				MAX	2874.000					LES	0.1941472	19.41%	
4		Límite de especificación inferior (LEI)	2056.75				MIN	1388.000					LEI	0.2831882	28.32%	
5		Tolerancia	216.5				MEDIA	2143.192						Probabilidad	47.73%	
6							DEV. ESTÁND.	150.7544								
9		Índice de la capacidad del proceso	C _p	0.239												
10		Índice unilateral inferior	C _{pI}	0.191												
11		Índice unilateral superior	C _{pU}	0.288			MEDIA μ	2143.192								
12			C _{pK}	0.191			DEV. ESTÁNDAR σ	150.7544								
17																
18		Cpk negativo Muy deficiente					C _p =	$\frac{LES - LEI}{6\sigma}$								
19		Cpk < 1 No cumple														
20		Cpk > 1 Si cumple					C _{pI} =	$\frac{\mu - LEI}{3\sigma}$ (índice unilateral inferior)								
21		Cpk > 2 Es mejor de lo que se esperaba														
22							C _{pU} =	$\frac{LES - \mu}{3\sigma}$ (índice unilateral superior)								
23																
24							Cpk =	min(C _{pI} , C _{pU})								

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Diciembre:

Figura A77. Cálculos para el análisis del índice Cpk – Denier 650 (diciembre)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1																
2		Especificaciones nominales	650				Total de observaciones	610.000						Probabilidad de un producto defectuoso		
3		Límite de especificación superior (LES)	682.5				MAX	771.000					LES	0.1516828	15.17%	
4		Límite de especificación inferior (LEI)	617.5				MIN	560.000					LEI	0.1343309	13.43%	
5		Tolerancia	65				MEDIA	651.170						Probabilidad	28.60%	
6							DEV. ESTÁND.	30.4394								
9		Índice de la capacidad del proceso	C _p	0.356												
10		Índice unilateral inferior	C _{pI}	0.369												
11		Índice unilateral superior	C _{pU}	0.343			MEDIA μ	651.170								
12			C _{pK}	0.343			DEV. ESTÁNDAR σ	30.4394								
17																
18		Cpk negativo Muy deficiente					C _p =	$\frac{LES - LEI}{6\sigma}$								
19		Cpk < 1 No cumple														
20		Cpk > 1 Si cumple					C _{pI} =	$\frac{\mu - LEI}{3\sigma}$ (índice unilateral inferior)								
21		Cpk > 2 Es mejor de lo que se esperaba														
22							C _{pU} =	$\frac{LES - \mu}{3\sigma}$ (índice unilateral superior)								
23																
24							Cpk =	min(C _{pI} , C _{pU})								

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Figura A78. Cálculos para el análisis del índice Cpk – Denier 800 (diciembre)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1																
2		Especificaciones nominales	800				Total de observaciones	1403.000						Probabilidad de un producto defectuoso		
3		Límite de especificación superior (LES)	840				MAX	975.000					LES	0.0797103	7.97%	
4		Límite de especificación inferior (LEI)	760				MIN	645.000					LEI	0.1067656	10.68%	
5		Tolerancia	80				MEDIA	797.539						Probabilidad	18.65%	
6							DEV. ESTÁND.	30.1780								
9		Índice de la capacidad del proceso	C _p	0.442												
10		Índice unilateral inferior	C _{pI}	0.415												
11		Índice unilateral superior	C _{pU}	0.469			MEDIA μ	797.539								
12			C _{pK}	0.415			DEV. ESTÁNDAR σ	30.1780								
17																
18		Cpk negativo Muy deficiente					C _p =	$\frac{LES - LEI}{6\sigma}$								
19		Cpk < 1 No cumple														
20		Cpk > 1 Si cumple					C _{pI} =	$\frac{\mu - LEI}{3\sigma}$ (índice unilateral inferior)								
21		Cpk > 2 Es mejor de lo que se esperaba														
22							C _{pU} =	$\frac{LES - \mu}{3\sigma}$ (índice unilateral superior)								
23																
24							Cpk =	min(C _{pI} , C _{pU})								

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Figura A79. Cálculos para el análisis del índice Cpk – Denier 920 (diciembre)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1																
2		Especificaciones nominales		920			Total de observaciones	1030.000					Probabilidad de un producto defectuoso			
3		Límite de especificación superior (LES)		966			MAX	1287.000					LES	0.2752129	27.52%	
4		Límite de especificación inferior (LEI)		874			MIN	658.000					LEI	0.1414615	14.15%	
5		Tolerancia		92			MEDIA	933.122					Probabilidad			
6							DESV. ESTAND.	55.0602					41.67%			
7																
8																
9		Índice de la capacidad del proceso		Cp	0.278											
10		Índice unilateral inferior		C _p l	0.358											
11		Índice unilateral superior		C _p u	0.199			MEDIA μ	933.122							
12				C _p k	0.199			DESV: ESTÁNDAR σ	55.0602							
13																
14																
15																
16																
17																
18		Cpk negativo Muy deficiente														
19		Cpk < 1		No cumple												
20		Cpk > 1		Si cumple												
21		Cpk > 2		Es mejor de lo que se esperaba												
22																
23																
24																
25																
26																

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Figura A80. Cálculos para el análisis del índice Cpk – Denier 1,090 (diciembre)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1																
2		Especificaciones nominales		1090			Total de observaciones	2000.000					Probabilidad de un producto defectuoso			
3		Límite de especificación superior (LES)		1144.5			MAX	1428.000					LES	0.1429686	14.30%	
4		Límite de especificación inferior (LEI)		1035.5			MIN	828.000					LEI	0.1364799	13.65%	
5		Tolerancia		109			MEDIA	1090.736					Probabilidad			
6							DESV. ESTAND.	50.3849					27.94%			
7																
8																
9		Índice de la capacidad del proceso		Cp	0.361											
10		Índice unilateral inferior		C _p l	0.365											
11		Índice unilateral superior		C _p u	0.356			MEDIA μ	1090.736							
12				C _p k	0.356			DESV: ESTÁNDAR σ	50.3849							
13																
14																
15																
16																
17																
18		Cpk negativo Muy deficiente														
19		Cpk < 1		No cumple												
20		Cpk > 1		Si cumple												
21		Cpk > 2		Es mejor de lo que se esperaba												
22																
23																
24																
25																
26																

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Figura A81. Cálculos para el análisis del índice Cpk – Denier 2,165 (diciembre)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1																
2		Especificaciones nominales		2165			Total de observaciones	1176.000					Probabilidad de un producto defectuoso			
3		Límite de especificación superior (LES)		2273.25			MAX	2997.000					LES	0.1852564	18.53%	
4		Límite de especificación inferior (LEI)		2056.75			MIN	1596.000					LEI	0.1961185	19.61%	
5		Tolerancia		216.5			MEDIA	2162.531					Probabilidad			
6							DESV. ESTAND.	123.6379					38.14%			
7																
8																
9		Índice de la capacidad del proceso		Cp	0.292											
10		Índice unilateral inferior		C _p l	0.285											
11		Índice unilateral superior		C _p u	0.299			MEDIA μ	2162.531							
12				C _p k	0.285			DESV: ESTÁNDAR σ	123.6379							
13																
14																
15																
16																
17																
18		Cpk negativo Muy deficiente														
19		Cpk < 1		No cumple												
20		Cpk > 1		Si cumple												
21		Cpk > 2		Es mejor de lo que se esperaba												
22																
23																
24																
25																
26																

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Enero:

Figura A82. Cálculos para el análisis del índice Cpk – Denier 375 (enero)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1																	
2		Especificaciones nominales		375			Total de observaciones	380.000					Probabilidad de un producto defectuoso				
3		Límite de especificación superior (LES)		393.75			MAX	433.000					LES	0.0987687	9.88%		
4		Límite de especificación inferior (LEI)		356.25			MIN	346.000					LEI	0.0113329	1.13%		
5		Tolerancia		37.5			MEDIA	380.205					Probabilidad		11.01%		
6							DESV. ESTÁND.	10.5112									
7																	
8																	
9		Índice de la capacidad del proceso		C _p	0.595												
10		Índice unilateral inferior		C _{pl}	0.760												
11		Índice unilateral superior		C _{pu}	0.430			MEDIA μ	380.205								
12				C _{pk}	0.430			DESV. ESTÁNDAR σ	10.5112								
13																	
14																	
15																	
16																	
17																	
18		Cpk negativo Muy deficiente															
19		Cpk < 1		No cumple													
20		Cpk > 1		Si cumple													
21		Cpk > 2		Es mejor de lo que se esperaba													
22																	
23																	
24																	
25																	
26																	
27																	

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Figura A83. Cálculos para el análisis del índice Cpk – Denier 400 (enero)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1																	
2		Especificaciones nominales		400			Total de observaciones	580.000					Probabilidad de un producto defectuoso				
3		Límite de especificación superior (LES)		420			MAX	465.000					LES	0.085145	8.51%		
4		Límite de especificación inferior (LEI)		380			MIN	302.000					LEI	0.1326471	13.26%		
5		Tolerancia		40			MEDIA	397.929					Probabilidad		21.78%		
6							DESV. ESTÁND.	16.0950									
7																	
8																	
9		Índice de la capacidad del proceso		C _p	0.414												
10		Índice unilateral inferior		C _{pl}	0.371												
11		Índice unilateral superior		C _{pu}	0.457			MEDIA μ	397.929								
12				C _{pk}	0.371			DESV. ESTÁNDAR σ	16.0950								
13																	
14																	
15																	
16																	
17																	
18		Cpk negativo Muy deficiente															
19		Cpk < 1		No cumple													
20		Cpk > 1		Si cumple													
21		Cpk > 2		Es mejor de lo que se esperaba													
22																	
23																	
24																	
25																	
26																	

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Figura A84. Cálculos para el análisis del índice Cpk – Denier 425 (enero)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1																	
2		Especificaciones nominales		425			Total de observaciones	380.000					Probabilidad de un producto defectuoso				
3		Límite de especificación superior (LES)		446.25			MAX	445.000					LES	0.0159571	1.60%		
4		Límite de especificación inferior (LEI)		403.75			MIN	401.000					LEI	0.0107908	1.08%		
5		Tolerancia		42.5			MEDIA	425.728					Probabilidad		2.67%		
6							DESV. ESTÁND.	9.5653									
7																	
8																	
9		Índice de la capacidad del proceso		C _p	0.741												
10		Índice unilateral inferior		C _{pl}	0.766												
11		Índice unilateral superior		C _{pu}	0.715			MEDIA μ	425.728								
12				C _{pk}	0.715			DESV. ESTÁNDAR σ	9.5653								
13																	
14																	
15																	
16																	
17																	
18		Cpk negativo Muy deficiente															
19		Cpk < 1		No cumple													
20		Cpk > 1		Si cumple													
21		Cpk > 2		Es mejor de lo que se esperaba													
22																	
23																	
24																	
25																	
26																	

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Figura A85. Cálculos para el análisis del índice Cpk – Denier 850 (enero)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
1																		
2		Especificaciones nominales		850		Total de observaciones		1034.000						Probabilidad de un producto defectuoso				
3		Limite de especificación superior (LES)		892,5		MAX		1066.000					LES	0.1641337	16.41%			
4		Limite de especificación inferior (LEI)		807,5		MIN		692.000					LEI	0.1540353	15.40%			
5		Tolerancia		85		MEDIA		850.887								Probabilidad	31.81%	
6						DESV. ESTÁND.		42.5662										
9		Índice de la capacidad del proceso		Cp	0.333													
10		Índice unilateral inferior		C _p l	0.340													
11		Índice unilateral superior		C _p u	0.326													
12				C _p k	0.326													
13																		
14																		
15																		
16																		
17																		
18		Cpk negativo Muy deficiente																
19		Cpk < 1		No cumple														
20		Cpk > 1		Si cumple														
21		Cpk > 2		Es mejor de lo que se esperaba														
22																		
23																		
24																		
25																		
26																		
27																		

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Figura A86. Cálculos para el análisis del índice Cpk – Denier 1,100 (enero)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
1																		
2		Especificaciones nominales		1100		Total de observaciones		460.000						Probabilidad de un producto defectuoso				
3		Limite de especificación superior (LES)		1155		MAX		1761.000					LES	0.3427484	34.27%			
4		Limite de especificación inferior (LEI)		1045		MIN		951.000					LEI	0.1254329	12.54%			
5		Tolerancia		110		MEDIA		1126.320								Probabilidad	46.81%	
6						DESV. ESTÁND.		70.8205										
9		Índice de la capacidad del proceso		Cp	0.259													
10		Índice unilateral inferior		C _p l	0.383													
11		Índice unilateral superior		C _p u	0.135													
12				C _p k	0.135													
13																		
14																		
15																		
16																		
17																		
18		Cpk negativo Muy deficiente																
19		Cpk < 1		No cumple														
20		Cpk > 1		Si cumple														
21		Cpk > 2		Es mejor de lo que se esperaba														
22																		
23																		
24																		
25																		
26																		
27																		

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Febrero:

Figura A87. Cálculos para el análisis del índice Cpk – Denier 375 (febrero)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
1																		
2		Especificaciones nominales		375		Total de observaciones		120.000						Probabilidad de un producto defectuoso				
3		Limite de especificación superior (LES)		393.75		MAX		420.000					LES	0.1193891	11.94%			
4		Limite de especificación inferior (LEI)		356.25		MIN		333.000					LEI	0.0629096	6.29%			
5		Tolerancia		37.5		MEDIA		377.442								Probabilidad	18.23%	
6						DESV. ESTÁND.		13.8435										
9		Índice de la capacidad del proceso		Cp	0.451													
10		Índice unilateral inferior		C _p l	0.510													
11		Índice unilateral superior		C _p u	0.393													
12				C _p k	0.393													
13																		
14																		
15																		
16																		
17																		
18		Cpk negativo Muy deficiente																
19		Cpk < 1		No cumple														
20		Cpk > 1		Si cumple														
21		Cpk > 2		Es mejor de lo que se esperaba														
22																		
23																		
24																		
25																		
26																		
27																		

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Figura A88. Cálculos para el análisis del índice Cpk – Denier 425 (febrero)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1																
2		Especificaciones nominales		425			Total de observaciones	680.000						Probabilidad de un producto defectuoso		
3		Límite de especificación superior (LES)		446.25			MAX	861.000					LES	0.2508799	25.09%	
4		Límite de especificación inferior (LEI)		403.75			MIN	401.000					LEI	0.0745482	7.45%	
5		Tolerancia		42.5			MEDIA	432.749						Probabilidad	32.54%	
6							DEV. ESTÁND.	20.0998								
7																
8		Índice de la capacidad del proceso		Cp	0.352											
9		Índice unilateral inferior		C _{pl}	0.481											
10		Índice unilateral superior		C _{pu}	0.224		MEDIA μ	432.749								
11				C _{pk}	0.224		DEV. ESTÁNDAR σ	20.0998								
12																
13																
14																
15																
16																
17																
18		Cpk negativo Muy deficiente														
19		Cpk < 1		No cumple												
20		Cpk > 1		Si cumple												
21		Cpk > 2		Es mejor de lo que se esperaba												
22																
23																
24																
25																
26																
27																

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Figura A89. Cálculos para el análisis del índice Cpk – Denier 650 (febrero)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1																
2		Especificaciones nominales		650			Total de observaciones	449.000						Probabilidad de un producto defectuoso		
3		Límite de especificación superior (LES)		682.5			MAX	739.000					LES	0.011044	1.10%	
4		Límite de especificación inferior (LEI)		617.5			MIN	585.000					LEI	0.030034	3.00%	
5		Tolerancia		65			MEDIA	646.815						Probabilidad	4.11%	
6							DEV. ESTÁND.	15.5907								
7																
8		Índice de la capacidad del proceso		Cp	0.695											
9		Índice unilateral inferior		C _{pl}	0.627											
10		Índice unilateral superior		C _{pu}	0.763		MEDIA μ	646.815								
11				C _{pk}	0.627		DEV. ESTÁNDAR σ	15.5907								
12																
13																
14																
15																
16																
17																
18		Cpk negativo Muy deficiente														
19		Cpk < 1		No cumple												
20		Cpk > 1		Si cumple												
21		Cpk > 2		Es mejor de lo que se esperaba												
22																
23																
24																
25																
26																
27																

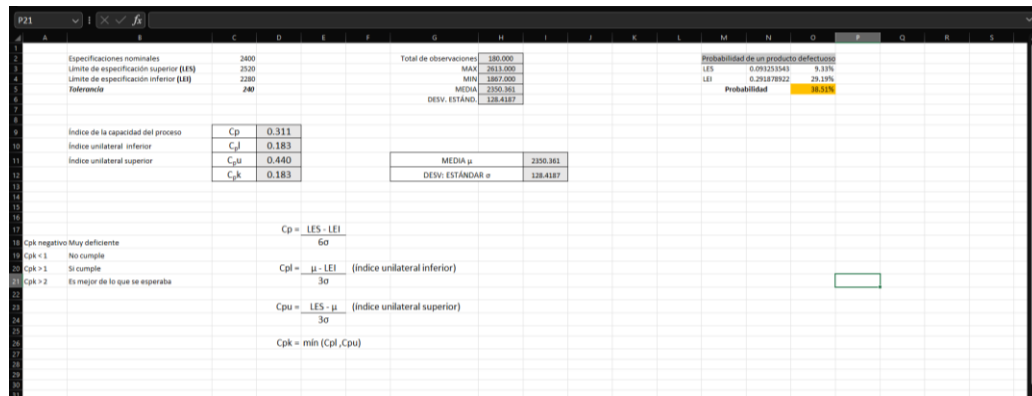
Fuente: Elaboración propia, 2023.

Figura A90. Cálculos para el análisis del índice Cpk – Denier 850 (febrero)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1																
2		Especificaciones nominales		850			Total de observaciones	1476.000						Probabilidad de un producto defectuoso		
3		Límite de especificación superior (LES)		892.5			MAX	1155.000					LES	0.2332093	23.32%	
4		Límite de especificación inferior (LEI)		807.5			MIN	636.000					LEI	0.1106158	11.06%	
5		Tolerancia		85			MEDIA	860.778						Probabilidad	34.38%	
6							DEV. ESTÁND.	43.5545								
7																
8		Índice de la capacidad del proceso		Cp	0.325											
9		Índice unilateral inferior		C _{pl}	0.408											
10		Índice unilateral superior		C _{pu}	0.243		MEDIA μ	860.778								
11				C _{pk}	0.243		DEV. ESTÁNDAR σ	43.5545								
12																
13																
14																
15																
16																
17																
18		Cpk negativo Muy deficiente														
19		Cpk < 1		No cumple												
20		Cpk > 1		Si cumple												
21		Cpk > 2		Es mejor de lo que se esperaba												
22																
23																
24																
25																
26																
27																

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Figura A91. Cálculos para el análisis del índice Cpk – Denier 2,400 (febrero)

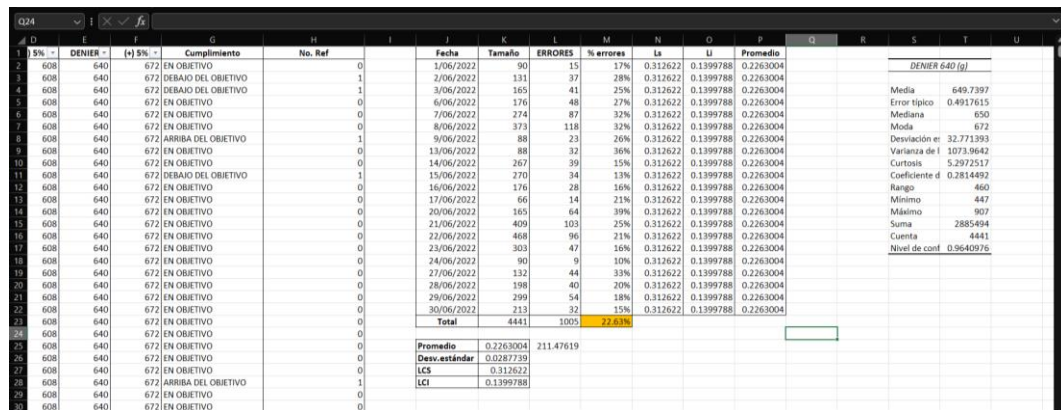


Fuente: Elaboración propia, 2023.

12.9 Información complementaria para el análisis de gráficos de control

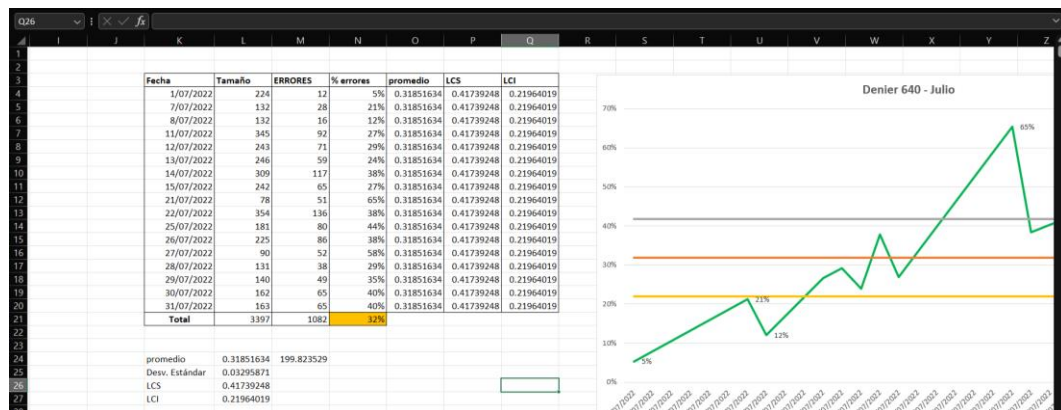
Denier 640:

Figura A92. Cálculos de Excel para desarrollar un gráfico de control – junio (denier 640)



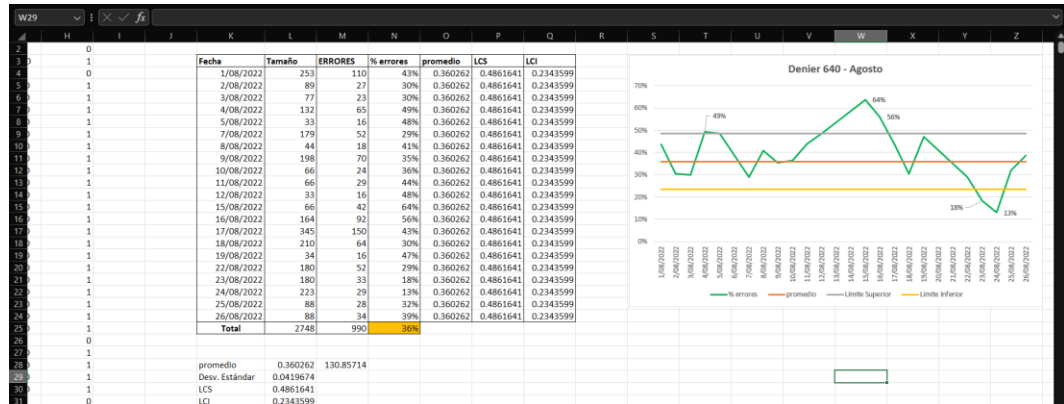
Fuente: Elaboración propia, 2023.

Figura A93. Cálculos de Excel para desarrollar un gráfico de control – julio (denier 640)



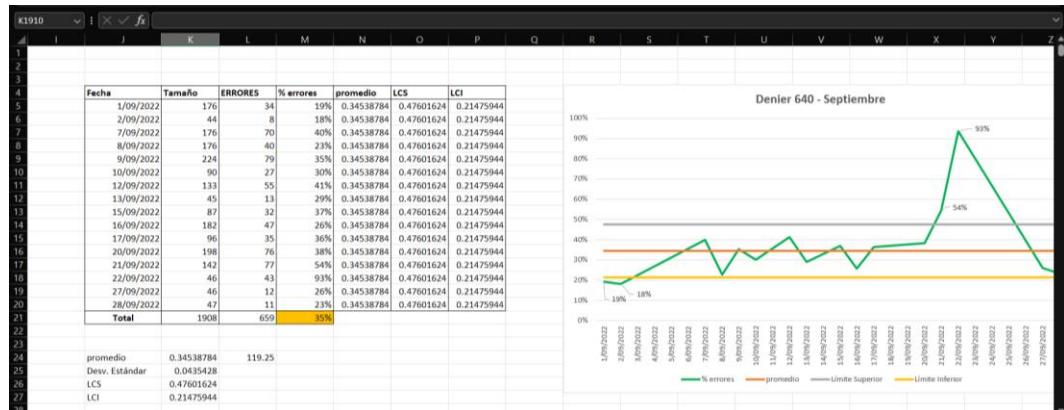
Fuente: Elaboración propia, 2023.

Figura A94. Cálculos de Excel para desarrollar un gráfico de control – agosto (denier 640)



Fuente: Elaboración propia, 2023.

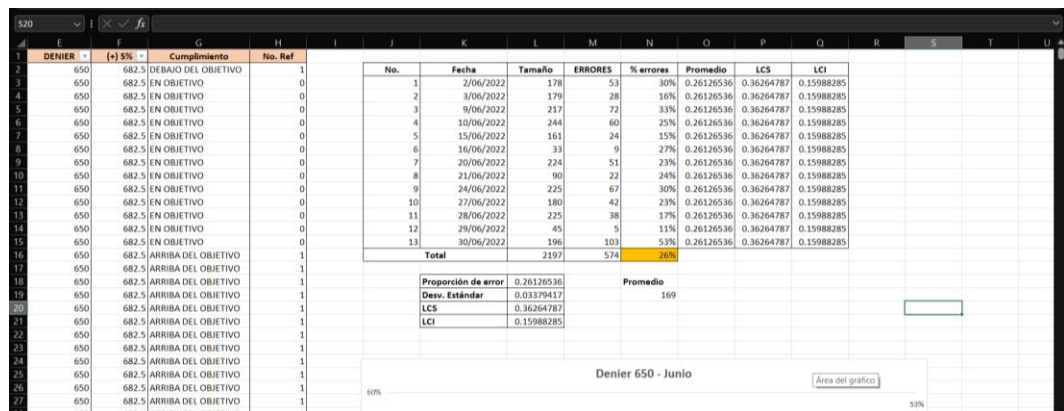
Figura A95. Cálculos de Excel para desarrollar un gráfico de control – septiembre (den. 640)



Fuente: Elaboración propia, 2023.

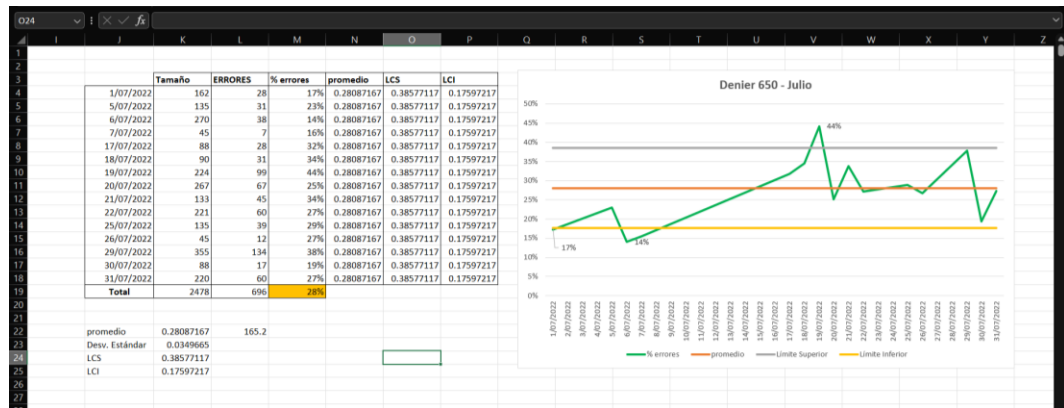
Denier 650:

Figura A96. Cálculos de Excel para desarrollar un gráfico de control – junio (denier 650)



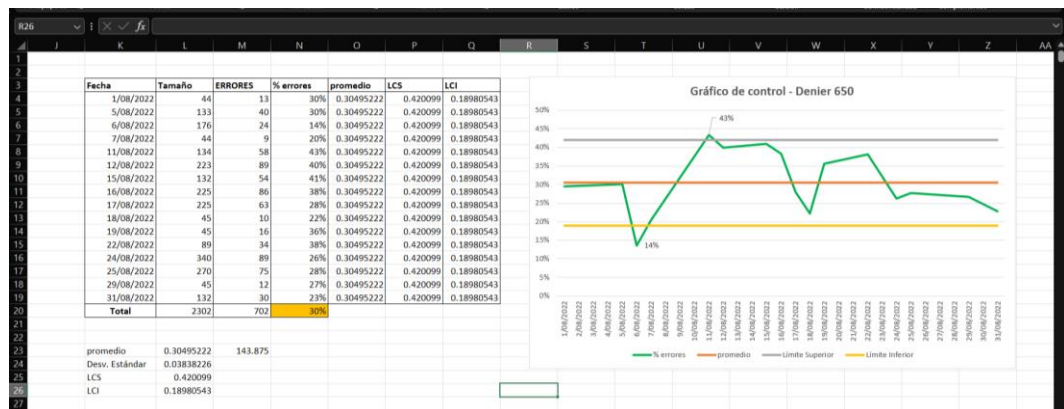
Fuente: Elaboración propia, 2023.

Figura A97. Cálculos de Excel para desarrollar un gráfico de control – julio (denier 650)



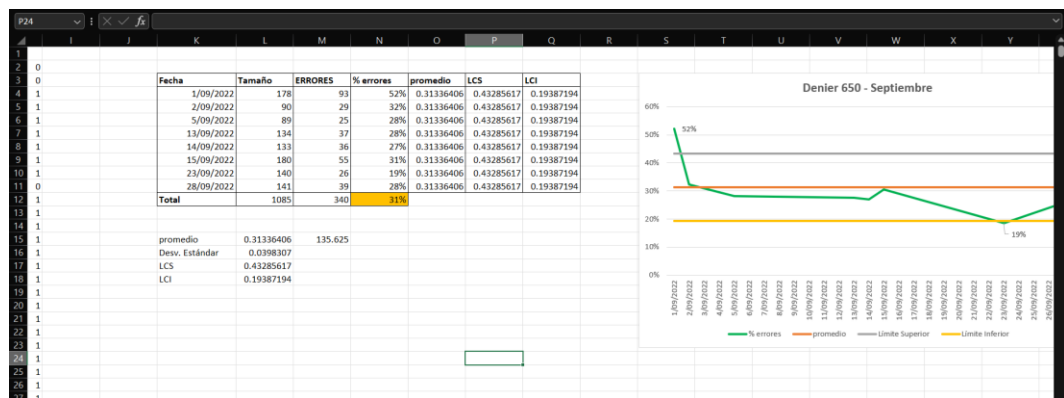
Fuente: Elaboración propia, 2023.

Figura A98. Cálculos de Excel para desarrollar un gráfico de control – agosto (denier 650)



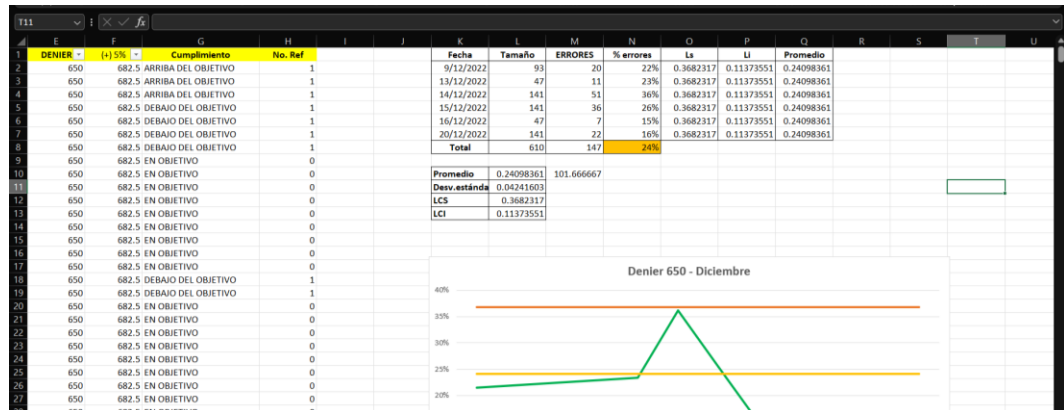
Fuente: Elaboración propia, 2023.

Figura A99. Cálculos de Excel para desarrollar un gráfico de control – septiembre (denier 650)



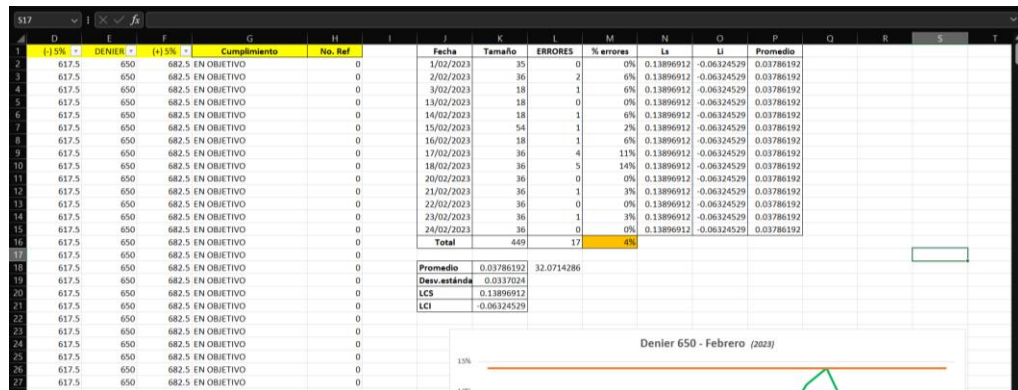
Fuente: Elaboración propia, 2023.

Figura A100. Cálculos de Excel para desarrollar un gráfico de control – diciembre (denier 650)



Fuente: Elaboración propia, 2023.

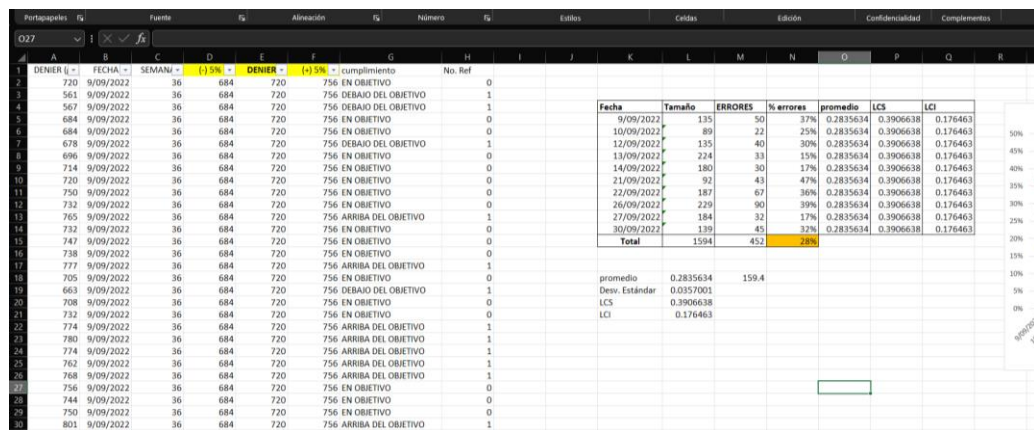
Figura A101. Cálculos de Excel para desarrollar un gráfico de control – febrero (denier 650)



Fuente: Elaboración propia, 2023.

Denier 720:

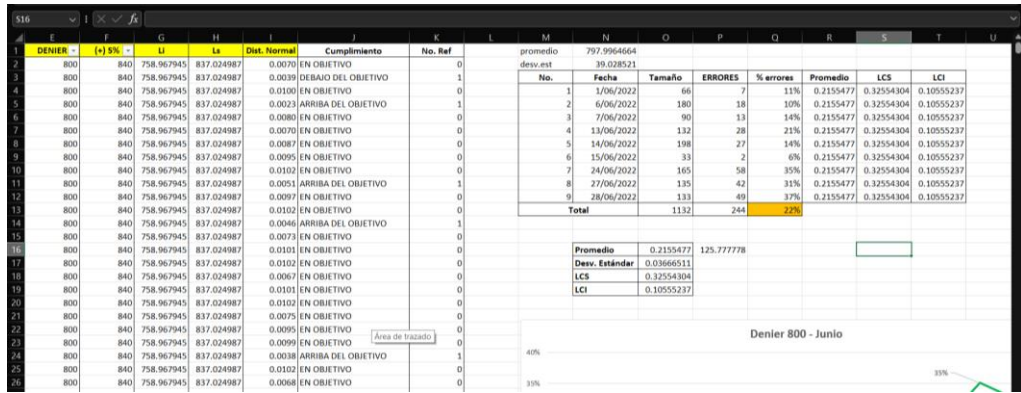
Figura A102. Cálculos de Excel para desarrollar un gráfico de control–septiembre (den.720)



Fuente: Elaboración propia, 2023.

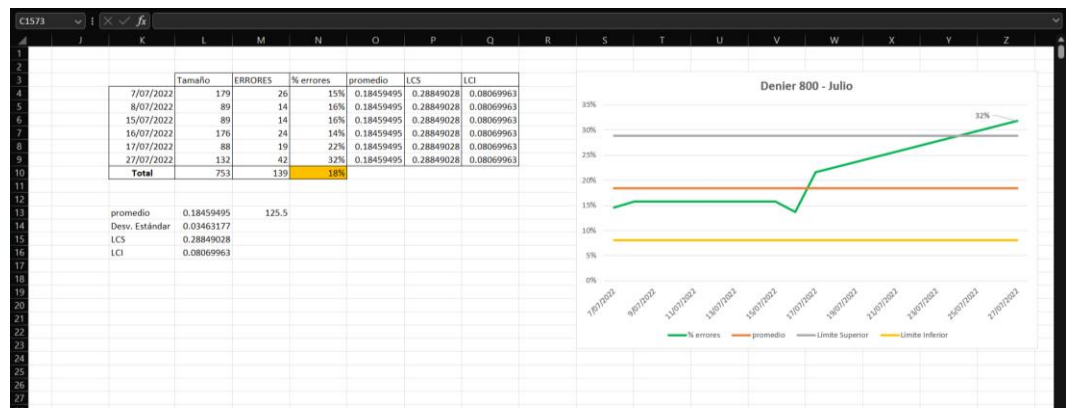
Denier 800:

Figura A103. Cálculos de Excel para desarrollar un gráfico de control – junio (den. 800)



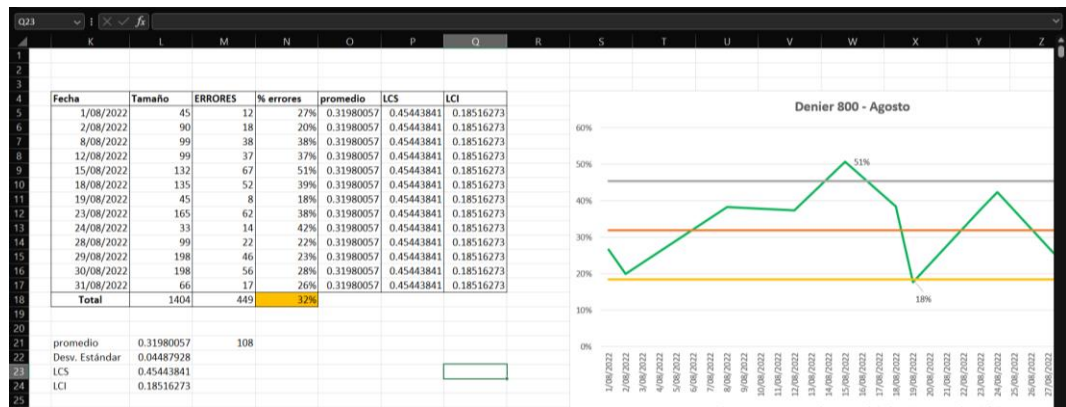
Fuente: Elaboración propia, 2023.

Figura A104. Cálculos de Excel para desarrollar un gráfico de control – julio (den. 800)



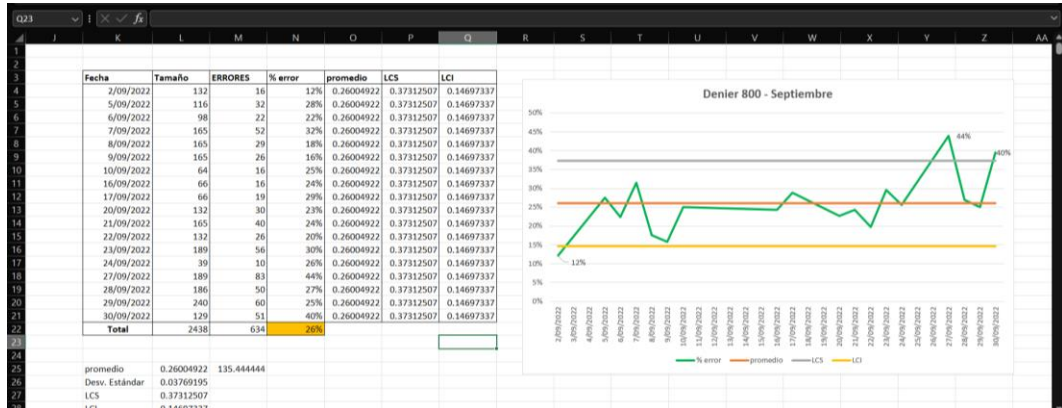
Fuente: Elaboración propia, 2023.

Figura A105. Cálculos de Excel para desarrollar un gráfico de control – agosto (den. 800)



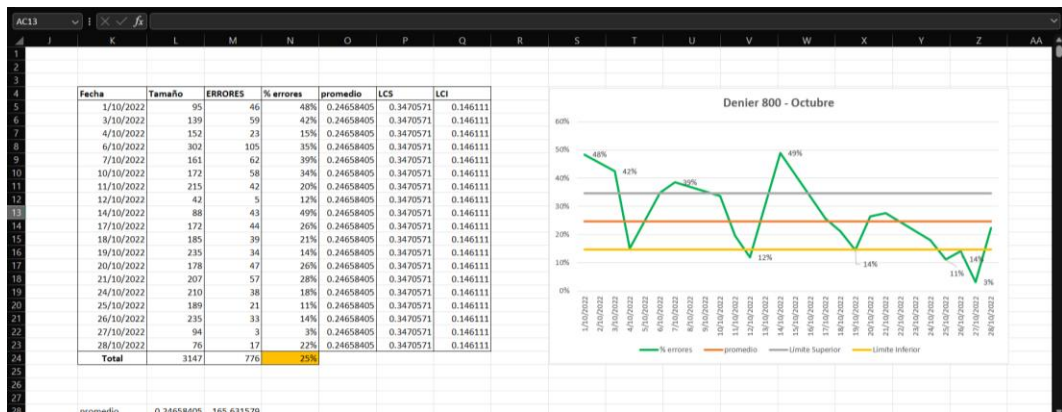
Fuente: Elaboración propia, 2023.

Figura A106. Cálculos de Excel para desarrollar un gráfico de control–septiembre (den. 800)



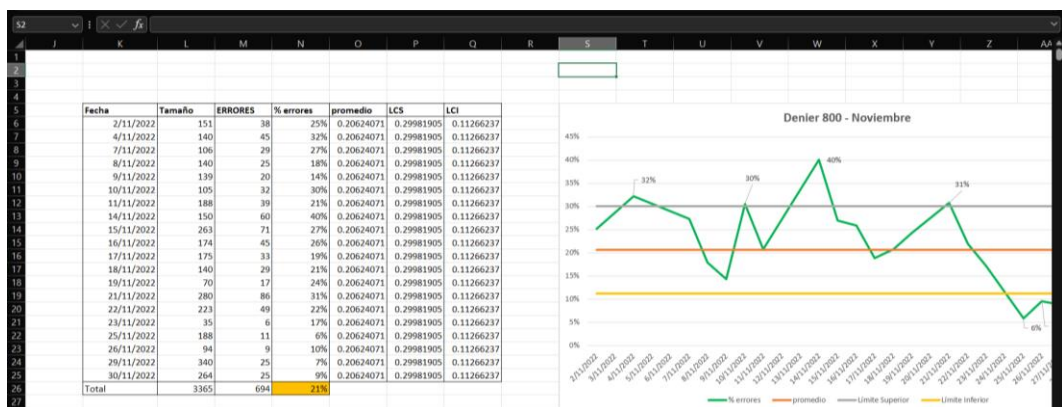
Fuente: Elaboración propia, 2023.

Figura A107. Cálculos de Excel para desarrollar un gráfico de control – octubre (den. 800)



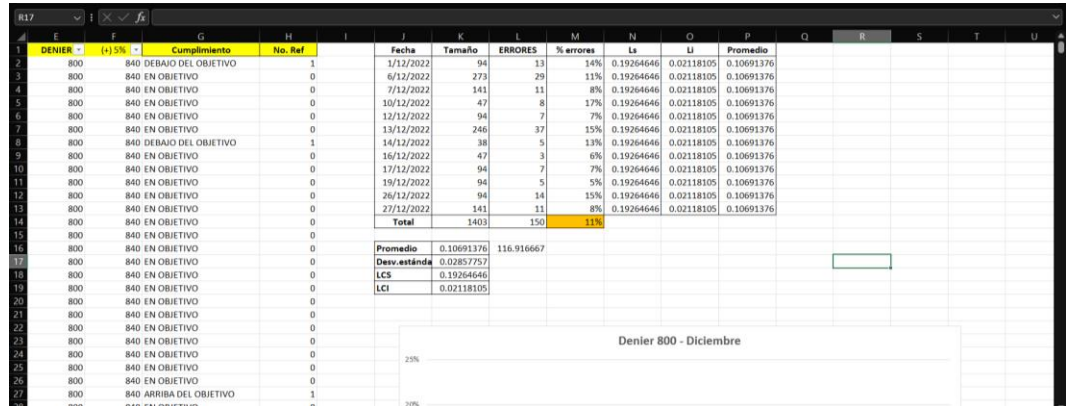
Fuente: Elaboración propia, 2023.

Figura A108. Cálculos de Excel para desarrollar un gráfico de control–noviembre (den. 800)



Fuente: Elaboración propia, 2023.

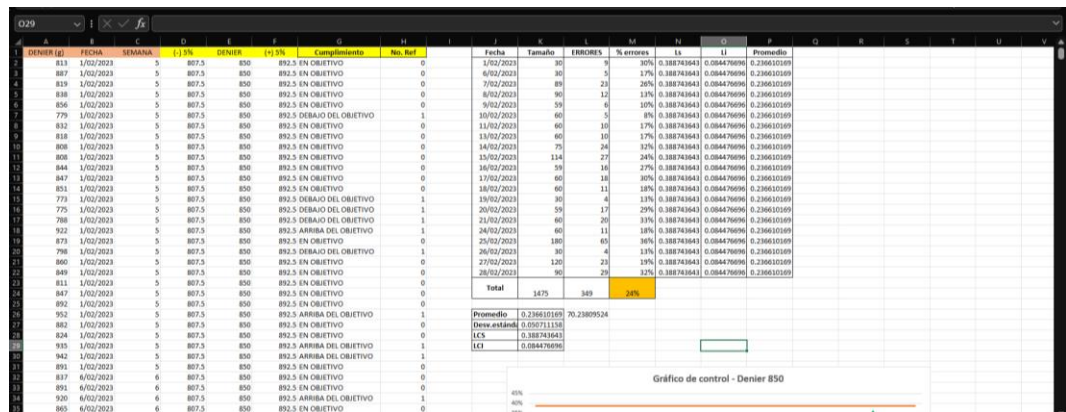
Figura A109. Cálculos de Excel para desarrollar un gráfico de control – diciembre (den. 800)



Fuente: Elaboración propia, 2023.

Denier 850:

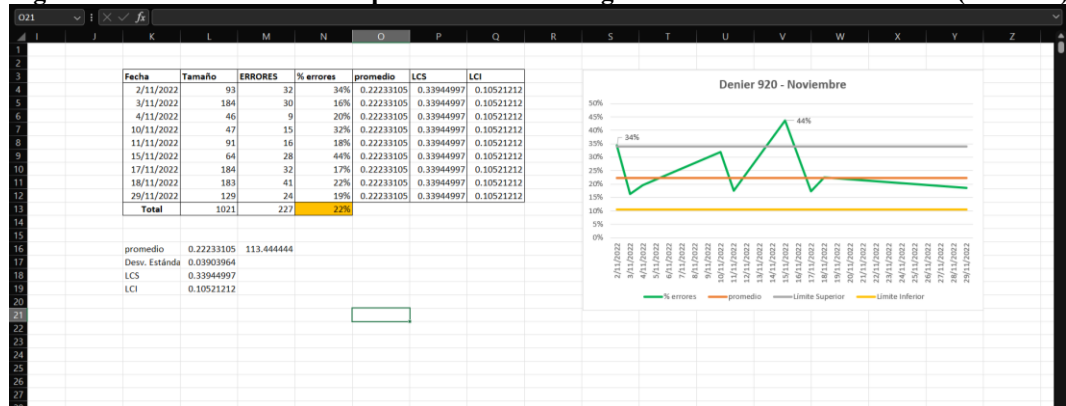
Figura A110. Cálculos de Excel para desarrollar un gráfico de control – febrero (den. 850)



Fuente: Elaboración propia, 2023.

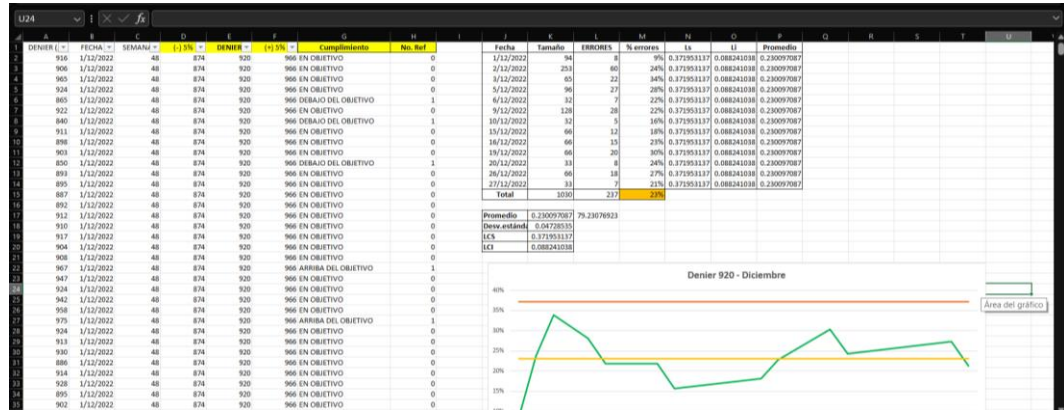
Denier 920:

Figura A111. Cálculos de Excel para desarrollar un gráfico de control – noviembre (den. 920)



Fuente: Elaboración propia, 2023.

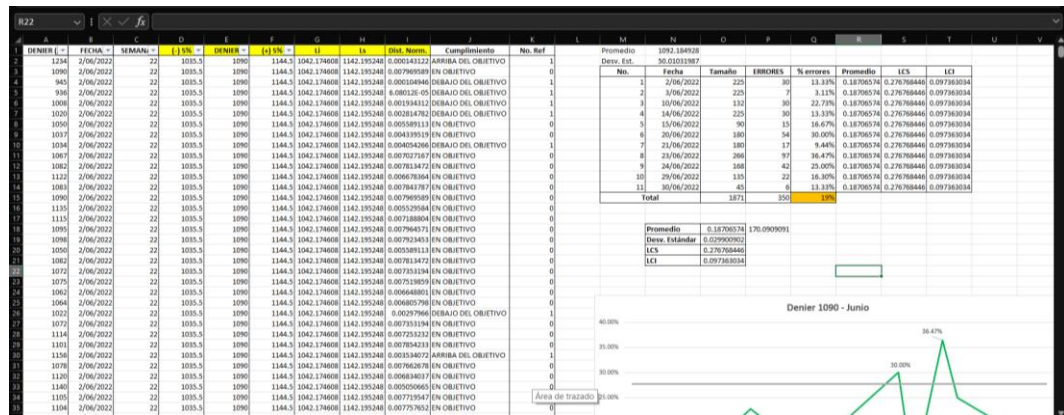
Tabla A112. Cálculos de Excel para desarrollar un gráfico de control – diciembre (den. 920)



Fuente: Elaboración propia, 2023.

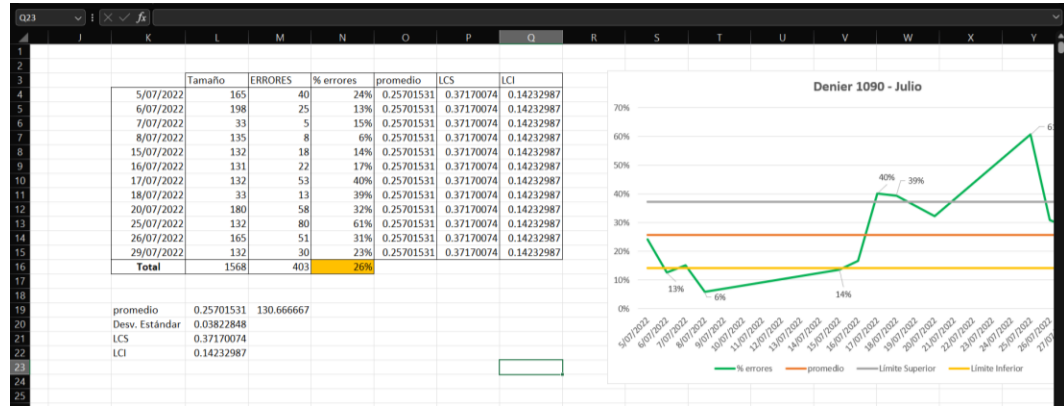
Denier 1,090:

Tabla A113. Cálculos de Excel para desarrollar un gráfico de control – junio (den. 1,090)



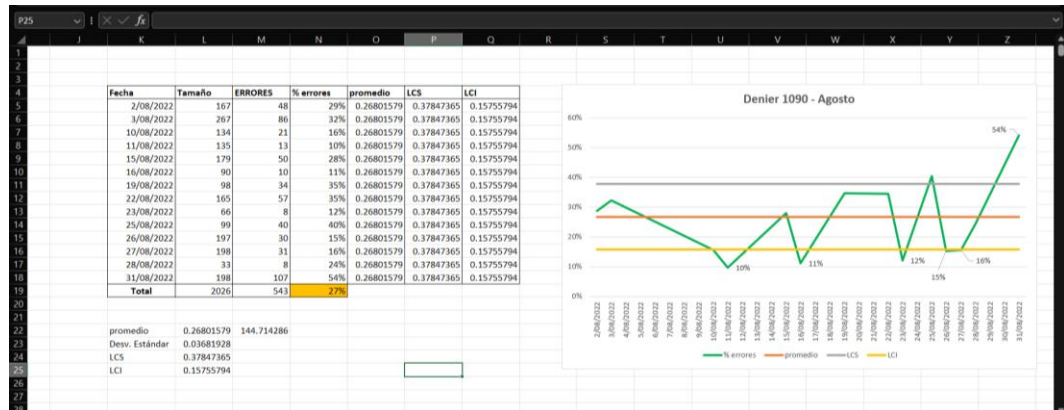
Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla A114. Cálculos de Excel para desarrollar un gráfico de control – julio (den. 1,090)



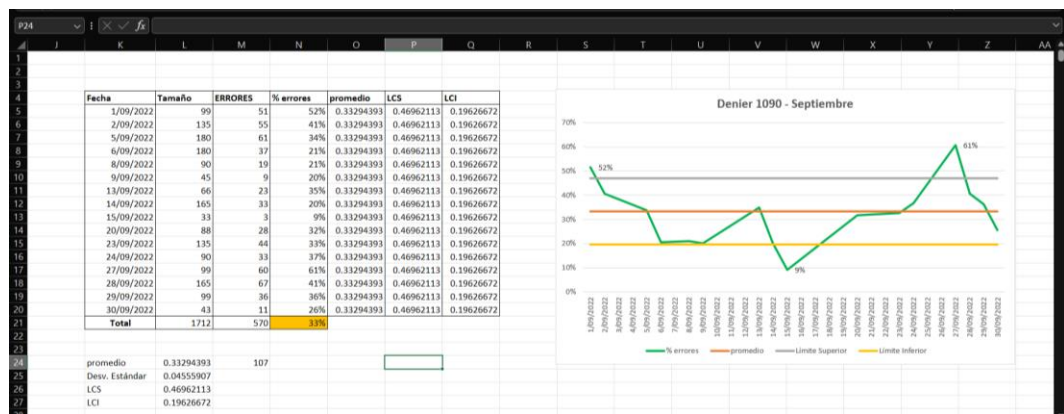
Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla A115. Cálculos de Excel para desarrollar un gráfico de control – agosto (den. 1,090)



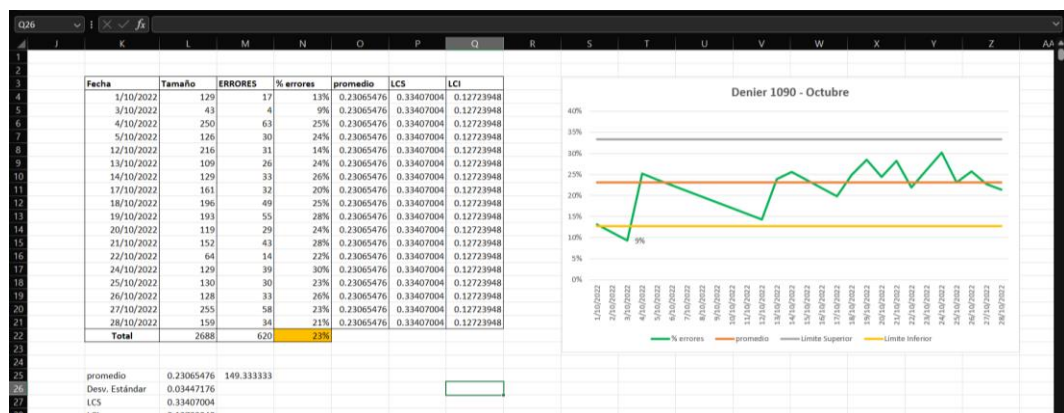
Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla A116. Cálculos de Excel para desarrollar un gráfico de control – septiembre (den. 1,090)



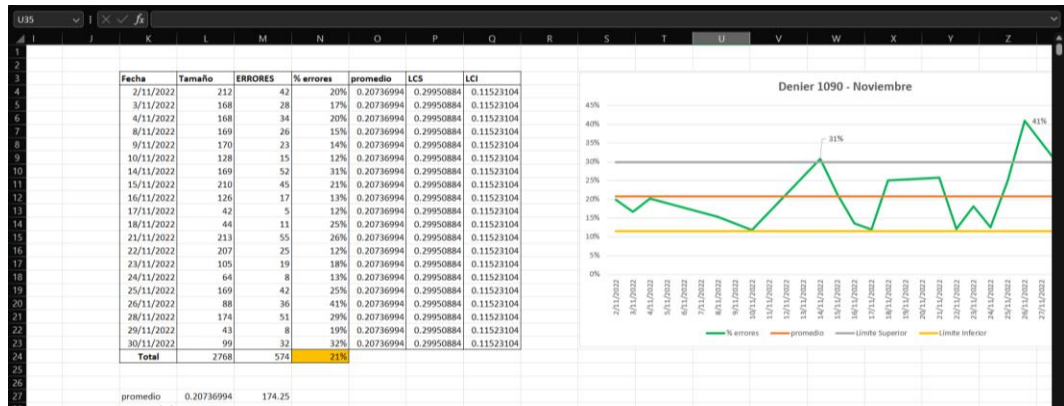
Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla A117. Cálculos de Excel para desarrollar un gráfico de control – octubre (den. 1,090)



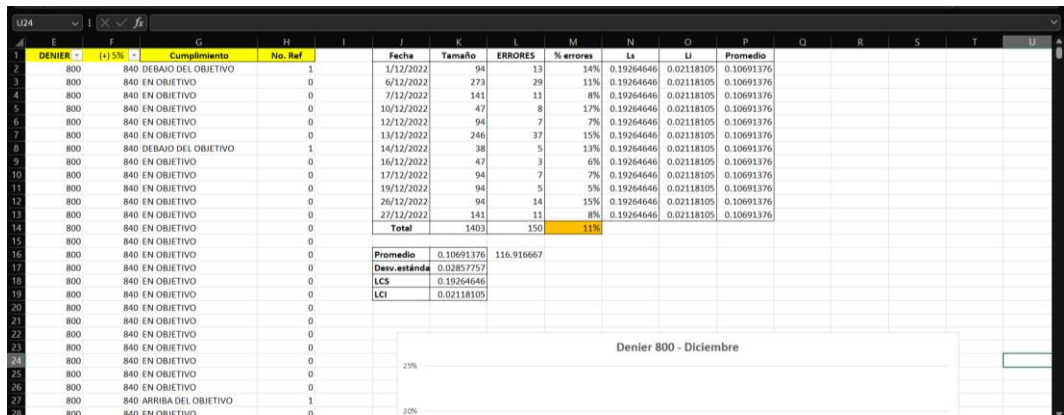
Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla A118. Cálculos de Excel para desarrollar un gráfico de control – noviembre (den. 1,090)



Fuente: Elaboración propia, 2023.

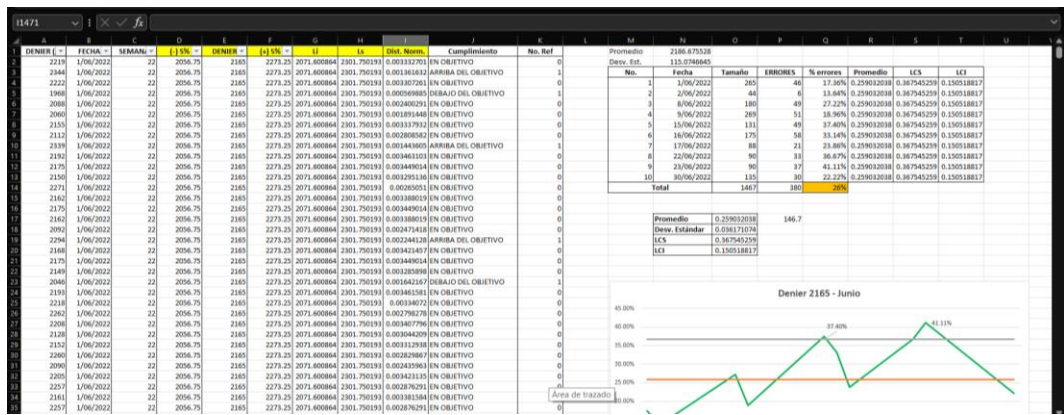
Tabla A119. Cálculos de Excel para desarrollar un gráfico de control – diciembre (den. 1,090)



Fuente: Elaboración propia, 2023.

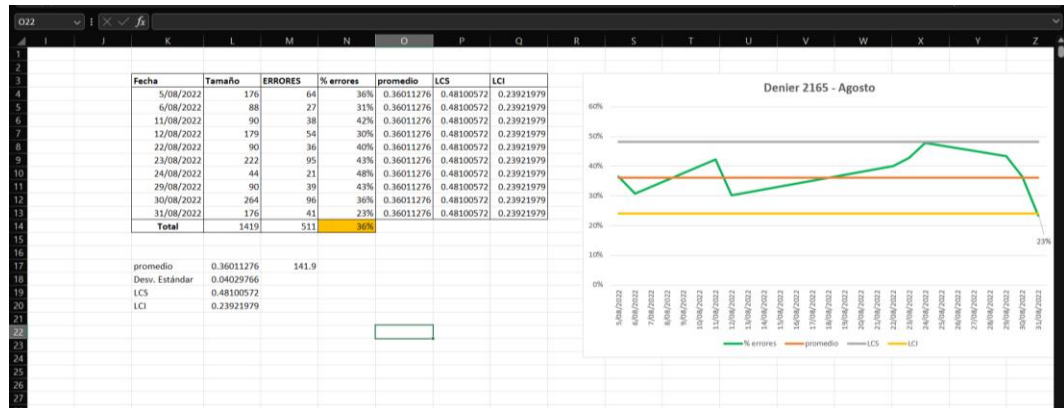
Denier 2,165:

Tabla A120. Cálculos de Excel para desarrollar un gráfico de control – junio (den. 2,165)



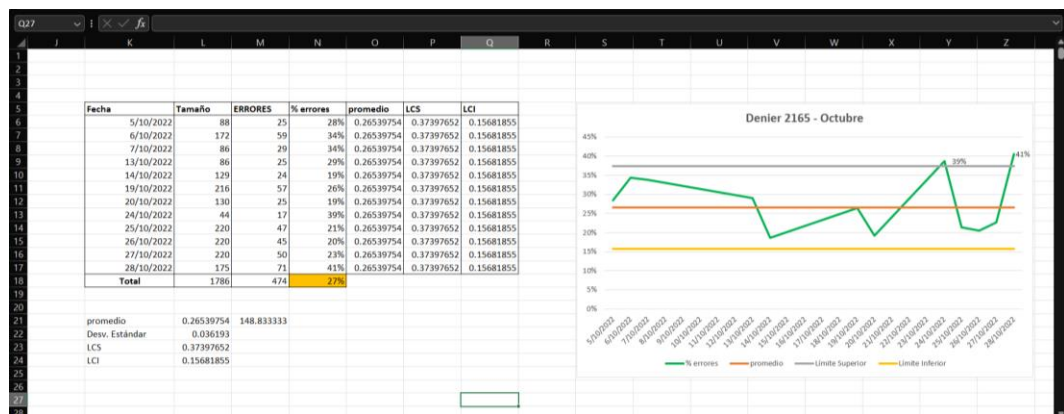
Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla A121. Cálculos de Excel para desarrollar un gráfico de control – agosto (den. 2,165)



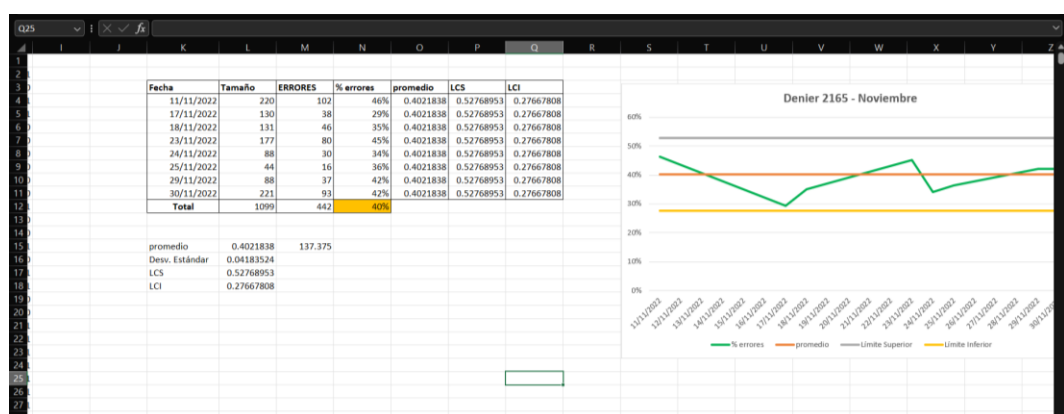
Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla A122. Cálculos de Excel para desarrollar un gráfico de control – octubre (den. 2,165)



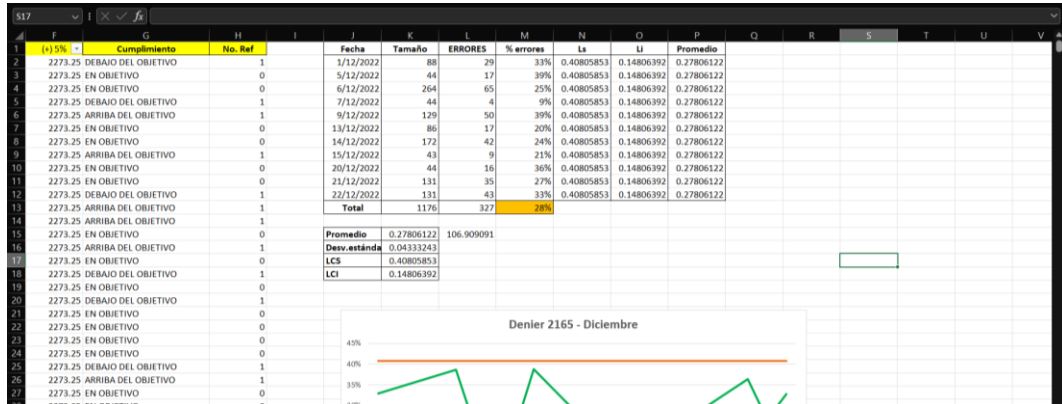
Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla A123. Cálculos de Excel para desarrollar un gráfico de control –noviembre (den.2,165)



Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla A124. Cálculos de Excel para desarrollar un gráfico de control –diciembre (den.2,165)

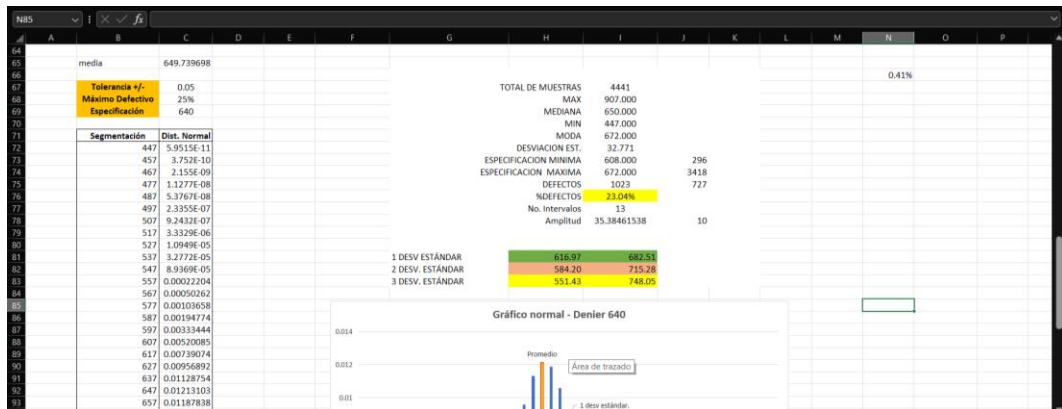


Fuente: Elaboración propia, 2023.

12.10 Información complementaria para el análisis de los sistemas de control especializados

Denier 640:

Tabla A125. Cálculos en Excel para sistemas de control especializados – junio (den. 640)



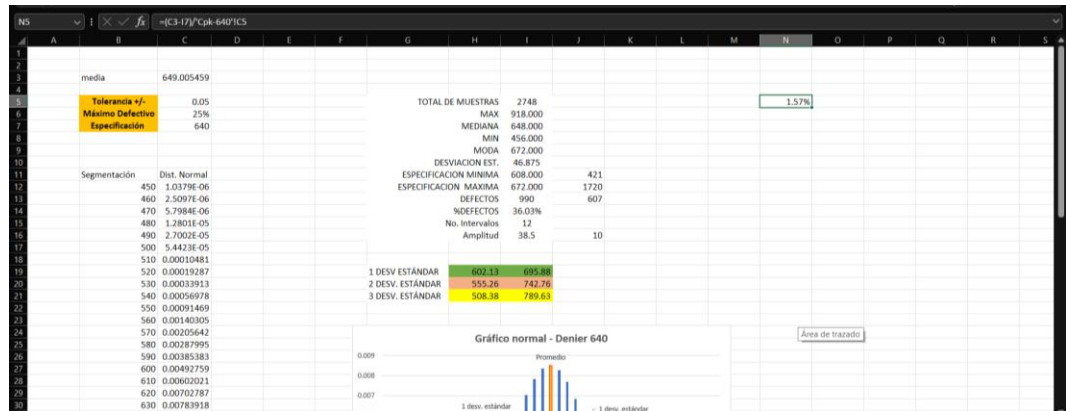
Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla A126. Cálculos en Excel para sistemas de control especializados – julio (den. 640)



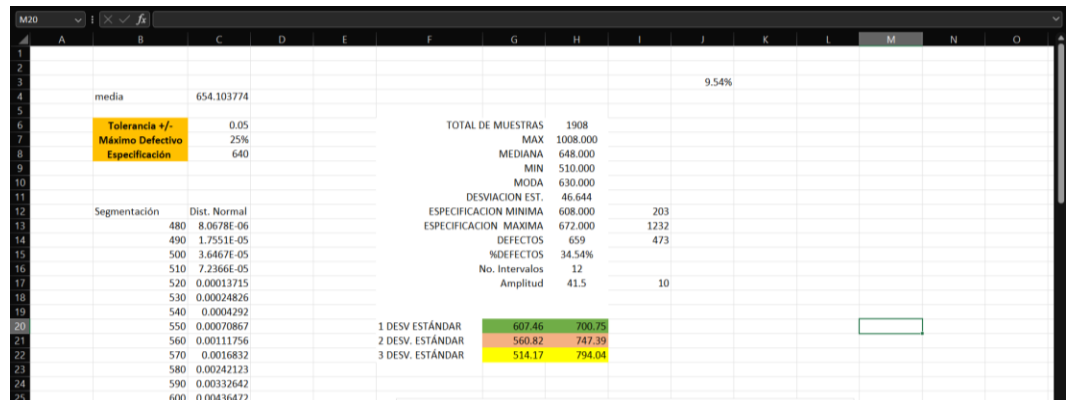
Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla A127. Cálculos en Excel para sistemas de control especializados – agosto (den. 640)



Fuente: Elaboración propia, 2023.

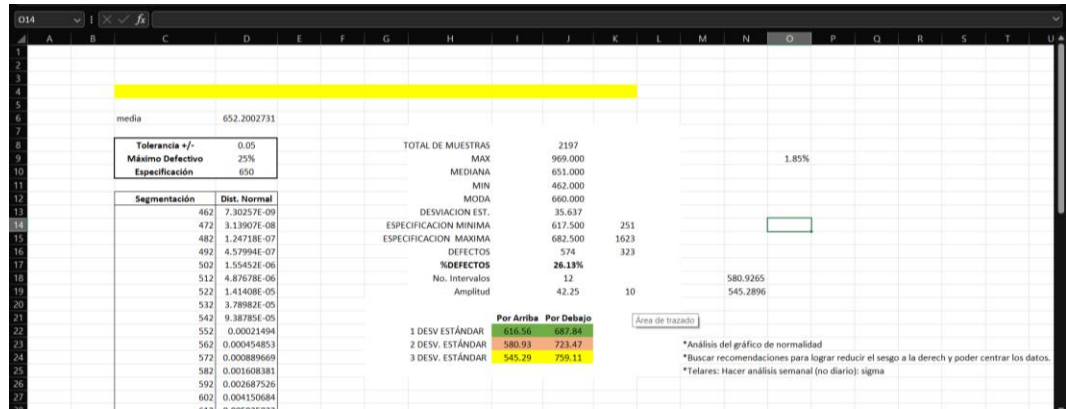
Tabla A128. Cálculos en Excel para sistemas de control especializados –septiembre (den.640)



Fuente: Elaboración propia, 2023.

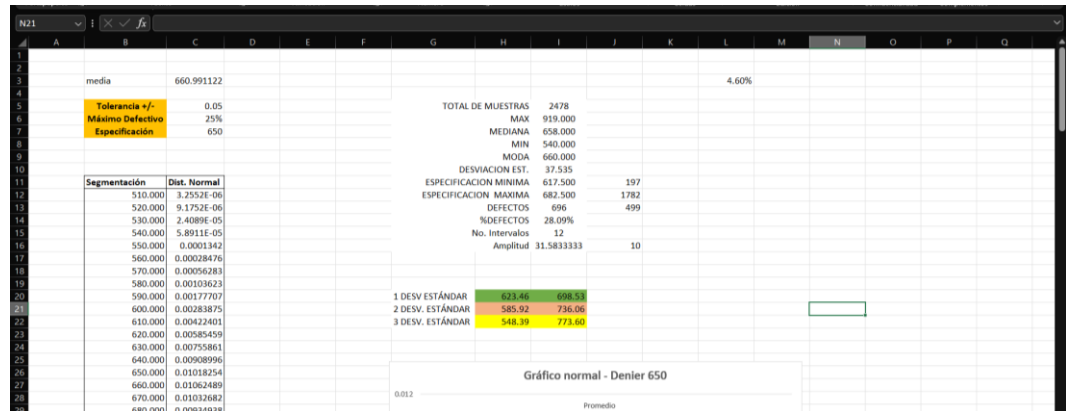
Denier 650:

Tabla A129. Cálculos en Excel para sistemas de control especializados – junio (den. 650)



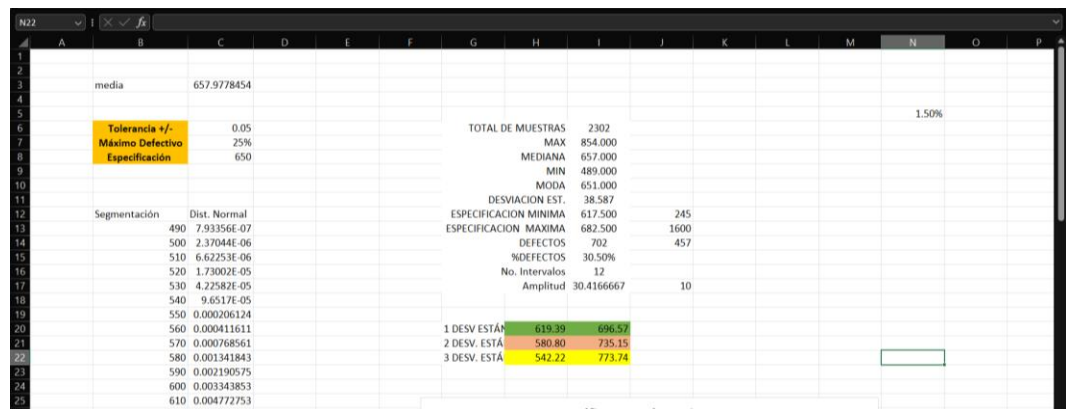
Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla A130. Cálculos en Excel para sistemas de control especializados – julio (den. 650)



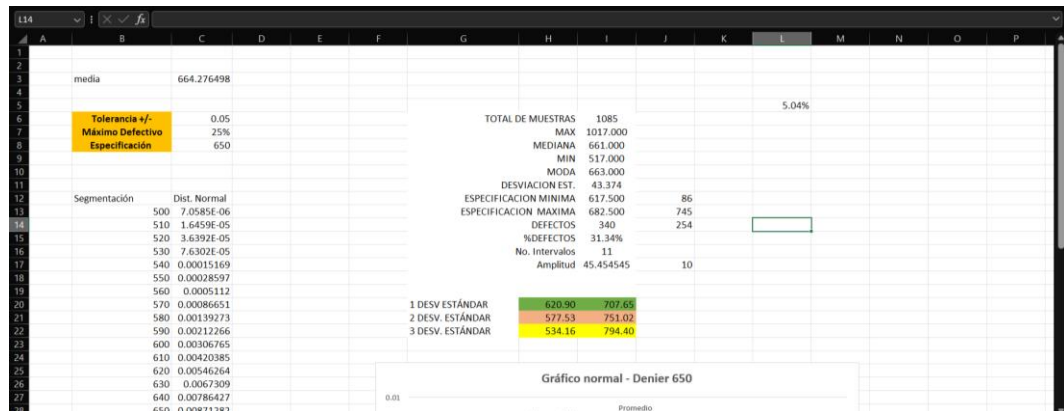
Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla A131. Cálculos en Excel para sistemas de control especializados – agosto (den. 650)



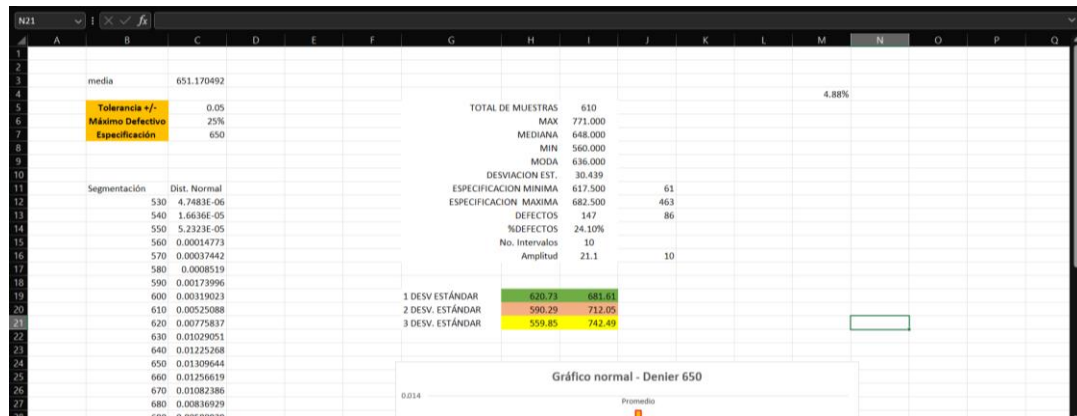
Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla A132. Cálculos en Excel para sistemas de control especializados –septiembre (den.650)



Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla A133. Cálculos en Excel para sistemas de control especializados – diciembre (den. 650)



Fuente: Elaboración propia, 2023.

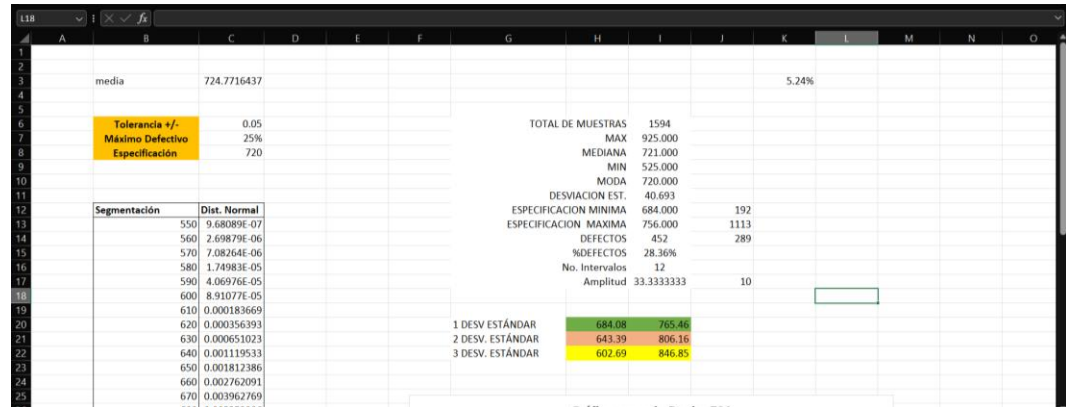
Tabla A134. Cálculos en Excel para sistemas de control especializados – febrero (den. 650)



Fuente: Elaboración propia, 2023.

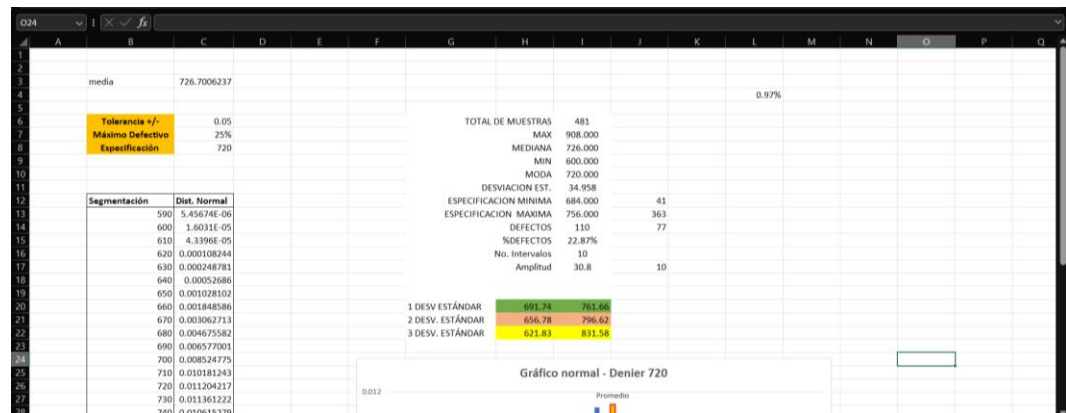
Denier 720:

Tabla A135. Cálculos en Excel para sistemas de control especializados –septiembre (den. 720)



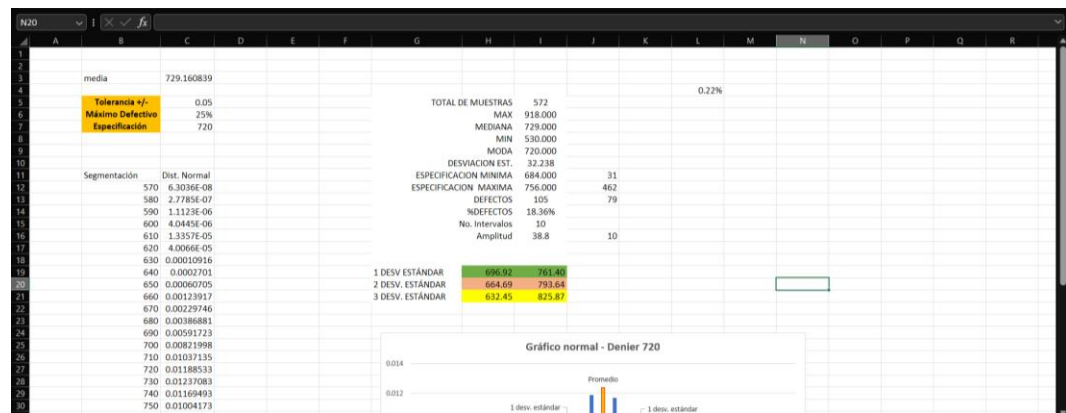
Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla A136. Cálculos en Excel para sistemas de control especializados – octubre (den. 720)



Fuente: Elaboración propia, 2023.

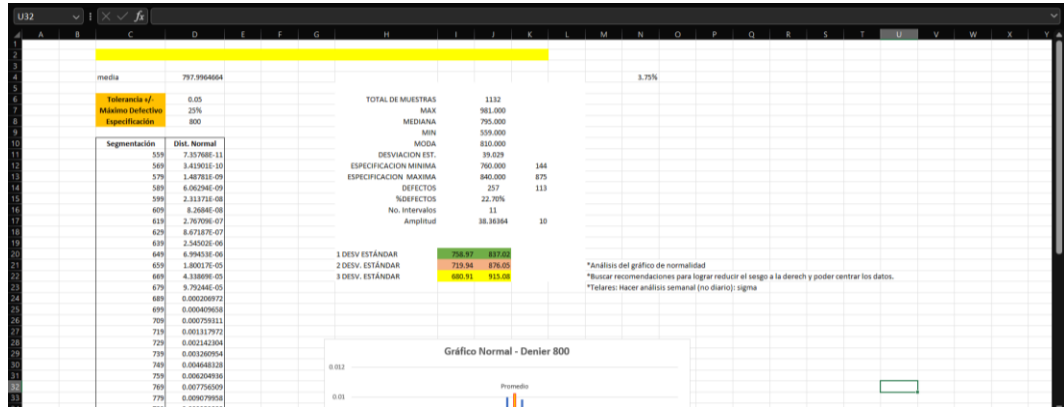
Tabla A137. Cálculos en Excel para sistemas de control especializados – noviembre (den. 720)



Fuente: Elaboración propia, 2023.

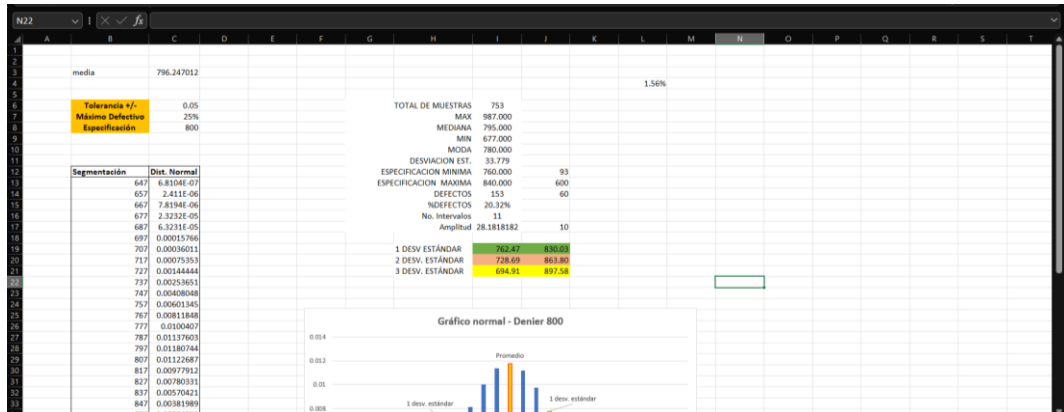
Denier 800:

Tabla A138. Cálculos en Excel para sistemas de control especializados – junio (den. 800)



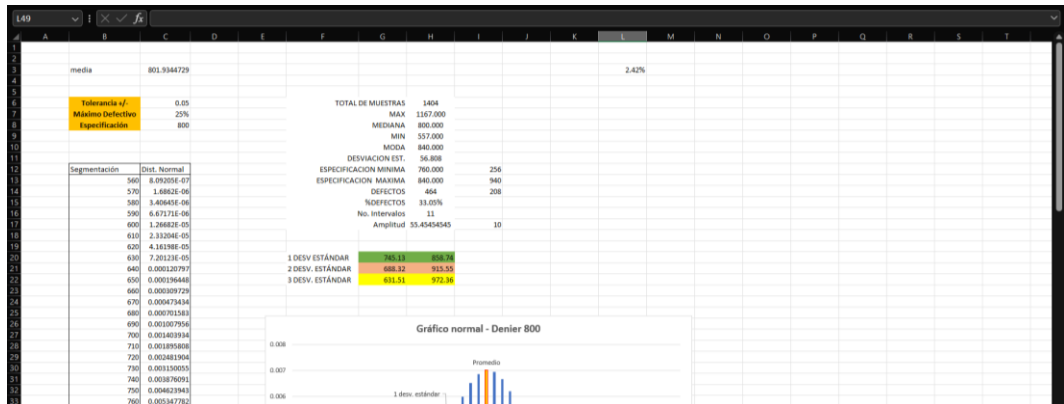
Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla A139. Cálculos en Excel para sistemas de control especializados – julio (den. 800)



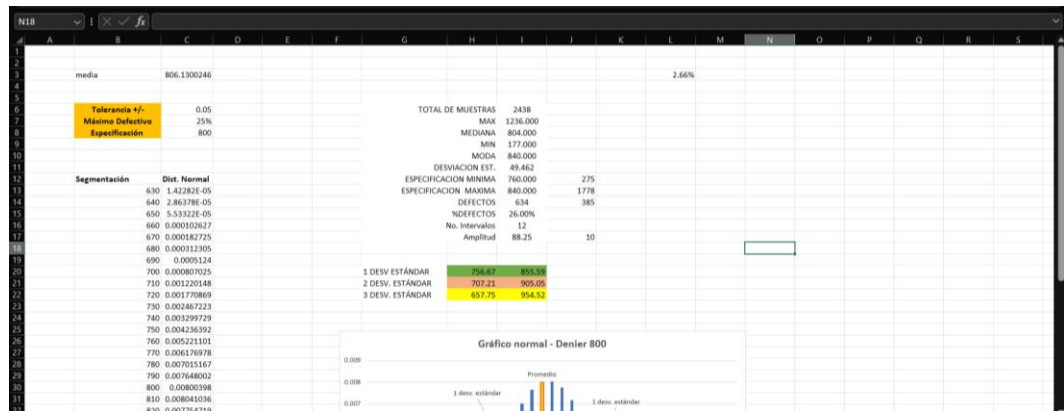
Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla A140. Cálculos en Excel para sistemas de control especializados – agosto (den. 800)



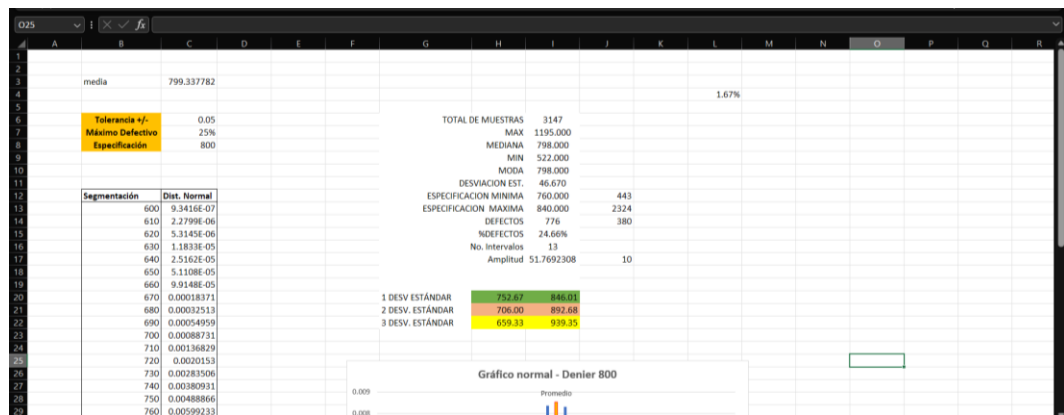
Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla A141. Cálculos en Excel para sistemas de control especializados –septiembre (den.800)



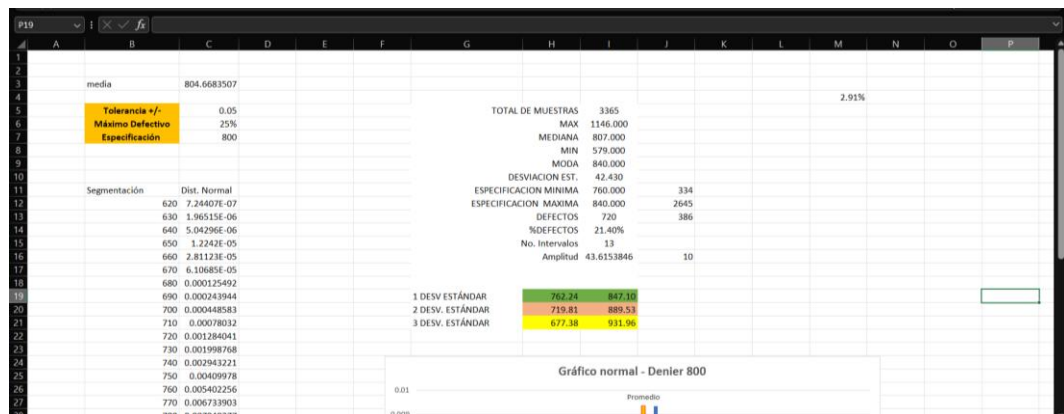
Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla A142. Cálculos en Excel para sistemas de control especializados – octubre (den. 800)



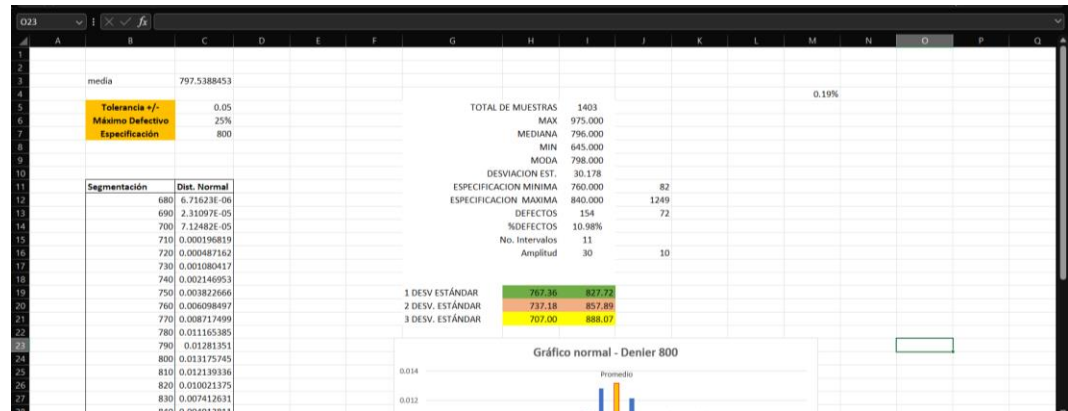
Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla A143. Cálculos en Excel para sistemas de control especializados – noviembre (den. 800)



Fuente: Elaboración propia, 2023.

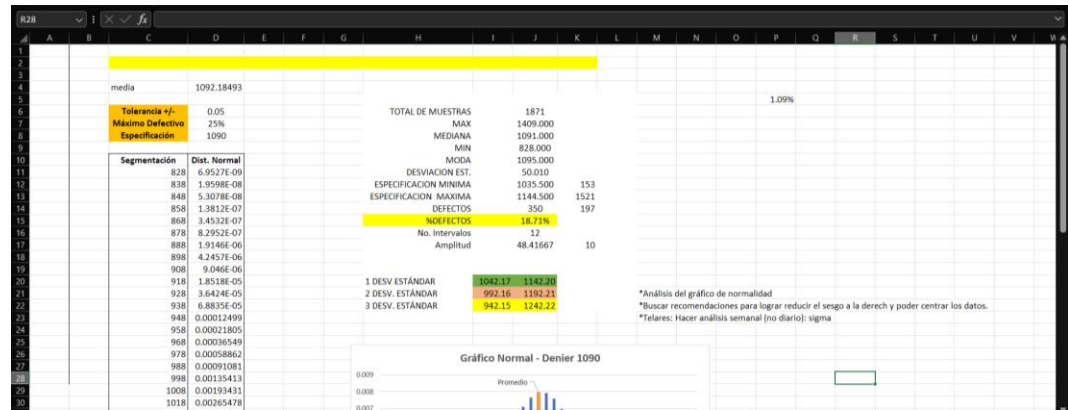
Tabla A144. Cálculos en Excel para sistemas de control especializados – diciembre (den. 800)



Fuente: Elaboración propia, 2023.

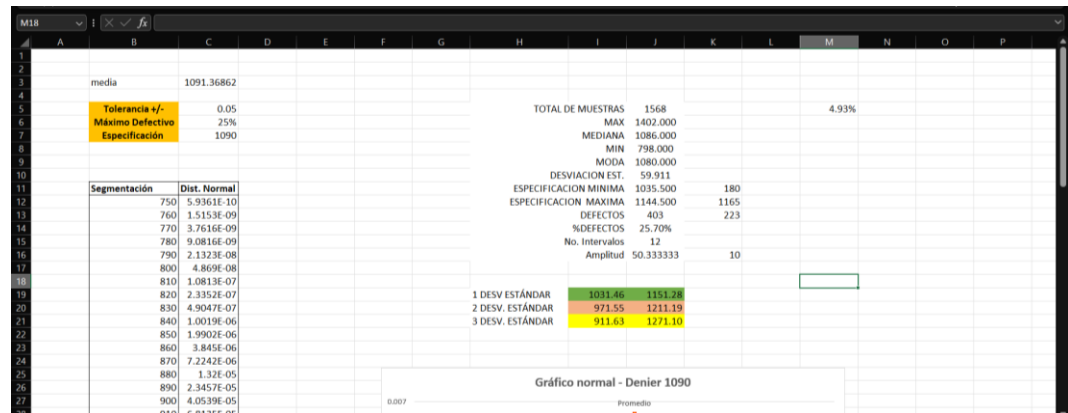
Denier 1,090:

Tabla A145. Cálculos en Excel para sistemas de control especializados – junio (den. 1,090)



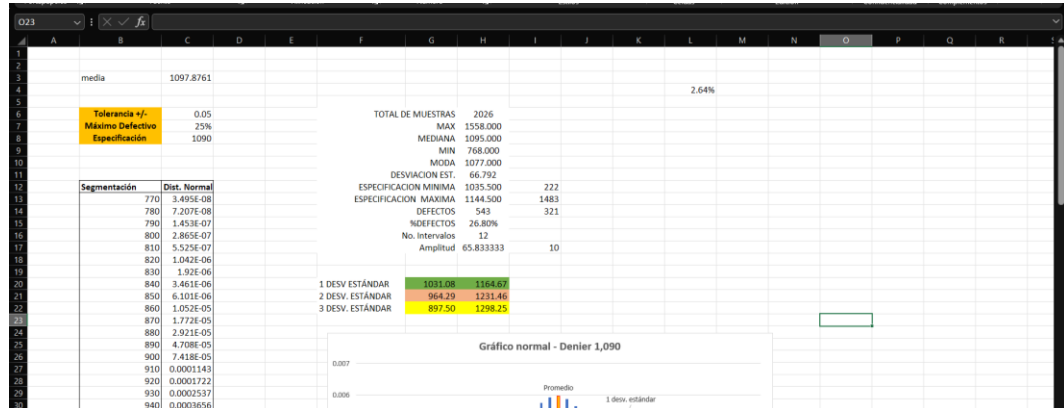
Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla A146. Cálculos en Excel para sistemas de control especializados – julio (den. 1,090)



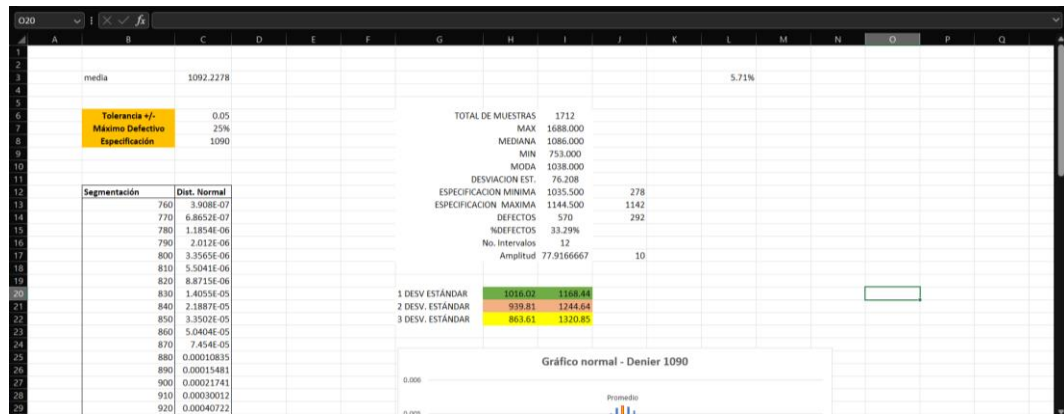
Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla A147. Cálculos en Excel para sistemas de control especializados – agosto (den. 1,090)



Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla A148. Cálculos en Excel para sistemas de control especializados – sept. (den. 1,090)



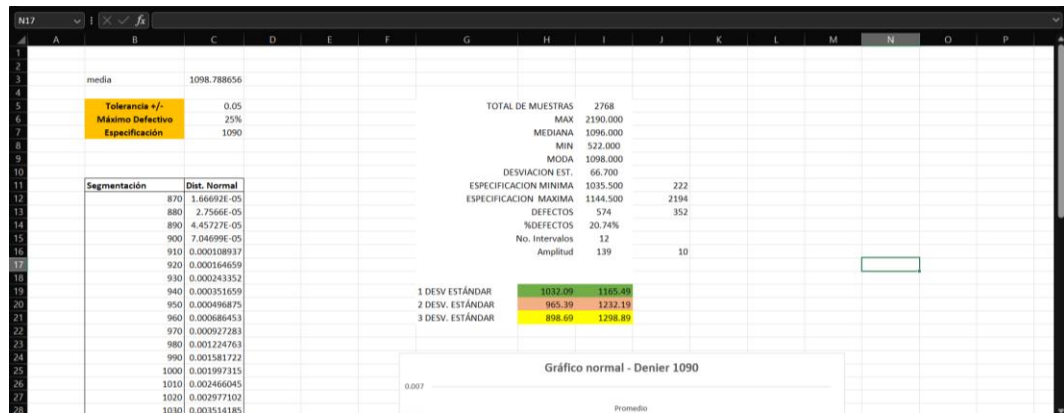
Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla A149. Cálculos en Excel para sistemas de control especializados – octubre (den. 1,090)



Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla A150. Cálculos en Excel para sistemas de control especializados – nov. (den. 1,090)



Fuente: Elaboración propia, 2023.

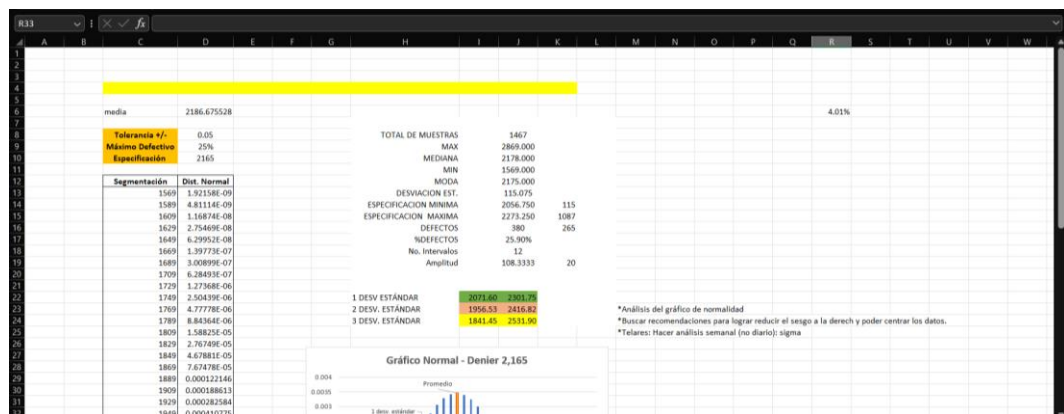
Tabla A151. Cálculos en Excel para sistemas de control especializados – dic. (den. 1,090)



Fuente: Elaboración propia, 2023.

Denier 2,165:

Tabla A152. Cálculos en Excel para sistemas de control especializados – junio (den. 2,165)



Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla A153. Cálculos en Excel para sistemas de control especializados – agosto (den. 2,165)

Segmentación	Dist. Normal
1632.000	6.1334E-07
1647.000	9.706E-07
1662.000	1.5118E-06
1677.000	2.3254E-06
1692.000	3.532E-06
1707.000	5.2978E-06
1722.000	7.8471E-06
1737.000	1.1478E-05
1752.000	1.6578E-05
1767.000	2.3646E-05
1782.000	3.3306E-05
1797.000	4.6326E-05
1812.000	6.363E-05
1827.000	8.6305E-05

Tolerancia +/-	0.05
Máximo Defectivo	25%
Especificación	2165

TOTAL DE MUESTRAS	1419	1.40%
MAX	2687.000	
MEDIANA	2180.000	
MIN	1632.000	
MODA	2148.000	
DESVIACION EST.	133.753	
ESPECIFICACION MINIMA	2056.750	213
ESPECIFICACION MAXIMA	2273.250	908
DEFECTOS	511	298
%DEFECTOS	36.01%	
No. Intervalos	11	
Amplitud	95.9090909	15

1 DESV. ESTÁNDAR	2049.28	2316.78
2 DESV. ESTÁNDAR	1915.52	2450.54
3 DESV. ESTÁNDAR	1781.77	2584.29

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla A154. Cálculos en Excel para sistemas de control especializados – octubre (den. 2,165)

Segmentación	Dist. Normal
1770	1.3177E-05
1780	1.7421E-05
1790	2.2866E-05
1800	2.9797E-05
1810	3.8551E-05
1820	4.9519E-05
1830	6.315E-05
1840	7.9956E-05
1850	0.00010051
1860	0.00012543
1870	0.00015542
1880	0.00019118
1890	0.0002335
1900	0.00028312

Tolerancia +/-	0.05
Máximo Defectivo	25%
Especificación	2165

TOTAL DE MUESTRAS	1786	1.13%
MAX	2706.000	
MEDIANA	2160.000	
MIN	1412.000	
MODA	2088.000	
DESVIACION EST.	117.803	
ESPECIFICACION MINIMA	2056.750	228
ESPECIFICACION MAXIMA	2273.250	1312
DEFECTOS	474	246
%DEFECTOS	26.54%	
No. Intervalos	12	
Amplitud	107.833333	10

1 DESV. ESTÁNDAR	2044.65	2280.25
2 DESV. ESTÁNDAR	1926.84	2398.05
3 DESV. ESTÁNDAR	1809.04	2515.86

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla A155. Cálculos en Excel para sistemas de control especializados – nov. (den. 2,165)

Segmentación	Dist. Normal
1640	1.00782E-05
1650	1.25483E-05
1660	1.55551E-05
1670	1.91979E-05
1680	2.35896E-05
1690	2.88588E-05
1700	3.515E-05
1710	4.26246E-05
1720	5.14618E-05
1730	6.18583E-05
1740	7.40288E-05
1750	8.82049E-05
1760	0.000104634
1770	0.000123579

Tolerancia +/-	0.05
Máximo Defectivo	25%
Especificación	2165

TOTAL DE MUESTRAS	1099	6.09%
MAX	2874.000	
MEDIANA	2130.000	
MIN	1388.000	
MODA	2100.000	
DESVIACION EST.	150.754	
ESPECIFICACION MINIMA	2056.750	268
ESPECIFICACION MAXIMA	2273.250	657
DEFECTOS	442	174
%DEFECTOS	40.22%	
No. Intervalos	11	
Amplitud	135.090909	10

1 DESV. ESTÁNDAR	1992.44	2293.95
2 DESV. ESTÁNDAR	1841.68	2444.70
3 DESV. ESTÁNDAR	1690.93	2593.46

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla A156. Cálculos en Excel para sistemas de control especializados – dic. (den. 2,165)

Tabla A159. Cálculos en Excel de ANOVA – agosto (den. 640)

Turno		Resina		ANÁLISIS DE VARIANZA DE UN FACTOR - TIPO DE EXTRUSOR					
A	B	HOMOPOLYMER	SABIC 506	RESUMEN					
654	635	635	800	Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza	
663	598	598	787	L1	1336	869180	650.5836233	1646.303079	
591	644	644	708	L2	225	148344	659.306667	1224.204643	
684	698	698	707	L3	1187	765943	645.2763269	2968.110703	
654	676	676	576	ANÁLISIS DE VARIANZA					
669	732	732	608	Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	
666	740	740	588	Entre grupos	43711.10256	2	21855.55128	10.01190379	
672	704	704	564	Dentro de los grupos	5992215.816	2745	2182.956581	4.6523E-05	
681	740	740	639	Total	6035926.918	2747		2.99904002	
672	740	740	569	ANÁLISIS DE VARIANZA DE UN FACTOR - TURNO					
678	689	689	568	RESUMEN	Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
636	719	719	552	A	1318	858155	651.1039454	2407.121306	
663	743	743	542	B	1430	925312	647.0713287	1997.617022	
657	716	716	557	ANÁLISIS DE VARIANZA					
633	702	702	568	Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	
630	728	728	585	Entre grupos	376.6039088	1	376.6039088	0.00857256	
672	743	743	518	Dentro de los grupos	418835.449	1906	2197.72374	6.79349912	
651	690	690	505	Total	419601.453	1907		1.8464229	
624	715	715	546	ANÁLISIS DE VARIANZA DE UN FACTOR - TURNO					
663	711	711	528	RESUMEN	Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
639	736	736	625	A	1091	737318	674.887994	2383.02253	
612	714	714	555	B	817	530712	649.5852913	1885.433068	
618	716	716	611	ANÁLISIS DE VARIANZA					
609	726	726	627	Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	
				Entre grupos	29158.72908	1	29158.72908	13.4899381	
				Dentro de los grupos	4119852.724	1906	2161.517993	0.000246461	
				Total	4189011.453	1907		1.8464229	

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla A160. Cálculos en Excel de ANOVA – septiembre (den. 640)

Tipo de Extrusor		Turno		Resina		ANÁLISIS DE VARIANZA DE UN FACTOR - TIPO DE EXTRUSOR					
L1	L2	A	B	HOMOPOLYMER	SABIC 506	RESUMEN					
780	630	642	780	780	711	Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza	
624	513	579	624	624	585	L1	1638	1071220	654.580644	2235.948093	
638	670	665	638	638	609	L2	270	178810	662.262963	1816.312543	
626	672	678	648	648	606	ANÁLISIS DE VARIANZA					
648	648	660	648	660	607	Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	
650	654	669	650	650	607	Entre grupos	376.6039088	1	376.6039088	0.00857256	
656	678	690	656	690	609	Dentro de los grupos	418835.449	1906	2197.72374	6.79349912	
658	666	675	658	687	608	Total	419601.453	1907		1.8464229	
616	651	651	636	636	639	ANÁLISIS DE VARIANZA DE UN FACTOR - TURNO					
654	654	664	634	664	604	RESUMEN	Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
618	714	633	636	636	604	A	1091	737318	674.887994	2383.02253	
660	660	666	660	660	608	B	817	530712	649.5852913	1885.433068	
648	690	672	648	648	627	ANÁLISIS DE VARIANZA					
656	687	658	656	658	604	Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	
636	693	624	636	636	642	Entre grupos	29158.72908	1	29158.72908	13.4899381	
654	654	594	634	634	606	Dentro de los grupos	4119852.724	1906	2161.517993	0.000246461	
692	663	642	692	692	681	Total	4189011.453	1907		1.8464229	
668	669	660	668	668	711	ANÁLISIS DE VARIANZA DE UN FACTOR - TIPO DE EXTRUSOR					
618	633	642	618	648	608	RESUMEN	Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
626	645	657	626	626	668	A	1091	737318	674.887994	2383.02253	
612	642	642	612	612	621	B	817	530712	649.5852913	1885.433068	
632	627	632	632	632	624	ANÁLISIS DE VARIANZA					
634	633	672	634	634	604	Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	
638	672	637	638	638	660	Entre grupos	29158.72908	1	29158.72908	13.4899381	
632	684	632	632	632	639	Dentro de los grupos	4119852.724	1906	2161.517993	0.000246461	
642	600	651	642	642	627	Total	4189011.453	1907		1.8464229	
664	681	666	664	664	637	ANÁLISIS DE VARIANZA DE UN FACTOR - TURNO					
678	651	678	678	678	672	RESUMEN	Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
640	687	666	640	640	672	Turno A	1329	869513	654.212086	1832.9512	
626	687	657	626	626	690	Turno B	868	563371	649.0489309	1005.3578	
						ANÁLISIS DE VARIANZA					
						Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	
						Entre grupos	14386.33394	1	14386.33394	11.301888	
						Dentro de los grupos	2774805.646	2195	1264.057242	0.00078756	
						Total	2789192.04	2196		3.84698794	

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Denier 650:

Tabla A161. Cálculos en Excel de ANOVA – junio (den. 650)

Tipo de Extrusor		Turno		Resina			ANÁLISIS DE VARIANZA DE UN FACTOR - TIPO DE EXTRUSOR					
L1	L2	Turno A	Turno B	NATPEI	SABIC 506	SABIC 506	RESUMEN					
610	675	610	645	684	601	610	Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza	
635	612	635	642	636	565	635	L1	1075	703789	654.6474419	1029.0217	
656	638	651	621	630	651	656	L2	540	351516	650.9555556	987.54904	
648	639	601	648	666	639	648	L3	582	377379	648.761684	1875.5728	
621	639	577	621	638	608	621	ANÁLISIS DE VARIANZA					
660	711	590	660	638	618	627	Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	
635	723	640	635	645	638	651	Entre grupos	14370.16363	2	7185.081816	5.681725	
642	645	646	642	633	616	647	Dentro de los grupos	2774821.716	2194	1264.595513	0.00045801	
670	612	652	670	634	620	653	Total	2788891.88	2196		2.999826433	
666	657	650	666	640	620	651	ANÁLISIS DE VARIANZA DE UN FACTOR - TURNO					
647	683	656	647	658	650	675	RESUMEN	Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
653	681	643	653	643	632	643	Turno A	1329	869513	654.212086	1832.9512	
687	714	695	687	642	634	649	Turno B	868	563371	649.0489309	1005.3578	
671	638	676	671	665	642	689	ANÁLISIS DE VARIANZA					
683	609	700	683	666	659	679	Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	
700	663	678	700	680	662	678	Entre grupos	14386.33394	1	14386.33394	11.301888	
743	666	678	743	674	620	637	Dentro de los grupos	2774805.646	2195	1264.057242	0.00078756	
746	687	678	746	642	617	629	Total	2788891.88	2196		3.84698794	
750	684	675	750	662	647	695	ANÁLISIS DE VARIANZA DE UN FACTOR - TIPO DE EXTRUSOR					
737	654	650	737	660	678	691	RESUMEN	Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
733	588	640	733	652	646	702	Turno A	1329	869513	654.212086	1832.9512	
725	611	580	725	711	695	727	Turno B	868	563371	649.0489309	1005.3578	
735	639	573	735	710	626	711	ANÁLISIS DE VARIANZA					
756	627	603	756	707	620	738	Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	
733	633	639	733	713	611	693	Entre grupos	14386.33394	1	14386.33394	11.301888	
735	654	666	735	666	634	639	Dentro de los grupos	2774805.646	2195	1264.057242	0.00078756	
769	654	648	769	688	639	639	Total	2788891.88	2196		3.84698794	
711	702	640	711	673	648	648	ANÁLISIS DE VARIANZA DE UN FACTOR - TURNO					
684	684	672	684	672	631	644	RESUMEN	Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
643	648	752	643	650	620	640	Turno A	1329	869513	654.212086	1832.9512	
655	616	645	655	650	630	646	Turno B	868	563371	649.0489309	1005.3578	
678	651	577	678	658	642	635	ANÁLISIS DE VARIANZA					
681	705	808	681	682	654	626	Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	
664	683	645	664	648	624	651	Entre grupos	14386.33394	1	14386.33394	11.301888	
655	669	689	655	651	658	650	Dentro de los grupos	2774805.646	2195	1264.057242	0.00078756	
							Total	2788891.88	2196		3.84698794	

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla A162. Cálculos en Excel de ANOVA – julio (den. 650)

Turno	
A	B
663	673
615	617
690	672
672	687
678	690
678	650
654	623
705	687
669	657
630	642
627	627
663	610
675	659
663	630
678	632
663	674
672	678
648	663
639	652
660	674
642	649
624	639
669	657
624	620

RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
A	64	42328	661.375	486.9047619		
B	98	64043	653.5	529.8195876		

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	2401	1	2401	4.681024766	0.031981363	3.900236172
Dentro de los grupos	82067.5	160	512.921875			
Total	84468.5	161				

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla A163. Cálculos en Excel de ANOVA – agosto (den. 650)

Resina			
HOMOPOLYMER	NATPET	SABIC 500	SABIC 506
742	576	722	753
669	555	681	693
694	567	681	681
655	591	636	696
658	555	602	663
662	618	645	678
642	663	626	654
663	654	615	651
664	630	615	603
636	644	598	618
632	682	602	597
664	726	635	585
660	711	602	609
645	672	618	627
653	675	638	648
668	675	638	627
662	678	630	672
658	726	634	648
661	672	592	672
676	675	616	630
653	678	586	682
671	682	608	600
644	690	595	714
651	723	660	708
636	705	656	735
641	650	671	630
661	666	695	642
708	714	666	705
661	696	618	678
707	669	636	696
704	636	665	747

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
L1	1513	995393	657.893889	1501.782981		
L2	629	413711	657.728199	1499.701452		
L3	360	105061	659.7625	1348.110028		

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	555.999627	2	277.9998135	0.226571917	0.829814446	2.999693282
Dentro de los grupos	342565.873	2299	1486.033003			
Total	342641.87	2301				

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
A	1087	713845	656.7111316	1512.329001		
B	1215	800620	659.1111111	1462.123558		

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	3304.578605	1	3304.578605	2.220512074	0.138121181	3.84500979
Dentro de los grupos	342287.295	2300	1488.190128			
Total	342641.87	2301				

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla A164. Cálculos en Excel de ANOVA – septiembre (den. 650)

Turno		
A	B	
654	654	720
651	651	700
723	723	696
702	702	712
825	825	700
792	792	692
732	732	630
702	702	650
717	717	643
669	669	538
711	711	620
756	756	646
717	717	690
762	762	654
763	763	612
765	765	622
732	732	630
744	744	620
765	765	661
756	756	646
774	774	680
837	837	665
750	750	626
870	870	710
813	813	602
789	789	660
756	756	648
768	768	680
768	768	686
720	720	712
696	696	685

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
L1	592	391324	661.02093	1151.33969		
L2	493	329416	668.1866126	2733.818764		

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	13514.46229	1	13514.46229	7.386426089	0.006766668	3.850095527
Dentro de los grupos	2025480.588	1083	1870.249831			
Total	2039295.051	1084				

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
A	498	334154	671.397904	2772.058908		
B	587	386384	658.2339017	1049.313476		

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	46678.21851	1	46678.21851	25.38990917	5.54079E-07	3.850095527
Dentro de los grupos	1992036.834	1083	1839.04741			
Total	2039295.051	1084				

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla A165. Cálculos en Excel de ANOVA – diciembre (den. 650)

ANÁLISIS DE VARIANZA DE UN FACTOR - TURNO				
RESUMEN				
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
A	338	213959	632.718639	836.044818
B	282	183255	649.844255	1031.87816
ANÁLISIS DE VARIANZA				
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F
Entre grupos	927.7942157	1	927.7942157	1.00133916
Dentro de los grupos	563344.4746	608	926.5534122	
Total	564272.2689	609		

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla A166. Cálculos en Excel de ANOVA – febrero (den. 650)

ANÁLISIS DE VARIANZA DE UN FACTOR - TIPO DE EXTRUSOR				
RESUMEN				
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
BARRAJO 2	89	57097	641.539236	248.975495
BARRAJO 1	360	233225	648.119444	231.6912142
ANÁLISIS DE VARIANZA				
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F
Entre grupos	308.880787	1	308.880787	11.03301791
Dentro de los grupos	105805.9762	447	236.7024077	
Total	108895.657	448		

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Denier 720:

Tabla A167. Cálculos en Excel de ANOVA – septiembre (den. 720)

ANÁLISIS DE VARIANZA DE UN FACTOR - EXTRUSOR				
RESUMEN				
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
L1	1055	746551	708.580238	188.348751
L2	539	388735	721.215214	1053.864178
ANÁLISIS DE VARIANZA				
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F
Entre grupos	10300.77554	1	10300.77554	6.240757189
Dentro de los grupos	262758.409	1592	1650.56337	
Total	263789.1878	1593		

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla A168. Cálculos en Excel de ANOVA – octubre (den. 720)

The screenshot shows an Excel spreadsheet with two main ANOVA analyses. The first is for 'Turno' (Shift) with two groups (A and B). The second is for 'Tipo de Resina' (Resin Type) with two groups (HOMOPOLIMER and SABIC 506). Both analyses include summary statistics and ANOVA tables with columns for 'Origen de las variaciones', 'Suma de cuadrados', 'Grados de libertad', 'Promedio de los cuadrados', 'F', 'Probabilidad', and 'Valor crítico para F'. The results indicate that the turno factor is not significant (p > 0.05), while the tipo de resina factor is significant (p < 0.05).

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla A169. Cálculos en Excel de ANOVA – noviembre (den. 720)

The screenshot shows an Excel spreadsheet with two main ANOVA analyses. The first is for 'Tipo de Extrusor' (Extruder Type) with three groups (L1, L2, L3). The second is for 'Turno' (Shift) with two groups (A and B). Both analyses include summary statistics and ANOVA tables with columns for 'Origen de las variaciones', 'Suma de cuadrados', 'Grados de libertad', 'Promedio de los cuadrados', 'F', 'Probabilidad', and 'Valor crítico para F'. The results indicate that the tipo de extrusor factor is significant (p < 0.05), while the turno factor is not significant (p > 0.05).

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Denier 800:

Tabla A170. Cálculos en Excel de ANOVA – junio (den. 800)

The screenshot shows an Excel spreadsheet with two main ANOVA analyses. The first is for 'Tipo de Extrusor' (Extruder Type) with three groups (L1, L2, L3). The second is for 'Turno' (Shift) with two groups (Turno A and Turno B). Both analyses include summary statistics and ANOVA tables with columns for 'Origen de las variaciones', 'Suma de cuadrados', 'Grados de libertad', 'Promedio de los cuadrados', 'F', 'Probabilidad', and 'Valor crítico para F'. The results indicate that the tipo de extrusor factor is significant (p < 0.05), while the turno factor is not significant (p > 0.05).

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla A171. Cálculos en Excel de ANOVA – julio (den. 800)

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following structure:

- Columns:** V, W, X, Y, Z, AA, AB, AC, AD, AE, AF, AG, AH, AI, AJ, AK, AL, AM.
- Rows:** 2 to 34.
- Resina Data:**

Turno	Resina	HOMOPOLYMER	SABIC 500
732	793	830	793
771	784	808	784
777	793	822	793
807	727	852	727
822	790	810	790
756	804	796	804
774	750	760	750
834	774	775	774
813	747	822	747
736	787	820	787
756	734	850	734
174	757	820	757
774	782	798	782
777	767	788	767
753	847	778	847
810	794	782	794
785	811	795	811
735	845	796	845
785	831	804	831
780	824	838	824
822	824	802	824
801	768	790	768
819	805	796	805
786	806	782	806
825	790	760	790
789	806	746	806
762	808	802	808
786	790	802	790
804	775	815	775
819	785	782	785
774	814	814	814
816	816	783	816
- ANÁLISIS DE VARIANZA DE UN FACTOR - TIPO DE EXTRUSOR:**

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
L1	485	387208	798.36703	1249.889819
L2	268	212366	792.430478	924.959441
Total	85046.0558	752		
- ANÁLISIS DE VARIANZA DE UN FACTOR - TURNO:**

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
A	223	178950	802.466377	1187.025756
B	530	420634	793.631887	1100.706081
Total	85046.0558	752		

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla A172. Cálculos en Excel de ANOVA – agosto (den. 800)

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following structure:

- Columns:** G, H, I, J, K, L, M, N, O, P, Q, R, S, T, U, V, W, X, Y, Z, AA, AB, AC, AD, AE, AF, AG, AH, AI, AJ, AK, AL, AM.
- Rows:** 2 to 34.
- Tipo de Extrusor Data:**

Tipo de Extrusor	Turno	A	B
1020	1167	1050	1167
795	816	816	795
749	798	749	798
753	828	828	753
852	819	819	852
785	861	801	785
772	864	864	772
800	849	849	800
817	825	802	817
824	789	789	824
814	840	840	814
794	888	810	794
828	833	833	828
823	855	855	823
794	888	888	794
869	834	834	869
842	738	738	842
805	717	717	805
793	840	840	793
737	828	828	737
765	861	765	861
762	783	783	762
781	837	837	781
735	824	824	735
795	849	849	795
784	795	784	795
796	813	796	813
812	801	801	812
817	777	817	777
776	852	776	852
792	960	960	792
- ANÁLISIS DE VARIANZA DE UN FACTOR - TIPO DE EXTRUSOR:**

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
L1	314	246807	786.015541	1330.840281
L2	1167	1088	87952	805.994485
Total	486692.618	1403		
- ANÁLISIS DE VARIANZA DE UN FACTOR - TURNO:**

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
A	618	493711	798.881133	3009.210443
B	786	632205	804.332061	3326.690868
Total	452726.972	1403		

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla A173. Cálculos en Excel de ANOVA – septiembre (den. 800)

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following structure:

- Columns:** W, X, Y, Z, AA, AB, AC, AD, AE, AF, AG, AH, AI, AJ, AK, AL, AM.
- Rows:** 2 to 34.
- Resina Data:**

Turno	Resina	HOMOPOLYMER	SABIC 500
780	702	702	624
840	754	754	648
807	794	794	612
795	766	766	717
768	774	774	786
786	778	778	798
774	767	767	828
762	792	792	831
762	784	784	792
783	772	772	840
774	766	766	783
810	816	816	783
804	810	810	798
822	844	844	777
798	796	796	766
768	740	740	810
798	812	812	818
816	804	804	852
786	802	802	867
813	824	824	852
813	806	806	786
825	838	838	768
801	812	812	760
804	818	818	762
774	804	804	798
807	806	806	822
789	798	798	780
780	788	788	849
783	782	782	763
756	786	786	840
- ANÁLISIS DE VARIANZA DE UN FACTOR - TIPO DE EXTRUSOR:**

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
L1	132	104396	790.870379	763.412044
L2	582	476818	819.274514	2620.400316
L3	1724	1384131	802.862088	2431.939204
Total	562013.782	2437		
- ANÁLISIS DE VARIANZA DE UN FACTOR - TURNO:**

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
A	1188	958151	806.5244108	2854.067043
B	1250	1007934	806.3552	2058.847951
Total	2438	1966085	806.4398408	2456.457497

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla A174. Cálculos en Excel de ANOVA – octubre (den. 800)

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla A175. Cálculos en Excel de ANOVA – noviembre (den. 800)

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla A176. Cálculos en Excel de ANOVA – diciembre (den. 800)

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Denier 1,090:

Tabla A177. Cálculos en Excel de ANOVA – junio (den. 1,090)

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla A178. Cálculos en Excel de ANOVA – julio (den. 1,090)

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla A179. Cálculos en Excel de ANOVA – agosto (den. 1,090)

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla A180. Cálculos en Excel de ANOVA – septiembre (den. 1,090)

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla A181. Cálculos en Excel de ANOVA – octubre (den. 1,090)

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla A182. Cálculos en Excel de ANOVA – noviembre (den. 1,090)

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla A183. Cálculos en Excel de ANOVA – diciembre (den. 1,090)

ANÁLISIS DE VARIANZA DE UN FACTOR - TIPO DE EXTRUSOR

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
L2	1340	1677787	1251.334	1089.472078
L3	460	303684	660.182	1094.963217

ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad F	Valor crítico para F
Entre grupos	10607.83667	1	10607.83667	4.216849083	0.04015413	3.846117225
Dentro de los grupos	5064041.243	1998	2534.55177			
Total	5074749.08	1999				

ANÁLISIS DE VARIANZA DE UN FACTOR - TURNO

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
A	1266	1385620	1094.486572	3438.741717
B	734	799531	1089.286254	2668.239011

ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad F	Valor crítico para F
Entre grupos	48237.62396	1	48237.62396	19.29453957	1.17876E-05	3.846117225
Dentro de los grupos	5620191.467	1998	2815.11434			
Total	5074749.08	1999				

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Denier 2,165:

Tabla A184. Cálculos en Excel de ANOVA – junio (den. 2,165)

ANÁLISIS DE VARIANZA DE UN FACTOR - TURNO

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
A	734	1568137	2136.299727	14179.97806
B	793	1648338	2078.721047	12312.36925

ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad F	Valor crítico para F
Entre grupos	13577.25168	1	13577.25168	1.625313638	0.31142911	3.847614136
Dentro de los grupos	1939966.4	1465	1324.58478			
Total	1941303.55	1466				

ANÁLISIS DE VARIANZA DE UN FACTOR - TIPO DE RESINA

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
NATPET	309	675853	2187.250162	6662.043143
SABIC 500	709	1555237	2194.561757	18348.65018
SABIC 506	449	970751	2161.999999	9964.751202

ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad F	Valor crítico para F
Entre grupos	90876.4991	2	45438.24955	3.442534108	0.032242674	3.001870707
Dentro de los grupos	19322183.05	1464	13201.39881			
Total	19413033.55	1466				

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla A185. Cálculos en Excel de ANOVA – agosto (den. 2,165)

ANÁLISIS DE VARIANZA DE UN FACTOR - TURNO

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
A	665	1455564	2189.814045	16971.5318
B	794	1642354	2068.583627	18667.79222

ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad F	Valor crítico para F
Entre grupos	41943.29344	1	41943.29344	2.346749467	0.125707761	3.848029691
Dentro de los grupos	2532944.52	1417	1787.53319			
Total	2536787.82	1418				

ANÁLISIS DE VARIANZA DE UN FACTOR - TIPO DE RESINA

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
HOMOPOLYMER	1323	2902670	2194.109289	17555.77296
SABIC 500	90	195048	2167.22206	11685

ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad F	Valor crítico para F
Entre grupos	24076.83627	1	24076.83627	1.346167105	0.246144751	3.848029691
Dentro de los grupos	2534810.89	1417	1788.5485			
Total	2536787.82	1418				

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla A186. Cálculos en Excel de ANOVA – octubre (den. 2,165)

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla A187. Cálculos en Excel de ANOVA – noviembre (den. 2,165)

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla A188. Cálculos en Excel de ANOVA – diciembre (den. 2,165)

Fuente: Elaboración propia, 2023.

12.12 Más información relacionada

Figura A189. Diseños experimentales para el estudio de diferentes escenarios en análisis Cpk

esp.	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM
			5	10	15												
Datos																	
15						prom		10.428571									
5						desvest		4.8255274									
15																	
5																	
14																	
6																	
13																	
12																	
14																	
11																	
10																	
9																	
10																	
15																	
5																	
6																	
9																	
10																	
15																	
5																	
6																	
9																	
10																	
13																	
9																	
10																	
7																	
6																	
7																	

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Figura A190. Manual de mantenimiento y puesta a punto del extrusor

- 7.3.10. Verificar que el depósito de desperdicio se encuentre vacío.
- 7.3.11. Encender el horno de estiramiento.

Nota: No se deberá arrancar el Extrusor hasta que todas las temperaturas estén correctas. Las temperaturas correctas varían dependiendo del material a utilizar.

- 7.3.12. Limpieza del labio, la cual puede ser con una esponja o con una espátula de aluminio o cobre, utilizando el equipo de EPP.



Espát

8. CONDICIONES (PARAMETROS DEL PROCESO)

Condición(parámetro De proceso)	Punto de Medición	Seguimiento
Temperatura	Panel de Control del extrusor polipropileno de 200°C a 300°C	Al inicio, y al tener enhebrado el extrusor
Velocidad	Pantalla del computador del extrusor (50 mts por minuto al inicio)	Inspección durante el proceso de arranque.

9. CUIDADOS DE CALIDAD

MTPD-01
Versión 07