

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

**OPTIMIZACIÓN DEL DESEMPEÑO FUNCIONAL DE LOS SACOS
DE POLIPROPILENO MEDIANTE EL DISEÑO EXPERIMENTAL DE
TAGUCHI**

**TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL GRADO DE MAGÍSTER EN DISEÑO,
PRODUCCIÓN Y AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL**

WASHINGTON SALVATORE REINA GUZMÁN

salvatore7reina@gmail.com

DIRECTOR: ING. IVÁN ZAMBRANO

ivan.zambrano@epn.edu.ec

Quito, mayo del 2013

DECLARACIÓN

Yo, Salvatore Reina Guzmán, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

SALVATORE REINA GUZMÁN

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Salvatore Reina Guzmán, bajo mi supervisión.

Ing. Iván Zambrano
DIRECTOR DE PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

Mi agradecimiento sincero al Profesor Ing. Iván Zambrano por su acertada dirección, experiencia.

Al personal administrativo de la maestría de Diseño, Producción y Automatización Industrial.

DEDICATORIA

A Jehová por su infinita misericordia y sabiduría quién con su guía e instrucción me ha permitido prevalecer durante todo este tiempo.

A mis padres, a mis queridos hermanos Juan Carlos, Gina, Rossana quienes estuvieron conmigo y me apoyaron en todo momento.

A Pauli quién con su apoyo, paciencia y amor ha sabido ser un soporte en los momentos más difíciles de mi vida.

Especialmente a mi hija Isabelita quién ya está dando sus primeros pasitos.

SIMBOLOGÍA

PP	Polipropileno.
IF	Índice de fluidez.
PM	Peso molecular.
DRU	Densidad reticular unitaria.
CTX	Característica crítica del proceso.
CTY	Característica crítica del producto.
CTS	Características críticas de satisfacción.
CTQ	Características críticas de calidad.
2^k	Corrida experimental dos factores, k niveles.
KCC	Características críticas del proceso.
KPC	Características críticas del producto.
SN	Índice señal de ruido.
\bar{y}	Media muestral.
μ	Media poblacional.
σ^2	Varianza poblacional.
S^2	Varianza muestral.
F_0	Estadístico de prueba.
DMAIC	Definir, medir, analizar, mejorar y controlar.
DOE	Diseño de experimentos y Taguchi.
Σ	Letra sigma.
ANOVA	Análisis de variabilidad.
L8	Diseño ortogonal ocho filas.

CONTENIDO

RESUMEN	XVII
INTRODUCCIÓN	XVIII
CAPÍTULO 1: DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN DEL MERCADO DE LOS SACOS DE POLIPROPILENO.....	1
1.1 MERCADO DE SACOS DE POLIPROPILENO POR SECTOR	1
1.1.1 Ventas de sacos de polipropileno de acuerdo a sus especificaciones	2
1.1.2 Quejas y devoluciones	3
1.2 PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL POLIPROPILENO	6
1.2.1 Índice de fluidez	7
1.2.2 Resistencia máxima a la tracción	8
1.2.3 Elongación al punto de cedencia	8
1.3 PROCESO DE PRODUCCIÓN DE SACOS DE POLIPROPILENO	9
1.3.1 Características del polipropileno comercial 03H82	9
1.3.2 Características del carbonato de calcio Comai 707-5PS.....	11
1.3.3 Descripción del proceso de producción de sacos de polipropileno (PP)	12
CAPÍTULO 2: APLICACIÓN DE LA FASE I DE LA METODOLOGÍA SIX SIGMA	15
2.1 SIX SIGMA EN LA INDUSTRIA	15
2.2 FASE DEFINE(DEFINIR)	17
2.2.1 Definir foco de mejora	17
2.2.2 Identificar características críticas	17
2.2.3 Definir parámetros de desempeño	17
2.2.4 Matriz de priorización.....	18
2.2.5 Análisis de Pareto	18
2.2.6 Critical to flowdown	19
2.2.6.1 Características CTS(critical to satisfaction).....	19
2.2.6.2 Características CTY (critical to product).....	19
2.2.6.3 Características CTX (critical to process)	19
2.3 DEFINIR EL FOCO DE MEJORA	20

2.4 IDENTIFICAR CARACTERÍSTICAS CRÍTICAS	21
2.4.1 Despliegue simplificado de las características críticas	21
2.5 DISEÑO DE EXPERIMENTOS DE TAGUCHI	21
2.5.1 Diseños factoriales	22
2.5.1.1 Análisis de modelo con efectos fijos	24
2.5.2 Matriz Ortogonal	24
2.6 PROPIEDADES DEL DISEÑO ROBUSTO	26
2.6.1 Diferencias entre la metodología clásica y Taguchi	27
2.6.1.1 Metodología de Taguchi	27
2.7 INFLUENCIA EN LOS FACTORES POR LA SEÑAL DE RUIDO	28
2.7.1 Factores que afectan al proceso	29
2.7.2 Análisis señal de ruido o diseño directo de productos	29
2.7.3 Índices señal ruido	30
2.7.3.1 Caso nominal es mejor	30
2.7.3.2 Caso menor es mejor	30
2.7.3.3 Caso mayor es mejor	31
2.7.4 Diseño de parámetros con análisis señal a ruido	31
2.8 ANÁLISIS ESTADÍSTICO INFERENCIAL	32
2.8.1 Propiedades de la media y la varianza muestrales.....	33
2.8.1.1 Grados de libertad	34
2.8.2 Hipótesis estadísticas.....	34
2.8.3 Inferencias acerca de las varianzas de distribuciones normales.....	35
2.8.3.1 Valor P en la prueba de hipótesis.....	36
2.8.4 Análisis de varianza del modelo de tres factores con efectos fijos (ANOVA)	37
CAPÍTULO 3: DISEÑO DE EXPERIMENTOS DE TAGUCHI	38
3.1 TEORÍA DEL DISEÑO DE EXPERIMENTOS DE TAGUCHI	39
3.1.1 Requerimientos del cliente (voz del cliente).....	39
3.1.2 Árbol CTS (características críticas de satisfacción del cliente)	41
3.1.3 Definir parámetros de desempeño (matriz CTY)	43
3.1.3.1 Matriz CTX (características críticas del proceso)	45
3.1.4 Medición de las CTY versus CTX antes de la mejora	46

3.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO INFERENCIAL	51
3.2.1 Matriz de selección de herramientas para el análisis de variabilidad	51
3.2.2 Procedimiento para análisis de regresión	52
3.2.2.1 Análisis de regresión título del hilo.....	53
3.2.2.2 Análisis de regresión tenacidad	55
3.2.2.3 Análisis de regresión elongación	56
CAPÍTULO 4: APLICACIÓN DEL DISEÑO DE EXPERIMENTOS DE TAGUCHI A LAS CARACTERÍSTICAS CRÍTICAS	59
4.1 INGRESO DE LAS CARACTERÍSTICAS CRÍTICAS DEL PROCESO AL MINITAB 16.....	59
4.1.1 Creación del diseño de Taguchi, título del hilo.....	62
4.1.2 Creación del diseño de Taguchi, tenacidad del hilo	62
4.1.3 Creación del diseño de Taguchi, elongación del hilo	63
4.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL DISEÑO EXPERIMENTAL DE TAGUCHI ..	64
4.2.1 Análisis estadístico multi-vari	64
4.2.2 Prueba de hipótesis para las características del proceso	68
4.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS DE LA CORRIDA EXPERIMENTAL	78
4.3.1 Análisis estadístico multi-vari	78
4.3.2 Prueba de hipótesis para las características del proceso	81
4.4 ANÁLISIS DEL GRÁFICO EFECTOS- RESIDUALES DE LA CORRIDA EXPERIMENTAL	88
4.4.1 El supuesto de la normalidad	88
4.4.2 Análisis efectos-residuales, título del hilo	89
4.4.3 Análisis efectos-residuales, tenacidad	91
4.4.4 Análisis efectos-residuales, elongación	93
4.5 OBTENCIÓN DE LOS PARÁMETROS ÓPTIMOS DE CALIBRACIÓN	95
4.5.1 Obtención del título de hilo 750 denier \pm 3% para un diseño Robusto.....	96

4.5.2 Obtención de la tenacidad del hilo [4-8] gr/denier para un saco con diseño robusto	96
4.5.3 Obtención de la elongación del hilo [18-34] % para un saco con diseño robusto	97
CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	98
5.1 CONCLUSIONES	98
5.2 RECOMENDACIONES	100
BIBLIOGRAFÍA	102

ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1.1 CONSUMO DE SACOS POR SECTORES	1
GRÁFICO 1.2 DEVOLUCIONES POR SECTOR Y ANCHO	5
GRÁFICO 1.3 MEDIDOR DE ÍNDICE DE FLUIDEZ	7
GRÁFICO 1.4 PORCENTAJE DE CONSUMO DE MATERIA PRIMA	10
GRÁFICO 1.5 PRESENTACIÓN EN PELLETS DEL POLIPROPILENO 03H82	11
GRÁFICO 1.6 PRESENTACIÓN EN PELLTS DEL CARBONATO DE CALCIO COMAI 707-5PS	12
GRÁFICO 1.7 COMPONENTES PRINCIPALES PARA EL PROCESO DE EXTRUSIÓN	12
GRÁFICO 2.1 PROCESO SIX SIGMA PLUS ®-DMAIC	16
GRÁFICO 2.2 MATRIZ ORTOGONAL L_8	25
GRÁFICO 2.3 ORTOGONALIDAD	26
GRÁFICO 2.4 MATRIZ DE CLASIFICACIÓN VARIABLES DE CONTROL Y RUIDO	27
GRÁFICO 3.1 FLUJOGRAMA GENERAL DE LA ESTRATEGIA DE OPTIMIZACIÓN DEL DESEMPEÑO FUNCIONAL DE LOS SACOS DE POLIPROPILENO	38
GRÁFICO 3.2 PORCENTAJE DE RECLAMOS POR DEFECTO	39
GRÁFICO 3.3 ÁRBOL CTS PARA SACOS DE POLIPROPILENO	41
GRÁFICO 3.4 EVALUACIÓN DEL ÁRBOL DE LAS CTS	42
GRÁFICO 3.5 MEDICIÓN DEL TÍTULO DE HILO 750 DENIER ANTES DE LA OPTIMIZACIÓN	47
GRÁFICO 3.6 CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE PROCESO TÍTULO DE HILO 750 DENIER ANTES DE LA OPTIMIZACIÓN.....	48
GRÁFICO 3.7 DESCRIPCIÓN DE LA TENACIDAD [4-8] GPD ANTES DE LA OPTIMIZACIÓN	48
GRÁFICO 3.8 CAPACIDAD DE PROCESO, TENACIDAD DEL HILO ANTES DE LA OPTIMIZACIÓN	49
GRÁFICO 3.9 DESCRIPCIÓN DE LA ELONGACIÓN [18-36] % ANTES DE LA OPTIMIZACIÓN	50
GRÁFICO 3.10 CAPACIDAD DE PROCESO, ELONGACIÓN DEL HILO ANTES DE LA OPTIMIZACIÓN	50
GRÁFICO 3.11 MATRIZ DE HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS PARA EL	

ANÁLISIS ANOVA	51
GRÁFICO 3.12 RUTA PARA EL ANÁLISIS DE REGRESIÓN	52
GRÁFICO 3.13 ANÁLISIS RESIDUAL TÍTULO DEL HILO	54
GRÁFICO 3.14 ANÁLISIS RESIDUAL TENACIDAD DEL HILO	55
GRÁFICO 3.15 ANÁLISIS RESIDUAL ELONGACIÓN DEL HILO	57
GRÁFICO 4.1 FLUJOGRAMA DEL DISEÑO EXPERIMENTAL DE TAGUCHI..	59
GRÁFICO 4.2 CREACIÓN DEL DISEÑO EXPERIMENTAL DE TAGUCHI	60
GRÁFICO 4.3 SELECCIÓN DEL NÚMERO DE FACTORES Y NIVELES	60
GRÁFICO 4.4 SELECCIÓN DEL DISEÑO L_8	61
GRÁFICO 4.5 DISEÑO EXPERIMENTAL GENERADO POR EL MINITAB 16...	61
GRÁFICO 4.6 SELECCIÓN DE LOS FACTORES PRINCIPALES PARA EL DISEÑO ROBUSTO	64
GRÁFICO 4.7 ANÁLISIS DEL DISEÑO EXPERIMENTAL	65
GRÁFICO 4.8 SELECCIÓN DE LA CARACTERÍSTICA DE RESPUESTA (TÍTULO, TENACIDAD Y ELONGACIÓN)	65
GRÁFICO 4.9 GENERACIÓN DE GRÁFICOS DE LOS EFECTOS MEDIOS E INTERACCIONES DEL MODELO	66
GRÁFICO 4.10 ANÁLISIS DE LA CARACTERÍSTICA DE RESPUESTA EN SEÑAL DE RUIDO Y EFECTOS DE LAS MEDIAS	66
GRÁFICO 4.11 SELECCIÓN DE LOS SIETE FACTORES DEL DISEÑO L_8	67
GRÁFICO 4.12 ANÁLISIS DE ROBUSTEZ O SEÑAL DE RUIDO	68
GRÁFICO 4.13 GENERACIÓN DE LA SEÑAL DE RUIDO Y LAS MEDIAS DEL DISEÑO L_8	68
GRÁFICO 4.14 GRÁFICO DE LOS EFECTOS PRINCIPALES PARA SEÑAL DE RUIDO, CARACTERÍSTICA DENIER	70
GRÁFICO 4.15 GRÁFICO DE LOS EFECTOS PRINCIPALES PARA MEDIAS, CARACTERÍSTICA DENIER.....	71
GRÁFICO 4.16 GRÁFICO DE LOS EFECTOS PRINCIPALES PARA SEÑAL DE RUIDO, CARACTERÍSTICA TENACIDAD	73
GRÁFICO 4.17 GRÁFICO DE LOS EFECTOS PRINCIPALES PARA MEDIAS CARACTERÍSTICA TENACIDAD	74

GRÁFICO 4.18 GRÁFICO DE LOS EFECTOS PRINCIPALES PARA SEÑAL DE RUIDO CARACTERÍSTICA ELONGACIÓN	76
GRÁFICO 4.19 GRÁFICO DE LOS EFECTOS PRINCIPALES PARA MEDIAS CARACTERÍSTICA ELONGACIÓN	77
GRÁFICO 4.20 ANÁLISIS MULTI-VARI TÍTULO DEL HILO	79
GRÁFICO 4.21 ANÁLISIS MULTI-VARI TENACIDAD	79
GRÁFICO 4.22 ANÁLISIS MULTI-VARI ELONGACIÓN	80
GRÁFICO 4.23 ANÁLISIS RESIDUAL Y SUPUESTO DE LA NORMALIDAD TÍTULO DEL HILO (DENIER)	89
GRÁFICO 4.24 ANÁLISIS RESIDUAL VERSUS TÍTULO DEL HILO (DENIER)	90
GRÁFICO 4.25 EFECTOS SIGNIFICATIVOS TÍTULO DEL HILO	90
GRÁFICO 4.26 ANÁLISIS RESIDUAL Y SUPUESTO DE LA NORMALIDAD TENACIDAD	91
GRÁFICO 4.27 ANÁLISIS RESIDUAL VERSUS TENACIDAD	92
GRÁFICO 4.28 EFECTOS SIGNIFICATIVOS TENACIDAD	92
GRÁFICO 4.29 ANÁLISIS RESIDUAL Y SUPUESTO DE LA NORMALIDAD ELONGACIÓN	93
GRÁFICO 4.30 ANÁLISIS RESIDUAL VERSUS ELONGACIÓN.....	94
GRÁFICO 4.31 EFECTOS SIGNIFICATIVOS ELONGACIÓN	94
GRÁFICO 4.32 OBTENCIÓN DE LOS VALORES ÓPTIMOS PARA CALIBRACIÓN DEL PROCESO	95

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1.1 VENTAS NACIONALES DE SACOS POR ANCHO (CM)	2
TABLA 1.2 VENTAS NACIONALES DE SACOS POR GRAMAJE (GR)	3
TABLA 1.3 QUEJAS DE CLIENTES	4
TABLA 1.4 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL GRADO DE POLIPROPILENO HOMOPOLÍMERO 03H82	10
TABLA 1.5 CARACTERÍSTICAS DEL CARBONATO DE CALCIO CaCO ₃	11
TABLA 1.6 ETAPAS DE CONTROL EN EL PROCESO DE EXTRUSIÓN	14
TABLA 3.1 PRODUCCIÓN DE HILOS Y SACOS DE POLIPROPILENO CON SU PORCENTAJE FUERA DE ESPECIFICACIÓN	40
TABLA 3.2 MATRIZ CTY (CARACTERÍSTICAS CRÍTICAS DE LOS SACOS)..	44
TABLA 3.3 MATRIZ CTX (CARACTERÍSTICAS CRÍTICAS DEL PROCESO)..	45
TABLA 3.4 CONDICIONES DEL PROCESO DE EXTRUSIÓN ANTES DE LA PROPUESTA DE MEJORA	46
TABLA 3.5 ANÁLISIS DE REGRESIÓN TÍTULO DEL HILO	53
TABLA 3.6 ANÁLISIS DE REGRESIÓN TENACIDAD	55
TABLA 3.7 ANÁLISIS DE REGRESIÓN ELONGACIÓN	56
TABLA 3.8 FACTORES E INTERACCIONES ESCOGIDOS PARA EL DISEÑO EXPERIMENTAL L_8	58
TABLA 4.1 CREACIÓN DEL DISEÑO DE TAGUCHI CON MINITAB 16, TÍTULO DEL HILO.....	62
TABLA 4.2 CREACIÓN DEL DISEÑO DE TAGUCHI CON MINITAB 16, TENACIDAD DEL HILO	63
TABLA 4.3 CREACIÓN DEL DISEÑO DE TAGUCHI CON MINITAB 16, ELONGACIÓN DEL HILO	63
TABLA 4.4 DISEÑO EXPERIMENTAL DE TAGUCHI DE LA CARACTERÍSTICA TÍTULO DEL HILO DE LOS SACOS DE POLIPROPILENO	69
TABLA 4.5 DISEÑO EXPERIMENTAL DE TAGUCHI DE LA CARACTERÍSTICA TENACIDAD, DEL HILO DE LOS SACOS DE POLIPROPILENO	72
TABLA 4.6 DISEÑO EXPERIMENTAL DE TAGUCHI DE LA CARACTERÍSTICA ELONGACIÓN, DEL HILO DE LOS SACOS	

DE POLIPROPILENO	75
TABLA 4.7 RESULTADOS DE LA CORRIDA EXPERIMENTAL OBTENIDOS DEL SOFTWARE, CARACTERÍSTICA DE RESPUESTA TÍTULO DEL HILO	82
TABLA 4.8 ANOVA PARA LA CARACTERÍSTICA DE RESPUESTA TÍTULO DEL HILO	83
TABLA 4.9 RESULTADOS DE LA CORRIDA EXPERIMENTAL OBTENIDOS DEL SOFTWARE, CARACTERÍSTICA DE RESPUESTA TENACIDAD	84
TABLA 4.10 ANOVA PARA LA CARACTERÍSTICA DE RESPUESTA TENACIDAD	85
TABLA 4.11 RESULTADOS DE LA CORRIDA EXPERIMENTAL OBTENIDOS DEL SOFTWARE, CARACTERÍSTICA DE RESPUESTA ELONGACIÓN	86
TABLA 4.12 ANOVA PARA LA CARACTERÍSTICA DE RESPUESTA ELONGACIÓN	87
TABLA 4.13 DISEÑO ROBUSTO TÍTULO DEL HILO 750 DENIER \pm 3%	96
TABLA 4.14 DISEÑO ROBUSTO TENACIDAD DEL HILO [4-8] gr/denier	96
TABLA 4.15 DISEÑO ROBUSTO ELONGACIÓN DEL HILO [18-34] %	97

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1.1 MERCADO DE SACOS DE POLIPROPILENO	106
ANEXO 1.1.1 Sectores para el Mercado de sacos de polipropileno	107
ANEXO 1.2 PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL POLIPROPILENO	108
ANEXO 1.2.1 Propilco 03H82	109
ANEXO 1.2.2 Características del carbonato de calcio CaCO ₃	110
ANEXO 2.1 PRODUCCIÓN DE HILOS Y SACOS DE POLIPROPILENO	114
ANEXO 2.1.1 Producción de hilo para sacos de polipropileno e hilo fuera de especificación	115
ANEXO 2.1.2 Producción de sacos de polipropileno y sacos fuera de especificación	116
ANEXO 2.2 CTX DE EXTRUSORA ANTES DE LA PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN	117
ANEXO 2.3 EXTRUSORA EXTAREX 1400	123
ANEXO 3.1 DEMOSTRACIÓN DE \bar{y} Y S^2 COMO ESTIMADORES INSESGADOS DE μ Y σ	134
ANEXO 3.1.1 Demostración de \bar{y} como estimador de μ	135
ANEXO 3.1.2 Demostración de S^2 es un estimador de σ^2	136
ANEXO 3.2 ANÁLISIS DE VARIANZA DEL MODELO DE TRES FACTORES CON EFECTOS FIJOS	137
ANEXO 3.2.1 Fórmulas para el cálculo manual de la suma de los cuadrados	138
ANEXO 3.2.2 Análisis de varianza del modelo de tres factores con efectos fijos	139
ANEXO 4.1 RESULTADOS DEL PROCESO ANTES DE LA OPTIMIZACIÓN.	141
ANEXO 4.1.1 Resultados del diseño experimental L_8 , característica denier	142
ANEXO 4.1.2 Resultados del diseño experimental L_8 , característica tenacidad	143
ANEXO 4.1.3 Resultados del diseño experimental L_8 , característica elongación	144
ANEXO 4.2 ANÁLISIS ANOVA ANTES DE LA OPTIMIZACIÓN	145
ANEXO 4.2.1 ANOVA título del hilo de polipropileno	146
ANEXO 4.2.2 ANOVA tenacidad	147
ANEXO 4.2.3 ANOVA elongación	148

RESUMEN

La metodología six sigma es de vital importancia para las empresas que desean ser competitivas con relación a sus similares, por lo que dicho desarrollo se fundamenta en encontrar un modelo de mejora continua basado en un análisis cuantitativo, utilizando diseño de experimentos y Taguchi el cual pueda ser llevado a la práctica en una amplia gama de industrias manufactureras. En la planta de extrusión de sacos de polipropileno se detectó que las características de proceso (CTX) que impactan en la fabricación de sacos de polipropileno son la temperatura del horno, el porcentaje de carbonato y la relación de velocidades de los cilindros dos respecto al tres de la extrusora. Las características de los sacos de polipropileno (CTY) que determinan el funcionamiento para la industria requerida son denotadas por la tenacidad, el porcentaje de elongación del hilo y el título del hilo. El desempeño funcional de los sacos de polipropileno está determinado por la optimización de las características críticas del proceso de acuerdo a las condiciones reales de operación, a estas condiciones se procede a efectuar interacciones entre las características del proceso (CTX) para obtener un proceso robusto con el que se logre que las características críticas del saco de polipropileno (CTY) durante el tiempo de servicio respondan favorablemente a las condiciones de funcionamiento a las que son sometidas, logrando de esta manera un diseño robusto. La aplicación de la metodología de diseño de experimentos de Taguchi, hace posible encontrar los óptimos de proceso para proceder a calibrar la extrusora en el nivel dos en porcentaje de carbonato de calcio (18%), en el nivel uno la calibración de la temperatura del horno (150°C) y en el nivel dos la relación de velocidades de los cilindros dos respecto al tres (5,1). Con la propuesta de calibración se puede obtener el título de hilo de 750 denier \pm 3%, una tenacidad esperada de 4,3 gr/denier y una elongación esperada de 26,5% con lo que se lograría un saco de polipropileno robusto a los imprevistos o señales de ruido en sus procesos de fabricación y en su vida de servicio.

INTRODUCCIÓN

El diseño experimental es una herramienta que se utiliza para encontrar las variables o factores que interaccionan entre sí, sus efectos principales y la variabilidad sobre la salida. Al efectuar el análisis de variabilidad o ANOVA se encontrarán las variables que se interaccionan y poder de esa manera elaborar estrategias para la disminución de esa variabilidad en el proceso de extrusión de polipropileno. En la industria de plásticos el mayor porcentaje de desperdicios y costos que generan sus procesos productivos, es en la materia prima. En el caso de los sacos de polipropileno el costo de la materia prima depende del precio del barril de petróleo el cuál fluctúa significativamente logrando un máximo de 1500 [USD/tonelada] en el 2011. En la planta de sacos de polipropileno existe un desperdicio del 10% de materia prima durante los procesos de extrusión, tejeduría y acabados, dichos procesos dan lugar a dos familias de producto, la una sigue un proceso denominado normal y otro un proceso de cubrimiento o laminar, los mismos que pueden ser con o sin impresión dependiendo de los requerimientos del cliente. La utilización de los sacos de polipropileno es amplia en la industria alimenticia, agrícola, química, de la construcción y sigue en crecimiento. Por lo que, las productoras de sacos de polipropileno deben ser más eficientes en la utilización de sus recursos en especial de la materia prima ya que representa más del 95% del producto final. La materia prima tiene un gran impacto en todos los esfuerzos que se requieran para la disminución de los desperdicios durante los distintos procesos. Entre los esfuerzos que se pueden desarrollar, es mediante la utilización del diseño experimental de Taguchi en la optimización de las características funcionales (resistencia al impacto, tenacidad, elongación) de los sacos de polipropileno. Al realizar la optimización mediante Minitab 16 que es un software comercial estadístico se pueden encontrar los valores de las características del proceso (CTX) y de los sacos de polipropileno (CTY) que cumplan con los requerimientos del cliente, logrando de esta forma una disminución en los costos de producción y desperdicio.

CAPÍTULO 1

DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN DEL MERCADO DE LOS SACOS DE POLIPROPILENO

Para la optimización del desempeño funcional de los sacos de polipropileno es necesario enfocarse en uno de los procesos más críticos durante su producción. Por tal motivo se identificará el proceso que más impacto tiene sobre el cliente, para lo cual se analizará desde dicho mercado el comportamiento de ventas del cliente, hasta lograr identificar el proceso al que se procederá optimizar sus variables y calibrar las mismas en la extrusora.

1.1 MERCADO DE SACOS DE POLIPROPILENO POR SECTOR

El sector comercial de sacos de polipropileno es variado a nivel nacional, ya que cada cliente tiene especificaciones distintas en cuanto a su ancho, longitud y gramaje a pesar de ser del mismo sector. Es importante analizar el mercado de los sacos de polipropileno porque de ahí se define las condiciones a las que se enfrenta el producto o saco en cada una de las líneas industriales y por ende su desempeño funcional.

Por lo que la ingeniería robusta, es una metodología cuyo objetivo es optimizar económicamente el desempeño funcional de un producto, es decir volviéndolo mínimamente sensible o robusto a los factores que causan variabilidad en la fabricación y en el uso .¹

1. Qualiplus, Los cuatro abordajes sistémicos para la excelencia empresarial, ASI Brasil, Brasil, 2005.

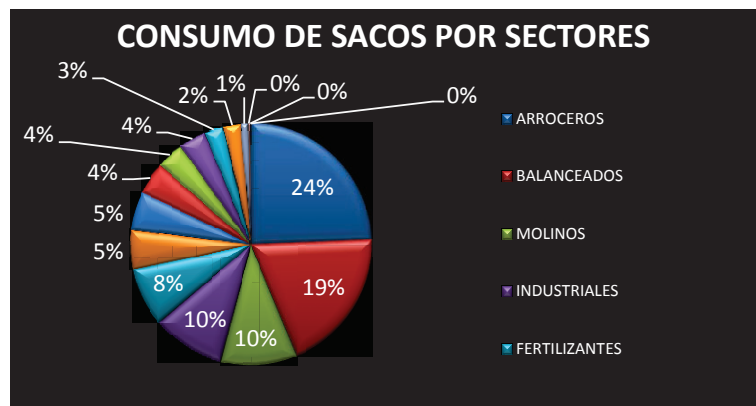


Gráfico 1.1 Consumo de sacos por sectores.¹

En el Gráfico 1.1, el sector que mayor participación con un 24% es el arrocero seguido con el 19% por el de balanceados, 10% el de molinos. En el caso de los arroceros los sacos tienen distintas especificaciones de acuerdo al cliente, ver anexo 1.1.1.

1.1.1 Ventas de sacos de polipropileno de acuerdo a sus especificaciones

Para identificar el foco de mejora o el punto de partida de la mejora continua es necesario analizar los sacos que mayor venta tienen de acuerdo a las especificaciones del cliente y del sector al que pertenecen, además, de los problemas que el cliente reporta y la cantidad de sacos que representa ya sea una queja que implique devolución o no.

Tabla 1.1 Ventas nacionales de sacos por ancho (cm).²

ANCHO (CM)	CANTIDAD DE SACOS (UNID)	% Total	%Acumulado	ABC
60	11265924	66%	66%	A
40	1489026	9%	74%	A
50	1244744	7%	82%	B
36	1239463	7%	89%	B
65	775327	5%	93%	C
55	425901	2%	96%	C
70	309209	2%	98%	C
31	185446	1%	99%	C
75	100495	1%	99%	C
58	51165	0%	100%	C
45	42403	0%	100%	C
46.	4000	0%	100%	C
TOTAL	17133103			

1. Plasticsacks. Sacos por sectores, Ecuador, 2010.
2. Plasticsacks. Ventas nacionales de sacos por ancho, Ecuador, 2010.

En la Tabla 1.1, se indica las ventas nacionales de sacos con sus diferentes anchos. El 66% de las ventas a los clientes corresponde al ancho de 60 cm por lo que se tomará dicha especificación de los sacos para las corridas experimentales.

Tabla 1.2 Ventas nacionales de sacos por gramaje (gr).¹

GRAMAJE(GR)	CANTIDAD DE SACOS(60,40) (UNID)	% Total	% Acumulado	ABC
75	6095241	48%	48%	A
60	3555343	28%	76%	A
70	1253372	10%	85%	B
80	1074628	8%	94%	C
55	621588	5%	99%	C
65	134953	1%	100%	C
90	19825	0%	100%	C
TOTAL	12754950			

En la Tabla 1.2, se indica otra de las especificaciones que el cliente requiere en los sacos de mayor venta y corresponde a un gramaje de 75, es decir el peso de un saco de polipropileno listo para ser envasado en alguno de los sectores, ver gráfico 1.1.

1.1.2 Quejas y devoluciones

Los requerimientos no cumplidos al cliente en la producción de sacos de polipropileno se transforman en un indicador de la variabilidad de los procesos. Es necesario investigar el impacto en el cliente de los sacos de polipropileno ya que al obtener el tipo de saco, el sector de aplicación, y sus especificaciones de ancho, peso o gramaje se podrá establecer el foco de mejora del producto para efectuar la optimización del desempeño funcional de los sacos. Lo que significa que el saco al ser sometido a condiciones estándar de trabajo como envasado, estibado, transportado no va a perder su estabilidad dimensional, ni sufrir roturas.

1. Plasticsacks. Ventas nacionales de sacos por gramaje, Ecuador, 2010.

Tabla 1.3 Quejas de clientes.¹

FECHA	SECTOR	NO CONFORMIDAD	SACO
ENERO	INDUSTRIALES	FILTRA HUMEDAD	75GR60CM
ENERO	COMERCIALIZADORES	ROTURA CENTRAL	60GR60CM
ENERO	BALANCEADOS	LIVIANOS	75GR60CM
ENERO	INDUSTRIALES	ROTURA CENTRAL Y FILTRA HUMEDAD	75GR60CM
FEBRERO	AZUCAREROS	ROTURA LATERAL	60GR75CM
FEBRERO	FERTILIZANTES	ROTURA LATERAL	60GR75CM
MARZO	FERTILIZANTES	ROTURA LATERAL	70GR60CM
MARZO	AZUCAREROS	FALTANTES	HAB60GR50CM
MARZO	ABONOS	FALLA IMPRESIÓN	75GR60CM
MARZO	MOLINOS	FALLA IMPRESIÓN	60GR70CM
MARZO	MOLINOS	FALLA IMPRESIÓN	60GR70CM
ABRIL	COMERCIALIZADORES	FALLA IMPRESIÓN	60GR60CM
ABRIL	INDUSTRIALES	FALLA IMPRESIÓN	AZ75GR65CM
ABRIL	BALANCEADOS	ROTURA CENTRAL	65GR80CM
ABRIL	INDUSTRIALES	MAL PEDIDO	60GR75CM
ABRIL	BALANCEADOS	ROTURA CENTRAL	60GR65CM
ABRIL	HARINERO	ROTURA LATERAL	75GR60CM
ABRIL	FERTILIZANTES	FALLA IMPRESIÓN	70GR60CM
MAYO	INDUSTRIALES	ROTURA INFERIOR	75GR60CM
MAYO	INDUSTRIALES	FALTANTES	70GR50CM
MAYO	HARINERO	VARIACIÓN GRAMAJE	55GR60CM
MAYO	HARINERO	FALLA IMPRESIÓN	55GR60CM
MAYO	HARINERO	FALLA MICROPERFORACIONES	55GR60CM
JUNIO	ABONOS	ROTURA CENTRAL	75GR36CM
JUNIO	MOLINOS	ROTURA INFERIOR	75GR60CM
JUNIO	MOLINOS	FALLA IMPRESIÓN	75GR60CM
JUNIO	MOLINOS	ROTURA LATERAL	75GR60CM
JUNIO	INDUSTRIALES	ROTURA LATERAL	75GR60CM

En la tabla 1.3, se indica las quejas recibidas por gerencia comercial durante el período enero-junio 2010. Se especifica el sector afectado, el tipo de no conformidad y el saco de polipropileno que no ha cumplido con los requerimientos del cliente.

1. Plasticsacks. Quejas de clientes, Ecuador, 2010.

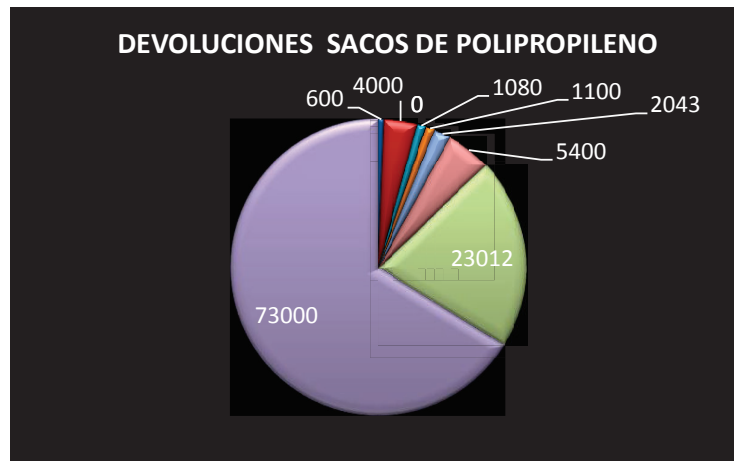


Gráfico 1.2 Devoluciones por sector y ancho.¹

En el gráfico 1.2, se observa que 73000 sacos corresponden al sector de abonos, 23012 sacos al sector industrial. Para sacos con ancho de 60 cm son los que mayor devolución han tenido en el período del primer semestre del 2010.

La mayor venta ha sido de sacos con un ancho de 60 cm como se indica en la tabla 1.1, en gramaje de 75 y 60, ver tabla 1.2.

Por lo tanto, el foco de mejora se debe centrar en los procesos que originen las no conformidades en los sacos que mayor participación tienen en el mercado que son los de 60 cm de ancho, gramaje 75 y que a la vez dan lugar a los reclamos por defectos en rotura, ver tabla 1.3.

1. Plasticsacks. Devoluciones de sacos de polipropileno, Ecuador, 2010.

1.2 PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL POLIPROPILENO

Para que el proceso de producción de los sacos de polipropileno se pueda desarrollar, es necesario conocer sus propiedades para saber su comportamiento ante la variación de temperatura, presión y esfuerzos a la que es sometida la materia prima y obtener un saco acorde a los requerimientos del cliente.

El polipropileno es un polímero con características muy especiales que lo hacen ser muy atractivo, es un polímero versátil que cumple con una doble tarea, como plástico y como fibra. Como plástico se utiliza para hacer envases rígidos, tuberías, moldes, recubrimientos entre otras muchas cosas. Como fibra, el polipropileno se utiliza para hacer alfombras de interior y exterior, sacos de recolección, muy importantes en la industria, y hasta se trata de realizar una mezcla de concreto con polipropileno para mejorar su resistencia. Lo que hace atractivo al polipropileno es su combinación de propiedades, la gran resistencia que tiene al calor, así como su dureza generada por las zonas cristalinas, sin contar su gran versatilidad para poder formar nuevos compuestos de diferentes formas. Además económicamente resulta en extremo favorable para las industrias, el monómero es de bajo costo, obtenible por varios métodos. El tipo de polimerización es en extremo efectiva, y muy investigada. Como todos los polímeros, el polipropileno se puede oxidar, particularmente durante el proceso de fundido, por lo que debe ser protegido, eliminando los radicales libres que atacan a los hidrógenos terciarios. Una estabilización especial es requerida para darle resistencia a los rayos ultravioleta con negro de humo.¹

1. Plasticsacks. Porcentaje de reclamos por defectos, Ecuador, 2010.

A continuación se van a plantear tres propiedades para entender el comportamiento del polipropileno durante un proceso de producción.

1.2.1 Índice de fluidez

El índice de fluidez es la tasa de flujo másico de polímero que pasa a través de un capilar en condiciones de temperatura y presión controladas, y se determina a partir de la masa de termoplástico fundido que se escurre por el capilar durante un determinado período de tiempo. Esta propiedad se utiliza particularmente para indicar la uniformidad de la tasa de flujo del polímero en un proceso de transformación, por lo tanto es un dato indicativo de otras propiedades físicas del polímero, así el índice de fluidez es una medida indirecta de la masa molecular y de la capacidad de procesamiento de los termoplásticos.



Gráfico 1.3 Medidor del índice de fluidez.¹

En el Gráfico 1.3, se indica el medidor del índice de fluidez (IF) el índice de fluidez es una medida de la capacidad de flujo de la resina bajo condiciones controladas y se puede medir fácilmente con un equipo denominado plastómetro, utilizando velocidades de deformación muy bajas, una temperatura de 230 °C y un peso de 2.16 Kg, de acuerdo a la Norma ASTM D 1238.

1. Kalpakjian S., Schmid S., Manufactura, Ingeniería y Tecnología, 4ta Ed. Pearson Educación, México, 2002.

Esta variable se relaciona inversamente con la viscosidad y el peso molecular (PM), es decir, a medida que aumenta el índice de fluidez de la resina, se obtiene una disminución en la viscosidad y el peso molecular. El peso molecular tiene una fuerte influencia en el desempeño de los productos terminados. En general, una resina con alto peso molecular (bajo IF) dará lugar a productos con mayor tenacidad. Asimismo, este tipo de resina tendrá mayor resistencia en fundido y será más apropiada para aplicaciones tales como la fabricación de botellas sopladas y láminas para termoformar.

1.2.2 Resistencia máxima a la tracción

En el caso de los sacos de polipropileno, es la resistencia que presenta la fibra de polipropileno con cierto título al ser sometido a un esfuerzo paulatino hasta llegar a la fractura. El título se expresa en denier y es la medida que se utiliza para identificar a las distintas fibras textiles se define:

$$\text{denier} = \frac{\text{Peso en gramos de la fibra}}{9000 \text{ m}} \quad \text{Ec. 1.1}$$

1.2.3 Elongación al punto de cedencia

Es la deformación a la que es sometida una rafia de polipropileno antes de llegar a la deformación plástica.

$$\% \text{elongación} = \frac{l_f - l_0}{l_0} \quad \text{E. 1.2}$$

1.3 PROCESO DE PRODUCCIÓN DE SACOS DE POLIPROPILENO

Para el desarrollo de un proyecto de mejora continua, es necesario conocer los procesos de producción que involucran la transformación de materia prima en este caso el polipropileno, el carbonato de calcio que se transforman en hilo y posteriormente se obtiene el saco de polipropileno. Se va a optimizar el desempeño funcional de los sacos de polipropileno por lo que se va a utilizar un polipropileno y carbonato de calcio comercial con la finalidad de obtener las especificaciones a las que se puede llegar sin que el saco pierda su funcionalidad de acuerdo al sector en el que va a ser utilizado.

1.3.1 Características del polipropileno comercial 03H82

El polipropileno, es otro de los polímeros utilizados para la fabricación de empaques, envases, y embalajes. Se aplica para cumplir funciones como material plástico y como fibra. Como plástico, se utiliza para fabricar envases por diferentes procesos como inyección, extrusión, soplado, soplado biorientado, termo formado, para aplicaciones en diferentes campos, como para alimentos capaces de ser lavados en máquina para reutilización, o para resistir el microondas. Esto es factible porque el PP no funde por debajo de 160 °C, en cambio el polietileno (PE) es un plástico más común, se recalienta a aproximadamente 100 °C.¹

1. Propilco. Boletín técnico. Propilco 03H82, Colombia, 2010.

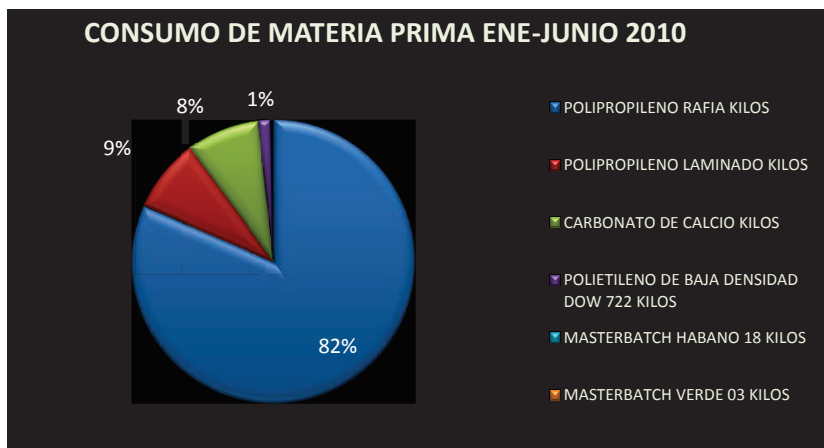


Gráfico 1.4 Porcentaje de consumo de materia prima.¹

En el Gráfico 1.4, se indica el consumo de polipropileno con un 82% para la elaboración de los sacos, 8% para carbonato de calcio, 1% al masterbatch en diferentes colores y 9% restante corresponde al polipropileno laminado.

Tabla 1.4 Características generales del grado de polipropileno homopolímero 03H82.²

Propiedades	Unidades	Unidades SI	Método ASTM
Índice de fluidez (230 °C-2.16 kg)	3.3 g/10 min.	3.3 g/10 min.	D 1238
Resistencia máxima a la tracción (50 mm/min)	5100 psi	35 Mpa	D 638@
Elongación al punto de cedencia (50 mm/min)	10.00%	10.00%	D 638@
Módulo de flexión 1% secante (1.3 mm/min)	227500 psi	1567 Mpa	D 790@
Impacto izod con ranura (73 °F/23°C)	0.4 pie-lb/pulg	21 J/m	D 256@
Dureza, Rockwell	103 R	103 R	D 785@

En la tabla 1.4, se muestra el polipropileno 03H82 con sus propiedades físicas el cual es un polipropileno de procesamiento uniforme, buen color y estable durante el proceso, bajo arrastre de agua, excelente estabilidad del material reprocesado, Este es un grado recomendado por el fabricante para diversas aplicaciones tanto de extrusión como de moldeo por inyección, ver anexo 1.2.1

-
1. Plasticsacks. Manual de Calidad, Ecuador, 2010.
 2. Propilco. Boletín técnico. Características generales del grado de polipropileno homopolímero 03H82, Colombia, 2010.



Gráfico 1.5 Presentación en pellets del polipropileno 03H82.

En el Gráfico 1.5, se indica al polipropileno 03H82 en la presentación de pellets los cuales son colocados en la tolva de mezcla.

1.3.2 Características del carbonato de calcio Comai 707- 5PS

El Comai 707-5PS tiene una concentración de CaCO_3 del 75% de elevada opacidad, alta compatibilidad con el polipropileno, de excelente dispersión y baja abrasión, se puede dosificar entre el 2% al 15% basado en el peso del polipropileno.

Tabla 1.5 Características del carbonato de calcio CaCO_3 .¹

PROPIEDADES	UNIDAD	VALOR	MÉTODO ASTM
ÍNDICE DE FLUIDEZ	g/10 min	12-22	ASTM D-1238 COND. L
CONTENIDO DE SÓLIDOS	%	73-77	LT-I 014
DENSIDAD	gr/cc	1.65-1.75	ASTM 792

En la Tabla 1.5, se indica sus propiedades como el índice de fluidez, el % de sólidos y la densidad con sus respectivas unidades y métodos de ensayo, ver anexo 1.2.2.

1. Comai. Información técnica, Características del carbonato de calcio Comai 707-5PS, Colombia, 2010.



Gráfico 1.6 Presentación en pellets del carbonato de calcio Comai 707-5PS.

En el Gráfico 1.6, se muestra el carbonato comercial de Comai 707-5PS con el que se va efectuar las corridas experimentales.

1.3.3 Descripción del proceso de producción de sacos de polipropileno (PP)

Para la optimización del desempeño funcional de los sacos de polipropileno es necesario identificar las características críticas del proceso (CTX), por lo que se debe describir el proceso de producción para la obtención del hilo y posteriormente el saco. Larafia puede ser definida como una cinta con alta razón largo/espesor, elevada resistencia longitudinal y baja resistencia transversal.

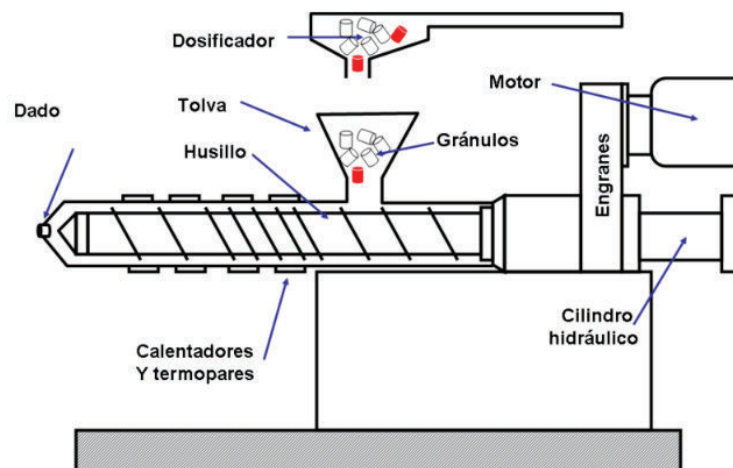


Gráfico 1.7 Componentes principales para el proceso de extrusión.¹

1. <http://profecarolinaquinodoz.com>

En el Gráfico 1.7, se observa una extrusora genérica con sus componentes principales, el proceso de extrusión inicia colocando el polipropileno en una tolva de la que pasa a un cilindro de calefacción y a través del cual se empuja con la ayuda de un tornillo de alimentación. En el extremo opuesto del cilindro de calentamiento, se obliga al material (que se ha calentado y comprimido hasta formar una masa plástica), a pasar a través de una boquilla que da forma a la sección extruida. La extrusora se constituye básicamente de un cilindro hueco donde una o más roscas sin fin, en su interior, transportan el polímero hasta la salida de la boquilla. La tolva, acoplada a la parte trasera del cilindro, almacena y entrega materia prima (resina) y pigmentos, en forma de polvo o pellets a la zona de alimentación de la rosca.

Tabla 1.6 Etapas de control en el proceso extrusión.¹

ETAPA DEL PROCESO	CARACTERÍSTICA A SER CONTROLADA	RANGO ACEPTABLE
Mezcla	Polipropileno	min 50% VIRGEN
	Carbonato de Calcio	MAX 10%
	Pigmentos (master batch)	0,5 a 3 Kg
	Recuperado	max 50%
Fundición	Temperatura tornillo	190 – 280 °c
	Temperatura cabezal	max. 280
Enfriamiento	Temperatura bañera	20 a 50°C
Corte inicial	Ancho inicial de la cinta	5 a 14,2 +/- 0,5 mm
Primer trio	Velocidad	0 a 70 m / min
Estiramiento	Temperatura del horno	150°C a 180 °C starex 120 a 160 °C china
	Relación de estiraje 1	velocidad de primer y segundo trio
Dilatación de cinta	Temperatura de aceite	80 a 150 °C
	Elongación	18 a 34
	Tenacidad	4 a 7
	Denier	6 % en puntual 3 % en promedio
	Ancho	+ / - 0,1 mm
Contracción	Velocidad de segundo y tercer trio	3 a 5 %
Identificación de Hilo	Marcación de código	na
Verificación de código	Código de identificación	na

1. Plasticsacks. Manual de Calidad, Ecuador, 2010.

En la Tabla 1.6, se indica las características del proceso CTX a ser controladas durante el proceso de extrusión, las cuales servirán como base para efectuar la optimización del desempeño funcional de los sacos de polipropileno. Adicionalmente también se encuentran los rangos o las especificaciones a la cual se calibrará la extrusora, una vez comprobadas estadísticamente de que corresponden a sus valores óptimos.

El foco de mejora se debe centrar en los procesos que originen las no conformidades en los sacos que mayor participación tienen en el mercado y que a su vez dan lugar a los reclamos, ver anexo 2.1.1. Para lo cual se efectuó la descripción del proceso de fabricación de los sacos de polipropileno con la finalidad de identificar los procesos en donde puedan originarse sacos FE (producto fuera de especificación).

Se definió las materias primas a utilizar como son el polipropileno 03H82 y el relleno que en este caso es el carbonato de calcio (CaCO_3) comercial de Comai 707- 5PS, sus propiedades físicas y mecánicas con la finalidad de entender el comportamiento del material al momento de hacer el diseño de experimentos y no de profundizar en la ingeniería de polímeros de las materias primas a utilizar.

CAPÍTULO 2

APLICACIÓN DE LA FASE I DE LA METODOLOGÍA SIX SIGMA

2.1 SIX SIGMA EN LA INDUSTRIA

Para desarrollar la propuesta para la optimización del desempeño funcional de los sacos de polipropileno, se plantea la metodología six sigma como herramienta de mejora. En esta metodología se incorporan de manera sistemática las herramientas estadísticas para análisis de datos, de variabilidad con el objetivo de tener una sola metodología.

El six sigma es una medida estadística de variabilidad, típicamente en un proceso dado, así como un objetivo de rendimiento de negocio enfocado en las especificaciones críticas del cliente. Más que una estrategia, six sigma es un enfoque gerencial para resolver problemas y optimizar procesos en forma cuantificable. Adaptar y aplicar metodologías de six sigma puede llevar a grandes mejoras en el rendimiento del negocio y en la rentabilidad financiera, six sigma no está diseñado solamente para empresas de manufactura, instituciones financieras, organizaciones de cuidados de la salud y proveedores de servicios también pueden recibir los beneficios de six sigma.¹

1. Qualiplus. Capacitación Six Sigma, Quito, 2009.

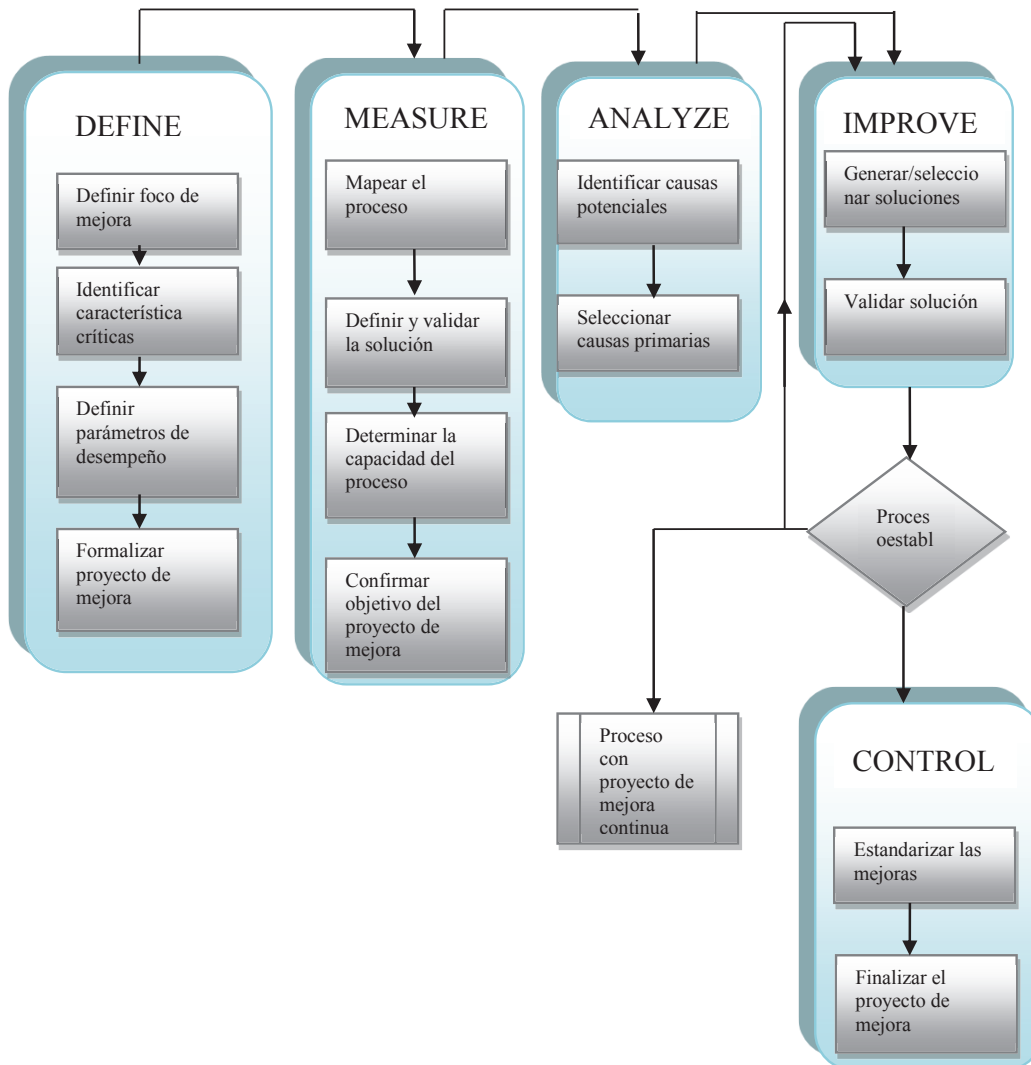


Gráfico 2.1 Proceso six sigma Plus®-DMAIC.¹

En el Gráfico 2.1, se indica las cinco fases de la metodología six sigma que son definir, medir, analizar, mejorar y controlar. La fase I de la metodología six sigma es la que se va a seguir para identificar las características críticas del proceso (CTX) y del producto (CTY) en lo referente a los sacos de polipropileno.

1. Qualiplus. Capacitación Six Sigma, Quito, 2009.

2.2 FASE DEFINE (DEFINIR)¹

2.2.1 Definir foco de mejora

Al definir el objeto de la mejora debe de ser de alta relevancia para el cliente final, debe de ser específico, la elección de cada tema debe tener la participación y aprobación de la alta dirección de la empresa y pocos temas estratégicos deben ser disparados por vez.

2.2.2 Identificar características críticas

En esta fase se debe explicar los principales requisitos del cliente que sean relevantes para el tema seleccionado.

Crítica.- Se refiere al impacto en la satisfacción de los clientes finales, son denominadas características CTS (critical to satisfaction), son atributos de la voz del cliente o parámetros de satisfacción de los clientes.

2.2.3 Definir parámetros de desempeño

Las CTY (característica crítica del producto), una característica por la que una variación de la misma puede afectar directamente a la seguridad del producto, a los requerimientos gubernamentales (legales) o directamente a la satisfacción del cliente con el producto. A su vez los CTY se despliegan en CTX (características críticas del proceso), en un proceso las 4 Ms:

- Materia prima (M1).
- Mano de obra (M2).
- Maquinaria (M3).
- Método (M4).

1. Qualiplus. Capacitación Six Sigma, Quito, 2009.

2.2.4 Matriz de priorización

Sirve para establecer prioridad entre varias alternativas planteadas por el equipo, con lo cual resulta más fácil escoger la mejor alternativa y el consenso del equipo es automáticamente construido, las alternativas o posibles temas de mejoramiento pueden ser:

- Diferentes “efectos indeseados” de la realidad actual, por ejemplo: defectos, reclamos de clientes.
- Los diferentes productos y servicios de la empresa, considerándose su importancia y grado de adecuación a los requisitos de los clientes.
- Sugerencias planteadas por grupos de mejoramiento, cuya complejidad o importancia justifique el uso del DMAIC.
- Puntos de despliegue de un plan estratégico, para los cuales sea aplicable el DMAIC (que dependan de procesos de trabajo con impacto sobre la satisfacción del cliente).

2.2.5 Análisis de Pareto

Cuando existen datos numéricos disponibles sobre varios temas potenciales de mejoramiento, puede ser útil realizarlo para aclarar la situación y ayudar a definir el foco del proyecto six sigma.

2.2.6 Critical to flowdown

Inspirado en la metodología QFD (quality function deployment), el CT flowdown es un despliegue simplificado de las características críticas para la satisfacción del cliente, asociándolas a parámetros clave de un determinado producto y sus respectivos procesos. El CT flowdown puede ser usado en la Fase “define” para identificar proyectos de mejoramiento six sigma, comenzando con la definición de un determinado proceso/servicio como tema de mejoramiento.

2.2.6.1 *Características CTS (características críticas de satisfacción)*

Son el subconjunto de requisitos o atributos vitales para que el cliente se quede completamente satisfecho con un determinado producto o servicio.

2.2.6.2 *Características CTY (características críticas del producto)*

Son el subconjunto de elementos y parámetros del producto que afectan de manera significativa las CTS aplicables al mismo.

2.2.6.3 *Características CTX (características críticas del proceso)*

Es el subconjunto de elementos y parámetros del proceso que afectan de manera significativa las CTY aplicables al mismo. En los primeros niveles de despliegue del árbol, las CTX se refieren solo a la estructura de procesos, subprocesos y operaciones relevantes para las CTY en cuestión.

2.3 DEFINIR EL FOCO DE MEJORA

Para definir el foco de mejora, el mismo que se encuentra en algún proceso que presente cierto tipo de restricción sea en el área productiva o comercial se recurrirá a la base de datos, en donde se encuentran las estadísticas tanto de la gestión de ventas como la de producción. El sistema de planificación de recursos de materiales que se maneja, contiene la información de cada área en el que se basa la información para el desarrollo del presente trabajo.

2.4 IDENTIFICAR CARACTERÍSTICAS CRÍTICAS¹

La identificación de las características críticas es el pilar para todo proyecto de mejora, tiene que ver con escuchar al cliente sobre las características que deben satisfacer los sacos de polipropileno, con el posicionamiento en el mercado que da la experiencia para traducir esa necesidades a los sacos de polipropileno, con el objetivo de dar al cliente un producto de calidad y competitivo.

2.4.1 Despliegue simplificado de las características críticas(criticaltoflowdown)

El despliegue comienza con la identificación de las CTS (características críticas de satisfacción), para lo cual se elaborará un árbol con el requisito primario y con ramificación de los requisitos secundarios. Toso los requisitos se basan en el enfoque de los clientes respecto a las características que deben cumplir los sacos que se fabrican en la planta de polipropileno.

1. Qualiplus. Capacitación Six Sigma, Quito, 2009.

En casi todos los ámbitos de la investigación se efectúan diseños de experimentos o pruebas, en las que se hacen cambios deliberados de las variables de entrada de un proceso o sistema para observar e identificar las razones de los cambios que pudieran obtenerse en la respuesta de salida y efectuar análisis de los datos resultantes que derivan en conclusiones para tomar decisiones.

El diseño de experimentos es fundamental en el campo de la ingeniería para el desarrollo de nuevos productos, diseño de procesos y en el área de la mejora continua. Por lo que es necesario desarrollar un producto o proceso que se vea afectado en lo más mínimo por fuentes de variabilidad externa es decir un diseño robusto.

En la industria de la manufacturera es necesario tomar acciones correctivas inmediatas para la solución de problemas en una línea de producción, en una célula de trabajo con la finalidad de optimizar el desempeño funcional del proceso y del producto, por lo que se recurre al diseño experimental de Taguchi.

2.5 DISEÑO DE EXPERIMENTOS DE TAGUCHI

El Dr. Taguchi menciona que cuando un producto es puesto en el mercado el fabricante cubre la garantía de acuerdo a las especificaciones por él dados. Al terminar esa garantía el consumidor final es el que se encarga de pagar las reparaciones por cualquier falla en el tiempo de servicio del producto. Por lo que un producto de mala calidad provocará pérdidas a la sociedad. En las industrias manufactureras nacionales se está comenzando a combinar los métodos de ingeniería y de estadística para disminuir los costos indirectos de producción, mejoras en la calidad del producto logrando la optimización del desempeño funcional del producto y de los procesos de producción.

Se han establecido dos conceptos en el diseño experimental para mejorar el costo:

- La función pérdida de Taguchi
- La razón de la señal de ruido

La función de pérdida se entiende como la desviación de las características funcionales del producto y los factores que ocasionan la desviación son las señales de ruido. Existen tres tipos de ruido: el ruido externo, el ruido interno y el ruido variacional. El ruido externo está relacionado con factores ambientales o condiciones de uso. El ruido interno son los cambios que sufre el producto en sus constantes internas a lo largo del tiempo y el ruido variacional son las diferencias entre las unidades de producto manufacturadas bajo las mismas condiciones.

El método de Taguchi se basa en arreglos ortogonales, los cuales permiten una búsqueda, a través de una cantidad de opciones, para encontrar el diseño más adecuado con la mejor razón señal-ruido.

2.5.1 Diseños factoriales¹

Los diseños factoriales se caracterizan por dar información completa de un ensayo o corrida experimental con relación a todas sus combinaciones posibles o interacciones. El factor es la característica del proceso que se va analizar, el cual puede tener algunos niveles de estudio.

En muchos experimentos interviene el estudio de los efectos de dos o más factores, por lo que los diseños factoriales son lo que se utilizan para la experimentación. Por diseño factorial se entiende que en cada ensayo o réplica completa del experimento se investigan todas las combinaciones posibles de los niveles de los factores.

El modelo matemático, que describe las observaciones de un diseño experimental de un factor y dos niveles, se lo analizará con el objetivo de describir sus componentes de una manera comprensible el modelo es el siguiente:

1. Montgomery D., *Diseño y Análisis de Experimentos*, Tercera Ed. Grupo Editorial Iberoamericana, México, 1993.

$$y_{ij} = \mu_i + \varepsilon_{ij} \begin{cases} i = 1, 2, \dots, a \\ j = 1, 2, \dots, n \end{cases} \quad \text{Ec. 2.1}^1$$

y_{ij} =observaciónij-ésima.

μ_i =media del nivel del factor o tratamiento i-ésimo.

ε_{ij} =un componente del error aleatorio.

A la ecuación 2.1, se la llama el modelo de las medias. Una forma alternativa de plantear un modelo de datos es definiendo:

$$\mu_i = \mu + \tau_i \quad \text{Ec. 2.2}^1$$

μ =media global, parámetro común a todos los tratamientos.

τ_i =efecto del tratamiento i-ésimo, parámetro único del tratamiento.

De tal modo al remplazar la Ec. 2.2 en la Ec. 3.1, se convierte:

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij} \quad \text{Ec. 2.3}^1$$

A la ecuación 2.3, se la llama por lo general el modelo de los efectos. Los cuales son modelos estadísticos lineales; es decir la variable de respuesta y_{ij} es una función lineal de los parámetros del modelo.

Es requisito fundamental en el diseño experimental, que se lleve a cabo de forma aleatoria. Además se describen dos situaciones diferentes con respecto a los efectos de los tratamientos:

- Los a tratamientos pueden ser elegidos por el experimentador y las conclusiones del experimento se aplicarán únicamente a los niveles del factor considerados en el análisis, dando lugar al modelo con efectos fijos.

1. Montgomery D., *Diseño y Análisis de Experimentos*, Tercera Ed. Grupo Editorial Iberoamericana, México, 1993.

2.5.1.1 *Análisis de modelo con efectos fijos*¹

Lo ideal para un diseño experimental es minimizar la variabilidad de tal manera que los resultados de las medias de los tratamientos o niveles se encuentren en un intervalo de confianza estipulado de acuerdo a la corrida experimental, por lo que es conveniente considerar que los errores tienen media cero de tal modo que la esperanza del valor $E(y_{ij}) = \mu_i$.

$$\begin{aligned}\overline{\varepsilon_{ij}} &= 0 \\ E(y_{ij}) &= \mu + \tau_i = \mu_i \\ \frac{\sum_{i=1}^a \mu_i}{a} &= \mu \\ \therefore \sum_{i=1}^a \tau_i &= 0 \\ \therefore E(y_{ij}) &= \mu_i\end{aligned}$$

2.5.2 *Matriz ortogonal*²

La base para el diseño de un experimento utilizando la metodología de Taguchi es la matriz ortogonal o arreglo ortogonal. A pesar de varios tipos de diseños clásicos como el factorial y el fraccionario, la matriz ortogonal se ha asociado tradicionalmente con las técnicas de experimentación de Taguchi.

Esta técnica de experimentación se utilizará no solo por su tradición, sino también porque la matriz ortogonal es eficiente ya que con la obtención de una cantidad relativamente pequeña de datos se pueden obtener conclusiones significativas y verificables. Además los diseños de experimentos que utilizan matrices ortogonales son básicamente simples de entender y sus directrices son fáciles de seguir.

1. Montgomery D., *Diseño y Análisis de Experimentos*, Tercera Ed. Grupo Editorial Iberoamericana, México, 1993.
2. Glent S., *Taguchi Methods*, Addison-Wesley Publishing Company, Third Ed, EEUU, 1993.

Para explicar la matriz ortogonal es necesario entender lo que es ortogonalidad que significa estar equilibrado y no mixto, en el contexto de las matrices de experimentación ortogonal significa estadísticamente independientes.

$L_8(2^7)$							
No.	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2

Gráfico 2.2 Matriz ortogonal L_8 .¹

En el Gráfico 2.2, se observa una matriz ortogonal típica en el que cada nivel tiene un número igual de ocurrencias dentro de cada columna. Para cada columna de la matriz, el nivel 1 y 2 se producen cuatro veces. Algunas matrices ortogonales pueden tener más de dos niveles dentro de cada columna y cada serie tiene un número diferente de columnas, por lo que se aplicará la norma dentro de cada columna se encuentra el mismo número de ocurrencias de cada nivel.

La independencia estadística o equilibrio va más allá del número igual de niveles en cada una de las columnas.

1. Glent S., Taguchi Methods, Addison-Wesley Publishing Company, Third Ed, EEUU, 1993.

Matriz Ortogonal $L_8(2^7)$								
Número	A	B	C	D	E	F	G	Resultados
	1	2	3	4	5	6	7	
1	1	1	1	1	1	1	1	y_1
2	1	1	1	2	2	2	2	y_2
3	1	2	2	1	1	2	2	y_3
4	1	2	2	2	2	1	1	y_4
5	2	1	2	1	2	1	2	y_5
6	2	1	2	2	1	2	1	y_6
7	2	2	1	1	2	2	1	y_7
8	2	2	1	2	1	1	2	y_8

Gráfico 2.3 Ortogonalidad.¹.

Al observar el Gráfico 2.3, el número de niveles de un factor es igual al número de niveles de la otra columna o factor es decir, que cada nivel en una columna se reproducirá el mismo número de veces para mantener el equilibrio del experimento.

2.6 PROPIEDADES DEL DISEÑO ROBUSTO DE TAGUCHI

Los diseños experimentales de Taguchi, están basados en arreglos ortogonales, normalmente se identifican con un nombre como L_8 , que indica un arreglo con ocho corridas entre sus propiedades se destaca que es un modelo de datos de efectos fijos, es un diseño fraccionado necesario para obtener resultados en la brevedad posible. Los diseños experimentales clásicos también están basados en arreglos ortogonales, pero se identifican con un exponente para indicar el número de variables, así un diseño clásico 2^3 también tiene ocho corridas.

1. Glent S., Taguchi Methods, Addison-Wesley Publishing Company, Third Ed, EEUU, 1993.

Para entender adecuadamente la matriz ortogonal es necesario estandarizar su nomenclatura para poder definir a cada matriz ortogonal o su respectivo arreglo. Cada matriz puede ser definida de la forma $L_A(B^C)$, L representa la matriz según Taguchi, A representa el número de corridas experimentales o combinación de factores que puede conducirse en el experimento, B representa el número de niveles entre cada columna y C representa el número de columnas para el diseño experimental.

2.6.1 Diferencias entre la metodología clásica y Taguchi

En los diseños de Taguchi se tiene una matriz para los factores controlables y otra para los factores incontrolables, en el caso del diseño L_8 se puede estudiar a cuatro factores controlables y tres incontrolables o también tres factores y el resto interacciones. La matriz L_8 es un diseño factorial fraccionado del tipo 2_{III}^{7-2}

2.6.1.1 Metodología de Taguchi¹

					E	1	1	1	1	2	2	2	2				
					F	1	1	2	2	1	1	2	2				
					G	1	2	1	2	1	2	1	2				
Experimento	A	B	C	D										\bar{y}	SN_r		
1	1	1	1	1													
2	1	2	2	2													
3	1	3	3	3													
4	2	1	2	3													
5	2	2	3	1													
6	2	3	1	2													
7	3	1	3	2													
8	3	2	1	3													
9	3	3	2	1													

Gráfico 2.4 Matriz de clasificación variables de control y ruido.

1. Glent S., Taguchi Methods, Addison-Wesley Publishing Company, Third Ed, EEUU, 1993.

En el Gráfico 2.4, se indica el enfoque de la metodología que se basa en la clasificación de las variables de un proceso o producto como variables de control (o controlables) y variables de ruido (o no controlables). Para después encontrar los ajustes de las variables controlables que minimizan la variabilidad transmitida a la respuesta por las variables no controlables.

El diseño de Taguchi sigue la siguiente estrategia experimental:

1. El diseño robusto de Taguchi es la búsqueda de una combinación de condiciones para lograr un desenvolvimiento óptimo del proceso.
2. La función de pérdida, es la minimización de la pérdida económica debido a las corridas en condiciones no-óptimas.
3. La maximización de la señal de ruido, es el alcance de los mejores objetivos del proceso bajo las condiciones no controlables (ruido).
4. Selección del diseño experimental para examinar las gráficas lineales, que permiten además la investigación de las interacciones de los efectos deseados basados en el proceso conocido.

2.7 INFLUENCIA EN LOS FACTORES POR LA SEÑAL DE RUIDO

El objetivo fundamental de la ingeniería de calidad, es diseñar productos y procesos robustos, esto es, que consistentemente realicen la función que deben efectuar con una variabilidad mínima a pesar del impacto de factores de ruido o no controlables.

2.7.1 Factores que afectan al proceso¹

Los factores que afectan al proceso son los de ruido y los factores de diseño.

- Factores de ruido.- Son aquellos que no se pueden controlar y se desea que los procesos y productos sean insensibles a su impacto.
- Factores de diseño.- Son aquellos que se pueden controlar en el proceso de producción y se desee encontrar el nivel al cual operar óptimamente para encontrar la característica del producto deseable de calidad y bajo costo.

Es decir, en vez de eliminar el factor de ruido se desea identificar los factores controlables y fijarlos a un nivel tal que el impacto de los factores de ruido sean mínimos.

2.7.2 Análisis señal de ruido o diseño directo de productos¹

Para el análisis de la señal de ruido o diseño directo de productos se deberá considerar los siguientes aspectos:

1. Dentro de los factores a estudiar, separar los de ruido y los de diseño o control.
2. Dentro de los factores de diseño, identificar aquellos que afectan la variabilidad del proceso los mismos que se utilizará para minimizar la variabilidad.
3. Dentro de los factores de diseño, identificar aquellos que afectan la media, sin afectar la variabilidad, los que se utilizará para optimizar la media.
4. Identificar aquellos factores de diseño que no afectan ni media ni variabilidad y utilizarlos para reducir costos.

1. Glent S., Taguchi Methods, Addison-Wesley Publishing Company, Third Ed, EEUU, 1993.

2.7.3 Índices señal ruido¹

Al medir la característica de calidad que interesa, se puede evaluar su media y su variabilidad. La media se puede evaluar directamente con una lectura o el promedio si son varias lecturas.

Para medir la variabilidad de una característica de calidad, se requiere de varias lecturas, y se tienen diferentes opciones, el rango y la varianza son las medidas que se utilizan con mayor frecuencia.

La ingeniería robusta diseño una expresión matemática que involucra la media y la varianza, la que ayuda a la toma de decisiones con respecto a las características de proceso para obtener un diseño robusto. La expresión se denomina índice señal ruido denotado como SN o SR.

2.7.3.1 Caso nominal es mejor

La forma de calcular el índice SN depende del tiempo de característica de que se trate, sin embargo el índice se diseñó de tal manera que productos más robustos tengan un mayor valor del índice SN.

$$SN = -10 \log \left[\frac{1}{n} \frac{(S_m - V_e)}{V_e} \right] \quad \text{Ec. 2.4}^1$$

2.7.3.2 Caso menor es mejor

Maximizar la relación SN equivale a minimizar la función de pérdida.

$$SN = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad \text{Ec. 2.5}^1$$

1. Glent S., Taguchi Methods, Addison-Wesley Publishing Company, Third Ed, EEUU, 1993.

2.7.3.3 Caso mayor es mejor

En el caso mayor es mejor, la cantidad funciona de una manera similar al caso anterior, pero con el inverso. Maximizar una cantidad es equivalente a minimizar la función de pérdida.

$$SN = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \quad \text{Ec. 2.6}^1$$

El uso de logaritmos pretende hacer la respuesta más lineal y el signo negativo es para que se maximice el índice SN. Se multiplica por 10 para obtener decibeles. Taguchi propone un procedimiento de optimización en dos pasos:

1. Ajustar los parámetros de diseño para maximizar la relación SN.
2. Identificar otros parámetros de diseño que no afecten la relación SN pero que si tengan efecto en la media de Y, E(Y), el cual es el parámetro de ajuste a la media, y utilizarlo para ajustar la media del proceso a su media meta de acuerdo a especificaciones.

2.7.4 Diseño de parámetros con análisis señal a ruido¹

En un experimento señal ruido, generalmente se incluye un grupo de factores de ruido, contra los que específicamente se desea hacer robusto el producto, y que se pueden controlar durante un experimento. Un diseño de experimentos para un análisis señal a ruido consiste de dos partes, un arreglo ortogonal o matriz de diseño o interno y un arreglo ortogonal o matriz de ruido o externo. Las columnas de una matriz de diseño representan parámetros de diseño. Las columnas de la matriz de ruido representan factores de ruido.

1. Glent S., Taguchi Methods, Addison-Wesley Publishing Company, Third Ed, EEUU, 1993.

- a. Seleccionar una característica de calidad de salida a ser optimizada.
- b. Seleccionar factores de control y sus niveles, identificando sus posibles interacciones.
- c. Seleccionar los factores de ruido y sus niveles; si son demasiados combinarlos en dos o tres factores combinados.
- d. Seleccionar los arreglos interno y externo adecuados; asignar los factores de control al arreglo interno y los factores de ruido al arreglo externo.
- e. Realizar los experimentos.
- f. Realizar análisis estadístico con base en SN para identificar los niveles de los factores de control óptimos. Algunas veces ayuda realizar un estudio de la interacción entre factores de control y de ruido.
- g. Realizar análisis estadístico con base en las medias para identificar los niveles de los factores de control óptimos que ajustan a la respuesta promedio en el nivel deseado. Si hay conflicto entre los niveles de los factores para maximizar la relación SN y ajustar la media, dar prioridad a los que sirven para maximizar la relación SN.
- h. Predecir el desempeño de salida óptimo con base en una combinación óptima de niveles de factores de control y realiza un experimento confirmatorio.

2.8 ANÁLISIS ESTADÍSTICO INFERENCIAL

El objetivo de efectuar análisis estadístico inferencial es encontrar los parámetros óptimos de una muestra del proceso de extrusión, mediante la medición de la tenacidad, título del hilo y elongación que son las características del producto con las que se va a realizar un diseño robusto o no tan sensible a las variaciones de sus características durante el tiempo de servicio del saco de polipropileno. Con dichos parámetros se procederá a calibrar las características del proceso que son la temperatura del horno, % de carbonato en la mezcla y la contracción.

Es decir, se desea sacar conclusiones acerca de una población utilizando una muestra de la misma. La mayoría de los métodos que se

estudiarán incluyen el supuesto de que se usan muestras aleatorias. Si la población contiene N elementos y va a seleccionarse una muestra de n de ellos, y si cada una de las $N!/(N-n)!n!$ muestras posibles tiene una probabilidad igual de ser escogida, este procedimiento se denomina muestreo aleatorio.

Un estadístico se define como cualquier función de las observaciones de una muestra que contiene parámetros desconocidos, suponga que y_1, y_2, \dots, y_n representa una muestra.

Entonces la media muestral es $\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n}$ y la varianza muestral es $S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n-1}$, son estadísticos. Estas cantidades son medidas de la tendencia central y la dispersión de la muestra respectivamente.¹

2.8.1 Propiedades de la media y la varianza muestrales¹

La media muestral \bar{y} es un estimador puntual de la media poblacional μ , y la varianza muestral S^2 es un estimador puntual de la varianza poblacional σ^2 . En general, un estimador de un parámetro desconocido es un estadístico que corresponde con dicho parámetro y además es una variable aleatoria, en el anexo 2.2.1 se indica la demostración que \bar{y} y S^2 son estimadores de μ y σ^2 .

Un buen estimador puntual tiene las siguientes propiedades:

- 1.- El estimador puntual deberá ser insesgado, es decir el parámetro que se está estimando deberá ser el promedio o valor esperado a la larga del estimador puntual, esta propiedad por sí sola no siempre hace que un estimador sea adecuado.

1. Montgomery D., Diseño y Análisis de Experimentos, Tercera Ed. Grupo Editorial Iberoamericana, México, 1993

2.- Un estimador insesgado deberá tener la varianza mínima, la propiedad establece que el estimador puntual de varianza mínima tiene una varianza que es menor que la varianza de cualquier otro estimador del parámetro en cuestión.

2.8.1.1 Grados de libertad¹

A la cantidad $n-1$ del anexo 2.2.2, se llama grados de libertad de la suma de los cuadrados SS . Es decir, si y es una variable aleatoria con varianza σ^2 y $SS = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$ tiene v grados de libertad, entonces $E\left(\frac{SS}{v}\right) = \sigma^2$.

2.8.2 Hipótesis estadísticas¹

Una hipótesis estadística es un enunciado ya sea acerca de los parámetros de una distribución de probabilidad o de los parámetros de un modelo, es decir la hipótesis refleja alguna conjetura acerca de la situación del problema.

Al enunciado $H_0: \mu_1 = \mu_2$, se le llama hipótesis nula y a $H_1: \mu_1 \neq \mu_2$, se le llama hipótesis alternativa. A la hipótesis alternativa que se especifica se la denomina hipótesis alternativa de dos colas porque sería verdadera si $\mu_1 < \mu_2$ o si $\mu_1 > \mu_2$.

Para probar una hipótesis se proyecta un procedimiento para tomar una muestra aleatoria, calcular un estadístico de prueba apropiado para después rechazar o no la H_0 . Parte de este procedimiento consiste en especificar el conjunto de valores del estadístico de prueba que llevan al rechazo de H_0 . A este conjunto de valores se le llama la región crítica o región de rechazo de la prueba.

1. Montgomery D., Diseño y Análisis de Experimentos, Tercera Ed. Grupo Editorial Iberoamericana, México, 1993

Puede cometerse dos tipos de errores cuando se prueban hipótesis. Si la hipótesis nula se rechaza cuando es verdadera, ha ocurrido un error tipo I. Si la hipótesis nula no se rechaza cuando es falsa, se ha cometido un error tipo II. Las probabilidades de los dos errores se expresan con símbolos especiales:

$$\alpha = P(\text{error tipo I}) = P(\text{rechazar } H_0, \text{ si } H_0 \text{ es verdadera})$$

$$\beta = P(\text{error tipo II}) = P(\text{dejar de rechazar } H_0, \text{ si } H_0 \text{ es falsa})$$

El procedimiento general en la prueba de hipótesis es especificar un valor de probabilidad α del error tipo I, al que se le llama con frecuencia el nivel de significación de la prueba, y después diseñar el procedimiento de prueba de tal modo que la probabilidad β del error tipo II tenga un valor convenientemente pequeño. Para lo cual se utiliza la potencia de prueba, donde:

$$\text{Potencia} = 1 - \beta = P(\text{rechazar } H_0, \text{ si } H_0 \text{ es falsa}).$$

2.8.3 Inferencias acerca de las varianzas de distribuciones normales¹

En muchos de los experimentos, el interés se centra en las posibles diferencias en la respuesta media de dos tratamientos. En el caso de algunos experimentos como el que se va a realizar con las características del proceso de los sacos de polipropileno, la variabilidad en los datos de un nivel a otro es lo más importante.

El estadístico de prueba para $H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$ y $H_1: \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$ es el cociente de las varianzas muestrales $F_0 = \frac{S_1^2}{S_2^2}$.

$n_1 - 1$ grados de libertad en el numerador y $n_2 - 1$ grados de libertad en el denominador.

1. Montgomery D., Diseño y Análisis de Experimentos, Tercera Ed. Grupo Editorial Iberoamericana, México, 1993

Si se efectúa la prueba de igualdad de las varianzas de dos poblaciones normales, se toman muestras aleatorias independientes de

La distribución de referencia apropiada para F_0 es la distribución F con

La hipótesis nula se rechazará si $F_0 > F_{\frac{\alpha}{2}, n_1-1, n_2-1}$ o si $F_0 < F_{1-\frac{\alpha}{2}, n_1-1, n_2-1}$,

donde $F_{\frac{\alpha}{2}, n_1-1, n_2-1}$ y $F_{1-\frac{\alpha}{2}, n_1-1, n_2-1}$ denotan los puntos porcentuales $\alpha/2$ superior y $1-(\alpha/2)$ inferior de la distribución F con $n_1 - 1$ y $n_2 - 1$ grados de libertad.

2.8.3.1 Valor P en la prueba de hipótesis¹

El responsable de la toma de decisiones con respecto a los análisis experimentales, podría sentir cierta duda con respecto a aceptar o rechazar la hipótesis nula cuando el estadístico de prueba apenas rebasa la región de rechazo o aceptación con el nivel de significación de $\alpha=0,05$.)

Para evitar esas dificultades, en la práctica se ha adoptado extensivamente el enfoque del valor P. El valor P es la probabilidad de que el estadístico de prueba asuma un valor que sea al menos tan extremo como el valor observado del estadístico cuando la hipótesis nula H_0 es verdadera. Por lo tanto, un valor P transmite información vital acerca del peso de la evidencia en contra de H_0 , con lo cual, el responsable de la toma de decisiones llega a una conclusión con cualquier nivel de significancia especificado.

En conclusión el valor de P se define como el nivel de significación menor que llevaría a rechazar la hipótesis nula H_0 . El estadístico de prueba es significativo cuando se rechaza la hipótesis nula, por lo tanto, el valor P puede considerarse como el menor nivel α en el que los datos son significativos.

1. Montgomery D., Diseño y Análisis de Experimentos, Tercera Ed. Grupo Editorial Iberoamericana, México, 1993

2.8.4 Análisis de varianza del modelo de tres factores con efectos fijos (ANOVA)¹

El análisis de varianza para un modelo de efectos fijos y $n \geq 2$ réplicas, se puede formular y probar hipótesis acerca de los efectos principales y las interacciones. Para un modelo de efectos fijos, los estadísticos de prueba para cada efecto principal e interacción pueden construirse dividiendo el cuadrado medio correspondiente del efecto o interacción por el cuadrado medio del error. Las pruebas F serán de una cola superior, el número de grados de libertad de cualquier efecto principal es el número de niveles del factor menos uno, y el número de grados de libertad de una interacción es el producto del número de grados de libertad asociados con los componentes individuales de la interacción.

Suponiendo que los factores A con a niveles, B con b niveles y C con c niveles son fijos, se tiene una tabla de análisis de varianza como se indica en el anexo 2.2.1 Las pruebas F para los efectos principales y las interacciones se siguen directamente de los cuadrados medios esperados.

En general, los cálculos del análisis de varianza se efectuarán utilizando un paquete de software de estadística, sin embargo las ecuaciones se presentarán en el anexo 3.2.2.

1. Montgomery D., Diseño y Análisis de Experimentos, Tercera Ed. Grupo Editorial Iberoamericana, México, 1993

CAPÍTULO 3

DISEÑO DE EXPERIMENTOS DE TAGUCHI

Para determinar las características críticas del proceso de extrusión es necesario desplegar desde la voz del cliente los factores que inciden en el desempeño funcional de los sacos de polipropileno. El análisis cualitativo obtenido con las matrices de despliegue servirá como punto de partida para filtrar los factores que inciden en el proceso de extrusión. Luego se efectuará un análisis estadístico ANOVA para determinar cuantitativamente los factores que tienen mayor relación sobre la variable de salida y efectuar el diseño de experimentos de Taguchi.

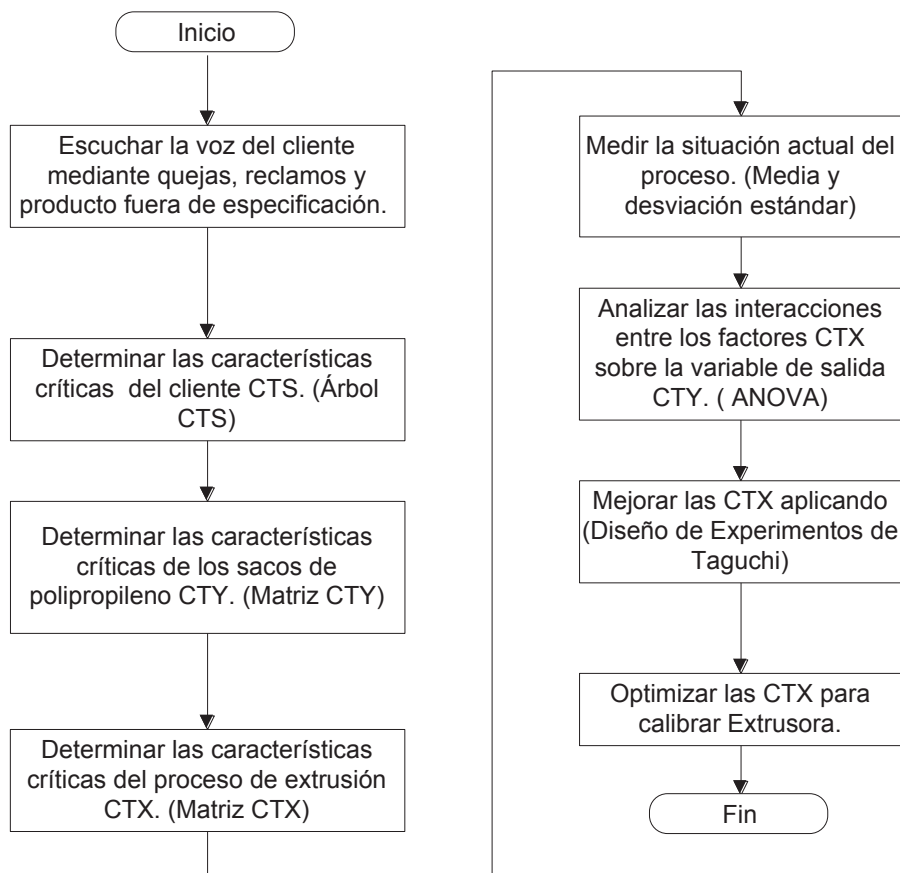


Gráfico 3.1 Flujograma general de la estrategia de optimización del desempeño funcional de los sacos de polipropileno.

En el Gráfico 3.1, se indica el procedimiento a seguir para efectuar el diseño robusto de los sacos de polipropileno en lo referente al hilo de polipropileno.

3.1 TEORÍA DEL DISEÑO DE EXPERIMENTOS DE TAGUCHI

En el Capítulo 2, se explicó acerca de los experimentos factoriales y de la interacción entre las CTX para evaluar y optimizar la característica de salida CTY. En el apartado 2.7, se menciona sobre la estrategia experimental y el diseño con respecto a señal de ruido. A continuación se procederá con la aplicación de la fase I de la metodología Six Sigma y la creación del Diseño Robusto de Taguchi con la ayuda del Minitab 16.

3.1.1 Requerimientos del cliente (voz del cliente)

En el Capítulo 1, se definió la situación actual comercial de los sacos de polipropileno en donde la mayor venta ha sido de sacos con un ancho de 60 cm como se indica en la tabla 1.1, como de 75 y 60 gr de peso, ver tabla 1.2.

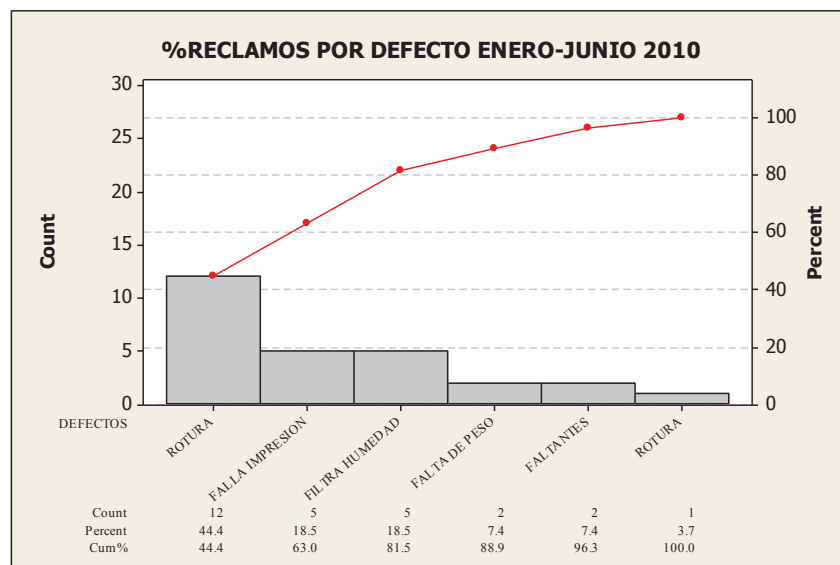


Gráfico 3.2 Porcentaje de reclamos por defecto.¹

1. Plasticsacks. Devoluciones de sacos de polipropileno, Ecuador, 2010.

Por lo tanto, el foco de mejora se debe centrar en los procesos que originen las no conformidades en los sacos que mayor participación tienen en el mercado que son los de 60 cm de ancho, gramaje 75 y que a la vez dan lugar a los reclamos por defectos en rotura, ver gráfico 3.2

Tabla 3.1¹ Producción de hilos y sacos de polipropileno con su porcentaje fuera de especificación.

MES	PRODUCCIÓN HILO (KG)	HILO FUERA DE ESPECIFICACIÓN (KG)	PRODUCCIÓN DE SACOS (UNI)	SACOS FUERA DE ESPECIFICACIÓN (UNI)
ENERO	813110	41680.55	9410192	295785
FEBRERO	791079	40932.14	8791898	333254
MARZO	873647	44135.28	10071991	351363
ABRIL	878854	44579.13	8866274	321705
MAYO	1102486	73369.35	10143613	409493
JUNIO	1062110.2	66852.93	10621805	376420
TOTAL	5521286.2	311549.38	57905773	2088020
% FUERA DE ESPECIFICACIÓN (FE)	6%		4%	

En la Tabla 3.1, se indica la producción de hilo que es el componente principal para formar los sacos de polipropileno y la cantidad de sacos que se han elaborado durante el primer semestre del 2010. El fuera de especificación que se lo define como la cantidad de producto conforme respecto al no conforme debido a las características del proceso que no se encuentran interrelacionadas unas con otras para dar un producto dentro de especificación.

La producción de hilos de polipropileno con un 6% fuera de especificación proviene del proceso de extrusión y el 4% corresponde al proceso de tejeduría. En la fase I de la metodología six sigma trata sobre la identificación del foco de mejora que en este caso se encuentra en el proceso de extrusión debido al porcentaje de fuera de especificación. Para validar que el foco de mejora se encuentra en el proceso de extrusión se efectuará el despliegue de las características críticas del proceso (CTX), desde la óptica del cliente o características del producto (CTY). En el anexo 2.1, se encuentran las estadísticas con las que se hizo el análisis de la tabla 3.1.

1. Plasticsacks. Sistema de planificación de recursos, Ecuador, 2010.

3.1.2 Árbol CTS (Características críticas de satisfacción del cliente)

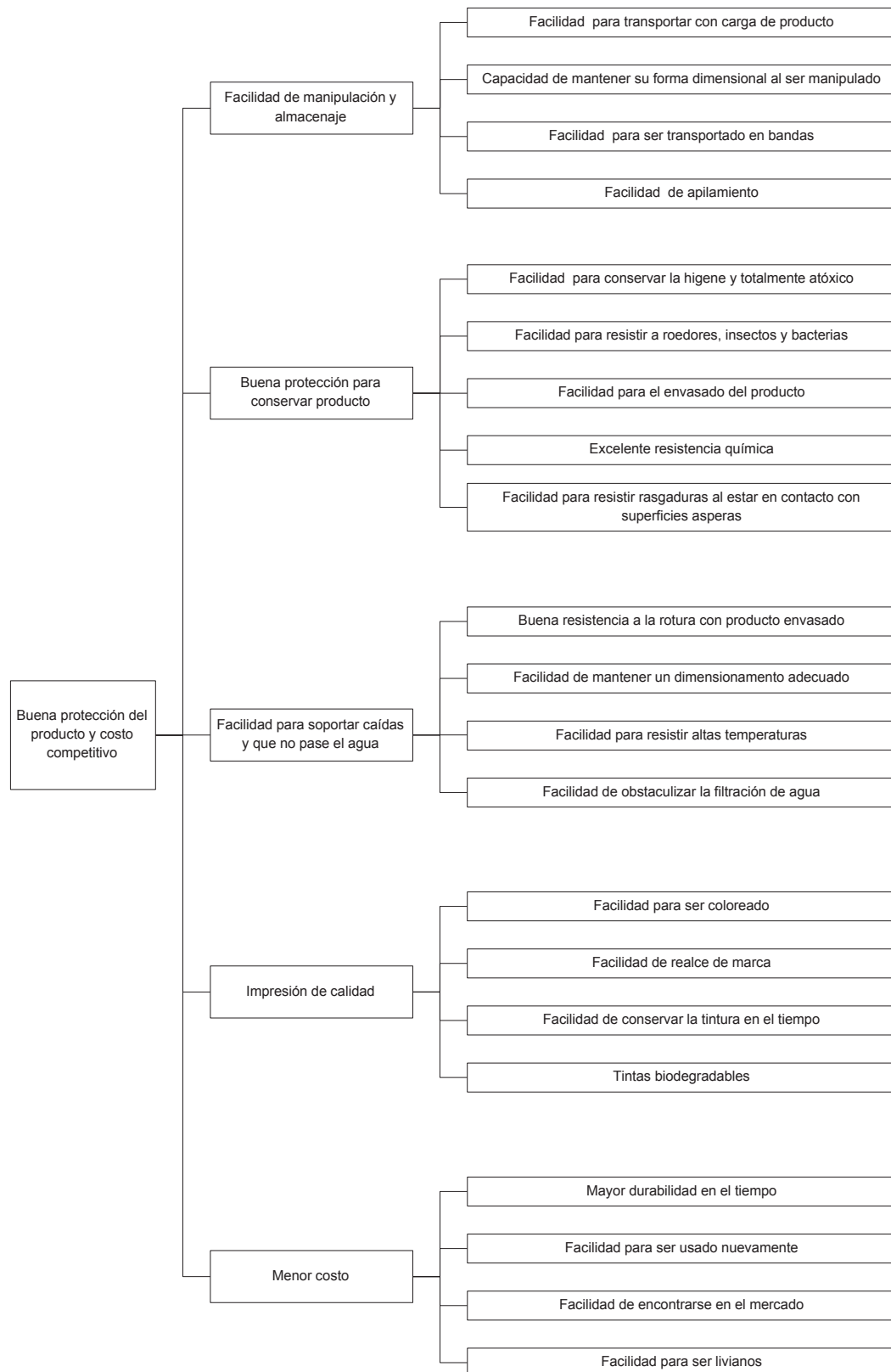


Gráfico 3.3 Árbol CTS para sacos de polipropileno.

En el Gráfico 3.3, se encuentra el árbol de las características que debe cumplir los sacos de polipropileno con relación a las expectativas del cliente. Se parte de la premisa de que el polipropileno es la materia prima con la que se trabaja para su fabricación.

Requisito primario	Requisito secundario	ICC	GNC	Priori
Facilidad de manipulación y almacenaje	Facilidad para transportar con carga de producto	8.9	3	26.7
	Capacidad de mantener su forma dimensional al ser manipulado	8.7	9	78.3
	Facilidad para ser transportado en bandas	8.1	3	24.3
	Facilidad de apilamiento	8.5	3	25.5
Buena protección para conservar producto	Facilidad para conservar higiene	7.9	9	71.1
	Facilidad para resistir a roedores, insectos y bacterias	7.8	9	70.2
	Facilidad para el envasado del producto	7.5	9	67.5
	Excelente resistencia química	7.4	9	66.6
	Facilidad para resistir rasgaduras al estar en contacto con superficies ásperas	7.7	9	69.3
Facilidad para soportar caídas y que no pase el agua	Buena resistencia a la manipulación con producto envasado	8.8	9	79.2
	Facilidad para mantener un dimensionamiento adecuado	8.1	9	72.9
	Facilidad para resistir altas temperaturas	8	9	72
	Facilidad de obstaculizar la filtración de solventes	8.6	9	77.4
Impresión de calidad	Facilidad para ser coloreado	5.1	3	15.3
	Facilidad de realce de marca	5.9	9	53.1
	Facilidad de conservar la tintura en el tiempo	5.7	3	17.1
	Tintas biodegradables	5.5	3	16.5
Menor costo	Mayor durabilidad en el tiempo	6.9	9	62.1
	Facilidad para ser usado nuevamente	6.6	9	59.4
	Facilidad de encontrarse en el mercado	6.7	3	20.1
	Facilidad para ser livianos	6.8	9	61.2

Gráfico 3.4 Evaluación del árbol de las CTS.

Para la evaluación de los índices en la propuesta de mejora del árbol de las CTS, se diseñó la evaluación de los requisitos primarios hasta los secundarios en conjunto con los técnicos de procesos y calidad, ver Gráfico 3.4.

- a. IIC: Índice de importancia para el cliente (5-9).

- 5: Mínima importancia de requisitos para el cliente.
- 9: Elevada importancia de requisitos para el cliente.

b. GNC: Grado de no-conformidad (1, 3,9).

- 1: Bajo grado de no conformidad.
- 3: Mediano grado de no conformidad.
- 9: Alto grado de no conformidad.

3.1.3 Definir parámetros de desempeño (Matriz CTY)

Se va a proceder a la selección del top 5 del árbol CTS de requisitos secundarios que se convertirán en CTS o características críticas de satisfacción) para el cliente. Las CTY (características críticas del producto) vienen a ser la medida del desempeño de las CTS, ya que tienen que ver con las características CTQ (críticas de calidad), CTC (críticas de costo), CTD (críticas de desarrollo). Las CTX (características críticas del proceso) son las que afectan directamente en la fabricación de los sacos de polipropileno en especial del hilo utilizado para tejer dichos sacos.

La relación entre las CTS y las CTY se las efectúa a través de una matriz que da prioridad a las características críticas del producto con mayor puntaje, son evaluadas de la siguiente forma:

- 1: Baja interacción de características CTS con CTY.
- 3: Mediana interacción de características CTS con CTY.
- 9: Alta interacción de características CTS con CTY.

Tabla 3.2 Matriz CTY (características críticas de los sacos).

		CTS Seleccionadas							Prior. CTY
		1	2	3	4	5	6	7	
Prior. CTS		Buena resistencia a la manipulación	Capacidad de mantener su forma	Facilidad de minimizar la filtración de solventes	Facilidad de resistir altas temperaturas	Facilidad de conservar higiene	Facilidad para ser utilizado nuevamente	Facilidad de realce de marca	
CTY	Elongación	9	9	3	3	3	9	3	138
	Tenacidad	9	9	9	3	1	9	3	146
	Dimensiones adecuadas	9	9	1	1	1	3	9	120
	Peso solicitado	9	9	9	3	3	3	3	120
	Buena impresión	1	1	1	9	1	1	9	116
	Título del Hilo	9	9	9	9	9	9	3	210
	Ancho de hilo	9	9	9	1	3	3	3	112

En la Tabla 3.2, se indica la interacción entre las CTS seleccionadas que afectan a las características de los sacos de polipropileno (CTY). Entre las características críticas CTY seleccionadas se encuentran el denier con un puntaje de 210, luego se encuentra la tenacidad con 146, la elongación con 138, dimensiones adecuadas y peso solicitado con 120 respectivamente, buena impresión 116 y finalmente ancho de hilo 112. Las CTY con mayor puntaje corresponden al proceso de extrusión en el cual se centrarán los esfuerzos de mejora para la satisfacción del cliente.

Se van a considerar las tres CTY de mayor puntaje:

Denier, tenacidad y elongación, explicar teóricamente las CTY y las CTX.

Tomar fotos de los equipos y de los tipos de ensayo.

En el anexo 2.2 se indican las CTX con las que la extrusora EXTAREX 1400 se encuentra trabajando actualmente, antes de la optimización con diseño experimental de Taguchi.

En el anexo 2.3 se indica la información técnica de la extrusora con la que se va a efectuar el diseño experimental.

3.1.3.1 Matriz CTX (características críticas del proceso)

El objetivo de la matriz que despliega las características críticas del proceso es identificar las variables de calibración de la extrusora, lo cual va a servir de alimentación para la tabla de factores en el Minitab 16.

Tabla 3.3 Matriz CTX (características críticas del proceso).

Prior. CTY		CTY Seleccionadas				Prior. CTX
		1	2	3		
CTX	Especificaciones	Título del Hilo	Tenacidad	Elongación		
	% Carbonato en la mezcla	10 – 18%	9	9	9	54
	Presión del tornillo	MAX 160 bar	1	1	3	12
	Velocidad del tornillo	100 – 180 rpm	3	3	3	18
	Temperatura del tornillo	190 – 280 °C	1	9	9	46
	Temperatura del cabezal	MÁX 280 °C	1	9	9	46
	Temperatura de enfriamiento	20 – 50 °C	3	3	3	18
	Temperatura del horno	150 – 180 °C	3	9	9	48
	Relación de velocidad 2do y 3er trío (Contracción)	3-5%	3	9	9	48

En la Tabla 3.3, se indica las características críticas del proceso con los que se va a efectuar la corrida experimental de Taguchi, las cuales son obtenidas mediante la matriz CTX según la metodología del despliegue simplificado de las

características críticas. Para efectuar el diseño experimental se toman las tres características que mayor puntaje tienen:

- a. % de carbonato en la mezcla.
- b. temperatura del horno.
- c. contracción.

3.1.4 Medición de las CTY versus CTX antes de la mejora

Tabla 3.4 Condiciones del proceso de extrusión antes de la propuesta de mejora.

Run Order	% Carbonato (10-18)%	Temperatura del Horno (150-180) °C	rv2/3 (4,03-5,1)	Título del Hilo (46enier)	Tenacidad (gr/46enier)	Elongación (%)
1	-1	1	1	850	4,5	22,3
2	1	1	1	690	4,8	21,6
3	1	1	1	705	4,9	22
4	-1	1	1	782	5,1	22,5
5	1	-1	1	799	4,2	23,5
6	1	-1	-1	710	5,5	22,9
7	-1	-1	1	745	5,3	23,8
8	1	1	-1	739	4,8	23,1
9	1	-1	-1	650	4,9	23,3
10	-1	-1	1	790	4,1	23,7
11	1	-1	1	720	4	25,6
12	1	1	-1	789	5,2	23,1
13	-1	-1	1	795	5,1	23,6
14	1	-1	1	791	5,1	22,9
15	-1	1	1	804	4,5	21,9
16	-1	-1	-1	775	5,2	27,4
17	-1	1	1	777	5,2	22,7
18	-1	1	-1	788	4,9	25,1
19	1	-1	1	799	5	23,9
20	1	1	-1	780	5,1	23
21	1	-1	-1	768	5,2	25,3
22	1	-1	-1	728	5,3	24,9
23	1	1	1	779	5,1	24,8
24	-1	1	-1	800	4,2	27,2
25	1	1	1	733	5,1	24,8
26	-1	-1	-1	731	5	26,4
27	-1	-1	-1	733	5,3	26,5
28	-1	1	-1	730	5,1	24,9
29	1	1	-1	756	5,2	25,3
30	-1	-1	-1	771	5,4	25,2
31	-1	-1	1	802	4,3	26,5
32	-1	1	-1	780	5,4	24,7

En la tabla 3.1, se indican las condiciones en las que se encuentra el proceso de extrusión antes de la propuesta de mejora y con las que se obtuvo las características de producto o respuesta en lo que respecta a título del hilo, tenacidad y elongación.

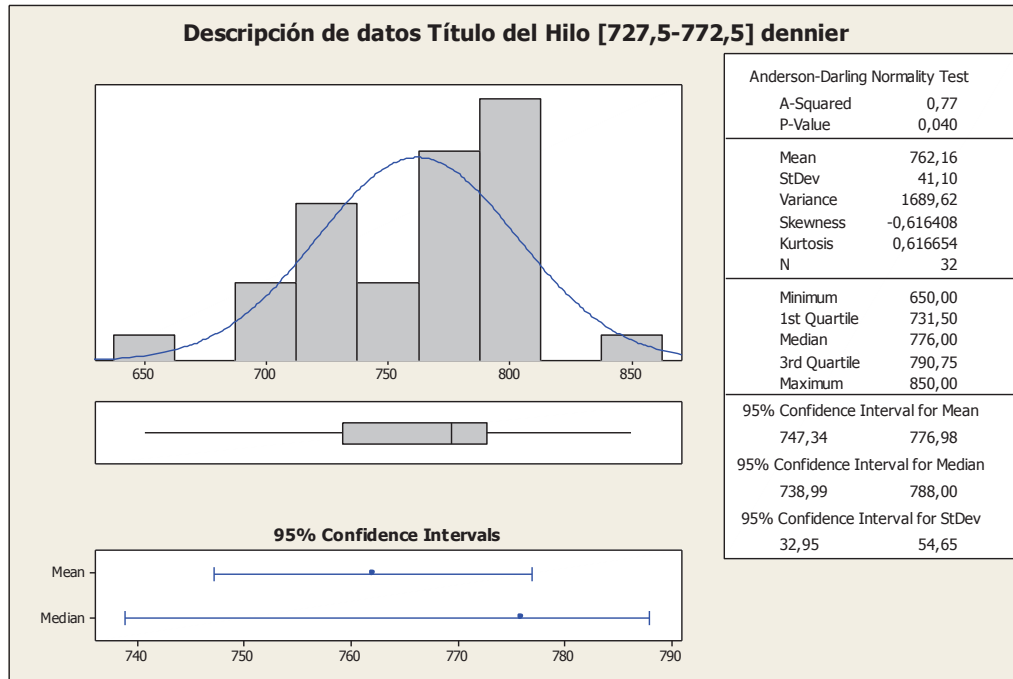


Gráfico 3.5 Medición del título de hilo 750 denier antes de la optimización.

En el Gráfico 3.5, se evidencia que existe una gran variabilidad $\sigma^2 = 1689,2$ a pesar de que se tiene una media $\mu = 762,16$ denier, lo que indica que no se tienen identificados los óptimos de calibración de las CTX. Se trata de una distribución no normal porque $p\text{-value} < 0,05$, es decir se rechaza la hipótesis de que la distribución tiene un comportamiento normal y se acepta la hipótesis alternativa de que la distribución es no normal.

Debido a que los datos no pertenecen a una distribución normal, se utilizará la distribución Weibull para el cálculo de la capacidad de proceso y verificar si el proceso tiene la capacidad de cumplir con las especificaciones para la producción de un hilo de 750 denier.

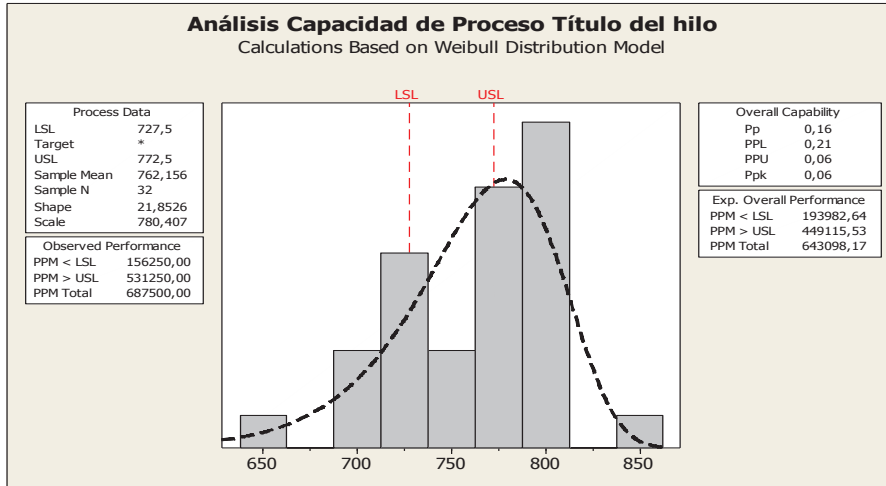


Gráfico 3.6 Cálculo de la Capacidad de Proceso título de hilo 750 denier antes de la optimización.

En el Gráfico 3.6, se aprecia que la capacidad que tiene el proceso para cumplir con las especificaciones es 0,16 es decir el ancho de especificación es menor que el ancho de dispersión, por lo que a las condiciones que se encuentra la extrusora calibrada no se va a cumplir con las especificaciones solicitadas. Adicionalmente el Ppk que indica de acuerdo a la dispersión si el proceso está centrado respecto a los límites de especificación, el cual es 0,06 e indica que el proceso no es capaz. De acuerdo al Pp y el Ppk se enfatiza en la necesidad de reducir la variabilidad del proceso.

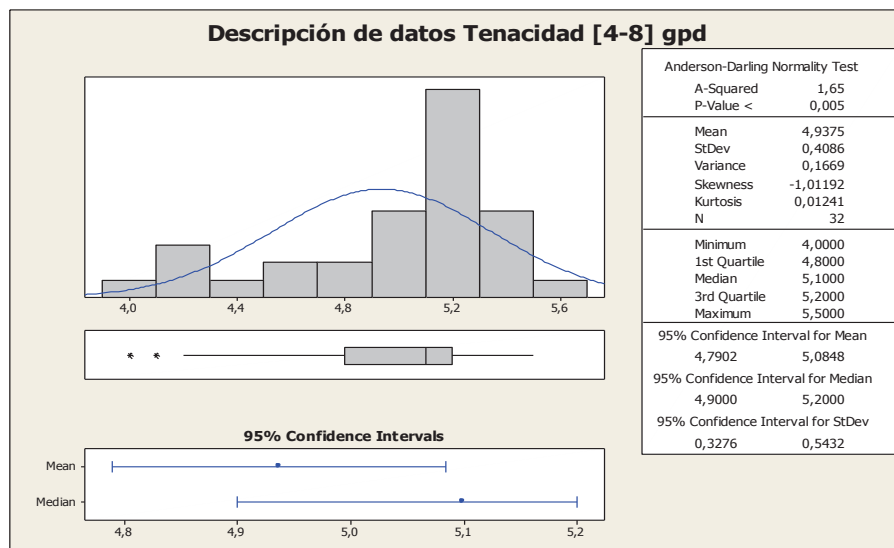


Gráfico 3.7 Descripción de la tenacidad [4-8] gpd antes de la optimización.

En el Gráfico 3.7, se evidencia que existe una variabilidad $\sigma^2 = 0,1669$ a pesar de que se tiene una media $\mu = 4,9375$ gpd, lo que indica que no se tienen indentificados los óptimos de calibración de las CTX. Se trata de una distribución no normal porque $p\text{-value} < 0,05$, es decir se rechaza la hipótesis de que la distribución tiene un comportamiento normal y se acepta la hipótesis alternativa de que la distribución es no normal.

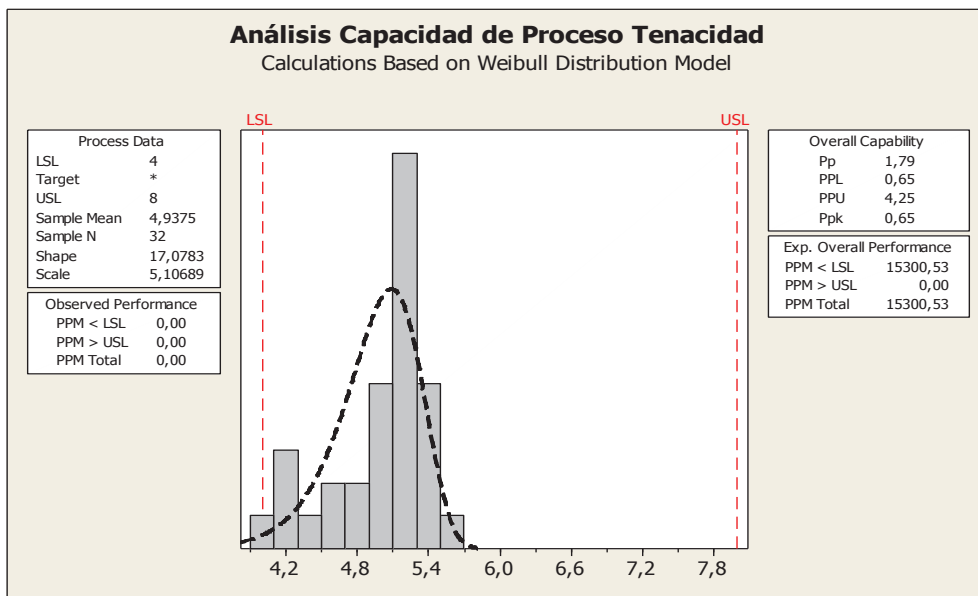


Gráfico 3.8 Capacidad de Proceso, tenacidad del hilo antes de la optimización.

En el Gráfico 3.8, se aprecia que la capacidad que tiene el proceso para cumplir con las especificaciones es 1,79 es decir el ancho de especificación es mayor que el ancho de dispersión, por lo que a las condiciones, que se encuentra la extrusora calibrada no se va a cumplir con las especificaciones solicitadas. Adicionalmente el Ppk que indica de acuerdo a la dispersión si el proceso está centrado respecto a los límites de especificación, el cual es 0,65 e indica que el proceso no es capaz. De acuerdo al Pp y el Ppk se enfatiza en la necesidad de reducir la variabilidad del proceso.

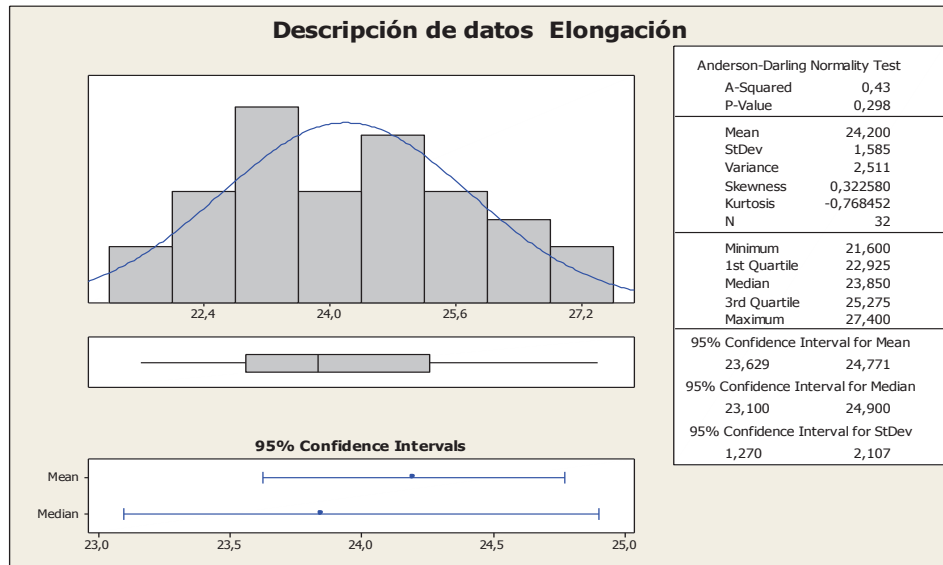


Gráfico 3.9 Descripción de la elongación [18-36] % antes de la optimización.

En el Gráfico 3.9, se evidencia que existe una variabilidad $\sigma^2 = 2,511$ a pesar de que se tiene una media $\mu = 24,2$ % de elongación, lo que indica que no se tienen indentificados los óptimos de calibración de las CTX. Se trata de una distribución normal porque $p\text{-value} > 0,05$, es decir se acepta la hipótesis nula de que la distribución tiene un comportamiento normal.

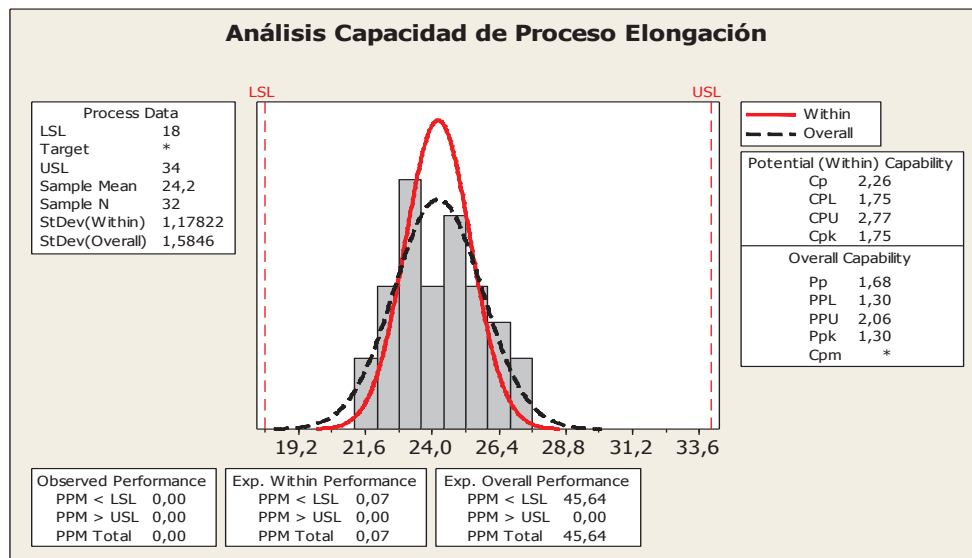


Gráfico 3.10 Capacidad de Proceso, elongación del hilo antes de la optimización.

En el Gráfico 3.10, se aprecia que la capacidad que tiene el proceso para cumplir con las especificaciones es 2,26 es decir el ancho de especificación es

mayor que el ancho de dispersión, por lo que a las condiciones, que se encuentra la extrusora calibrada cumple con las especificaciones solicitadas. Adicionalmente el Cpk que indica de acuerdo a la dispersión si el proceso está centrado respecto a los límites de especificación, el cual es 1,75 e indica que el proceso es capaz. Se efectuará el ANOVA y el diseño de experimentos de Taguchi para redefinir los límites superior e inferior para optimizar el porcentaje de elongación del hilo que se procesa de las bobinadoras.

3.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO INFERENCIAL

Una vez que se ha medido cada una de las variables de salida CTY título del hilo, tenacidad y elongación con respecto a sus CTX temperatura del horno, relación de velocidades 2/3 y % de carbonato; se procederá analizar la interacción de dichas variables o factores CTX con las variables de salida CTY. La finalidad es encontrar que factores tienen mayor efecto significativo e interacción entre sí sobre el hilo de polipropileno que conforman el saco.

3.2.1 Matriz de selección de herramientas para el análisis de variabilidad

Una vez seleccionadas las variables de salida CTY, título del hilo, tenacidad y elongación que corresponden al hilo de polipropileno, se procederá a seleccionar la herramienta estadística para el ANOVA e identificar como los factores CTX tienen efectos significativos sobre las CTY.

		VARIABLE INDEPENDIENTE (X)	
		CONTINUA	DISCRETA
VARIABLE DEPENDIENTE (Y)	CONTINUA	ANÁLISIS DE REGRESIÓN Y DE CORRELACIÓN	ANOVA, PRUEBAS DE Z Y T, PRUEBAS NO PARAMÉTRICAS
	DISCRETA	REGRESIÓN LOGÍSTICA	PRUEBA DE JI-CUADRADA, PRUEBA DE PROPORCIONES

Gráfico 3.11 Matriz de herramientas estadísticas para el análisis ANOVA.

En el Gráfico 3.11, se evidencia que las CTX por su naturaleza se tratan de variables continuas y las CTY tenacidad, título del hilo y elongación son variables continuas. Por lo que la herramienta que se va a utilizar en el análisis ANOVA, es la regresión lineal.

3.2.2 Procedimiento para el análisis de regresión

Una vez determinada la herramienta estadística por los datos continuos de las CTX y CTY, es indispensable cuantificar la relación entre ellas. Se va a definir un modelo matemático adecuado, con fines de predicción.

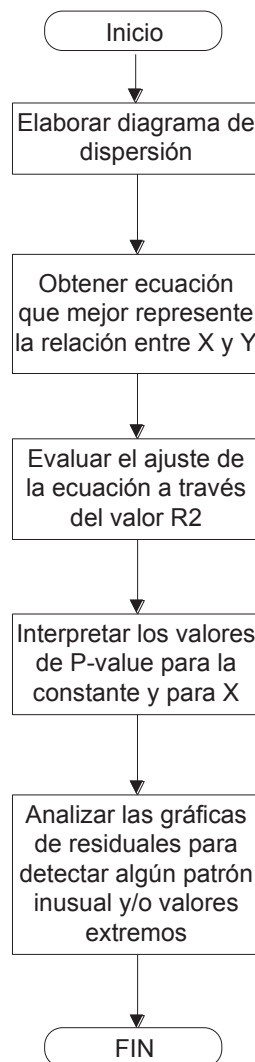


Gráfico 3.12 Ruta para análisis de regresión.

En el Gráfico 3.12, se indica la ruta que se deberá seguir para encontrar la ecuación predictiva para las tres variables de salida título del hilo, tenacidad y elongación con la finalidad de encontrar los efectos significativos entre las interacciones y verificar las características del proceso en lo que respecta al % de carbonato, temperatura del horno y la relación de velocidades dos respecto a tres, las cuales se procederá a calibrarlas en la extrusora.

La hipótesis que se va a demostrar es de acuerdo a la estructura de la ecuación predictiva o valor estimado obtenida que se presenta en su forma general por:

$$\hat{y} = \hat{\beta}_1 x + \hat{\beta}_0 \quad \text{Ec. 3.1}$$

$$H_o = \hat{\beta}_1 = 0 \quad \text{Qué no hay relación entre X y Y}$$

$$H_a = \hat{\beta}_1 \neq 0 \quad \text{Qué existe relación entre X y Y}$$

3.2.2.1 Análisis de regresión título del hilo

En el análisis de la variable de salida título del hilo, se va a identificar las variables de proceso que tienen gran impacto sobre la misma.

Tabla 3.5 Análisis de regresión título del hilo.

The regression equation is					
Título Hilo [727,5-772,5] dn = 762 - 16,2 % Carbonato [10-18] %					
+ 5,47 Temp Horno [150-180]°C					
+ 10,4 rv2/3 [4,03-5,1]					
Predictor		Coef	SE Coef	T	P
Constant		762,156	6,648	114,64	0,000
% Carbonato [10-18] %		-16,156	6,648	-2,43	0,022
Temp Horno [150-180]°C		5,469	6,648	0,82	0,418
rv2/3 [4,03-5,1]		10,406	6,648	1,57	0,129
S = 37,6085 R-Sq = 24,4% R-Sq(adj) = 16,3%					
Analysis of Variance					
Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	12775	4258	3,01	0,047
Residual Error	28	39603	1414		
Total	31	52378			

En la Tabla 3.5, se observa la ecuación de regresión con una constante de 762,156 con su P-value < 0,05 lo que explica que tiene un efecto muy significativo sobre el título del hilo y el % de carbonato con un P-value de 0,022 es la característica del proceso de mayor efecto significativo sobre el título del hilo. En lo que respecta a la temperatura del horno y la relación de velocidad del cilindro dos respecto al tres con un P-value > 0,05 sus efectos no son significativos sobre la variable de salida, título del hilo. El modelo explica el 24,4 % de la variación en el título del hilo. Para decir que el modelo es adecuado el valor R-Sq estará sobre el 80%, algo menor significa que existen otras variables afectando al título del hilo.

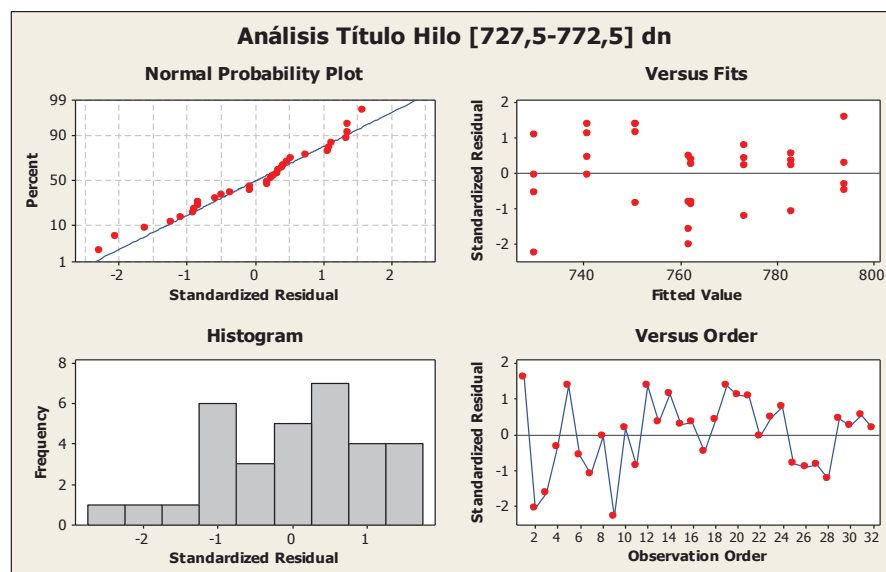


Gráfico 3.13 Análisis residual título del hilo.

En el Gráfico 3.13, se indica los residuales estandarizados versus los valores esperados cuya configuración no se encuentra aleatorizada por lo que el modelo no es el adecuado. Adicional se indica las observaciones entre ± 2 con dos puntos atípicos, es decir que existen causas especiales de variación lo que da lugar a efectuar experimentos de Taguchi y hacer un diseño robusto en lo que respecta al título del hilo. Por lo que se concluye que el patrón debe ser aleatorio y alrededor de cero.

3.2.2.2 Análisis de regresión tenacidad

En el análisis de la variable de salida tenacidad, se va a identificar las variables de proceso que tienen gran impacto sobre la misma.

Tabla 3.6 Análisis de regresión tenacidad

The regression equation is
 Tenacidad = 4,94 + 0,0250 % Carbonato [10-18] % + 0,0062 Temp Horno [150-180] °C
 - 0,169 rv2/3 [4,03-5,1]

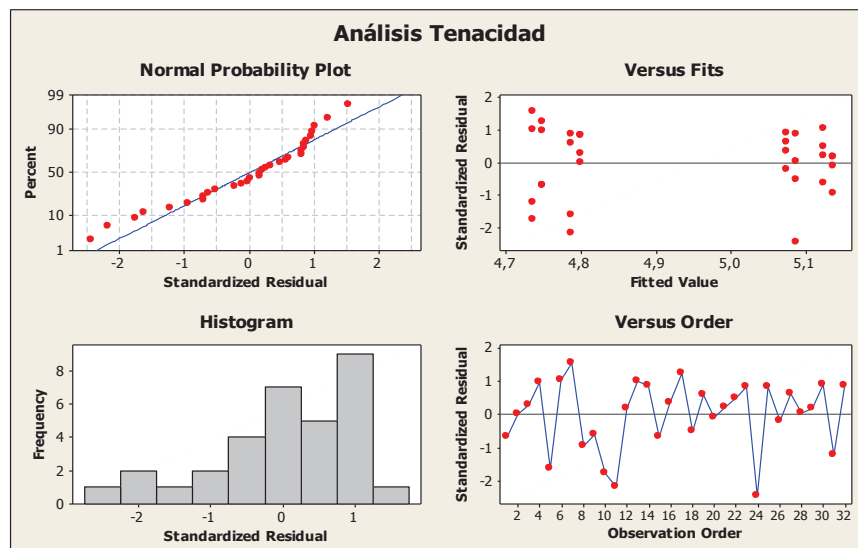
Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	4,93750	0,06881	71,75	0,000
% Carbonato [10-18] %	0,02500	0,06881	0,36	0,719
Temp Horno [150-180] °C	0,00625	0,06881	0,09	0,928
rv2/3 [4,03-5,1]	-0,16875	0,06881	-2,45	0,021

S = 0,389253 R-Sq = 18,0% R-Sq(adj) = 9,2%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	0,9325	0,3108	2,05	0,129
Residual Error	28	4,2425	0,1515		
Total	31	5,1750			

En la Tabla 3.2, se observa la ecuación de regresión con una constante de 4,9375 con su P-value < 0,05 lo que explica que tiene un efecto muy significativo sobre la tenacidad del hilo y la relación de velocidad del cilindro dos respecto al tres, con un P-value de 0,021 que es la característica del proceso de mayor efecto significativo sobre la tenacidad del hilo. En lo que respecta a la temperatura del horno y el porcentaje de carbonato con un P-value > 0,05 sus efectos no son significativos sobre la variable de salida, tenacidad del hilo. El modelo explica el 18 % de la variación en la tenacidad del hilo. Para decir que el modelo es adecuado el valor R-Sq estará sobre el 80%, algo menor significa que existen otras variables afectando a la tenacidad del hilo.

**Gráfico 3.14** Análisis residual tenacidad del hilo.

En el Gráfico 3.14, se indica los residuales estandarizados versus los valores esperados cuya configuración no se encuentra aleatorizada por lo que el modelo no es el adecuado. Adicional se indica las observaciones entre ± 2 con dos puntos atípicos, es decir que existen causas especiales de variación lo que da lugar a efectuar experimentos de Taguchi y hacer un diseño robusto en lo que respecta a la tenacidad del hilo. Por lo que se concluye que el patrón debe ser aleatorio y alrededor de cero.

3.2.2.3 Análisis de regresión elongación

En el análisis de la variable de salida elongación, se va a identificar las variables de proceso que tienen gran impacto sobre la misma.

Tabla 3.7 Análisis de regresión elongación

The regression equation is					
Elongación = 24,2 - 0,450 % Carbonato [10-18] % - 0,513 Temp Horno [150-180] °C					
- 0,694 rv2/3 [4,03-5,1]					
Predictor	Coef	SE Coef	T	P	
Constant	24,2000	0,2304	105,05	0,000	
% Carbonato [10-18] %	-0,4500	0,2304	-1,95	0,061	
Temp Horno [150-180] °C	-0,5125	0,2304	-2,22	0,034	
rv2/3 [4,03-5,1]	-0,6937	0,2304	-3,01	0,005	
S = 1,30321 R-Sq = 38,9% R-Sq(adj) = 32,4%					
Analysis of Variance					
Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	30,286	10,095	5,94	0,003
Residual Error	28	47,554	1,698		
Total	31	77,840			

En la Tabla 3.3, se evidencia la ecuación de regresión con una constante de 24,2 con su P-value $< 0,05$ lo que explica que tiene un efecto muy significativo sobre la elongación del hilo, la relación de velocidad del cilindro dos respecto al tres, con un P-value de 0,005 que es la característica del proceso de mayor efecto significativo sobre la elongación del hilo y la temperatura del horno, con P-value de 0,034 que es significativa. En lo que respecta al porcentaje de carbonato con un P-value $> 0,05$ sus efectos no son significativos sobre la variable de salida,

elongación del hilo. El modelo explica el 38,9 % de la variación en la elongación del hilo. Para decir que el modelo es adecuado el valor R-Sq estará sobre el 80%, algo menor significa que existen otras variables afectando a la elongación del hilo.

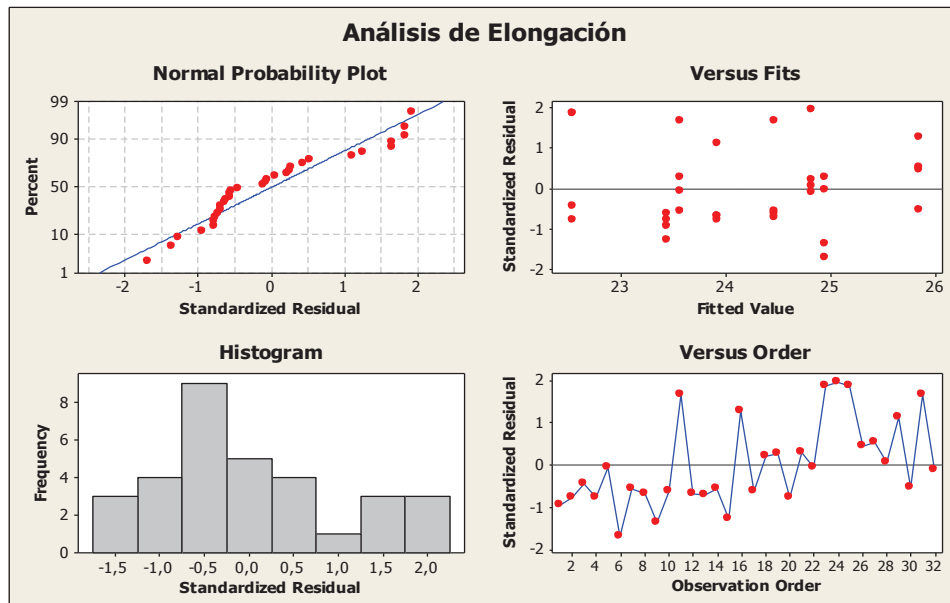


Gráfico 3.15 Análisis residual elongación del hilo.

En el Gráfico 3.15, se indica los residuales estandarizados versus los valores esperados cuya configuración no se encuentra aleatorizada por lo que el modelo no es el adecuado. Adicional en las observaciones entre ± 2 no se observa puntos atípicos, pero pueden existir causas especiales de variación lo que da lugar a efectuar experimentos de Taguchi y hacer un diseño robusto en lo que respecta a la tenacidad del hilo. Por lo que se concluye que el patrón debe ser aleatorio y alrededor de cero.

3.3 INFLUENCIA EN LOS FACTORES POR LA SEÑAL DE RUIDO

Al momento de procesar los datos tomados de un diseño experimental, van a surgir errores en la toma de datos por los operadores, para por mantenimientos correctivos, desgastes de los componentes, factores externos al desempeño funcional de los equipos y que no son controlables. Por lo que una vez más es necesario diseñar de una manera

tal, que por la variación aleatoria de las características del proceso CTX no afecten al proceso de producción ni al producto final obtenido, que sería el hilo con un título solicitado de 750 denier, con su tenacidad y elongación que se determinará de acuerdo a la optimización de las CTX.

Una vez determinada la influencia de los factores de temperatura del horno, % de carbonato y relación de velocidades de los cilindros dos respecto al tres, sobre las CTY título del hilo, tenacidad y elongación se procederá a plantear una matriz de dichas interacciones.

Tabla 3.8 Factores e interacciones escogidos para el diseño experimental L_8 .

Características del proceso de sacos de polipropileno (CTX) a experimentar		
Factor	A	% de carbonato en la mezcla
Factor	B	Temperatura del horno
Interacción	AxB	% de carbonato en la mezcla*Temperatura del horno
Factor	C	Contracción
Interacción	AxC	% de carbonato en la mezcla*Contracción
Interacción	BxC	Temperatura del horno*Contracción
Interacción	AxBXC	% de carbonato en la mezcla*Temperatura del horno*Contracción

En la Tabla 3.4, se indica los factores y las interacciones para el diseño experimental L_8 . En este caso se escogen los factores de la tabla 3.3 que se obtienen del análisis de la matriz de las características del proceso CTX, se analizará tres factores y cuatro interacciones para la corrida experimental de Taguchi.

CAPÍTULO 4

APLICACIÓN DEL DISEÑO DE EXPERIMENTOS DE TAGUCHI A LAS CARACTERÍSTICAS CRÍTICAS

4.1 INGRESO DE LAS CARACTERÍSTICAS CRÍTICAS DEL PROCESO AL MINITAB 16

Una vez que se han identificado las CTX del proceso de extrusión del hilo de polipropileno % de carbonato en la mezcla, temperatura del horno y la relación de velocidades de los cilindros dos respecto al tres, se procederá a ingresarlas al minitab 16. Este software es especialista en estadística descriptiva e inferencial que facilita los cálculos manuales que anteriormente eran tediosos y llevaba tiempo procesarlos, perdiendo tiempo en lo más valioso, el análisis de resultados.

Por lo tanto el minitab 16 se lo utilizará como base para el procesamiento de datos y se centrará la mayor parte en el análisis de los experimentos diseñados.

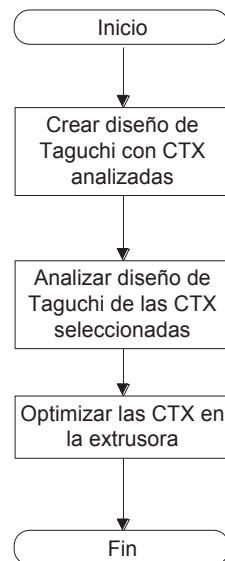


Gráfico 4.1 Flujograma del diseño experimental de Taguchi.

La creación del diseño experimental consiste en determinar mediante números aleatorios las combinaciones de los niveles de los factores que interactúan. En la metodología de Taguchi se utiliza la matriz estandarizada L_8 , debido a que se van a analizar tres factores y sus cuatro interacciones, tal como se indica en la tabla 3.4.

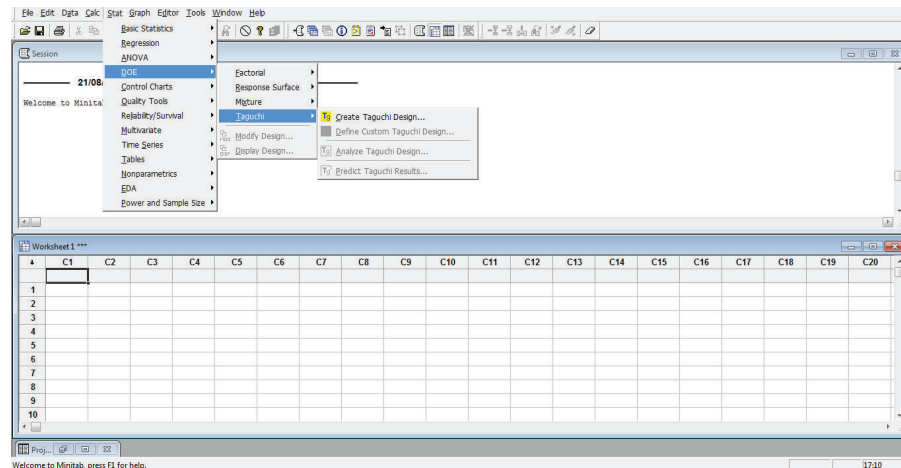


Gráfico 4.2 Creación del diseño experimental de Taguchi.

En el Gráfico 4.2, se indica la creación del diseño de Taguchi en el Minitab 16 al ingresar a: **Stat> DOE Taguchi>CreateTaguchi Design**. A continuación se despliega una pantalla que indica el tipo de diseño experimental que se ha definido de acuerdo al análisis del número de factores que se requiere y sus respectivas interacciones.

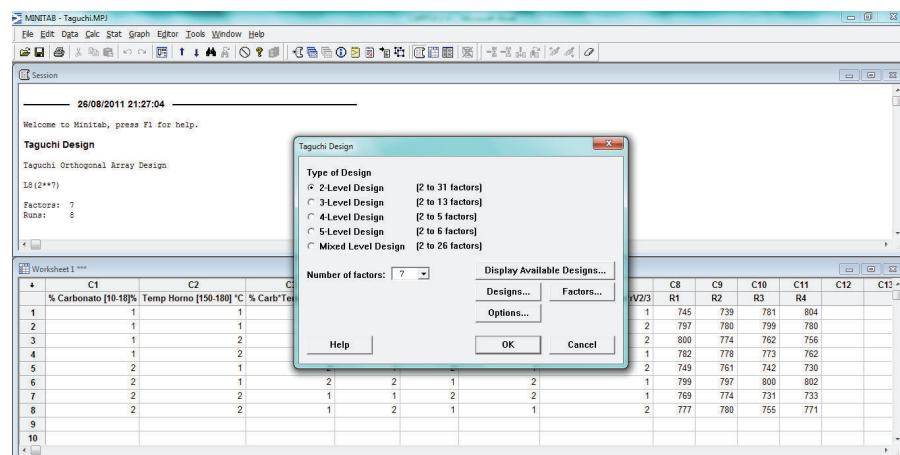
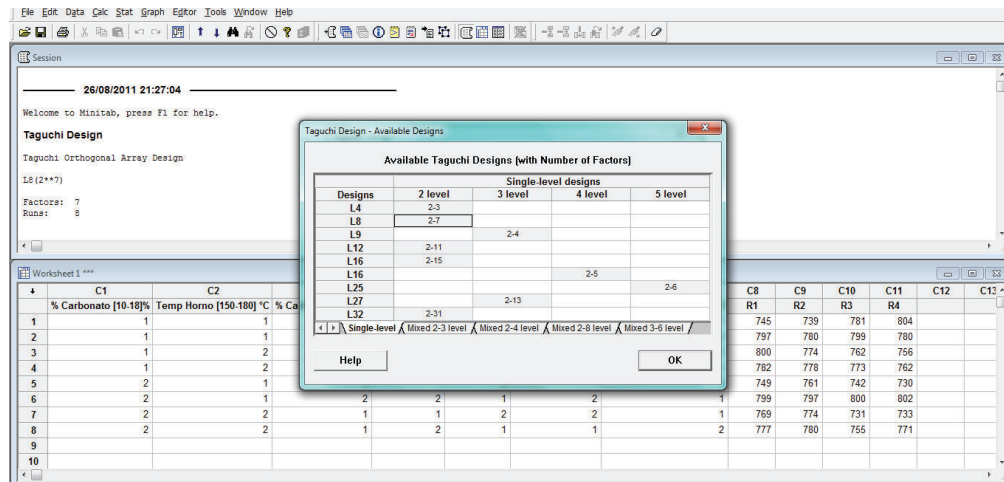


Gráfico 4.3 Selección del número de factores y niveles.

El Gráfico 4.3, indica el tipo de diseño que se debe elegir en el caso del diseño L_8 se selecciona dos niveles y siete factores. Al seleccionar **DisplayAvailableDesigns**, indica el tipo de diseño que se selecciona con sus factores y niveles.



Gráfica 4.4 Selección del diseño L_8 .

El Gráfico 4.4, indica la selección del diseño estándar L_8 y genera las combinaciones de los factores con sus niveles alto (2) y bajo (1). Una vez generado el diseño L_8 se despliega en la pantalla las características del proceso Temperatura del horno, porcentaje de carbonato y la relación de velocidad dos respecto a tres.

The screenshot shows the Minitab worksheet with the generated experimental design. The worksheet has columns for factors and runs. The factors are % Carbonato, Temp Horno, % Carb, and Temp Horno, with their respective levels (1 and 2) for each run.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13
	% Carbonato [10-18]%	Temp Horno [150-180] °C	% Carb*Temp Horno	v/2/3 [4,03-5,1]	% Carb*v/2/3	Temp Horno*v/2/3	% Carb*Temp Horno*v/2/3	R1	R2	R3	R4		
1	1	1	1	1	1	1	1	745	739	781	804		
2	1	1	1	2	2	2	2	797	780	799	780		
3	1	2	2	1	1	2	2	800	774	762	756		
4	1	2	2	2	2	1	1	782	778	773	762		
5	2	1	2	1	2	1	2	749	761	742	730		
6	2	1	2	2	1	2	1	799	797	800	802		
7	2	2	1	1	2	2	2	769	774	731	733		
8	2	2	1	2	1	1	2	777	780	755	771		

Gráfico 4.5 Diseño experimental generado por software.

El Gráfico 4.5, muestra la pantalla de los factores con sus respectivos niveles de acuerdo a la definición de ortogonalidad del párrafo 3.1.4. Se han considerado las interacciones ubicadas por definición en las columnas C3, C5, C6 y C7. Los efectos principales en las columnas C1, C2 y C4. También se observa cuatro réplicas R1, R2, R3, R4 que corresponden al denier del hilo para el saco de polipropileno; las mismas que se encuentran en las columnas C8, C9, C10, C11.

4.1.1 Creación del diseño de Taguchi, título del hilo

Para la creación del diseño de Taguchi a las interacciones se les puede considerar como un factor más y se efectúa con cuatro réplicas.

Tabla 4.1¹ Creación del diseño de Taguchi con minitab 16, título del hilo.

% Carbonato [10-18]%	Temperatura del Horno [150-180] °C	% Carb*Temp Horno	rV2/3 [4,03-5,1]	% Carb*rV2/3	Temp Horno*rV2/3	% Carb*Temp Horno*rV2/3	R1	R2	R3	R4
1	1	1	1	1	1	1	755	760	751	752
1	1	1	2	2	2	2	755	744	740	735
1	2	2	1	1	2	2	765	750	780	758
1	2	2	2	2	1	1	740	721	740	723
2	1	2	1	2	1	2	770	748	757	760
2	1	2	2	1	2	1	748	740	756	745
2	2	1	1	2	2	1	780	775	755	756
2	2	1	2	1	1	2	729	748	748	748

En la Tabla 4.1, se indica la creación del diseño de Taguchi con tres factores principales y cuatro interacciones. Adicionalmente se efectúan cuatro corridas o repeticiones en lo que respecta a título del hilo.

4.1.2 Creación del diseño de Taguchi, tenacidad del hilo

Una vez desplegada la tabla del diseño de Taguchi en el software con los factores principales % de carbonato, temperatura del horno y relación de velocidades de los cilindros dos respecto a tres y sus interacciones se procede a ingresar las réplicas en las columnas correspondientes.

1. Plasticsacks. Aseguramiento de la Calidad, Ecuador, 2010.

Tabla 4.2² Creación del diseño de Taguchi con minitab 16, tenacidad del hilo.

% Carbonato [10-18]%	Temp Horno [150-180] °C	% Carb*Temp Horno	rV2/3 [4,03-5,1]	% Carb*rV2/3	Temp Horno*rV2/3	% Carb*Temp Horno*rV2/3	R1	R2	R3	R4
1	1	1	1	1	1	1	5,3	4,8	4,1	4,9
1	1	1	2	2	2	2	5	5,3	5,6	5,7
1	2	2	1	1	2	2	5,6	5,7	5,9	5,9
1	2	2	2	2	1	1	5,5	5	5,5	5,3
2	1	2	1	2	1	2	6	6,1	5,8	5,8
2	1	2	2	1	2	1	4,2	4	4,5	4,5
2	2	1	1	2	2	1	5,6	5,5	5,3	5,7
2	2	1	2	1	1	2	5,3	5,5	6	5,7

En la Tabla 4.2, se indica la creación del diseño de Taguchi con el despliegue de sus factores principales e interacciones. El ingreso de los datos de tenacidad obtenidos se ingresa en las columnas de cada réplica correspondiente.

4.1.3 Creación del diseño de Taguchi, elongación del hilo

Una vez que se procede con la creación del diseño experimental de Taguchi para la característica CTY, elongación del hilo se ingresa los datos de las elongaciones obtenidas al estirar hasta la rotura del hilo.

Tabla 4.3² Creación del diseño de Taguchi con minitab 16, elongación del hilo.

% Carbonato [10-18]%	Temp Horno [150-180] °C	% Carb*Temp Horno	rV2/3 [4,03-5,1]	% Carb*rV2/3	Temp Horno*rV2/3	% Carb*Temp Horno*rV2/3	R1	R2	R3	R4
1	1	1	1	1	1	1	24,1	24,8	23,7	26,1
1	1	1	2	2	2	2	23,8	25,1	23,9	24,7
1	2	2	1	1	2	2	28,3	25,51	29,7	26,5
1	2	2	2	2	1	1	28,1	24,9	30,6	25,1
2	1	2	1	2	1	2	25,4	26,3	24,8	24,9
2	1	2	2	1	2	1	25,6	26,7	27,2	26,5
2	2	1	1	2	2	1	25,6	26,6	27,4	26,5
2	2	1	2	1	1	2	22,6	23	24,9	25,2

En la Tabla 4.3, se indica al nivel bajo de las CTX con el número (1) y al nivel alto como (2), esta distribución aleatoria lo hace el minitab 16 siguiendo el concepto de ortogonalidad entre los niveles bajo y alto. En la columna de las réplicas se colocan las réplicas o repeticiones de los datos de elongación obtenidos en planta.

4.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL DISEÑO EXPERIMENTAL DE TAGUCHI

Una vez generado el diseño de Taguchi se procede a escoger de acuerdo a la experiencia del experimentador las características del proceso que serán las que interactúen para determinar un diseño robusto del denier del hilo.

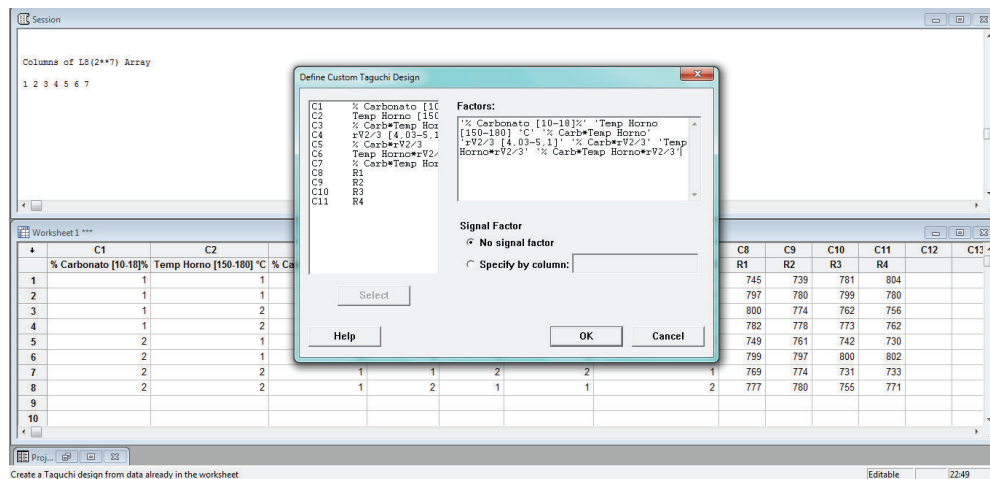


Gráfico 4.6 Selección de los factores principales para el diseño robusto.

En el Gráfico 4.6, se indica a todas las columnas desde la C1 hasta la C11 se procede a seleccionar los factores principales y las interacciones. Se procede a ubicarlas en la zona bajo el título *factors*, y se selecciona *No signal factor* con el propósito de almacenar los factores de porcentaje de carbonato, temperatura del horno y relación de velocidad dos respecto a tres para efectuar el análisis del diseño experimental de Taguchi.

Al ingresar las variables o características del proceso y del producto o respuesta, se lo hace de acuerdo al sistema ortogonal en donde se interaccionan los factores en sus niveles 1 o 2 con los otros factores, con sus respectivas interacciones basadas en el criterio del experimentador, para dar lugar a la variable de respuesta sea el caso título del hilo, tenacidad y elongación.

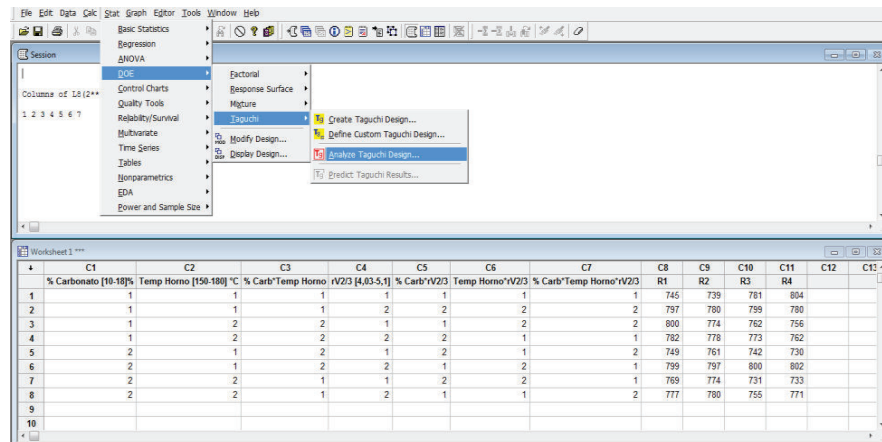


Gráfico 4.7 Análisis del diseño experimental.

En el Gráfico 4.7, se indica las combinaciones del diseño experimental obtenido al efectuar la corrida del programa se indica los tres factores y las cuatro interacciones. Las columnas R1, R2, R3 y R4 indican los datos de la característica del hilo (denier), elongación (%) y tenacidad (gpd) obtenidos de acuerdo a las combinaciones de porcentaje de carbonato, temperatura del horno y la relación de velocidades de los cilindros dos respecto a tres de la extrusora. Con los datos presentados se procede a efectuar el análisis del diseño experimental y declarar la variable de respuesta.

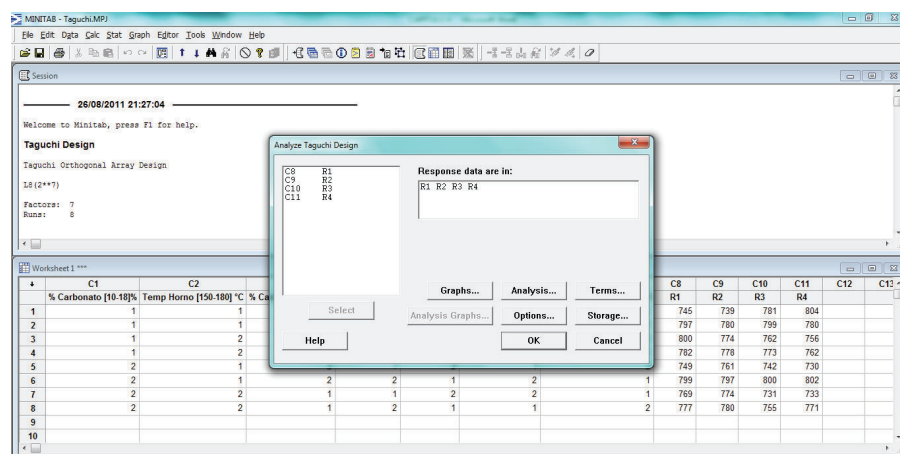


Gráfico 4.8 Selección de la característica de respuesta (título, tenacidad y elongación).

El Gráfico 4.8, indica el procedimiento de selección de la característica de respuesta título del hilo, tenacidad y elongación con sus cuatro réplicas. En el lado izquierdo se indican las características del proceso que intervienen durante la extrusión de la rafia que da lugar al hilo de polipropileno cuyo valor nominal es de 750 denier \pm 3, tenacidad [4-8]gpd (gramos por dennier) y elongación [18-36]%.

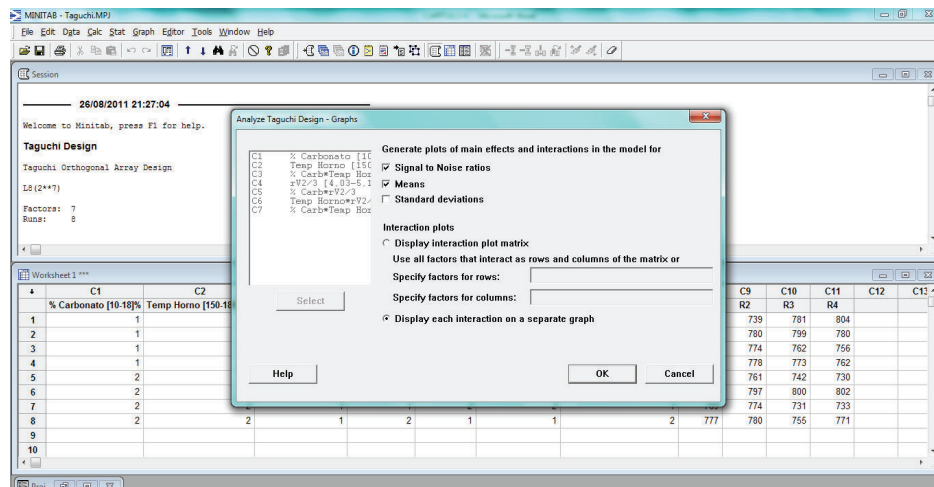


Gráfico 4.9 Generación de gráficos de los efectos medios e interacciones del modelo.

En el Gráfico 4.9, se muestra el procedimiento para generar los gráficos de la relación señal de ruido y de los efectos de la media en el diseño de Taguchi.

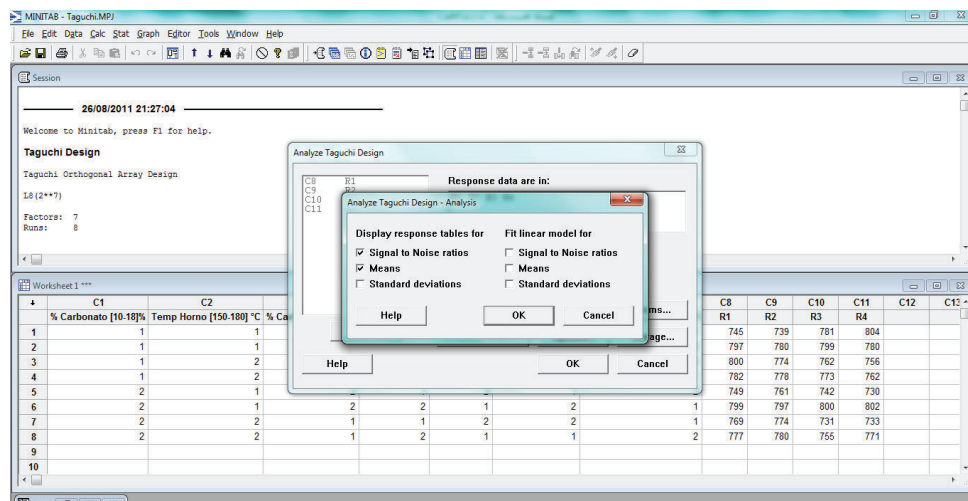


Gráfico 4.10 Análisis de la característica de respuesta en señal de ruido y efectos de las medias.

Para el análisis de la característica de respuesta, en el caso del hilo de polipropileno, el denier se lo hace seleccionando del cuadro **Analyze Taguchi Design- Analysis** las opciones **Signal to Noise** y **Means**, como se indica en el Gráfico 4.10. A continuación se eligen los factores del diseño de Taguchi que van a intervenir en la corrida experimental, dependiendo del tipo de diseño para el caso del análisis es el L_8 . El cual plantea a los factores principales con sus respectivas interacciones, como un experimento de siete factores con cuatro réplicas de acuerdo al criterio y experiencia en la operación del experimentador.

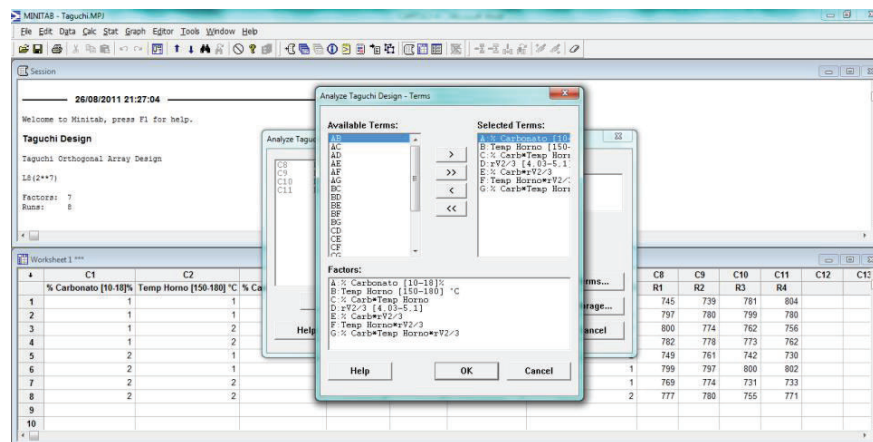


Gráfico 4.11 Selección de los siete factores del diseño L_8 .

En el Gráfico 4.11, se indica los factores que han sido seleccionados para la corrida experimental L_8 bajo la columna **factors:**, en donde se encuentran las características del proceso de extrusión. Entre las que se encuentra el porcentaje de carbonato, la temperatura del horno, la relación de velocidad de los cilindros respecto al tres, además, de sus interacciones.

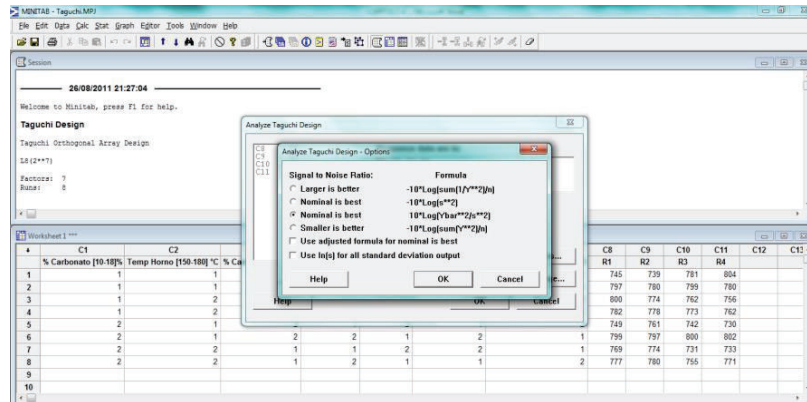


Gráfico 4.12 Análisis de robustez o señal de ruido.

El análisis de robustez se lo obtiene mediante el parámetro logarítmico señal de ruido del apartado 3.3.3, índices de señal de ruido. En el Gráfico 4.12, se indica claramente las opciones a seleccionar de acuerdo al caso, el cual sería **Nominal isbest** tal como se lo observa bajo el título **SignaltoNoise Ratio**.

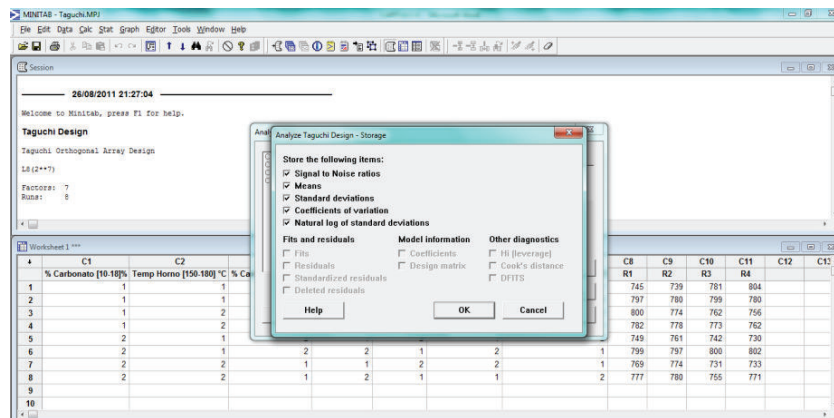


Gráfico 4.13 Generación de la señal de ruido y las medias del diseño L_8 .

En el Gráfico 4.13, indica las opciones para generar los resultados del análisis del diseño experimental de acuerdo al tipo de señal que se escoge. Para el caso de la característica de respuesta, denier, el caso nominal es el mejor quiere decir que el hilo debe producirse durante el proceso en los 750 denier. Los resultados obtenidos del análisis de las corridas experimentales antes de la optimización y propuesta del diseño robusto se encuentran en el anexo 4.1. Dicho resultados indican que el proceso para la obtención del hilo parte de un tipo de característica de denier, temperatura del horno y relación de velocidad de los cilindros 2//3 para la fabricación de un saco de polipropileno, diferente al hilo de título 750 denier que es el que se está experimentando para la calibración de las características.

Tabla 4.4 Diseño experimental de Taguchi de la característica título del hilo de los sacos de polipropileno.

% Carbonato [10-18]%	Temp Horno [150-180] °C	% Carb*Temp Horno	rV2/3 [4,03-5,1]	% Carb*rV2/3	Temp Horno*rV2/3	% Carb*Temp Horno*rV2/3	R1	R2	R3	R4	SNRA1	LSTD1	STDE1	MEAN1	CV1
1	1	1	1	1	1	1	755	760	751	752	45,422	1,3966	4,0415	754,5	0,0054
1	1	1	2	2	2	2	730	744	740	735	38,832	2,1406	8,5049	743,5	0,0114
1	2	2	1	1	2	2	765	750	780	758	35,552	2,5446	12,738	763,25	0,0167
1	2	2	2	2	1	1	740	721	740	723	36,917	2,3441	10,424	731	0,0143
2	1	2	1	2	1	2	770	748	757	760	38,451	2,2049	9,0692	758,75	0,012
2	1	2	2	1	2	1	748	740	756	745	40,945	1,9024	6,702	747,25	0,009
2	2	1	1	2	2	1	780	775	755	756	35,498	2,555	12,871	766,5	0,0168
2	2	1	2	1	1	2	729	748	748	748	37,868	2,2513	9,5	743,25	0,0128

PSNRA1	PMEAN1	PSTDE1	PLSTD1
45,422	754,5	4,0415	1,3966

En la Tabla 4.4, se indica la estructura del diseño experimental de Taguchi con los datos que se ingresan al software representados por las réplicas R1, R2, R3 y R4 para la característica denier del hilo de los sacos de polipropileno. El índice señal de ruido (PSNRA1) es 45,422 que indica en donde la característica denier es menos susceptible a los efectos o variaciones del proceso originando un diseño robusto para esta característica de hilo. La media (PMEAN1) de las cuatro réplicas o corridas es 754,5 con una desviación estándar (PSTDE1) de 4,0415, aplicando el logaritmo de base 10 (PLSTD1) se obtiene 1,3966 y el coeficiente de variación (CV1) 0,0054, que es la variabilidad no explicada o residual de los datos como porcentaje de la media.

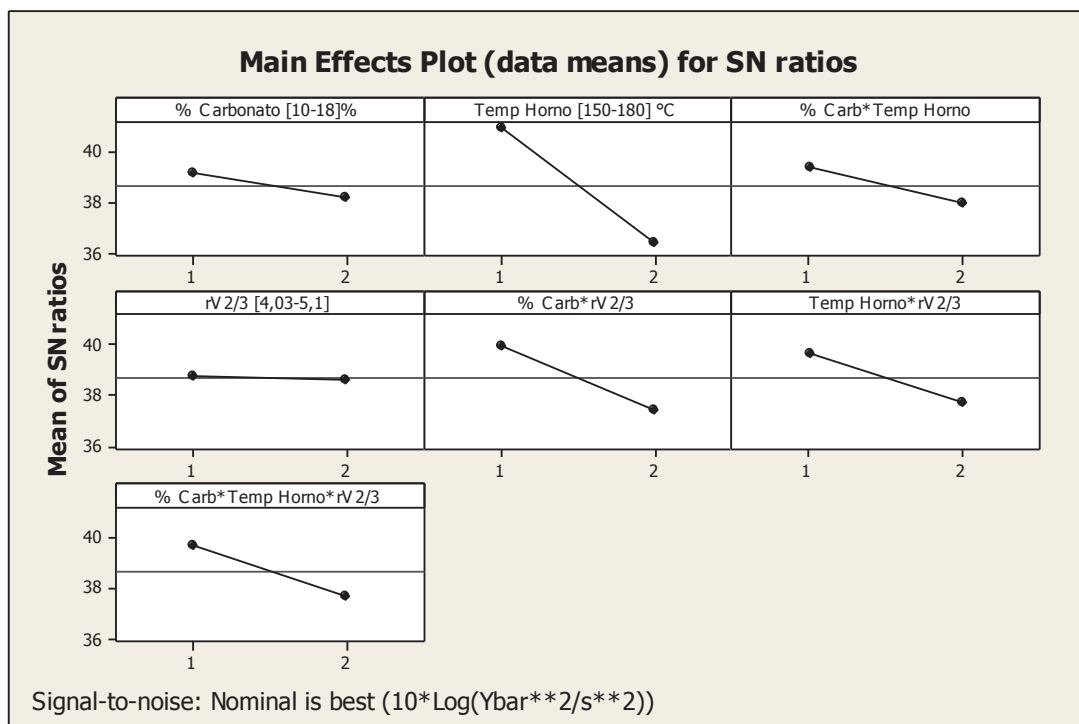


Gráfico 4.14 Gráfico de los efectos principales para señal de ruido, característica denier.

El Gráfico 4.14, muestra de manera visual la característica del proceso que produce la variabilidad en el hilo de acuerdo a la característica con la que se haya efectuado su corrida experimental. La temperatura del horno es la característica que produce la mayor variabilidad. Por lo tanto, se ajusta en su nivel uno a 150 °C para hacer un diseño robusto. Para la calibración de las otras dos características

% de carbonato en la mezcla y relación de velocidad del cilindro dos respecto al tres se lo efectuará de acuerdo al siguiente análisis del gráfico de las medias para el título del hilo.

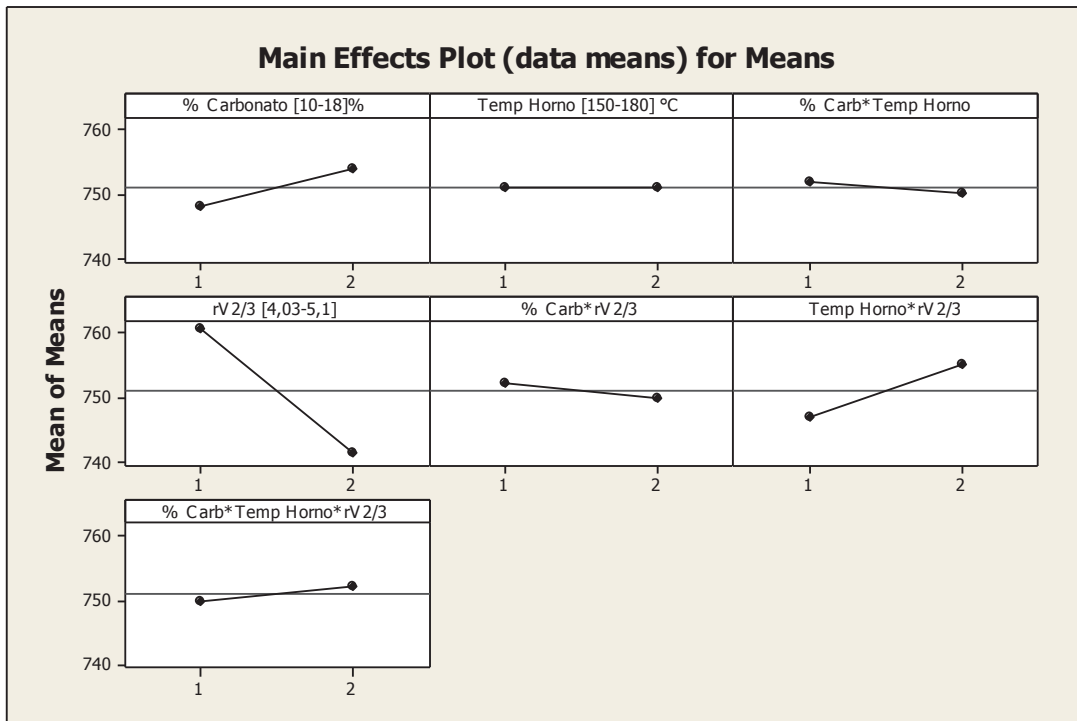


Gráfico 4.15 Gráfico de los efectos principales para medias, característica título del hilo.

En el Gráfico 4.15, se puede observar a la característica que afecta a la media que es la relación de la velocidad de los cilindros dos / tres y no a su variabilidad como se indica en el gráfico 4.14. Por lo que se procederá ajustar su media al nivel uno que es 4,03. También se concluye que el porcentaje de carbonato se lo podría estabilizar en el 10% por cuestión de un menor consumo de carbonato originando la disminución del costo de producción, ver anexo 4.1.1.

Tabla 4.5 Diseño experimental de Taguchi de la característica tenacidad, del hilo de los sacos de polipropileno.

% Carbonato [10-18]%	Temp Horno [150-180] °C	% Carb*Temp Horno	rV2/3 [4,03-5,1]	% Carb*rV2/3	Temp Horno*rV2/3	% Carb*Temp Horno*rV2/3	R1	R2	R3	R4	SNRA2	LSTD2	STDE2	MEAN2	CV2
1	1	1	1	1	1	1	5,3	4,8	4,1	4,9	19,6027	-0,69482	0,499166	4,775	0,104537
1	1	1	2	2	2	2	5	5,3	5,6	5,7	24,6442	-1,15129	0,316228	5,4	0,058561
1	2	2	1	1	2	2	5,6	5,7	5,9	5,9	31,7085	-1,89712	0,15	5,775	0,025974
1	2	2	2	2	1	1	5,5	5	5,5	5,3	27,0553	-1,44269	0,236291	5,325	0,044374
2	1	2	1	2	1	2	6	6,1	5,8	5,8	31,9312	-1,89712	0,15	5,925	0,025316
2	1	2	2	1	2	1	4,2	4	4,5	4,5	24,8843	-1,40671	0,244949	4,3	0,056965
2	2	1	1	2	2	1	5,6	5,5	5,3	5,7	30,1967	-1,76736	0,170783	5,525	0,030911
2	2	1	2	1	1	2	5,3	5,5	6	5,7	25,4974	-1,20862	0,298608	5,625	0,053086

PSNRA2	PMEAN2	PSTDE2	PLSTD2
31,9312	5,925	0,15	-1,89712

En la Tabla 4.5, se indica la estructura del diseño experimental de Taguchi con los datos que se ingresan al software representados por las réplicas R1, R2, R3 y R4 para la característica tenacidad del hilo de los sacos de polipropileno. El índice señal de ruido(PSNRA2) es 31,9312 que indica en donde la característica tenacidad es menos susceptible a los efectos o variaciones del proceso originando un diseño robusto para esta característica de hilo. La media(PMEAN2) de las cuatro réplicas o corridas es 5,925 con una desviación estándar(PSTDE2) de 0,15, aplicando el logaritmo de base 10(PLSTD2) se obtiene un valor de -1,89712 y el coeficiente de variación(CV2) es 0,025316, que es la variabilidad no explicada o residual de los datos como porcentaje de la media.

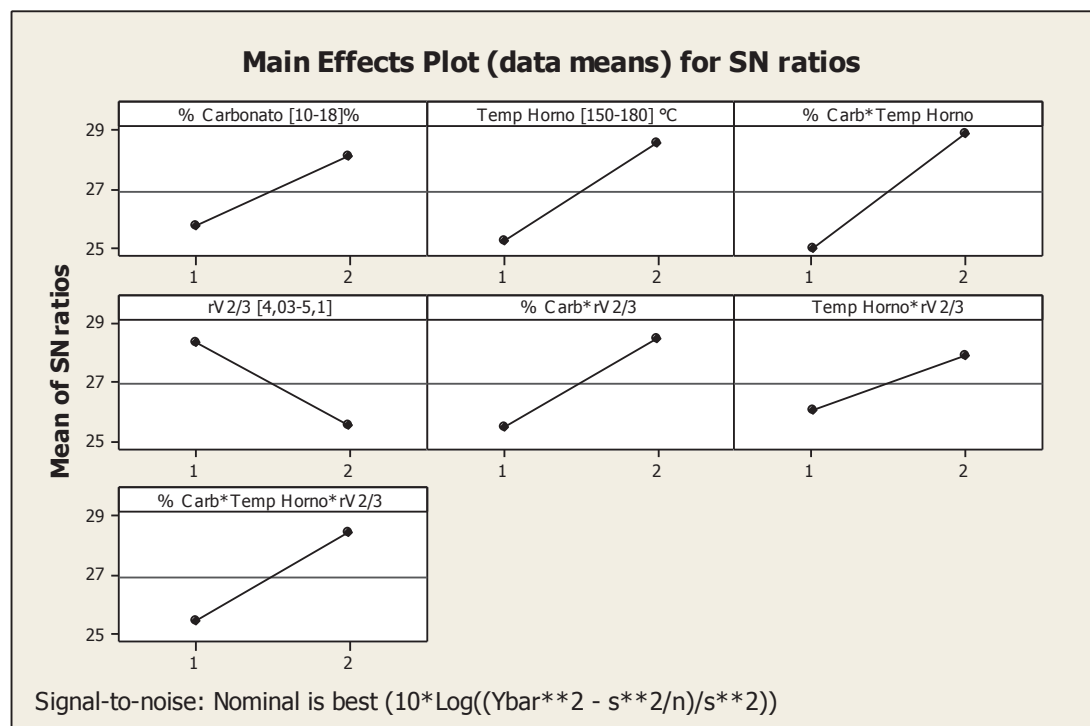


Gráfico 4.16 Gráfico de los efectos principales para señal de ruido, característica tenacidad.

En el Gráfico 4.16, se indica que la temperatura del horno ocasiona la variabilidad de mayor impacto en la característica del hilo de los sacos de polipropileno tenacidad, por lo que se la debe ajustar en el nivel dos a 180 °C. El porcentaje de carbonato se le ajustará en el nivel dos en 18% y la relación de velocidades del cilindro dos y tres en 4,03.

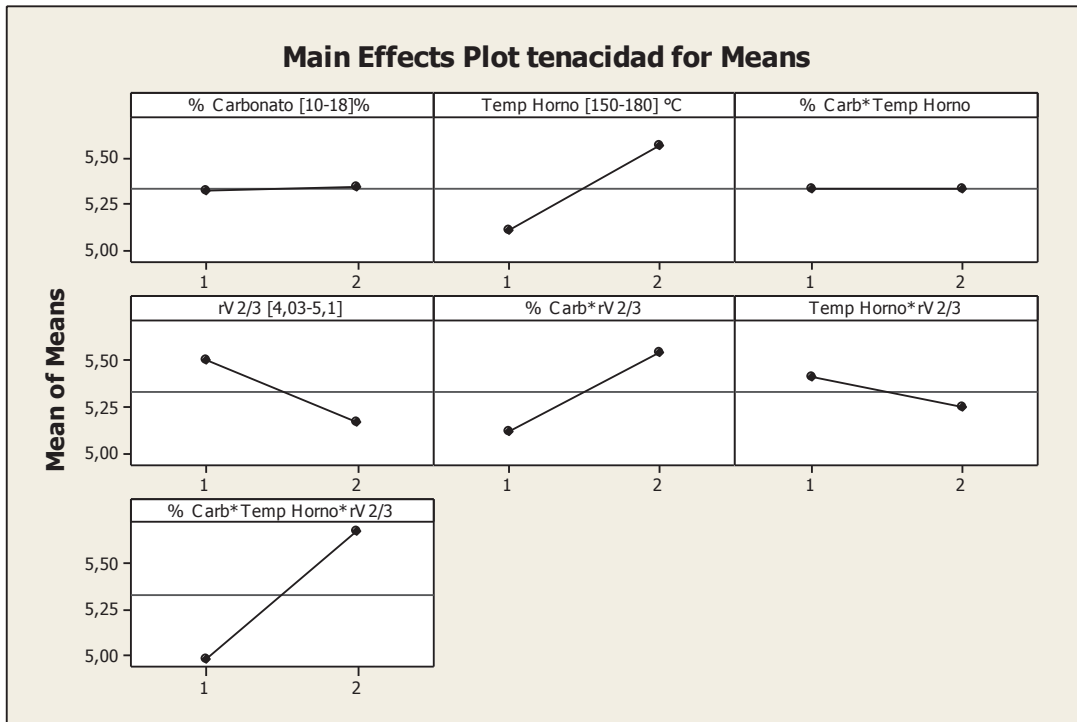


Gráfico 4.17 Gráfico de los efectos principales para medias, característica tenacidad.

En el Gráfico 4.17, se indica los efectos principales de las medias para la característica tenacidad. La temperatura del horno es la que origina el efecto sobre la media del proceso de extrusión, lo cual demuestra que para evitar que el saco de polipropileno durante su funcionamiento con carga sufra variación en su estabilidad dimensional es necesario diseñarlo en el nivel dos a 180°C, ver anexo 4.1.2.

Tabla 4.6 Diseño experimental de Taguchi de la característica elongación, del hilo de los sacos de polipropileno.

% Carbonato [10-18]%	Temp Horno [150-180] °C	% Carb*Temp Horno	rV2/3 [4,03-5,1]	% Carb*rV2/3	Temp Horno*rV2/3	% Carb*Temp Horno*rV2/3	R1	R2	R3	R4	SNRA3	LSTD3	STDE3	MEAN3	CV3
1	1	1	1	1	1	1	24,1	24,8	23,7	26,1	27,8278	0,051804	1,05317	24,675	0,0426817
1	1	1	2	2	2	2	23,8	25,1	23,9	24,7	27,7324	-0,46338	0,62915	24,375	0,0258114
1	2	2	1	1	2	2	28,3	25,51	29,7	26,5	28,7428	0,62352	1,86548	27,5025	0,0678296
1	2	2	2	2	1	1	28,1	24,9	30,6	25,1	28,5898	0,997747	2,71216	27,175	0,0998036
2	1	2	1	2	1	2	25,4	26,3	24,8	24,9	28,0726	-0,37751	0,68557	25,35	0,027044
2	1	2	2	1	2	1	25,6	26,7	27,2	26,5	28,4586	-0,40297	0,66833	26,5	0,02522
2	2	1	1	2	2	1	25,6	26,6	27,4	26,5	28,4655	-0,30578	0,73655	26,525	0,027768
2	2	1	2	1	1	2	22,6	23	24,9	25,2	27,5475	0,27382	1,31498	23,925	0,0549625
PSNRA3	PMEAN3	PSTDE3	PLSTD3												
28,7428	27,5025	1,86548	0,62352												

En la Tabla 4.6, se indica la estructura del diseño experimental de Taguchi con los datos que se ingresan al software representados por las réplicas R1, R2, R3 y R4 para la característica % elongación del hilo de los sacos de polipropileno. El índice señal de ruido(PSNRA3) es 28,7428 que indica en donde la característica elongación es menos susceptible a los efectos o variaciones del proceso originando un diseño robusto para esta característica de hilo. La media(PMEAN3) de las cuatro réplicas o corridas es 27,5025% con una desviación estándar(PSTDE3) de 1,86548, aplicando el logaritmo de base 10(PLSTD3) se obtiene un valor de 0,62352 y el coeficiente de variación(CV3) es 0,0678296, que es la variabilidad no explicada o residual de los datos como porcentaje de la media.

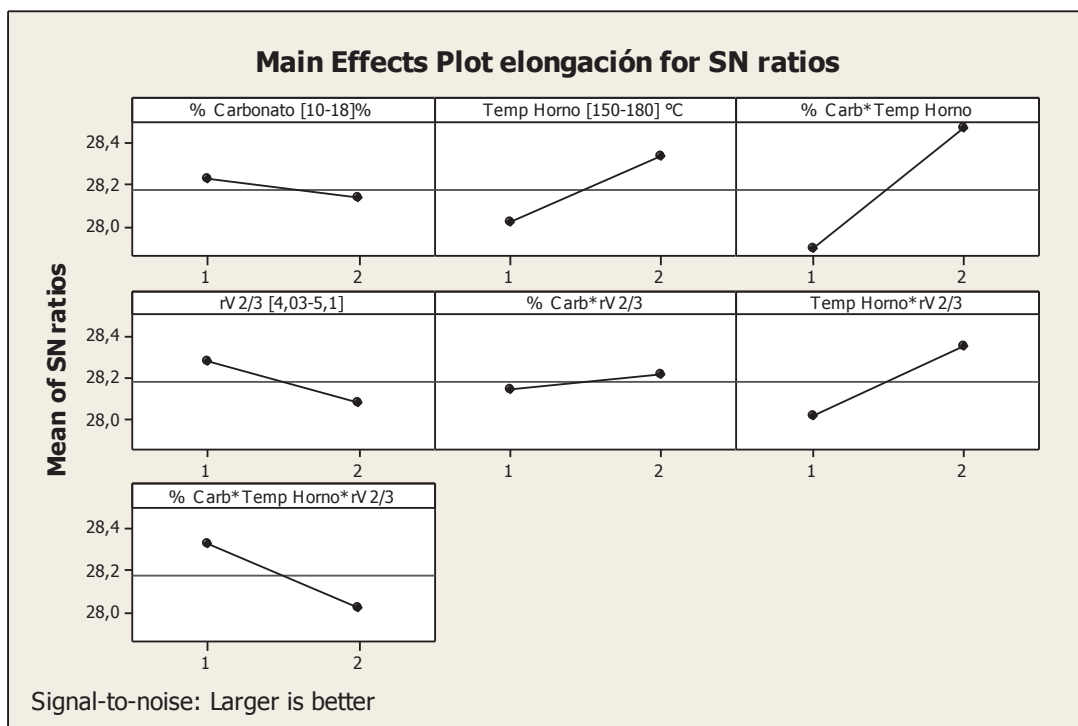


Gráfico 4.18 Gráfico de los efectos principales para señal de ruido característica elongación.

Por otro lado en el Gráfico 4.18, la característica que origina la variabilidad del proceso es la temperatura del horno por tal motivo se debe diseñar para hacerlo robusto a 180 °C, es decir en su nivel dos.

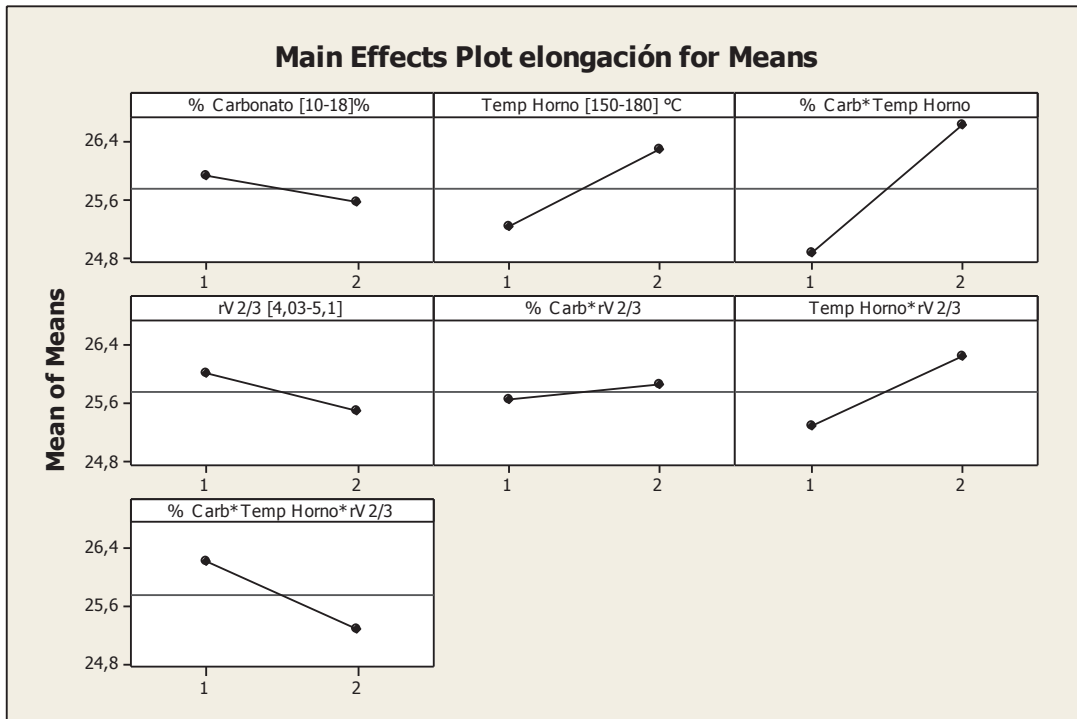


Gráfico 4.19 Gráfico de los efectos principales para medias, característica elongación.

En el Gráfico 4.19, el factor que incide en la media del proceso es la temperatura del horno en su nivel dos a 180°C, la relación de velocidad del cilindro de entrada de la rafia al horno respecto a la salida a 4,03 y el porcentaje de carbonato a 18%, ver anexo 4.1.3.

Una vez encontrado los niveles en las que se debe calibrar a las características del proceso [18% - 180°C - 4,03], se debe analizar la probabilidad de que esas calibraciones a los niveles para un diseño robusto sean las indicadas. Además se encontrarán los niveles óptimos de los factores o características del proceso para obtener un saco de polipropileno que cumpla con las expectativas del cliente.

4.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS DE LA CORRIDA EXPERIMENTAL

Los tres factores en lo que respecta a las características del producto que se requiere mejorar y con los que se va a realizar la corrida experimental son: Título de hilo (denier), elongación (%), tenacidad (gr/denier). Las características del producto con respecto al título del hilo el valor nominal es el mejor, ya que el cliente desea que el hilo para tejer el saco sea de 750 denier, la tenacidad y la elongación se obtendrán de acuerdo a la tendencia de los factores en el análisis del gráfico multi-vari.

Título del hilo de polipropileno: [750 ±3%] denier.

Tenacidad : [4-8] gr/denier.

Elongación: [18-34] %.

Se concluye que para el diseño experimental antes de la propuesta se parte de las siguientes características de proceso ajustadas en intervalos a diferencia de lo que se propone, que sea el proceso calibrado en su nivel alto o en su nivel bajo de los factores que determinan la respuesta en las características deseables del hilo.

Porcentaje de Carbonato: [10-18] %

Temperatura del horno: [150-180] °C.

Relación de velocidades 2/3: [4,03-5,1]

4.3.1 Análisis estadístico multi-vari

Se va a realizar un diseño controlado el cual consta de 3 factores, 2 niveles y 4 corridas o réplicas. Una vez efectuada la corrida experimental con la finalidad de indicar los factores que se deben calibrar en sus respectivos niveles, se efectuará el análisis estadístico multi-vari como se lo conoce en el proceso de mejora

continua. La construcción de los gráficos multi-vari se basan en los resultados obtenidos de la tabla 3.8.

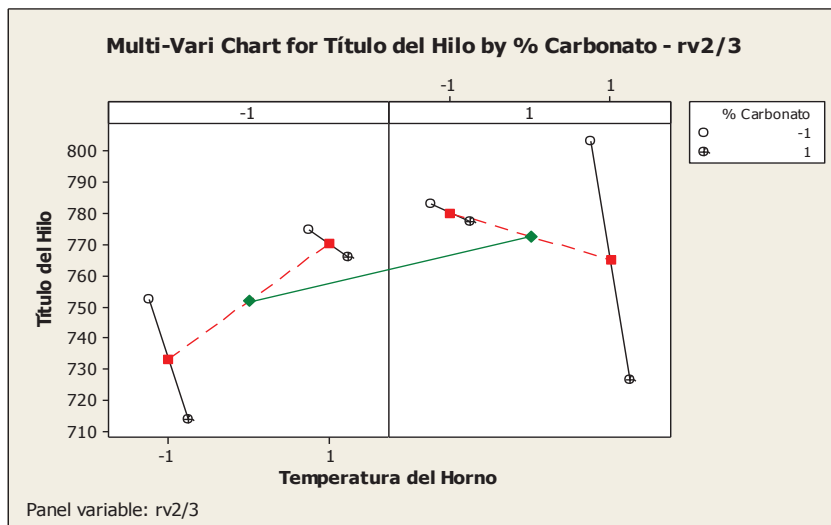


Gráfico 4.20 Análisis Multi-Vari, título del hilo.

En el Gráfico 4.20, para obtener un título de 750 denier de acuerdo a las condiciones experimentales de la tabla 4.4 se obtiene tentativamente la temperatura del horno que debe calibrarse en el nivel -1 que es 150°C, el porcentaje de carbonato en el nivel -1 al 10% y la relación de velocidades 2/3 en el nivel -1 a 4,03. Para determinar si es correcta la calibración de cada uno de los factores que intervienen en el proceso de extrusión se procederá a efectuar el análisis de variabilidad o ANOVA para título del hilo.

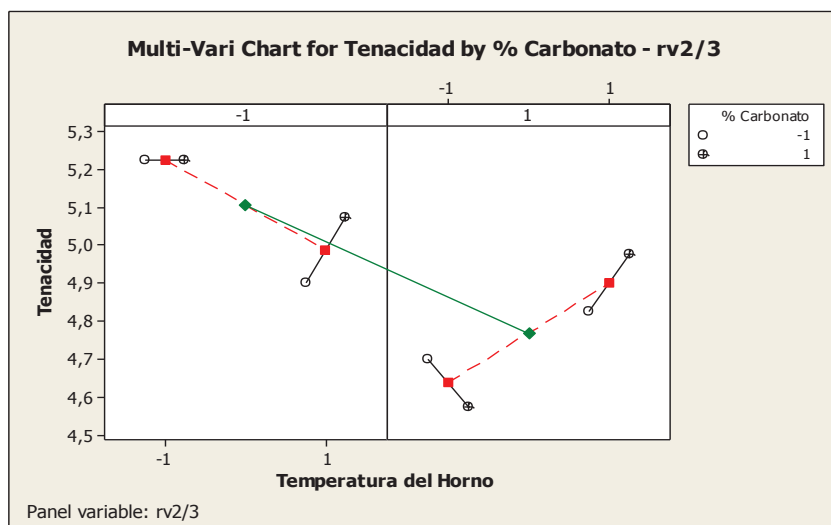


Gráfico 4.21 Análisis Multi-Vari, tenacidad.

El Gráfico 4.21, indica que para obtener un valor de tenacidad de 5,2 el porcentaje de carbonato puede encontrarse en el nivel -1 o 1 y la relación de velocidades de los cilindros 2 respecto a 3 en el nivel -1. Es deseable un valor de tenacidad de acuerdo a la experiencia en la industria de los sacos de polipropileno mayor a 5,2 por motivos de funcionalidad del saco con carga sea de arroz, azúcar, sal, de acuerdo a la industria a la que fue comercializado, ver gráfico 1.1.

Para determinar si la proyección para calibraciones del análisis multi-vari es necesario efectuar el análisis de variabilidad o ANOVA para la respuesta o característica de los sacos con referencia a su tenacidad.

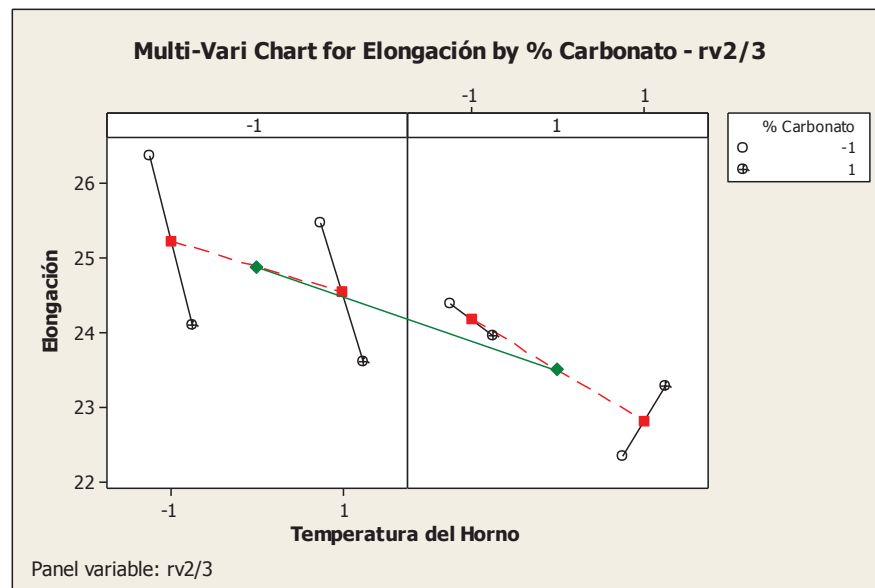


Gráfico 4.22 Análisis Multi-Vari, elongación.

El Gráfico 4.22, indica que para un valor de elongación sobre el 26% o promedio se debe calibrar el proceso para un porcentaje de carbonato en su nivel -1, la temperatura en el nivel medio entre -1 y 1. La relación de velocidades entre 2 respecto al cilindro 3 en el nivel -1. El análisis multi-vari da una tendencia para la calibración de los equipos. Se efectuará el análisis de variabilidad o ANOVA para obtener un porcentaje de elongación funcional para el trabajo en carga de los sacos de polipropileno.

Por una parte el análisis multi-vari es una referencia de como los resultados de un diseño experimental indican las tendencias de calibración, pero el análisis

de variabilidad o ANOVA indica cual es el factor o factores que inciden en la respuesta o en las características de los sacos de polipropileno durante su proceso de producción y en la vida del producto en su tiempo de servicio. En el anexo 4.4, se indica el análisis de variabilidad o ANOVA de las características del proceso y producto antes de la optimización.

4.3.2 Prueba de hipótesis para las características del proceso

Una vez que se conocen las tendencias de los niveles -1 y 1 de los factores que intervienen en el proceso de producción se efectuó una corrida experimental y se procederá a efectuar su análisis de variabilidad o ANOVA para el título del hilo, tenacidad y elongación.

Para conocer si en un modelo existe interacciones entre los factores y obtener los efectos significativos es necesario plantear las siguientes hipótesis:

$$H_0 = 0$$

$$H_1 \neq 0$$

De las hipótesis se desprende que existe efectos significativos, si la probabilidad de la hipótesis nula (H_0) es menor a 0,05 ($p < 0,005$), si $p < 0,05$ entonces se rechaza $H_0 = 0$, por lo que, se acepta $H_1 \neq 0$.

Al rechazar la hipótesis nula, se acepta la hipótesis alternativa con lo que se demuestra la existencia de efectos significativos entre los factores, para el análisis de las hipótesis se recurre a la tabla ANOVA de piel de naranja, espesor de la capa de pintura y brillo.

Para el análisis estadístico es necesario plantear la prueba de hipótesis de las medias, con la finalidad de comprobar que los niveles de los factores que afectan al proceso de extrusión se encuentren calibrados de acuerdo al diseño robusto de Taguchi.

Tabla 4.7 Resultados de la corrida experimental obtenidos del software, característica de respuesta título del hilo.

StdOrder	RunOrder	% Carbono [10-18]%	Temp horno [150-180]°C	rV2/3 [4,03-5,1]	Denier [750]	FITS1	RESH1	SRES1	TRES1	EFFE1	COEF1	FACT1	HI1	COOK1	DFIT1
3	1	-1	1	-1	765	763,25	1,75	0,22017	0,21575	6,1875	750,844	3	0,25	0,00202	0,12456
20	2	1	1	-1	780	766,5	13,5	1,69842	1,7726	2,8125	3,094	3	0,25	0,120193	1,02341
29	3	-1	-1	1	730	737,25	-7,25	-0,91211	-0,9088	-19,8125	1,406	0	0,25	0,034665	-0,5247
31	4	-1	1	1	740	736	4	0,50324	0,49526	-0,9375	-9,906	0	0,25	0,010552	0,28594
22	5	1	-1	1	748	747,25	0,75	0,09436	0,09239	2,4375	-0,469	0	0,25	0,000371	0,05334
2	6	1	-1	-1	770	758,75	11,25	1,41535	1,44727	-5,4375	1,219	0	0,25	0,083467	0,83558
1	7	-1	-1	-1	755	754,5	0,5	0,0629	0,06159	-0,4375	-2,719	0	0,25	0,000165	0,03556
17	8	-1	-1	-1	760	754,5	5,5	0,69195	0,68424	-0,4375	-0,219	5	0,25	0,01995	0,39505
7	9	-1	1	1	741	736	5	0,62904	0,62094	0,62094	0,62094	6	0,25	0,016487	0,3585
9	10	-1	-1	-1	751	754,5	-3,5	-0,44033	-0,43281	-0,9088	-0,9088	7	0,25	0,008079	-0,24988
14	11	1	-1	1	740	747,25	-7,25	-0,91211	-0,9088	-0,9088	-0,9088	750,844	0,25	0,034665	-0,5247
15	12	-1	1	1	740	736	4	0,50324	0,49526	0,49526	0,49526	3,094	0,25	0,010552	0,28594
27	13	-1	1	-1	750	763,25	-13,25	-1,66697	-1,73543	-1,73543	-1,73543	1,406	0,25	0,115783	-1,00195
12	14	1	1	-1	775	766,5	8,5	1,06938	1,07273	1,07273	1,07273	-9,906	0,25	0,047648	0,61934
25	15	-1	-1	-1	752	754,5	-2,5	-0,31452	-0,30854	-0,30854	-0,30854	-0,469	0,25	0,004122	-0,17813
11	16	-1	1	-1	780	763,25	16,75	2,1073	2,28514	2,28514	2,28514	1,219	0,25	0,185029	1,31933
8	17	1	1	1	729	743,25	-14,25	-1,79278	-1,88584	-1,88584	-1,88584	-2,719	0,25	0,133919	-1,08879
21	18	-1	-1	1	744	737,25	6,75	0,84921	0,84411	0,84411	0,84411	-0,219	0,25	0,030048	0,48735
13	19	-1	-1	1	740	737,25	2,75	0,34597	0,33954	0,33954	0,33954	0	0,25	0,004987	0,19603
16	20	1	1	1	748	743,25	4,75	0,59759	0,58941	0,58941	0,58941	0	0,25	0,01488	0,3403
10	21	1	-1	-1	748	758,75	-10,75	-1,35245	-1,3775	-1,3775	-1,3775	0	0,25	0,076213	-0,7953
24	22	1	1	1	748	743,25	4,75	0,59759	0,58941	0,58941	0,58941	0	0,25	0,01488	0,3403
23	23	-1	1	1	723	736	-13	-1,63552	-1,69853	-1,69853	-1,69853	0	0,25	0,111455	-0,98065
30	24	1	-1	1	756	747,25	8,75	1,10083	1,10593	1,10593	1,10593	0	0,25	0,050493	0,63851
18	25	1	-1	-1	757	758,75	-1,75	-0,22017	-0,21575	-0,21575	-0,21575	0	0,25	0,00202	-0,12456
28	26	1	1	-1	755	766,5	-11,5	-1,4468	-1,48246	-1,48246	-1,48246	0	0,25	0,087218	-0,8559
4	27	1	1	-1	756	766,5	-10,5	-1,32099	-1,34292	-1,34292	-1,34292	0	0,25	0,072709	-0,77534
26	28	1	-1	-1	760	758,75	1,25	0,15726	0,15403	0,15403	0,15403	0	0,25	0,00103	0,08893
19	29	-1	1	-1	758	763,25	-5,25	-0,6605	-0,65255	-0,65255	-0,65255	0	0,25	0,018177	-0,37675
32	30	1	1	1	748	743,25	4,75	0,59759	0,58941	0,58941	0,58941	0	0,25	0,01488	0,3403
6	31	1	-1	1	745	747,25	-2,25	-0,28307	-0,27757	-0,27757	-0,27757	0	0,25	0,003339	-0,16026
5	32	-1	-1	1	735	737,25	-2,25	-0,28307	-0,27757	-0,27757	-0,27757	0	0,25	0,003339	-0,16026

En la Tabla 4.7, se indica los datos recolectados después de la corrida experimental, con información respecto a sus residuales (RES11), el valor probable de acuerdo a las condiciones (FITS1).

Tabla 4.8 ANOVA para la característica de respuesta título del hilo.

Estimated Effects and Coefficients for Denier [750] denier_1 (coded units)						
Term	Effect	Coef	SECoef	T	P	
Constant		750,844	1,622	462,77	0,000	
% Carbonato [10-18]%	6,187	3,094	1,622	1,91	0,069	
Temp horno [150-180]°C	2,813	1,406	1,622	0,87	0,395	
rV2/3 [4,03-5,1]	-19,813	-9,906	1,622	-6,11	0,000	
% Carbono [10-18]%	-0,937	-0,469	1,622	-0,29	0,775	
Temp horno [150-180]°C						
% Carbono [10-18]*rV2/3 [4,03-5,1]	2,438	1,219	1,622	0,75	0,460	
Temp horno [150-180]°C*	-5,438	-2,719	1,622	-1,68	0,107	
rV2/3 [4,03-5,1]						
% Carbono [10-18]%	-0,437	-0,219	1,622	-0,13	0,894	
Temp horno [150-180]°C*						
rV2/3 [4,03-5,1]						
S = 9,17821 R-Sq = 65,29% R-Sq(adj) = 55,16%						
Analysis of Variance for Denier [750] denier_1 (coded units)						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	3	3509,84	3509,84	1169,95	13,89	0,000
2-Way Interactions	3	291,09	291,09	97,03	1,15	0,349
3-Way Interactions	1	1,53	1,53	1,53	0,02	0,894
Residual Error	24	2021,75	2021,75	84,24		
Pure Error	24	2021,75	2021,75	84,24		
Total	31	5824,22				
Unusual Observations for Denier [750] denier_1						
		Denier				
		[750]				
ObsStdOrder	denier_1	Fit	SE Fit	Residual	St Resid	
16	11	780,000	763,250	4,589	16,750	2,11R
R denotes an observation with a large standardized residual.						

En la tabla 4.8, se indica el análisis de variabilidad en donde la probabilidad para los factores de porcentaje de carbonato y temperatura del horno, tienden a valores $> 0,05$ por lo que sus efectos no son significativos. El factor relación de velocidad de los cilindros dos respecto a tres tiene una probabilidad $< 0,05$ por lo que su efecto es significativo en el proceso.

Tabla 4.9 Resultados de la corrida experimental obtenidos del software, característica de respuesta tenacidad.

StdOrder	RunOrder	% Carbono [10-18]%	Temp horno [150- 180]°C	rVz/3 [4,03- 5,1]	Tenacidad [4-8]	FITS2	RESI2	SRES2	TRES2	EFFE2	COEF2	FACT2	HI2	COOK2	DFIT2
3	1	-1	1	-1	5,6	5,775	-0,175	-0,72104	-0,71363	0,025	5,33125	3	0,25	0,021662	-0,41201
20	2	1	1	-1	5,6	5,525	0,075	0,30902	0,30311	0,4625	0,0125	3	0,25	0,003979	0,175
29	3	-1	-1	1	5	5,4	-0,4	-1,64808	-1,71324	-0,3375	0,23125	0	0,25	0,113174	-0,98914
31	4	-1	1	1	5,5	5,325	0,175	0,72104	0,71363	0	-0,16875	0	0,25	0,021662	0,41201
22	5	1	-1	1	4,2	4,3	-0,1	-0,41202	-0,40478	-0,425	0	0	0,25	0,007073	-0,2337
2	6	1	-1	-1	6	5,925	0,075	0,30902	0,30311	0,1625	-0,2125	0	0,25	0,003979	0,175
1	7	-1	-1	-1	5,3	4,775	0,525	2,16311	2,36009	0,7	0,08125	0	0,25	0,19496	1,3626
17	8	-1	-1	-1	4,8	4,775	0,025	0,10301	0,10086	0	0,35	5	0,25	0,000442	0,05823
7	9	-1	1	1	5	5,325	-0,325	-1,33907	-1,36277	0	0	6	0,25	0,074713	-0,7868
9	10	-1	-1	-1	4,1	4,775	-0,675	-2,78114	-3,30717	0	0	7	0,25	0,322281	-1,9094
14	11	1	-1	1	4	4,3	-0,3	-1,23606	-1,2505	0	0	5,33125	0,25	0,06366	-0,72197
15	12	-1	1	1	5,5	5,325	0,175	0,72104	0,71363	0	0	0,0125	0,25	0,021662	0,41201
27	13	-1	-1	-1	5,7	5,775	-0,075	-0,30902	-0,30311	0	0,23125	0,23125	0,25	0,003979	-0,175
12	14	1	1	-1	5,5	5,525	-0,025	-0,10301	-0,10086	0	-0,16875	-0,16875	0,25	0,000442	-0,05823
25	15	-1	-1	-1	4,9	4,775	0,125	0,51503	0,50699	0	0	0	0,25	0,011052	0,29271
11	16	-1	1	-1	5,9	5,775	0,125	0,51503	0,50699	0	0	-0,2125	0,25	0,011052	0,29271
8	17	1	1	1	5,3	5,625	-0,325	-1,33907	-1,36277	0	0	0,08125	0,25	0,074713	-0,7868
21	18	-1	-1	-1	5,3	5,4	-0,1	-0,41202	-0,40478	0	0,35	0,35	0,25	0,007073	-0,2337
13	19	-1	-1	1	5,6	5,4	0,2	0,82404	0,81835	0	0	0	0,25	0,028294	0,47248
16	20	1	1	1	5,5	5,625	-0,125	-0,51503	-0,50699	0	0	0	0,25	0,011052	-0,29271
10	21	1	-1	-1	6,1	5,925	0,175	0,72104	0,71363	0	0	0	0,25	0,021662	0,41201
24	22	1	1	1	6	5,625	0,375	1,54508	1,59389	0	0	0	0,25	0,099469	0,92024
23	23	-1	1	1	5,3	5,325	-0,025	-0,10301	-0,10086	0	0	0	0,25	0,000442	-0,05823
30	24	1	-1	1	4,5	4,3	0,2	0,82404	0,81835	0	0	0	0,25	0,028294	0,47248
18	25	1	-1	-1	5,8	5,925	-0,125	-0,51503	-0,50699	0	0	0	0,25	0,011052	-0,29271
28	26	1	1	-1	5,3	5,525	-0,225	-0,92705	-0,92423	0	0	0	0,25	0,035809	-0,5336
4	27	1	1	-1	5,7	5,525	0,175	0,72104	0,71363	0	0	0	0,25	0,021662	0,41201
26	28	1	-1	-1	5,8	5,925	-0,125	-0,51503	-0,50699	0	0	0	0,25	0,011052	-0,29271
19	29	-1	1	-1	5,9	5,775	0,125	0,51503	0,50699	0	0	0	0,25	0,011052	0,29271
32	30	1	1	1	5,7	5,625	0,075	0,30902	0,30311	0	0	0	0,25	0,003979	0,175
6	31	1	-1	1	4,5	4,3	0,2	0,82404	0,81835	0	0	0	0,25	0,028294	0,47248
5	32	-1	-1	1	5,7	5,4	0,3	1,23606	1,2505	0	0	0	0,25	0,06366	0,72197

Se rechaza $H_0 = 0$, lo cual indica que no existe variación en el título del hilo debido a la relación de velocidades rv_2/v_3 y se acepta $H_1 \neq 0$ con lo que se concluye que los efectos son significativos, en la tabla 4.8 se indica los resultados que se encuentran en la tabla 4.9 en el análisis ANOVA.

Por lo tanto, la variabilidad de especificaciones en el título del hilo el factor relación de velocidad rv_2/v_3 explica el 65,29% de la variabilidad. Con un F de 13,89 que indica la variabilidad del denier. En la Tabla 4.10, se puede observar la corrida experimental con sus treinta y dos corridas con cuatro réplicas. Se indica el valor probable de acuerdo a la corrida (FITS2) y los residuales (RESI2).

Tabla 4.10 ANOVA para la característica de respuesta tenacidad.

Estimated Effects and Coefficients for Tenacidad [4-8] (coded units)							
Term	Effect	Coef	SECoef	T	P		
Constant		5,3313	0,04954	107,61	0,000		
% Carbonato [10-18]%	0,0250	0,0125	0,04954	0,25	0,803		
Temp horno [150-180]°C	0,4625	0,2313	0,04954	4,67	0,000		
rv_2/v_3 [4,03-5,1]	-0,3375	-0,1688	0,04954	-3,41	0,002		
% Carbono [10-18]%	0,0000	0,0000	0,04954	0,00	1,000		
Temp horno [150-180]°C							
% Carbono [10-18] % * rv_2/v_3 [4,03-5,1]	-0,4250	-0,2125	0,04954	-4,29	0,000		
Temp horno [150-180]°C *	0,1625	0,0812	0,04954	1,64	0,114		
rv_2/v_3 [4,03-5,1]							
% Carbono [10-18] % *	0,7000	0,3500	0,04954	7,06	0,000		
Temp horno [150-180]°C *							
rv_2/v_3 [4,03-5,1]							
S = 0,280253 R-Sq = 81,32% R-Sq(adj) = 75,87%							
Analysis of Variance for Tenacidad [4-8] (coded units)							
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P	
Main Effects	3	2,6275	2,62750	0,87583	11,15	0,000	
2-Way Interactions	3	1,6562	1,65625	0,55208	7,03	0,001	
3-Way Interactions	1	3,9200	3,92000	3,92000	49,91	0,000	
Residual Error	24	1,8850	1,88500	0,07854			
Pure Error	24	1,8850	1,88500	0,07854			
Total	31	10,0888					
Unusual Observations for Tenacidad [4-8]							
Tenacidad	Obs	StdOrder	[4-8]	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
	7	1	5,30000	4,77500	0,14013	0,52500	2,16R
	10	9	4,10000	4,77500	0,14013	-0,67500	-2,78R
R denotes an observation with a large standardized residual.							

Tabla 4.11 Resultados de la corrida experimental obtenidas del software, característica de respuesta elongación.

StdOrder	RunOrder	Carbono [10- 18]%	Temp horno [150-180]°C	rV2/3 [4,03- 5,1]	Elongación [18-34]%	FITS3	RESI3	SRES3	TRES3	EFFE3	COEF3	FACT3	H13	COOK3	DFIT3
3	1	-1	1	-1	28,3	27,5025	0,7975	0,66095	0,65301	-0,35688	25,7534	3	0,25	0,018202	0,37701
20	2	1	1	-1	25,6	26,525	-0,925	-0,76662	-0,75984	1,05688	-0,1784	3	0,25	0,024488	-0,4387
29	3	-1	1	1	23,8	24,375	-0,575	-0,47655	-0,46874	-0,51938	0,5284	0	0,25	0,009462	-0,27063
31	4	-1	1	1	28,1	27,175	0,925	0,76662	0,75984	-1,75687	-0,2597	0	0,25	0,024488	0,4387
22	5	1	-1	1	25,6	26,5	-0,9	-0,7459	-0,73881	-0,20562	-0,8784	0	0,25	0,023182	-0,42655
2	6	1	-1	-1	25,4	25,35	0,05	0,04144	0,04057	-0,94437	-0,1028	0	0,25	0,000072	0,02342
1	7	-1	-1	-1	24,1	24,675	-0,575	-0,47655	-0,46874	-0,93063	-0,4722	0	0,25	0,009462	-0,27063
8	8	-1	-1	-1	24,8	24,675	0,125	0,1036	0,10144	-0,4653		5	0,25	0,000447	0,05857
7	9	-1	1	1	24,9	27,175	-2,275	-1,88548	-1,99982			6	0,25	0,148126	-1,1546
9	10	-1	-1	-1	23,7	24,675	-0,975	-0,80806	-0,80203			7	0,25	0,027207	-0,46305
14	11	1	-1	1	26,7	26,5	0,2	0,16576	0,16236				0,25	0,001145	0,09374
15	12	-1	1	1	30,6	27,175	3,425	2,83858	3,40947			25,7534	0,25	0,001145	0,09374
27	13	-1	1	-1	25,51	27,5025	-1,9925	-1,65135	-1,71707			-0,1784	0,25	0,33573	1,96846
14	14	1	1	-1	26,6	26,525	0,075	0,06216	0,06085			0,5284	0,25	0,113623	-0,99135
25	15	-1	-1	-1	26,1	24,675	1,425	1,18101	1,19128			-0,2597	0,25	0,000161	0,03513
11	16	-1	1	-1	29,7	27,5025	2,1975	1,82125	1,92055			-0,8784	0,25	0,058116	0,68779
8	17	1	1	1	22,6	23,925	-1,325	-1,09814	-1,10308			-0,1028	0,25	0,138206	1,10883
21	18	-1	-1	1	25,1	24,375	0,725	0,60087	0,59269			-0,4722	0,25	0,050246	-0,63687
19	19	-1	-1	-1	23,9	24,375	-0,475	-0,39367	-0,38663			-0,4653	0,25	0,015043	0,34219
16	20	1	1	1	23	23,925	-0,925	-0,76662	-0,75984				0,25	0,006457	-0,22322
10	21	1	-1	-1	26,3	25,35	0,95	0,78734	0,78092				0,25	0,024488	-0,4387
24	22	1	1	1	24,9	23,925	0,975	0,80806	0,80203				0,25	0,025829	0,45086
23	23	-1	1	1	25,1	27,175	-2,075	-1,71972	-1,79793				0,25	0,027207	0,46305
30	24	1	-1	1	27,2	26,5	0,7	0,58015	0,57196				0,25	0,123227	-1,03804
18	25	1	-1	-1	24,8	25,35	-0,55	-0,45583	-0,44818				0,25	0,014024	0,33022
28	26	1	1	-1	27,4	26,525	0,875	0,72518	0,71782				0,25	0,008658	-0,25875
4	27	1	1	-1	26,5	26,525	-0,025	-0,02072	-0,02028				0,25	0,021912	0,41444
26	28	1	-1	-1	24,9	25,35	-0,45	-0,37295	-0,36616				0,25	0,000018	-0,01171
19	29	-1	1	-1	26,5	27,5025	-1,0025	-0,83085	-0,82532				0,25	0,005796	-0,2114
32	30	1	1	1	25,2	23,925	1,275	1,0567	1,05939				0,25	0,028763	-0,4765
6	31	1	-1	1	26,5	26,5	0	0	0				0,25	0,046525	0,61164
5	32	-1	-1	1	24,7	24,375	0,325	0,26935	0,26408				0,25	0,003023	0,15247

En la Tabla 4.10, se indica el análisis de variabilidad en donde la probabilidad para los factores de temperatura del horno y $rv^{2/3}$ tienden a valores $< 0,05$ junto con sus respectivas interacciones es decir, se rechaza $H_0 = 0$, de que la probabilidad de los efectos de sus factores no sean significativos y se acepta $H_1 \neq 0$ con lo que se concluye que los efectos son significativos. Por lo tanto, el hilo de polipropileno fuera de especificación en la característica tenacidad es explicado por los factores de temperatura del horno y la relación $rv^{2/3}$, que explica el 81,32% de la variabilidad. Con un F de 11,15 que significa una probabilidad del 0,01% se produjera por ruido.

En la Tabla 4.11, se indica la corrida experimental para obtener el valor de elongación de acuerdo a los factores que inciden significativamente en la característica del hilo. Se indica los valores de sus residuales RESI3 y de los efectos que inciden significativamente EFFE3 y los coeficientes del modelo COEF3, lo cual se indica en el análisis de variabilidad para la elongación.

Tabla 4.12 ANOVA para la característica de respuesta elongación.

Estimated Effects and Coefficients for Elongación [18-34]% (coded units)						
Term	Effect	Coef	SECoef	T	P	
Constant		25,7534	0,2463	104,56	0,000	
% Carbono [10-18]%	-0,3569	-0,1784	0,2463	-0,72	0,476	
Temp horno [150-180]°C	1,0569	0,5284	0,2463	2,15	0,042	
$rv^{2/3}$ [4,03-5,1]	-0,5194	-0,2597	0,2463	-1,05	0,302	
% Carbono [10-18]%^*	-1,7569	-0,8784	0,2463	-3,57	0,002	
Temp horno [150-180]°C						
% Carbono [10-18]%^* $rv^{2/3}$ [4,03-5,1]	-0,2056	-0,1028	0,2463	-0,42	0,680	
Temp horno [150-180]°C* $rv^{2/3}$ [4,03-5,1]	-0,9444	-0,4722	0,2463	-1,92	0,067	
% Carbono [10-18]%^*	-0,9306	-0,4653	0,2463	-1,89	0,071	
Temp horno [150-180]°C* $rv^{2/3}$ [4,03-5,1]						
S = 1,39325 R-Sq = 52,36% R-Sq(adj) = 38,47%						
Analysis of Variance for Elongación [18-34]% (coded units)						
Source	DF	Seq SS	AdjSS	Adj MS	F	P
Main Effects	3	12,1128	12,1128	4,038	2,08	0,129
2-Way Interactions	3	32,1659	32,1659	10,722	5,52	0,005
3-Way Interactions	1	6,9285	6,9285	6,929	3,57	0,071
Residual Error	24	46,5876	46,5876	1,941		
Pure Error	24	46,5876	46,5876	1,941		
Total	31	97,7947				
Unusual Observations for Elongación [18-34]%						
Elongación	ObsStdOrder	[18-34]%	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
	12	15	30,6000	27,1750	0,6966	3,4250
R denotes an observation with a large standardized residual.						

En la Tabla 4.12, se indica el análisis de variabilidad en donde la probabilidad para el factor de temperatura del horno tiende a un valor $< 0,05$ junto con sus respectivas interacciones es decir, se rechaza $H_0 = 0$, de que la probabilidad de los efectos de sus factores no sean significativos y se acepta $H_1 \neq 0$ con lo que se concluye que los efectos son significativos.

Por lo tanto, el hilo de polipropileno fuera de especificación en la característica elongación es explicado por el factor de temperatura del horno, que explica el 52,36% de la variabilidad. Con un F de 2,08 que significa una probabilidad del 0,01% se produjera por ruido.

Al efectuar el análisis ANOVA, en donde una corrida experimental con sus factores es responsable de la variabilidad con porcentajes menores al 50% es necesario efectuar otra corrida experimental. En el presente trabajo se recomienda tratar con los técnicos del proceso para obtener por su experiencia la tendencia de variabilidad y obtener un modelo que explique en mayor porcentaje la variabilidad del mismo.

4.4 ANÁLISIS DEL GRÁFICO EFECTOS-RESIDUALES DE LA CORRIDA EXPERIMENTAL

Los gráficos efectos residuales se utilizan para identificar una anomalía muy común que suele ponerse de manifiesto, los residuales que son más grandes que los otros a los que se llama con frecuencia punto atípico. La presencia de uno o más puntos atípicos puede introducir serias distorsiones en el análisis de varianza, por lo que cuando se localiza un punto atípico potencial se requiere identificar la fuente de la variación.

4.4.1 El supuesto de la normalidad

Para identificar si la toma de datos durante el experimento se lo hace de acuerdo a las consideraciones experimentales, en lo que

respecta a porcentaje de carbonato, temperatura del horno y la relación de velocidades de dos respecto a tres que se plantearon, es necesario verificar el supuesto de la normalidad. Para lo que se elabora un histograma de los residuales, si se satisface el supuesto para los errores, ese gráfico deberá aparecer como una muestra de una distribución normal con centro en cero. En la realidad cuando se trabaja con muestras pequeñas suelen ocurrir fluctuaciones significativas, por lo que la aparición de una desviación moderada de la normalidad no implica necesariamente una violación seria de los supuestos.

4.4.2 Análisis efectos-residuales, título del hilo

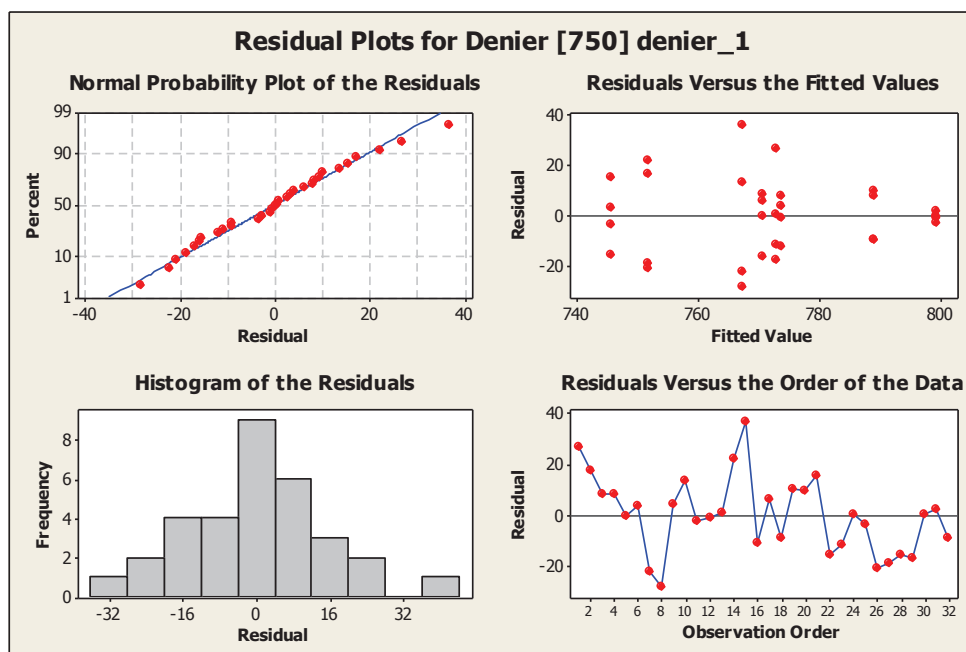


Gráfico 4.23 Análisis residual y supuesto de la normalidad, título del hilo (denier).

En el Gráfico 4.23, se puede observar el porcentaje o probabilidad normal de los residuales que se encuentran dentro del límite ± 3 y solo un residual se encuentra fuera de ese límite siendo un punto atípico. La observación 16 es el punto atípico como se indica en la tabla 4.8 y se constata en el residual con respecto a sus observaciones. La aleatoriedad del modelo es fundamental para

que la toma de datos cumpla con la normalidad tal como se indica en el residual con respecto a los valores ajustados. El histograma se encuentra centrado en cero y tiene el comportamiento de la distribución normal.

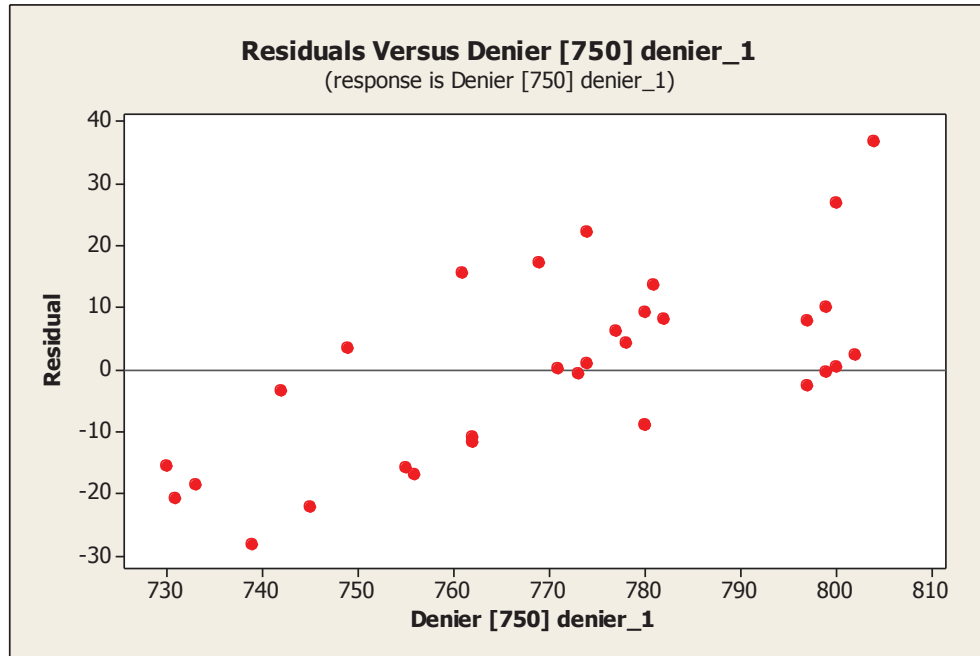


Gráfico 4.24 Análisis residual versus título del hilo (denier).

En el Gráfico 4.24, se indica la recolección de datos para el experimento título del hilo antes de que los valores sean ajustados., ver tabla 4.8. Se cumple el principio de aleatorización.

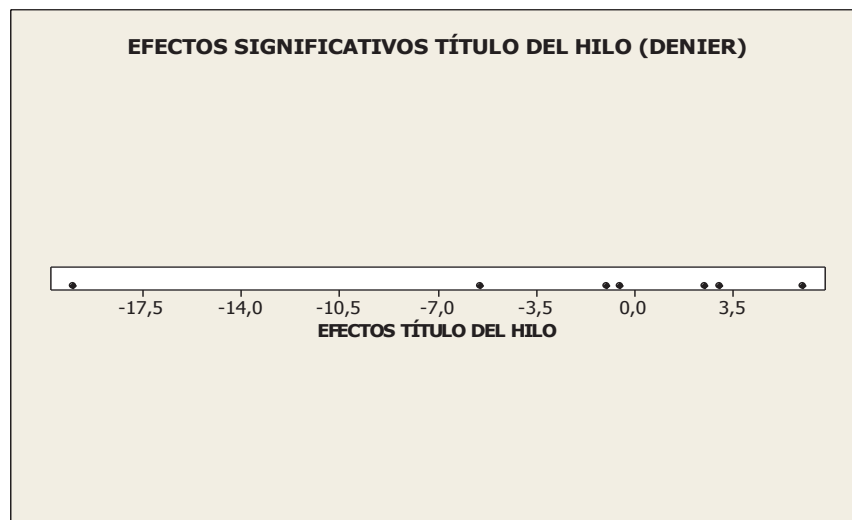


Gráfico 4.25 Efectos significativos, título del hilo.

En el Gráfico 4.25, se indica que el valor $-19,813$ del efecto del modelo experimental corresponde a la relación de velocidad de dos respecto a tres ($rv2/3$) que es el más significativo, ver tabla 4.8.

4.4.3 Análisis efectos-residuales, tenacidad

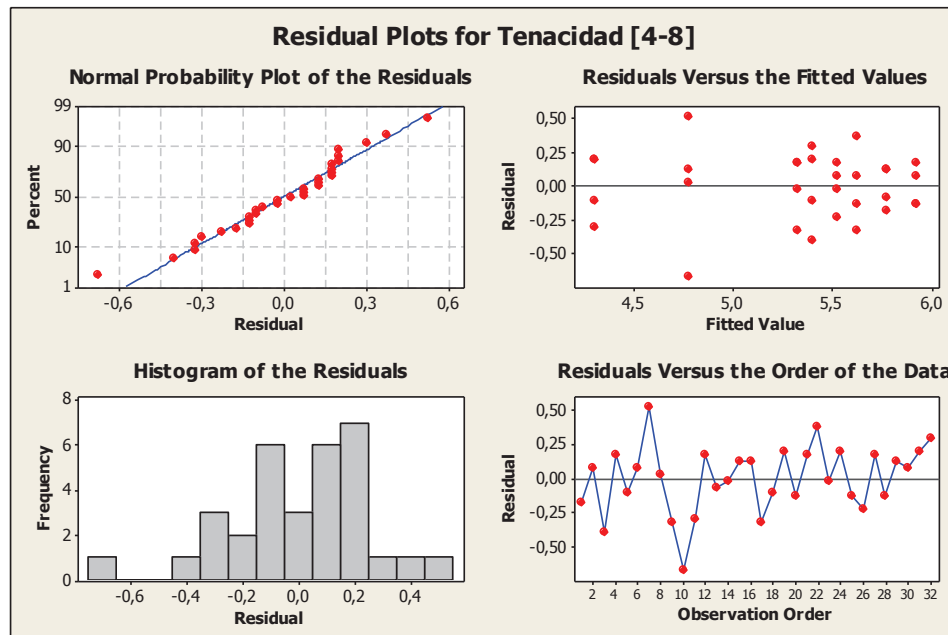


Gráfico 4.26 Análisis residual y supuesto de la normalidad, tenacidad.

En el Gráfico 4.26, indica el porcentaje de los residuales que se encuentran dentro del límite ± 3 y que corresponde al 95%, quedando un punto atípico en el punto $-0,675$. La observación 10 es el punto atípico, como se indica en el residual versus el número de observación, ver tabla 4.10. La aleatoriedad del modelo es fundamental para que la toma de datos durante el experimento cumpla con la normalidad tal como se indica en el residual con respecto a los valores ajustados. El histograma se encuentra centrado en cero y tiene el comportamiento de la distribución normal.

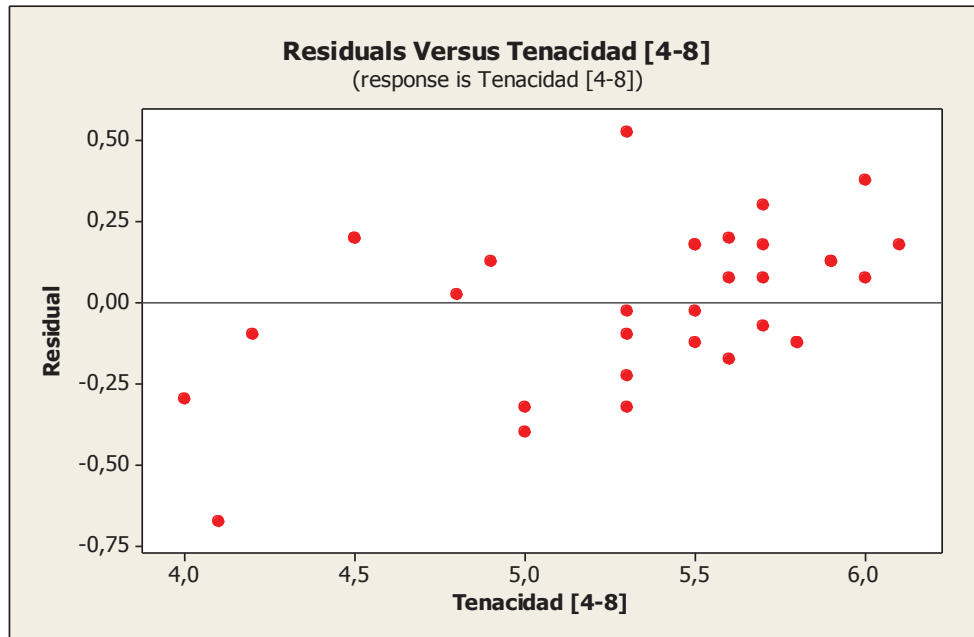


Gráfico 4.27 Análisis residual versus tenacidad.

En el Gráfico 4.27, se indica la recolección de datos para el experimento característica del saco de polipropileno, tenacidad antes de que los valores sean ajustados., ver tabla 4.10. Se cumple el principio de aleatorización.

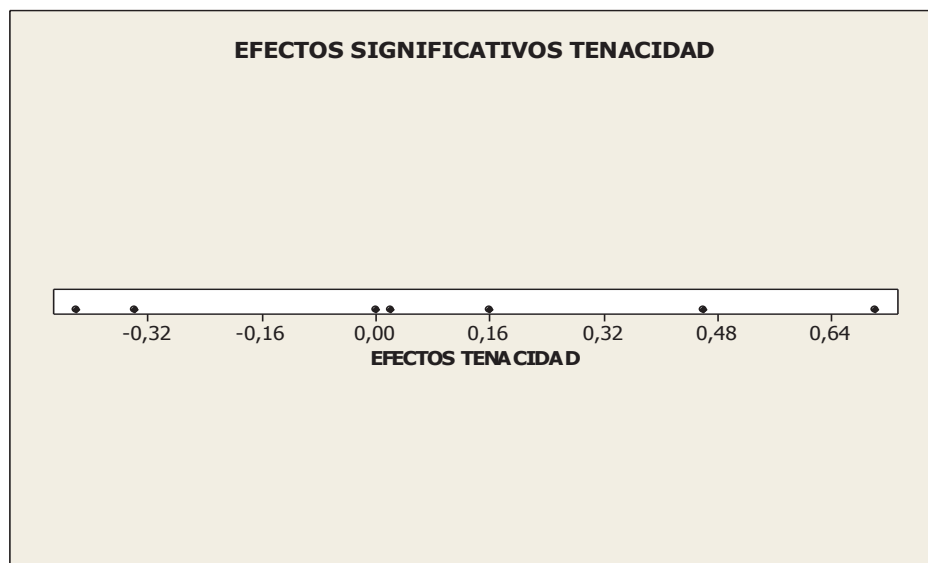


Gráfico 4.28 Efectos significativos, tenacidad.

En el Gráfico 4.28, se indica que el valor 0,4625 del efecto del modelo experimental corresponde a la temperatura del horno como su efecto principal, -0,4259 a la interacción de relación de velocidades de dos

respecto a tres ($rv2/3$) con la temperatura del horno y el porcentaje de carbonato. Se elegirá para la calibración del proceso de los sacos de polipropileno el efecto que es el más significativo y que corresponde a la temperatura del horno, ver tabla 4.11. Las otras interacciones a pesar de que tienen mayor efecto, es recomendable diseñar con la característica que sea más significativa de un efecto principal.

4.4.4 Análisis efectos-residuales, elongación

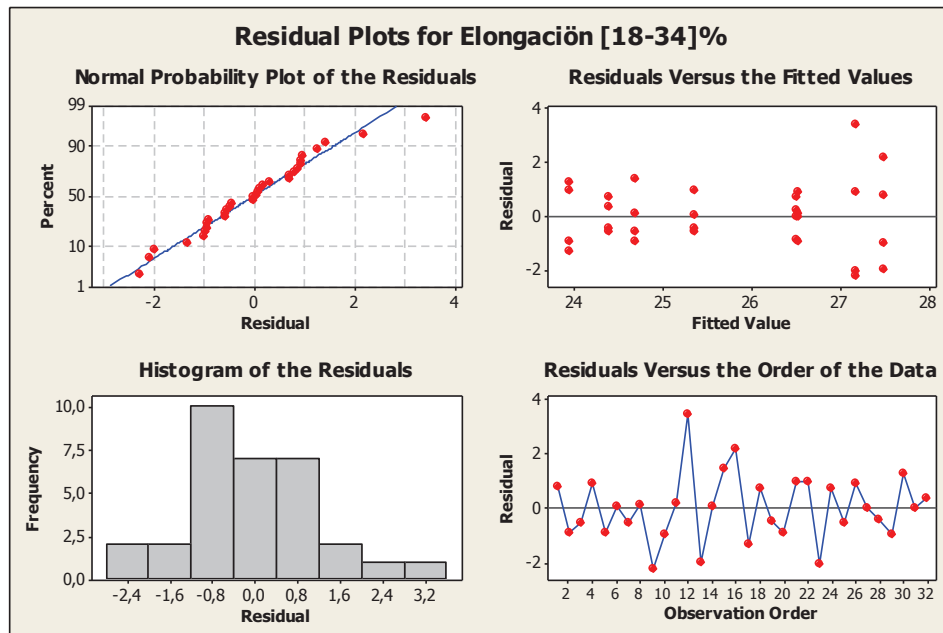


Gráfico 4.29 Análisis residual y supuesto de la normalidad, elongación.

En el Gráfico 4.29, se puede observar que el 98% de los residuales de probabilidad normal versus su residual se encuentran dentro del límite ± 3 desviaciones estándar, lo que significa que si algún residual es mayor a 3 desviaciones estándar es un punto atípico potencial, en este caso el residual 3,425. De acuerdo al residual con respecto a sus observaciones corresponde a la corrida experimental 12, ver tabla 4.12. La aleatoriedad del modelo es fundamental para que la toma de datos durante el experimento cumpla con la normalidad tal como se indica en el residual con respecto a los valores ajustados. El histograma se encuentra centrado en cero y tiene el comportamiento de la distribución normal.

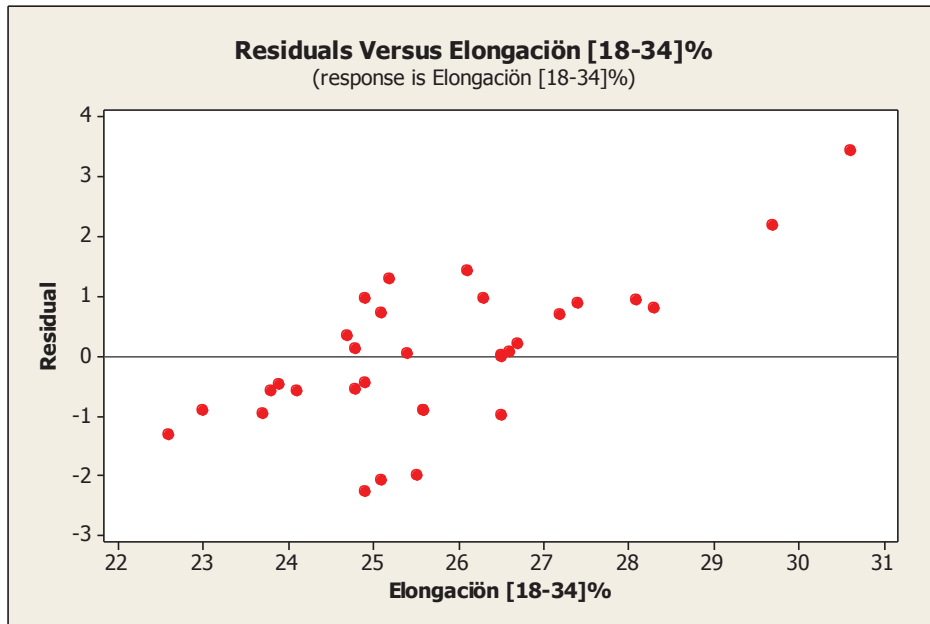


Gráfico 4.30 Análisis residual versus elongación.

En el Gráfico 4.30, se indica la recolección de datos para el experimento característica del saco de polipropileno con sus respectivos residuales, elongación antes de que los valores sean ajustados., ver tabla 4.12. Se cumple el principio de aleatorización, ya que el modelo no sigue un comportamiento definido o continuo.

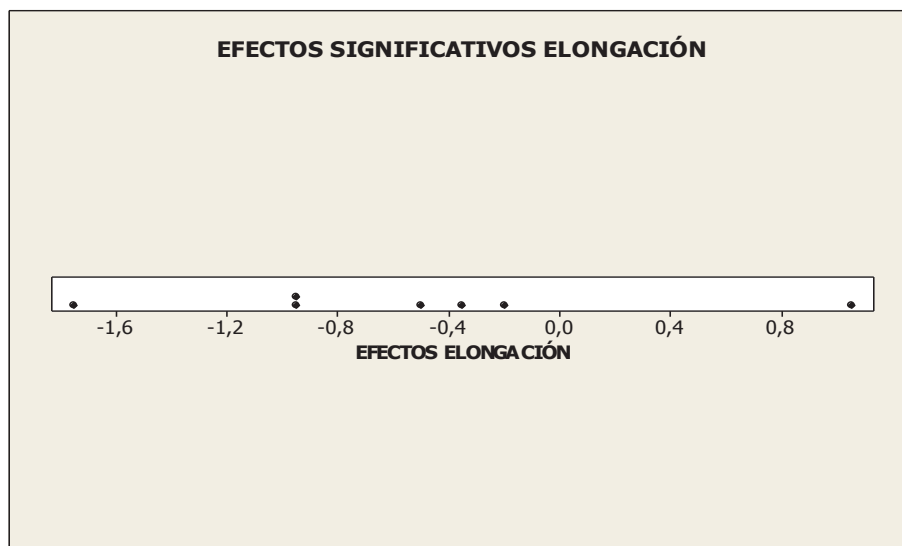


Gráfico 4.31 Efectos significativos, elongación.

En el Gráfico 4.31, se indica que el valor 1,05 del efecto del modelo experimental corresponde a la temperatura del horno como su efecto

principal, hacia el lado de -1,6 que corresponde al efecto -1,7569 que es la interacción de relación de temperatura del horno y el porcentaje de carbonato. Se elegirá para la calibración del proceso de los sacos de polipropileno el efecto que es el más significativo y que corresponde a la temperatura del horno, ver tabla 4.13. Las otras interacciones a pesar de que tienen mayor efecto, es recomendable diseñar con la característica que sea más significativa de un efecto principal.

4.5 OBTENCIÓN DE LOS PARÁMETROS ÓPTIMOS DE CALIBRACIÓN

Para la obtención de los parámetros óptimos de calibración se seleccionan las características de proceso que presentan la menor variabilidad en las características del producto o sacos de polipropileno. En el diseño de Taguchi se utilizarán los valores esperados o pronosticados para proceder a calibrar el proceso de extrusión para la obtención del hilo con en que se tejerá los sacos.

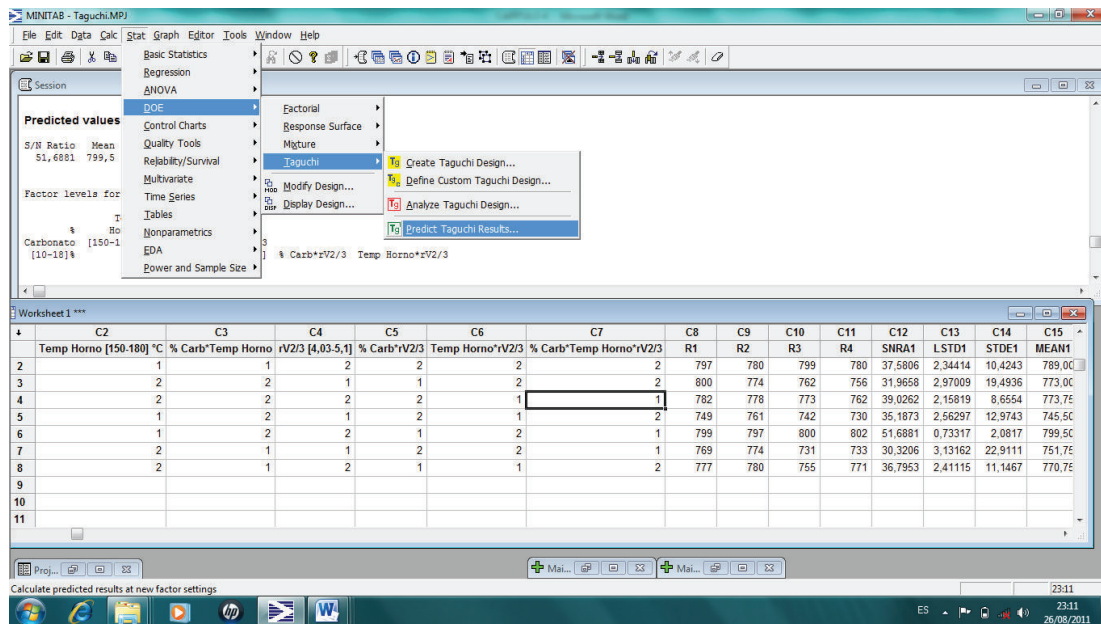


Gráfico 4.32 Obtención de los valores óptimos para calibración del proceso.

En el Gráfico 4.32, se indica el ingreso al software comercial para la obtención de los valores óptimos para el título del hilo, elongación y tenacidad con la finalidad de obtener un diseño robusto.

4.5.1 Obtención del título de hilo 750 denier $\pm 3\%$ para un diseño robusto

Tabla 4.13 Diseño robusto título del hilo 750 denier $\pm 3\%$.

S/N Ratio	Mean	StDev	Log(StDev)
40,9452	747,25	6,70199	1,90240

Factor levels for predictions

	Temp Horno	Carb*Temp Horno	rV2/3 [4,03-5,1]	% Carb*rV2/3	Temp
Carbonato [10-18]%	[150-180] °C	%			
Horno*rV2/3					
2	1	2	2		1

Carbonato [10-18]%	% Carb*Temp Horno*rV2/3
2	1

En la Tabla 4.13, se indica los valores óptimos para obtener un hilo de título 750 denier con el cual se fabrica la mayor cantidad de sacos, ver gráfico 4.1. El nivel para la calibración en la mezcla de carbonato con polipropileno es dos (18%), la temperatura del horno en el nivel uno (150°C) y la relación de velocidades del cilindro dos respecto al tres en dos (5,1).

4.5.2 Obtención de la tenacidad del hilo [4-8] gr/denier para un saco con diseño robusto

Tabla 4.14 Diseño robusto tenacidad del hilo [4-8] gr/denier.

S/N Ratio	Mean	StDev	Log(StDev)
24,8843	4,3	0,244949	-1,40671

Factor levels for predictions

	Temp Horno	Carb*Temp Horno	rV2/3 [4,03-5,1]	% Carb*rV2/3	TempHorno*rV2/3
Carbonato [10-18]%	[150-180] °C	%			
2	1	2	2	1	2

Carbonato [10-18]%	% Carb*Temp Horno*rV2/3
2	1

En la Tabla 4.14, se indica los valores óptimos para obtener la tenacidad del hilo de título 750 denier, con tenacidad del rango de 4,3. El nivel para la calibración en la mezcla de carbonato con polipropileno es dos (18%), la temperatura del horno en el nivel uno (150°C) y la relación de velocidades del cilindro dos respecto al tres en dos (5,1).

4.5.3 Obtención de la elongación del hilo [18-34] % para un saco con diseño robusto

Tabla 4.15 Diseño robusto elongación del hilo [18-34] %.

S/N Ratio	MeanStDev	Log(StDev)
28,4586	26,5	0,668331
		-0,402971

Factor levels for predictions						
	Temp					
%	Horno	%	rV2/3	% Carb*rV2/3	TempHorno*rV2/3	
Carbonato [10-18]%	[150-180] °C	Carb*Temp Horno	[4,03-5,1]			
2	1	2	2	1	2	

%	% Carb*Temp
Carbonato [10-18]%	Horno*rV2/3
2	1

Se puede apreciar en la Tabla 4.15, los parámetros de calibración en los equipos de extrusión para obtener la elongación esperada de 26,5. El porcentaje de carbonato de calcio en el polipropileno en su nivel dos (18%), la temperatura del horno en su nivel uno (150°C) y la relación de velocidades de los cilindros dos respecto a tres en su nivel dos (5,1).

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Para establecer un programa de mejora continua es necesario conocer la situación actual de la planta en lo referente a las características de su proceso, en el caso de la planta de extrusión para la obtención de hilo de polipropileno se partió del análisis multi-vari con la finalidad de observar las tendencias de calibración para la obtención del título de hilo 750 denier, tenacidad entre [4-8] gr/denier y porcentaje de elongación de [18-34] %, tal como se indica en los gráficos 4.20, 4.21 y 4.22.
- Se utilizó el diseño experimental de Taguchi para identificar en la línea productiva durante la ejecución de los procesos, las tendencias de variabilidad y proceder ajustar las características del proceso, como son porcentaje de carbonato, temperatura del horno y relación de velocidades de los cilindros dos respecto al tres de la extrusora, tal como se indica en los gráficos 4.16, 4.176 y 4.18 de efectos principales para señal de ruido.
- En la tabla 4.7, se indica el análisis de variabilidad de respuesta título del hilo en donde la probabilidad para los factores de porcentaje de carbonato y temperatura del horno, tienden a valores $> 0,05$ por lo que sus efectos no son significativos. El factor relación de velocidad de los cilindros dos respecto a tres tiene una probabilidad $< 0,05$ por lo que su efecto es significativo en el proceso. Se rechaza $H_0 = 0$, lo cual indica que no existe variación en el título del hilo debido a la relación de velocidades v_2/v_3 y se acepta $H_1 \neq 0$ con lo que se concluye que los efectos son significativos.

- La variabilidad de especificaciones en el título del hilo, el factor relación de velocidad $rv^{2/3}$ explica el 65,29% de la variabilidad. Con un F de 13,89 que indica la variabilidad del denier. En la Tabla 4.8, se puede observar la corrida experimental con sus treinta y dos corridas con cuatro réplicas. Se indica el valor probable de acuerdo a la corrida (FITS2) y los residuales (RESI2).
- En la Tabla 4.10, se indica el análisis de variabilidad de respuesta tenacidad en donde la probabilidad para los factores de temperatura del horno y $rv^{2/3}$ tienden a valores $< 0,05$ junto con sus respectivas interacciones es decir, se rechaza $H_0 = 0$, de que la probabilidad de los efectos de sus factores no sean significativos y se acepta $H_1 \neq 0$ con lo que se concluye que los efectos son significativos.
- El hilo de polipropileno fuera de especificación en la característica tenacidad es explicado por lo factores de temperatura del horno y la relación $rv^{2/3}$, que explica el 81,32% de la variabilidad. Con un F de 11,15 que significa una probabilidad del 0,01% se produjera por ruido.
- En la Tabla 4.12, se indica el análisis de variabilidad de respuesta elongación en donde la probabilidad para el factor de temperatura del horno tiende a un valor $< 0,05$ junto con sus respectivas interacciones es decir, se rechaza $H_0 = 0$, de que la probabilidad de los efectos de sus factores no sean significativos y se acepta $H_1 \neq 0$ con lo que se concluye que los efectos son significativos.
- Por lo tanto, el hilo de polipropileno fuera de especificación en la característica elongación es explicado por el factor de temperatura del horno, con el 52,36% de la variabilidad. Con un F de 2,08 que significa una probabilidad del 0,01% se produjera por ruido.
- En la Tabla 4.13, se indica los valores óptimos de un diseño robusto para obtener un hilo de título 750 denier con el cual se fabrica la mayor cantidad de sacos, ver anexo 2.1.1. El nivel para la calibración en la mezcla de carbonato con polipropileno es dos (18%), la temperatura del horno en el

nivel uno (150°C) y la relación de velocidades del cilindro dos respecto al tres en dos (5,1).

- En la Tabla 4.14, se indica los valores óptimos de un diseño robusto para obtener la tenacidad del hilo de título 750 denier, con tenacidad del rango de 4,3. El nivel para la calibración en la mezcla de carbonato con polipropileno es dos (18%), la temperatura del horno en el nivel uno (150°C) y la relación de velocidades del cilindro dos respecto al tres en dos (5,1).
- Se puede apreciar en la Tabla 4.15, los parámetros de calibración en los equipos de extrusión para obtener la elongación esperada de 26,5. El porcentaje de carbonato de calcio en el polipropileno en su nivel dos (18%), la temperatura del horno en su nivel uno (150°C) y la relación de velocidades de los cilindros dos respecto a tres en su nivel dos (5,1).
- Las variables críticas encontradas título del hilo, tenacidad y elongación en el proceso de fabricación de sacos de polipropileno que se encuentran en la tabla 2.3 son las que establecen y definen el foco de mejora y en donde se va a proponer el análisis desarrollado con la metodología six sigma.

5.2 RECOMENDACIONES

- Este análisis con su metodología puede ser aplicado en las industrias nacionales, para mejorar su competitividad sin recurrir a grandes costos de asesoría y lo puede desarrollar el mismo equipo técnico en cada uno de sus procesos.
- Previo al desarrollo de un programa de mejora continua se debe contar con indicadores de desempeño para tener una referencia del comportamiento de sus procesos y encontrar un foco de mejora.
- En enfoque actual de la industria debe ser un interés real en sus clientes por medio de reducir la variabilidad en las características de los productos.

- La aplicación de cada una de las fases de la metodología durante el proceso de mejora asegurará resultados eficaces para toma de decisiones.
- La metodología six sigma puede ser aplicada aunque no en su totalidad en todas las manufacturas, en el caso de Ecuador la mayoría se encuentra en la fase definir, lo que involucra la identificación del foco de mejora, lo que va a permitir un adecuado programa de mejora continua.
- Es necesario que en una industria manufacturera que va a iniciar un proceso de mejora continua comience a definir las características de su proceso y de su producto, lo cual ayudará a la aplicación del modelo de análisis desarrollado en el presente trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

1. Besterfield D., *Control de Calidad*, 4ta Ed. Prentice Hall, México, 1995.
2. Freivalds A., Niebel B., *Ingeniería Industrial, Métodos, Estándares y Diseño del Trabajo*, 10 Ed. Alfaomega, México, 2001.
3. General Motors, *Capacitación en 5 s*, Quito, Ecuador, 2006.
4. General Motors, *Sistema Global de Manufactura*, Detroit, EEUU, 2003.
5. Glent S., *Taguchi Methods*, Addison-Wesley Publishing Company, Third Ed, EEUU, 1993.
6. Goldratte E., Cox J., *La Meta*, 8va Ed. Editorial Castillo, Nuevo México, 1999.
7. Harrington J., *Mejoramiento de los Procesos de la Empresa*, 3ra. Ed. McGraw-Hill, México, 1991.
8. Heizer J., Render B., *Dirección de la Producción Decisiones Estratégicas*, 6ta Ed. Pearson Educación, México, 2001.
9. Hernández R., Fernández C., Batista P., *Metodología de la Investigación* 2da Ed. McGraw Hill, Colombia, 1998.
10. Kalpakjian S., Schmid S., *Manufactura, Ingeniería y Tecnología*, 4ta Ed. Pearson Educación, México, 2002.
11. Maynard H., *Manual del Ingeniero Industrial*. 4ta Ed., McGraww-Hill, México, 2001.
12. Montgomery C., *Control Estadístico de la Calidad*, Grupo editorial Iberoamericana, México, 1991.

13. Montgomery D., *Diseño y Análisis de Experimentos*, Tercera Ed. Grupo Editorial Iberoamericana, México, 1993.
14. Pyzdek T., *The Six Sigma Handbook*, Ed. McGraw-Hill, EEUU, 2003.
15. Qualiplus, *Los cuatro abordajes sistémicos para la excelencia empresarial*, ASI Brasil, Brasil, 2005.
16. Salvendy G., *Handbook of Industrial Engineering*, Third Edition, Wiley-Interscience, EEUU, 2001.
17. Rubin L., *Estadística para Administración y Economía*, Séptima Ed. Pearson Edition, México, 2004.

ANEXOS

ANEXO N°1

ANEXO 1.1 MERCADO DE SACOS DE POLIPROPILENO

Anexo 1.1.1 Sectores para el mercado de sacos de polipropileno

SECTORES1	Suma de Cantidad inv.
ARROCEROS	4178034
BALANCEADOS	3334464
MOLINOS	1729346
INDUSTRIALES	1704661
FERTILIZANTES	1339709
COMERCIALIZADORES	900635
HARINERO	744491
AZUCAREROS	631197
PERSONAS NATURALES	619746
ABONOS	440447
SALEROS	403747
CEREALES	153007
PLASTICOS	53850
FABRICAS DE LA CONSTRUCCION	13080
TEXTILES	9880
Total general	16256294

**ANEXO 1.2 PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL
POLIPROPILENO**

Anexo1.2.1 Propilco 03H82

Boletín Técnico

Tipo:	Homopolimero
Nombre del producto:	Propilco 03H82

Descripción del producto: PROPILCO 03H82 es un Polipropileno con procesamiento uniforme, buen color y estable durante el proceso.

Características: Bajo arrastre de agua. Excelente estabilidad del material reprocesado

Recomendado para: ser usado en extrusión general, específicamente Rafia (sacos tejidos, base para alfombras, cuerdas, sogas).

Propiedades	Unidades	Unidades SI	Método ASTM
Índice de Fluidez (230 oC-2.16 Kg)	3.3 g/10 min.	3.3 g/10 min.	D 1238
Resistencia máxima a la tracción (50 mm/min.)	5100 psi	35 Mpa	D 638@
Elongación al punto de cedencia (50 mm/min.)	10 %	10 %	D 638@
Módulo de Flexión 1% secante (1.3 mm/min.)	227500 psi	1567 MPa	D 790A@
Impacto Izod con ranura (73 oF/23 o C)	0.4 pié-lb/pulg	21.4 J/m	D 256@
Dureza, Rockwell	103 R	103 R	D 785@

Los valores indicados son promediados y no deben ser interpretados como especificaciones del producto. Estos valores podrían ajustarse con los datos adicionales acumulados. @ Espécimen I de 3.2 mm de espesor inyectados de acuerdo al ASTM D 4101.

IMPORTANTE: La presente información corresponde a valores típicos y debe entenderse como una guía en el comportamiento y aplicabilidad de nuestras resinas. En vista de los muchos factores que pueden afectar el proceso y aplicación, esta información no exonera al procesador de llevar a cabo sus propios análisis y experimentos; tampoco implica alguna manifestación de responsabilidad legal de ciertas propiedades y uso para un propósito específico. Es responsabilidad de aquellos a quienes suministramos nuestros productos asegurarse que los derechos de propiedad y leyes vigentes sean cumplidos. Propilco declina toda responsabilidad derivada directa o indirectamente de la utilización de la misma. Al igual no se garantiza ni debe suponerse ausencia de protección de patentes.

AVISO: RESTRICCIONES PARA APLICACIONES MEDICAS: PROPILCO S.A. no recomienda cualquier producto o muestra de producto de Propilco para uso en: (A) alguna aplicación en desarrollo o comercial la cual su intención es para estar en contacto con los fluidos internos del cuerpo humano o tejidos del cuerpo, sin tener en cuenta el tiempo en el cual va a estar en uso. (B) en cualquier aplicación de un equipo de prótesis cardíaca sin tener en cuenta el tiempo que va a estar en uso, incluyendo sin limitaciones, marcapasos y sus accesorios, corazones artificiales, válvulas coronarias, vejigas intraorticas y sus sistemas de control, equipos de ayudas a bypass ventriculares. (C) como un componente crítico de cualquier equipo médico que soporte o mantenga la vida humana y (D) especialmente en mujeres embarazadas o en cualquier aplicación diseñada concretamente para promover o interferir en la reproducción humana.

Recomendaciones antes de usar un producto de Propilco: Sugerimos que cuando utilice un PP de Propilco S.A por primera vez, realice ensayos en cantidades industriales adecuados para que examine las posibilidades de usar nuestros productos en todas las etapas de su proceso.

Nota: Para productos que van a contener alimentos y/o son sometidos a algún tipo de tratamiento tales como, esterilización, ozonización, requerir el certificado FDA a través de www.propilco.com, o comunicandose con servicio al cliente.



Comai

INFORMACIÓN TÉCNICA

Referencia COMASTER 07-5 PS

Almacenamiento: Un almacenamiento mayor a 6 meses puede causar una influencia negativa en la calidad del producto final. Para los productos de la series 700 y 750 el tiempo de almacenamiento es de 2 meses. El producto debe ser almacenado en condiciones secas y temperaturas por debajo de los 40 °C, protegiéndolo de la luz UV. Un Almacenamiento no adecuado puede iniciar su degradación, resultando en generación de olor y cambios de color y posiblemente proporcionando efectos negativos en las propiedades físicas del producto. Si el producto es almacenado en condiciones de alta humedad o temperaturas variables entonces la humedad atmosférica puede condensarse dentro del empaque. Si esto sucede es recomendable secar los pellets antes de usarlo. Durante su almacenamiento el producto no debe ser expuesto a la radiación de los rayos ultravioletas. COMAI LTDA. no asume responsabilidad por los daños causados por un mal almacenamiento. En general se recomienda convertir todos los materiales dentro del periodo de 6 meses después de producidos.

A menos que se acuerde lo contrario por escrito la única solución para todos los reclamos o demandas, a opción de COMAI LTDA es el reemplazo del producto o el reembolso del precio de compra, y por ningún motivo COMAI LTDA. será responsable por ningún daño y/o perjuicio especial, consecuencial, incidental, punitivo o ejemplarizante.

Los productos de COMAI LTDA. no tienen aditivos que contienen metales u otras sustancias con el propósito de inducir la oxi-degradación de ellos. Estos aditivos y la descomposición y desintegración de los productos finales originados por el fenómeno de la oxi-degradación puede causar contaminación ambiental, disminuir el desempeño de los empaques y aumentar la migración de constituyentes del empaque al alimento, comprometiendo su cumplimiento con respecto a los requisitos de las Normativas correspondientes. El uso de estos aditivos con los productos de Comai implica la pérdida inmediata de la garantía de desempeño descrita en este Boletín Técnico.



INFORMACIÓN TÉCNICA

Referencia COMASTER: 707-5 PS

Comai no respalda o alega la idoneidad de sus productos para aplicaciones médicas específicas. Es responsabilidad de los fabricantes de productos médicos o farmacéuticos determinar que el producto de Comai es seguro, legal, y técnicamente adecuado para el uso previsto. COMAI LTDA NO OTORGA NINGUNA GARANTÍA, EXPRESA O IMPLÍCITA, ACERCA DE LA IDONEIDAD DE CUALQUIER PRODUCTO DE COMAI LTDA PARA SU USO EN APLICACIONES MÉDICAS.

Recomendaciones antes de usar un producto de Comai: Sugerimos que cuando utilice un producto de Comai por primera vez, realice ensayos en cantidades industriales adecuados para que examine las posibilidades de usar nuestros productos en todas las etapas de su proceso. La información es aplicable a los materiales tal como salen de las instalaciones de producción y no cubre ningún tipo de aditivo, pigmento, etc., posteriormente incluidos por el convertidor. Es responsabilidad del cliente obtener toda la información necesaria relacionada con materiales de terceras partes y asegurarse que los productos de Comai cuando son usados en conjunto con esos materiales son adecuados para el propósito particular del cliente. Ninguna responsabilidad legal puede ser aceptada con respecto al uso de los productos de COMAI LTDA, en conjunción con otros materiales.

Nota: Para productos que van a contener alimentos y/o son sometidos a algún tipo de tratamiento tales como, esterilización, ozonización, usted debe requerir el certificado FDA a través de www.comai.com.co o comunicándose con servicio al cliente. Bajo ninguna responsabilidad estará COMAI LTDA de notificar a usted cualquier cambio a las regulaciones.

Almacenamiento: Un almacenamiento mayor a 6 meses puede causar una influencia negativa en la calidad del producto final. Para los productos de la serie 750 el tiempo de almacenamiento es de 2 meses. El producto debe ser almacenado en condiciones secas y temperaturas por debajo de los 40 °C, protegiéndolo de la luz UV. Un Almacenamiento no adecuado puede iniciar su degradación, resultando en generación de olor y cambios de color y posiblemente proporcionando efectos negativos en las propiedades físicas del producto. Si el producto es almacenado en condiciones de alta humedad o temperaturas variables entonces la humedad atmosférica puede condensarse dentro del empaque. Si esto sucede es recomendable secar los pellets antes de usarlo. Durante su almacenamiento el producto no debe ser expuesto a la radiación de los rayos ultravioletas. COMAI LTDA, no asume responsabilidad por los daños causados por un mal almacenamiento. En general se recomienda convertir todos los materiales dentro del un período de 6 meses después de producidos.

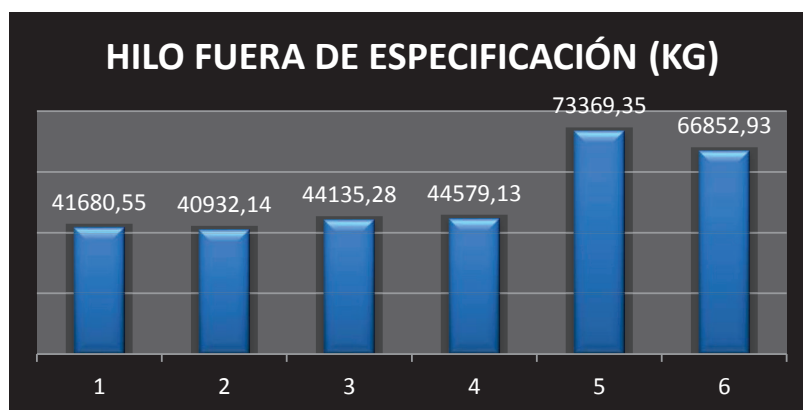
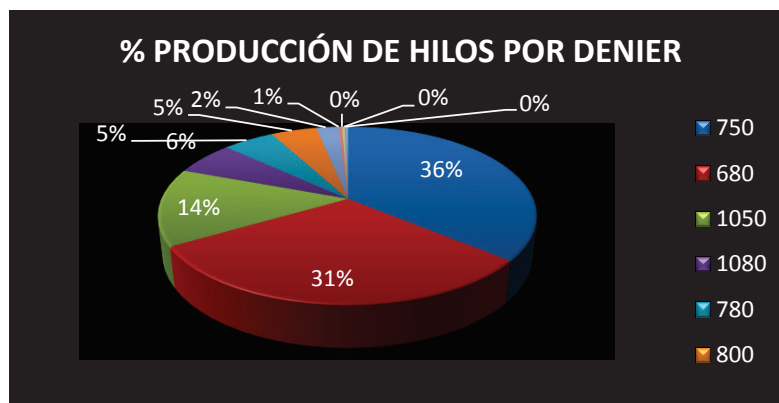
A menos que se acuerde lo contrario por escrito la única solución para todos los reclamos o demandas, a opción de COMAI LTDA es el reemplazo del producto o el reembolso del precio de compra, y por ningún motivo COMAI LTDA, será responsable por ningún daño y/o perjuicio especial, consecuencial, incidental, punitivo o ejemplarizante.

Los productos de COMAI LTDA, no tienen aditivos que contienen metales u otras sustancias con el propósito de inducir la oxi-degradación de ellos. Estos aditivos y la descomposición y desintegración de los productos finales originados por el fenómeno de la oxi-degradación puede causar contaminación ambiental, disminuir el desempeño de los empaques y aumentar la migración de constituyentes del empaque al alimento, comprometiendo su cumplimiento con respecto a los requisitos de las Normativas correspondientes. El uso de estos aditivos con los productos de Comai implica la pérdida inmediata de la garantía de desempeño descrita en este Boletín Técnico.

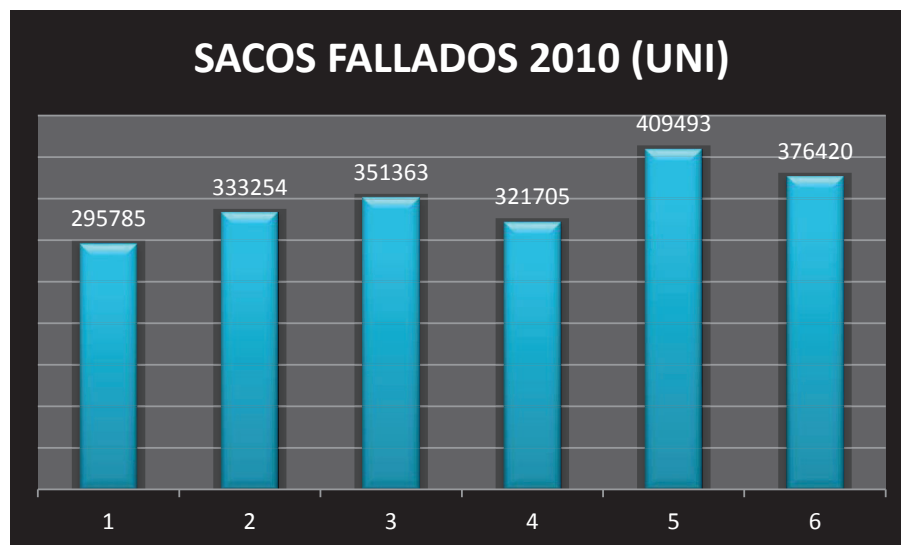
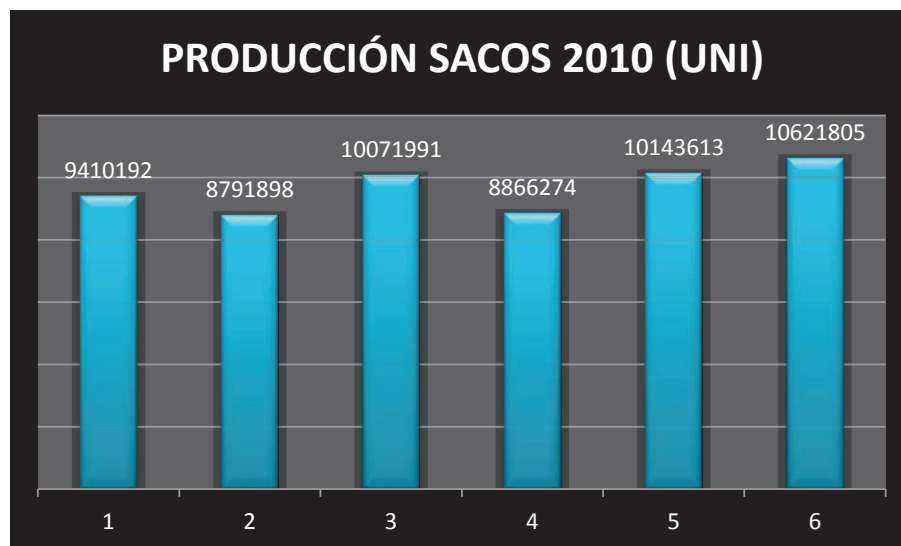
ANEXO N°2

**ANEXO 2.1 PRODUCCIÓN DE HILOS Y SACOS DE
POLIPROPILENO**

Anexo 2.1.1 Producción de hilo para sacos de polipropileno e hilo fuera de especificación



Anexo 2.1.2 Producción de sacos de polipropileno y sacos fuera de especificación



**ANEXO 2.2 CTX DE EXTRUSORA ANTES DE LA PROPUESTA DE
OPTIMIZACIÓN**

SECCIÓN EXTRUSIÓN REPORTE DE MEDICIONES DIARIAS

EXTRUSORA 2						TUBO	C	TUBO	Bata	10	20								
1	120	100	222	131	102	242	REVISADO POR <i>Donato Carabona</i> OBSERVACIONES <i>recibo con 1000 22 libras</i> TPO DE MEDIDA <i>Binifon 100k</i> <i>C. Comai 20k</i> CARACTERISTICAS TEMP DEL HORNO <i>115</i> TEMP DEL AGUA <i>20°C</i> VELOCIDADES DE LOS RODILLOS N° 1 <i>6.85</i> N° 2 <i>3.0</i> N° 3 <i>300</i> VELOCIDADES DEL HORILLO N° <i>6.45</i> HORAS <i>NOVEDADES</i> <i>de 1000 se blanco cambia a 250 de libras</i>												
2	120	100	222	131	102	242													
3	120	100	222	131	102	242													
4	120	100	222	131	102	242													
5	120	100	222	131	102	242													
6	120	100	222	131	102	242													
7	120	100	222	131	102	242													
8	120	100	222	131	102	242													
9	120	100	222	131	102	242													
10	120	100	222	131	102	242													
11	120	100	222	131	102	242													
12	120	100	222	131	102	242													
13	120	100	222	131	102	242													
14	120	100	222	131	102	242													
15	120	100	222	131	102	242													
16	120	100	222	131	102	242													
17	120	100	222	131	102	242													
18	120	100	222	131	102	242													
19	120	100	222	131	102	242													
20	120	100	222	131	102	242													
21	120	100	222	131	102	242													
22	120	100	222	131	102	242													
23	120	100	222	131	102	242													
24	120	100	222	131	102	242													
25	120	100	222	131	102	242													
26	120	100	222	131	102	242													
27	120	100	222	131	102	242													
28	120	100	222	131	102	242													
29	120	100	222	131	102	242													
30	120	100	222	131	102	242													
31	120	100	222	131	102	242													
PROMEDIO 120 100 222 131 102 242 120 100 222 131 102 242						RESULTADOS													
EXTRUSORA	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
INDICIA	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
TUBO	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
FLUJO NETO	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
RESULT NETO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
TEMPERATURA	64	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
PROMEDIO 120 100 222 131 102 242 120 100 222 131 102 242						RESULTADOS													
EXTRUSORA	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
INDICIA	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
TUBO	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
FLUJO NETO	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
RESULT NETO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
TEMPERATURA	64	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
PROMEDIO 120 100 222 131 102 242 120 100 222 131 102 242						RESULTADOS													
EXTRUSORA	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
INDICIA	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
TUBO	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
FLUJO NETO	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
RESULT NETO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
TEMPERATURA	64	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18

SECCIÓN EXTRUSIÓN																				
REPORTE DE MEDICIONES DIARIAS																				
1 2 3 4																				
MES MES DIA																				
OPERACION 4																				
TIPO: C. 1000 10 01																				
1	200	200	200	200	200	REVISIONES: Downer, Galvanneal														
2	206	200	205	200	200	OBSERVACIONES: resaca con 800 32 blanco														
3	212	210	210	214	210															
4	210	212	211	212	210															
5	214	211	213	211	210															
6			211	211	211															
7			211	210	210	VELOCIDAD DE MEDIDA														
8			212	211	211	Dientes 60h														
9			213	212	212	C. Anar 2k														
10			212	211	211	ab blanco 200k														
11			210	210	210															
12			210	210	210															
13																				
14																				
15																				
16						CARACTERÍSTICAS														
17						TEMP DEL ALBERO 165														
18						TEMP DEL AGUA 166														
19						VELOCIDADES DE LOS RODILLOS														
20						1º ROLLO 18.9														
21						2º ROLLO 14.3														
22						3º ROLLO 20.0														
23						VELOCIDADES DEL HEBLILLO														
24						84														
25						MONEDAS														
26						Luchero con 900 32 blanco														
27																				
28																				
29																				
30																				
31																				
PRIMERA	110	186	836	808	115															
SEGUNDA	86	86	87	83	81															
MATERIAS EMPLEADAS No. RESULTADOS																				
CONTROLAR	GR	ANAR	AG	AGUIFAS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	P. MIN	P. MAX	P. MED	UNIDAD
ANAR	31	31	31	---	32	32	32	32	32											32.4
AGUIFAS		800		AGUIFAS	924	886	939	910	891								894	932	910	5.3
AGUIFAS	10	1	34	---	30.8	30.0	30.9	30.4	30.0											30.7
AGUIFAS	1	1	1	AGUIFAS	4111	4314	4013	4110	4110											
AGUIFAS	12	1	2	AGUIFAS	5.4	5.3	5.2	4.9	5.1											5.1
MATERIAS EMPLEADAS No. RESULTADOS																				
CONTROLAR	GR	ANAR	AG	AGUIFAS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	P. MIN	P. MAX	P. MED	UNIDAD
ANAR	31	32	31	---	30	30	30	32	32											30.2
AGUIFAS		800		AGUIFAS	844	840	836	840	841								831	836	836	8.0
AGUIFAS	10	1	34	---	29.5	29.4	29.2	29.5	29.3											29.4
AGUIFAS	1	1	1	AGUIFAS	4170	4162	4111	4165	4170											
AGUIFAS	12	1	2	AGUIFAS	4.1	5.2	5.1	5.2	4.9											5.0
MATERIAS EMPLEADAS No. RESULTADOS																				
CONTROLAR	GR	ANAR	AG	AGUIFAS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	P. MIN	P. MAX	P. MED	UNIDAD
ANAR				---																
AGUIFAS				AGUIFAS																
AGUIFAS				---																
AGUIFAS				AGUIFAS																
AGUIFAS				---																



SECCIÓN EXTRUSIÓN																
REPORTE DE MEDICIONES DIARIAS																
1 2 3 4																
MID. MID. MID.																
EXTRUSOR No. 6	TUBO C. TUBO C. TUBO C.															
TEMP. 600 600 600 600 600	REVISIONES: DOWEX GULONEX															
1 24 25 26	PRESIONES: 240 240 240 240 240															
2 24 25 26	TUBO: 24 25 26															
3 24 25 26	TUBO: 24 25 26															
4 24 25 26	TUBO: 24 25 26															
5 24 25 26	TUBO: 24 25 26															
6 24 25 26	TUBO: 24 25 26															
7 24 25 26	TUBO: 24 25 26															
8 24 25 26	TUBO: 24 25 26															
9 24 25 26	TUBO: 24 25 26															
10 24 25 26	TUBO: 24 25 26															
11 24 25 26	TUBO: 24 25 26															
12 24 25 26	TUBO: 24 25 26															
13 24 25 26	TUBO: 24 25 26															
14 24 25 26	TUBO: 24 25 26															
15 24 25 26	TUBO: 24 25 26															
16 24 25 26	TUBO: 24 25 26															
17 24 25 26	TUBO: 24 25 26															
18 24 25 26	TUBO: 24 25 26															
19 24 25 26	TUBO: 24 25 26															
20 24 25 26	TUBO: 24 25 26															
21 24 25 26	TUBO: 24 25 26															
22 24 25 26	TUBO: 24 25 26															
23 24 25 26	TUBO: 24 25 26															
24 24 25 26	TUBO: 24 25 26															
25 24 25 26	TUBO: 24 25 26															
26 24 25 26	TUBO: 24 25 26															
27 24 25 26	TUBO: 24 25 26															
28 24 25 26	TUBO: 24 25 26															
29 24 25 26	TUBO: 24 25 26															
30 24 25 26	TUBO: 24 25 26															
31 24 25 26	TUBO: 24 25 26															
PROCESO COLOR 600 240 600 600 600	MID. MID. MID. MID. MID.															
ANÁLISIS DE PRODUCCIÓN No.	RESULTADOS															
CONTROLADO MID. ANÁLISIS MID. RESULTADO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	P. MIN.	P. MAX.	P. C. 1	UNIDAD
MOLEDA 24 25 26	24	25	26	24	25	26	24	25	26	24	25	26	240	240	240	240
TUBO 600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600
FLUJO NETO 12 1 24	12	1	24	12	1	24	12	1	24	12	1	24	12	1	24	12
RENTA NETO 1 1 1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
RENTA BRUTA 2 1 2	2	1	2	2	1	2	2	1	2	2	1	2	2	1	2	2
ANÁLISIS DE PRODUCCIÓN No.	RESULTADOS															
CONTROLADO MID. ANÁLISIS MID. RESULTADO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	P. MIN.	P. MAX.	P. C. 1	UNIDAD
MOLEDA 24 25 26	24	25	26	24	25	26	24	25	26	24	25	26	240	240	240	240
TUBO 600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600
FLUJO NETO 12 1 24	12	1	24	12	1	24	12	1	24	12	1	24	12	1	24	12
RENTA NETO 1 1 1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
RENTA BRUTA 2 1 2	2	1	2	2	1	2	2	1	2	2	1	2	2	1	2	2
ANÁLISIS DE PRODUCCIÓN No.	RESULTADOS															
CONTROLADO MID. ANÁLISIS MID. RESULTADO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	P. MIN.	P. MAX.	P. C. 1	UNIDAD
MOLEDA																
TUBO																
FLUJO NETO																
RENTA NETO																
RENTA BRUTA																

tipo de MUELA
 24k
 mb blanco 70k
 C. Lomas 24k.

VELOCIDADES
 TEMP. DEL MOTOR 180
 TEMP. DEL ALAR 180
 VELOCIDADES DE LOS RODAJES
 1a. V. 30
 2da. V. 360
 3ra. V. 300

VELOCIDADES DEL MUELLE
 34
 34
 34

Quitar con 100 25 blanco

ANEXO 2.3 EXTRUSORA EXTAREX 1400

6 Comentarios al proceso de ingeniería:

Extrusora:

Extrusora operada a una temperatura relativamente fría

- alta fuerza de tensión
- bajo comportamiento estiramiento
- baja elongación

Extrusora operada a una temperatura relativamente alta

- alta elongación
- mayor comportamiento estiramiento

Cabezal:

Separación óptima, baja presión
0,3 mm

- 0,4 - 0,6 mm
- solo para cintas finas
- con cintas gruesas (alta producción) es posible la pulsación; en conexión con una capacidad insuficiente

Tanque de agua:

aprox: 30 - 40°C

por encima de 45°C

Propuestas de temperatura:

- para cintas finas
- para cintas medias
- para cintas pesadas

Temperatura del agua demasiado baja

- comportamiento textil
- peligro de formación de burbujas de vapor

Temperatura del agua demasiado alta

- 40 - 45 °C
- 35 - 40 °C
- 25 - 35 °C
- fuerza de tensión excesiva - problemas en el estiramiento
- pliegues en el film - problemas en el corte
- baja elongación de las cintas

Reenfriamiento rápido

- formación de burbujas de vapor en el film
 - el agua comienza a hervir en contacto con la mezcla (bofíllos de aire)
- normalmente produce cristales más pequeños y finos, y por lo tanto requiere más potencia en el estiramiento. Pequeña distancia al agua. Tendencia aumentada a la división.

Reenfriamiento lento

- una mayor distancia al agua produce menos cristales y más pequeños y por lo tanto menor potencia para estiramiento.

Distancia mínima	= 10 mm (para cintas de contenedor) no se debe rociar con agua en el cabezal!
Distancia más:	= 60 mm (para cintas finas)
Distancia pequeña	= fuerza de tensión aumentada = estiramiento en el horno más difícil = más cintas rotas en el horno de aire caliente
Distancia grande	= fuerza de tensión reducida = mejores características de funcionamiento en el horno
Cambio de cuchilla:	
para cintas óptimas aprox. cada 150 horas (dependiendo de la materia prima)	= aumentan las cintas rotas = cuchillas en movimiento
Horno de aire caliente	
en caso de PP	aprox. 140-160° C
en caso de HDPE	aprox. 90-140° C
en caso de LLDPE	aprox. 90-120° C
Mayor temperatura	= elasticidad aumentada = prueba estiramiento
Menor temperatura	= para cintas de alta tenacidad
Ratio estiramiento:	
aprox. 1:6 - 1:7	Estiramiento final 1:5 - 1:6
Ratio estiramiento mayor	= tendencia a la división aumentada = elasticidad reducida = baja elongación
Cuanto mayor es la velocidad del producto, menor es el estiramiento total requerido.	
Temperatura templado:	
Temperatura de aprox. 100 - 140°C	= Peligro de pegarse

Características de fineza de hilos, fibras y cintas:*den / Conteo Denier:*

Esta es una asignación de conteo por peso. Un hilo tiene una finura de 1 den, 9000 m y 1 g de peso.

Ejemplo : 750-den = 9000 m. peso 750 g

El valor numérico se llama título.

$$\text{den} = \frac{\text{gramos}}{9000 \text{ m}}$$

Sistema Tex:

El sistema internacional es el sistema Tex. Este sistema es un conteo por peso como el sistema Denier. Contrariamente al sistema Denier, el conteo de la determinación del título con el sistema Tex está basado en el peso de 1000 metros en gramos. Ejemplo: 1 Tex = 1 g/1000 m

Para la caracterización de muchos gruesos o fibras finas, hilos y cintas, pueden utilizarse unidades de medida Kilotex (Ktex) o Decites (dtx).

Fuerza de tensión:

La fuerza de tensión del hilo simple depende del ratio de estiramiento. Cuando se aumenta el ratio de estiramiento, la fuerza de tensión aumenta, si el proceso de estiramiento se realiza dentro de los límites termoplásticos del material. La fuerza de tensión se especifica en g/den o g/dtex. Este valor se obtiene formando el cociente del peso de cinta en gramos y el título.

Cálculo del ancho de cinta

$$b_A = b_V \cdot \sqrt{i}$$

b_A = cintas sin estirar (ancho de corte)
 b_V = cintas estiradas (ancho de cinta)
 i = ratio de estiramiento

8 Determinación de la finura del hilo:*Propósito y aplicación:*

La determinación de la finura del hilo sirve para evaluar el espesor y ancho de la cinta. Especialmente para cintas perfiladas se puede calcular el espesor de cinta por medio de la finura del hilo y del ancho de la cinta, ya que en este caso no se puede utilizar un medidor de espesor.

Definiciones:

Finura del hilo (densidad lineal, título) es la masa de una cierta longitud del hilo a probar.

Ejemplo:

Diariamente de las líneas de estiramiento de cinta respectivas. Las muestras de prueba con fallos visibles no se prueban.

Número de muestras:

5 pruebas para cada línea de estiramiento de cinta.

Instrumentos de prueba:

Bobina de hilo para bobinar las cintas a probar. Este dispositivo bobina hasta 5 muestras en una operación simple.

La balanza Tex sirve para determinar la finura del hilo. Este dispositivo indica la finura de la cinta en Tex o Nm

*Realización de la prueba:**Clima para la prueba:*

Las pruebas se tienen que realizar bajo condiciones climáticas estándar de 20°C ($\pm 2^\circ\text{C}$) y una humedad de aire del 65% ($\pm 5\%$).

Determinación de la finura del hilo:

Bobinar hasta 5 bobinas con la longitud de cinta especificada a probar por medio de la bobina de hilo y determinar el peso por medio de una balanza de dens. La longitud de la cinta a bobinar depende de la finura del hilo a determinar.

tex \rightarrow 100 m

den \rightarrow 90 m

Evaluación de la prueba:

La finura del hilo es la longitud de masa relativa de la cinta. La unidad de medida según ISO es Tex.

Unidad ISO:

$$1 \text{ Tex} = \frac{1 \text{ g}}{1000 \text{ m}}$$

$$\text{Finura del hilo} = \frac{m \times 1000m}{l \times 1g} \text{ (en Tex)}$$

m = masa en g

l = longitud en m

Informe de la prueba:

Especificar en el informe de prueba:

- tipo y descripción de la muestra
- fecha de producción
- número de muestras
- finura de hilo en Tex
- fecha de prueba

9 Prueba de cinta (fuerza de tensión y elongación de las cintas de poliolefina):

Propósito y aplicación:

La prueba de tensión según esta prueba estándar sirve para evaluar el comportamiento de las cintas estiradas cuando son expuestas a tensión mono axial. En la base de este estándar se determinan las siguientes propiedades:

- fuerza de tensión
- elongación en la carga máxima

Definiciones:

Fuerza de tensión significa la deformación de tensión en el momento de rotura de cinta y representa el cociente de la fuerza del desgarrar y la cuenta.

Elongación en carga máxima es el cambio en longitud relativo a la longitud original de la cinta en el momento de rotura de cinta.

Muestra de prueba:

Ejemplo:

Diariamente desde cada línea de estiramiento; no se prueban las muestras con fallos visibles.

Forma y dimensiones de las muestras de prueba:

Longitud de cierre	500 mm (\pm 1 mm)
Longitud total	560 mm

Número de muestras de prueba:

10 muestras para cada prueba individual

Instrumento de prueba:

Se utiliza un comprobador de tensión con lecturas de la fuerza y elongación máxima.

Los cierres deben asegurar un libre deslizamiento de la muestra de prueba y evitar cualquier daño a las cintas por efecto de corte.

Procedimiento de prueba:Clima de prueba:

La prueba se debe realizar bajo condiciones climáticas estándar relevantes (20°C \pm 2°C; humedad de aire 65% \pm 5%).

Prueba de tensión:

La cinta se tiene que cerrar de forma que se observe la longitud de cierre de 500 mm prescrita (\pm 1 mm). También se tiene que prestar atención a que la muestra no se doble, pliegue o tuerza. La velocidad de la prueba, a la que los cierres se abren, es de 250 mm/min (\pm 10%).

Evaluación:

Para evaluar la prueba tiene que determinar la finura del hilo (título).

Fuerza de tensión F_R en N

Fuerza de tensión R en N/Tex o mN/Tex

$$R = \frac{F_R}{\text{thread fineness}}$$

thread fineness - finura de hilo

Elongación en ruptura E_R en %

$$E_R = \frac{L_R}{L_0} \times 100\%$$

Abreviaturas:

F_R = fuerza de tensión en N

F_{5W} = fuerza + % elongación en N

L_R = cambio en longitud en mm a la fuerza de tensión

L_0 = longitud de medida original en mm

Finura del hilo en Tex = g/1000 m

1 Descripción técnica:

Una unidad de mezcla y dosificación alimenta el material granulado en la extrusora.

El material se mezcla, comprime y homogeneiza en la extrusora. El material presurizado fluye a través de un adaptador y del filtro al cabezal plano.

La sección de la extrusora consta de los siguientes componentes:

- Accionamiento principal mediante motor DC, eje de motor y engranaje de extrusora
- Camisa (bimetálica)
- Ventilador de enfriamiento, resistencias y aislante de calor
- Husillo (blindado - Colmonoy 56)
- Zonas de mezcla y homogeneización especiales
- Desplazamiento longitudinal de la extrusora por medio de raíles y rodillos
- Control de velocidad central de la línea completa incluyendo el control de velocidad del husillo, el armario del filtro, la primera unidad de godet y la unidad de estramiento. Se mantendrán los ratios de velocidad establecidos de los diferentes motores.
- 1 protección de corte controlada por temperatura para el motor principal, protegiendo la extrusora, el filtro y el cabezal plano de arranques en frío.
- Sistema de filtro automático, colocado entre la extrusora y el cabezal plano. El filtro sirve para purificar la mezcla y está equipado con elementos de calefacción. Una instalación sirve para bobinar 20 metros de banda de filtro. Hay un mezclador estático en el flujo posterior del filtro para homogeneizar la mezcla. Debido a esta colocación, se obtiene una mezcla extremadamente homogénea incluso con altas capacidades de producción.

1 Descripción tecnológica:

El horno de aire caliente está dispuesto entre la unidad de soporte y la sección de estiramiento y sirve para el tratamiento térmico de fibras plásticas. La temperatura se regula separadamente mediante un sensor y un regulador, que aseguran el calentamiento. La temperatura preseleccionada se mantiene entonces a un nivel constante.

Regulador de temperatura:

La temperatura de servicio deseada se regula en el visualizador de la línea de extrusión.

Clapetas de regulación del aire:

La velocidad deseada del aire se regula mediante las manijas de las clapetas en la cara anterior del canal.

2 Datos técnicos:

Ancho de trabajo	1400
Superficies de calefacción reguladas	2
Gama de regulación velocidad del aire aprox.	6-20 m/s
Longitud del canal de calentamiento	5,8 m (alternativa: 4 m)
Rendimiento calorífico	72 kW

ANEXO N°3

**ANEXO 3.1 DEMOSTRACIÓN DE \bar{y} Y s^2 COMO ESTIMADORES
INSESGADOS DE μ Y σ^2**

Anexo 3.1.1 Demostración de \bar{y} como estimador de μ .

$$\begin{aligned} E(\bar{y}) &= E\left(\frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n}\right) \\ &= \frac{1}{n} E\left(\sum_{i=1}^n y_i\right) \\ &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E(y_i) \\ &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \mu \\ &= \mu \end{aligned}$$

Anexo 3.1.2 Demostración de S^2 es un estimador de σ^2 .

$$\begin{aligned} E(S^2) &= E\left(\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n-1}\right) \\ &= \frac{1}{n-1} E\left(\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2\right) \\ &= \frac{1}{n-1} E(SS) \\ E(SS) &= E\left[\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2\right] \\ &= E\left[\sum_{i=1}^n y_i^2 - n\bar{y}^2\right] \\ &= \sum_{i=1}^n (\mu^2 + \sigma^2) - n(\mu^2 + \sigma^2/n) \\ &= (n-1)\sigma^2 \\ E(S^2) &= \frac{1}{n-1} E(SS) \\ &= \sigma^2 \end{aligned}$$

**ANEXO 3.2 ANÁLISIS DE VARIANZA DEL MODELO DE TRES
FACTORES CON EFECTOS FIJOS**

Anexo 3.2.1 Fórmulas para el cálculo manual de la suma de los cuadrados

$$SS_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^n y_{ijkl}^2 - \frac{y_{\dots}^2}{abcn}$$

(a) Suma total de cuadrados

$$SS_A = \frac{1}{bcn} \sum_{i=1}^a y_{i\dots}^2 - \frac{y_{\dots}^2}{abcn}$$

$$SS_B = \frac{1}{acn} \sum_{j=1}^b y_{.j\dots}^2 - \frac{y_{\dots}^2}{abcn}$$

$$SS_C = \frac{1}{abn} \sum_{k=1}^c y_{\dots k}^2 - \frac{y_{\dots}^2}{abcn}$$

(b) Suma de cuadrados de los efectos principales

$$SS_{AB} = \frac{1}{cn} \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b y_{ij\dots}^2 - \frac{y_{\dots}^2}{abcn} - SS_A - SS_B$$

$$SS_{AB} = SS_{\text{Subtotales}(AB)} - SS_A - SS_B$$

$$SS_{AC} = \frac{1}{bn} \sum_{i=1}^a \sum_{k=1}^c y_{i\dots k}^2 - \frac{y_{\dots}^2}{abcn} - SS_A - SS_C$$

$$SS_{AC} = SS_{\text{Subtotales}(AC)} - SS_A - SS_C$$

$$SS_{BC} = \frac{1}{an} \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c y_{.jk\dots}^2 - \frac{y_{\dots}^2}{abcn} - SS_B - SS_C$$

$$SS_{BC} = SS_{\text{Subtotales}(BC)} - SS_B - SS_C$$

(c) Suma de cuadrados de las interacciones

$$SS_{ABC} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c y_{ijk\dots}^2 - \frac{y_{\dots}^2}{abcn} - SS_A - SS_B - SS_C - SS_{AB} - SS_{AC} - SS_{BC}$$

$$SS_{ABC} = SS_{\text{Subtotales}(ABC)} - SS_A - SS_B - SS_C - SS_{AB} - SS_{AC} - SS_{BC}$$

(d) Suma de cuadrados de la interacción de tres factores

$$SS_E = SS_T - SS_{\text{Subtotales}(ABC)}$$

(e) Suma de cuadrados del error

Anexo 3.2.2 Análisis de varianza del modelo de tres factores con efectos fijos

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F_0
A	SS_A	a-1	MS_A	$F_0 = \frac{MS_A}{MS_E}$
B	SS_B	b-1	MS_B	$F_0 = \frac{MS_B}{MS_E}$
C	SS_C	c-1	MS_C	$F_0 = \frac{MS_C}{MS_E}$
AB	SS_{AB}	(a-1)(b-1)	MS_{AB}	$F_0 = \frac{MS_{AB}}{MS_E}$
AC	SS_{AC}	(a-1)(c-1)	MS_{AC}	$F_0 = \frac{MS_{AC}}{MS_E}$
BC	SS_{BC}	(b-1)(c-1)	MS_{BC}	$F_0 = \frac{MS_{BC}}{MS_E}$
ABC	SS_{ABC}	(a-1)(b-1)(c-1)	MS_{ABC}	$F_0 = \frac{MS_{ABC}}{MS_E}$
Error	SS_E	abc(n-1)	MS_E	
Total	SS_T	abcn-1		

ANEXO N°4

**ANEXO 4.1 RESULTADOS DEL PROCESO ANTES DE LA
OPTIMIZACIÓN**

Anexo 4.1.1 Resultados del diseño experimental L_8 , característica denier.

Taguchi Design

Taguchi Orthogonal Array Design

$L_8(2^{**7})$

Factors: 7
Runs: 8

Columns of $L_8(2^{**7})$ Array

1 2 3 4 5 6 7

Taguchi Analysis: R1. R2. ... versus % Carbonato . Temp Horno [. ...

Response Table for Signal to Noise Ratios
Nominal is best ($10 \cdot \log(\bar{Y}^{**2}/s^{**2})$)

Level	% Carbonato [150-180]	Temp Horno °C	% Horno [4,03-5,1]	% Carb*Temp rV2/3	% Carb*rV2/3
1	39,18	40,91	39,41	38,73	39,95
2	38,19	36,46	37,97	38,64	37,42
Delta	0,99	4,45	1,44	0,09	2,52
Rank	6	1	5	7	2

Level	Temp Horno*rV2/3	% Carb*Temp Horno*rV2/3
1	39,66	39,70
2	37,71	37,68
Delta	1,96	2,02
Rank	4	3

Response Table for Means

Level	% Carbonato [150-180]	Temp Horno °C	% Horno [4,03-5,1]	% Carb*Temp rV2/3	% Carb*rV2/3
1	748,1	751,0	751,9	760,8	752,1
2	753,9	751,0	750,1	741,3	749,9
Delta	5,9	0,0	1,9	19,5	2,1
Rank	3	7	6	1	5

Level	Temp Horno*rV2/3	% Carb*Temp Horno*rV2/3
1	746,9	749,8
2	755,1	752,2
Delta	8,3	2,4
Rank	2	4

Anexo 4.1.2 Resultados del diseño experimental L_8 , característica tenacidad.

Taguchi Design

Taguchi Orthogonal Array Design

$L_8(2^{**7})$

Factors: 7
Runs: 8

Columns of $L_8(2^{**7})$ Array

1 2 3 4 5 6 7

Taguchi Analysis: R1. R2. ... versus % Carbonato . Temp Horno [. ...

Response Table for Signal to Noise Ratios
Larger is better

	% Carbonato [150-180]	Temp Horno [10-18]°C	% Carb*Temp Horno [4,03-5,1]	% rV2/3	% Carb*rV2/3
Level					
1	14,45	14,04	14,47	14,74	14,08
2	14,47	14,89	14,45	14,18	14,85
Delta	0,02	0,85	0,02	0,56	0,78
Rank	6	2	7	4	3

Level	Temp Horno*rV2/3	% Carb*Temp Horno*rV2/3
1	14,60	13,86
2	14,33	15,07
Delta	0,27	1,20
Rank	5	1

Response Table for Means

	% Carbonato [10-18]	Temp Horno [150-180]°C	% Carb*Temp Horno [4,03-5,1]	% rV2/3	% Carb*rV2/3
Level					
1	5,319	5,100	5,331	5,500	5,119
2	5,344	5,563	5,331	5,163	5,544
Delta	0,025	0,462	0,000	0,337	0,425
Rank	6	2	7	4	3

Level	TempHorno*rV2/3	% Carb*Temp Horno*rV2/3
1	5,413	4,981
2	5,250	5,681
Delta	0,162	0,700
Rank	5	1

Anexo 4.1.3 Resultados del diseño experimental L_8 , característica elongación.

Taguchi Design

Taguchi Orthogonal Array Design

$L_8(2^{**7})$

Factors: 7
Runs: 8

Columns of $L_8(2^{**7})$ Array

1 2 3 4 5 6 7

Taguchi Analysis: R1. R2. ... versus % Carbonato . Temp Horno [. ...

Response Table for Signal to Noise Ratios
Larger is better

Carbonato	% [150-180]	Temp Horno °C	% Carb*Temp	Horno [4,03-5,1] rV2/3	% Carb*rV2/3
Level	[10-18]%	°C			
1	28,22	28,02	27,89	28,28	28,14
2	28,14	28,34	28,47	28,08	28,22
Delta	0,09	0,31	0,57	0,20	0,07
Rank	6	3	1	5	7

Level	Temp Horno*rV2/3	% Carb*Temp Horno*rV2/3
1	28,01	28,34
2	28,35	28,02
Delta	0,34	0,31
Rank	2	4

Response Table for Means

Carbonato	% Horno [150-180]	Temp Carb*Temp °C	Horno [4,03-5,1] rV2/3	% Carb*rV2/3
Level	[10-18]%	°C		
1	25,93	25,23	24,88	26,01
2	25,58	26,28	26,63	25,49
Delta	0,36	1,06	1,76	0,52
Rank	6	2	1	5

Level	TempHorno*rV2/3	% Carb*Temp Horno*rV2/3
1	25,28	26,22
2	26,23	25,29
Delta	0,94	0,93
Rank	3	4

ANEXO 4.2 ANÁLISIS ANOVA ANTES DE LA OPTIMIZACIÓN

Anexo 4.2.1 ANOVA título del hilo de polipropileno.

Estimated Effects and Coefficients for Titulodel Hilo (coded units)

Term	Effect	Coef	SECoef	T	P
Constant		762,16	5,999	127,04	0,000
% Carbonato	-32,31	-16,16	5,999	-2,69	0,013
Temperatura del Horno	10,94	5,47	5,999	0,91	0,371
rv2/3	20,81	10,41	5,999	1,73	0,096
% Carbonato*Temperatura del Horno	-10,19	-5,09	5,999	-0,85	0,404
% Carbonato*rv2/3	-8,81	-4,41	5,999	-0,73	0,470
Temperatura del Horno*rv2/3	-26,06	-13,03	5,999	-2,17	0,040
% Carbonato*Temperatura del Horno*rv2/3	-25,19	-12,59	5,999	-2,10	0,047

S = 33,9376 R-Sq = 47,23% R-Sq(adj) = 31,83%

Analysis of Variance for Titulodel Hilo (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	3	12775	12775	4258	3,70	0,026
2-Way Interactions	3	6886	6886	2295	1,99	0,142
3-Way Interactions	1	5075	5075	5075	4,41	0,047
Residual Error	24	27642	27642	1152		
Pure Error	24	27642	27642	1152		
Total	31	52378				

UnusualObservationsfor Titulo del Hilo

Titulo						
del						
ObsStdOrder	Hilo	Fit	SE Fit	Residual	St Resid	
9	9	650,000	714,000	16,969	-64,000	-2,18R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Least Squares Means for Titulodel Hilo

Mean	SE Mean
% Carbonato	
-1	778,3
1	746,0
Temperatura del Horno	
-1	756,7
1	767,6
rv2/3	
-1	751,8
1	772,6
% Carbonato*Temperatura del Horno	
-1 -1	767,8
1 -1	745,6
-1 1	788,9
1 1	746,4
% Carbonato*rv2/3	
-1 -1	763,5
1 -1	740,0
-1 1	793,1
1 1	752,0
Temperatura del Horno*rv2/3	
-1 -1	733,3
1 -1	770,3
-1 1	780,1
1 1	765,0
% Carbonato*Temperatura del Horno*rv2/3	
-1 -1 -1	752,5
1 -1 -1	714,0
-1 1 -1	774,5
1 1 -1	766,0
-1 -1 1	783,0
1 -1 1	777,3
-1 1 1	803,3
1 1 1	726,8

Anexo 4.2.2 ANOVA, tenacidad.

Estimated Effects and Coefficients for Tenacidad (coded units)

Term	Effect	Coef	SECoef	T	P
Constant		4,9375	0,06870	71,87	0,000
% Carbonato	0,0500	0,0250	0,06870	0,36	0,719
Temperatura del Horno	0,0125	0,0062	0,06870	0,09	0,928
rv2/3	-0,3375	-0,1688	0,06870	-2,46	0,022
% Carbonato*Temperatura del Horno	0,1125	0,0563	0,06870	0,82	0,421
% Carbonato*rv2/3	-0,0375	-0,0187	0,06870	-0,27	0,787
Temperatura del Horno*rv2/3	0,2500	0,1250	0,06870	1,82	0,081
% Carbonato*Temperatura del Horno*rv2/3	0,0250	0,0125	0,06870	0,18	0,857

S = 0,388641 R-Sq = 29,95% R-Sq(adj) = 9,52%

Analysis of Variance for Tenacidad (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	3	0,93250	0,93250	0,310833	2,06	0,133
2-Way Interactions	3	0,61250	0,61250	0,204167	1,35	0,281
3-Way Interactions	1	0,00500	0,00500	0,005000	0,03	0,857
Residual Error	24	3,62500	3,62500	0,151042		
Pure Error	24	3,62500	3,62500	0,151042		
Total	31	5,17500				

Unusual Observations for Tenacidad

Obs	StdOrder	Tenacidad	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
24	24	4,20000	4,90000	0,19432	-0,70000	-2,08R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Least Squares Means for Tenacidad

Mean	SE Mean
% Carbonato	
-1	4,913 0,09716
1	4,963 0,09716
Temperatura del Horno	
-1	4,931 0,09716
1	4,944 0,09716
rv2/3	
-1	5,106 0,09716
1	4,769 0,09716
% Carbonato*Temperatura del Horno	
-1 -1	4,963 0,13741
1 -1	4,900 0,13741
-1 1	4,863 0,13741
1 1	5,025 0,13741
% Carbonato*rv2/3	
-1 -1	5,063 0,13741
1 -1	5,150 0,13741
-1 1	4,763 0,13741
1 1	4,775 0,13741
Temperatura del Horno*rv2/3	
-1 -1	5,225 0,13741
1 -1	4,988 0,13741
-1 1	4,638 0,13741
1 1	4,900 0,13741
% Carbonato*Temperatura del Horno*rv2/3	
-1 -1 -1	5,225 0,19432
1 -1 -1	5,225 0,19432
-1 1 -1	4,900 0,19432
1 1 -1	5,075 0,19432
-1 -1 1	4,700 0,19432
1 -1 1	4,575 0,19432
-1 1 1	4,825 0,19432
1 1 1	4,975 0,19432

Anexo 4.2.3 ANOVA, elongación.

Estimated Effects and Coefficients for Elongación (coded units)

Term	Effect	Coef	SECoef	T	P
Constant		24,2000	0,2097	115,42	0,000
% Carbonato	-0,9000	-0,4500	0,2097	-2,15	0,042
Temperatura del Horno	-1,0250	-0,5125	0,2097	-2,44	0,022
rv2/3	-1,3875	-0,6938	0,2097	-3,31	0,003
% Carbonato*Temperatura del Horno	0,4500	0,2250	0,2097	1,07	0,294
% Carbonato*rv2/3	1,1625	0,5813	0,2097	2,77	0,011
Temperatura del Horno*rv2/3	-0,3375	-0,1688	0,2097	-0,80	0,429
% Carbonato*Temperatura del Horno*rv2/3	0,2375	0,1188	0,2097	0,57	0,576

S = 1,18603 R-Sq = 56,63% R-Sq(adj) = 43,98%

Analysis of Variance for Elongación (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	3	30,2863	30,2863	10,0954	7,18	0,001
2-Way Interactions	3	13,3425	13,3425	4,4475	3,16	0,043
3-Way Interactions	1	0,4513	0,4513	0,4513	0,32	0,576
Residual Error	24	33,7600	33,7600	1,4067		
Pure Error	24	33,7600	33,7600	1,4067		
Total	31	77,8400				

Unusual Observations for Elongación

Obs	StdOrder	Elongación	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
31	31	26,5000	24,4000	0,5930	2,1000	2,04R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Least Squares Means for Elongación

Mean	SE Mean
% Carbonato	
-1	24,65 0,2965
1	23,75 0,2965
Temperatura del Horno	
-1	24,71 0,2965
1	23,69 0,2965
rv2/3	
-1	24,89 0,2965
1	23,51 0,2965
% Carbonato*Temperatura del Horno	
-1 -1	25,39 0,4193
1 -1	24,04 0,4193
-1 1	23,91 0,4193
1 1	23,46 0,4193
% Carbonato*rv2/3	
-1 -1	25,93 0,4193
1 -1	23,86 0,4193
-1 1	23,38 0,4193
1 1	23,64 0,4193
Temperatura del Horno*rv2/3	
-1 -1	25,24 0,4193
1 -1	24,55 0,4193
-1 1	24,19 0,4193
1 1	22,83 0,4193
% Carbonato*Temperatura del Horno*rv2/3	
-1 -1 -1	26,38 0,5930
1 -1 -1	24,10 0,5930
-1 1 -1	25,48 0,5930
1 1 -1	23,63 0,5930
-1 -1 1	24,40 0,5930
1 -1 1	23,98 0,5930
-1 1 1	22,35 0,5930
1 1 1	23,30 0,5930