



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

## **FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

### **“DISEÑO EXPERIMENTAL FACTORIAL PARA DETERMINAR LAS CONDICIONES ÓPTIMAS DE OPERACIÓN EN EL PROCESO PRODUCTIVO DE LAS INYECTORAS (WT02, WT05) EN LA PLANTA DE PLÁSTICO INDUSTRIAL S.A.”**

**REA TIXILEMA MERY ELIZABETH  
SÁNCHEZ ACEVEDO JOSÉ ANTONIO**

## **TRABAJO DE TITULACIÓN**

**TIPO: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**Previa a la obtención del Título de:**

## **INGENIERO INDUSTRIAL**

**Riobamba–Ecuador  
2018**

**ESPOCH**

Facultad de Mecánica

---

**APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

---

**Fecha de entrega**

**2017-05-24**

Yo recomiendo que el trabajo de titulación preparado por:

**SÁNCHEZ ACEVEDO JOSÉ ANTONIO**

Titulado:

**“DISEÑO EXPERIMENTAL FACTORIAL PARA DETERMINAR LAS  
CONDICIONES ÓPTIMAS DE OPERACIÓN EN EL PROCESO  
PRODUCTIVO DE LAS INYECTORAS (WT02, WT05) EN LA PLANTA DE  
PLÁSTICO INDUSTRIAL S.A.”**

Sea aceptada como total complementación de los requerimientos para el Título de:

**INGENIERO INDUSTRIAL**

---

**Ing. Carlos José Santillán Mariño  
DECANO FAC. DE MECÁNICA**

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

**Ing. Jaime Iván Acosta Velarde  
DIRECTOR TRABAJO DE TITULACIÓN**

---

**Ing. Sayuri Monserrath Bonilla Novillo  
ASESOR TRABAJO DE TITULACIÓN**

**ESPOCH**

Facultad de Mecánica

---

**APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

---

**Fecha de entrega**

**2017-05-24**

Yo recomiendo que el trabajo de titulación preparado por:

**REA TIXILEMA MERY ELIZABETH**

Titulado:

**“DISEÑO EXPERIMENTAL FACTORIAL PARA DETERMINAR LAS  
CONDICIONES ÓPTIMAS DE OPERACIÓN EN EL PROCESO  
PRODUCTIVO DE LAS INYECTORAS (WT02, WT05) EN LA PLANTA DE  
PLÁSTICO INDUSTRIAL S.A.”**

Sea aceptada como total complementación de los requerimientos para el Título de:

**INGENIERO INDUSTRIAL**

---

**Ing. Carlos José Santillán Mariño  
DECANO FAC. DE MECÁNICA**

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

**Ing. Jaime Iván Acosta Velarde  
DIRECTOR TRABAJO DE TITULACIÓN**

---

**Ing. Sayuri Monserrath Bonilla Novillo  
ASESOR TRABAJO DE TITULACIÓN**

# ESPOCH

Facultad de Mecánica

---

## EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

---

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** SÁNCHEZ ACEVEDO JOSÉ ANTONIO

**TÍTULO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN:** “DISEÑO EXPERIMENTAL FACTORIAL PARA DETERMINAR LAS CONDICIONES ÓPTIMAS DE OPERACIÓN EN EL PROCESO PRODUCTIVO DE LAS INYECTORAS (WT02, WT05) EN LA PLANTA DE PLÁSTICO INDUSTRIAL S.A.”

**Fecha de Examinación:** 22 de enero de 2018

**RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:**

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Ángel Rigoberto Guamán Mendoza <b>PRESIDENTE TRIB. DEFENSA</b>			
Ing. Jaime Iván Acosta Velarde <b>DIRECTOR</b>			
Ing. Sayuri Monserrath Bonilla Novillo <b>ASESOR</b>			

\* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

**RECOMENDACIONES:**

---

---

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

---

Ing. Ángel Rigoberto Guamán Mendoza  
**PRESIDENTE TRIB. DEFENSA**

# ESPOCH

Facultad de Mecánica

---

## EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

---

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** REA TIXILEMA MERY ELIZABETH

**TÍTULO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN:** “DISEÑO EXPERIMENTAL FACTORIAL PARA DETERMINAR LAS CONDICIONES ÓPTIMAS DE OPERACIÓN EN EL PROCESO PRODUCTIVO DE LAS INYECTORAS (WT02, WT05) EN LA PLANTA DE PLÁSTICO INDUSTRIAL S.A.”

**Fecha de Examinación:** 22 de enero de 2018

**RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:**

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Ángel Rigoberto Guamán Mendoza <b>PRESIDENTE TRIB. DEFENSA</b>			
Ing. Jaime Iván Acosta Velarde <b>DIRECTOR</b>			
Ing. Sayuri Monserrath Bonilla Novillo <b>ASESOR</b>			

\* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

**RECOMENDACIONES:**

---

---

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

---

Ing. Ángel Rigoberto Guamán Mendoza  
**PRESIDENTE TRIB. DEFENSA**

## **RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA**

Nosotros, JOSÉ ANTONIO SÁNCHEZ ACEVEDO y MERY ELIZABETH REA TIXILEMA, egresados de la Carrera de INGENIERÍA INDUSTRIAL de la facultad de Mecánica de la ESPOCH, autores del proyecto de titulación denominado **“DISEÑO EXPERIMENTAL FACTORIAL PARA DETERMINAR LAS CONDICIONES ÓPTIMAS DE OPERACIÓN EN EL PROCESO PRODUCTIVO DE LAS INYECTORAS (WT02, WT05) EN LA PLANTA DE PLÁSTICO INDUSTRIAL S.A.”** nos responsabilizamos en su totalidad del contenido en su parte intelectual y técnica y que me someto a cualquier disposición en caso de no cumplir con este precepto.

---

José Antonio Sánchez Acevedo

---

Mery Elizabeth Rea Tixilema

## **DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD**

Nosotros, JOSÉ ANTONIO SÁNCHEZ ACEVEDO y MERY ELIZABETH REA TIXILEMA, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autores, asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

---

**José Antonio Sánchez Acevedo**  
Cédula de identidad: 180479464-0

---

**Mery Elizabeth Rea Tixilema**  
Cédula de identidad: 020251300-8

## **DEDICATORIA**

Dedico el presente trabajo de titulación principalmente a Dios por brindarme la oportunidad de vivir cada día y cuidarme, a mi Sobrina Daylen Quintanilla por ser mi fuerza, fortaleza e inspiración, a mi Padre Byron Sánchez por brindarme todo su amor, cariño y consejos cuando podía compartirlos conmigo, a mi Cuñado, Hermana y Prima por ser un ejemplo a seguir, todo sus consejos y apoyo incondicional para conseguir este logro Jessica, Álvaro y Edith, a mi Madre Hilda Acevedo por cumplir su rol de madre y darme la vida, a mi hermano Daniel por apoyarme en los momentos que lo necesite, representando a todos mis hermanos, mi Hermano Mauricio Escobar por su amistad incondicional y todo el apoyo brindado durante todos estos años, a Karen por darme todo su cariño, sacarme una sonrisa siempre y brindarme su apoyo incondicional.

Dedico a todos ustedes este triunfo, gracias familia y amigos por brindarme todo su apoyo solo dios podrá pagarles por todo.

***José Antonio Sánchez Acevedo***

Dedico este proyecto de tesis a Dios y a mis padres. A Dios porque ha estado conmigo en cada paso que doy, cuidándome, fortaleciéndome y formándome como persona, venciendo cualquier obstáculo que se presenta en la vida, a mis padres especialmente a mi madre Delia Tixilema quién ha sido mi mayor inspiración en todo momento y quien con sus consejos y tiempo dedicado me ha formado como una mujer de bien en toda mi vida y que con su esfuerzo ha permitido alcanzar el objetivo propuesto, depositando su entera confianza en cada reto que se me presentaba sin dudar ni un solo momento en mi inteligencia y capacidad, es por ella que soy lo que soy le amo con mi vida. También a mi padre que a pesar de las circunstancias me motivo a superarme, a mis hermanos Alex, Byron por ser mi compañía, mi apoyo y mi fuerza para seguir adelante, y especialmente a Isabel quien es mi motivación para seguir superándome a diario y darle un mejor porvenir.

***Mery Elizabeth Rea Tixilema***



## **AGRADECIMIENTOS**

Agradeciendo principalmente a Dios por permitirme culminar una meta más de vida, a mis padres por brindarme todo su apoyo incondicional, a mi familia y amigos/as, por su confianza y cariño.

Además a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, de manera especial a la Escuela de Ingeniería Industrial, a nuestros docentes y demás colaboradores, en especial a mi Director y Asesor del trabajo de titulación, quienes nos brindaron sus conocimientos y nos guiaron en el desarrollo de este trabajo.

Gracias a todos quienes de una u otra manera, me supieron apoyar para culminar con éxitos esta etapa de mi vida.

***José Antonio Sánchez Acevedo***

En primer lugar agradezco a DIOS por haberme guiado durante toda mi vida personal y estudiantil, siempre mostrándome con su gran poder que cada meta propuesta se puede realizar con esfuerzo y dedicación. A mis padres, especialmente a mi madre quién con su humilde y sencilla actitud ha llevado a desarrollarme de forma grata como persona con cada uno de los valores que nunca debe faltar en la familia.

Agradezco a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por haberme permitido formar parte de esta gran institución y que a través de sus docentes adquirir conocimientos que han sido un eje importante para mi formación profesional. Agradezco a mi director de tesis Ing. Iván Acosta y Asesora de tesis Sayuri Bonilla quienes con su valioso tiempo brindado asesoramiento a lo largo de la elaboración de la Tesis se ha logrado exitosamente la culminación de la misma. Gracias a todos mis amigos/as quiénes han estado junto a mí en los momentos difíciles.

***Mery Elizabeth Rea Tixilema***

## CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN .....	20
ABSTRACT.....	21
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I: .....	2
1.1. Antecedentes .....	2
1.2. Planteamiento del problema .....	3
1.3. Justificación.....	4
1.3.1. <i>Justificación teórica.</i> .....	4
1.3.2. <i>Justificación metodológica</i> .....	4
1.3.3. <i>Justificación práctica</i> .....	4
1.4. Objetivos .....	5
1.4.1. <i>General</i> .....	5
1.4.2. <i>Específicos</i> .....	5
1.5. Operacionalización Metodológica .....	5
1.5.1. <i>Tipo de investigación.</i> .....	5
CAPÍTULO II.....	9
2. MARCO TEÓRICO.....	9
CAPÍTULO III.....	21
3. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL .....	21
3.1. Generalidades de la empresa .....	21
3.1.1. <i>Reseña Histórica</i> .....	21
3.1.2. <i>Ubicación de la Planta</i> .....	21
3.1.3. <i>Misión</i> .....	22
3.1.4. <i>Visión</i> .....	22
3.1.5. <i>Estructura Jurídica</i> .....	23
3.1.6. <i>Organigrama Organizacional de la planta Plástico</i> .....	23
3.2. Descripción del Personal de la Empresa .....	24
3.3. Descripción del proceso productivo .....	25
3.3.1. <i>Descripción grafica del proceso</i> .....	25
3.3.2. <i>Cierre del molde</i> .....	26

3.3.3.	<i>Inyección.</i>	26
3.3.4.	<i>Plastificación o dosificación.</i>	27
3.3.5.	<i>Apertura del molde y expulsión de la pieza.</i>	28
3.3.6.	<i>Enfriamiento.</i>	28
3.4.	Identificación de los factores de estudio	29
3.4.1.	<i>Análisis de capacidad de la producción</i>	30
3.4.2.	<i>Análisis de capacidad de las temperaturas.</i>	32
3.4.3.	<i>Diseño experimental de la máquina WT-02.</i>	49
3.4.4.	<i>Diseño experimental de la máquina WT-05.</i>	72
3.4.5.	<i>Diseño Experimental de las tallas (estaciones) máquina WT-02</i>	86
3.4.6.	<i>Diseño Experimental de las tallas (estaciones) máquina WT-05</i>	126
CAPÍTULO IV		143
4.	PROPUESTA	143
4.1.	Análisis y Resultados.	143
4.1.1.	<i>Análisis de las condiciones óptimas primera toma.</i>	143
4.1.2.	<i>Análisis de las condiciones óptimas segunda toma</i>	145
4.1.3.	<i>Análisis de capacidad de la producción después del diseño experimental ...</i>	150
4.1.4.	<i>Análisis de la producción antes vs después del diseño experimental</i>	152
CAPÍTULO V		155
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	155
5.1.	Conclusiones	155
5.2.	Recomendaciones	156
BIBLIOGRAFÍA		157

## ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.

<b>Figura 1-2:</b> Límites superior e inferior de la curva.....	16
<b>Figura 2-2:</b> Límite inferior de la curva .....	17
<b>Figura 3-2:</b> Límite superior de la curva .....	17
<b>Figura 4-2:</b> Proceso capaz .....	18
<b>Figura 5-2:</b> Proceso no capaz .....	19
<b>Figura 1-3:</b> Organigrama Organizacional.....	23
<b>Figura 2-3:</b> Descripción del proceso de inyección .....	25
<b>Figura 3-3:</b> Análisis de capacidad de la máquina WT02.....	30
<b>Figura 4-3:</b> Análisis de capacidad de la máquina WT05.....	31
<b>Figura 5-3:</b> Análisis de capacidad de la ZONA 1 del inyector 1 de la máquina WT02	32
<b>Figura 6-3:</b> Análisis de capacidad de la ZONA 2 del inyector 1 de la máquina WT02	33
<b>Figura 7-3:</b> Análisis de capacidad de la ZONA 3 del inyector 1 de la máquina WT02	34
<b>Figura 8-3:</b> Análisis de capacidad de la ZONA 4 del inyector 1 de la máquina WT02	35
<b>Figura 9-3:</b> Análisis de capacidad de la ZONA 1 del inyector 2 de la máquina WT02	36
<b>Figura 10-3:</b> Análisis de capacidad de la ZONA 2 del inyector 2 de la máquina WT02 .....	37
<b>Figura 11-3:</b> Análisis de capacidad de la ZONA 3 del inyector 2 de la máquina WT02 .....	38
<b>Figura 12-3:</b> Análisis de capacidad de la ZONA 4 del inyector 2 de la máquina WT02 .....	39
<b>Figura 13-3:</b> Análisis de capacidad de la ZONA 1 del inyector 1 de la máquina WT05 .....	40
<b>Figura 14-3:</b> Análisis de capacidad de la ZONA 2 del inyector 1 de la máquina WT05 .....	41
<b>Figura 15-3:</b> Análisis de capacidad de la ZONA 3 del inyector 1 de la máquina WT05 .....	42
<b>Figura 16-3:</b> Análisis de capacidad de la ZONA 4 del inyector 1 de la máquina WT05 .....	43
<b>Figura 17-3:</b> Análisis de capacidad de la ZONA 1 del inyector 2 de la máquina WT05 .....	44
<b>Figura 18-3:</b> Análisis de capacidad de la ZONA 2 del inyector 2 de la máquina WT05 .....	45
<b>Figura 19-3:</b> Análisis de capacidad de la ZONA 3 del inyector 2 de la máquina WT05 .....	46
<b>Figura 20-3:</b> Análisis de capacidad de la ZONA 4 del inyector 2 de la máquina WT05 .....	47
<b>Figura 21-3:</b> Gráfica del supuesto de Normalidad .....	51
<b>Figura 22-3:</b> Gráfica del supuesto de independencia residuos vs orden .....	51
<b>Figura 23-3:</b> Gráfica del supuesto de homogeneidad de varianza residuos vs ajustes ..	52
<b>Figura 24-3:</b> Gráfica de efectos principales.....	52
<b>Figura 25-3:</b> Gráfica de interacción zona 1 vs contrapresión.....	53
<b>Figura 26-3:</b> Gráfica de interacción zona 1 vs velocidad del tornillo .....	54
<b>Figura 27-3:</b> Gráfica de interacción zona 1 vs tiempo de ciclo .....	55
<b>Figura 28-3:</b> Diagrama de Pareto .....	57

<b>Figura 29-3:</b> Gráfica del supuesto de normalidad .....	58
<b>Figura 30-3:</b> Gráfica del supuesto de homogeneidad de varianza residuos vs ajustes ..	59
<b>Figura 31-3:</b> Gráfica del supuesto de independencia residuos vs orden .....	59
<b>Figura 32-3:</b> Gráfica de efectos principales.....	60
<b>Figura 33-3:</b> Gráfica de interacción medias ajustadas.....	61
<b>Figura 34-3:</b> Gráfica de intervalos contrapresión vs tiempo de ciclo.....	62
<b>Figura 35-3:</b> Gráfica de intervalos velocidad del tornillo vs tiempo de ciclo .....	63
<b>Figura 36-3:</b> Diagrama de Pareto .....	66
<b>Figura 37-3:</b> Gráfica de supuesto de normalidad .....	67
<b>Figura 38-3:</b> Gráfica de supuesto de homogeneidad de varianza residuos vs ajustes ...	67
<b>Figura 39-3:</b> Gráfica de supuesto de independencia residuos vs orden.....	68
<b>Figura 40-3:</b> Gráfica de efectos principales medias ajustadas.....	69
<b>Figura 41-3:</b> Gráfica de interacción medias ajustadas.....	69
<b>Figura 42-3:</b> Gráfica de intervalos contrapresión vs tiempo de ciclo.....	70
<b>Figura 43-3:</b> Gráfica de intervalos tiempo de ciclo vs velocidad del tornillo .....	71
<b>Figura 44-3:</b> Gráfica de supuesto normalidad .....	74
<b>Figura 45-3:</b> Gráfica de supuesto homogeneidad de varianza residuos vs ajustes.....	75
<b>Figura 46-3:</b> Gráfica de supuesto de independencia residuos vs orden.....	75
<b>Figura 47-3:</b> Gráfica de efectos principales medias ajustadas.....	76
<b>Figura 48-3:</b> Gráfica de interacción medias ajustadas.....	77
<b>Figura 49-3:</b> Gráfica de intervalos de la contrapresión .....	77
<b>Figura 50-3:</b> Gráfica de intervalos de la velocidad del tornillo.....	78
<b>Figura 51-3:</b> Gráfica de supuesto de normalidad .....	81
<b>Figura 52-3:</b> Gráfica de supuesto de homogeneidad de varianza residuos vs ajustes ...	82
<b>Figura 53-3:</b> Gráfica de supuesto de independencia residuos vs orden.....	83
<b>Figura 54-3:</b> Gráfica de efectos principales medias ajustadas.....	83
<b>Figura 55-3:</b> Gráfica de interacción medias ajustadas.....	84
<b>Figura 56-3:</b> Gráfica de intervalos de la contrapresión .....	85
<b>Figura 57-3:</b> Gráfica de intervalos de la velocidad del tornillo.....	86
<b>Figura 58-3:</b> Gráfica de supuesto de normalidad .....	89
<b>Figura 59-3:</b> Gráfica de supuesto de homogeneidad de varianza residuos vs ajustes ...	90
<b>Figura 60-3:</b> Gráfica de supuesto de independencia residuos vs orden.....	91
<b>Figura 61-3:</b> Gráfica de efectos principales medias ajustadas.....	91
<b>Figura 62-3:</b> Gráfica de interacción retraso del soplo de aire por presión medias ajustadas.....	92
<b>Figura 63-3:</b> Gráfica de interacción tiempo de apoyo por presión medias ajustadas ....	93
<b>Figura 64-3:</b> Gráfica de interacción velocidad por presión medias ajustadas .....	94
<b>Figura 65-3:</b> Gráfica de supuesto de normalidad .....	96
<b>Figura 66-3:</b> Gráfica de supuesto de homogeneidad de varianza residuos vs ajustes ...	96
<b>Figura 67-3:</b> Gráfica de supuesto de independencia residuos vs orden.....	97
<b>Figura 68-3:</b> Gráfica de efectos principales medias ajustadas.....	97
<b>Figura 69-3:</b> Gráfica de interacción retraso del soplo de aire por tiempo de apoyo medias ajustadas .....	98
<b>Figura 70-3:</b> Gráfica de interacción tiempo de apoyo por presión medias ajustadas ....	99
<b>Figura 71-3:</b> Gráfica de interacción tiempo de apoyo por velocidad medias ajustadas .....	100
<b>Figura 72-3:</b> Gráfica de supuesto de normalidad .....	103
<b>Figura 73-3:</b> Gráfica de supuesto de homogeneidad de varianza residuos vs ajustes .	104
<b>Figura 74-3:</b> Gráfica de supuesto de independencia residuos vs orden.....	105

<b>Figura 75-3:</b> Gráfica de efectos principales medias ajustadas.....	105
<b>Figura 76-3:</b> Gráfica de interacción retraso del soplo de aire por presión medias ajustadas.....	106
<b>Figura 77-3:</b> Gráfica de interacción tiempo de apoyo por presión medias ajustadas ..	107
<b>Figura 78-3:</b> Gráfica de interacción velocidad por presión medias ajustadas .....	108
<b>Figura 79-3:</b> Gráfica de supuesto de normalidad .....	109
<b>Figura 80-3:</b> Gráfica de supuesto de homogeneidad de varianza.....	110
<b>Figura 81-3:</b> Gráfica de supuesto de independencia.....	110
<b>Figura 82-3:</b> Gráfica de efectos principales.....	111
<b>Figura 83-3:</b> Gráfica de interacción retraso del soplo de aire por tiempo de apoyo medias ajustadas .....	111
<b>Figura 84-3:</b> Gráfica de interacción tiempo de apoyo por presión medias ajustadas ..	112
<b>Figura 85-3:</b> Gráfica de interacción tiempo de apoyo por velocidad medias ajustadas .....	113
<b>Figura 86-3:</b> Gráfica de supuesto de normalidad .....	116
<b>Figura 87-3:</b> Gráfica de supuesto de homogeneidad de varianza residuos vs ajustes .	116
<b>Figura 88-3:</b> Gráfica de supuesto de independencia residuos vs orden.....	117
<b>Figura 89-3:</b> Gráfica de efectos principales medias ajustadas.....	117
<b>Figura 90-3:</b> Gráfica de interacción retraso del soplo de aire por presión medias ajustadas.....	118
<b>Figura 91-3:</b> Gráfica de interacción tiempo de apoyo por presión medias ajustadas ..	118
<b>Figura 92-3:</b> Gráfica de interacción velocidad por presión medias ajustadas .....	119
<b>Figura 93-3:</b> Gráfica de supuesto de normalidad .....	122
<b>Figura 94-3:</b> Gráfica de supuesto de homogeneidad de varianza residuos vs ajustes .	122
<b>Figura 95-3:</b> Gráfica de supuesto de independencia residuos vs orden.....	123
<b>Figura 96-3:</b> Gráfica de efectos principales medias ajustadas.....	123
<b>Figura 97-3:</b> Gráfica de interacción retraso del soplo de aire por presión medias ajustadas.....	124
<b>Figura 98-3:</b> Gráfica de interacción tiempo de apoyo por presión medias ajustadas ..	124
<b>Figura 99-3:</b> Gráfica de interacción velocidad por presión medias ajustadas .....	125
<b>Figura 100-3:</b> Gráfica de supuesto normalidad .....	128
<b>Figura 101-3:</b> Gráfica de supuesto homogeneidad de varianza residuos vs ajustes....	128
<b>Figura 102-3:</b> Gráfica de supuesto de independencia residuos vs orden.....	129
<b>Figura 103-3:</b> Gráfica de efectos principales medias ajustadas.....	129
<b>Figura 104-3:</b> Gráfica de interacción medias ajustadas.....	130
<b>Figura 105-3:</b> Gráfica de intervalos de la presión .....	130
<b>Figura 106-3:</b> Gráfica de intervalos de la velocidad. ....	131
<b>Figura 107-3:</b> Gráfica de supuesto normalidad .....	133
<b>Figura 108-3:</b> Gráfica de supuesto homogeneidad de varianza residuos vs ajustes....	134
<b>Figura 109-3:</b> Gráfica de supuesto de independencia residuos vs orden.....	134
<b>Figura 110-3:</b> Gráfica de efectos principales medias ajustadas.....	135
<b>Figura 111-3:</b> Gráfica de interacción medias ajustadas.....	136
<b>Figura 112-3:</b> Gráfica de intervalos de la presión .....	137
<b>Figura 113-3:</b> Gráfica de intervalos de la velocidad .....	137
<b>Figura 114-3:</b> Gráfica de supuesto normalidad .....	140
<b>Figura 115-3:</b> Gráfica de supuesto homogeneidad de varianza residuos vs ajustes....	140
<b>Figura 116-3:</b> Gráfica de supuesto de independencia residuos vs orden.....	141
<b>Figura 117-3:</b> Gráfica de efectos principales medias ajustadas.....	141
<b>Figura 118-3:</b> Gráfica de interacción medias ajustadas.....	142

<b>Figura 1-4.</b> Análisis de capacidad de la máquina WT-02.....	150
<b>Figura 2-4.</b> Análisis de capacidad de la máquina WT-05.....	151

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

Pág.

<b>Gráfica 1-4:</b> Diagrama de defectos del proceso de inyección antes del diseño experimental.....	143
<b>Gráfica 2-4.</b> Diagrama de defectos del proceso de inyección después del diseño experimental.....	144
<b>Gráfica 3-4.</b> Diagrama de defectos en el proceso de inyección de la máquina WT-02 antes del diseño experimental. ....	145
<b>Gráfica 4-4.</b> Diagrama de defectos en el proceso de inyección de la máquina WT-02 después del diseño experimental.....	146
<b>Gráfica 5-4.</b> Diagrama de defectos en el proceso de inyección de la máquina WT-05 antes del diseño experimental. ....	147
<b>Gráfica 6-4.</b> Diagrama de defectos en el proceso de inyección de la máquina WT-05 después del diseño experimental.....	148
<b>Gráfica 7-4.</b> Análisis de producción de la máquina WT-02 antes del diseño experimental.....	152
<b>Gráfica 8-4.</b> Análisis de producción de la máquina WT-02 después del diseño experimental.....	153
<b>Gráfica 9-4.</b> Análisis de producción de la máquina WT-05 antes del diseño experimental.....	153
<b>Gráfica 10-4.</b> Análisis de producción de la máquina WT-05 después del diseño experimental.....	154



## ÍNDICE DE TABLAS

**Pág.**

<b>Tabla 1-3.</b> Descripción del personal .....	24
<b>Tabla 2-3.</b> Cuadro resumen del análisis de capacidad por máquinas, inyectoras y zonas .....	48
<b>Tabla 3-3.</b> Factores y niveles del diseño $2^4$ .....	49
<b>Tabla 4-3.</b> Constantes del diseño $2^4$ .....	49
<b>Tabla 5-3.</b> Diseño experimental factorial $2^4$ .....	49
<b>Tabla 6-3.</b> Análisis de Varianza .....	50
<b>Tabla 7-3.</b> Factores y niveles del diseño $2^3$ .....	56
<b>Tabla 8-3.</b> Constantes del diseño $2^4$ .....	56
<b>Tabla 9-3.</b> Diseño experimental factorial $2^3$ .....	56
<b>Tabla 10-3.</b> Análisis de Varianza .....	56
<b>Tabla 11-3.</b> Factores y niveles del diseño $2^3$ .....	64
<b>Tabla 12-3.</b> Constantes del diseño $2^3$ .....	64
<b>Tabla 13-3.</b> Diseño experimental factorial $2^3$ .....	64
<b>Tabla 14-3.</b> Análisis de Varianza .....	65
<b>Tabla 15-3.</b> Factores y niveles del diseño $3^2$ .....	72
<b>Tabla 16-3.</b> Constantes del diseño $3^2$ .....	72
<b>Tabla 17-3.</b> Diseño experimental factorial $3^2$ .....	73
<b>Tabla 18-3.</b> Información del factor .....	73
<b>Tabla 19-3.</b> Análisis de Varianza .....	73
<b>Tabla 20-3.</b> Factores y niveles del diseño $3^2$ .....	79
<b>Tabla 21-3.</b> Constantes del diseño $3^2$ .....	79
<b>Tabla 22-3.</b> Diseño experimental factorial $3^2$ .....	79
<b>Tabla 23-3.</b> Información del factor .....	80
<b>Tabla 24-3.</b> Análisis de Varianza .....	80
<b>Tabla 25-3.</b> Factores y niveles del diseño $2^4$ .....	87
<b>Tabla 26-3.</b> Constantes del diseño $2^4$ .....	87
<b>Tabla 27-3.</b> Diseño experimental factorial $2^4$ .....	87
<b>Tabla 28-3.</b> Análisis de Varianza porcentaje de defectos .....	88
<b>Tabla 29-3.</b> Análisis de Varianza tiempo de ciclo .....	94
<b>Tabla 30-3.</b> Factores y niveles del diseño $2^4$ .....	100
<b>Tabla 31-3.</b> Constantes del diseño $2^4$ .....	101
<b>Tabla 32-3.</b> Diseño experimental factorial $2^4$ .....	101
<b>Tabla 33-3.</b> Análisis de Varianza porcentaje de defectos .....	101
<b>Tabla 34-3.</b> Análisis de Varianza tiempo de ciclo .....	108
<b>Tabla 35-3.</b> Factores y niveles del diseño $2^4$ .....	113
<b>Tabla 36-3.</b> Constantes del diseño $2^4$ .....	114
<b>Tabla 37-3.</b> Diseño experimental factorial $2^4$ .....	114
<b>Tabla 38-3.</b> Análisis de Varianza porcentaje de defectos .....	114
<b>Tabla 39-3.</b> Factores y niveles del diseño $2^4$ .....	119
<b>Tabla 40-3.</b> Constantes del diseño $2^4$ .....	120
<b>Tabla 41-3.</b> Diseño experimental factorial $2^4$ .....	120
<b>Tabla 42-3.</b> Análisis de Varianza porcentaje de defectos .....	120
<b>Tabla 43-3.</b> Factores y niveles del diseño $3^2$ .....	126

<b>Tabla 44-3.</b> Constantes del diseño $3^2$ .....	126
<b>Tabla 45-3.</b> Diseño experimental factorial $3^2$ .....	127
<b>Tabla 46-3.</b> Información del factor .....	127
<b>Tabla 47-3.</b> Análisis de Varianza.....	127
<b>Tabla 48-3.</b> Factores y niveles del diseño $3^2$ .....	131
<b>Tabla 49-3.</b> Constantes del diseño $3^2$ .....	132
<b>Tabla 50-3.</b> Diseño experimental factorial $3^2$ .....	132
<b>Tabla 51-3.</b> Información del factor .....	132
<b>Tabla 52-3.</b> Análisis de Varianza.....	133
<b>Tabla 53-3.</b> Factores y niveles del diseño $3^2$ .....	138
<b>Tabla 54-3.</b> Constantes del diseño $3^2$ .....	138
<b>Tabla 55-3.</b> Diseño experimental factorial $3^2$ .....	139
<b>Tabla 56-3.</b> Información del factor .....	139
<b>Tabla 57-3.</b> Análisis de Varianza.....	139
<b>Tabla 1-4.</b> Comparación del porcentaje de defectos antes y después del diseño experimental en la máquina WT-02.....	149
<b>Tabla 2-4.</b> Comparación del porcentaje de defectos antes y después del diseño experimental en la máquina WT-05.....	149
<b>Tabla 3-4.</b> Análisis de producción antes y después de los diseños experimentales.....	154

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

**Pág.**

<b>Ilustración 1-3.</b> Ubicación de la Planta .....	22
<b>Ilustración 2-3.</b> Estructura Jurídica .....	23

## RESUMEN

El propósito del presente trabajo de titulación es determinar las condiciones óptimas de operación en las inyectoras WT-05, WT-02 utilizando técnicas estadísticas de tal forma que permita reducir la cantidad de defectos, aumentar el índice de producción y estabilizar el proceso en la elaboración de la bota infantil en la empresa “Plasticaucho Industrial – Planta de Plástico”. La investigación inició con un diagnóstico del proceso de inyección, a través del análisis de capacidad de producción en las máquinas, calculando el índice de capacidad del proceso (CPK), para evaluar la variabilidad y determinar si el proceso cumple con las especificaciones y se encuentra controlado. Los factores que controlan el funcionamiento de la máquina y sus respectivos niveles estás fueron tomadas en base a hojas de control, determinando el tamaño de muestra aplicando el cálculo en función a una probabilidad inicial, se ejecutaron los principios de repetitividad y aleatoriedad para que los resultados sean más confiables, comprobándolos mediante los supuestos de normalidad, independencia, homogeneidad de varianza y la prueba ANOVA mediante el programa MINITAB, con el uso del programa y el ingreso de datos se procedió a la interpretación de las gráficas de interacción, efectos principales y la ecuación de regresión lineal, para la determinación de los niveles idóneos para reducir el problema, estableciendo las condiciones óptimas de operación. Finalmente se implementó el proceso óptimo de producción y se lo evaluó utilizando el índice de capacidad del proceso determinando cuánto mejoro este, obteniendo los siguientes resultados: el porcentaje de defectos disminuyo, el CPK para la WT-05 aumento a 0,72 y para la WT-02 a 0,68 y los costos de reproceso disminuyeron. Mediante los diseños experimentales factoriales se obtuvieron las condiciones óptimas de operación de las máquinas WT-02 y WT-05 disminuyendo la alta variabilidad del proceso y el porcentaje de defectos del producto final y se recomienda realizar un estudio mediante la técnica Poka Yoke para reducir los defectos provocados por el personal de inyección.

**PALABRAS CLAVE:** <DISEÑO EXPERIMENTAL>, <INYECTORAS>, <BOTA INFANTIL>, <ANÁLISIS DE CAPACIDAD>, <ÍNDICE DE CAPACIDAD DEL PROCESO>, <PORCENTAJE DE DEFECTOS>, <GRÁFICAS DE INTERACCIÓN>, <EFECTOS PRINCIPALES>, <ECUACIÓN DE REGRESIÓN LINEAL>.

## ABSTRACT

The purpose of the present titration work is to determine the optimum conditions of operation in WT-05, WT-02 injections using statistical techniques in such a way as to reduce the number of defects, increase the production index and stabilize the process in the elaboration of the children's boot in the company "Plasticaucho Industrial - Plastico Plant". The investigation started with a diagnosis of the injection process, through the analysis of production capacity in the machines, calculated the capacity index of the process (CPK) to evaluate the variability and determine if the process meets the specifications and is controlled. The factors that control the operation of the machine and their respective levels were taken based on control sheets, determining the sample size by applying the calculation based on an initial mobility, the principles of repetitiveness and randomness were executed so that the results are more reliable, verifying them through the assumptions of normality, independence, homogeneity of variance and the ANOVA test through the MINITAB program, with the use of the program and data entry, we proceeded to interpret the interaction graphs, main effects and the regression equation linear, for the determination of the ideal levels to reduce the problem, establishing the optimal conditions of operation. Finally, the optimal production process was implemented and evaluated using the capacity index of the process, determining how much it improved, obtaining the following results, the percentage of defects decreases, in CPK for the WT-05, an increase to 0.72 and for the WT - 02 to 0.86 and rework costs decreased. By means of factorial experimental designs, the optimal operating conditions of the WT-02 and WT-05 machines were obtained, reducing the high variability of the process and the percentage of defects of the final product and it is recommended to carry out a study using the Poka-Yoke technique to reduce the defects caused by injection personnel

**KEY WORDS:** <EXPERIMENTAL DESIGN>, <INJECTORS>, <CHILD BOOTH>, <CAPACITY ANALYSIS>, <PROCESS CAPACITY INDEX>, <PERCENTAGE OF DEFECTS>, <INTERACTION GRAPHICS>, <MAIN EFFECTS>, <EQUATION OF LINEAR REGRESSION>.

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad, las empresas dedicadas a la elaboración de productos de plástico utilizan máquinas inyectoras de PVC cuyas características de funcionabilidad están en función de factores como temperatura, presión, velocidad, tiempo de apoyo, retraso del soplo del aire, etc., durante su funcionamiento estas máquinas han provocado pérdidas económicas, tiempos muertos y problemas en la calidad de sus productos.

En las últimas décadas el uso de los plásticos han incrementado notablemente dentro de la sociedad, el principal factor que ha impulsado su crecimiento es, sin duda, la facilidad y economía de transformación de estos materiales, en especial de los termoplásticos que permite la fabricación de productos con costos relativamente bajos; es por ello que el crecimiento en el uso de los plásticos se ha incrementado. Entre todos los procesos de la transformación destaca el proceso de inyección, que gracias a ciclos rápidos de producción, está permitiendo que los materiales poliméricos estén reemplazando a metales, maderas, vidrios, resolviendo necesidades del avance tecnológico. (García, 2012 pág. 6).

La necesidad de controlar los parámetros de proceso en la inyección del plástico, junto con la innovación sobre las técnicas convencionales ha dado lugar a estudios y trabajos experimentales que investigan la influencia de los parámetros de proceso sobre las propiedades de las piezas y sobre los defectos de las mismas, así como posibles mejoras en el control del proceso. (Juárez, y otros, 2012 pág. 6)

El compromiso del Ingeniero Industrial dentro de la empresa es producir diversos productos con mayor velocidad, a un costo bajo sin perjudicar la calidad del mismo utilizando herramientas-técnicas, dentro de la cual el más utilizado es el diseño experimental.

Todos los procesos utilizados en la elaboración de algún producto pueden ser cambiados o modificados en función de pruebas experimentales beneficiando a las empresas ya que gracias a esto se puede aumentar la productividad de la misma mediante un proceso controlado y estable.

## **CAPÍTULO I:**

### **1.1. Antecedentes**

Los diseños experimentales ayudan a controlar los factores influyentes en el proceso ya que mejoran el estándar de producción de los procesos semiautomáticos mediante el uso de pruebas piloto.

Investigaciones realizadas en el año 2016 demuestran que la aplicación de diseños experimentales ha mejorado la productividad, mediante un estudio de los factores más influyentes en el proceso contribuyendo en beneficio para la inyección de calzado plástico.

La empresa Plasticaucho Industrial en su sección PIA, se encarga de la fabricación de diferentes tipos de calzado tanto como lo es Lona, Calzado Escolar y Plástico, ubicada en el Parque Industrial norte de la ciudad de la ciudad de Ambato

La empresa “PLASTICAUCHO INDUSTRIAL S.A. – Planta de Plástico” pretende mejorar la productividad a través de la aplicación de herramientas estadísticas para reducir problemas importantes como lo es la variabilidad ya que ésta genera tiempos improductivos así como unidades defectuosas y reproceso no deseado el cual genera un costo elevado de producción.

En la Planta de Plástico, las máquinas son semiautomáticas lo que provoca una variabilidad en el proceso de inyección al no ingresar datos estandarizados en el panel de control.

Actualmente en la planta se utilizan factores no controlados a excepción de las temperaturas de las zonas del inyector que fueron analizadas con anterioridad y que los demás factores son: contrapresión, velocidad del tornillo, presión, velocidad, tiempo de apoyo, retraso del soplo del aire, cada turno o grupo de trabajo ingresan diferentes datos a la máquina provocando que las inyectoras de plástico no alcancen su objetivo de producción diaria de 24 horas, en especial la bota sin media que tiene problemas por la generación de defectos, al reducir el tiempo ciclo de la máquina.

El proceso al no encontrarse controlado, el producto no cumple con las especificaciones requeridas permitiendo que la misma sea desechada para un nuevo reproceso el cuál causa pérdidas económicas para la empresa y clientes insatisfechos que son un eje importante en la imagen y desarrollo de la empresa.

## **1.2. Planteamiento del problema**

La variabilidad de los factores como temperatura, velocidad del tornillo, contra presión, tiempo de ciclo, presión, velocidad, tiempo de apoyo, retraso del soplo del aire, provoca que la calidad del proceso en la elaboración de la bota infantil de colores no sea la adecuada, por ende presenta un alto porcentaje de defectos en el producto terminado, desperdicios, producto rechazado, tiempos muertos, retraso en la entrega del producto, dando como consecuencia altos costos de producción debido que el producto rechazado debe ser reprocesado ocupando recursos como energía y mano de obra, clientes insatisfechos y el no alcanzar la meta de producción de las máquinas el cual es como mínimo del 94% para cada máquina.

Los datos históricos de producción entregados por el departamento de producción reportan que estadísticamente el índice de capacidad de la máquina WT-02 se encuentra en -0,40 y para la máquina WT-05 en -0,14 lo cual indica que el proceso es altamente variable, el factor más influyente es el tiempo de ciclo ya que al momento de reducirlo en la bota sin media el porcentaje de defectos incrementa, los defectos más importantes que se presentan según su magnitud en la caña son: inyección incompleta, burbujas, rechupes, diferente tonalidad, PVC quemado y en la suela son: invasión interna, rechupes, tacón inflado, inyección incompleta.

Por tal motivo es importante realizar una investigación aplicando el diseño experimental factorial para controlar los factores influyentes en el proceso, debido a que si no se realiza alguna investigación o mejora la cantidad de defectos aumentarían, y la capacidad de producción seguiría siendo negativa para la empresa.



### **1.3. Justificación**

#### *1.3.1. Justificación teórica.*

A través de la presente investigación se pretende generar conocimientos científicos sobre la aplicación del Diseño Experimental Factorial en procesos productivos de inyección, que es un modelo que facilita la obtención de resultados exitosos a través del estudio de factores influyentes con sus respectivos niveles y que la metodología pueda ser referente para otras líneas de producción o para otros procesos productivos estableciendo etapas o procedimientos de mejora continua, debido a que los diseños experimentales son más objetivos, se los realizan en un menor tiempo, las decisiones son mucho más eficientes y por lo tanto dan un agregado de valor al proceso de calidad

#### *1.3.2. Justificación metodológica*

Las pruebas experimentales o diseños experimentales factoriales permiten obtener información en el menor tiempo posible, las bases estadísticas empleadas en el proceso de investigación son mucho más concretas y objetivas, con la realización de la técnica ANOVA o análisis de varianza cuyo propósito es establecer el comportamiento de la variabilidad entre los tratamientos con mayor facilidad, lo cual es un indicio que se requiere mejora, analizando los factores más influyentes para disminuir el porcentaje de defectos ocurridos en el área de inyección y a su vez obteniendo un sistema controlado.

#### *1.3.3. Justificación práctica*

A través del estudio se determinaron las condiciones de operación óptimas de las máquinas donde ellas podrán cumplir con un tiempo de ciclo especificado sin que exista una disminución de producción, al reducir la variabilidad del proceso de inyección se obtuvo una mejora en la reducción del porcentaje de defectos, los costos de producción, acelerando la velocidad de entrega del producto al cliente, reduciendo los desperdicios y por ende se incrementa el presupuesto de la planta.

## **1.4. Objetivos**

### *1.4.1. General*

Aplicar diseños experimentales factoriales para la optimización de las condiciones de operación de las máquinas inyectoras (WT02, WT05) en la Planta de Plástico de la empresa Plasticaucho Industrial S.A.

### *1.4.2. Específicos*

- Determinar la capacidad actual del proceso de inyección a través del análisis de capacidad.
- Determinar los factores influyentes del proceso mediante una investigación documental.
- Plantear el proceso de experimentación a través del muestreo.
- Ejecutar los diseños factoriales experimentales a través de pruebas experimentales en las máquinas de inyección, en base al uso de Minitab.
- Evaluar e interpretar los resultados obtenidos a través de las gráficas de interacción, del coeficiente de regresión lineal y de la técnica ANOVA, en las inyectoras de la planta de Plástico en la empresa Plasticaucho Industrial S.A.
- Determinar y proponer las condiciones óptimas de operación en base a la variabilidad y al porcentaje de defectos en el proceso de inyección en la empresa Plasticaucho Industrial S.A.

## **1.5. Operacionalización Metodológica**

### *1.5.1. Tipo de investigación.*

Con los resultados obtenidos en el trabajo se aplicó un tipo de investigación experimental porque evalúa y examina los distintos efectos que presentan las variables dependientes a través de una independiente, obteniendo una variación de las mismas en situaciones que solo el investigador puede controlarlo.

Se aplicó la investigación explicativa porque busca relacionar las causas y efectos que contiene el sistema de producción, que permitió determinar la causa raíz de la problemática y a través de pruebas experimentales los factores que generan variabilidad con sus respectivos niveles creando nuevas condiciones de operación.

Es investigación de campo porque la investigación debe dirigirse al área de inyección donde se recolecta información necesaria para el análisis de los mismos.

El método estadístico aplicado es analítico deductivo porque parte de datos generales aceptados como valederos deduciendo por medio del razonamiento varias suposiciones y comprobando su validez.

Se aplicó técnicas de muestreo aleatorio simple porque cada miembro de la población tiene la misma probabilidad de ser seleccionado como sujeto. Todo el proceso de toma de muestras se realiza en un paso, en donde cada sujeto es seleccionado independientemente de los otros miembros de la población. (Explorable.com, 2009)

En este caso los factores significativos en la variable respuesta es el porcentaje de defectos. Por ello se ha tomado hojas de control de cada máquina para elegir los valores que permitan el desarrollo del diseño ya mencionado. La recolección de datos se efectuó en base a observación, pruebas experimentales creadas en el programa MINITAB.

**La investigación comprende de las siguientes fases:**

Determinar la capacidad del proceso utilizando como indicador principal el índice de capacidad del proceso (CPK), según: (GLADYS, 2008) “El índice de capacidad del proceso es utilizado para saber si el proceso se ajusta a las tolerancias de fabricación, donde se considera que el proceso está dentro de las especificaciones si el índice  $C_{pk} \geq 1$ , es decir se comprueba que la distribución está centrada en relación con los límites de las especificaciones”.

Determinar los factores influyentes del proceso, nos basamos en las hojas de control de las inyectoras y de la experiencia de los operadores para la determinación de los niveles apropiados para el desarrollo del estudio.

Determinar el tamaño de muestra para la toma de datos en el proceso de experimentación ya que estos datos obtenidos deben ser representativos de la población, Según (Gutiérrez, y otros, 2014)

menciona que para la aplicación del tamaño de muestra en lo que se refiere a diseños experimentales es el tamaño de muestra en función a una probabilidad inicial cuya fórmula es:

$$n = 2,5^2 \left( \frac{1-P_0}{P_0} \right)$$

Donde:

n = Tamaño de muestra

P<sub>0</sub> = Probabilidad inicial

Mediante el uso de MINITAB se determinaron las corridas experimentales en base a los factores y niveles de estudio anteriormente encontradas, con estos datos se procedió a la ejecución de los diseños experimentales factoriales para encontrar la variable respuesta que en nuestro caso es el porcentaje de defectos para cada combinación, una vez realizadas todas las combinaciones se procedió a ingresar los datos en el programa MINITAB y a analizarlos mediante el DOE (Diseño de Experimentos), el cual nos arroja la Tabla Anova, la gráficas de efectos principales, interacción, Pareto, y las gráficas de los supuestos de normalidad, independencia, homogeneidad de varianza, los cuales son analizados mediante los residuos de la variable respuesta donde nos indican si los datos obtenidos son confiables o no.

Debido a que se utilizaron algunos diseños experimentales como lo son: 2<sup>3</sup>, 2<sup>4</sup> y 3<sup>2</sup>, se comparó cual era el diseño que entregaba las mejores condiciones de operación el cual fue el diseño experimental factorial 3<sup>2</sup> donde se disminuyó la cantidad de defectos producidos por la contrapresión y la velocidad del tornillo demostrando que estos son los factores más influyentes en el proceso general, mientras que los factores más influyentes en las estaciones son la presión y la velocidad, determinados por la tabla Anova y el diagrama de Pareto ya que estos nos indican que factores y combinaciones son significantes o no en el proceso.

Mediante el coeficiente de regresión lineal se determinó el porcentaje de los factores influyentes en el proceso el cual debe ser mayor al 70% y, mediante las gráficas de interacción se encontraron los niveles óptimos para que el proceso tenga el menor porcentaje de defectos.

Se determinaron las condiciones óptimas de fabricación las cuales se comprobaron durante un ciclo de producción para determinar si los defectos de producción se redujeron o no con los niveles óptimos de los factores tomados en el estudio.

Se analizó la capacidad del proceso mediante el índice de capacidad cpk para determinar si este aumentó o no de cómo se encontraba anteriormente y si se cumplió con el porcentaje de producción mínimo que es del 94%.

Para el desarrollo de la investigación se debe seguir los siguientes pasos:

1. Recoger información de la situación actual de la producción
2. Encontrar los factores que influyen en el proceso
3. Mediante Minitab sacar las corridas experimentales necesarias para el diseño
4. Aplicar la fórmula para calcular el tamaño de muestra.

$$n = 2,5^2 \left( \frac{1-P_o}{P_o} \right)$$

5. Ejecutar los diseños experimentales factoriales
6. Analizar las gráficas para encontrar los factores que de mejor manera incrementen de manera positiva la variable respuesta.
7. Realizar una prueba piloto con las condiciones óptimas de fabricación

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

El diseño de experimentos es una “técnica estadística” que nos ayuda a identificar qué factores o variables afectan el comportamiento de un proceso productivo y de esta manera poder mejorarlo. (Gutierrez, 2014 pág. 17).

El diseño de experimentos es la aplicación del método científico que genera conocimiento acerca de un sistema o proceso por medio de pruebas planeadas adecuadamente. Esta metodología se ha ido consolidando como un conjunto de técnicas estadísticas y de ingeniería, que permiten entender mejor las situaciones complejas de relación causa-efecto. Los factores controlables son variables de proceso o características de los materiales experimentales que se pueden fijar en un nivel dado.

Para que un factor pueda ser estudiado es necesario que durante el experimento se haya probado al menos, dos niveles o condiciones. Los niveles y tratamientos son diferentes, los valores que se asignan a cada factor estudiado en un diseño experimental se llaman niveles. Una combinación de niveles de todos los factores estudiados se llama tratamiento o punto de diseño. (Gutiérrez, y otros, 2014 págs. 6,7,8).

La aplicación de las técnicas del diseño experimental en las fases iniciales del desarrollo de un proceso puede redundar en:

1. Mejoras en el rendimiento del proceso.
  2. Variabilidad reducida y conformidad más cercana con los requerimientos nominales o proyectados.
  3. Reducción del tiempo de desarrollo.
  4. Reducción de los costos globales.
- Entre las aplicaciones del diseño experimental en el diseño de ingeniería se encuentran:
    1. La evaluación y comparación de configuraciones de diseños básicos.
    2. La evaluación de materiales alternativos.

3. La selección de los parámetros del diseño para que el producto tenga un buen funcionamiento en una amplia variedad de condiciones de campo, es decir, para que el producto sea robusto.
  4. La determinación de los parámetros clave del diseño del producto que afectan el desempeño del mismo.
- Las Pautas generales para diseñar experimentos aplican un enfoque estadístico en el diseño y análisis de un experimento, es necesario que todos los que participan en el mismo tengan desde el principio una idea clara de qué es exactamente lo que va a estudiarse, cómo van a colectarse los datos, y al menos una comprensión cualitativa de la forma en que van a analizarse estos datos. (Douglas C, 2013 págs. 13-14).

Planeación previa al experimento:

1. Identificación y exposición del problema.
2. Elección de los factores, los niveles y los rangos.
3. Selección de la variable de respuesta.
4. Elección del diseño experimental.
5. Realización del experimento.
6. Análisis estadístico de los datos.
7. Conclusiones y recomendaciones.

La validez de los resultados obtenidos en cualquier análisis de varianza queda supeditado a que los supuestos del modelo se cumplan. Estos supuestos son: normalidad, varianza constante (igual varianza de los tratamientos) e independencia. Esto es, la respuesta ( $Y$ ) se debe distribuir de manera normal, con la misma varianza en cada tratamiento y las mediciones deben ser independientes. Estos supuestos sobre  $Y$  se traducen en supuestos sobre el término error ( $e$ ) en el modelo. Es una práctica común utilizar la muestra de residuos para comprobar los supuestos del modelo, ya que si los supuestos se cumplen, los residuos o residuales se pueden ver como una muestra aleatoria de una distribución normal con media cero y varianza constante. Los residuos,  $e_{ij}$ , se definen como la diferencia entre la respuesta observada ( $Y_{ij}$ ) y la respuesta predicha por el modelo ( $\hat{Y}_{ij}$ ), lo cual permite hacer un diagnóstico más directo de la calidad del modelo, ya que su magnitud señala que también describe a los datos el modelo. (Humberto, 2012 pág. 81).

Antes de conocer los métodos de validación de los supuestos es importante hacer las siguientes observaciones:

1. La desviación relativamente grande del supuesto de homogeneidad de varianzas tiene muy poco efecto sobre el nivel de significancia, aunque este puede ser mayor que el nivel dado, el poco efecto es debido a que los tratamientos son igualmente replicados.
2. La no aditividad puede ser más seria ya que puede aumentar el estimado del error experimental ( $CM^{EE}$ ) resultando en posibles faltas para detectar diferencias reales de los tratamientos.
3. Antes de probar cualquier supuesto se debe asegurar que no exista valores outlier en los datos. Algunos trabajos han venido desarrollándose para detectar outlier, es decir un valor típico, una observación que es numéricamente distante del resto de los datos en clasificaciones a dos vías que incluye DBC. Cuando el diseño tiene residuales con varianza común como podría ser el caso de diseños balanceados, la mejor prueba para detectar un solo outlier es basada en el máximo residuo normalizado (MRN). (Mendoza, 2012 pág. 89).

### **Supuesto de normalidad**

Según (Gutiérrez, y otros, 2014) menciona que un procedimiento gráfico para verificar el cumplimiento del supuesto de normalidad de los residuos consiste en graficar los residuos en papel o en la gráfica de probabilidad normal que se incluye casi en todos los paquetes estadísticos.

Esta gráfica del tipo X-Y tiene las escalas de tal manera que si los residuos siguen una distribución normal, al graficarlos tienden a quedar alineados en una línea recta; por lo tanto, si claramente no se alinean se concluye que el supuesto de normalidad no es correcto.

Según (Gutierrez, 2014) El supuesto de normalidad es un procedimiento útil consiste en construir una gráfica de probabilidad normal de los residuos. Una gráfica de este tipo es la representación de la distribución acumulada de los residuos sobre papel de probabilidad normal, en otras palabras, es papel para gráficas cuya escala de ordenadas es tal que la distribución normal acumulada sea una recta.

### **Supuesto de homogeneidad de varianzas**



Según (Mellado) menciona que las suposiciones del análisis de varianza, es que cada uno de los grupos de unidades experimentales a los que se les aplicó los tratamientos, tienen una varianza homogénea, es decir, la varianza de los resultados del tratamiento 1 ( $\sigma_1$ ) es igual a la varianza de los resultados del tratamiento 2 ( $\sigma_2$ ), y así sucesivamente. Uno o varios datos fuera de contexto modifican la varianza.

Según (Castejon, 2011 pág. 29) menciona que cada respuesta de  $Y_{ij}$  debe poseer dentro de cada tratamiento una variación parecida o igual a la de otro tratamiento. Este supuesto puede ser probado postulado como hipótesis nula y alterna.

Para verificar el cumplimiento de este supuesto se utiliza la prueba de Bartlett o de Levene, la aplicación puede conducir a un no rechazo del  $H_0$  para que exista homogeneidad de varianza.

### **Supuesto de independencia**

Supuesto de independencia se requiere tener el orden de corrida experimental, es decir orden en que se corrió cada prueba experimental.

Se construye una gráfica X-Y, donde en el eje X se especifica el orden de la prueba experimental que se corrió y en el eje Y se grafica el correspondiente residual de esa prueba. (Gutierrez, 2014 pág. 40). Cuadro de Anova es un arreglo dado por las fuentes de variación, seguido de los grados de libertad, de las sumas de cuadrados, de los cuadrados medios de cada componente, así como del valor F y su probabilidad de significación (valor P). (Castejon, 2011 pág. 22).

Según (Gutierrez, y otros, 2014) menciona que la suposición de independencia en los residuos puede verificarse si se grafica el orden en que se colectó un dato contra el residuo correspondiente.

De esta manera, si al graficaren el eje horizontal el tiempo (orden de corrida) y en el eje vertical los residuos, se detecta una tendencia o patrón no aleatorio claramente definido, esto es evidencia de que existe una correlación entre los errores y, por lo tanto, el supuesto de independencia no se cumple.

Si el comportamiento de los puntos es aleatorio dentro de una banda horizontal, el supuesto se está cumpliendo. La violación de este supuesto generalmente indica deficiencias en la planeación y ejecución del experimento; asimismo, puede ser un indicador de que no se aplicó en forma

correcta el principio de aleatorización, o de que conforme se fueron realizando las pruebas experimentales aparecieron factores que afectaron la respuesta observada.

Por ello, en caso de tener problemas con este supuesto, las conclusiones que se obtienen del análisis son endebles y por ello es mejor revisar lo hecho y tratar de investigar por qué no se cumplió con ese supuesto de independencia, a fin de re- considerar la situación.

Una prueba analítica para verificar la independencia entre residuos consecutivos es la prueba de Durbin-Watson.

### **Proceso de inyección**

El proceso de inyección consiste básicamente en fundir un material plástico en condiciones adecuadas e introducirlos a presión en las cavidades de un molde, donde se enfría hasta una temperatura a la que las piezas puedan ser extraídas sin deformarse. El proceso puede dividirse en dos fases; en la primera tiene lugar la fusión del material y en la segunda la inyección del mismo en el molde. La manera de realizar las dos fases es lo que se distingue unas máquinas de otras. (Beltrán, y otros, 2012)

Ciclo de inyección se puede considerar que está constituido por los tiempos y movimiento siguientes:

- a) Tiempo de cierre de molde.- durante el cual actúa el sistema de cierre, la maquina ejecuta el movimiento necesario y cierra el molde.
- b) Tiempo de avance de la unidad de inyección.- durante el cual la unidad de inyección, que hasta ese momento se encuentra separada del molde, avanza hasta que la boquilla e posa sobre el bebedero del molde (punto de entrada del molde).
- c) Tiempo de llenado o de inyección.- en el que el pistón o el husillo avanzan realizando la inyección del material. En este tiempo el molde se llena con el polímero inyectado.
- d) Tiempo de compactación.- durante el cual el molde se llena con el polímero inyectado.
- e) Tiempo de retroceso de la unidad inyección.
- f) Tiempo de enfriamiento.
- g) Tiempo de apertura de molde.
- h) Tiempo de extracción de la pieza.
- i) Tiempo con el molde abierto. (Beltrán, y otros, 2012)

Velocidad de inyección es el caudal del material que sale de la máquina durante un periodo de inyección; se expresa en  $\text{cm}^3/\text{s}$  y es una medida de rapidez con la que puede llenarse un molde. (Beltrán, y otros, 2012)

“La velocidad de inyección viene principalmente determinada por la velocidad de avance del pistón o husillo, y también se puede expresar como el número de veces por unidad de tiempo que el tornillo puede efectuar su recorrido completo de ida y vuelta cuando la máquina funciona en vacío, es decir, sin molde y sin material de moldeo” (Beltrán, y otros, 2015 págs. 185-186).

En una situación real la velocidad de inyección del material dependerá de factores como la presión de inyección, la temperatura de la cámara de calefacción, las características del material utilizado y el camino que debe recorrer el polímero fundido hasta llegar a las cavidades del moldeo.

Presión inicial o de llenado es la presión que se aplica inicialmente al material fundido y que se desarrolla como consecuencia del movimiento hacia adelante del tornillo. Esta presión obliga al material fundido que fluya hacia adelante, produciendo el llenado inicial del molde. La presión inicial debe ser lo mayor posible, de modo que el llenado se produzca lo más rápidamente posible (Beltrán, y otros, 2015 págs. 185-186).

Presión de mantenimiento o compactación (holding pressure) es la presión que se aplica al final de la inyección del material, cuando el molde se encuentra casi completamente lleno. Se llama presión de mantenimiento o compactación, puesto que es la presión que se aplica durante la etapa de compactación, cuando algunas partes del material han comenzado a enfriarse y contraerse, y obliga a que el molde se acabe de llenar y se obtenga una pieza con una densidad uniforme (Beltrán, y otros, 2015 págs. 185-186). Presión posterior o de retroceso (back pressure) es la presión que se aplica al tornillo mientras retrocede, una vez finalizada la etapa de compactación.

Una vez que el molde está completamente lleno el tornillo comienza a girar para plastificar más material para el siguiente ciclo. Este material comienza a alojarse delante del tornillo, obligando a que el tornillo retroceda, sin embargo no se permite que el tornillo retroceda libremente si no que se aplica una cierta presión posterior para conseguir que el material se mezcle y homogenice adecuadamente (Beltrán, y otros, 2015 págs. 185-186). Tiempo de inyección inicial es el tiempo necesario para realizar la inyección depende de numerosos factores, como de cuanto material se está inyectado, su viscosidad, las características del molde y el porcentaje de la capacidad de inyección que se está empleando. En la mayoría de las máquinas el tiempo de inyección se divide

en dos: el tiempo de inyección inicial y el tiempo de mantenimiento. El tiempo de inyección inicial es el tiempo necesario para que el tornillo realice el recorrido hacia adelante, obligando a que el material se introduzca dentro del molde. Normalmente este tiempo no es superior a 2 segundos, y rara vez excede los 3 segundos. (Beltrán, y otros, 2015 págs. 185-186). Tiempo de mantenimiento o compactación es el tiempo de mantenimiento o tiempo de compactación es el tiempo que, después de realizar la inyección inicial del material, el tornillo permanece en posición avanzada, para mantener la presión del material dentro del molde. Este tiempo se prolonga hasta que la entrada a la cavidad de moldeo solidifica. A partir de ese instante la cavidad de moldeo queda aislada del resto del sistema mientras continúa enfriándose por lo que prolongar el tiempo que el pistón permanece en posición avanzada carecería de sentido. (Beltrán, y otros, 2015 págs. 185-186). Tiempo de enfriamiento es una de las variables más importantes para conseguir una pieza de buena calidad. Es el tiempo que la pieza requiere para enfriarse hasta que ha solidificado y además ha adquirido la rigidez suficiente para poder ser extraída del molde sin que se deforme. Las partes más externas de las piezas se enfrían a velocidad más rápidas. El tiempo de enfriamiento debe ser suficiente para que un espesor considerable de la pieza (al menos el 95% de la pieza) se encuentre frío para evitar que la pieza se deforme.

Lógicamente cuanto mayor sea el espesor de la pieza que se está moldeando mayor será el tiempo de enfriamiento requerido. Como media una pieza de 1.5 mm de espesor requiere de 9 a 12 segundos para solidificar y adquirir suficiente resistencia para poder ser extraída del molde sin deformaciones (Beltrán, y otros, 2015 págs. 185-186). Temperatura de inyección es la temperatura a la que se calienta el material para introducirlo en el interior del molde. La temperatura del material aumenta gradualmente desde que entra por la tolva hasta que se encuentra preparado para ser inyectado. Esta temperatura en función del tipo de material, y no debe ser superior a la temperatura a la que comienza a descomponerse, pero debe ser suficientemente elevada para permitir que el material fluya correctamente. La fusión y homogenización del material a lo largo de la cámara de plastificación que se lleva a cabo por los mismos mecanismos que se descubrieron para las extrusoras. (Beltrán, y otros, 2012 págs. 3-5)

La temperatura de un cuerpo es una medida de su capacidad de transferir calor. El calor es una forma de transferir energía. Temperatura es una propiedad de los cuerpos, que no se puede disociar de la materia tangible, mientras que calor es energía y puede existir independientemente de la materia. Si nos imaginamos dos objetos de distinta masa a igual temperatura, es evidente que el contenido de calor (energía) de cada uno de ellos es distinto, cosa que se evidencia por ejemplo en el hecho de que el objeto más pesado tarda más tiempo en enfriarse. La temperatura

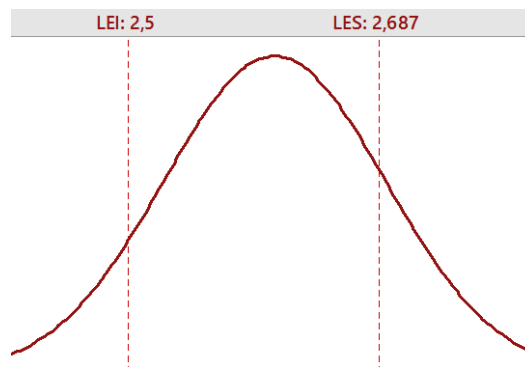
es una medida de la capacidad de emitir calor, o sea que cuanto más caliente está un objeto (o lo que es lo mismo, cuanto mayor sea su temperatura) tanto mayor es su capacidad de intercambiar calor con el medio que lo rodea, siempre que la temperatura del medio sea distinta. (Rodríguez, 2013 págs. 15-21)

Análisis de Capacidad es la capacidad de un proceso de fabricación se suele interpretar como su aptitud para producir artículos de acuerdo con las especificaciones. También se suele interpretar como la aptitud del proceso o de una sola máquina para cumplir los límites de tolerancia. En este tema se introducen algunas medidas e la capacidad de un proceso. El análisis de la capacidad de un proceso deberá realizarse cuando dicho proceso esté bajo control. Dicho análisis se suele iniciar cuando se necesita estudiar un nuevo proceso, cuando se ha modificado alguna de las partes esenciales del proceso, cuando se han emplazado una o más máquinas en otro lugar, cuando ha habido un reajuste en el funcionamiento de las máquinas, cuando los gráficos de control muestran cierta inestabilidad, etc.

Los límites de especificación en el análisis de capacidad son los valores entre los cuales deberían funcionar los productos. Estos límites por lo general se establecen de acuerdo con los requisitos del cliente.

Ejemplos de límites de especificación superior e inferior.

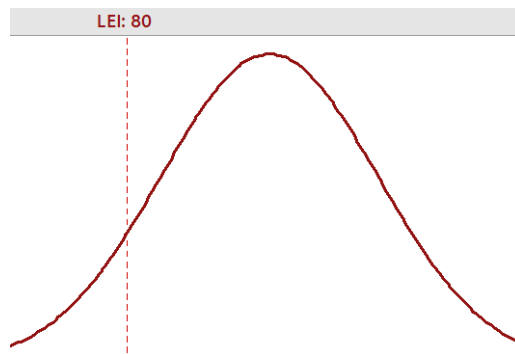
**Figura 1-2:** Límites superior e inferior de la curva



Fuente: Autores

La Figura 1-2 indica la especificación inferior que es de 2.500 pulgadas y una especificación superior que es de 2.687 pulgadas. Lo que nos indica que cualquier etiqueta que sea menor a 2.5 pulgadas o mayor a 2.687 pulgadas es inaceptable.

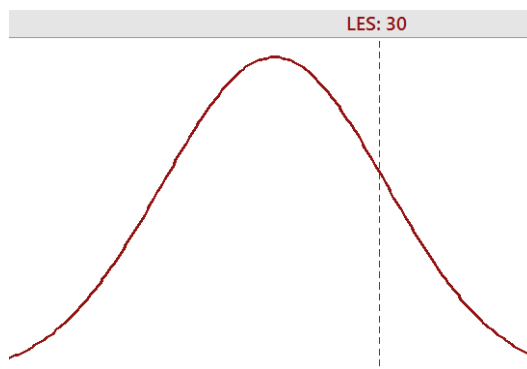
**Figura 2-2: Límite inferior de la curva**



Fuente: Autores

La Figura 2-2 utiliza un solo límite de especificación. Por ejemplo, una empresa de productos textiles necesita que el porcentaje de cumplimiento de sus productos sea durante cada semana sea al menos del 80%. El análisis de producción establece un límite de especificación inferior pero no uno superior, porque mientras mayor sea el cumplimiento a la semana, mejor.

**Figura 3-2: Límite superior de la curva**



Fuente: Autores

La Figura 3-2 por lo contrario, consideremos el producto defectuoso de una semana de producción el cual debe ser inferior a 30 unidades. En este caso, solo se necesita una especificación superior, porque mientras menor sea la cantidad de producto defectuoso, mejor.

La tolerancia de un proceso productivo es un valor que establece el valor estándar mediante el cual se determina la capacidad de un proceso. Según menciona: (Minitab Inc., 2017) “Se define como un múltiplo de una desviación estándar del proceso, donde normalmente, se utiliza 6 sigma como un valor de tolerancia ya que Minitab utiliza la tolerancia para calcular índices de capacidad tales como el índice Cp, que compara la tolerancia con la dispersión de especificación debido a

que si el rango de tolerancia es mayor que la dispersión de especificación, entonces se debe mejorar el proceso”.

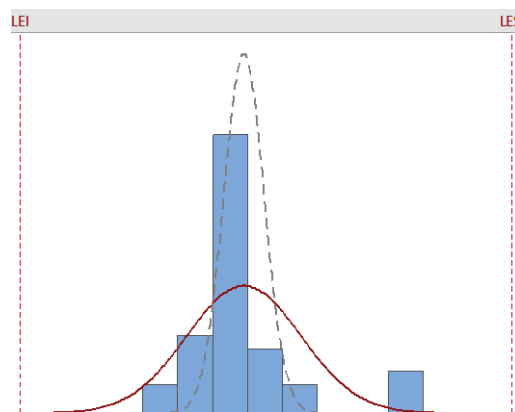
### **Análisis de capacidad normal**

Para evaluar la capacidad del proceso, se utiliza el análisis de capacidad. En Minitab, se elige Estadísticas > Herramientas de calidad > Análisis de capacidad > Normal.

### **Usos del análisis de capacidad**

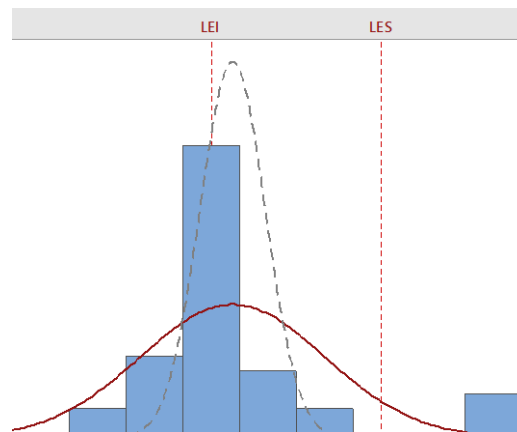
Se puede utilizar el análisis de capacidad para determinar si un proceso es capaz de producir productos que satisfagan los requisitos del cliente cuando el proceso esté bajo control estadístico. Por lo general, la capacidad de un proceso se determina comparando la amplitud de la dispersión del proceso con la amplitud de la dispersión de especificación, lo que define la cantidad máxima de variación permitida de acuerdo con los requisitos del cliente (Minitab Inc., 2017 pág. 1). Cuando un proceso es capaz, la dispersión del proceso es menor que la dispersión de la especificación así como se indica en la Figura 4-2.

**Figura 4-2: Proceso capaz**



**Fuente:** Autores

**Figura 5-2: Proceso no capaz**



Fuente: Autores

### Capacidad del proceso

Cuando el proceso está centrado y se encuentra claramente dentro de los límites de especificación, este es capaz de producir de manera consistente un producto que satisfaga las expectativas del cliente como se indica en la figura 10, en caso contrario como indica la figura 11 el proceso se encuentra abierto y fuera de los límites de especificación. Un análisis de capacidad indica si el proceso está centrado y si se encuentra en el objetivo al mismo tiempo estima la proporción de productos que no cumplen con las especificaciones.

En Minitab, un estudio de capacidad también puede incluir análisis adicionales para verificar los supuestos:

Gráficas de control, para evaluar si el proceso está bajo control.

Se puede utilizar un análisis de capacidad para responder preguntas tales como:

- ¿Es la variabilidad de un proceso lo suficientemente baja como para proveer de manera consistente partes que se encuentren dentro de los límites de especificación?
- ¿Es la proporción de defectuosos consistentemente menor que 10% durante un mes?
- ¿Es capaz el proceso de inyección de calzado?
- ¿Se debe desplazar un proceso para que funcione dentro de los límites de especificación?

El Pp evalúa la capacidad general del proceso en función a la variación de este, donde la capacidad general indica la utilidad real del proceso que el cliente experimentara con el tiempo, como el Pp no toma en cuenta la ubicación del proceso, este indica la capacidad general que puede alcanzar



el proceso si este estuviera centrado, los valores  $Pp$  más altos indican un proceso muy capaz mientras que los valores más bajos indican que el proceso necesita mejoras. El  $Ppk$  evalúa la ubicación así como la variación del proceso. El  $Cp$  evalúa la capacidad de los subgrupos a corto plazo en el proceso, indicando la capacidad que el proceso debería alcanzar si se eliminaran las fuentes generales de variación y a su vez la variación entre y dentro de los subgrupos, el  $Cp$  no considera la ubicación del proceso, indicando la capacidad que podría alcanzar el proceso si estuviera centrado. El  $Cpk$  evalúa la capacidad de los subgrupos a corto plazo, tomando en cuenta tanto su ubicación como su dispersión, donde se mide la capacidad del proceso que este pudiera alcanzar si se eliminaran las fuentes sistémicas de variación general, además de la variación entre y dentro de los subgrupos.

## **CAPÍTULO III**

### **3. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL**

#### **3.1. Generalidades de la empresa**

##### ***3.1.1. Reseña Histórica***

La empresa PLASTICAUCHO INDUSTRIAL S.A. en el año de 1930 Don José Filometor Cuesta Tapia determina la orientación de la compañía y comienza la fabricación de Calzado de Caucho, luego en 1938 se registra la marca VENUS ante el estado ecuatoriano, en 1942 se inauguran las instalaciones propias de la Fábrica Venus y el fundador abastece al país de CAMELBACK (material para reencauche de llantas) salvaguardando al sector del transporte el mismo que cruzaba una dura crisis resultado de la segunda guerra mundial, en 1999 se crean las filiales Venus Colombia y Venus Peruana además de la comercialización de productos en algunos países de Latinoamérica. Comienza el traslado al Parque Industrial de la ciudad de la ciudad de Ambato donde en la actualidad encontramos la mayoría de plantas productivas y oficinas administrativas, finalmente en 2013 Plasticaucho, Parque Industrial, abre sus puertas con las mejores instalaciones de calzado de la Costa del Pacífico Sur.

##### ***3.1.2. Ubicación de la Planta***

La “Empresa Plasticaucho Industrial planta PIA” se encuentra ubicada en la Provincia de Tungurahua, Cantón Ambato, Parque Industrial 4ta. Etapa Panamericana Norte Km. 10.

### **Ilustración 1-3.** Ubicación de la Planta



**Fuente:** GoogleMaps. Plasticaucho Industrial S. A. PIA

#### **3.1.3. Misión**

“Lideramos el sector calzado en el Ecuador con procesos ágiles, eficientes e innovadores.”

#### **3.1.4. Visión**

“Todo Ecuatoriano usará un par de zapatos de una de las marcas comercializadas por la empresa.”

### 3.1.5. Estructura Jurídica

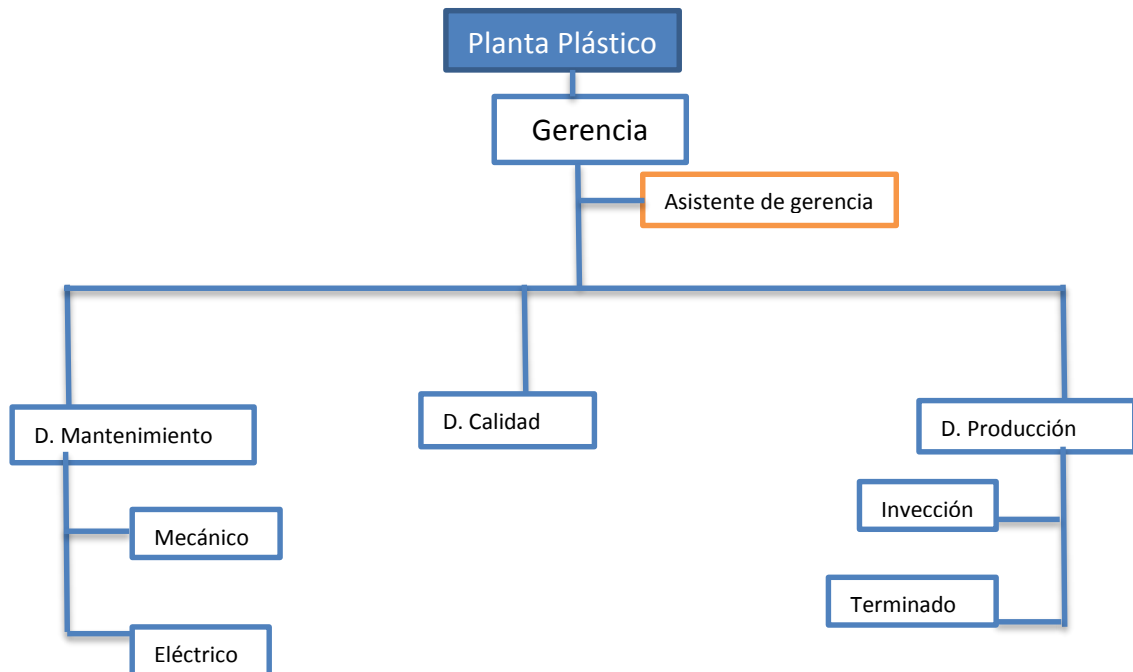
**Ilustración 2-3.** Estructura Jurídica

Razón Social:	Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Tungurahua.
Rama de Actividad:	Calzado
Subsector:	Industria Manufacturera
Conformación Jurídica:	Empresa Privada
Localización de la Fábrica:	Provincia de Tungurahua, Cantón Ambato, Parque Industrial 4ta. Etapa Panamericana Norte Km. 10.
Instalaciones:	Propias
Teléfono:	2-998-500 Ext 593
Correos Electrónicos:	mcarrillo@plasticaucho.com

Fuente: Plasticaucho Industrial S.A.

### 3.1.6. Organigrama Organizacional de la planta Plástico

**Figura 1-3:** Organigrama Organizacional



Fuente: Autores

### 3.2. Descripción del Personal de la Empresa

Dentro de las instalaciones de la Planta de Plástico de la empresa Plasticaucho Industrial S.A., labora un grupo de trabajo responsable, respetuoso y solidario, gracias a esto se logra que los procesos se desarrollen en un excelente ambiente de trabajo.

Los puestos que ocupan son principalmente los siguientes:

**Tabla 1-3.** Descripción del personal

ÁREA		NÚMERO DE TRABAJADORES	CARGOS
ADMINISTRATIVA		4	Gerencia Asistente de gerencia Jefe de mantenimiento Asistente de seguridad industrial
PRODUCCIÓN	Inyección	16	Líder A
		36	Máquinas inyectoras – Operario
		8	Digitador
		19	Mantenimiento – Operario
	Terminado	4	Líder AA
		24	Máquinas terminado – Operario
		8	Embalaje – Operario
Calidad	4	Asistente de Calidad	
TOTAL DE TRABAJADORES		127	

Fuente: Plasticaucho Industrial S.A.

### 3.3. Descripción del proceso productivo

El proceso de elaboración de una pieza de plástico por inyección, sigue un orden de operaciones que se repite para cada una de ellas. Este orden, conocido como ciclo de inyección, se puede dividir en las siguientes etapas:

Cierre del molde.

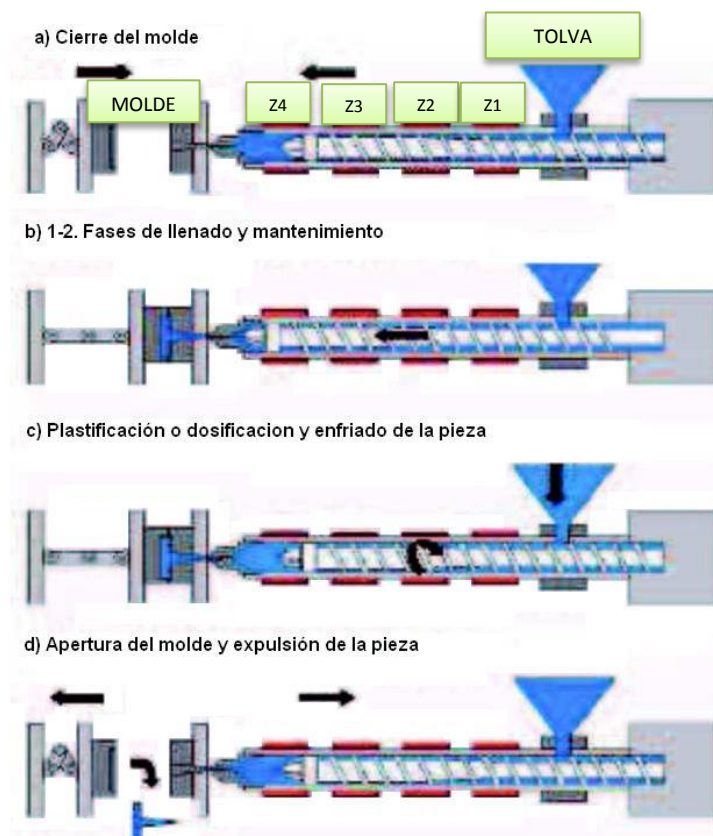
Inyección: Fase de llenado y Fase de mantenimiento.

Plastificación o dosificación y enfriamiento

Apertura del molde y expulsión de la pieza.

#### 3.3.1. Descripción grafica del proceso

**Figura 1-3:** Descripción del proceso de inyección



Fuente: (Mariano, 2011)

### **3.3.2. Cierre del molde.**

Donde se inicia el ciclo, preparándolo para recibir la inyección del material fundido, en donde se aplica la fuerza de cierre que realiza la máquina para mantener cerrado el molde durante el proceso.

La unidad de cierre mueve las dos mitades del molde para unirlos. Mediante una fuerza se cierra el molde herméticamente.

### **3.3.3. Inyección.**

En la inyección son muy importantes las siguientes variables:

- Velocidad de inyección.
- Presión de inyección.
- Temperatura del material.

En esta etapa se producen dos fases: fase de llenado y fase de mantenimiento.

#### **3.3.3.1. Fase de llenado.**

El husillo inyecta el material fundido, dentro del molde a una presión elevada; al inyectar, el husillo avanza sin rotación. La duración de esta etapa puede ser de décimas de segundo hasta varios segundos, dependiendo de la cantidad de material a inyectar y de las características del proceso. La finalidad de esta fase es llenar el molde con una cantidad suficiente de material.

La boquilla está abierta y el material se encuentra delante del husillo que es inyectado dentro del molde, por el movimiento de avance del mismo. Los sistemas hidráulicos deben ejercer grandes esfuerzos en la fase de inyección para mantener la fuerza de cierre.

El material fundido debe superar la resistencia ofrecida por la fricción, en la boquilla. Las presiones, en el interior del molde, son altísimas a causa de la inyección; la unidad de cierre debe ser capaz de mantener el molde cerrado, en oposición a estas presiones. Durante el enfriamiento el material se contrae dentro del molde. Por este motivo se ha de añadir más material para que el volumen de la pieza sea el deseado.

### 3.3.3.2. Fase de mantenimiento

En la fase de mantenimiento, que es posterior a la del llenado, la presión interior de la pieza va disminuyendo. Se va enfriando el plástico y aumentan las pérdidas de carga desde el husillo hasta el interior del molde. La velocidad de inyección del tornillo es baja porque tiene la finalidad de alimentar, con una cantidad suficiente de material, además de compensar las contracciones que sufre la pieza durante la solidificación.

Cuando la presión ha caído hasta el valor del entorno se puede dar por finalizada la fase de mantenimiento. Esta fase condiciona ciertas características de la pieza final, como el peso total, sus tolerancias dimensionales y características internas. Las variables que más afectan en esta fase son:

- Tiempo de mantenimiento de la segunda presión.
- La temperatura del molde.
- Nivel de presión de mantenimiento.
- Ajuste del tiempo de mantenimiento.

EL tiempo de mantenimiento dependerá mucho del material que estemos inyectando y del grosor que tenga la pieza que se inyecte, de especial relevancia cuando se emplean materiales semicristalinos, pues las diferencias de volúmenes específicos son considerables entre su estado líquido y sólido.

Es importante que la transición de la fase de presión de llenado a la fase de la presión de mantenimiento suceda en el momento correcto, si esta ocurre demasiado tarde, se obtiene un pico de presión que puede dañar al molde.

### 3.3.4. *Plastificación o dosificación.*

Empieza con la culminación de aplicar la presión de mantenimiento, el husillo comienza a girar; de forma que el material va pasando progresivamente de la tolva de alimentación a la cámara de inyección, homogeneizándose tanto su temperatura como su grado de mezcla, esta fase se realiza de forma paralela a la etapa de enfriamiento, acelerando así el tiempo total de ciclo, a medida que el husillo va transportando el material hacia delante, éste sufre un retroceso debido a la acumulación que se produce en la zona delantera.



#### *3.3.4.1. La velocidad de giro del husillo.*

Esta velocidad debe escogerse en función del diámetro del mismo y de la viscosidad del material. La velocidad óptima, es aquella en la que el tiempo de carga es igual al tiempo de refrigeración que necesita la pieza inyectada. Una velocidad excesivamente alta puede generar la presencia de infundidos y una de homogeneización insuficiente del material en el interior del cilindro.

#### *3.3.4.2. La contrapresión.*

La contrapresión tiene como función principal, garantizar una adecuada plastificación y homogeneización del material, también frena el retroceso del husillo en la etapa de plastificación. Un aumento de la contrapresión implica que aumente el tiempo de plastificación, la compresión sobre el material y, por ende, la cantidad de material acumulado y la temperatura de la masa fundida.

Las contrapresiones bajas pueden dar lugar a piezas inconsistentes y una insuficiente homogeneización del material. Normalmente se suele trabajar con una descompresión pequeña o nula.

#### *3.3.5. Apertura del molde y expulsión de la pieza.*

Cuando se considera que el material de la pieza ha alcanzado la temperatura denominada de extracción, el molde se abre y se expulsa la pieza de su interior para reiniciar el ciclo de inyección.

#### *3.3.6. Enfriamiento.*

Esta fase comienza simultáneamente con la de llenado, dado que la materia empieza a enfriarse tan pronto y toca la pared del molde. Finaliza cuando la pieza alcanza la temperatura adecuada para su extracción. Su objetivo es conseguir una consistencia tal, que impida su deformación al ser expulsada. La variable que más afecta en esta fase es la temperatura de molde.

El enfriamiento es más lento hacia el centro de la pieza ya que los plásticos son poco conductores del calor. El tiempo de enfriamiento depende del tipo de pieza que se enfría dentro del molde, es

suficiente que estén frías las regiones externas de la pieza, para poder extraerla en condiciones estables, de esta manera se consigue optimizar el tiempo de producción.

### **3.4. Identificación de los factores de estudio**

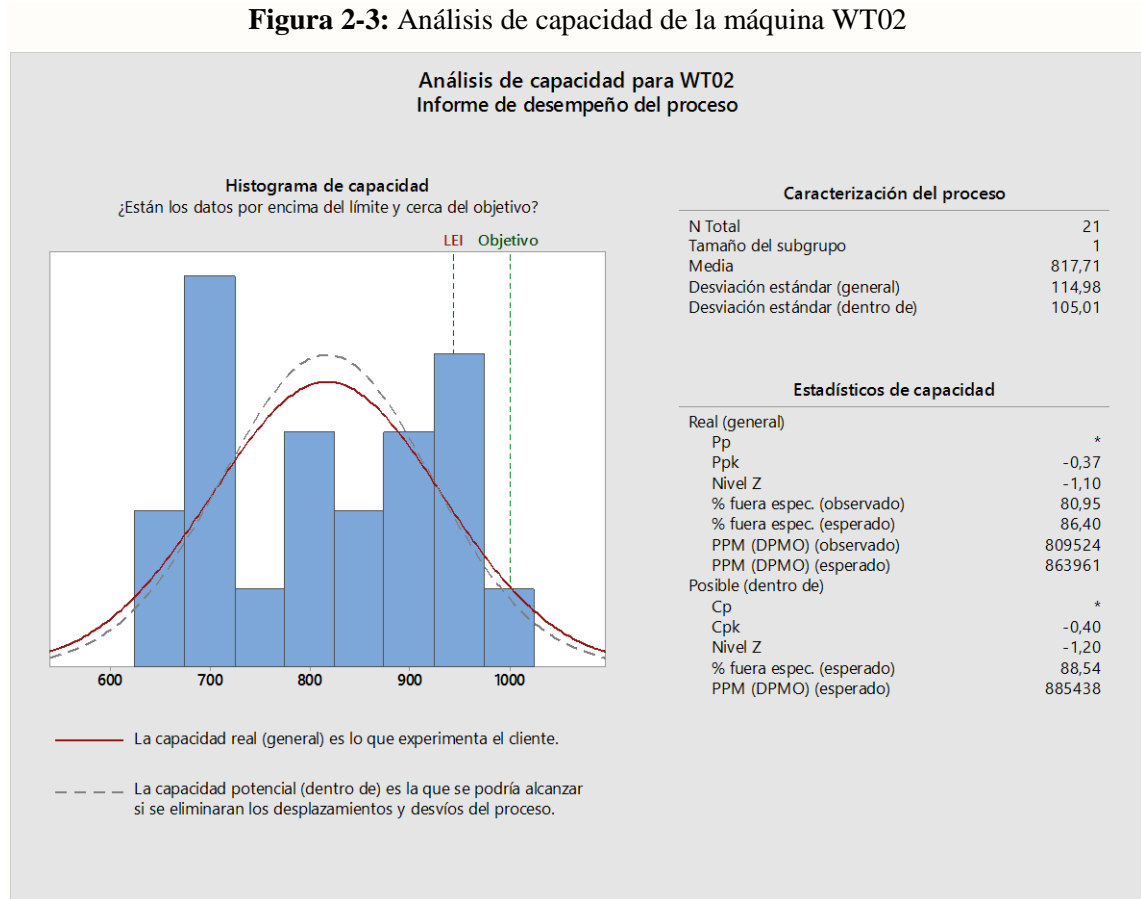
Los factores que normalmente influyen en el porcentaje de defectos en la producción son:

- Temperatura en las cuatro zonas
- Contra presión
- Velocidad del tornillo
- Tiempo de ciclo
- Presión
- Velocidad
- Tiempo de apoyo
- Retraso del soplo de aire

Por experiencia del personal de inyección y del jefe de planta se indicó que los turnos y el personal no son factores influyentes en el proceso debido a que los defectos son producidos por factores no controlados de la máquina.

### 3.4.1. Análisis de capacidad de la producción

#### 3.4.1.1. Máquina WT-02



Fuente: Autores

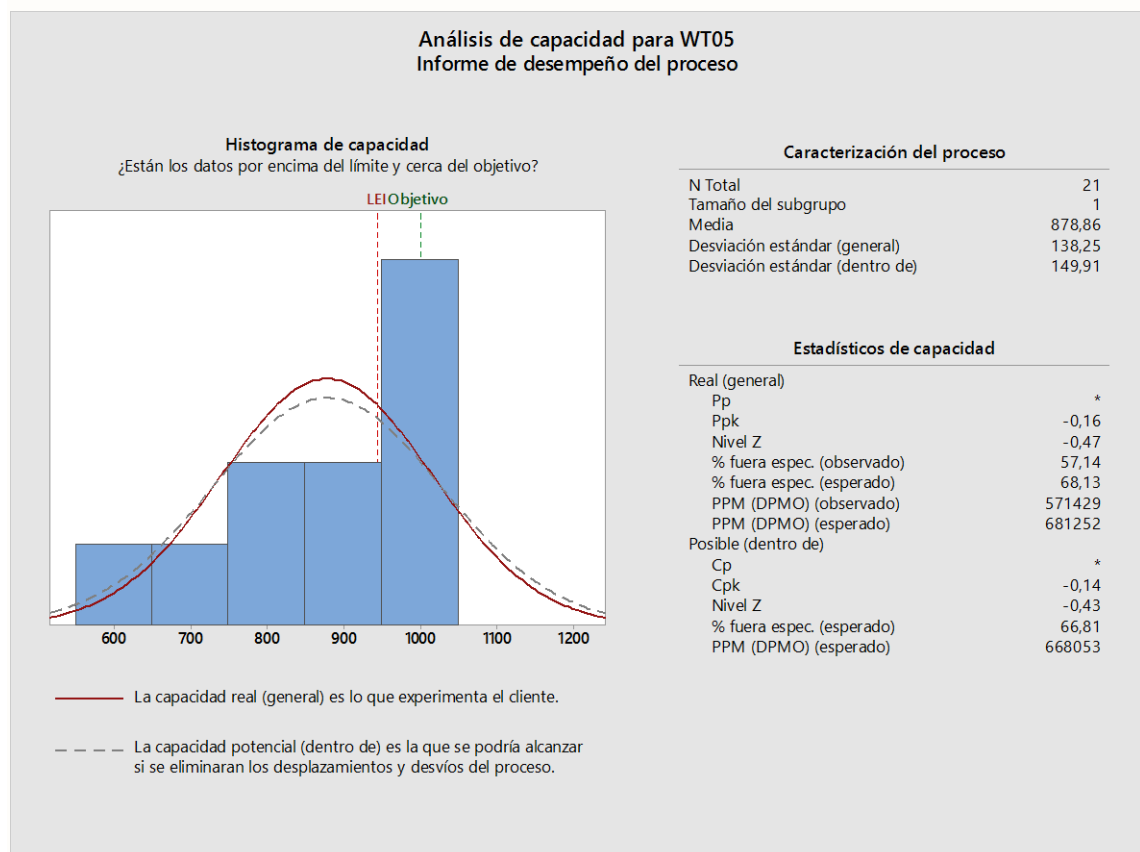
En la Figura 3-3 el histograma indica un comportamiento no normal debido a que los datos se encuentran desplazados y la capacidad real (línea roja) y la capacidad potencial (línea entrecortada) se encuentran abiertas, los datos se encuentran desplazados hacia la izquierda, por debajo del límite de especificación inferior, por ende el proceso no cumple con las especificaciones encontrándose fuera de control estadístico.

Las características del proceso nos indican que la muestra es de 21 con un tamaño del subgrupo de 1, una media de 817,71 de todos los datos, donde la desviación estándar general o a largo plazo es de 114,98 y la desviación estándar dentro de o a corto plazo es de 105,01.

El estadístico de capacidad indica que como no tenemos un Pp (Desempeño del proceso) y Cp (Capacidad de proceso) no tenemos un proceso estable y un Ppk (Desempeño del proceso a “k” desviaciones) de -0,37 y un Cpk (Capacidad de proceso a “k” desviaciones) de -0,40 el proceso es altamente variable tanto a corto como a largo plazo, de igual manera el porcentaje fuera de especificación es bien alto teniendo un valor de 88,54 y una cantidad de efectos esperados de 885438 lo que nos indica que el proceso no se encuentra centrado y es altamente variable ya que para que un proceso se encuentre bajo control según (Pulido, 2009) los valores para que el proceso sea óptimo deben ser un Cpk  $|1 > 1,33|$  , un porcentaje de fuera de especificación  $|0,27 < 0,0096|$  y unas partes por millón o cantidad de defectos esperados  $|2699,934 < 96,231|$ .

### 3.4.1.2. Máquina WT-05

**Figura 3-3: Análisis de capacidad de la máquina WT05**



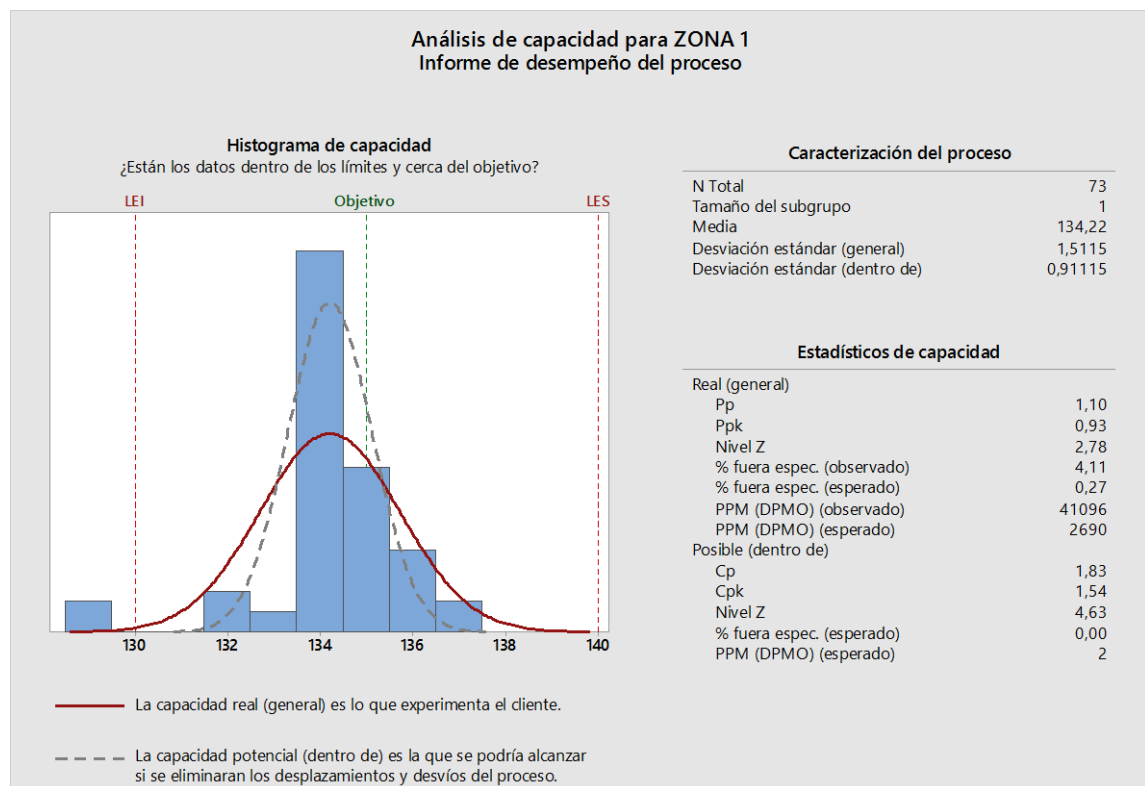
Fuente: Autores

En la Figura 4-3 el histograma indica un comportamiento no normal debido a que los datos se encuentran desplazados y la capacidad real y la capacidad potencial se encuentran abiertas, los datos se encuentran desplazados hacia la izquierda, por debajo del límite de especificación inferior, por ende el proceso no cumple con las especificaciones encontrándose fuera de control estadístico. Las características del proceso nos indican que la muestra es de 21 con un tamaño del subgrupo de 1, una media de 878,86 de todos los datos, donde la desviación estándar general o a largo plazo es de 138,25 y la desviación estándar dentro de o a corto plazo es de 149,91. El estadístico de capacidad indica que como no tenemos un Pp y Cp no tenemos un proceso estable y un Ppk de -0,16 y un Cpk de -0,14 el proceso es altamente variable tanto a corto como a largo plazo, de igual manera el porcentaje fuera de especificación es bien alto teniendo un valor de 68,81 y una cantidad de efectos esperados de 668053 lo que nos indica que el proceso no se encuentra centrado y es altamente variable.

### 3.4.2. Análisis de capacidad de las temperaturas

#### 3.4.2.1. Inyector 1 máquina WT-02

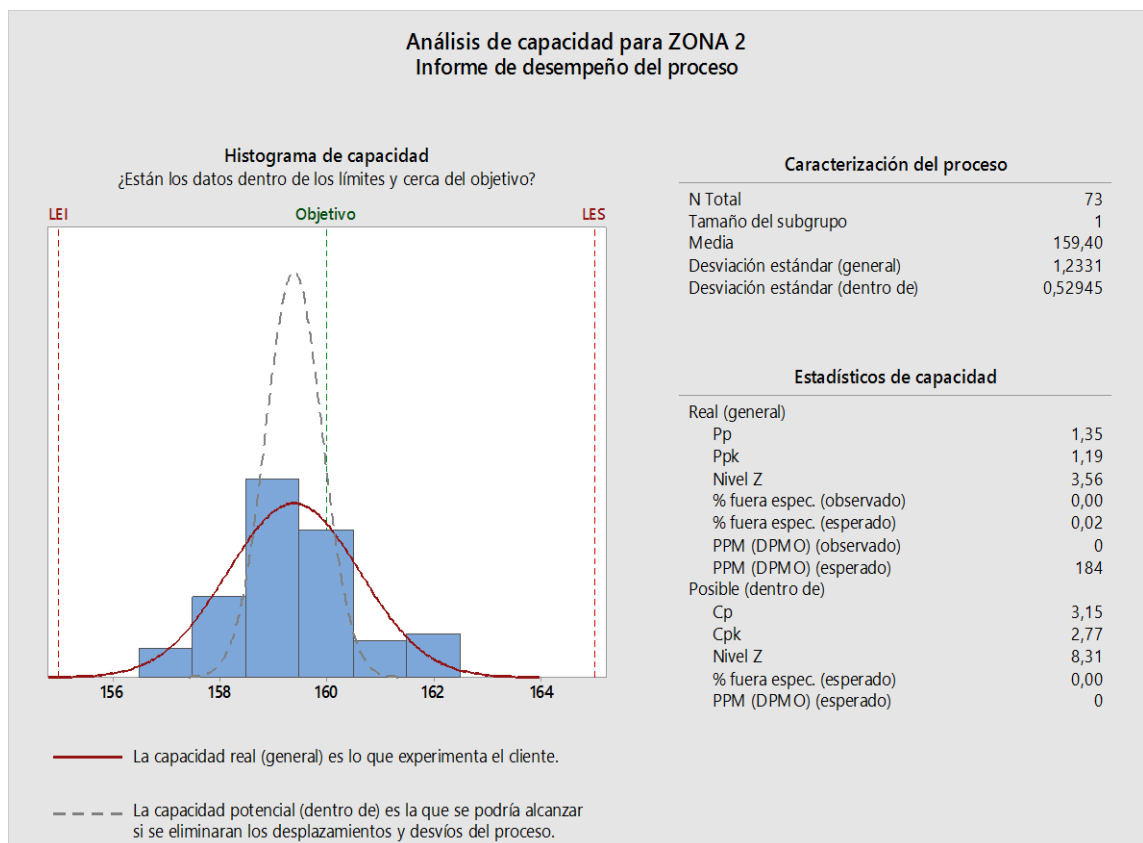
**Figura 4-3:** Análisis de capacidad de la ZONA 1 del inyector 1 de la máquina WT02



Fuente: Autores

En la Figura 5-3 el histograma indica un comportamiento normal debido a que los datos se encuentran centrados y la capacidad real (línea roja) y la capacidad potencial se encuentran cerradas, los datos se encuentran desplazados hacia la izquierda, teniendo un dato por debajo del límite de especificación inferior, por ende el proceso cumple con las especificaciones encontrándose en control estadístico. Las características del proceso nos indican que el tamaño de la muestra es de 73 con un tamaño del subgrupo de 1, una media de 134,22 de todos los datos, donde la desviación estándar general o a largo plazo es de 1,511 y la desviación estándar dentro de o a corto plazo es de 0,911. El estadístico de capacidad inca que como se tiene un Pp de 1,10 y Cp de 1,83 tenemos un proceso estable y un Ppk de 0,93 y un Cpk de 1,54 el proceso se encuentra controlado tanto a corto como a largo plazo, de igual manera el porcentaje fuera de especificación nos indica un valor de 0 y una cantidad de efectos esperados de 2 lo que nos indica que el proceso se encuentra centrado y controlado.

**Figura 5-3:** Análisis de capacidad de la ZONA 2 del inyector 1 de la máquina WT02

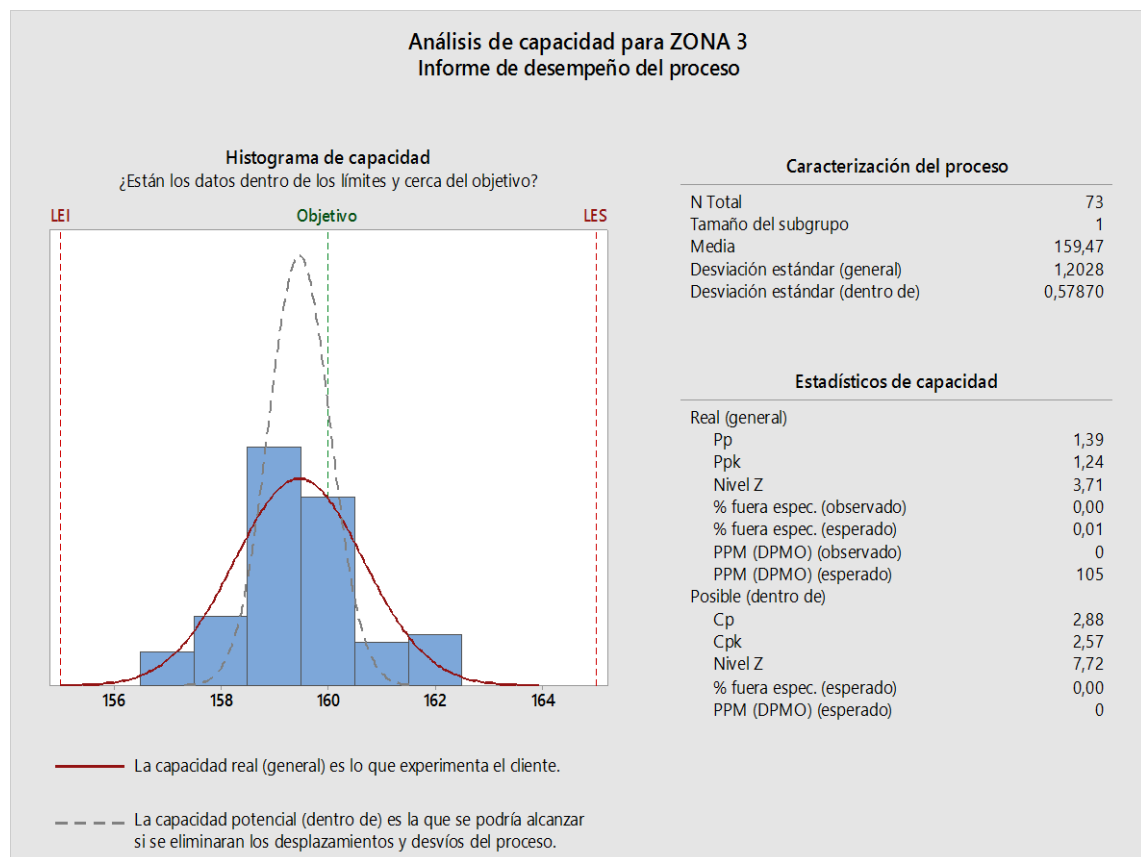


**Fuente:** Autores

En la Figura 6-3 el histograma indica un comportamiento normal debido a que los datos se encuentran centrados y la capacidad real y la capacidad potencial se encuentran cerradas, los datos

se encuentran desplazados hacia la izquierda, encontrándose los datos dentro de los límites de especificación, por ende el proceso cumple con las especificaciones encontrándose en control estadístico. Las características del proceso nos indican que el tamaño de la muestra es de 73 con un tamaño del subgrupo de 1, una media de 159,40 de todos los datos, donde la desviación estándar general o a largo plazo es de 1,233 y la desviación estándar dentro de o a corto plazo es de 0,529. El estadístico de capacidad inca que como se tiene un Pp de 1,35 y Cp de 3,15 tenemos un proceso estable y un Ppk de 1,19 y un Cpk de 2,77 el proceso se encuentra controlado tanto a corto como a largo plazo, de igual manera el porcentaje fuera de especificación nos indica un valor de 0 y una cantidad de efectos esperados de 0 lo que nos indica que el proceso se encuentra centrado y controlado.

**Figura 6-3:** Análisis de capacidad de la ZONA 3 del inyector 1 de la máquina WT02

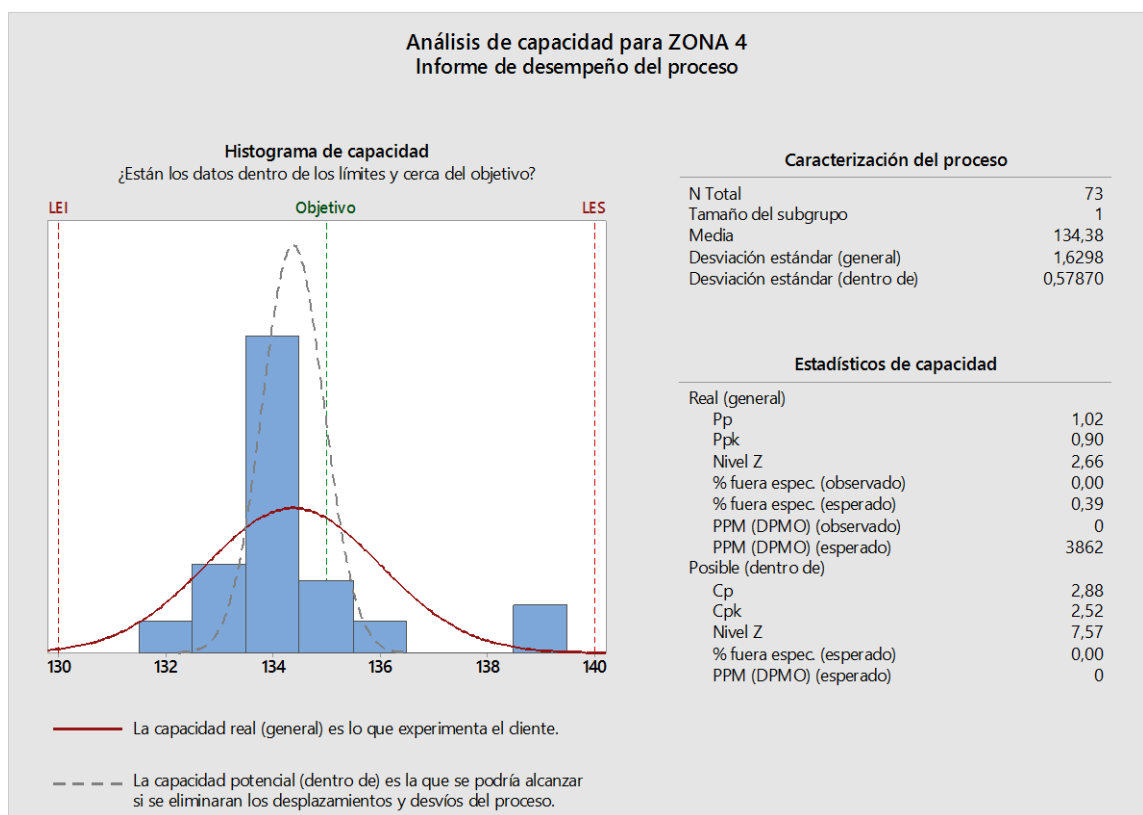


**Fuente:** Autores

En la Figura 7-3 el histograma indica un comportamiento normal debido a que los datos se encuentran centrados y la capacidad real y la capacidad potencial se encuentran cerradas, los datos se encuentran desplazados hacia la izquierda, encontrándose estos dentro de los límites de especificación, por ende el proceso cumple con las especificaciones encontrándose en control

estadístico. Las características del proceso nos indican que el tamaño de la muestra es de 73 con un tamaño del subgrupo de 1, una media de 159,47 de todos los datos, donde la desviación estándar general o a largo plazo es de 1,203 y la desviación estándar dentro de o a corto plazo es de 0,579. El estadístico de capacidad inca que como se tiene un Pp de 1,39 y Cp de 2,88 tenemos un proceso estable y un Ppk de 1,24 y un Cpk de 2,57 el proceso se encuentra controlado tanto a corto como a largo plazo, de igual manera el porcentaje fuera de especificación nos indica un valor de 0 y una cantidad de efectos esperados de 0 lo que nos indica que el proceso se encuentra centrado y controlado.

**Figura 7-3:** Análisis de capacidad de la ZONA 4 del inyector 1 de la máquina WT02



Fuente: Autores

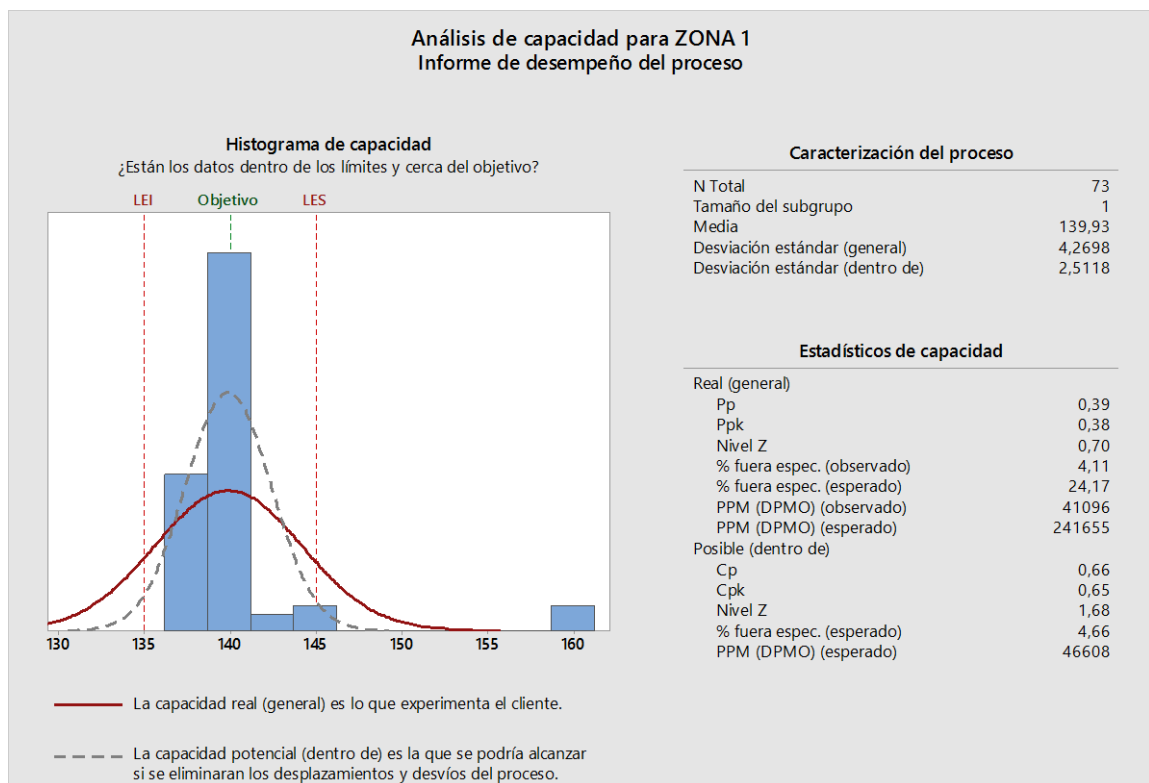
En la Figura 8-3 el histograma indica un comportamiento normal debido a que los datos se encuentran centrados y la capacidad real y la capacidad potencial se encuentran cerradas, los datos se encuentran desplazados hacia la izquierda, encontrándose estos dentro de los límites de especificación, por ende el proceso cumple con las especificaciones encontrándose en control estadístico. Las características del proceso nos indican que el tamaño de la muestra es de 73 con un tamaño del subgrupo de 1, una media de 134,38 de todos los datos, donde la desviación estándar general o a largo plazo es de 1,629 y la desviación estándar dentro de o a corto plazo es



de 0,579. El estadístico de capacidad inca que como se tiene un Pp de 1,02 y Cp de 2,88 tenemos un proceso estable y un Ppk de 0,90 y un Cpk de 2,52 el proceso se encuentra controlado tanto a corto como a largo plazo, de igual manera el porcentaje fuera de especificación nos indica un valor de 0 y una cantidad de efectos esperados de 0 lo que nos indica que el proceso se encuentra centrado y controlado.

### 3.4.2.2. Inyector 2 máquina WT-02

**Figura 8-3:** Análisis de capacidad de la ZONA 1 del inyector 2 de la máquina WT02

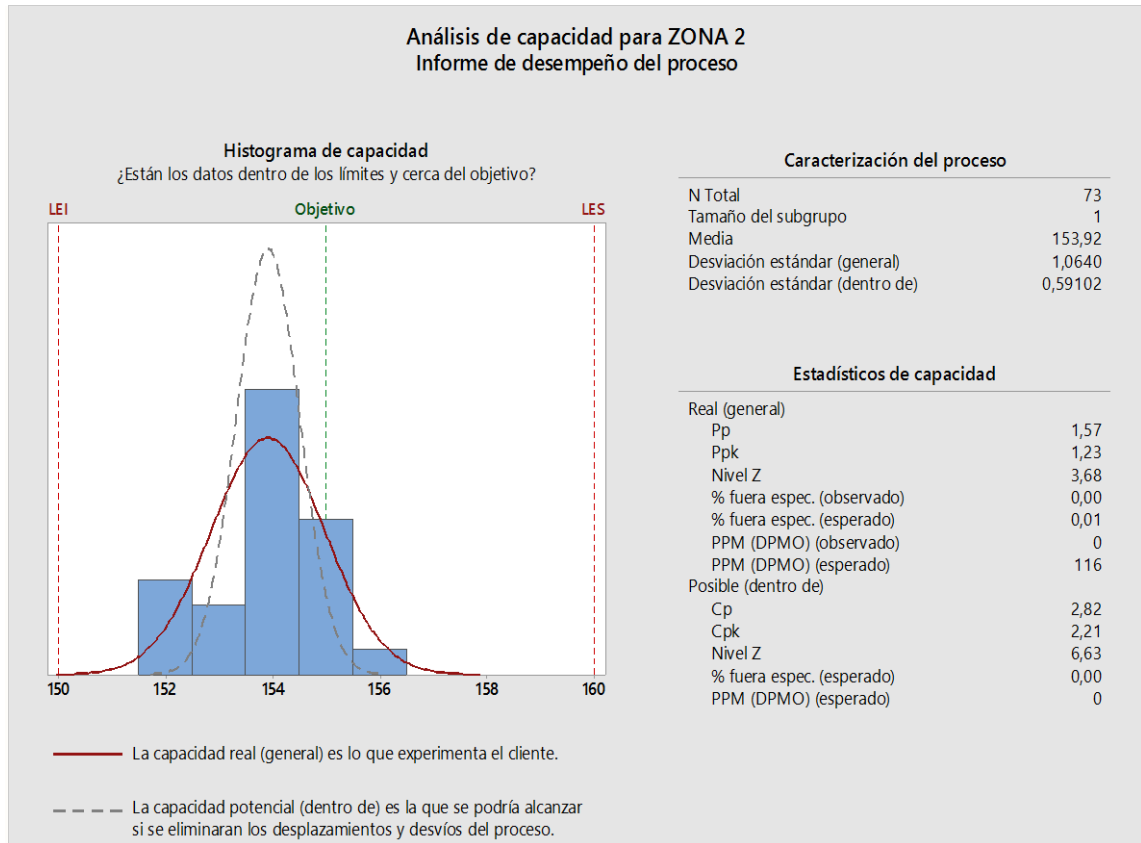


Fuente: Autores

En la Figura 9-3 el histograma indica un comportamiento no normal debido a que los datos se encuentran desplazados y la capacidad real y la capacidad potencial se encuentran abiertas, los datos se encuentran desplazados hacia la derecha, existen datos por encima del límite de especificación superior, por ende el proceso no cumple con las especificaciones encontrándose fuera de control estadístico. Las características del proceso nos indican que el tamaño de la muestra es de 73 con un tamaño del subgrupo de 1, una media de 139,93 de todos los datos, donde la desviación estándar general o a largo plazo es de 4,269 y la desviación estándar dentro de o a corto plazo es de 2,512. El estadístico de capacidad inca que tenemos un Pp de 0,39 y Cp de 0,66 no tenemos un proceso estable, un Ppk de 0,38 y un Cpk de 0,65 el proceso es altamente variable

tanto a corto como a largo plazo, de igual manera el porcentaje fuera de especificación es bien alto teniendo un valor de 4,66 y una cantidad de efectos esperados de 46608 lo que nos indica que el proceso no se encuentra centrado y es altamente variable.

**Figura 9-3:** Análisis de capacidad de la ZONA 2 del inyector 2 de la máquina WT02

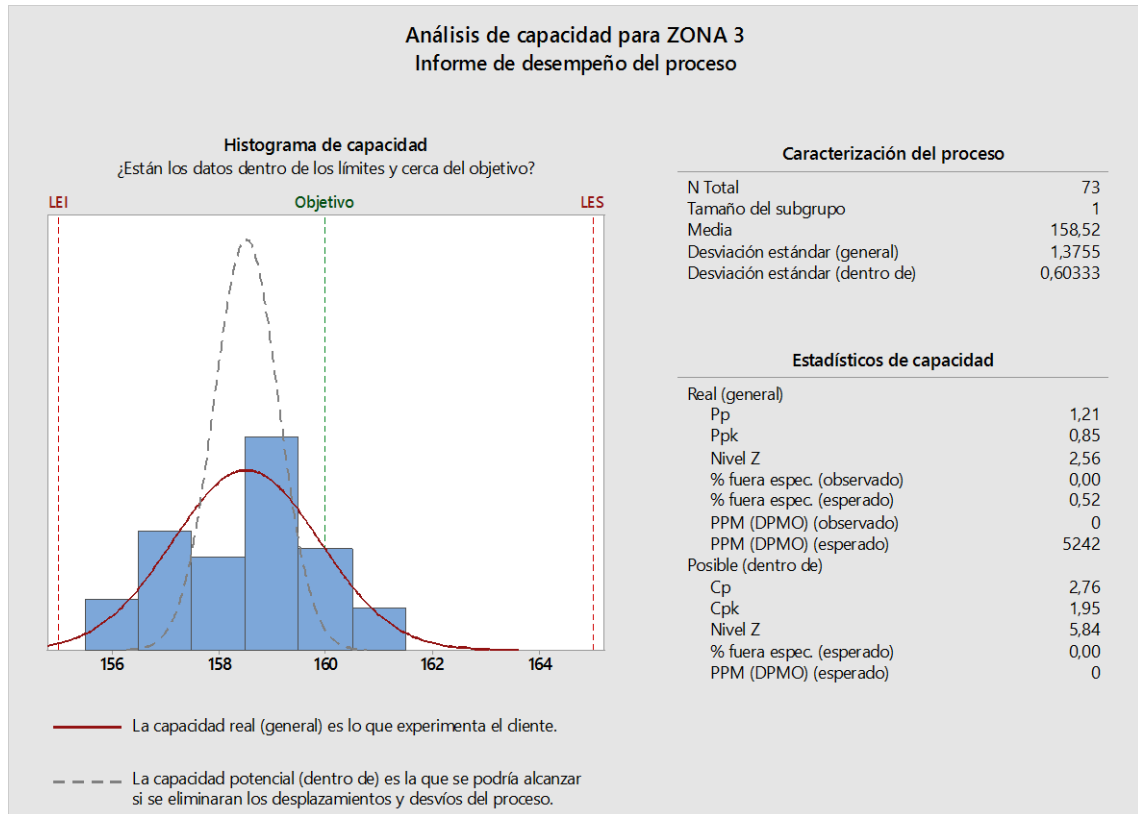


Fuente: Autores

En la Figura 10-3 el histograma indica un comportamiento normal debido a que los datos se encuentran centrados y la capacidad real y la capacidad potencial se encuentran cerradas, los datos se encuentran desplazados hacia la izquierda, encontrándose estos dentro de los límites de especificación, por ende el proceso cumple con las especificaciones encontrándose en control estadístico. Las características del proceso nos indican que el tamaño de la muestra es de 73 con un tamaño del subgrupo de 1, una media de 153,92 de todos los datos, donde la desviación estándar general o a largo plazo es de 1,064 y la desviación estándar dentro de o a corto plazo es de 0,591. El estadístico de capacidad inca que como se tiene un Pp de 1,57 y Cp de 2,82 tenemos un proceso estable, un Ppk de 1,23 y un Cpk de 2,21 el proceso se encuentra controlado tanto a corto como a largo plazo, de igual manera el porcentaje fuera de especificación nos indica un

valor de 0 y una cantidad de efectos esperados de 0 lo que nos indica que el proceso se encuentra centrado y controlado.

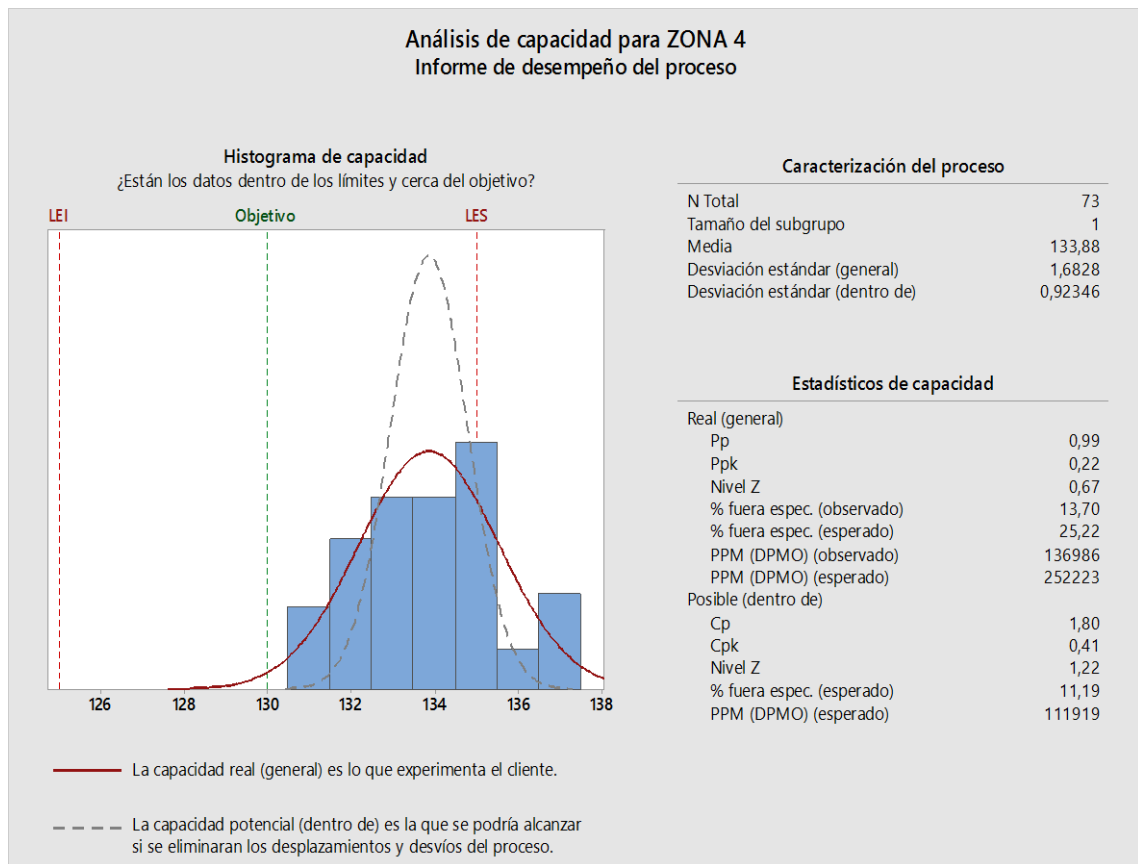
**Figura 10-3:** Análisis de capacidad de la ZONA 3 del inyector 2 de la máquina WT02



Fuente: Autores

En la Figura 11-3 el histograma indica un comportamiento normal debido a que los datos se encuentran centrados y la capacidad real y la capacidad potencial se encuentran cerradas, los datos se encuentran desplazados hacia la izquierda, encontrándose estos dentro de los límites de especificación, por ende el proceso cumple con las especificaciones encontrándose en control estadístico. Las características del proceso nos indican que el tamaño de la muestra es de 73 con un tamaño del subgrupo de 1, una media de 158,52 de todos los datos, donde la desviación estándar general o a largo plazo es de 1,375 y la desviación estándar dentro de o a corto plazo es de 0,603. El estadístico de capacidad inca que como se tiene un Pp de 1,21 y Cp de 2,76 tenemos un proceso estable, un Ppk de 0,85 y un Cpk de 1,95 el proceso se encuentra controlado tanto a corto como a largo plazo, de igual manera el porcentaje fuera de especificación nos indica un valor de 0 y una cantidad de efectos esperados de 0 lo que nos indica que el proceso se encuentra centrado y controlado.

**Figura 11-3:** Análisis de capacidad de la ZONA 4 del inyector 2 de la máquina WT02

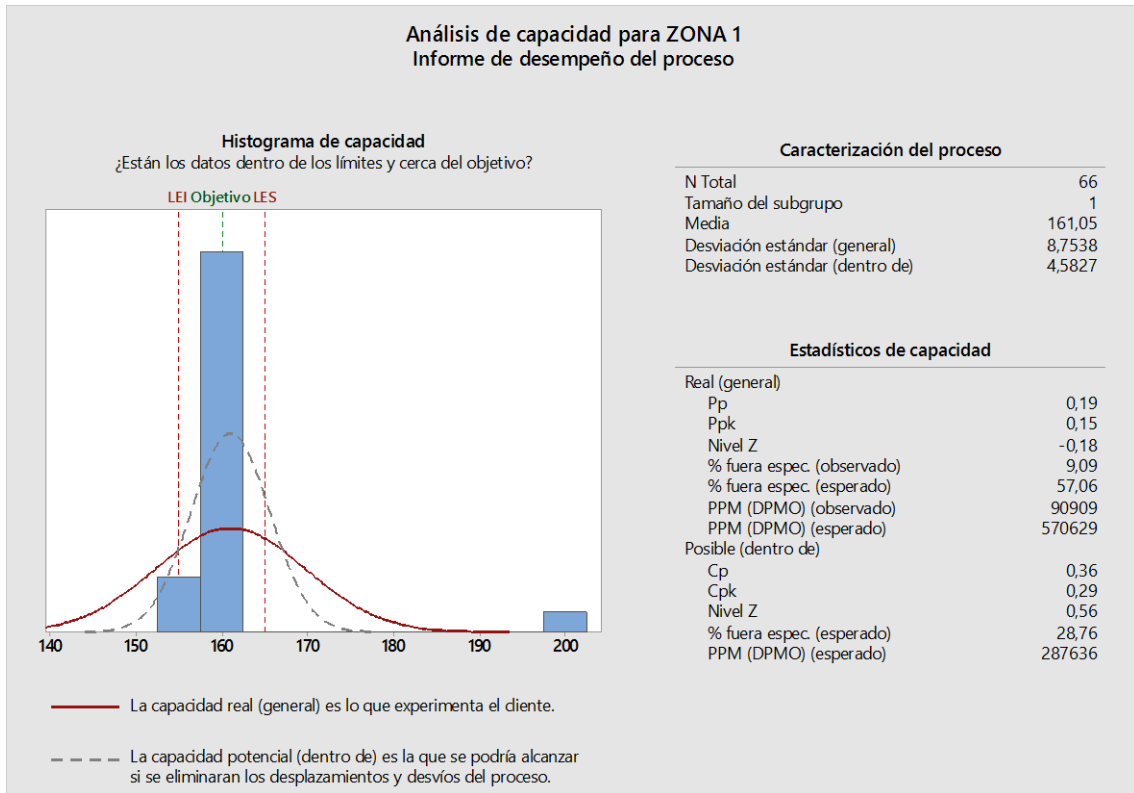


**Fuente:** Autores

En la Figura 12-3 el histograma indica un comportamiento no normal debido a que los datos se encuentran desplazados y la capacidad real y la capacidad potencial se encuentran abiertas, los datos se encuentran desplazados hacia la derecha, existen datos por encima del límite de especificación superior, por ende el proceso no cumple con las especificaciones encontrándose fuera de control estadístico. Las características del proceso nos indican que el tamaño de la muestra es de 73 con un tamaño del subgrupo de 1, una media de 133,88 de todos los datos, donde la desviación estándar general o a largo plazo es de 1,683 y la desviación estándar dentro de o a corto plazo es de 0,923. El estadístico de capacidad inca que tenemos un Pp de 0,99 y Cp de 1,80 tenemos un proceso estable y un Ppk de 0,22 y un Cpk de 0,41 el proceso es altamente variable tanto a corto como a largo plazo, de igual manera el porcentaje fuera de especificación es bien alto teniendo un valor de 11,19 y una cantidad de efectos esperados de 111919 lo que nos indica que el proceso no se encuentra centrado y es altamente variable.

### 3.4.2.3. Inyector 1 máquina WT-05

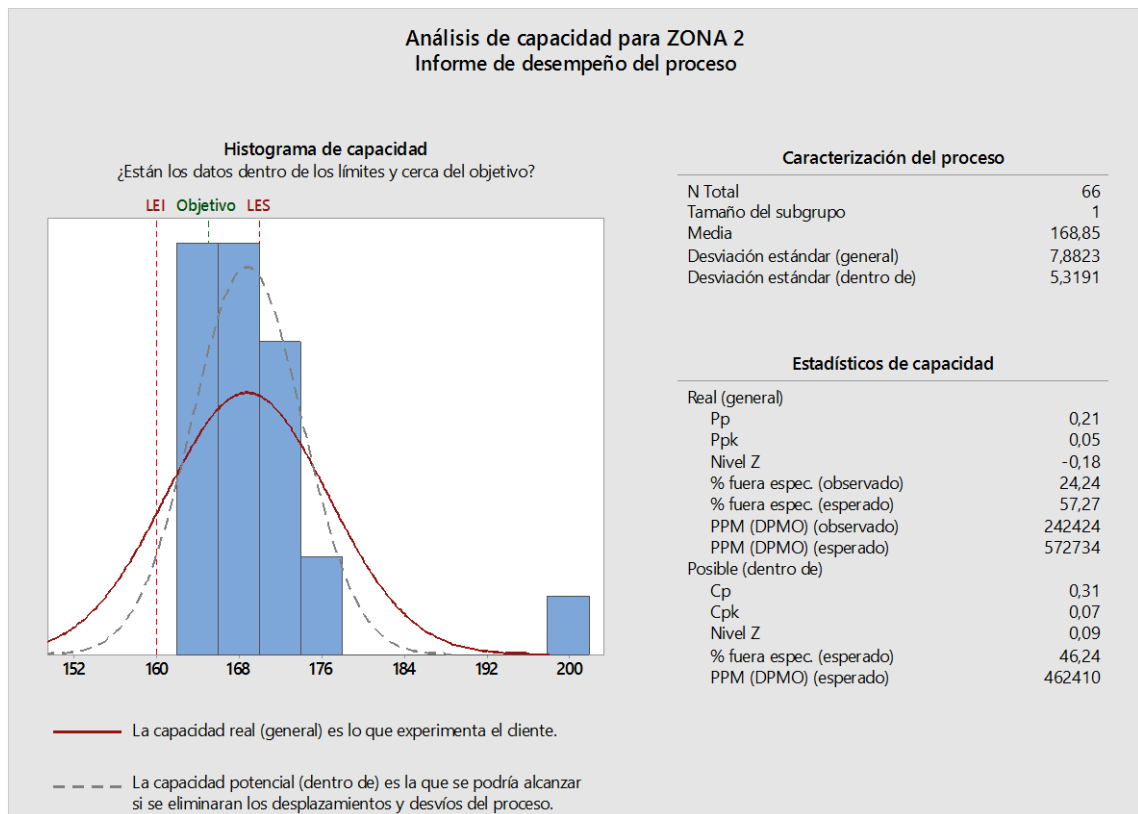
**Figura 12-3:** Análisis de capacidad de la ZONA 1 del inyector 1 de la máquina WT05



**Fuente:** Autores

En la Figura 13-3 el histograma indica un comportamiento no normal debido a que los datos se encuentran desplazados y la capacidad real y la capacidad potencial se encuentran abiertas, los datos se encuentran desplazados hacia la derecha, existen datos por encima del límite de especificación superior, por ende el proceso no cumple con las especificaciones encontrándose fuera de control estadístico. Las características del proceso nos indican que el tamaño de la muestra es de 66 con un tamaño del subgrupo de 1, una media de 161,05 de todos los datos, donde la desviación estándar general o a largo plazo es de 8,754 y la desviación estándar dentro de o a corto plazo es de 4,583. El estadístico de capacidad inca que tenemos un Pp de 0,19 y Cp de 0,36 no tenemos un proceso estable, un Ppk de 0,15 y un Cpk de 0,29 el proceso es altamente variable tanto a corto como a largo plazo, de igual manera el porcentaje fuera de especificación es bien alto teniendo un valor de 28,76 y una cantidad de efectos esperados de 287636 lo que nos indica que el proceso no se encuentra centrado y es altamente variable.

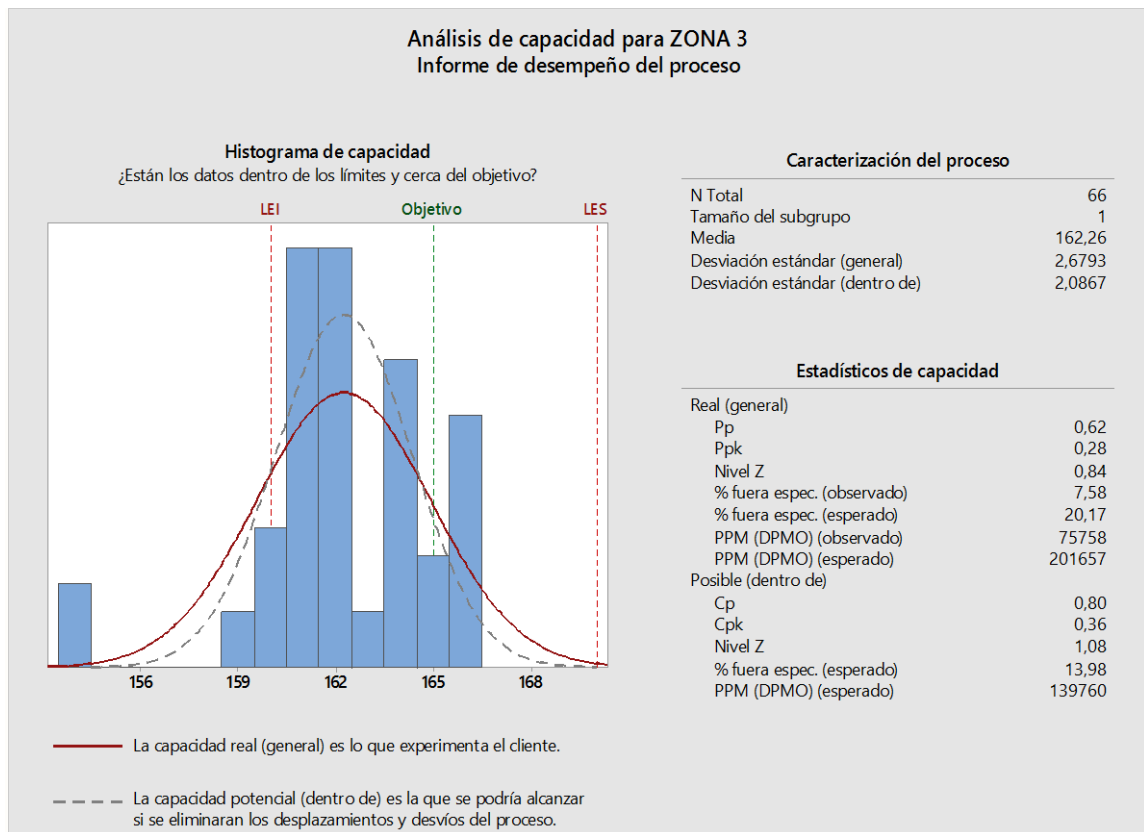
**Figura 13-3:** Análisis de capacidad de la ZONA 2 del inyector 1 de la máquina WT05



**Fuente:** Autores

En la Figura 14-3 el histograma indica un comportamiento no normal debido a que los datos se encuentran desplazados y la capacidad real y la capacidad potencial se encuentran abiertas, los datos se encuentran desplazados hacia la derecha, existen datos por encima del límite de especificación superior, por ende el proceso no cumple con las especificaciones encontrándose fuera de control estadístico. Las características del proceso nos indican que el tamaño de la muestra es de 66 con un tamaño del subgrupo de 1, una media de 168,85 de todos los datos, donde la desviación estándar general o a largo plazo es de 7,882 y la desviación estándar dentro de o a corto plazo es de 5,319. El estadístico de capacidad inca que tenemos un Pp de 0,21 y Cp de 0,31 no tenemos un proceso estable y un Ppk de 0,05 y un Cpk de 0,07 el proceso es altamente variable tanto a corto como a largo plazo, de igual manera el porcentaje fuera de especificación es bien alto teniendo un valor de 46,24 y una cantidad de efectos esperados de 462410 lo que nos indica que el proceso no se encuentra centrado y es altamente variable.

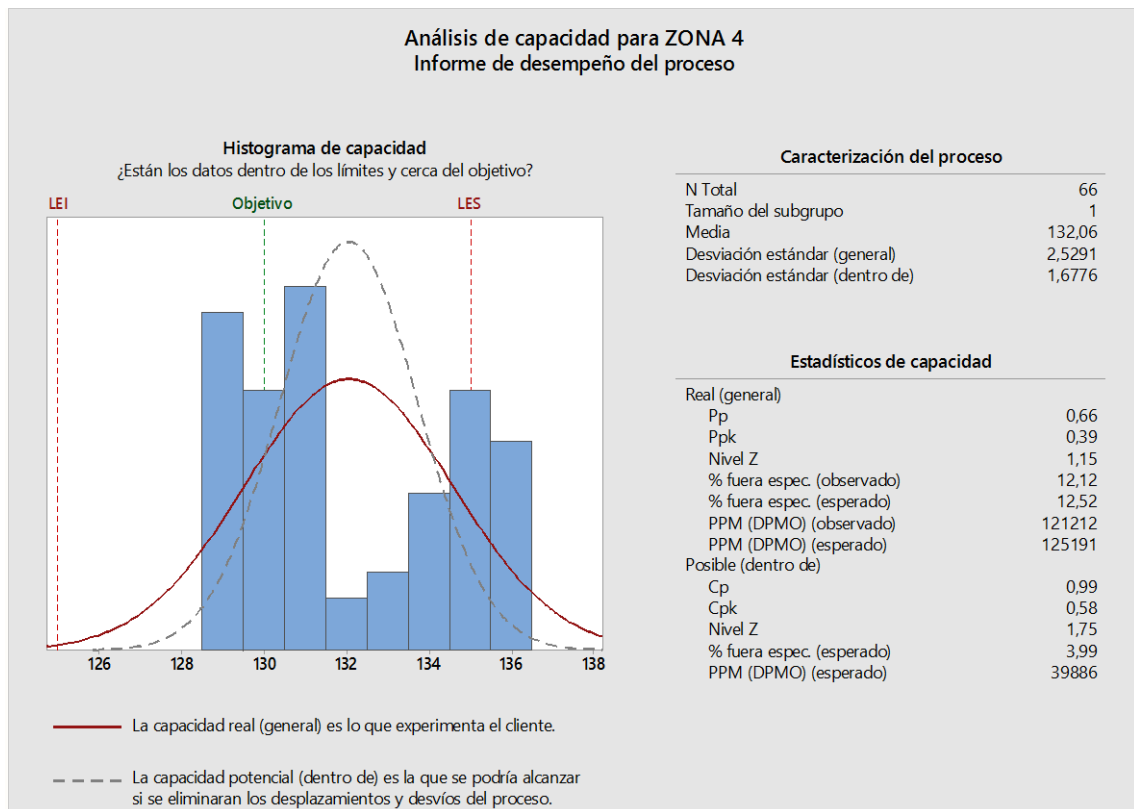
**Figura 14-3:** Análisis de capacidad de la ZONA 3 del inyector 1 de la máquina WT05



Fuente: Autores

En la Figura 15-3 el histograma indica un comportamiento no normal debido a que los datos se encuentran desplazados y la capacidad real y la capacidad potencial se encuentran abiertas, los datos se encuentran desplazados hacia la izquierda, existen datos por debajo del límite de especificación inferior, por ende el proceso no cumple con las especificaciones encontrándose fuera de control estadístico. Las características del proceso nos indican que el tamaño de la muestra es de 66 con un tamaño del subgrupo de 1, una media de 162,26 de todos los datos, donde la desviación estándar general o a largo plazo es de 2,679 y la desviación estándar dentro de o a corto plazo es de 2,087. El estadístico de capacidad inca que tenemos un Pp de 0,62 y Cp de 0,80 no tenemos un proceso estable, un Ppk de 0,28 y un Cpk de 0,36 el proceso es altamente variable tanto a corto como a largo plazo, de igual manera el porcentaje fuera de especificación es bien alto teniendo un valor de 13,98 y una cantidad de efectos esperados de 139760 lo que nos indica que el proceso no se encuentra centrado y es altamente variable.

**Figura 15-3:** Análisis de capacidad de la ZONA 4 del inyector 1 de la máquina WT05



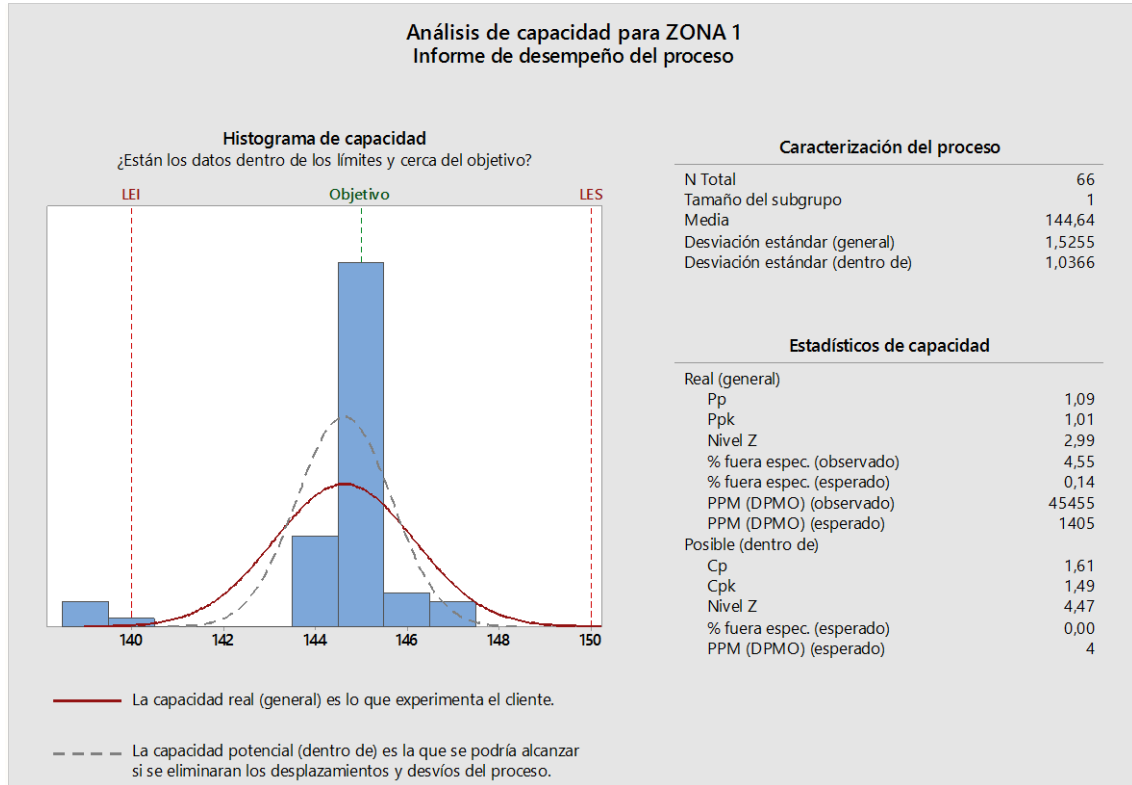
**Fuente:** Autores

En la Figura 16-3 el histograma indica un comportamiento no normal debido a que los datos se encuentran desplazados y la capacidad real y la capacidad potencial se encuentran abiertas, los datos se encuentran desplazados hacia la derecha, existen datos por encima del límite de especificación superior, por ende el proceso no cumple con las especificaciones encontrándose fuera de control estadístico. Las características del proceso nos indican que el tamaño de la muestra es de 66 con un tamaño del subgrupo de 1, una media de 132,06 de todos los datos, donde la desviación estándar general o a largo plazo es de 2,529 y la desviación estándar dentro de o a corto plazo es de 1,678. El estadístico de capacidad indica que tenemos un Pp de 0,66 y Cp de 0,99 no tenemos un proceso estable, un Ppk de 0,39 y un Cpk de 0,58 el proceso es altamente variable tanto a corto como a largo plazo, de igual manera el porcentaje fuera de especificación es bien alto teniendo un valor de 3,99 y una cantidad de efectos esperados de 39886 lo que nos indica que el proceso no se encuentra centrado y es altamente variable.



3.4.2.4. Inyector 2 máquina WT-05

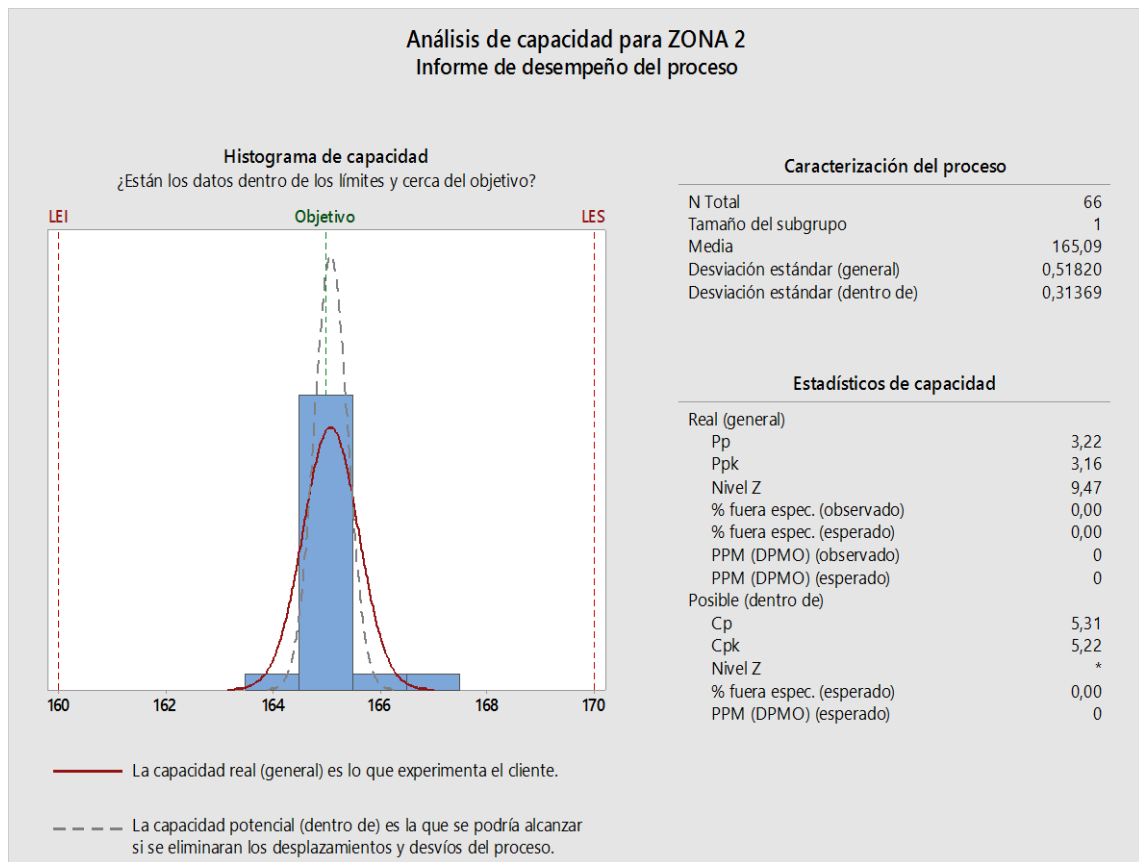
**Figura 16-3:** Análisis de capacidad de la ZONA 1 del inyector 2 de la máquina WT05



Fuente: Autores

En la Figura 17-3 el histograma indica un comportamiento normal debido a que los datos se encuentran centrados y la capacidad real y la capacidad potencial se encuentran cerradas, los datos se encuentran desplazados hacia la izquierda, existe un punto fuera del límite de especificación inferior, por ende el proceso podría cumplir con las especificaciones y encontrarse bajo control estadístico. Las características del proceso nos indican que el tamaño de la muestra es de 66 con un tamaño del subgrupo de 1, una media de 144,64 de todos los datos, donde la desviación estándar general o a largo plazo es de 1,525 y la desviación estándar dentro de o a corto plazo es de 1,036. El estadístico de capacidad inca que como se tiene un Pp de 1,09 y Cp de 1,61 tenemos un proceso estable, un Ppk de 1,01 y un Cpk de 1,49 el proceso se encuentra controlado tanto a corto como a largo plazo, de igual manera el porcentaje fuera de especificación nos indica un valor de 0 y una cantidad de efectos esperados de 4 lo que nos indica que el proceso se encuentra centrado y controlado.

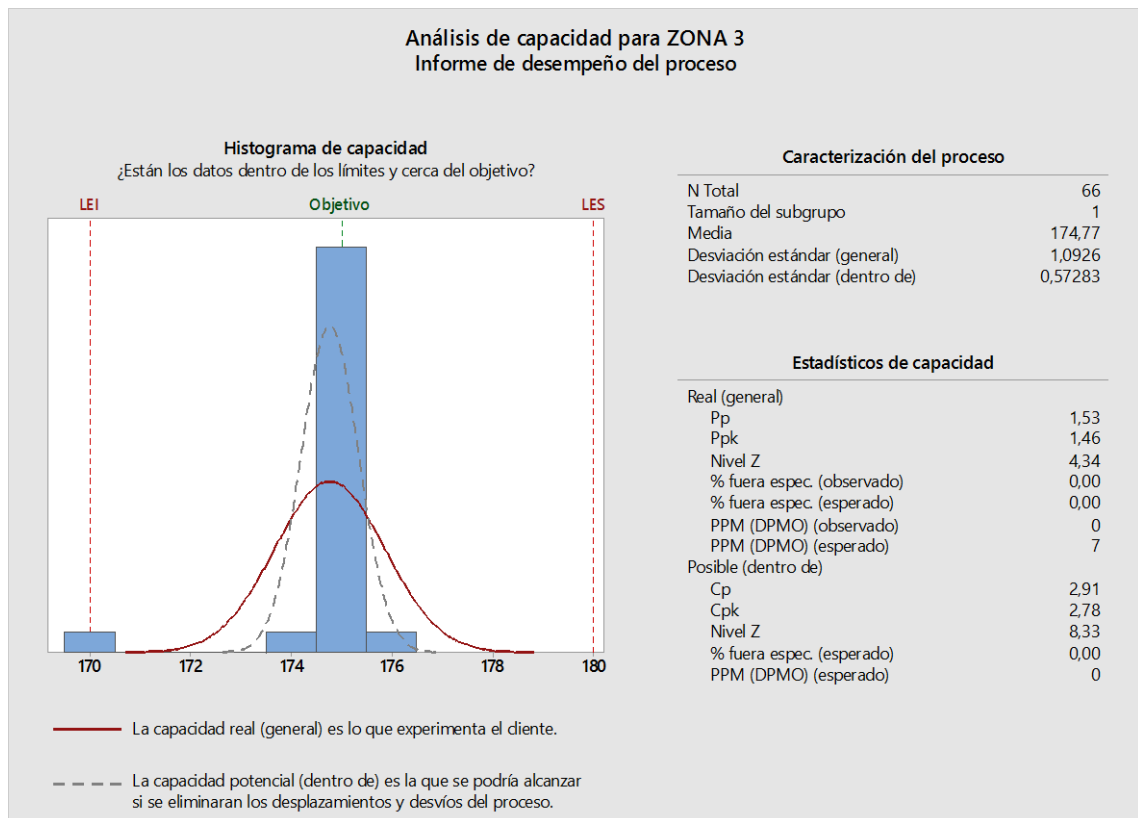
**Figura 17-3:** Análisis de capacidad de la ZONA 2 del inyector 2 de la máquina WT05



Fuente: Autores

En la Figura 18-3 el histograma indica un comportamiento normal debido a que los datos se encuentran centrados y la capacidad real y la capacidad potencial se encuentran cerradas, los datos se encuentran desplazados hacia la izquierda, encontrándose estos dentro de los límites de especificación, por ende el proceso cumple con las especificaciones encontrándose en control estadístico. Las características del proceso nos indican que el tamaño de la muestra es de 66 con un tamaño del subgrupo de 1, una media de 165,09 de todos los datos, donde la desviación estándar general o a largo plazo es de 0,518 y la desviación estándar dentro de o a corto plazo es de 0,314. El estadístico de capacidad inca que como se tiene un Pp de 3,22 y Cp de 5,31 tenemos un proceso estable, un Ppk de 3,16 y un Cpk de 5,22 el proceso se encuentra controlado tanto a corto como a largo plazo, de igual manera el porcentaje fuera de especificación nos indica un valor de 0 y una cantidad de efectos esperados de 0 lo que nos indica que el proceso se encuentra centrado y controlado.

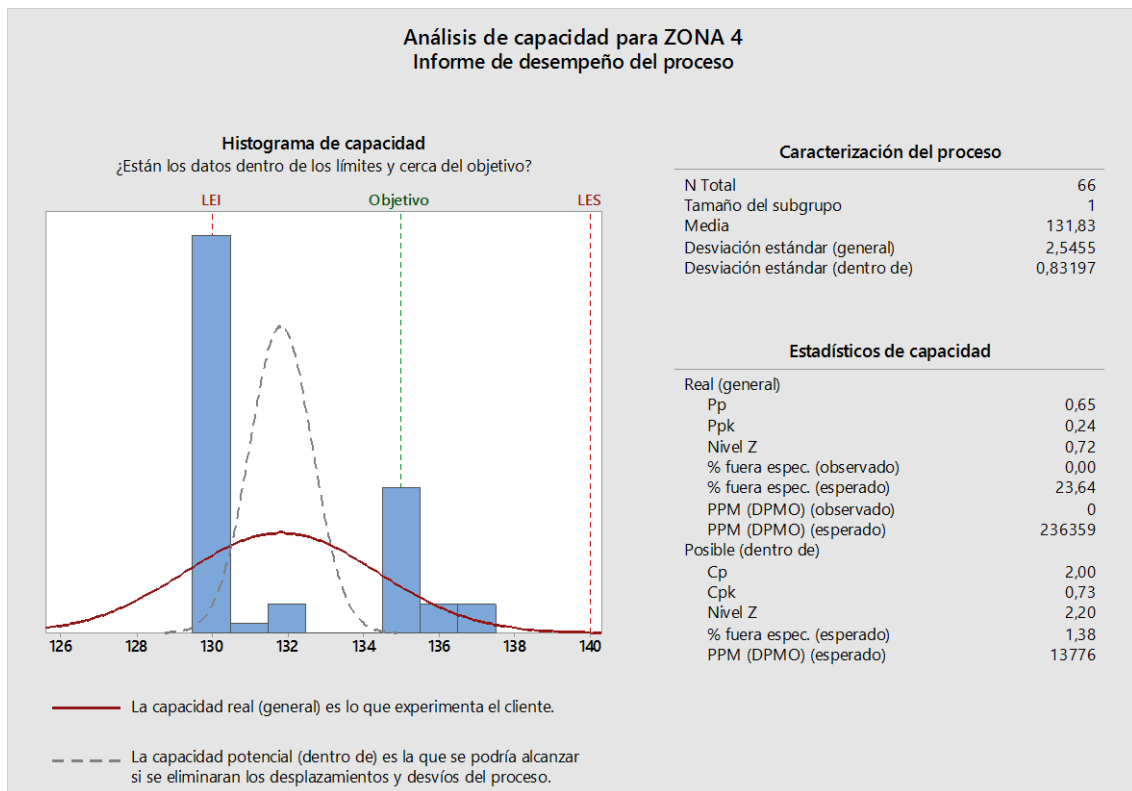
**Figura 18-3:** Análisis de capacidad de la ZONA 3 del inyector 2 de la máquina WT05



Fuente: Autores

En la Figura 19-3 el histograma indica un comportamiento normal debido a que los datos se encuentran centrados y la capacidad real y la capacidad potencial se encuentran cerradas, los datos se encuentran desplazados hacia la izquierda, encontrándose un punto en el límite de especificación inferior, por ende el proceso cumple con las especificaciones encontrándose en control estadístico. Las características del proceso nos indican que el tamaño de la muestra es de 66 con un tamaño del subgrupo de 1, una media de 174,77 de todos los datos, donde la desviación estándar general o a largo plazo es de 1,093 y la desviación estándar dentro de o a corto plazo es de 0,573. El estadístico de capacidad inca que como se tiene un Pp de 1,53 y Cp de 2,91 tenemos un proceso estable, un Ppk de 1,46 y un Cpk de 2,78 el proceso se encuentra controlado tanto a corto como a largo plazo, de igual manera el porcentaje fuera de especificación nos indica un valor de 0 y una cantidad de efectos esperados de 0 lo que nos indica que el proceso se encuentra centrado y controlado.

**Figura 19-3:** Análisis de capacidad de la ZONA 4 del inyector 2 de la máquina WT05



Fuente: Autores

En la Figura 20-3 el histograma indica un comportamiento no normal debido a que los datos se encuentran desplazados y la capacidad real y la capacidad potencial se encuentran abiertas, los datos se encuentran desplazados hacia la izquierda, existen datos en el límite de especificación inferior, por ende el proceso no cumple con las especificaciones encontrándose fuera de control estadístico. Las características del proceso nos indican que el tamaño de la muestra es de 66 con un tamaño del subgrupo de 1, una media de 131,83 de todos los datos, donde la desviación estándar general o a largo plazo es de 2,545 y la desviación estándar dentro de o a corto plazo es de 0,832. El estadístico de capacidad inca que tenemos un Pp de 0,65 y Cp de 2 teniendo un proceso estable a corto plazo pero un proceso no estable a largo plazo, un Ppk de 0,38 y un Cpk de 0,65 el proceso es altamente variable tanto a corto como a largo plazo, de igual manera el porcentaje fuera de especificación es bien alto teniendo un valor de 4,66 y una cantidad de efectos esperados de 46608 lo que nos indica que el proceso no se encuentra centrado y es altamente variable.

**Tabla 2-3.** Cuadro resumen del análisis de capacidad por máquinas, inyectoras y zonas

			ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 4
MÁQUINA WT-02	INY. 1	Limites	130 – 140 °C	155 – 165 °C	155 – 165 °C	130 – 140 °C
		Objetivo	135 °C	160 °C	160 °C	135 °C
		CPK	1,64	3,05	2,73	2,64
	INY. 2	Limites	135 – 145 °C	150 - 160 °C	155 – 165 °C	125 - 135 °C
		Objetivo	140 °C	155 °C	160 °C	130 °C
		CPK	0,73	2,34	2,24	0,44
MÁQUINA WT-05	INY. 1	Limites	155 – 165 °C	160 – 170 °C	160 – 170 °C	125 – 135 °C
		Objetivo	160 °C	165 °C	165 °C	130 °C
		CPK	0,38	0,08	0,39	0,66
	INY. 2	Limites	140 – 150 °C	160 – 170 °C	170 – 180 °C	130 – 140 °C
		Objetivo	145 °C	165 °C	175 °C	135 °C
		CPK	1,45	6,02	3,36	0,84

Fuente: Autores

Como resultado se obtuvo:

- Las cuatro zonas del inyector 1 de la maquina WT-02 se encuentran en control ya que tenemos un Cpk mayor a 1.
- La zona 1 y la zona 4 del inyector 2 de la maquina WT-02 no se encuentran en control ya que tenemos un Cpk menor a 1.
- Las cuatro zonas del inyector 1 de la maquina WT-05 no se encuentran en control ya que tenemos un Cpk menor a 1.
- La zona 4 del inyector 2 de la maquina WT-05 no se encuentran en control ya que tenemos un Cpk menor a 1.

Por experiencia del personal y del jefe de planta en la zona de inyección se indicó que la zona 4 al no estar controlada es normal, debido a que no tiene un ventilador como las demás y se encuentra unida a la zona 3 lo que imposibilita que se regule su temperatura.

Con estos resultados y los demás factores considerados como influyentes, se procedieron a diseñar los diseños experimentales para determinar las condiciones óptimas de operación.

**3.4.3. Diseño experimental de la máquina WT-02.**

El estudio se empezó con el inyector 1 y 2 de la máquina WT-02

**3.4.3.1. Diseño experimental del inyector 2 de la máquina WT-02**

Se empezó con el estudio del inyector 2 para determinar si el factor temperatura en las zonas es influyente en el proceso o no, los factores con sus respectivos niveles bajo estudio son:

**Tabla 3-3.** Factores y niveles del diseño 2<sup>4</sup>

ZONA 1 (°C)	CONTRA PRESION (%)	VELOCIDAD DEL TORNILLO (%)	TIEMPO DE CICLO (Seg/par)
135	0	50	27
145	40	100	32

Fuente: Autores

Las constantes para este diseño experimental fueron:

**Tabla 4-3.** Constantes del diseño 2<sup>4</sup>

CONSTANTES DEL DISEÑO 2 <sup>4</sup>	
Temperaturas (°C)	
Z2	155
Z3	160
Z4	130

Fuente: Autores

**Tabla 5-3.** Diseño experimental factorial 2<sup>4</sup>

Factores:	4	Diseño de la base:	4. 16
Corridas:	32	Réplicas:	2
Bloques:	1	Puntos centrales (total):	0

Fuente: Autores

**Tabla 6-3.**Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F
Contrapresión	1	0,007347	0,007347	149,01
Velocidad del tornillo	1	0,002897	0,002897	58,76
Tiempo de ciclo	1	0,004476	0,004476	90,77
Contrapresión*velocidad del tornillo	1	0,23481	0,23481	476,24
Velocidad del tornillo*tiempo de ciclo	1	0,000527	0,000527	10,70
Error	16	0,000789	0,000049	
Total	31	0,039873		

Fuente: Autores

Con ANOVA podemos concluir que el factor influyente en la reducción del porcentaje de defectos es el efecto individual contrapresión, velocidad del tornillo, tiempo de ciclo las interacciones dobles velocidad del tornillo por contrapresión, tiempo de ciclo por velocidad del tornillo.

### Resumen del modelo

R-cuad = 98,02%

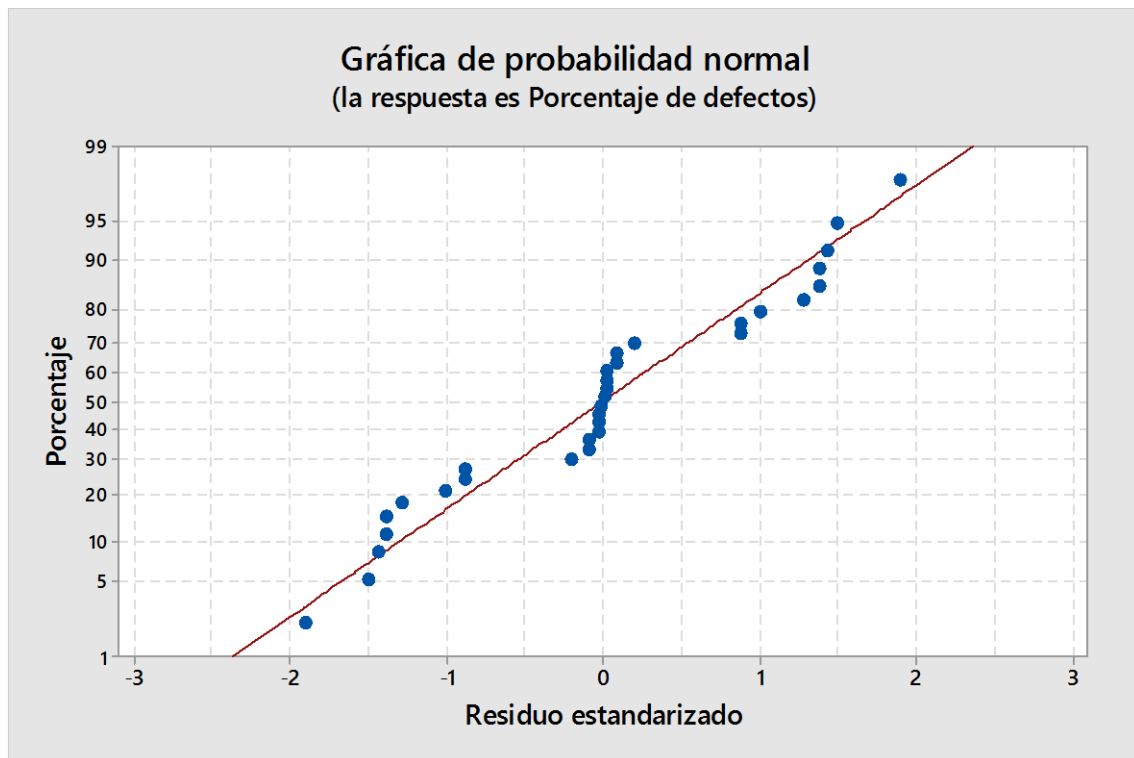
R-cuad (ajustado) = 96,17%

El  $R^2$  ajustado nos indica que el 96,17% de los factores estudiados influyen en el porcentaje de defectos mientras que un 3,83% son por otros factores.

### Ecuación de regresión

Porcentaje de defectos = 2,15 - 0,0667 Contrapresión - 0,0226 Velocidad del tornillo - 0,0635 Tiempo de ciclo + 0,000728 Contrapresión\*Velocidad del tornillo + 0,000668 Velocidad del tornillo\*Tiempo de ciclo

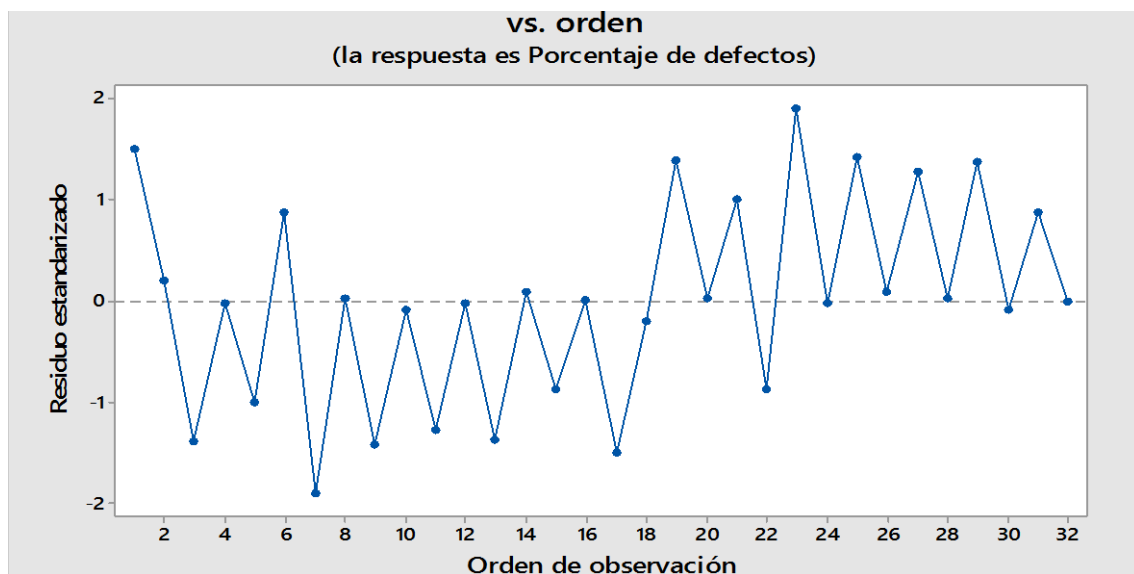
**Figura 20-3:** Gráfica del supuesto de Normalidad



Fuente: Autores

La Figura 21-3 indica la gráfica de probabilidad normal, donde los datos sobre el porcentaje de defectos, los residuos siguen una línea recta. Existe evidencia de normalidad, asimetría, variables no identificadas.

**Figura 21-3:** Gráfica del supuesto de independencia residuos vs orden  
vs. orden  
(la respuesta es Porcentaje de defectos)

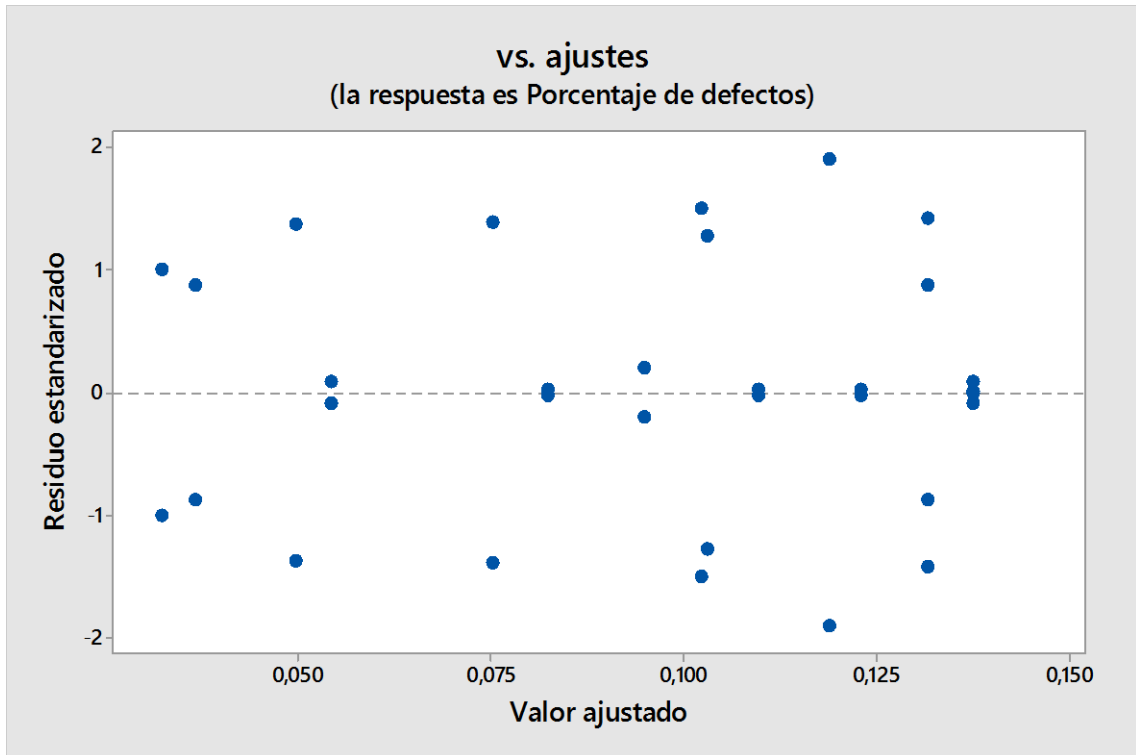


Fuente: Autores



La Figura 22-3 demuestra los residuos versus orden para los datos sobre el porcentaje de defectos, los residuos están dispersos aleatoriamente alrededor de cero. Existe evidencia de que los términos de error estén correlacionados entre sí, el supuesto de independencia se cumple.

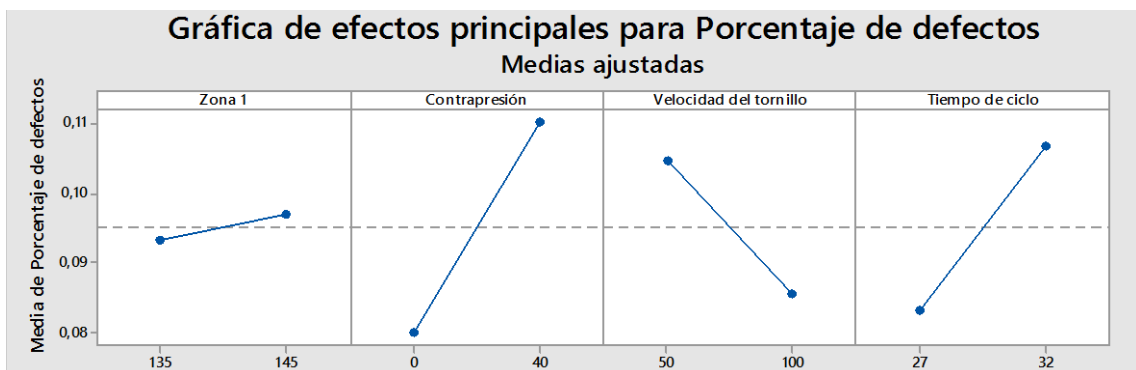
**Figura 22-3:** Gráfica del supuesto de homogeneidad de varianza residuos vs ajustes



Fuente: Autores

La Figura 23-3 indica los residuos versus ajustes, donde de acuerdo con esta gráfica, los residuos están dispersos aleatoriamente alrededor de cero. Existe evidencia de varianza constante, el supuesto de homogeneidad de varianza se cumple.

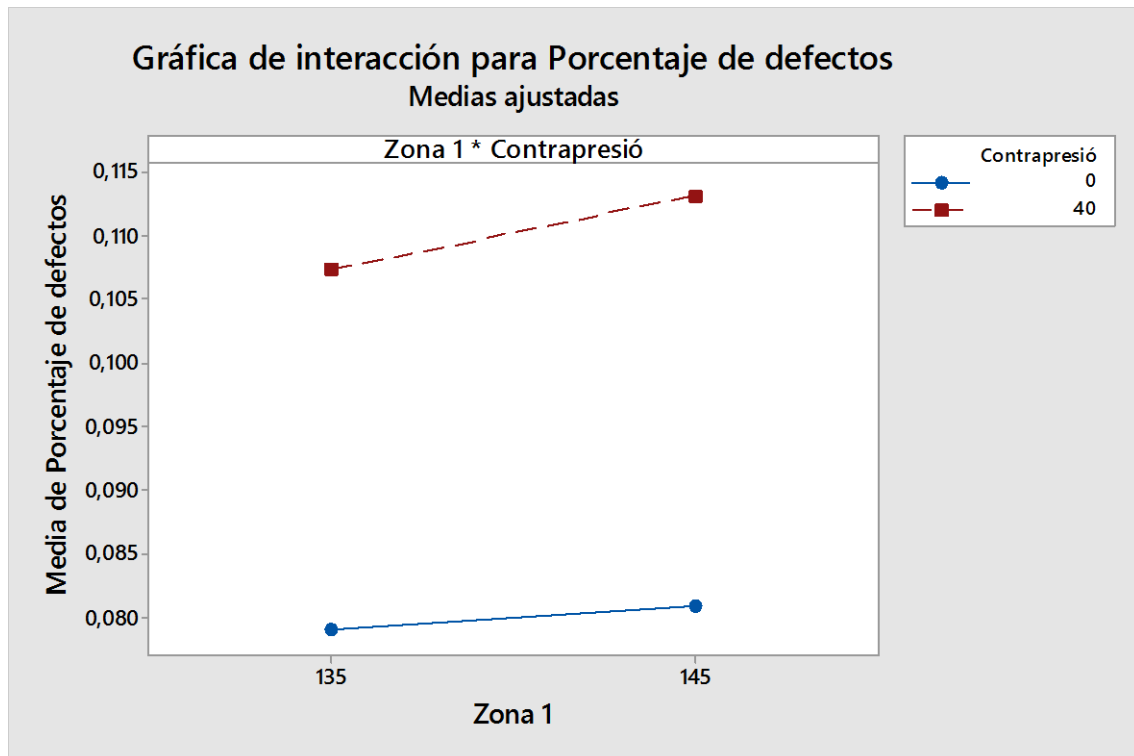
**Figura 23-3:** Gráfica de efectos principales



Fuente: Autores

En la Figura 24-3 se observa que para minimizar el porcentaje de defectos del producto se debe trabajar con una contrapresión de 0% así como trabajar con una velocidad del tornillo de 100% y un tiempo de ciclo de 27, la temperatura de la Zona 1 no es influyente ya que a una temperatura de 135 o 145 °C no tienen una diferencia significativa en la cantidad de defectos.

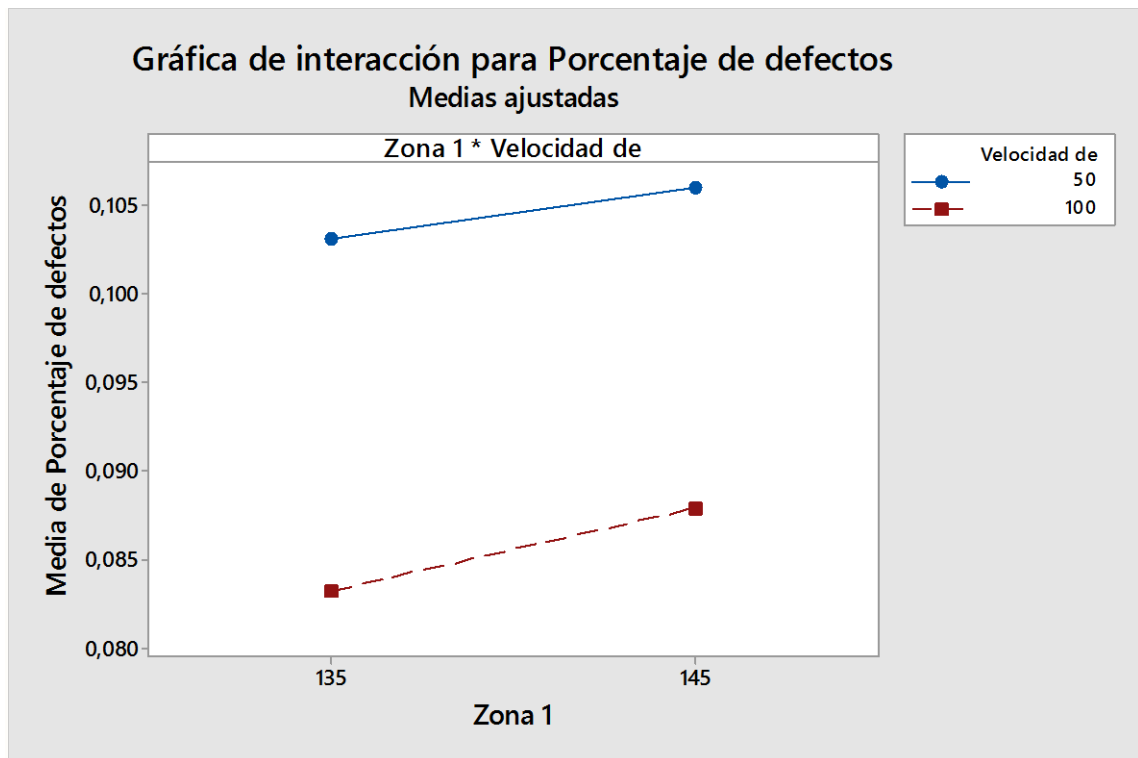
**Figura 24-3:** Gráfica de interacción zona 1 vs contrapresión



Fuente: Autores

En la Figura 25-3 se concluye que la temperatura en la zona 1 no es diferente con relación al porcentaje de defectos, por lo que a una temperatura de 135 °C va a dar la misma cantidad de defectos que a una temperatura a 145°C, sin embargo los niveles de la contrapresión son diferentes y se recomienda eliminar el factor Zona 1 para evaluar como los niveles de la contrapresión afectan en el proceso.

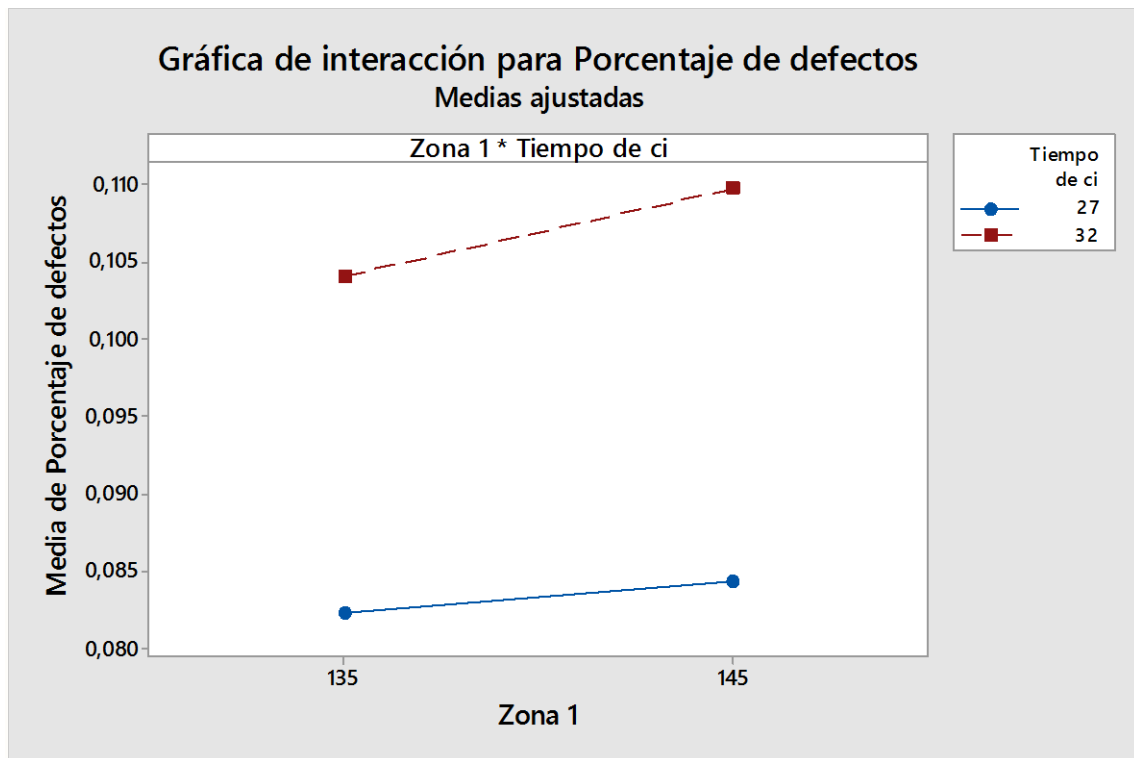
**Figura 25-3:** Gráfica de interacción zona 1 vs velocidad del tornillo



Fuente: Autores

En la Figura 26-3 se concluye que la temperatura en la zona 1 no es diferente con relación al porcentaje de defectos, por lo que a una temperatura de 135 °C va a dar la misma cantidad de defectos que a una temperatura a 145°C, sin embargo los niveles de la velocidad son diferentes.

**Figura 26-3:** Gráfica de interacción zona 1 vs tiempo de ciclo



Fuente: Autores

En la Figura 27-3 se concluye que la temperatura en la zona 1 no es diferente con relación al porcentaje de defectos, por lo que a una temperatura de 135 °C va a dar la misma cantidad de defectos que a una temperatura a 145°C, sin embargo los niveles del tiempo de ciclo son diferentes.

### Resultado

Por observación y por el diseño experimental  $2^4$  se determinó que la temperatura no es un factor influyente en el proceso ya que mientras se realizaba el diseño experimental con los niveles de la velocidad del tornillo y la contrapresión la temperatura real variaba de la saeteada en la máquina y el diseño experimental tanto en la gráfica de intervalos como en la de efectos de interacción obtuvimos que la temperatura no es un factor influyente, al igual que en la tabla Anova.

Por consiguiente se realizó otro diseño experimental con los siguientes factores y sus respectivos niveles que se detallan a continuación:

**Tabla 7-3.**Factores y niveles del diseño 2<sup>3</sup>

CONTRA PRESION (% psi)	VELOCIDAD DEL TORNILLO (%)	TIEMPO DE CICLO (seg/par)
0	50	27
40	100	32

Fuente: Autores

Las constantes para este diseño experimental fueron:

**Tabla 8-3.**Constantes del diseño 2<sup>4</sup>

CONSTANTE	
Temperaturas (°C)	
Z1	140
Z2	155
Z3	160
Z4	130

Fuente: Autores

**Tabla 9-3.**Diseño experimental factorial 2<sup>3</sup>

Factores:	3	Diseño de la base:	3. 8
Corridas:	16	Réplicas:	2
Bloques:	1	Puntos centrales (total):	0

Fuente: Autores

**Tabla 10-3.**Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F
Contra presión	1	0,000694	0,000694	7,96
Contra presión*velocidad del tornillo	1	0,000922	0,000922	10,58
Contra presión*tiempo de ciclo	1	0,000694	0,000694	7,96
Velocidad del tornillo*tiempo de ciclo	1	0,001102	0,001102	12,64
Contra presión*velocidad del tornillo*tiempo de ciclo	1	0,000922	0,000922	10,58
Error	8	0,000697	0,000087	
Total	15	0,005651		

Fuente: Autores

Con el ANOVA podemos concluir que los factor influyente en la reducción del porcentaje de defectos es el efecto individual contrapresión, las interacciones dobles velocidad del tornillo por contrapresión, tiempo de ciclo por contrapresión, velocidad del tornillo por tiempo de ciclo y la interacción triple contrapresión por velocidad del tornillo por tiempo de ciclo.

### Resumen del modelo

R-cuad = 87,66%

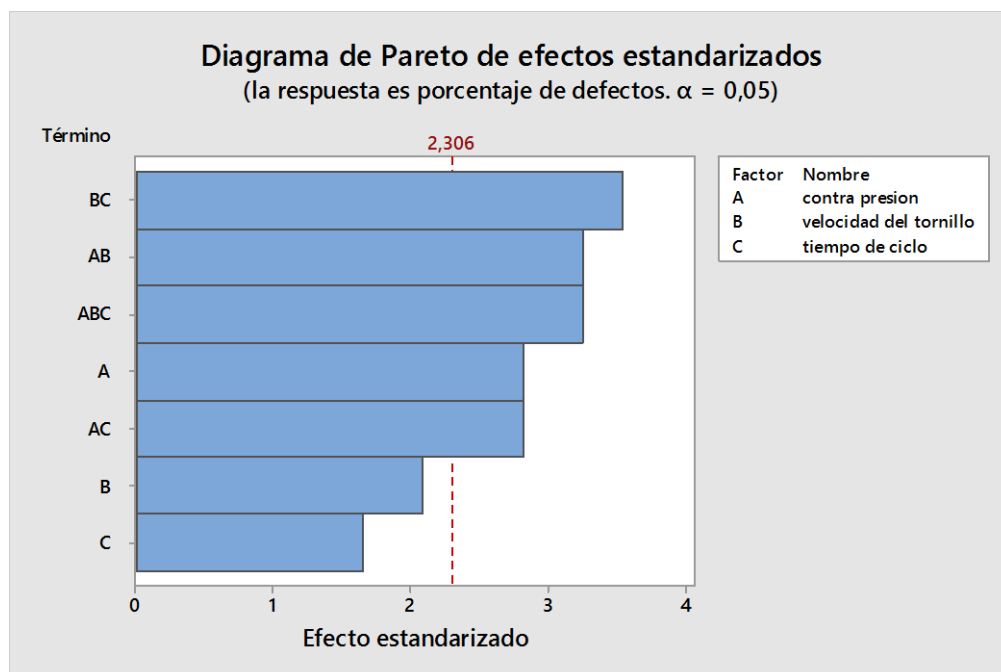
R-cuad (ajustado) = 76,87%

El  $R^2$  ajustado nos indica que el 76,87% de los factores estudiados influyen en el porcentaje de defectos mientras que un 23,13% son por otros factores.

### Ecuación de regresión

Porcentaje de defectos = 0,561 - 0,01036 contra presión  
 + 0,000194 contra presión\*velocidad del tornillo + 0,000324 contra presión\*tiempo de ciclo  
 + 0,000254 velocidad del tornillo\*tiempo de ciclo  
 - 0,000006 contra presión\*velocidad del tornillo\*tiempo de ciclo

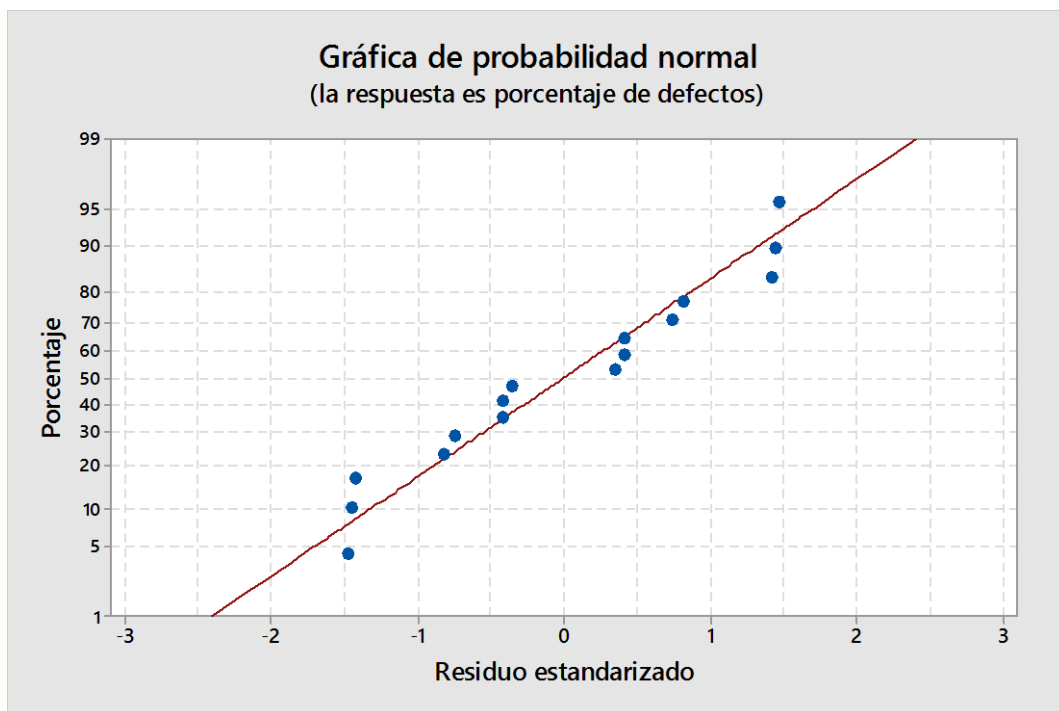
**Figura 27-3:** Diagrama de Pareto



Para los datos sobre el porcentaje de defectos, existen cinco efectos significativos ( $\alpha = 0.05$ ). Estos efectos significativos incluyen el efecto principal contrapresión (A), los efectos de interacción: velocidad del tornillo por tiempo de ciclo (BC), contrapresión por velocidad del tornillo (AB), contrapresión por velocidad del tornillo por tiempo de ciclo (ABC) y contrapresión por tiempo de ciclo (AC).

Además, se puede observar que el efecto más grande es la velocidad del tornillo por tiempo de ciclo (BC) porque es el que más se extiende. El efecto tiempo de ciclo (C) es el más pequeño porque es el que menos se extiende.

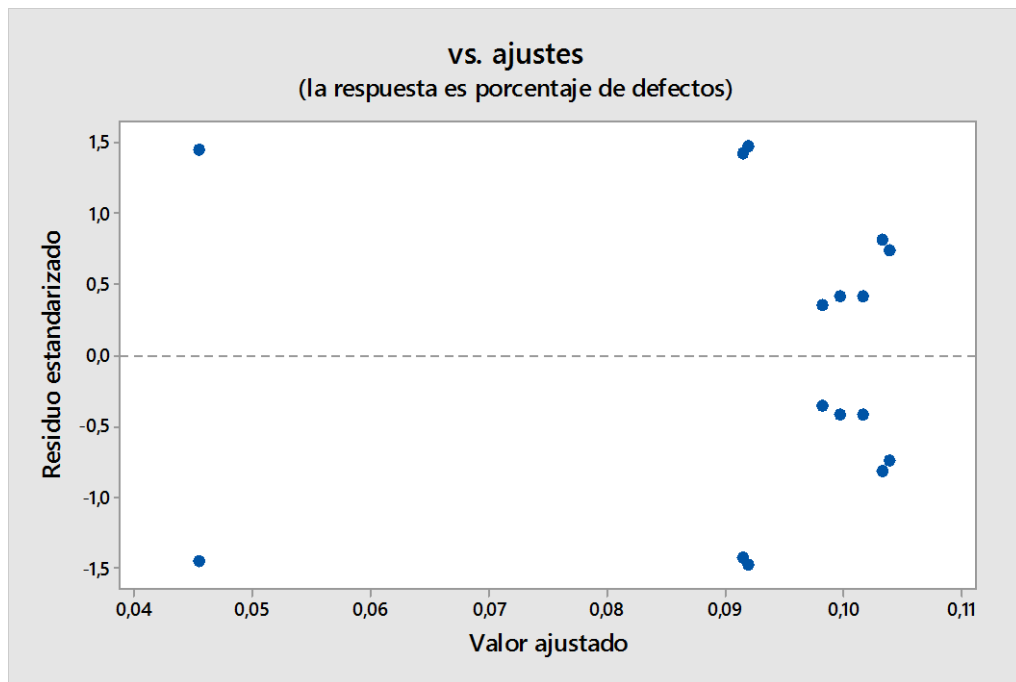
**Figura 28-3:** Gráfica del supuesto de normalidad



Fuente: Autores

La Figura 29-3 indica la gráfica de probabilidad normal, donde los datos sobre el porcentaje de defectos, los residuos siguen una línea recta. Existe evidencia de Normalidad, asimetría, variables no identificadas.

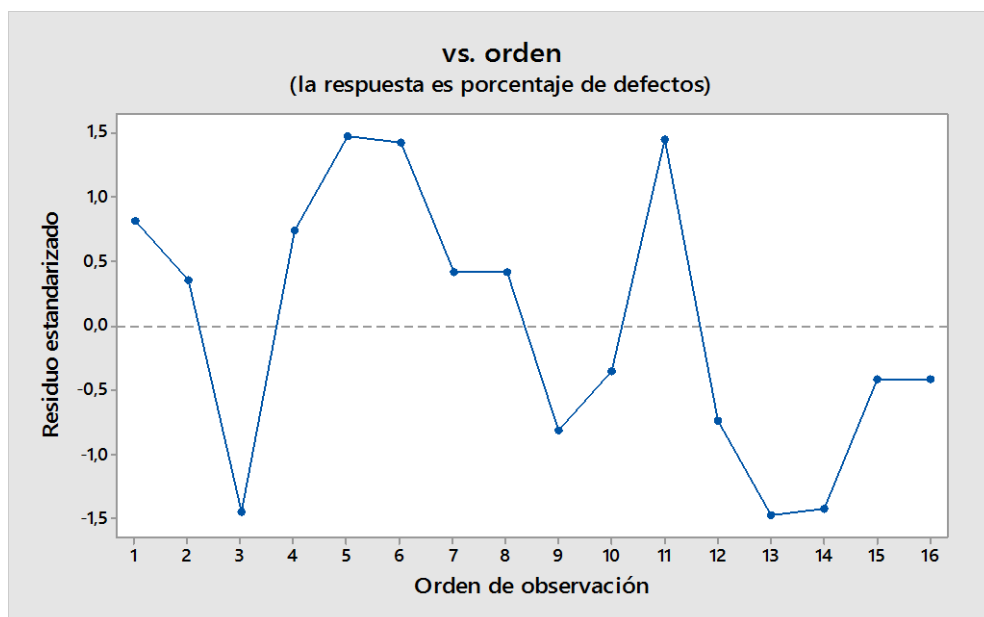
**Figura 29-3:** Gráfica del supuesto de homogeneidad de varianza residuos vs ajustes



Fuente: Autores

Figura 30-3 indica los residuos versus ajustes, de acuerdo con esta gráfica, los residuos están dispersos aleatoriamente alrededor de cero. No existe evidencia de varianza no constante, términos faltantes.

**Figura 30-3:** Gráfica del supuesto de independencia residuos vs orden

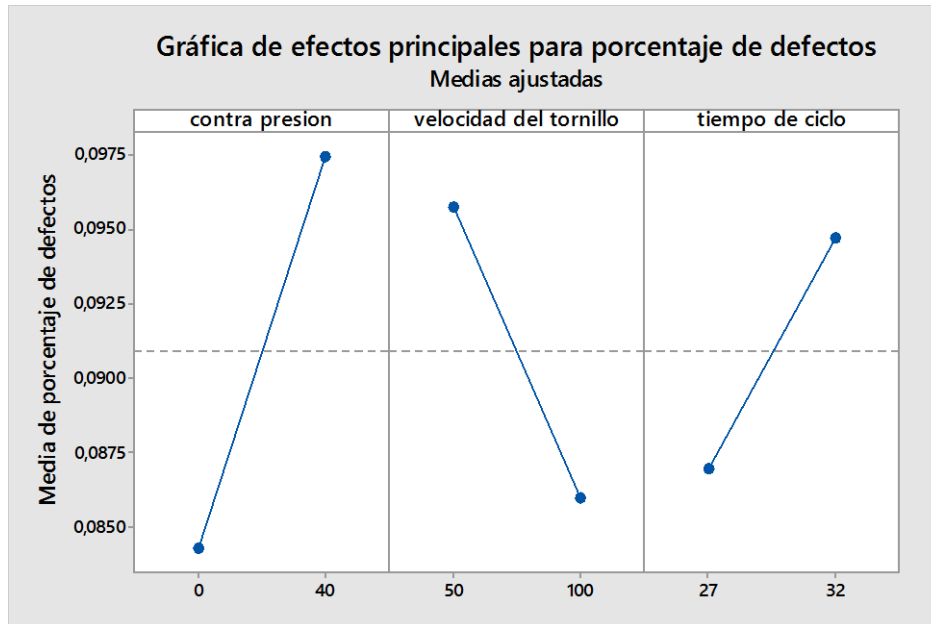


Fuente: Autores



La Figura 31-3 indica los residuos versus ajustes, donde los datos sobre el porcentaje de defectos, los residuos están dispersos aleatoriamente alrededor de cero. No existe evidencia de que los términos de error estén correlacionados entre sí.

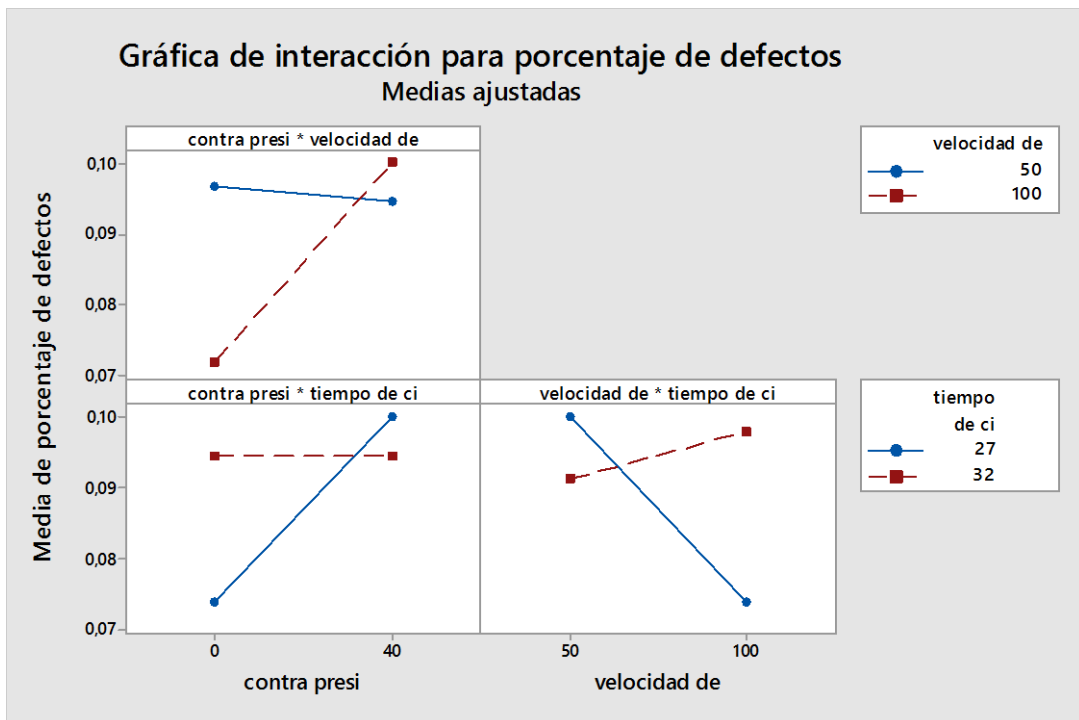
**Figura 31-3:** Gráfica de efectos principales



Fuente: Autores

En la Figura 32-3 se observa que para minimizar el porcentaje de defectos del producto se debe trabajar con una contrapresión de 0% así como trabajar con una velocidad del tornillo de 100% y un tiempo de ciclo de 27.

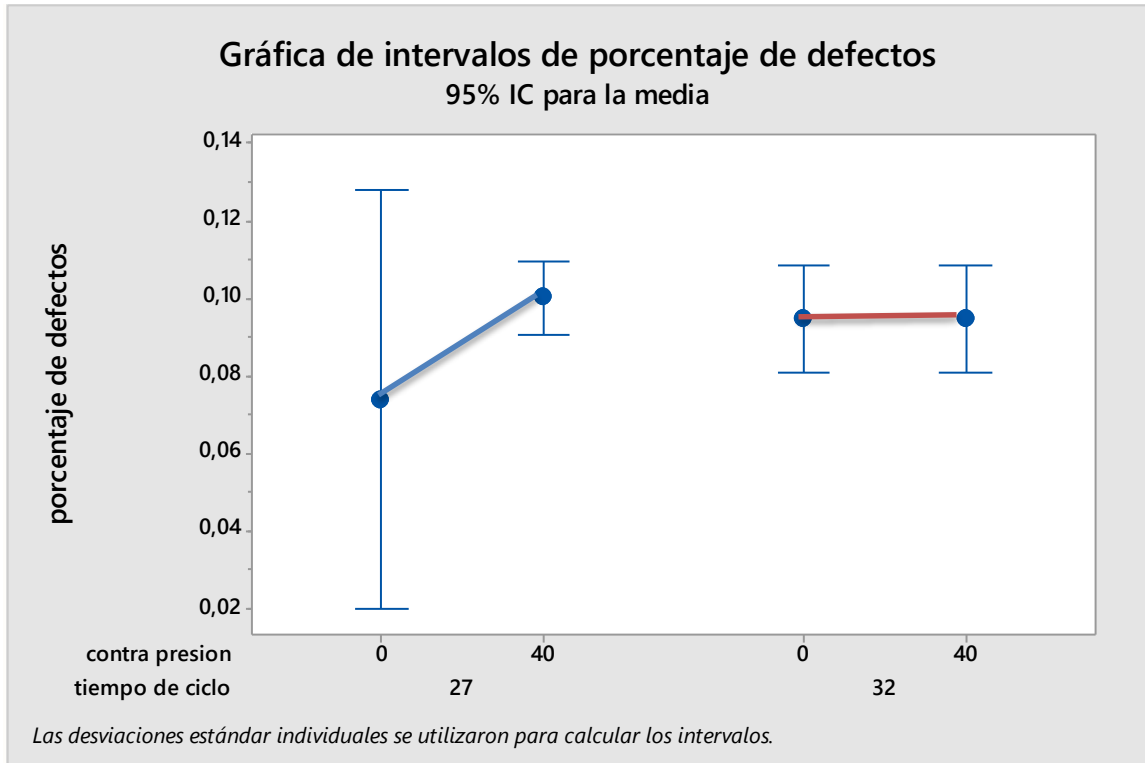
**Figura 32-3:** Gráfica de interacción medias ajustadas



Fuente: Autores

La Figura 33-3 nos indica que para obtener un porcentaje de defectos bajo se debe trabajar con una contrapresión de 0% y con una velocidad del tornillo de 100% para lograr reducir el tiempo de ciclo a 27 pares por segundo, no es recomendable trabajar a una contrapresión de 40% y una velocidad del tornillo de 50% por que el porcentaje de defectos incrementa.

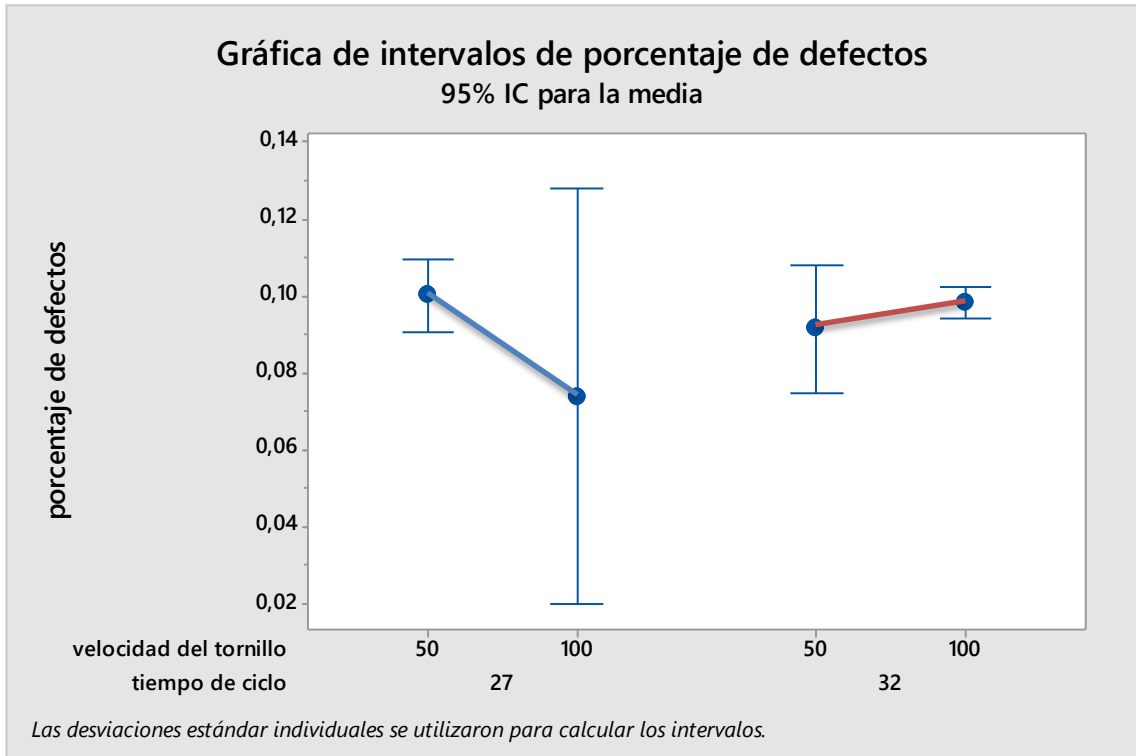
**Figura 33-3:** Gráfica de intervalos contrapresión vs tiempo de ciclo



**Fuente:** Autores

En la Figura 34-3 se concluye que la contrapresión si es diferente con relación al porcentaje de imperfecciones, por lo que se recomienda utilizar una contrapresión de 0% para la elaboración de la bota infantil ya que de esta manera se obtiene un porcentaje de defectos mínimo con un tiempo de ciclo de 27 segundos por par que es lo que se desea.

**Figura 34-3:** Gráfica de intervalos velocidad del tornillo vs tiempo de ciclo



Fuente: Autores

En la Figura 35-3 se concluye que la velocidad del tornillo si es diferente con relación al porcentaje de imperfecciones, por lo que se recomienda utilizar una velocidad del tornillo de 100% para la elaboración de la bota infantil ya que de esta manera se obtiene un porcentaje de defectos mínimo con un tiempo de ciclo de 27 segundos por par que es lo que se desea.

### Resultado

El diseño experimental determino que las condiciones óptimas para el proceso de producción de la bota infantil deberían ser una contrapresión de 0% (100 PSI) y a una velocidad del tornillo de 100% (120 RPM) para poder trabajar con un tiempo de ciclo de 27 segundos por par que es lo que busca la empresa lo que se demostró tanto en las gráficas de interacción, grafica de intervalos y tabla Anova.

3.4.3.2. *Diseño experimental del inyector 1 de la máquina WT-02*

Los factores de este diseño con sus niveles están detallados a continuación:

**Tabla 11-3.** Factores y niveles del diseño  $2^3$

CONTRA PRESION (% psi)	VELOCIDAD DEL TORNILLO (%)	TIEMPO DE CICLO (seg/par)
0	50	27
40	100	32

Fuente: Autores

Las constantes para este diseño experimental fueron:

**Tabla 12-3.** Constantes del diseño  $2^3$

CONSTANTE	
Temperaturas (°C)	
Z1	135
Z2	160
Z3	160
Z4	135

Fuente: Autores

**Tabla 13-3.** Diseño experimental factorial  $2^3$

Factores:	3	Diseño de la base:	3. 8
Corridas:	16	Réplicas:	2
Bloques:	1	Puntos centrales (total):	0

Fuente: Autores

**Tabla 14-3.**Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F
Contra presión*tiempo de ciclo	1	0,002687	0,002687	7,27
Velocidad del tornillo*tiempo de ciclo	1	0,008187	0,008187	22,14
Contra presión*velocidad del tornillo*tiempo de ciclo	1	0,006466	0,006466	17,49
Error	8	0,002958	0,000370	
Total	15	0,021142		

Fuente: Autores

Con el ANOVA podemos concluir que los factores influyentes en la reducción del porcentaje de defectos son los efectos de interacción doble velocidad del tornillo por contrapresión, velocidad del tornillo por tiempo de ciclo y la interacción triple contrapresión por velocidad del tornillo por tiempo de ciclo.

#### Resumen del modelo

R-cuad = 86,01%

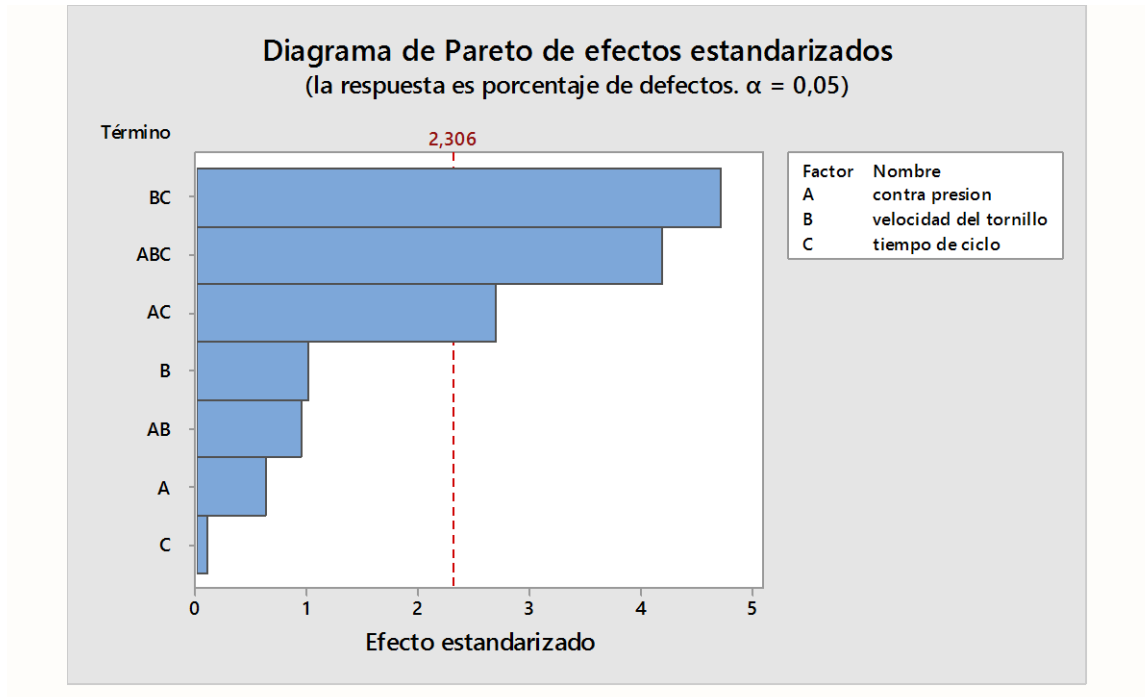
R-cuad (ajustado) = 73,77%

El  $R^2$  ajustado nos indica que el 73,77% de los factores estudiados influyen en el porcentaje de defectos mientras que un 26,23% son por otros factores.

#### Ecuación de regresión

Porcentaje de defectos = - 0,000947 contra presión\*tiempo de ciclo  
- 0,000684 velocidad del tornillo\*tiempo de ciclo  
+ 0,000016 contra presión\*velocidad del tornillo\*tiempo de ciclo

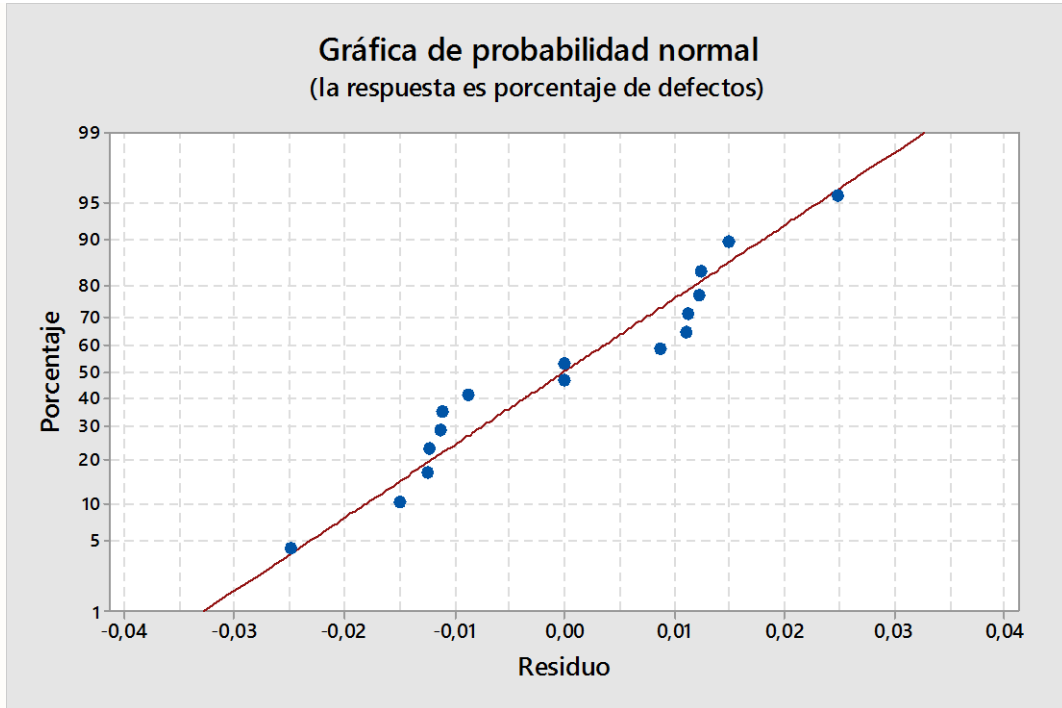
**Figura 35-3:** Diagrama de Pareto



Para los datos sobre el porcentaje de defectos, existen tres efectos significativos ( $\alpha = 0.05$ ). Estos efectos significativos incluyen los efectos de interacción: velocidad del tornillo por tiempo de ciclo (BC), contrapresión por velocidad del tornillo por tiempo de ciclo (ABC) y contrapresión por tiempo de ciclo (AC).

Además, usted puede observar que el efecto más grande es la velocidad del tornillo por tiempo de ciclo (BC) porque es el que más se extiende. El efecto tiempo de ciclo (C) es el más pequeño porque es el que menos se extiende.

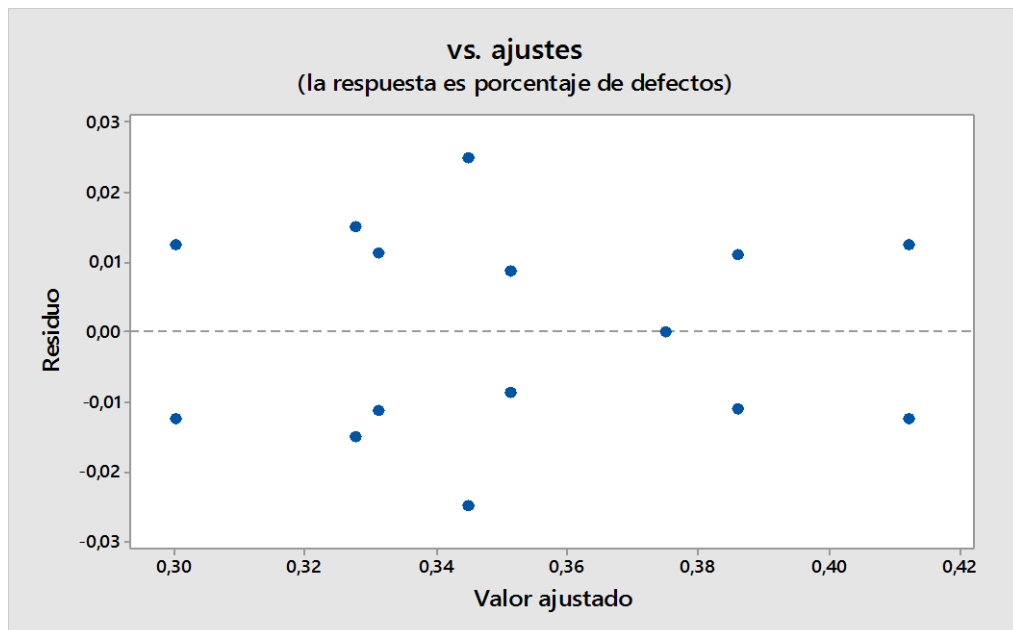
**Figura 36-3:** Gráfica de supuesto de normalidad



Fuente: Autores

Figura 37-3 muestra los datos sobre el porcentaje de defectos, los residuos siguen una línea recta. No existe evidencia de no normalidad, asimetría, variables no identificadas.

**Figura 37-3:** Gráfica de supuesto de homogeneidad de varianza residuos vs ajustes

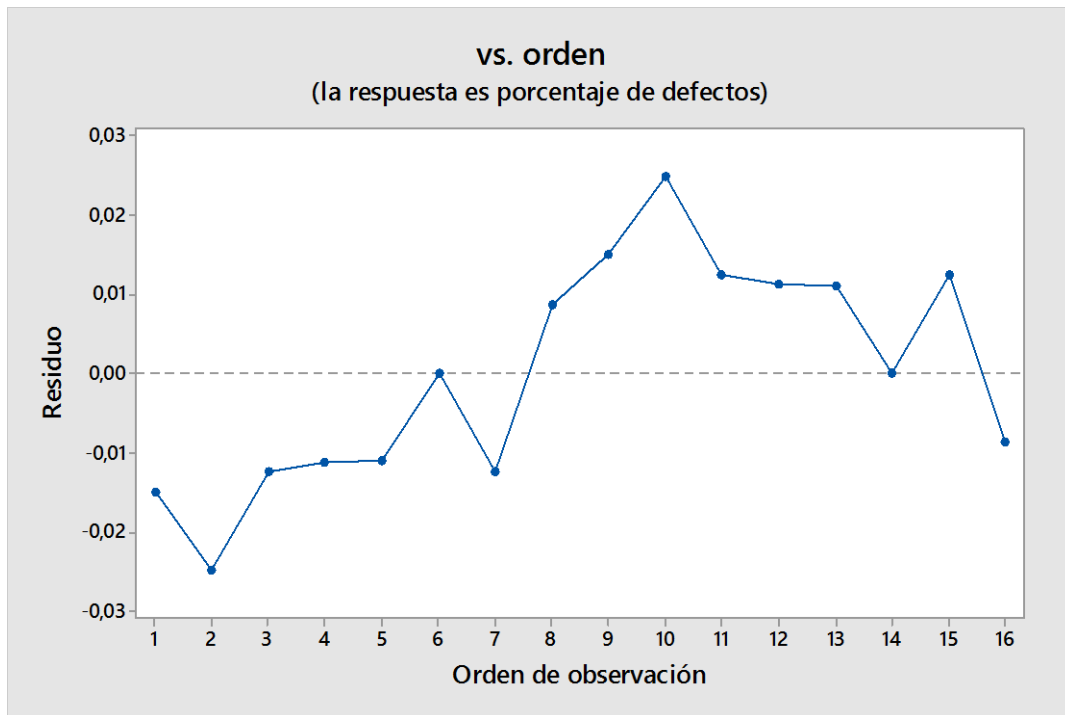




Fuente: Autores

Figura 38-3 indica los residuos versus ajustes, donde de acuerdo con esta gráfica, los residuos están dispersos aleatoriamente alrededor de cero. No existe evidencia de varianza no constante.

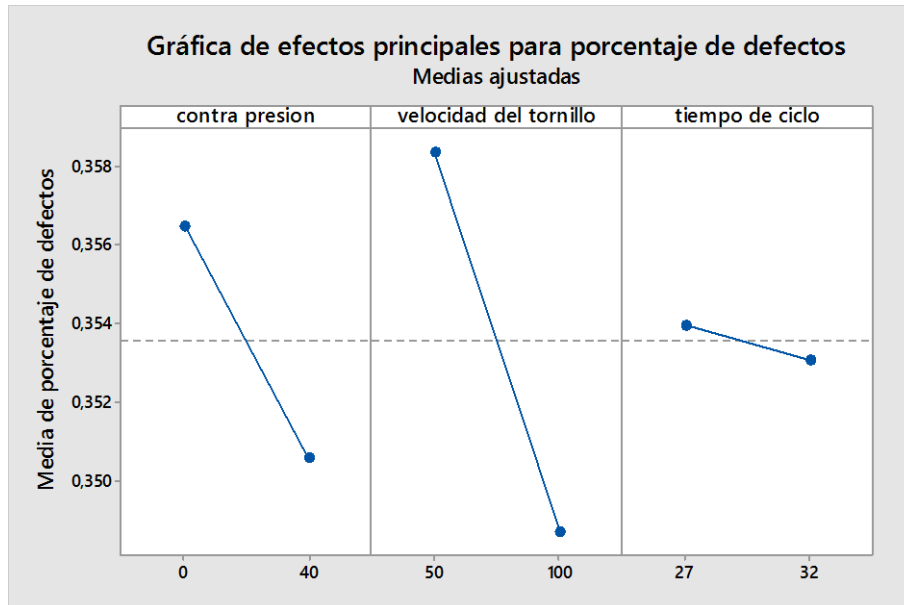
**Figura 38-3:** Gráfica de supuesto de independencia residuos vs orden



Fuente: Autores

La Figura 39-3 indica los residuos versus ajustes, donde los datos sobre el porcentaje de defectos, los residuos están dispersos aleatoriamente alrededor de cero. No existe evidencia de que los términos de error estén correlacionados entre sí.

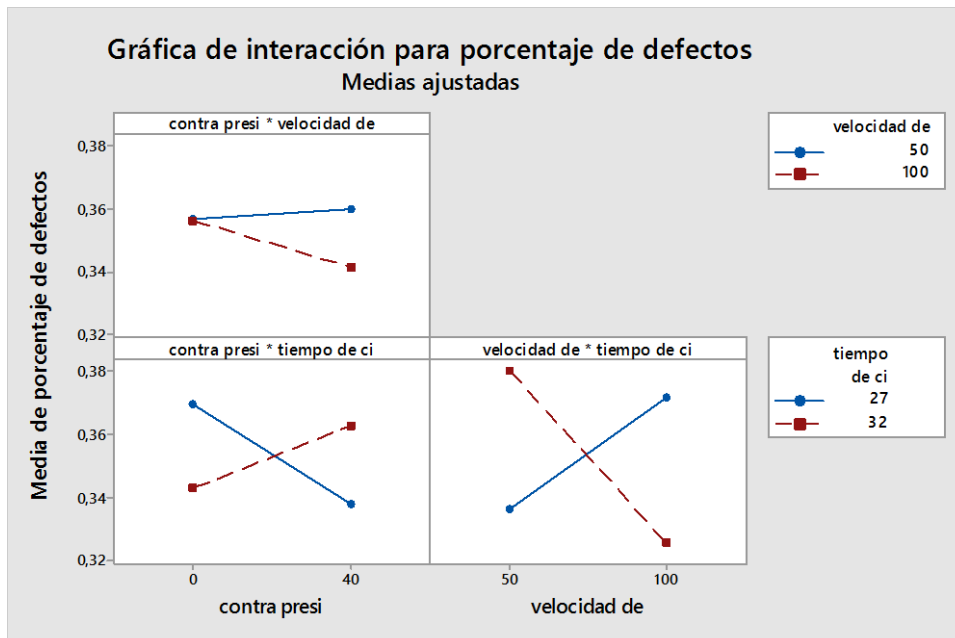
**Figura 39-3:** Gráfica de efectos principales medias ajustadas



Fuente: Autores

En la Figura 40-3 se observa que para minimizar el porcentaje de defectos del producto se debe trabajar con una contrapresión de 40% así como trabajar con una velocidad del tornillo de 100% y un tiempo de ciclo de 32.

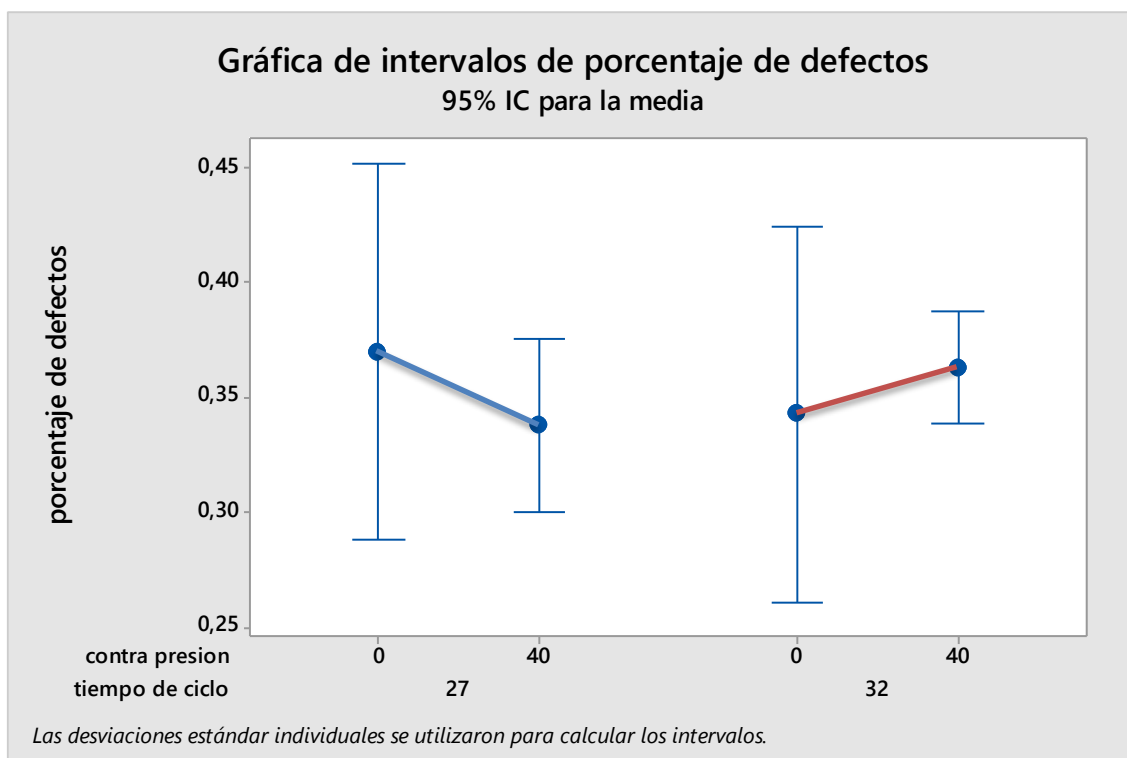
**Figura 40-3:** Gráfica de interacción medias ajustadas



Fuente: Autores

La Figura 41-3 indica que para obtener un porcentaje de defectos bajo se debe trabajar con una contrapresión de 0 o 40% y con una velocidad del tornillo de 50 o 100% de esta manera se puede trabajar a tiempo de ciclo de 27 o 32 pares por segundo, lo que no nos indica cual nivel es el más óptimo para trabajar con un tiempo de ciclo de 27 pares por segundo.

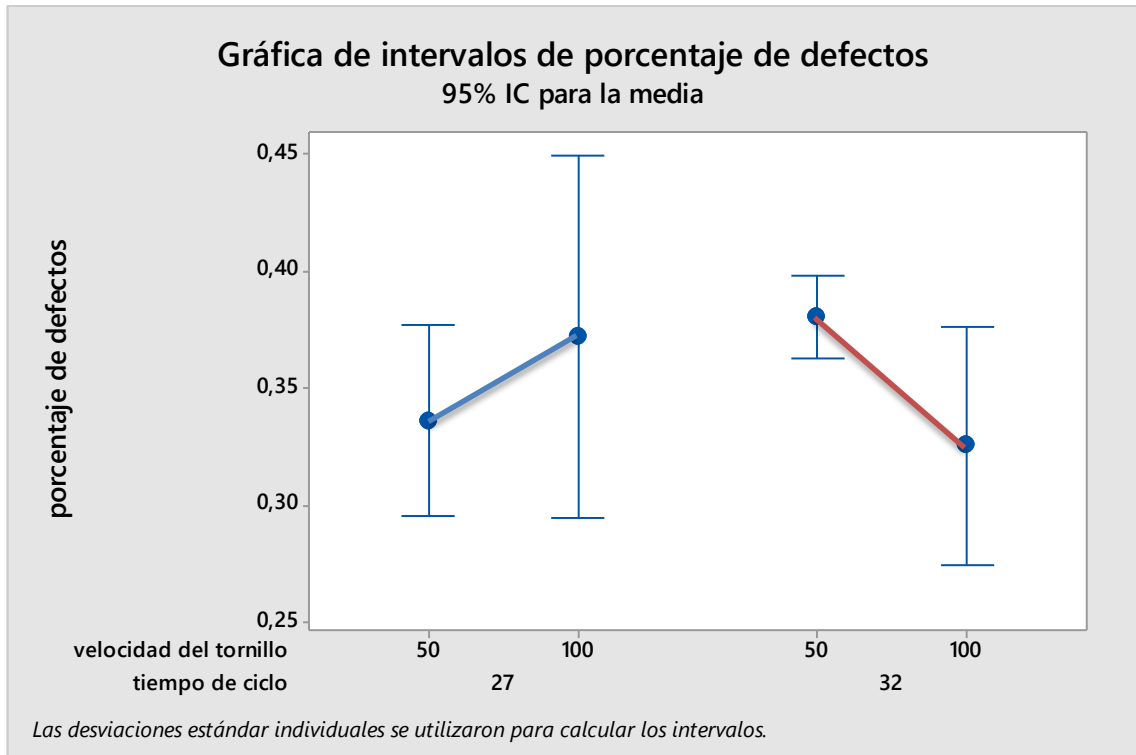
**Figura 41-3:** Gráfica de intervalos contrapresión vs tiempo de ciclo



Fuente: Autores

En la Figura 42-3 se concluye que la contrapresión a 0% con un tiempo de ciclo de 32 segundos por par y una contrapresión de 40% y un tiempo de ciclo de 27 segundos por par, son opciones óptimas para la elaboración de la bota infantil, sin embargo se desea trabajar a un tiempo de ciclo de 27 segundos por par por lo que se escogería la contrapresión a 40%.

**Figura 42-3:** Gráfica de intervalos tiempo de ciclo vs velocidad del tornillo



Fuente: Autores

En la Figura 43-3 concluye que la velocidad del tornillo a 100% con un tiempo de ciclo de 32 segundos por par y una velocidad del tornillo de 50% y un tiempo de ciclo de 27 segundos por par, son opciones óptimas para la elaboración de la bota infantil, sin embargo se desea trabajar a un tiempo de ciclo de 27 segundos por par por lo que se escogería la velocidad del tornillo a 50%.

### Resultado

El diseño experimental determinó que las condiciones óptimas para el proceso de producción de la bota infantil deberían ser una contrapresión de 40% (150 PSI) y a una velocidad del tornillo de 100% (120 RPM) para poder trabajar con un tiempo de ciclo de 32 segundos por par que no es lo que busca la empresa por ende se elimina el factor tiempo de ciclo para tener un tiempo constante de 27 segundos por par y se recomienda realizar un nuevo diseño experimental con tres niveles.

### 3.4.4. *Diseño experimental de la máquina WT-05.*

Estudio del inyector 1 y 2 de la máquina WT-05

#### 3.4.4.1. *Diseño experimental del inyector 1 de la máquina WT-05*

Los factores de este diseño con sus niveles están detallados a continuación:

**Tabla 15-3.** Factores y niveles del diseño 3<sup>2</sup>

CONTRA PRESION (% psi)	VELOCIDAD DEL TORNILLO (%)
0	50
10	75
20	100

Fuente: Autores

Las constantes para este diseño experimental fueron:

**Tabla 16-3.** Constantes del diseño 3<sup>2</sup>

CONSTANTE	
Temperaturas (°C)	
Z1	160
Z2	165
Z3	165
Z4	130
Tiempo de ciclo (seg.)	
27	

Fuente: Autores

**Tabla 17-3.**Diseño experimental factorial 3<sup>2</sup>

Factores:	2	Réplicas:	2
Corridas base:	9	Total de corridas:	18
Bloques base:	1	Total de bloques:	1
Número de niveles:	3. 3		

Fuente: Autores

**Tabla 18-3.**Información del factor

Factor	Niveles	Valores		
Contrapresión	3	0	10	20
Velocidad del tornillo	3	50	75	100

Fuente: Autores

**Tabla 19-3.**Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Contrapresión	2	0,019260	0,009630	46,65	0,000
Velocidad del tornillo	2	0,000840	0,000420	2,03	0,187
Contra presión*Velocidad. del tornillo	4	0,013648	0,003412	16,53	0,000
Error	9	0,001858	0,000206		
Total	17	0,035606			

Fuente: Autores

Con el ANOVA podemos concluir que los factores influyentes en la reducción del porcentaje de defectos son el efecto principal contrapresión y el efecto de interacción doble velocidad del tornillo por contrapresión.

### Resumen del modelo

R-cuad = 94,78%

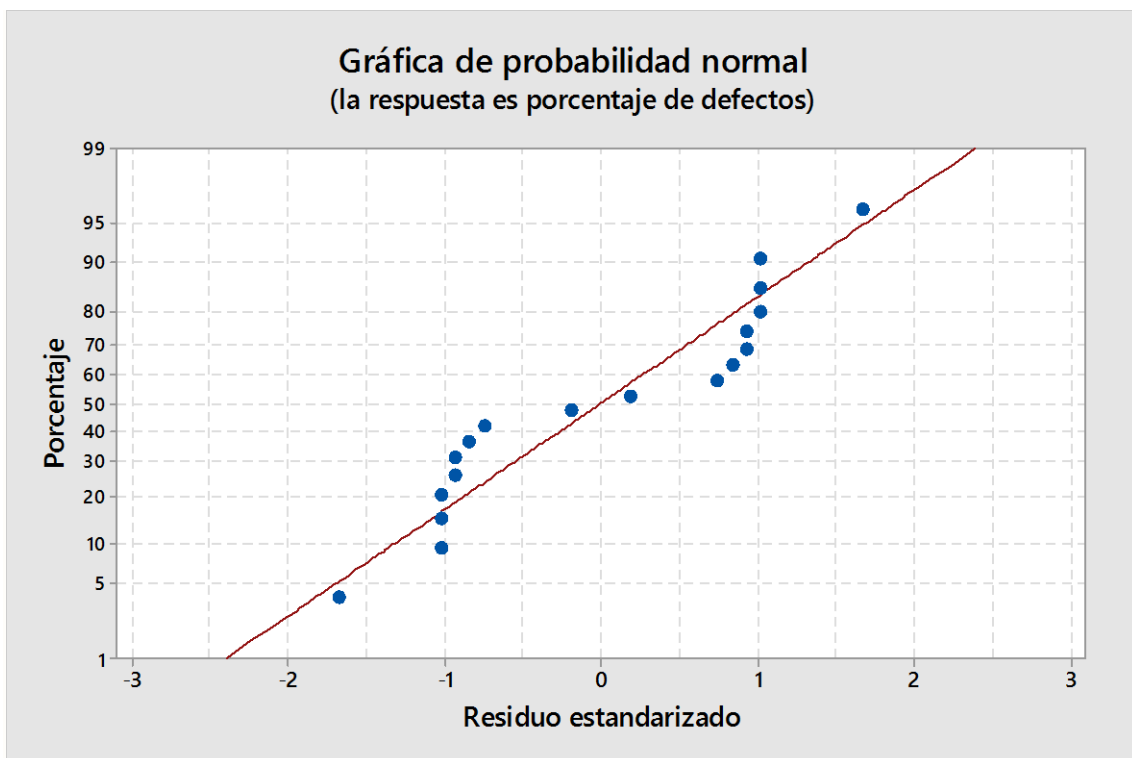
R-cuad (ajustado) = 90,14%

El R<sup>2</sup> ajustado nos indica que el 90,14% de los factores estudiados influyen en el porcentaje de defectos mientras que un 9,86% son por otros factores.

Ecuación de regresión

$$\begin{aligned} \text{Porcentaje de defectos} = & 0,12395 - 0,04472 \text{ contrapresión}_0 + 0,01210 \text{ contrapresión}_{10} \\ & + 0,03262 \text{ contrapresión}_{20} + 0,02673 \text{ contrapresión} * \text{velocidad del tornillo}_0 \quad 50 \\ & - 0,01936 \text{ contrapresión} * \text{velocidad del tornillo}_{10} \quad 100 \\ & - 0,03767 \text{ contrapresión} * \text{velocidad del tornillo}_{10} \quad 50 \\ & + 0,04472 \text{ contrapresión} * \text{velocidad del tornillo}_{10} \quad 75 \\ & - 0,03735 \text{ contrapresión} * \text{velocidad del tornillo}_{20} \quad 75 \\ & + 0,02641 \text{ contrapresión} * \text{velocidad del tornillo}_{20} \quad 100 \end{aligned}$$

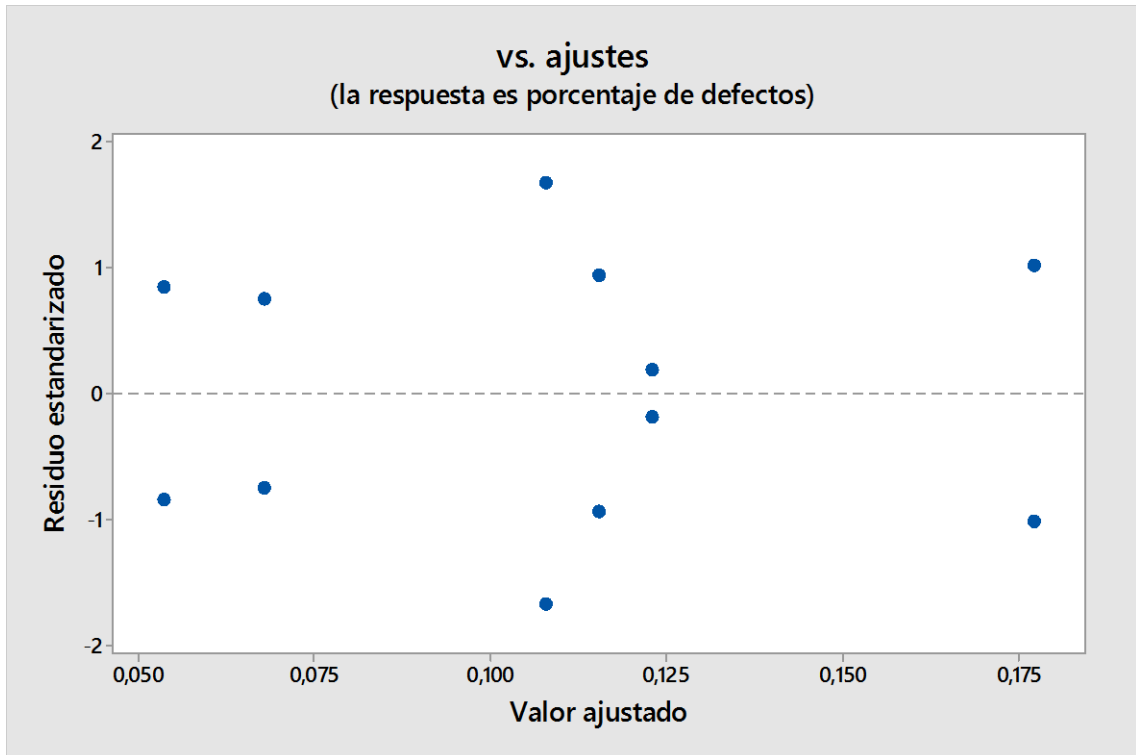
**Figura 43-3:** Gráfica de supuesto normalidad



Fuente: Autores

Figura 44-3 indica que para los datos sobre el porcentaje de defectos, los residuos parecen seguir una línea recta. No existe evidencia de no normalidad, asimetría.

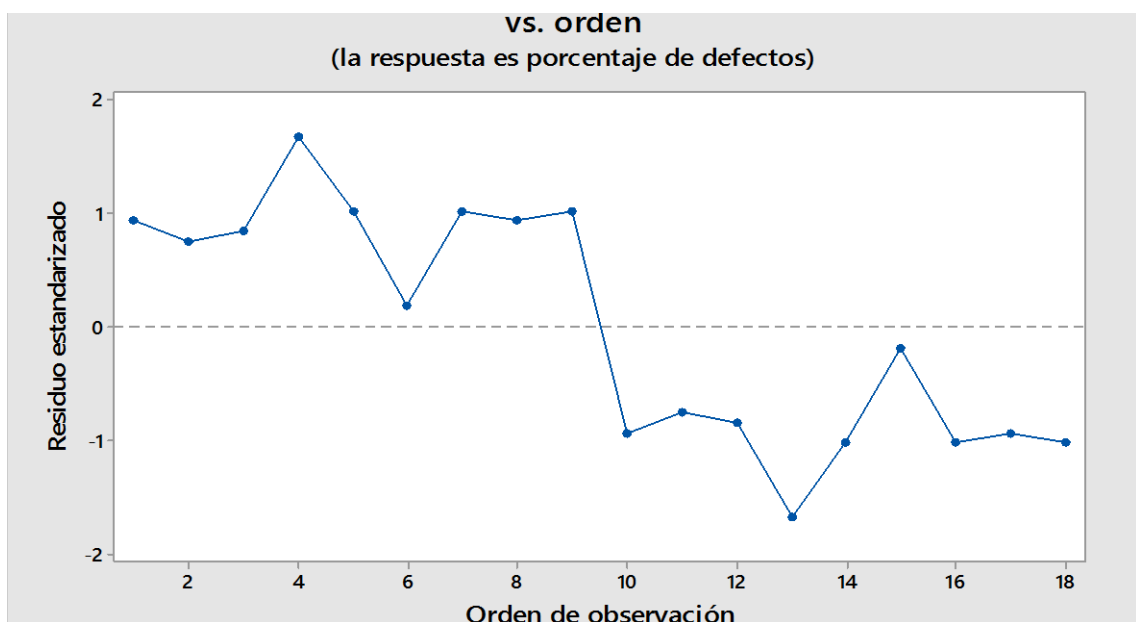
**Figura 44-3:** Gráfica de supuesto homogeneidad de varianza residuos vs ajustes



Fuente: Autores

Figura 45-3 indica los residuos versus ajustes, donde de acuerdo con esta gráfica, los residuos están dispersos aleatoriamente alrededor de cero. No existe evidencia de varianza no constante.

**Figura 45-3:** Gráfica de supuesto de independencia residuos vs orden

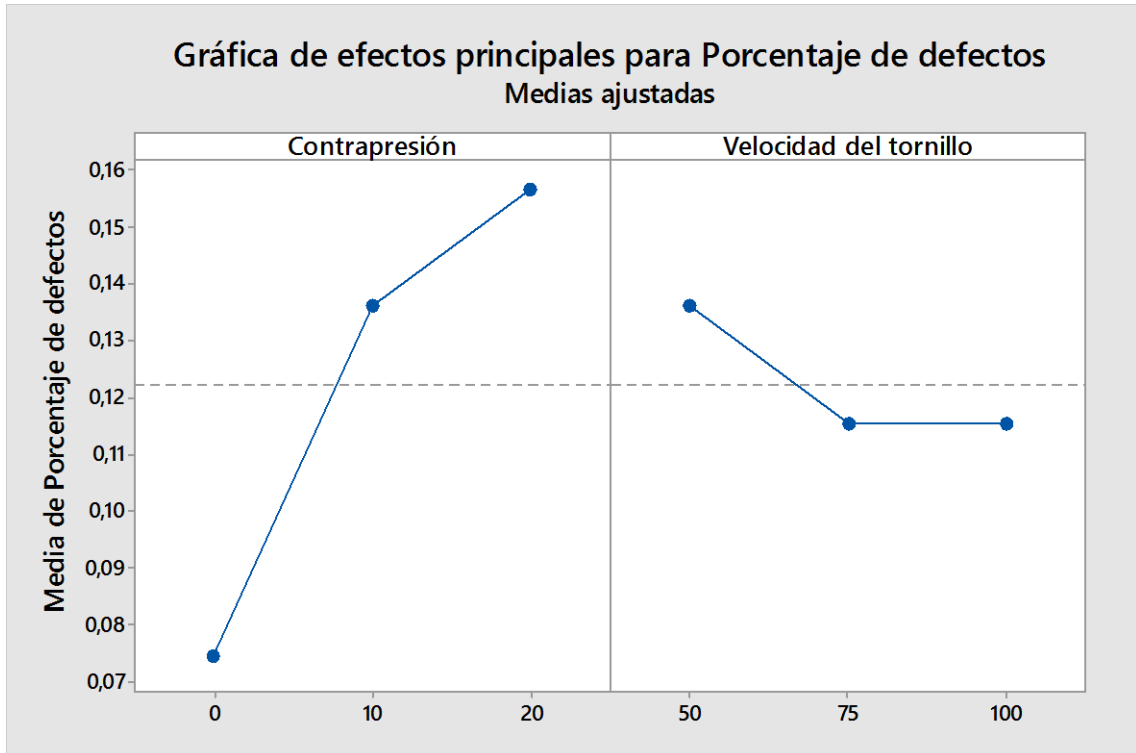




Fuente: Autores

La Figura 46-3 indica los residuos versus ajustes, donde los datos sobre el porcentaje de defectos, los residuos están dispersos aleatoriamente alrededor de cero. No existe evidencia de que los términos de error estén correlacionados entre sí.

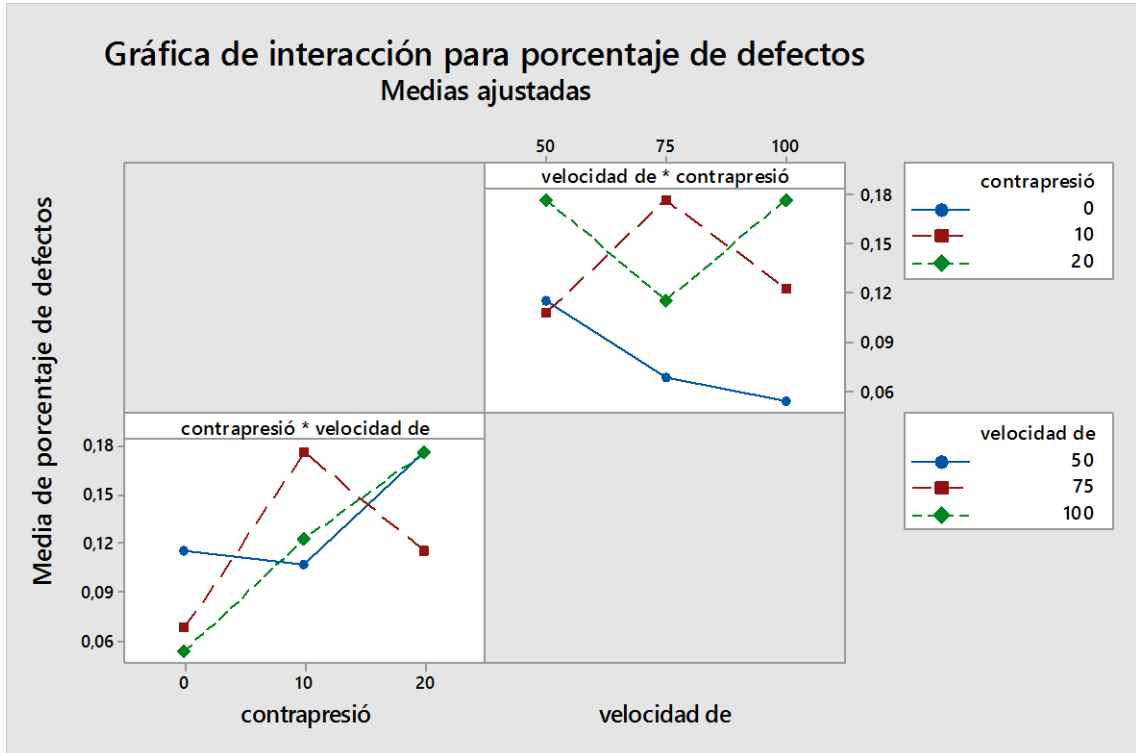
**Figura 46-3:** Gráfica de efectos principales medias ajustadas



Fuente: Autores

En la Figura 47-3 se observa que para minimizar el porcentaje de defectos del producto se debe trabajar con una contrapresión de 0% y a una velocidad del tornillo de 75 o 100%.

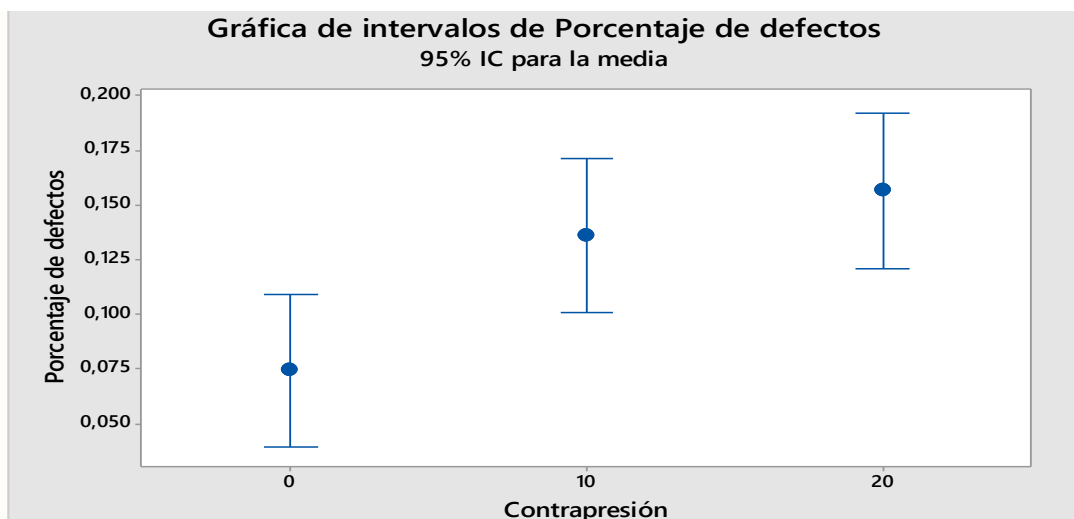
**Figura 47-3:** Gráfica de interacción medias ajustadas



Fuente: Autores

La Figura 48-3 indica que para disminuir el porcentaje de defectos y a su vez reducir el tiempo de ciclo se debe trabajar con una contrapresión de 0% y con una velocidad del tornillo de 75 o 100 % y no se debe trabajar a una contrapresión de 20% con una velocidad de 50% ya que así el porcentaje de defectos incrementara.

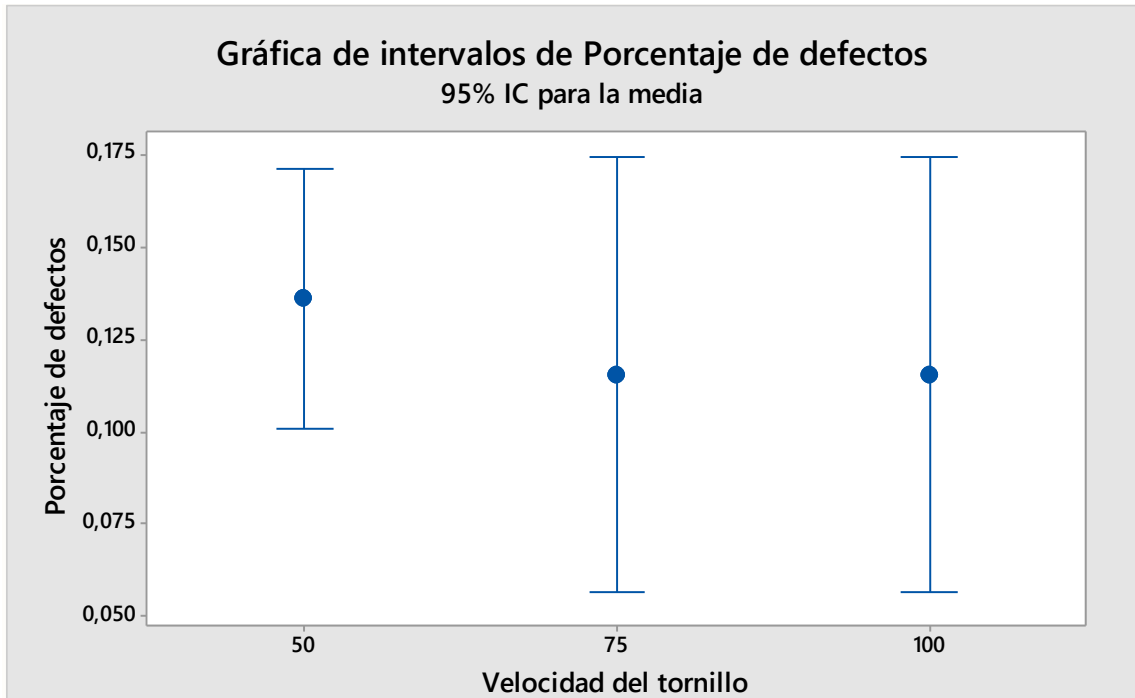
**Figura 48-3:** Gráfica de intervalos de la contrapresión



Fuente: Autores

En la Figura 49-3 se concluye que la contrapresión si es diferente con relación al porcentaje de imperfecciones, por lo que se recomienda utilizar una contrapresión de 0% para la elaboración de la bota infantil ya que de esta manera se obtiene un porcentaje de defectos mínimo con un tiempo de ciclo de 27 segundos por par que es lo que se desea.

**Figura 49-3:** Gráfica de intervalos de la velocidad del tornillo



Fuente: Autores

En la Figura 50-3 se concluye que la velocidad del tornillo si es diferente con relación al porcentaje de imperfecciones, por lo que se recomienda utilizar una velocidad del tornillo de 75 a 100% para la elaboración de la bota infantil ya que de esta manera se obtiene un porcentaje de defectos mínimo con un tiempo de ciclo de 27 segundos por par que es lo que se desea.

### Resultado

El diseño experimental determinó que las condiciones óptimas para el proceso de producción de la bota infantil deberían ser una contrapresión de 0% (100 PSI) y a una velocidad del tornillo de 100% (120 RPM) para poder trabajar con un tiempo de ciclo de 27 segundos por par que es lo que busca la empresa.

3.4.4.2. *Diseño experimental del inyector 2 de la máquina WT-05*

Los factores de este diseño con sus niveles están detallados a continuación:

**Tabla 20-3.** Factores y niveles del diseño  $3^2$

CONTRA PRESION (% psi)	VELOCIDAD DEL TORNILLO (%)
0	50
10	75
20	100

Fuente: Autores

Las constantes para este diseño experimental fueron:

**Tabla 21-3.** Constantes del diseño  $3^2$

CONSTANTE	
Temperaturas (°C)	
Z1	145
Z2	165
Z3	175
Z4	135
Tiempo de ciclo (seg.)	
27	

Fuente: Autores

**Tabla 22-3.** Diseño experimental factorial  $3^2$

Factores:	2	Réplicas:	2
Corridas base:	9	Total de corridas:	18
Bloques base:	1	Total de bloques:	1
Número de niveles:	3. 3		

Fuente: Autores

**Tabla 23-3.**Información del factor

Factor	Niveles	Valores		
Contra presión	3	0	10	20
Velocidad del tornillo	3	50	75	100

Fuente: Autores

**Tabla 24-3.**Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Contra presión	2	0,002124	0,001062	7,80	0,011
Velocidad del tornillo	2	0,000656	0,000328	2,41	0,145
Contra presión*velocidad del tornillo	4	0,007617	0,001904	13,99	0,001
Error	9	0,001225	0,000136		
Total	17	0,011622			

Fuente: Autores

Con el ANOVA podemos concluir que los factores influyentes en la reducción del porcentaje de defectos son el efecto principal contrapresión y el efecto de interacción doble velocidad del tornillo por contrapresión.

### Resumen del modelo

R-cuad = 89,46%

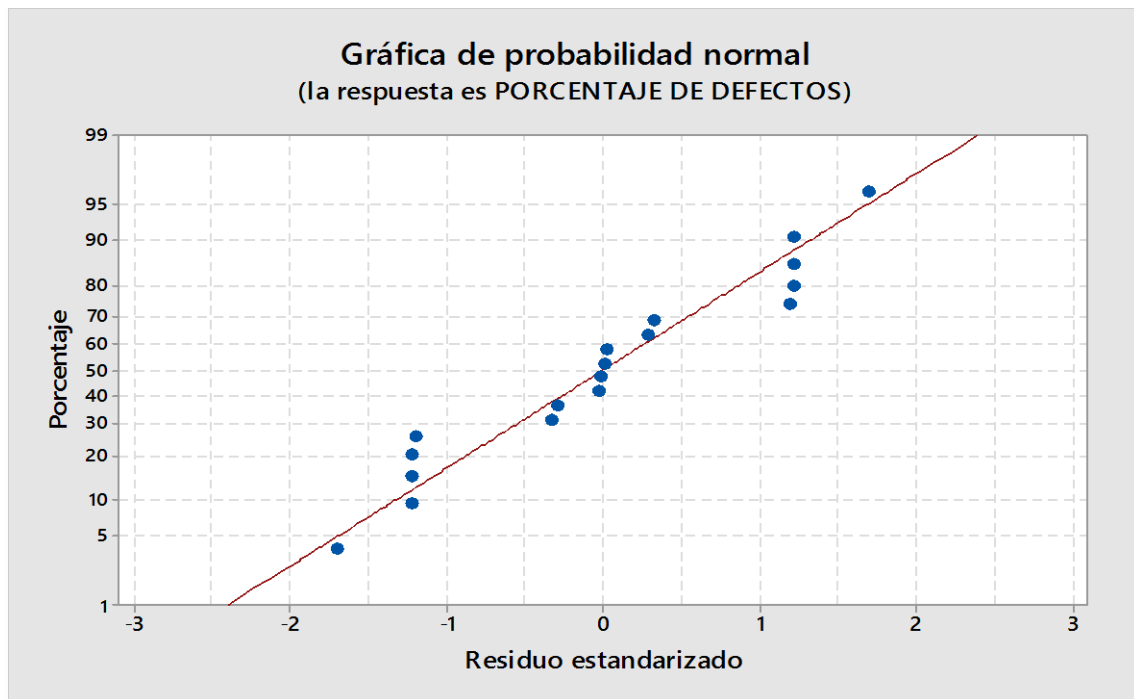
R-cuad (ajustado) = 80,09%

El R<sup>2</sup> ajustado nos indica que el 80,09% de los factores estudiados influyen en el porcentaje de defectos mientras que un 19,91% son por otros factores.

### Ecuación de regresión

Porcentaje de defectos = 0,01925 - 0,01412 contra presión\_10 + 0,01229 contra presion\_20  
+ 0,03009 contra presión\*velocidad del tornillo\_0 75  
- 0,02524 contra presión\*velocidad del tornillo\_0 100  
- 0,02823 contra presión\*velocidad del tornillo\_20 75  
+ 0,03453 contra presión\*velocidad del tornillo\_20 100

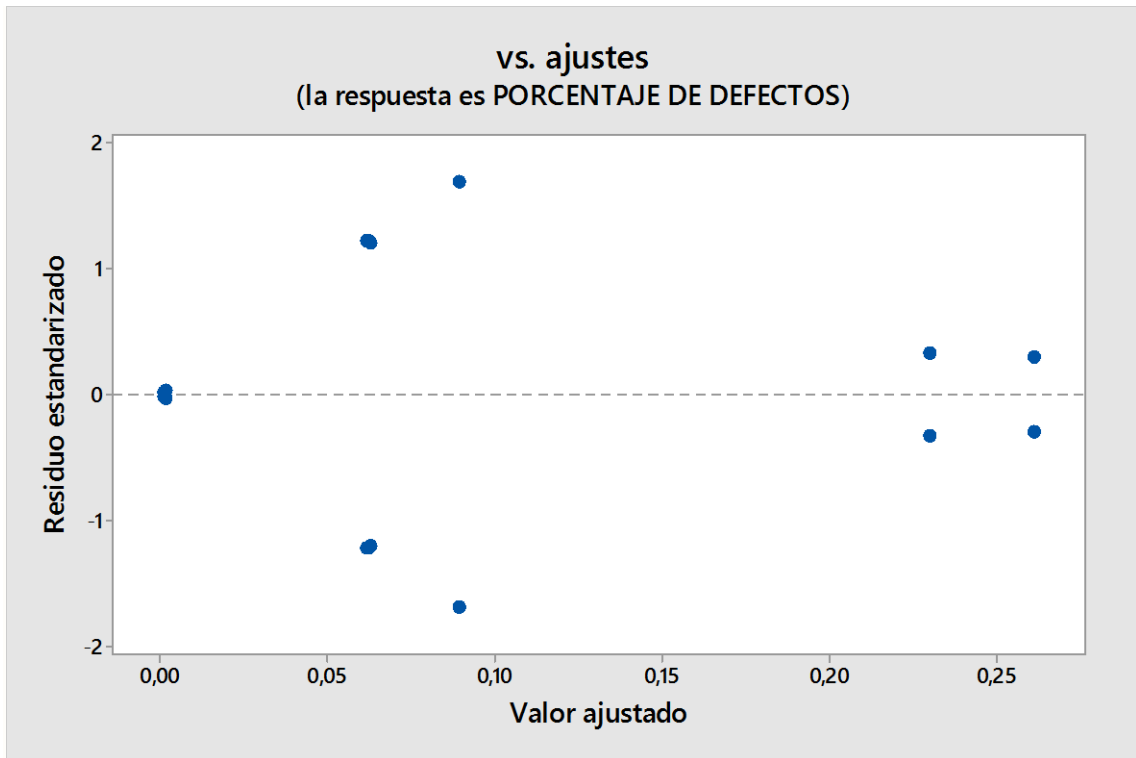
**Figura 50-3:** Gráfica de supuesto de normalidad



Fuente: Autores

Figura 51-3 indica los datos sobre el porcentaje de defectos, donde los residuos siguen una línea recta a excepción de los datos agrupados en cero que son producidos al realizar las corridas experimentales donde los resultados de la variable respuesta arrojaron el mismo valor, el 0% de producto defectuoso en 4 corridas experimentales, por lo tanto existe evidencia de normalidad, asimetría.

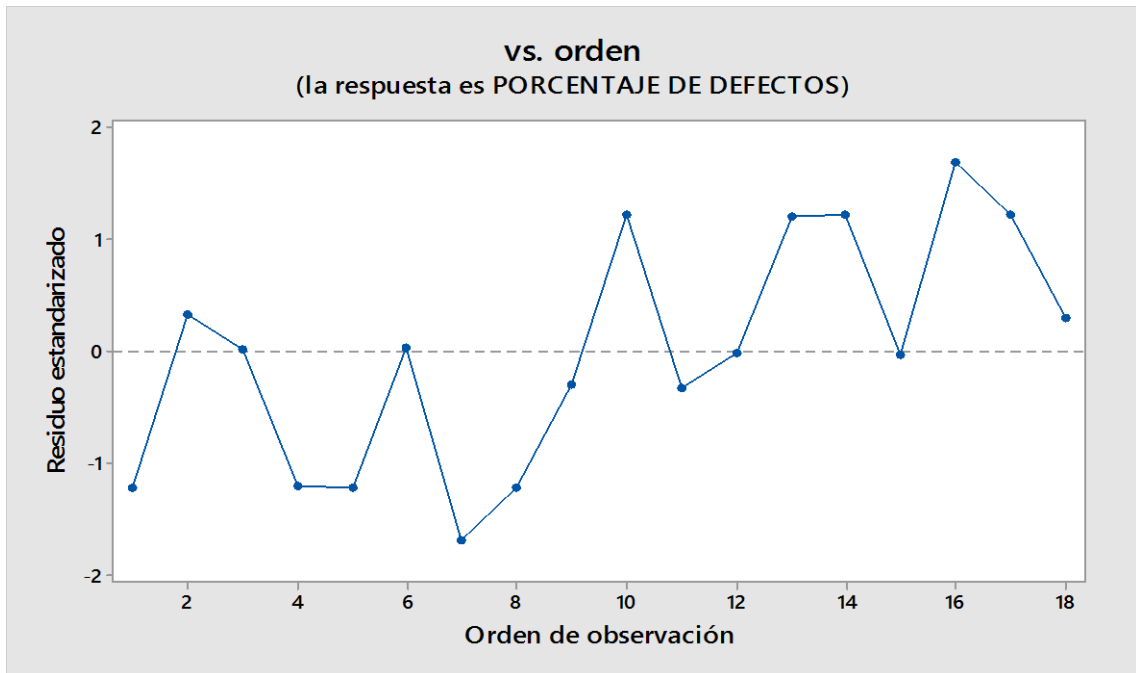
**Figura 51-3:** Gráfica de supuesto de homogeneidad de varianza residuos vs ajustes



Fuente: Autores

La Figura 52-3 indican los residuos versus ajustes, donde de acuerdo con esta gráfica, los residuos están dispersos aleatoriamente alrededor de cero. No existe evidencia de varianza no constante, términos faltantes.

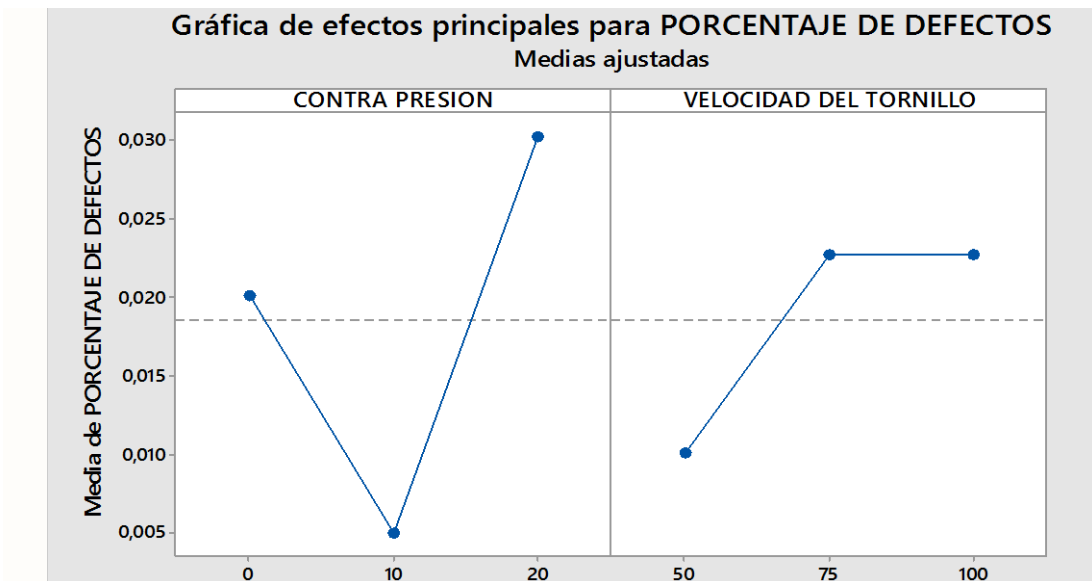
**Figura 52-3:** Gráfica de supuesto de independencia residuos vs orden



Fuente: Autores

La Figura 53-3 indica los residuos versus ajustes, donde los datos sobre el porcentaje de defectos, los residuos están dispersos aleatoriamente alrededor de cero con excepción de 4 residuos producidos por la toma de datos para encontrar la variable respuesta que en nuestro caso es de 0% de defectos. No existe evidencia de que los términos de error estén correlacionados entre sí.

**Figura 53-3:** Gráfica de efectos principales medias ajustadas

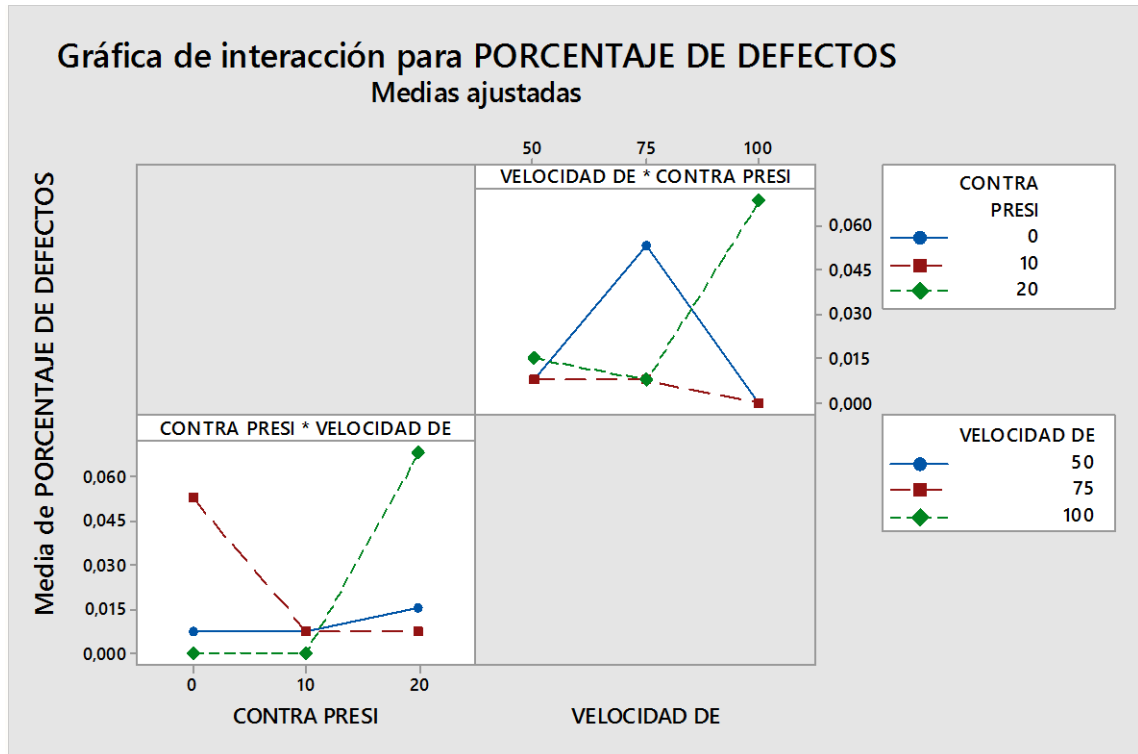


Fuente: Autores



En la Figura 54-3 se observa que para minimizar el porcentaje de defectos del producto se debe trabajar con una contrapresión de 10% así como trabajar con una velocidad del tornillo de 50%.

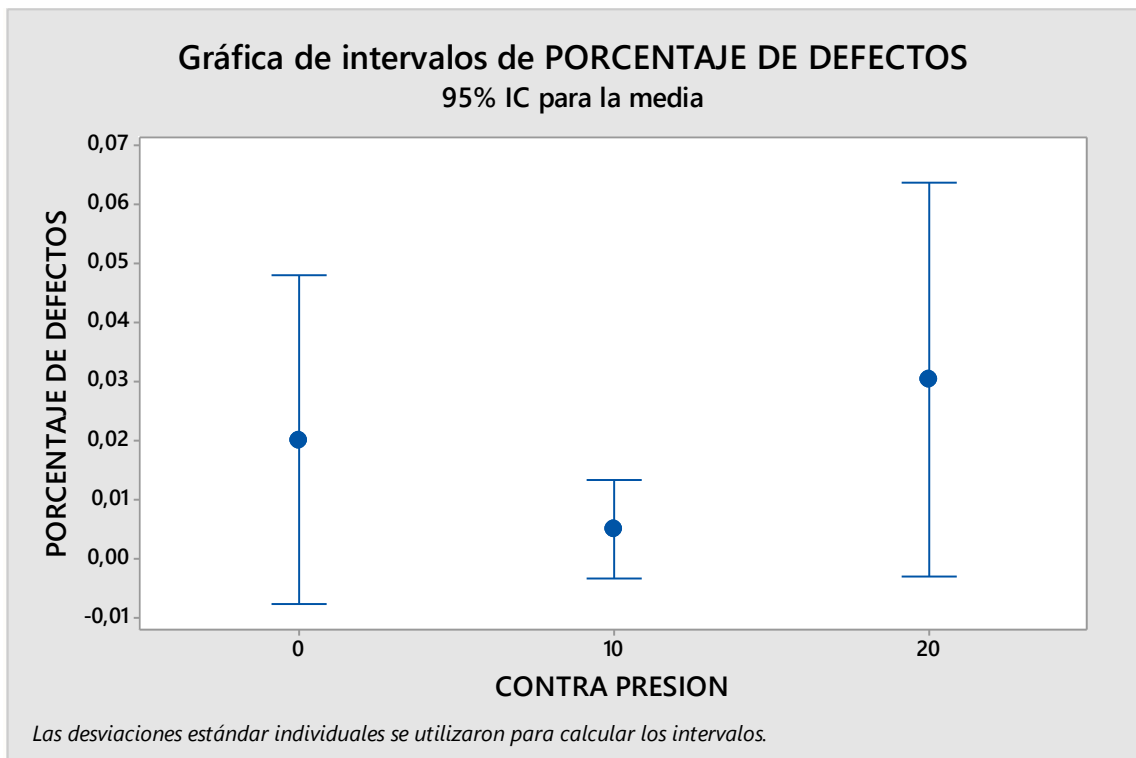
**Figura 54-3:** Gráfica de interacción medias ajustadas



Fuente: Autores

La Figura 55-3 indica que para disminuir el porcentaje de defectos y a su vez reducir el tiempo de ciclo se debe trabajar con una contrapresión de 0 o 10 % y con una velocidad del tornillo de 100 % y no se debe trabajar a una contrapresión de 20% con una velocidad de 100% ya que así el porcentaje de defectos incrementara.

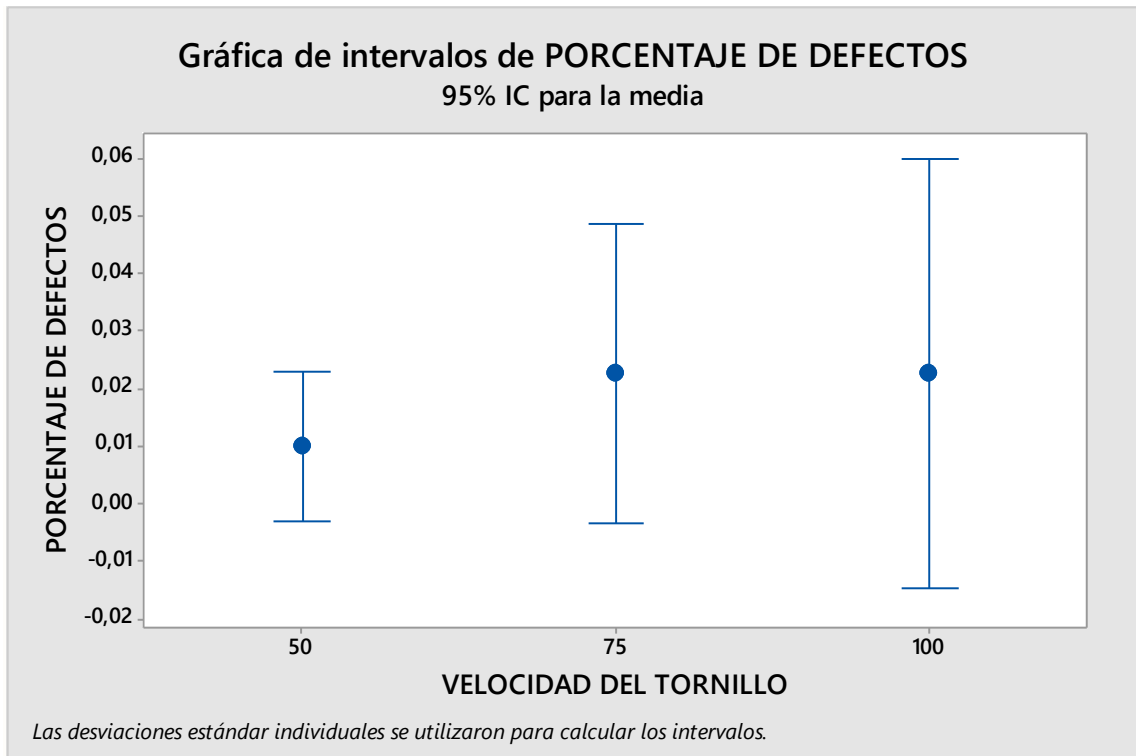
**Figura 55-3:** Gráfica de intervalos de la contrapresión



**Fuente:** Autores

En la Figura 56-3 se concluye que la contrapresión si es diferente con relación al porcentaje de imperfecciones, por lo que se recomienda utilizar una contrapresión de 10% para la elaboración de la bota infantil ya que de esta manera se obtiene un porcentaje de defectos mínimo con un tiempo de ciclo de 27 segundos por par que es lo que se desea.

**Figura 56-3:** Gráfica de intervalos de la velocidad del tornillo



Fuente: Autores

En la Figura 57-3 se concluye que la velocidad del tornillo si es diferente con relación al porcentaje de imperfecciones, por lo que se recomienda utilizar una velocidad del tornillo de 50% para la elaboración de la bota infantil ya que de esta manera se obtiene un porcentaje de defectos mínimo con un tiempo de ciclo de 27 segundos por par que es lo que se desea.

## Resultado

El diseño experimental determinó que las condiciones óptimas para el proceso de producción de la bota infantil deberían ser una contrapresión de 0% (100 PSI) y a una velocidad del tornillo de 100% (120 RPM) para poder trabajar con un tiempo de ciclo de 27 segundos por par que es lo que busca la empresa.

### 3.4.5. Diseño Experimental de las tallas (estaciones) máquina WT-02

#### 3.4.5.1. Diseño Experimental de la talla 23 de la máquina WT-02

Los factores de este diseño con sus niveles están detallados a continuación:

Tabla 25-3. Factores y niveles del diseño 2<sup>4</sup>

PRESION (psi)	VELOCIDAD (rpm)	Tiempo de apoyo (seg)	Retraso del soplo de aire (seg)
47	75	1	0
57	85	7	20

Fuente: Autores

Las constantes para este diseño experimental fueron:

Tabla 26-3. Constantes del diseño 2<sup>4</sup>

CONSTANTE	
Temperaturas (°C)	
Z1	135
Z2	160
Z3	160
Z4	135
Contra presión (psi)	0
Velocidad del tornillo (rpm)	100

Fuente: Autores

Tabla 27-3. Diseño experimental factorial 2<sup>4</sup>

Factores:	4	Réplicas:	2
Corridas base:	16	Total de corridas:	32
Bloques base:	1	Total de bloques:	1

Fuente: Autores

**Tabla 28-3.** Análisis de Varianza porcentaje de defectos

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Retraso del soplo de aire	1	0,02059	0,020589	72,33	0,000
Tiempo de apoyo	1	0,10229	0,102292	359,36	0,000
Velocidad	1	0,05278	0,052783	185,43	0,000
Presión	1	0,58667	0,586670	2061,02	0,000
Retraso Soplo de aire *presión	1	0,00438	0,004383	15,40	0,001
Tiempo apoyo a*velocidad	1	0,11382	0,113818	399,85	0,000
Tiempo de apoyo*presión	1	0,07523	0,075230	264,29	0,000
velocidad*presión	1	0,03439	0,034385	120,80	0,000
Retraso. soplo de aire*velocidad*presión	1	0,00452	0,004518	15,87	0,001
Tiempo de apoyo*velocidad*presión	1	0,07500	0,074998	263,47	0,000
Error	16	0,00455	0,000285		
Total	31	1,07740			

Fuente: Autores

Con el ANOVA podemos concluir que los factores influyentes en la reducción del porcentaje de defectos son todos los efectos principales, los efectos de interacción doble velocidad por presión, retraso del soplo de aire por presión, tiempo de apoyo por velocidad, tiempo de apoyo por presión, los efectos de interacción triple retraso del soplo de aire por velocidad por presión y tiempo de apoyo por presión por velocidad.

### Resumen del modelo

R-cuad = 99,58%

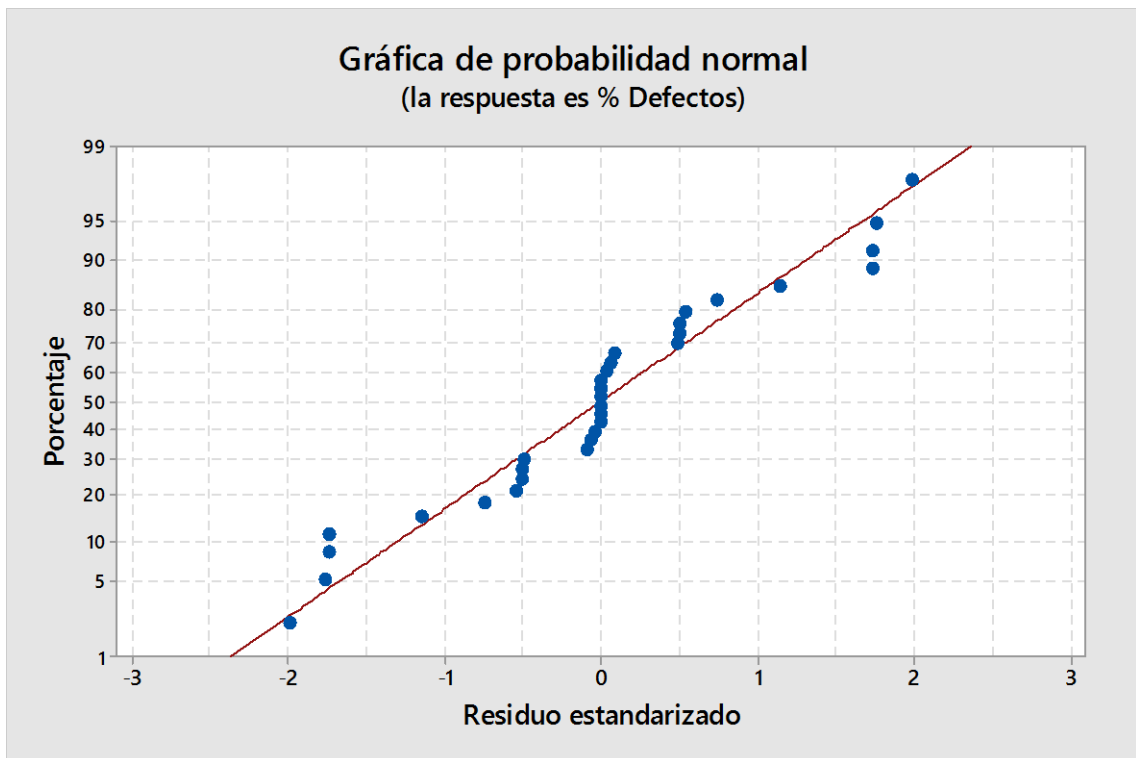
R-cuad (ajustado) = 99,18%

El R<sup>2</sup> ajustado nos indica que el 99,18% de los factores estudiados influyen en el porcentaje de defectos mientras que un 0,82% son por otros factores.

Ecuación de regresión en unidades no codificadas

Porcentaje de Defectos = 5,91 + 0,0851 retraso del soplo de aire - 3,125 tiempo de apoyo - 0,0653 velocidad - 0,0998 presión - 0,00161 retraso del soplo de aire\*presión + 0,04161 tiempo de apoyo\*velocidad + 0,05448 tiempo de apoyo \*presión + 0,001117 velocidad\*presión + 0,000015 retraso del soplo de aire\*velocidad\*presión - 0,000726 tiempo de apoyo\*velocidad\*presión.

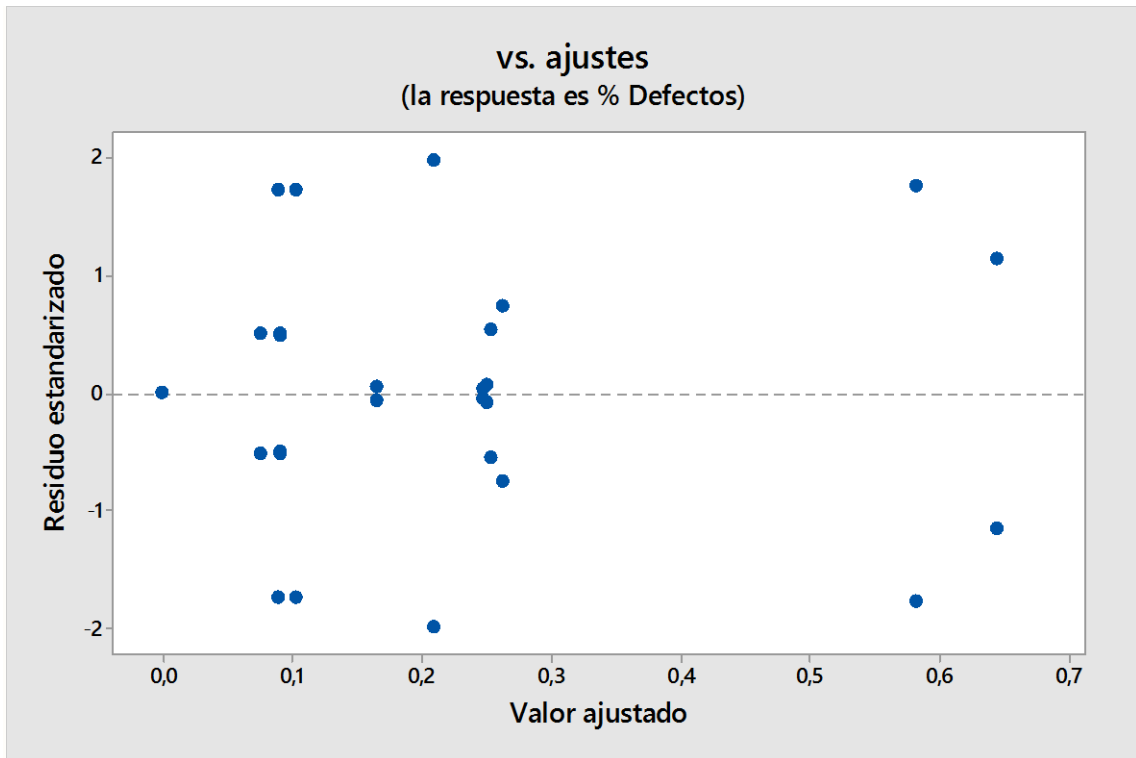
**Figura 57-3:** Gráfica de supuesto de normalidad



Fuente: Autores

La Figura 58-3 demuestra que los datos sobre el porcentaje de defectos, los residuos siguen una línea recta a excepción de los datos agrupados en cero que son producidos al realizar las corridas experimentales donde los resultados de la variable respuesta arrojaron el mismo valor, el 100% de producto defectuoso en 6 corridas experimentales, por lo tanto existe evidencia de normalidad, asimetría.

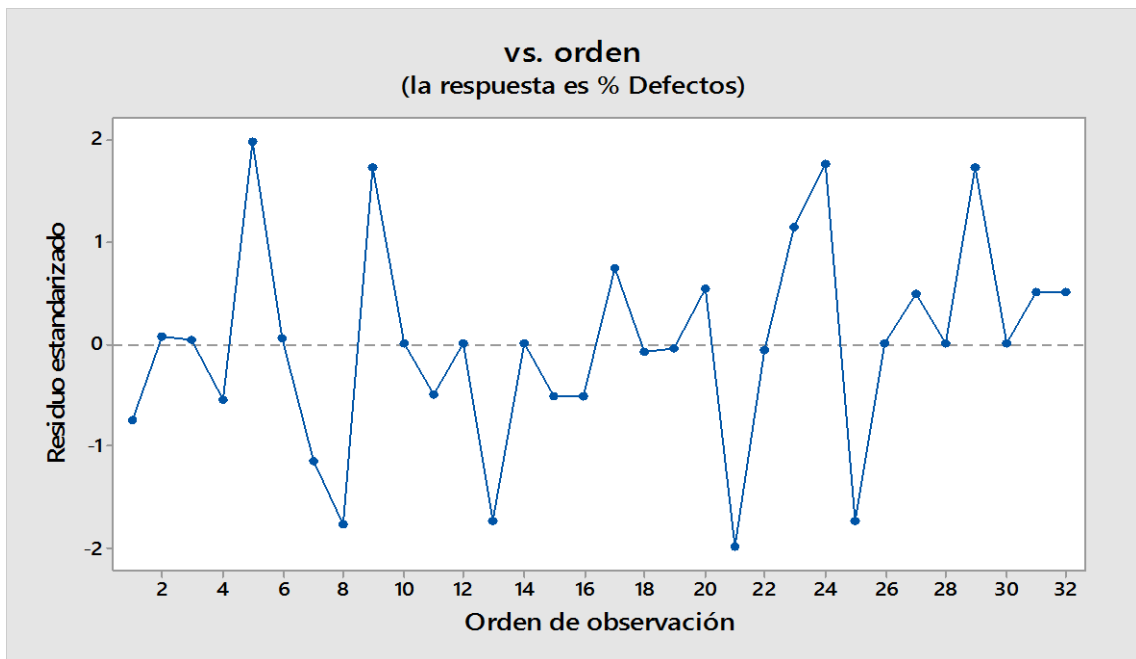
**Figura 58-3:** Gráfica de supuesto de homogeneidad de varianza residuos vs ajustes



Fuente: Autores

La Figura 59-3 muestra los residuos versus ajustes, donde de acuerdo con esta gráfica, los residuos están dispersos aleatoriamente alrededor de cero. No existe evidencia de varianza no constante, términos faltantes.

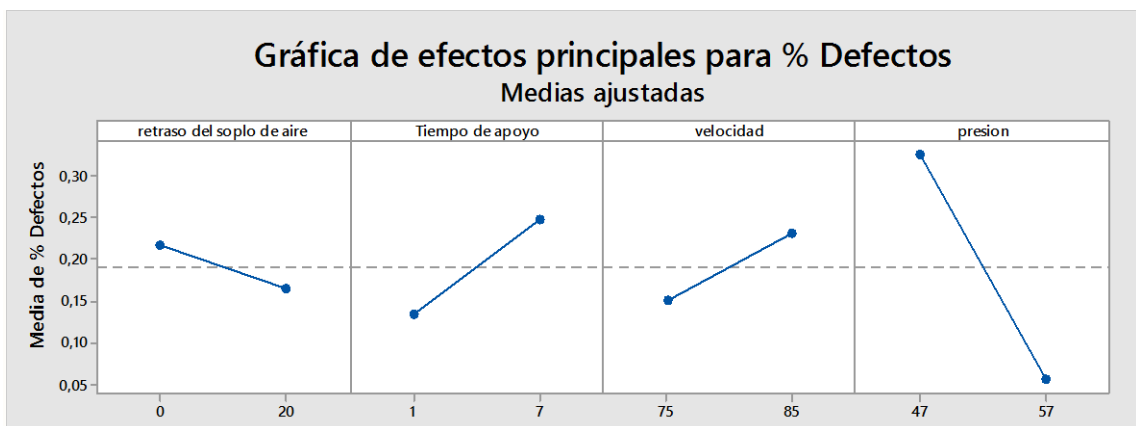
**Figura 59-3:** Gráfica de supuesto de independencia residuos vs orden



Fuente: Autores

La Figura 60-3 indica los residuos versus ajustes, donde los datos sobre el porcentaje de defectos, los residuos están dispersos aleatoriamente alrededor de cero con excepción de 6 residuos debido a que el porcentaje de defectos dio el mismo el cual es del 100% los cuales fueron tomados durante la toma de datos.

**Figura 60-3:** Gráfica de efectos principales medias ajustadas

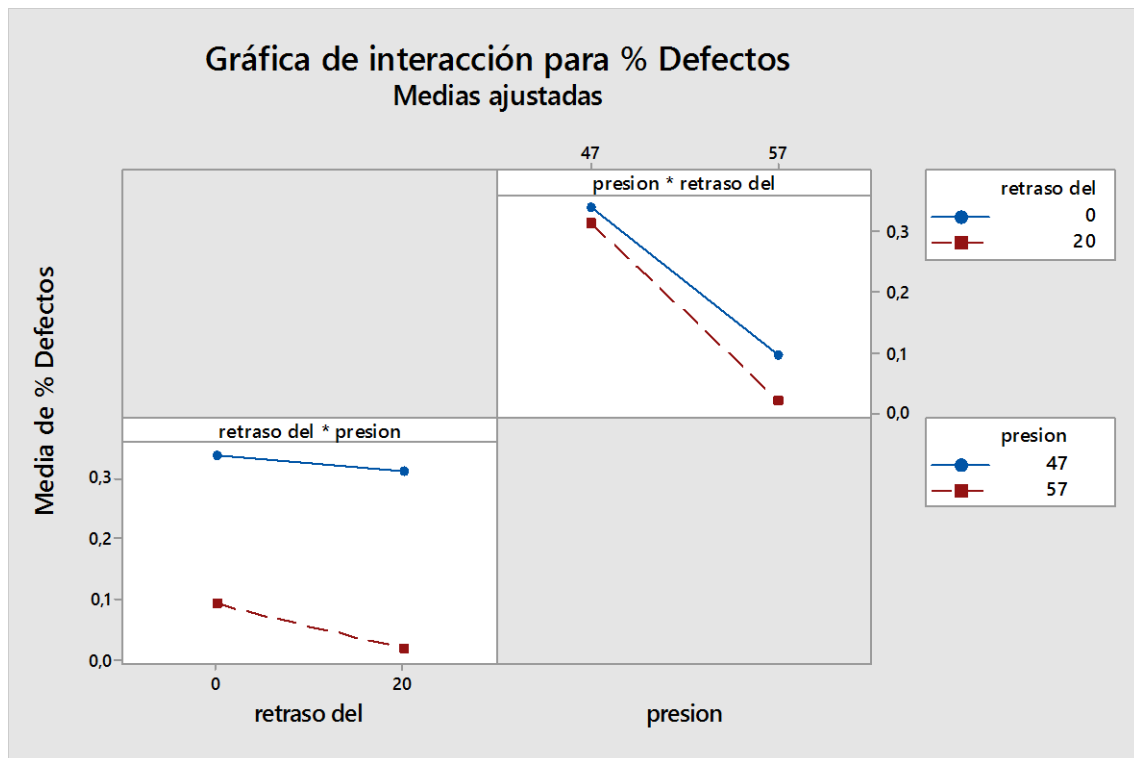


Fuente: Autores

En la Figura 61-3 se observa que para minimizar el porcentaje de defectos del producto se debe trabajar con una presión de 57, a una velocidad de 75, con un tiempo de apoyo de 1 y con un retraso del soplo de aire de 20.



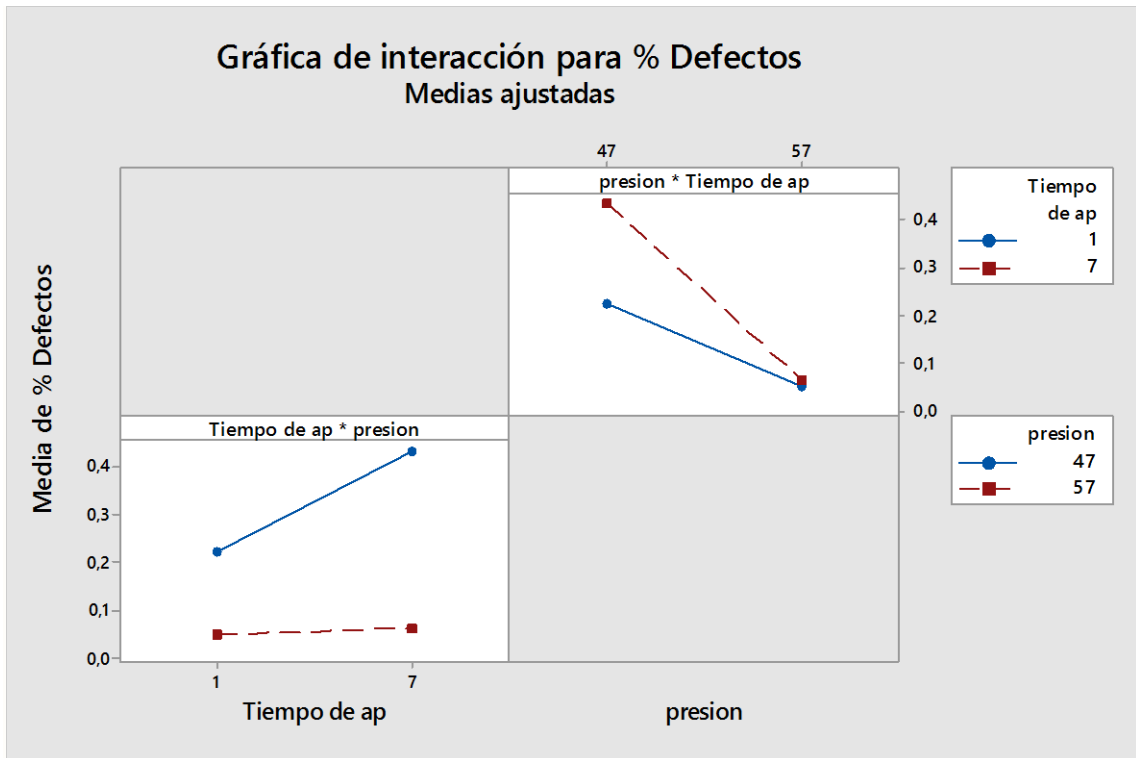
**Figura 61-3:** Gráfica de interacción retraso del soplo de aire por presión medias ajustadas



Fuente: Autores

La Figura 62-3 nos indica que para disminuir el porcentaje de defectos se debe trabajar con una presión de 57 y con un retraso del soplo de aire de 20 y no se debe trabajar a una presión de 47 y con un retraso del soplo de aire de 0 ya que así el porcentaje de defectos incrementara.

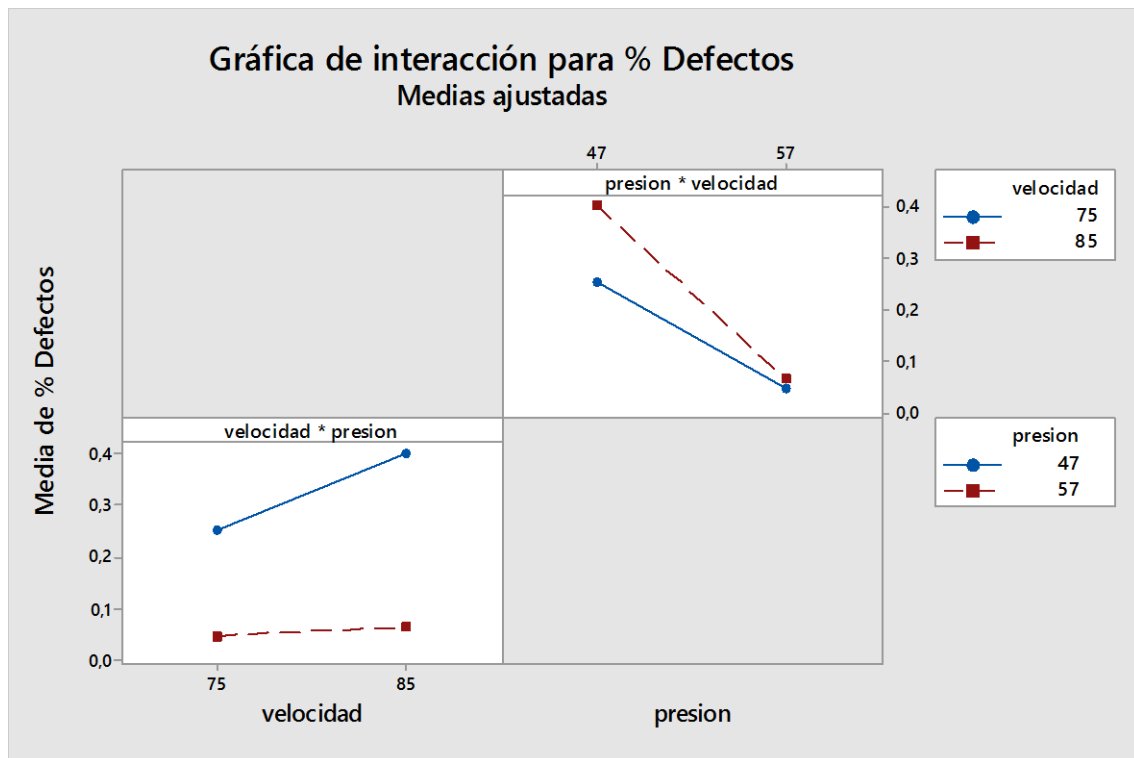
**Figura 62-3:** Gráfica de interacción tiempo de apoyo por presión medias ajustadas



Fuente: Autores

La Figura 63-3 nos indica que para disminuir el porcentaje de defectos se debe trabajar con una presión de 57 y con un tiempo de apoyo de 1 y no se debe trabajar a una presión de 47 y con un tiempo de apoyo de 7 ya que así el porcentaje de defectos incrementara.

**Figura 63-3:** Gráfica de interacción velocidad por presión medias ajustadas



Fuente: Autores

La Figura 64-3 nos indica que para disminuir el porcentaje de defectos se debe trabajar con una presión de 57 y con una velocidad de 75 y no se debe trabajar a una presión de 47 y con una velocidad de 85 ya que así el porcentaje de defectos incrementara.

**Tabla 29-3.** Análisis de Varianza tiempo de ciclo

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tiempo de apoyo	1	371,622	371,622	3841,92	0,000
Presión	1	5,404	5,404	55,87	0,000
Retraso Soplo de aire *tiempo de apoyo	1	1,144	1,144	11,83	0,003
Retraso Soplo de aire *presión	1	5,603	5,603	57,92	0,000
Tiempo de apoyo*presión	1	6,598	6,598	68,21	0,000
velocidad*presión	1	0,942	0,942	9,74	0,007
Retraso Soplo de aire *tiempo de apoyo*velocidad*presión	1	1,182	1,182	12,22	0,003
Error	16	1,548	0,097		
Total	31	394,683			

Fuente: Autores

Con el ANOVA podemos concluir que los factores influyentes en la reducción del porcentaje de defectos son los efectos principales presión y tiempo de apoyo, los efectos de interacción doble velocidad por presión, retraso del soplo de aire por presión, retraso del soplo de aire por tiempo de apoyo, tiempo de apoyo por presión, el efecto de interacción cuádruple retraso del soplo de aire por tiempo de apoyo por presión por velocidad.

### **Resumen del modelo**

R-cuad = 99,61%

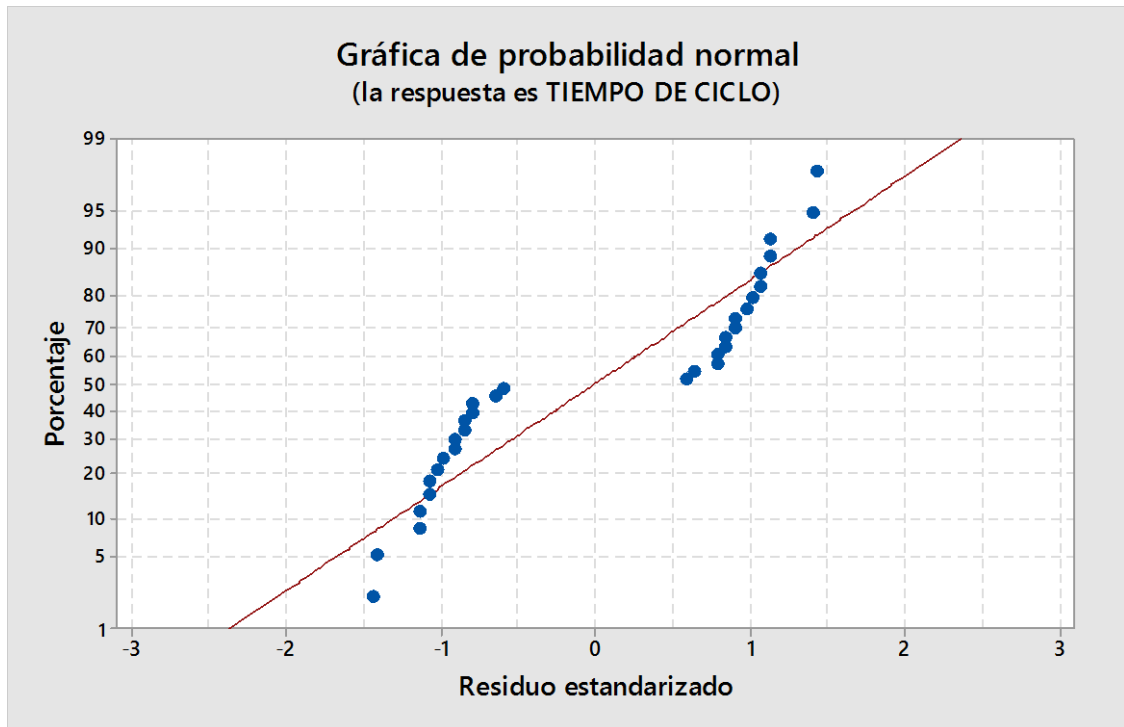
R-cuad (ajustado) = 99,24%

El  $R^2$  ajustado nos indica que el 99,24% de los factores estudiados influyen en el porcentaje de defectos mientras que un 0,76% son por otros factores.

Ecuación de regresión en unidades no codificadas

TIEMPO DE CICLO = 41,7 - 13,31 tiempo de apoyo - 0,311 presión + 1,100 retraso del soplo de aire\*tiempo de apoyo + 0,0490 retraso del soplo de aire\*presión + 0,2792 tiempo de apoyo\*presión + 0,00228 velocidad\*presión + 0,000256 retraso del soplo de aire\*tiempo de apoyo\*velocidad\*presión.

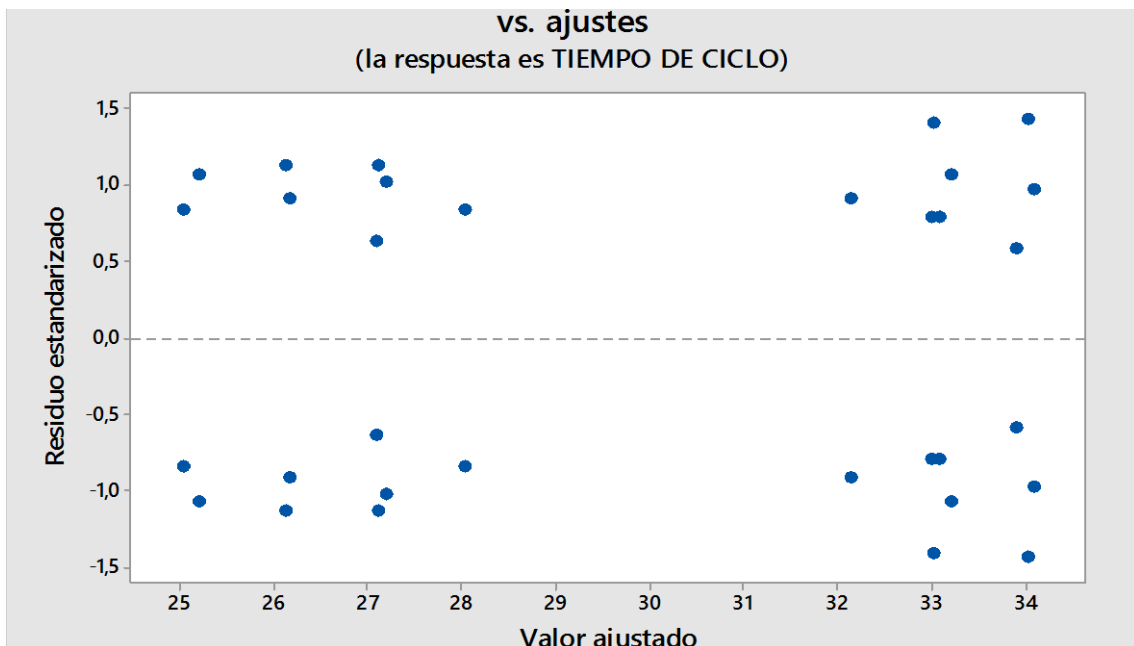
**Figura 64-3:** Gráfica de supuesto de normalidad



Fuente: Autores

La Figura 65-3 demuestra que los residuos siguen una línea recta. No existe evidencia de no normalidad, asimetría, variables no identificadas.

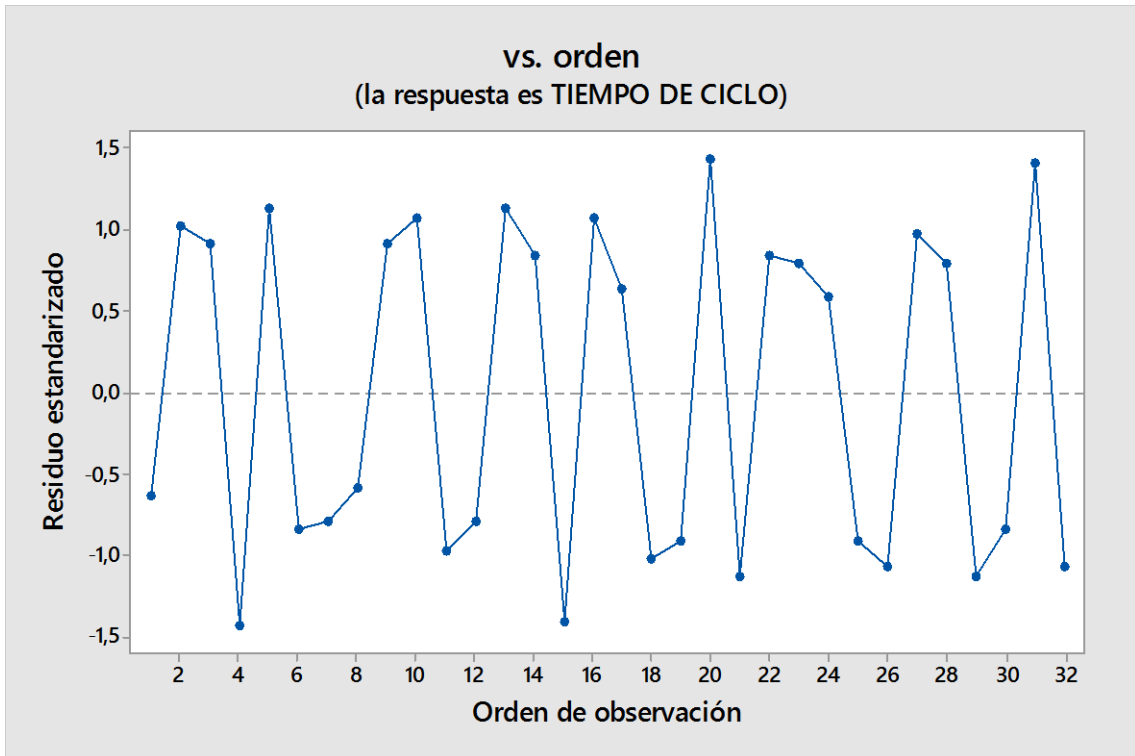
**Figura 65-3:** Gráfica de supuesto de homogeneidad de varianzas residuos vs ajustes



Fuente: Autores

La Figura 66-3 indica que los residuos están dispersos aleatoriamente alrededor de cero. No existe evidencia de varianza no constante, términos faltantes.

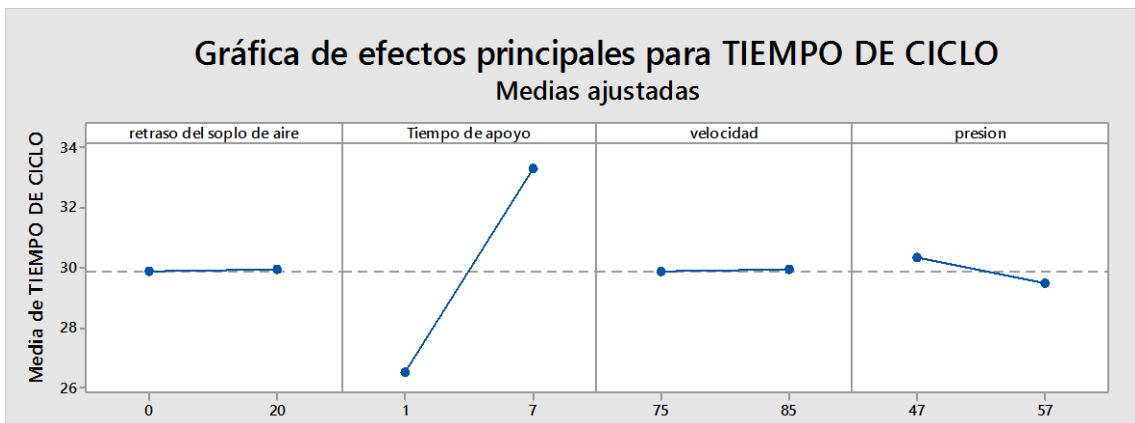
**Figura 66-3:** Gráfica de supuesto de independencia residuos vs orden



Fuente: Autores

La figura 67-3 indica que los datos sobre el porcentaje de defectos, los residuos están dispersos aleatoriamente alrededor de cero. No existe evidencia de que los términos de error estén correlacionados entre sí.

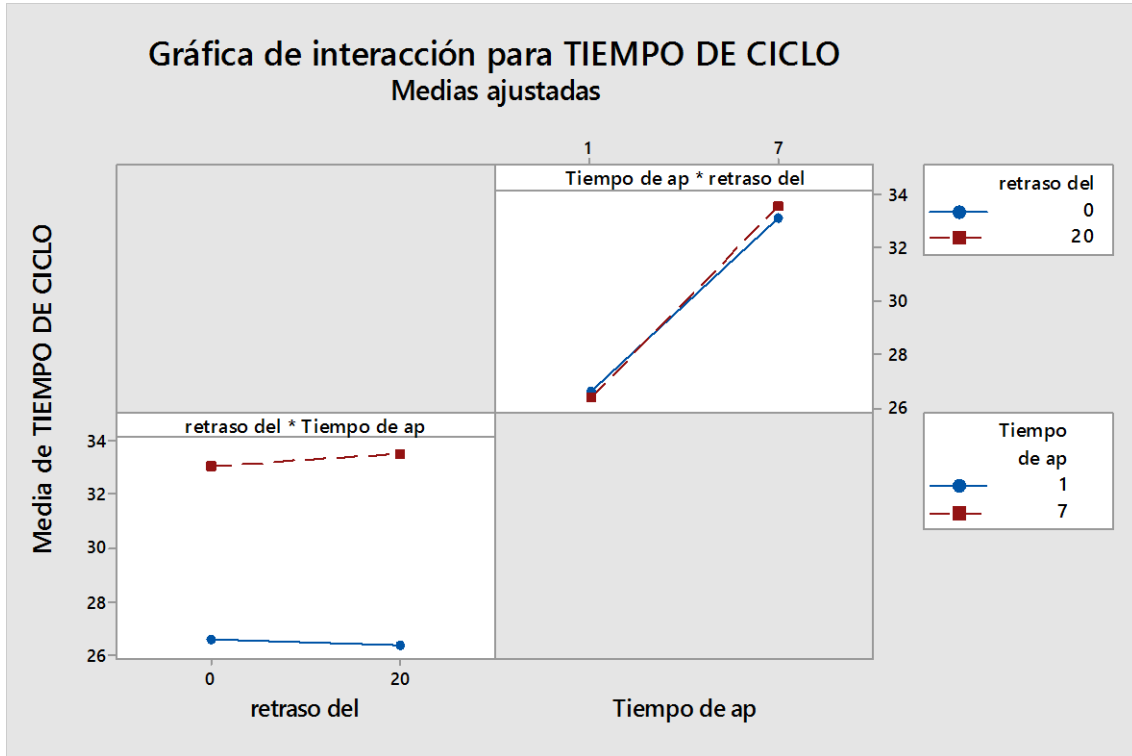
**Figura 67-3:** Gráfica de efectos principales medias ajustadas



Fuente: Autores

En la Figura 68-3 se observa que para minimizar el tiempo de ciclo de producción se debe trabajar con un tiempo de apoyo de 1el resto de factores no tienen influencia sobre la variable respuesta.

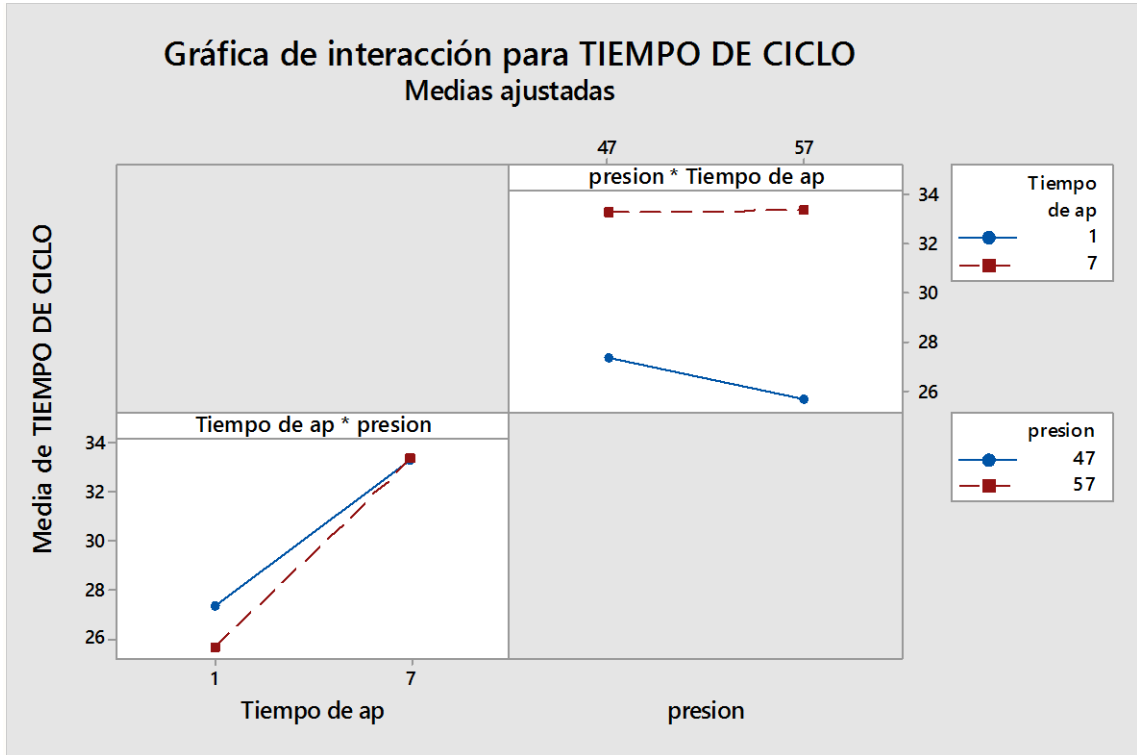
**Figura 68-3:** Gráfica de interacción retraso del soplo de aire por tiempo de apoyo medias ajustadas



Fuente: Autores

La Figura 69-3 nos indica que para disminuir el tiempo de ciclo el efecto de interacción no es influyente en la variable respuesta ya que no se muestra una diferencia significativa entre los niveles en estudio.

**Figura 69-3:** Gráfica de interacción tiempo de apoyo por presión medias ajustadas

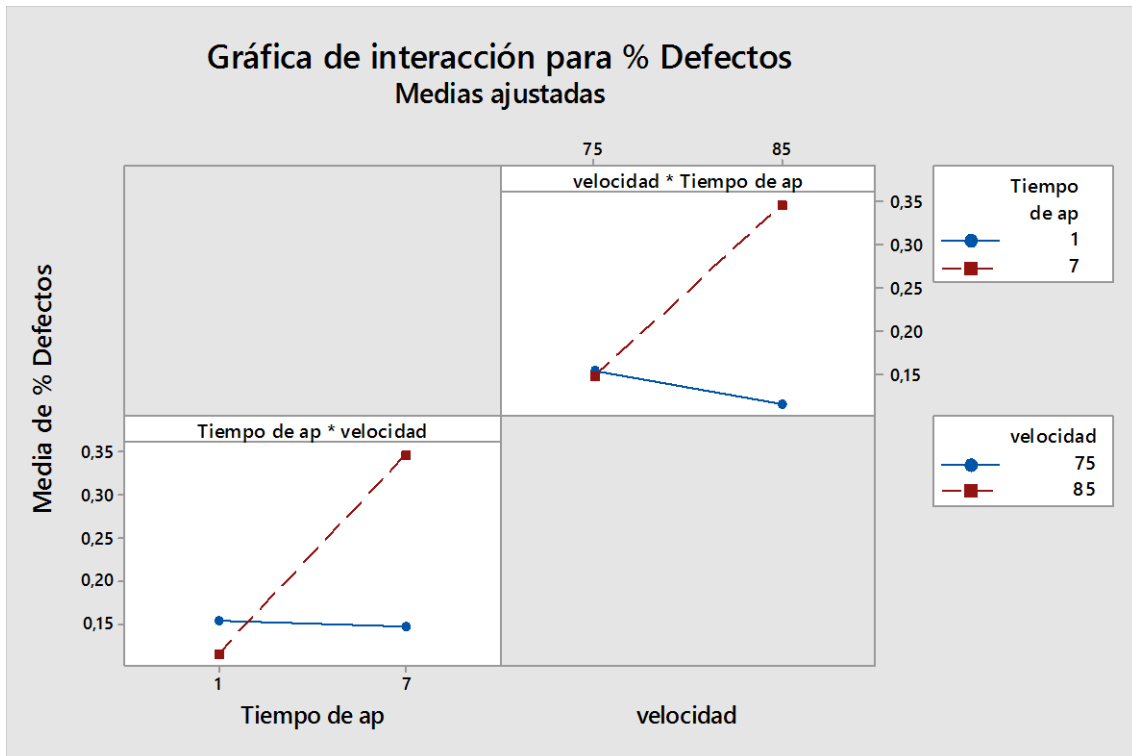


Fuente: Autores

La Figura 70-3 nos indica que para disminuir el tiempo de ciclo se debe trabajar con una presión de 57 y con un tiempo de apoyo de 1 y no se debe trabajar a una presión de 47 y con un tiempo de apoyo de 7 ya que así el porcentaje de defectos incrementara.



**Figura 70-3:** Gráfica de interacción tiempo de apoyo por velocidad medias ajustadas



Fuente: Autores

La Figura 71-3 nos indica que para disminuir el tiempo de ciclo se debe trabajar con un tiempo de apoyo de 1 y con una velocidad de 85 y no se debe trabajar a un tiempo de apoyo de 7 y con una velocidad de 85 ya que así el porcentaje de defectos incrementara.

### 3.4.5.2. Diseño Experimental de la talla 28 de la máquina WT-02

Los factores de este diseño con sus niveles están detallados a continuación:

**Tabla 30-3.** Factores y niveles del diseño 2<sup>4</sup>

PRESION (psi)	VELOCIDAD (rpm)	Tiempo de apoyo (seg)	Retraso del soplo de aire (seg)
48	85	2	0
53	95	6	20

Fuente: Autores

Las constantes para este diseño experimental fueron:

**Tabla 31-3.**Constantes del diseño 2<sup>4</sup>

CONSTANTE	
Temperaturas (°C)	
Z1	135
Z2	160
Contra presión (psi)	0
Velocidad del tornillo (rpm)	100

Fuente: Autores

**Tabla 32-3.**Diseño experimental factorial 2<sup>4</sup>

Factores:	4	Réplicas:	2
Corridas base:	16	Total de corridas:	32
Bloques base:	1	Total de bloques:	1

Fuente: Autores

**Tabla 33-3.**Análisis de Varianza porcentaje de defectos

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Retraso del soplo de aire	1	0,03534	0,03534	207,47	0,000
Tiempo de apoyo	1	0,01172	0,01172	68,81	0,000
Velocidad	1	0,71991	0,71991	4226,20	0,000
Presión	1	2,46658	2,46658	14479,98	0,000
Retraso. Soplo de aire *tiempo de apoyo	1	0,02641	0,02641	155,02	0,000
Retraso. Soplo de aire *presión	1	0,03534	0,03534	207,47	0,000
Tiempo apoyo*velocidad	1	0,00910	0,00910	53,44	0,000
Tiempo de apoyo*presión	1	0,01172	0,01172	68,81	0,000
velocidad*presión	1	0,71991	0,71991	4226,20	0,000
Retraso. soplo de aire*tiempo de apoyo* velocidad	1	0,03594	0,03594	210,97	0,000
Retraso. soplo de aire*tiempo de apoyo*presión	1	0,02641	0,02641	155,02	0,000
Tiempo de apoyo*velocidad*presión	1	0,00910	0,00910	53,44	0,000
Retraso. soplo de aire*tiempo de apoyo*velocidad*Presión	1	0,03594	0,03594	210,97	0,000
Error	16	0,00273	0,00017		
Total	31	4,14716			

Fuente: Autores

Con el ANOVA podemos concluir que los factores influyentes en la reducción del porcentaje de defectos son todos los efectos principales, los efectos de interacción doble velocidad por presión, retraso del soplo de aire por presión, retraso del soplo de aire por tiempo de apoyo, tiempo de apoyo por velocidad, tiempo de apoyo por presión, los efectos de interacción triple retraso del soplo de aire por tiempo de apoyo por presión, retraso del soplo de aire por tiempo de apoyo por velocidad y tiempo de apoyo por presión por velocidad y el efecto de interacción cuádruple retraso del soplo de aire por tiempo de apoyo por presión por velocidad.

### **Resumen del modelo**

R-cuad = 99,93%

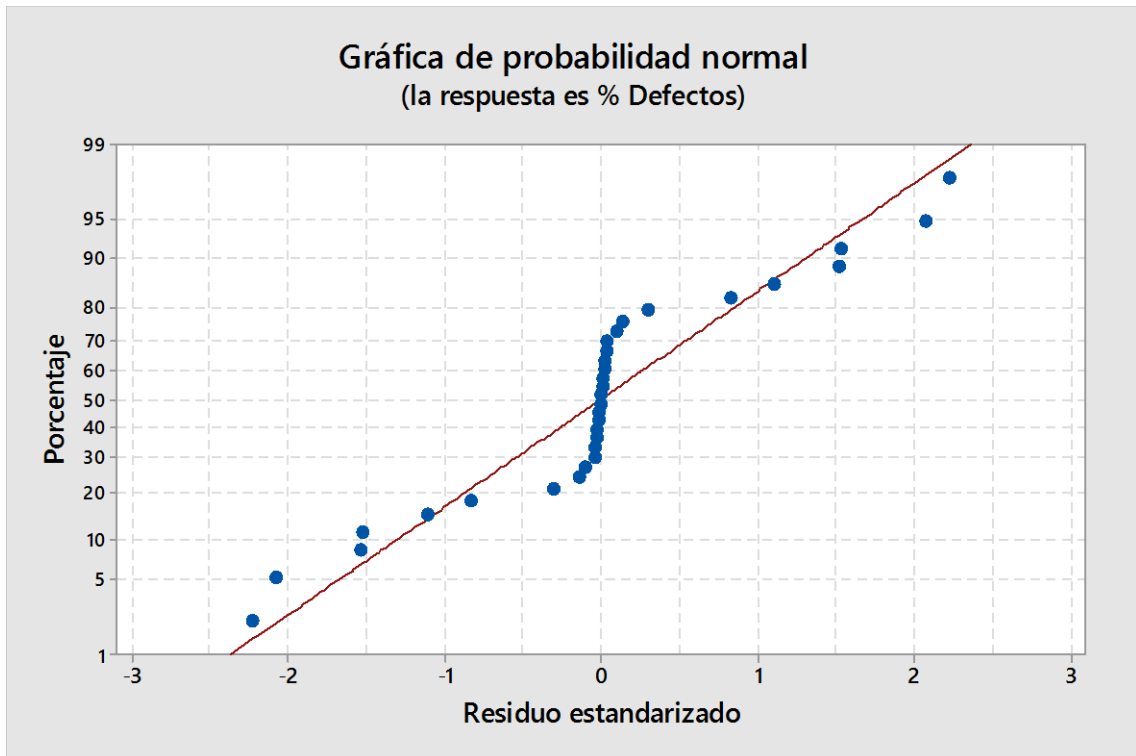
R-cuad (ajustado) = 99,87%

El R<sup>2</sup> ajustado nos indica que el 99,87% de los factores estudiados influyen en el porcentaje de defectos mientras que un 0,13% son por otros factores.

Ecuación de regresión en unidades no codificadas

Porcentaje de Defectos = -32,89 - 2,501 retrasó del soplo de aire - 2,968 tiempo de apoyo  
+ 0,4328 velocidad + 0,7061 presión + 0,6067 retrasó del soplo de aire\*tiempo de apoyo  
+ 0,05209 retrasó del soplo de aire\*presión + 0,03196 tiempo de apoyo\*velocidad  
+ 0,0618 tiempo de apoyo\*presión - 0,009017 velocidad\*presión  
- 0,006434 retrasó del soplo de aire\*tiempo de apoyo\*velocidad  
- 0,012639 retrasó del soplo de aire\*tiempo de apoyo\*presión  
- 0,000666 tiempo de apoyo\*velocidad\*presión  
+ 0,000134 retraso del soplo de aire\*tiempo de apoyo\*velocidad\*presión

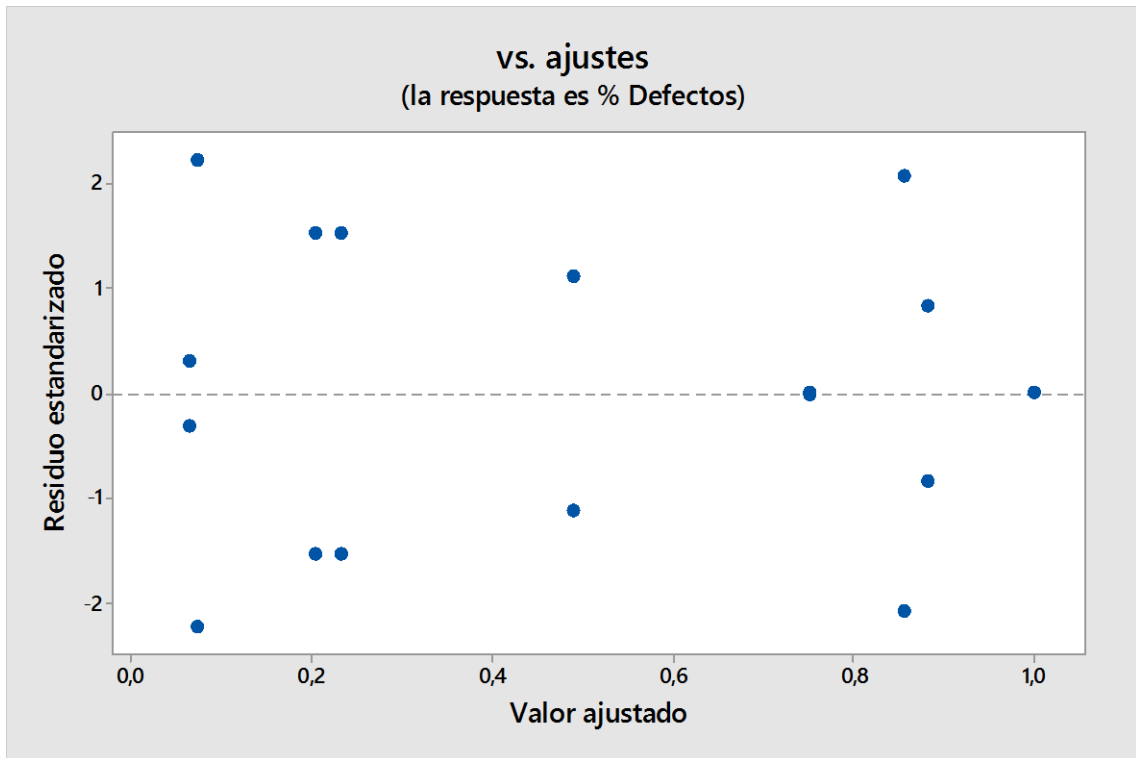
**Figura 71-3:** Gráfica de supuesto de normalidad



Fuente: Autores

La Figura 72-3 demuestra que los residuos siguen una línea recta a excepción de los datos agrupados en cero que son producidos al realizar las corridas experimentales donde los resultados de la variable respuesta arrojaron el mismo valor, el 100% de producto defectuoso en 16 corridas experimentales, por lo tanto existe evidencia de normalidad.

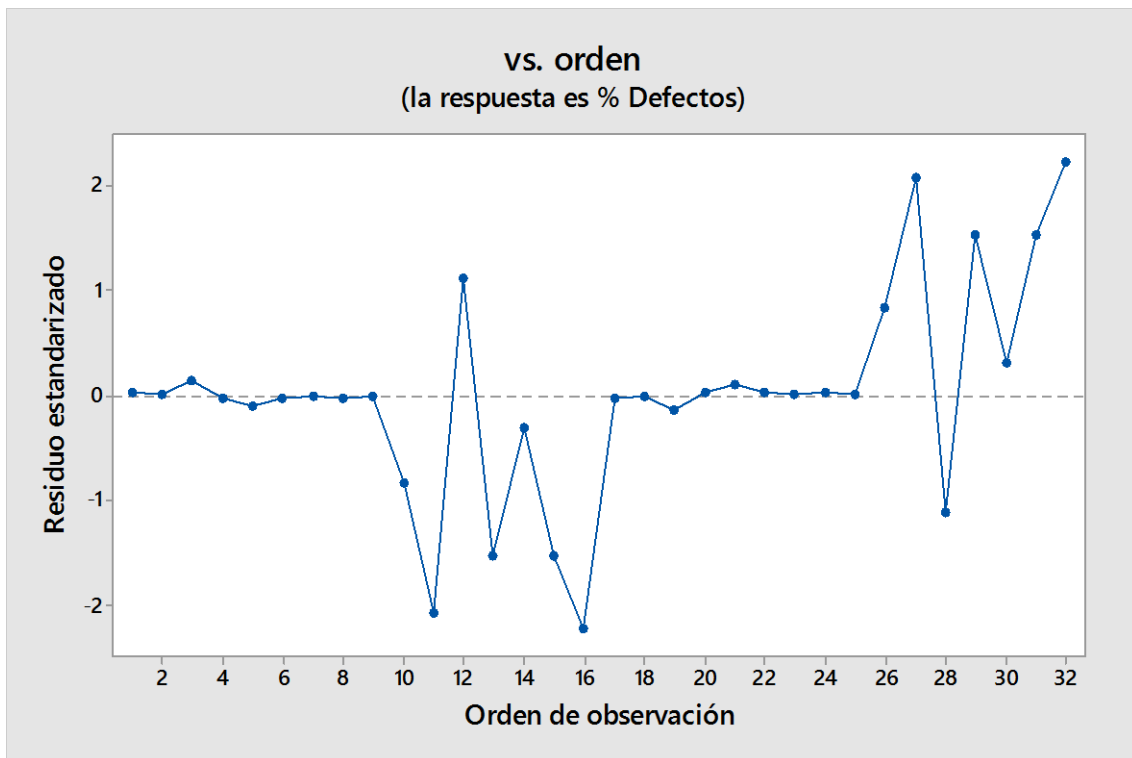
**Figura 72-3:** Gráfica de supuesto de homogeneidad de varianza residuos vs ajustes



Fuente: Autores

La Figura 73-3 indica que los residuos están dispersos aleatoriamente alrededor de cero. No existe evidencia de varianza no constante, términos faltantes.

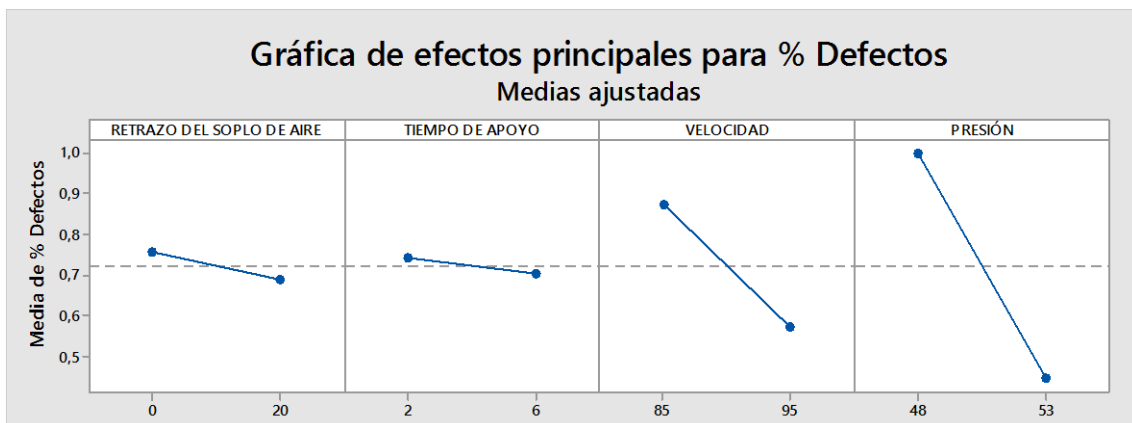
**Figura 73-3:** Gráfica de supuesto de independencia residuos vs orden



Fuente: Autores

La figura 74-3 muestra que los residuos vs el orden están dispersos aleatoriamente alrededor de cero con excepción de 16 residuos los cuales fueron producidos durante la toma de datos de la variable respuesta ya que estos datos dieron el mismo valor el cual es el 100% de producto defectuoso. No existe evidencia de que los términos de error estén correlacionados entre sí.

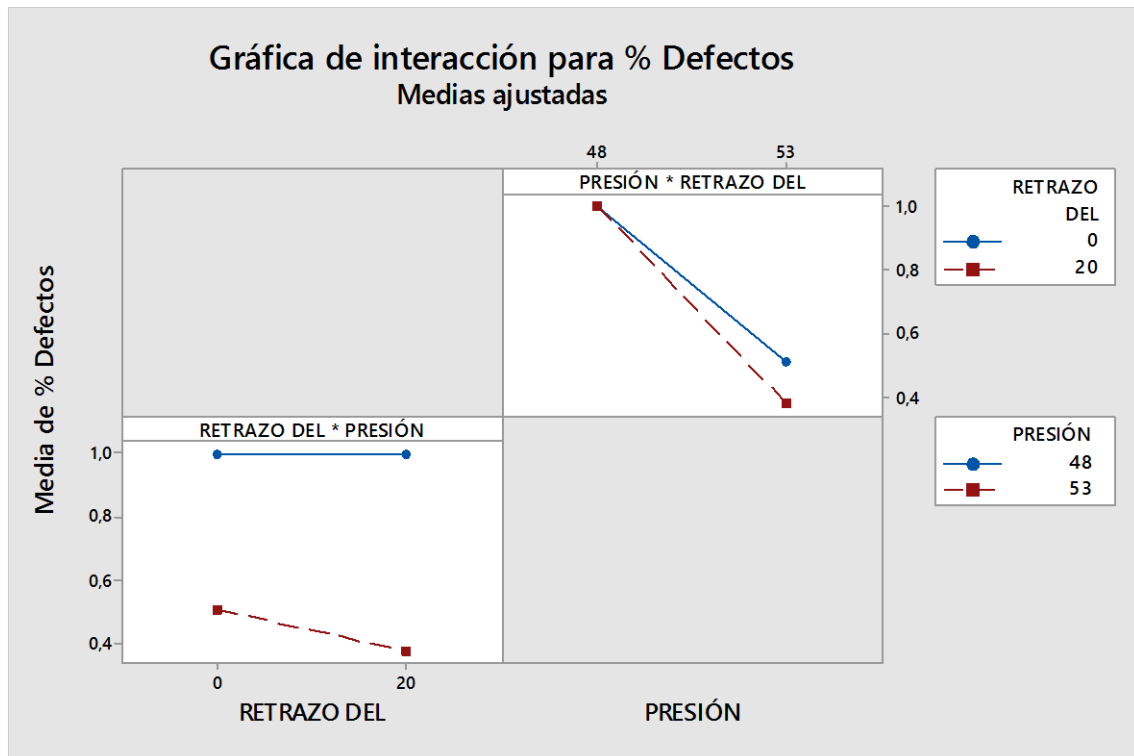
**Figura 74-3:** Gráfica de efectos principales medias ajustadas



Fuente: Autores

En la Figura 75-3 se observa que para minimizar el porcentaje de defectos del producto se debe trabajar con una presión de 53, a una velocidad de 95, con un tiempo de apoyo de 2 y con un retraso del soplo de aire de 20 teniendo en cuenta que los factores más influyentes en la variable respuesta son la velocidad y la presión.

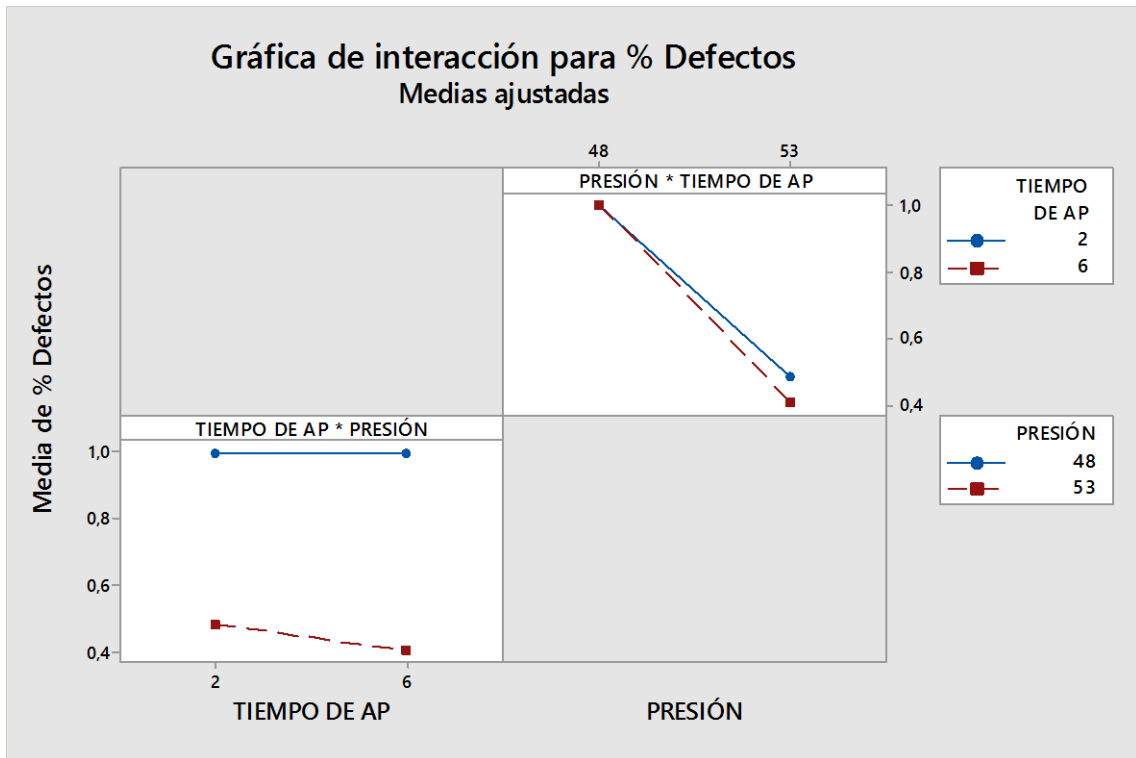
**Figura 75-3:** Gráfica de interacción retraso del soplo de aire por presión medias ajustadas



Fuente: Autores

La Figura 76-3 nos indica que para disminuir el porcentaje de defectos se debe trabajar con una presión de 53 y con un retraso del soplo de aire de 20 y no se debe trabajar a una presión de 48 y con un retraso del soplo de aire de 0 o 20 ya que así el porcentaje de defectos incrementara.

**Figura 76-3:** Gráfica de interacción tiempo de apoyo por presión medias ajustadas

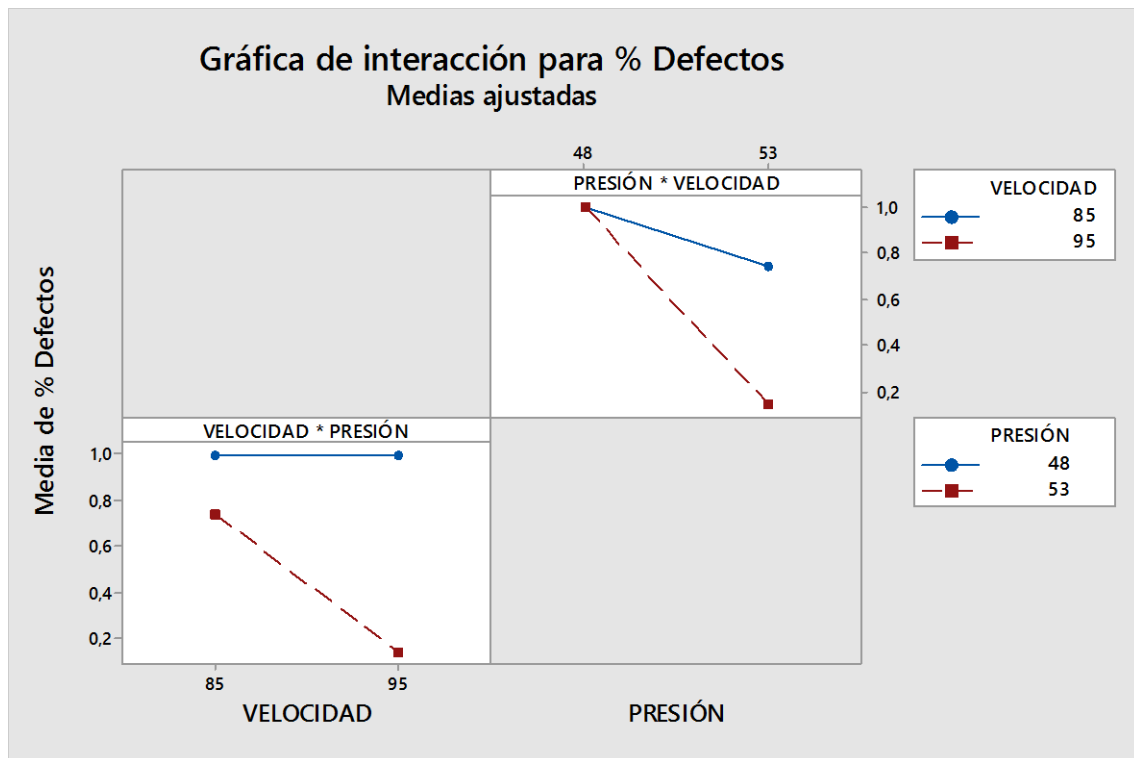


Fuente: Autores

La Figura 77-3 nos indica que para disminuir el porcentaje de defectos se debe trabajar con una presión de 53 y con un tiempo de apoyo de 6 y no se debe trabajar a una presión de 48 y con un tiempo de apoyo de 2 o 6 ya que así el porcentaje de defectos incrementara.



**Figura 77-3:** Gráfica de interacción velocidad por presión medias ajustadas



Fuente: Autores

La Figura 78-3 nos indica que para disminuir el porcentaje de defectos se debe trabajar con una presión de 53 y con una velocidad de 95 y no se debe trabajar a una presión de 48 y con una velocidad de 85 o 95 ya que así el porcentaje de defectos incrementara.

**Tabla 34-3.** Análisis de Varianza tiempo de ciclo

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tiempo de apoyo	1	371,622	371,622	3841,92	0,000
Presión	1	5,404	5,404	55,87	0,000
Retraso Soplo de aire *tiempo de apoyo	1	1,144	1,144	11,83	0,003
Retraso Soplo de aire *presión	1	5,603	5,603	57,92	0,000
Tiempo de apoyo*presión	1	6,598	6,598	68,21	0,000
velocidad*presión	1	0,942	0,942	9,74	0,007
Retraso Soplo de aire *tiempo de apoyo*velocidad*presión	1	1,182	1,182	12,22	0,003
Error	16	1,548	0,097		
Total	31	394,683			

Fuente: Autores

Con el ANOVA podemos concluir que los factores influyentes en la reducción del porcentaje de defectos son los efectos principales presión y tiempo de apoyo, los efectos de interacción doble velocidad por presión, retraso del soplo de aire por presión, retraso del soplo de aire por tiempo de apoyo, tiempo de apoyo por presión, el efecto de interacción cuádruple retraso del soplo de aire por tiempo de apoyo por presión por velocidad.

### Resumen del modelo

R-cuad = 99,61%

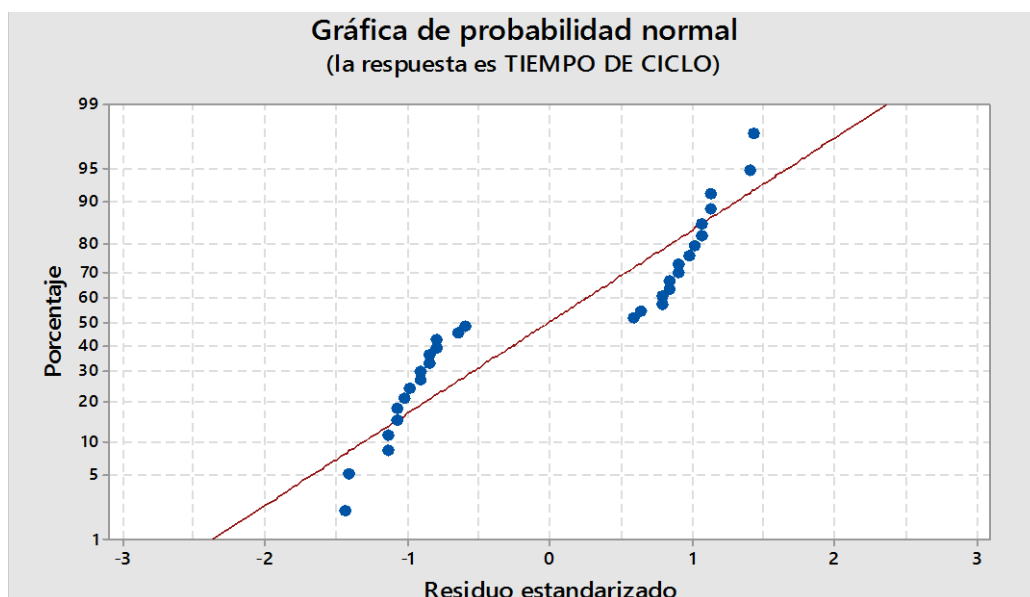
R-cuad (ajustado) = 99,24%

El  $R^2$  ajustado nos indica que el 99,24% de los factores estudiados influyen en el porcentaje de defectos mientras que un 0,76% son por otros factores.

Ecuación de regresión en unidades no codificadas

TIEMPO DE CICLO = 119,4 - 45,1 tiempo de apoyo - 1,91 presión  
 + 3,56 retraso del soplo de aire\*tiempo de apoyo+ 0,1254 retraso del soplo de aire\*velocidad  
 + 0,2053 retraso del soplo de aire\*presión+ 0,930 tiempo de apoyo\*presión+ 0,0169 velocidad\*  
 presión+ 0,000769 retraso del soplo de aire\*tiempo de apoyo\*velocidad\*presión

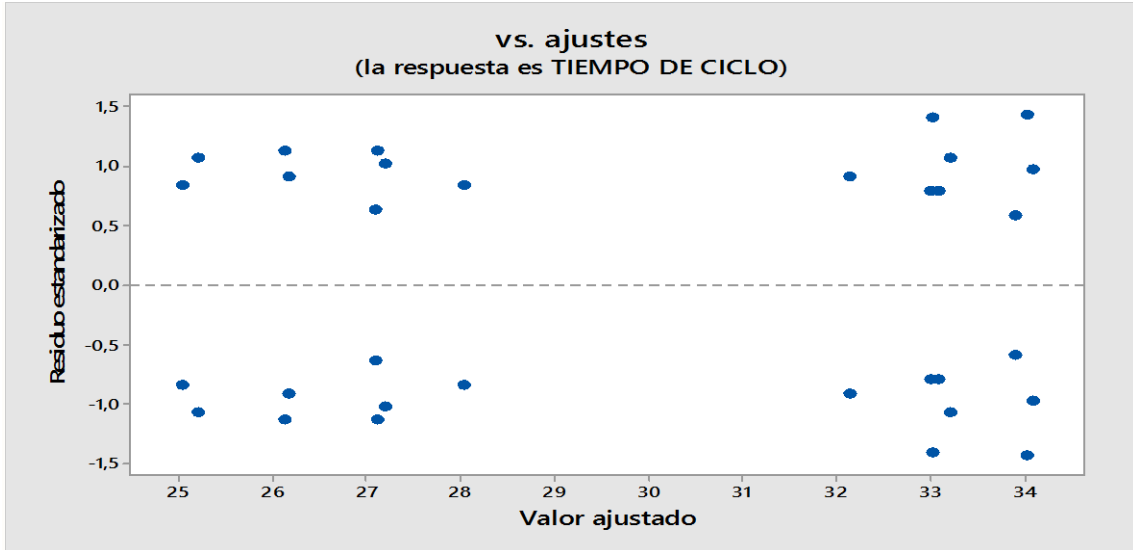
**Figura 78-3:** Gráfica de supuesto de normalidad



Fuente: Autores

La Figura 79-3 demuestra que para los datos sobre el porcentaje de defectos, los residuos siguen una línea recta. No existe evidencia de no normalidad, asimetría, variables no identificadas.

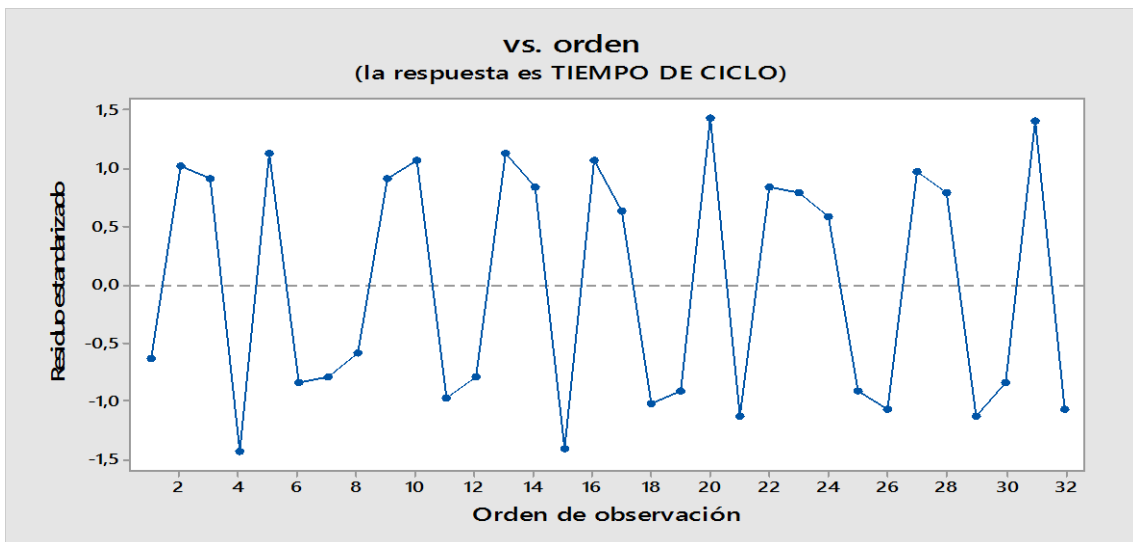
**Figura 79-3:** Gráfica de supuesto de homogeneidad de varianza



Fuente: Autores

La figura 80-3 indica los residuos versus ajustes, donde estos están dispersos aleatoriamente alrededor de cero. No existe evidencia de varianza no constante, términos faltantes.

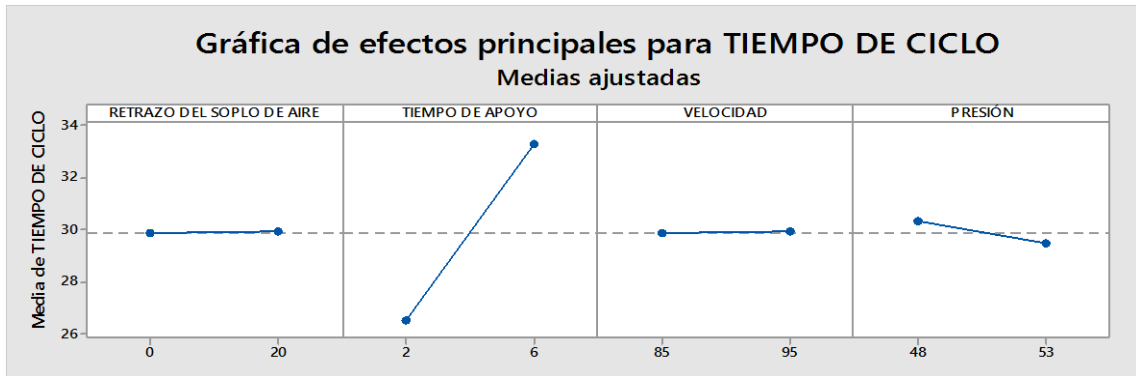
**Figura 80-3:** Gráfica de supuesto de independencia



Fuente: Autores

La Figura 81-3 indica los residuos versus ajustes, donde los datos sobre el porcentaje de defectos, los residuos están dispersos aleatoriamente alrededor de cero. No existe evidencia de que los términos de error estén correlacionados entre sí.

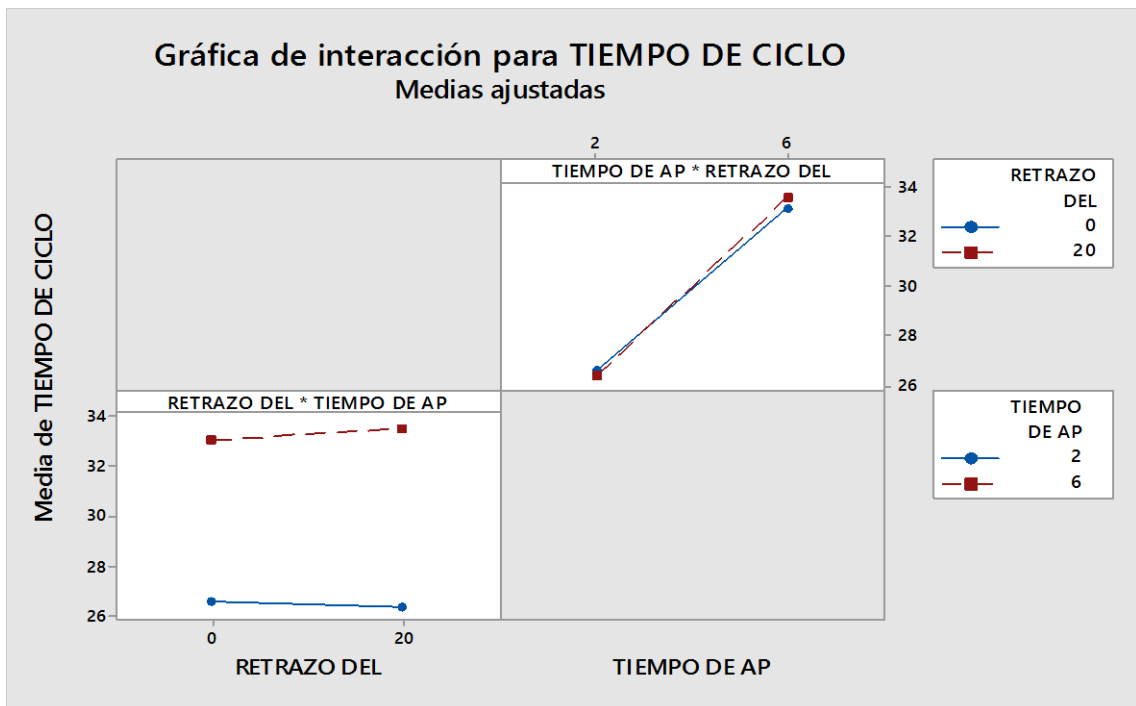
**Figura 81-3:** Gráfica de efectos principales



Fuente: Autores

En la Figura 82-3 se observa que para minimizar el tiempo de ciclo de producción se debe trabajar con un tiempo de apoyo de 2 el resto de factores no tienen influencia sobre la variable respuesta.

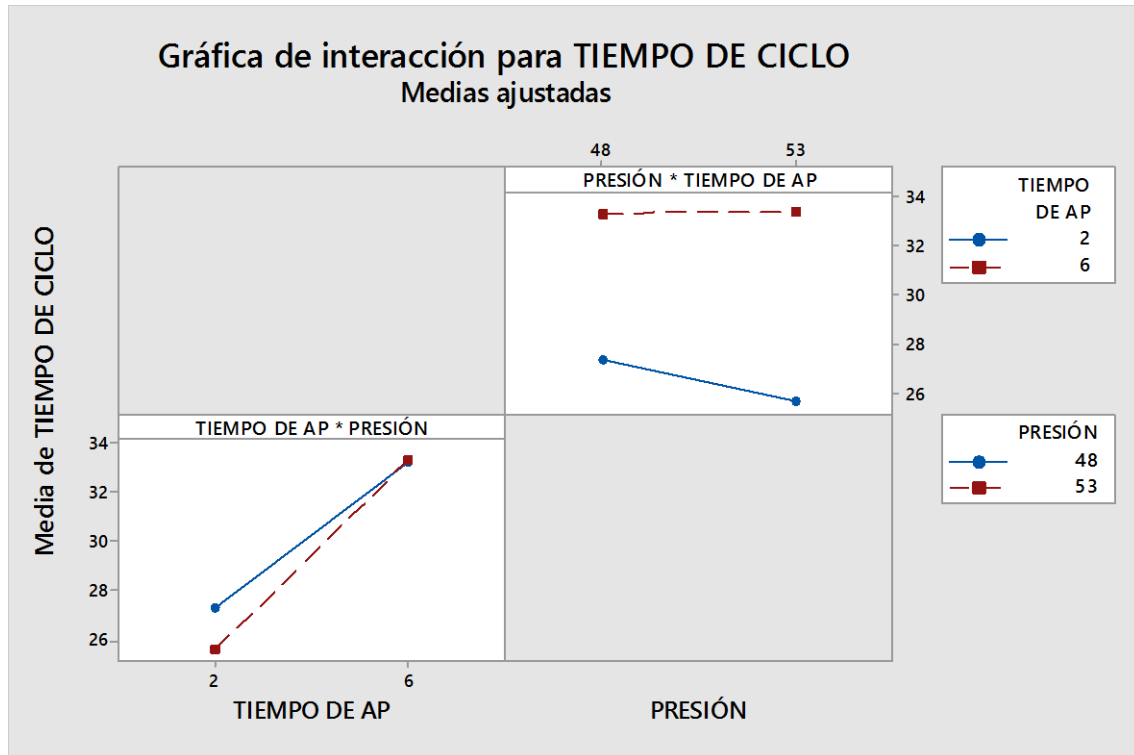
**Figura 82-3:** Gráfica de interacción retraso del soplo de aire por tiempo de apoyo medias ajustadas



Fuente: Autores

La Figura 83-3 nos indica que para disminuir el tiempo de ciclo el efecto de interacción no es influyente en la variable respuesta ya que no se muestra una diferencia significativa entre los niveles en estudio.

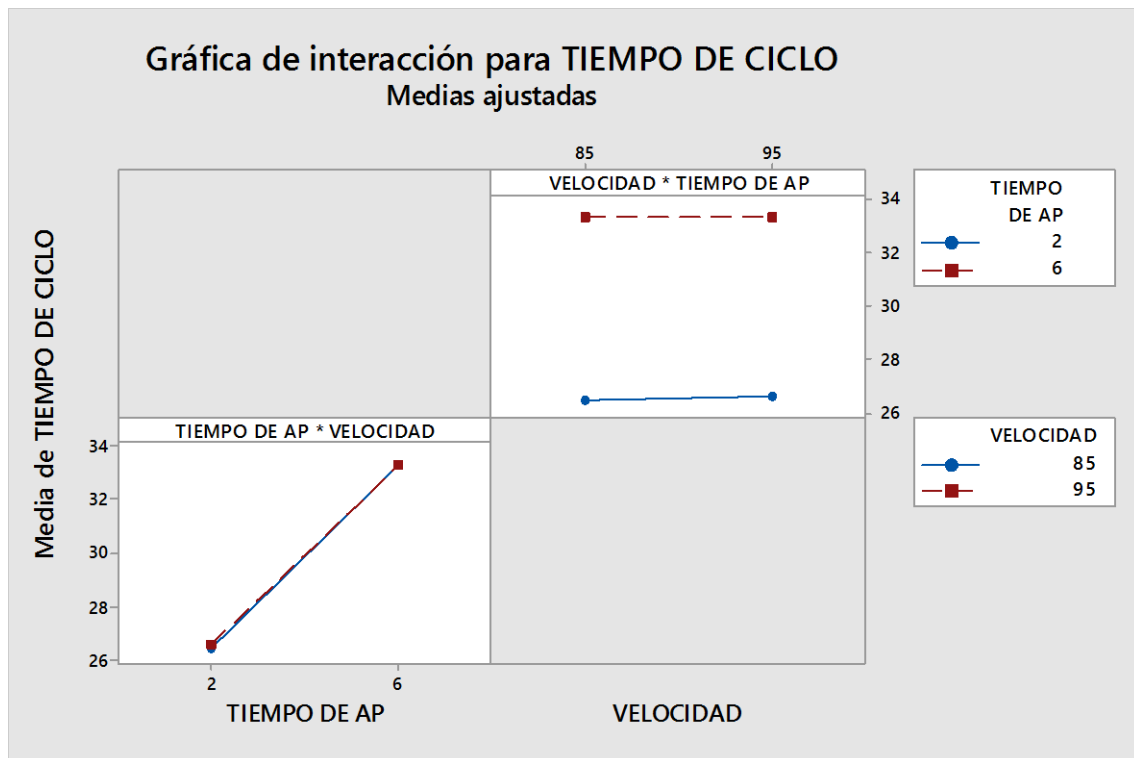
**Figura 83-3:** Gráfica de interacción tiempo de apoyo por presión medias ajustadas



Fuente: Autores

La Figura 84-3 nos indica que para disminuir el tiempo de ciclo se debe trabajar con una presión de 53 y con un tiempo de apoyo de 2 y no se debe trabajar a una presión de 48 o 53 y con un tiempo de apoyo de 6 ya que así el porcentaje de defectos incrementara.

**Figura 84-3:** Gráfica de interacción tiempo de apoyo por velocidad medias ajustadas



Fuente: Autores

La Figura 85-3 nos indica que para disminuir el tiempo de ciclo se debe trabajar con un tiempo de apoyo de 2 y con una velocidad de 85 o 95 y no se debe trabajar a un tiempo de apoyo de 6 y con una velocidad de 85 o 95 ya que así el porcentaje de defectos incrementara.

### 3.4.5.3. Diseño Experimental de la talla 30 de la máquina WT-02

Los factores de este diseño con sus niveles están detallados a continuación:

**Tabla 35-3.** Factores y niveles del diseño 2<sup>4</sup>

PRESION (psi)	VELOCIDAD (rpm)	Tiempo de apoyo (seg)	Retraso del soplo de aire (seg)
47	85	2	0
57	95	6	20

Fuente: Autores

Las constantes para este diseño experimental fueron:

**Tabla 36-3.**Constantes del diseño 2<sup>4</sup>

CONSTANTE	
Temperaturas (°C)	
Z1	135
Z2	160
Z3	160
Z4	135
Contra presión (psi)	0
Velocidad del tornillo (rpm)	100

Fuente: Autores

**Tabla 37-3.**Diseño experimental factorial 2<sup>4</sup>

Factores:	4	Réplicas:	2
Corridas base:	16	Total de corridas:	32
Bloques base:	1	Total de bloques:	1

Fuente: Autores

**Tabla 38-3.**Análisis de Varianza porcentaje de defectos

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Retraso del soplo de aire	1	0,01319	0,01319	64,76	0,000
Tiempo de apoyo	1	0,01253	0,01253	61,54	0,000
Velocidad	1	0,41097	0,41097	2017,81	0,000
Presión	1	0,3121	0,3121	1532,37	0,000
Retraso Soplo de aire *presión	1	0,00482	0,00482	23,68	0,000
Tiempo apoyo*velocidad	1	0,05427	0,05427	266,45	0,000
Tiempo de apoyo*presión	1	0,08203	0,08203	402,73	0,000
velocidad*presión	1	0,19154	0,19154	940,44	0,000
Retraso soplo de aire*tiempo de apoyo* velocidad	1	0,0053	0,0053	26,04	0,000
Retraso soplo de aire*tiempo de apoyo*presión	1	0,00293	0,00293	14,39	0,002
Retraso soplo de aire*velocidad*presión	1	0,01783	0,01783	87,55	0,000
Retraso soplo de aire*tiempo de apoyo*velocidad*Presión	1	0,00588	0,00588	28,89	0,000
Error	16	0,00326	0,000204		
Total	31	1,11787			

Fuente: Autores

Con el ANOVA podemos concluir que los factores influyentes en la reducción del porcentaje de defectos son todos los efectos principales, los efectos de interacción doble velocidad por presión, retraso del soplo de aire por presión, tiempo de apoyo por velocidad, tiempo de apoyo por presión, los efectos de interacción triple retraso del soplo de aire por tiempo de apoyo por presión, retraso del soplo de aire por tiempo de apoyo por velocidad y retraso del soplo de aire por presión por velocidad y el efecto de interacción cuádruple retraso del soplo de aire por tiempo de apoyo por presión por velocidad.

### **Resumen del modelo**

R-cuad = 99,71%

R-cuad (ajustado) = 99,44%

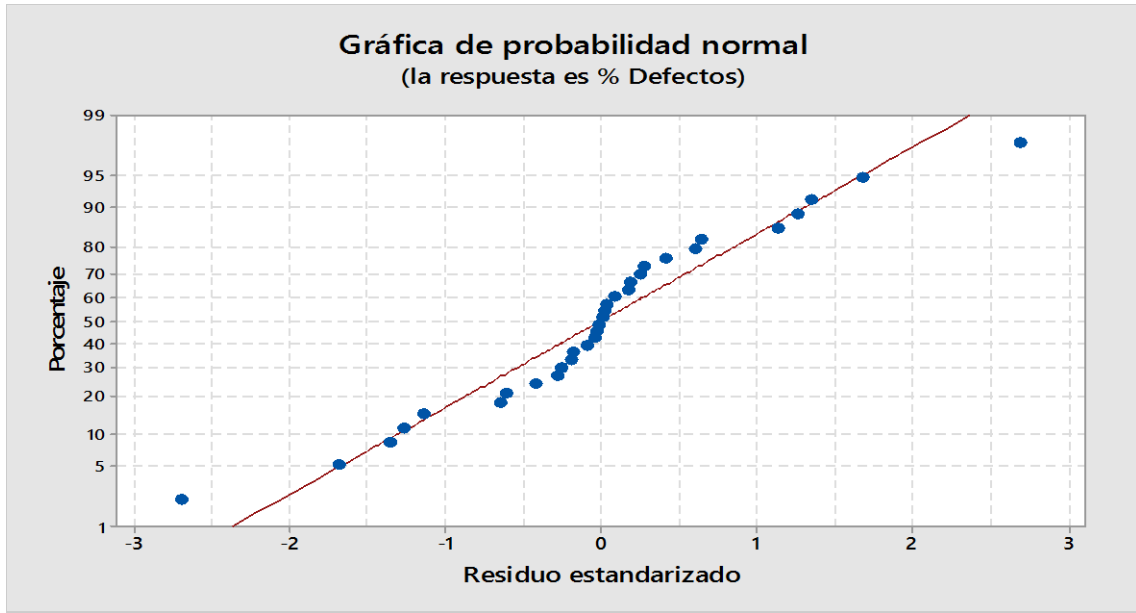
El  $R^2$  ajustado nos indica que el 99,44% de los factores estudiados influyen en el porcentaje de defectos mientras que un 0,56% son por otros factores.

Ecuación de regresión en unidades no codificadas.

Porcentaje de Defectos = -2,05 - 1,010 retraso del soplo de aire - 1,043 tiempo de apoyo + 0,0323 velocidad+ 0,1326 presión+ 0,01840 retraso del soplo de aire\*presión+ 0,01408 tiempo de apoyo\*velocidad+ 0,01090 tiempo de apoyo\*presión- 0,001483 velocidad\*presión- 0,001539 retraso del soplo de aire\*tiempo de apoyo\*velocidad- 0,002536 retraso del soplo de aire\*tiempo de apoyo\*presión- 0,000203 retraso del soplo de aire\*velocidad\*presión+ 0,000027 retraso del soplo de aire\*tiempo de apoyo\*velocidad\*presión



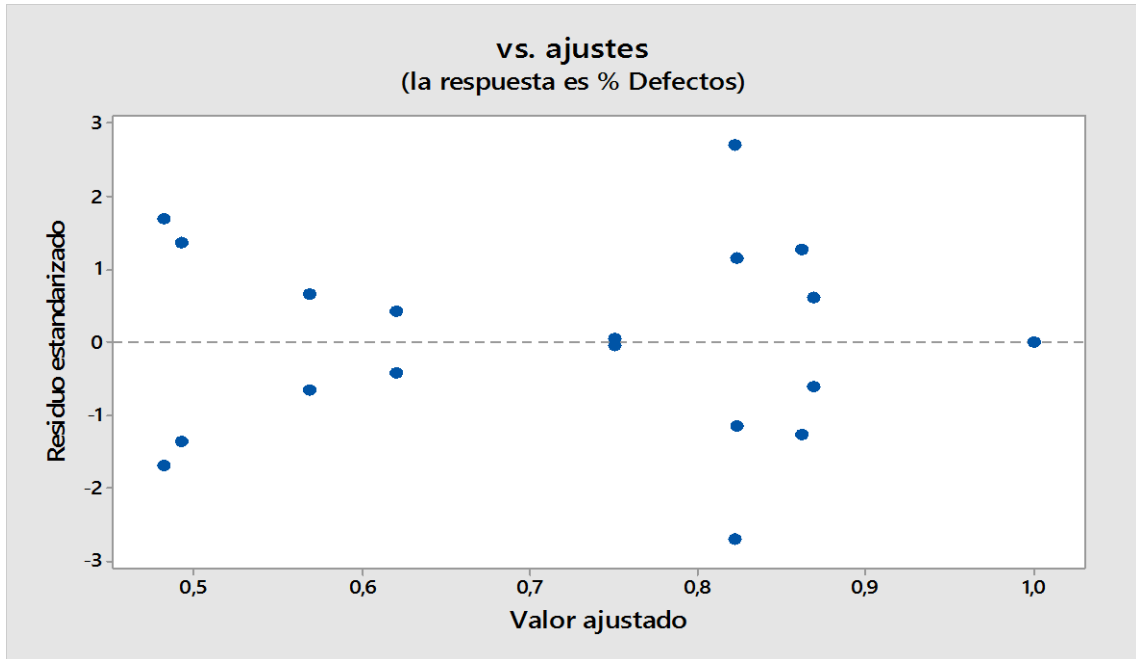
**Figura 85-3:** Gráfica de supuesto de normalidad



Fuente: Autores

La Figura 86-3 indica que los residuos siguen una línea recta, por lo tanto existe evidencia de normalidad, asimetría.

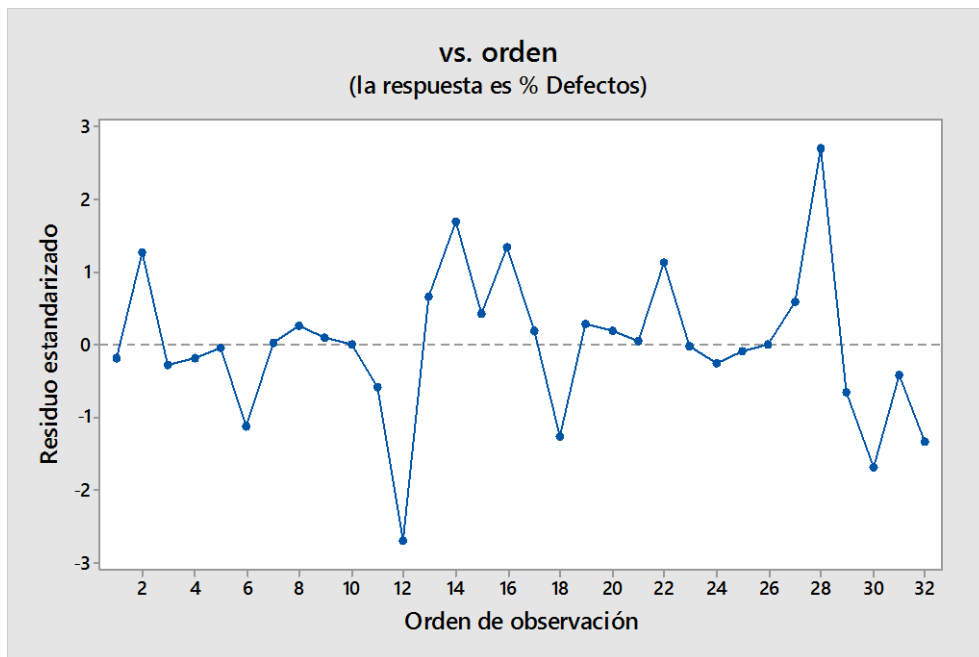
**Figura 86-3:** Gráfica de supuesto de homogeneidad de varianza residuos vs ajustes



Fuente: Autores

En la Figura 87-3 indica que los residuos vs ajustes están dispersos aleatoriamente alrededor de cero. No existe evidencia de varianza no constante, términos faltantes.

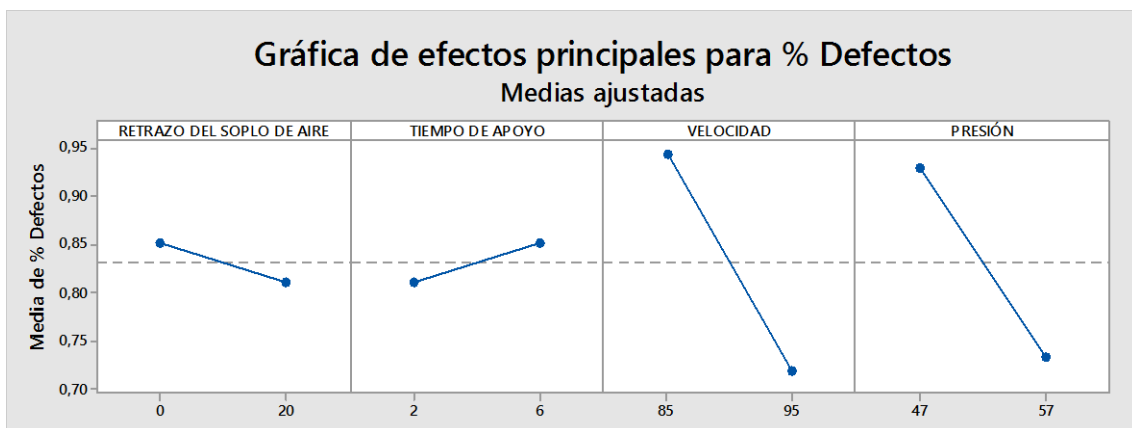
**Figura 87-3:** Gráfica de supuesto de independencia residuos vs orden



Fuente: Autores

La figura 88-3 expresa que los residuos vs el orden están dispersos aleatoriamente alrededor de cero.

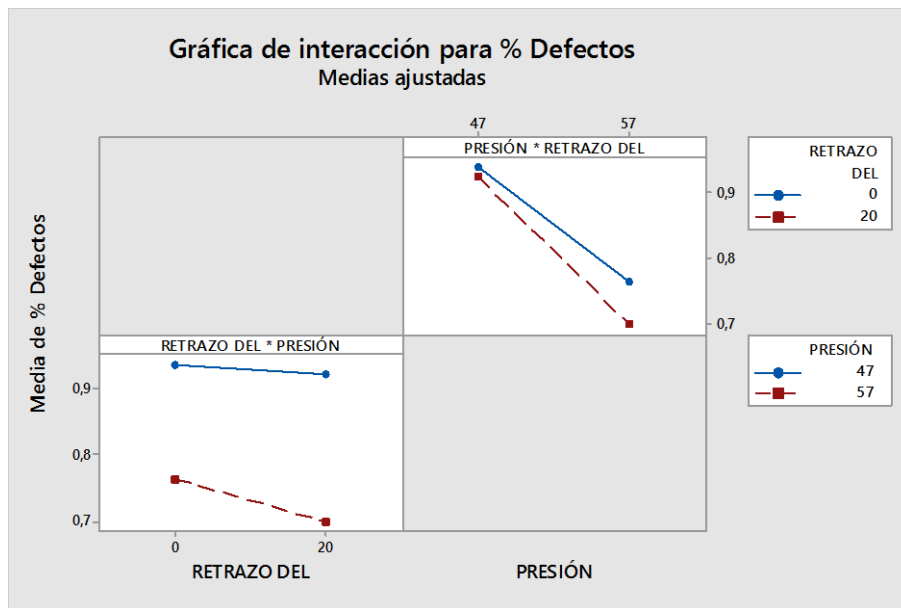
**Figura 88-3:** Gráfica de efectos principales medias ajustadas



Fuente: Autores

En la Figura 89-3 se observa que para minimizar el porcentaje de defectos del producto se debe trabajar con una presión de 57, a una velocidad de 95, con un tiempo de apoyo de 2 y con un retraso del soplo de aire de 20 teniendo en cuenta que los factores más influyentes en la variable respuesta son la velocidad y la presión.

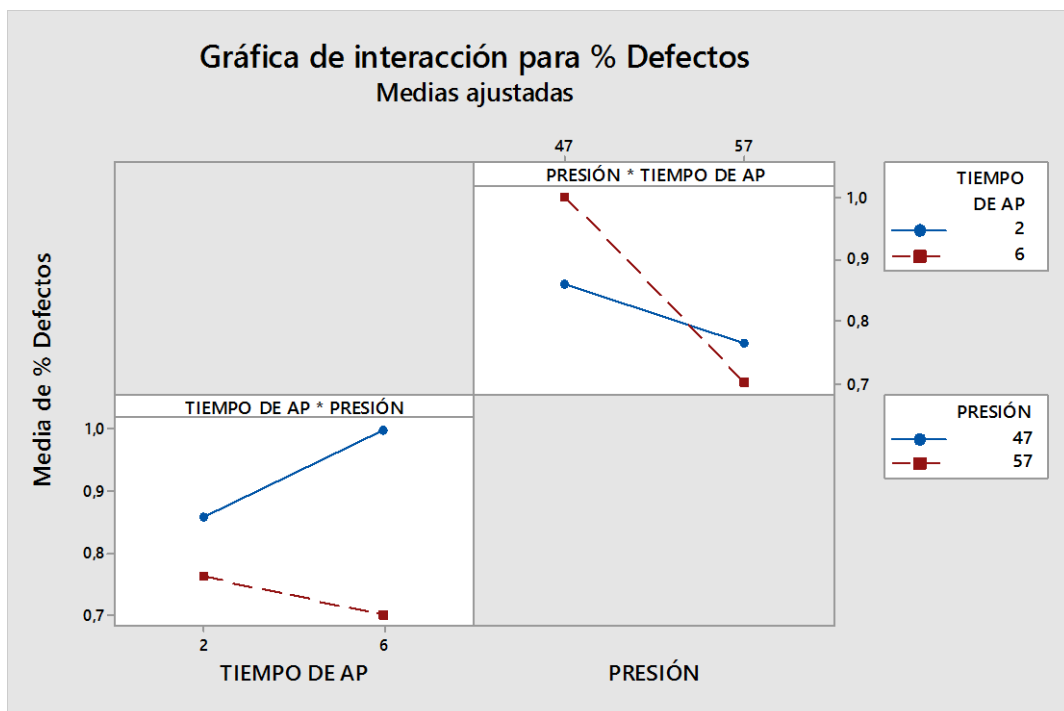
**Figura 89-3:** Gráfica de interacción retraso del soplo de aire por presión medias ajustadas



Fuente: Autores

La Figura 90-3 nos indica que para disminuir el porcentaje de defectos se debe trabajar con una presión de 57 y con un retraso del soplo de aire de 20 y no se debe trabajar a una presión de 47 y con un retraso del soplo de aire de 0 ya que así el porcentaje de defectos incrementara.

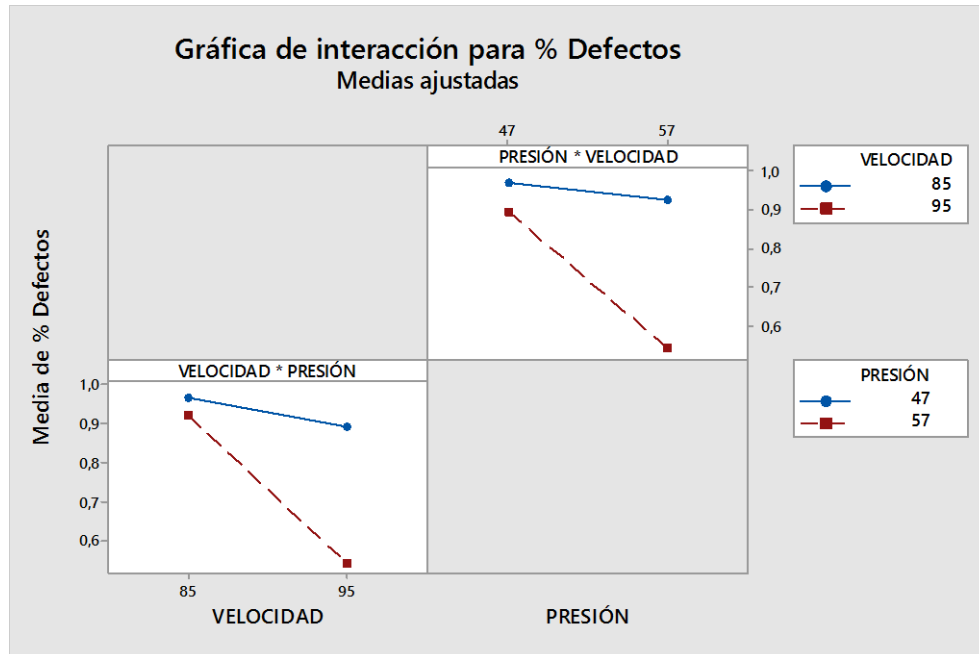
**Figura 90-3:** Gráfica de interacción tiempo de apoyo por presión medias ajustadas



Fuente: Autores

La Figura 91-3 nos indica que para disminuir el porcentaje de defectos se debe trabajar con una presión de 57 y con un tiempo de apoyo de 6 y no se debe trabajar a una presión de 47 y con un tiempo de apoyo de 6 ya que así el porcentaje de defectos incrementara.

**Figura 91-3:** Gráfica de interacción velocidad por presión medias ajustadas



Fuente: Autores

La Figura 92-3 nos indica que para disminuir el porcentaje de defectos se debe trabajar con una presión de 57 y con una velocidad de 95 y no se debe trabajar a una presión de 47 y con una velocidad de 85 ya que así el porcentaje de defectos incrementara.

#### 3.4.5.4. Diseño Experimental de la talla 31 de la máquina WT-02

Los factores de este diseño con sus niveles están detallados a continuación:

**Tabla 39-3.** Factores y niveles del diseño 2<sup>4</sup>

PRESION (psi)	VELOCIDAD (rpm)	Tiempo de apoyo (seg)	Retraso del soplo de aire (seg)
49	78	1	0
54	88	7	20

Fuente: Autores

Las constantes para este diseño experimental fueron:

**Tabla 40-3.**Constantes del diseño 2<sup>4</sup>

CONSTANTE	
Temperaturas (°C)	
Z1	135
Z2	160
Z3	160
Z4	135
Contra presión (psi)	0
Velocidad del tornillo (rpm)	100

Fuente: Autores

**Tabla 41-3.**Diseño experimental factorial 2<sup>4</sup>

Factores:	4	Réplicas:	2
Corridas base:	16	Total de corridas:	32
Bloques base:	1	Total de bloques:	1

Fuente: Autores

**Tabla 42-3.**Análisis de Varianza porcentaje de defectos

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Retraso del soplo de aire	1	0,00113	0,00113	16,65	0,001
Tiempo de apoyo	1	0,30980	0,30980	4549,72	0,000
Velocidad	1	0,00401	0,00401	58,84	0,000
Presión	1	0,54904	0,54904	8063,15	0,000
Retraso Soplo de aire *velocidad	1	0,00056	0,00056	8,24	0,011
Retraso Soplo de aire *presión	1	0,00113	0,00113	16,65	0,000
Tiempo apoyo*velocidad	1	0,06134	0,06134	900,86	0,000
Tiempo de apoyo*presión	1	0,30980	0,30980	4549,72	0,000
velocidad*presión	1	0,00401	0,00401	58,84	0,000
Retraso soplo de aire*velocidad*presión	1	0,00056	0,00056	8,24	0,011
Tiempo de apoyo*velocidad*Presión	1	0,06134	0,06134	900,86	0,000
Error	16	0,00109	0,000068		
Total	31	1,30434			

Fuente: Autores

Con el ANOVA podemos concluir que los factores influyentes en la reducción del porcentaje de defectos son todos los efectos principales, los efectos de interacción doble velocidad por presión, retraso del soplo de aire por presión, retraso del soplo de aire por velocidad, tiempo de apoyo por velocidad, tiempo de apoyo por presión, los efectos de interacción triple retraso del soplo de aire por presión por velocidad y tiempo de apoyo por presión por velocidad.

### **Resumen del modelo**

R-cuad = 99,92%

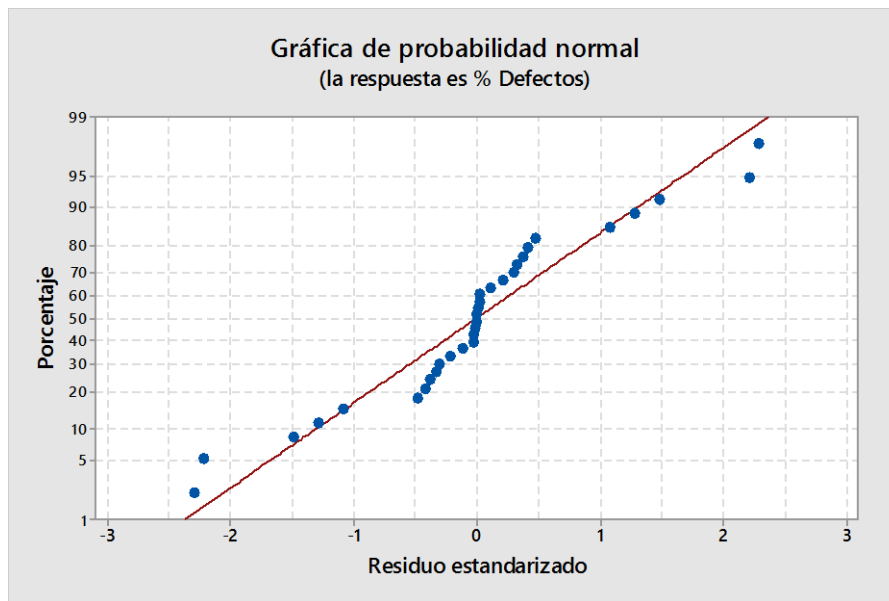
R-cuad (ajustado) = 99,84%

El R<sup>2</sup> ajustado nos indica que el 99,84% de los factores estudiados influyen en el porcentaje de defectos mientras que un 0,16% son por otros factores.

Ecuación de regresión en unidades no codificadas.

Porcentaje de Defectos = -14,80 - 0,1114 retraso del soplo de aire + 4,653 tiempo de apoyo  
+ 0,1910 velocidad + 0,2926 presión - 0,0129 retraso del soplo de aire\*tiempo de apoyo  
+ 0,00128 retraso del soplo de aire\*velocidad + 0,00206 retraso del soplo de aire\*presión  
- 0,06437 tiempo de apoyo\*velocidad - 0,08617 tiempo de apoyo\*presión  
- 0,003538 velocidad\*presión - 0,000024 retraso del soplo de aire\*velocidad\*presión  
+ 0,001192 tiempo de apoyo\*velocidad\*presión.

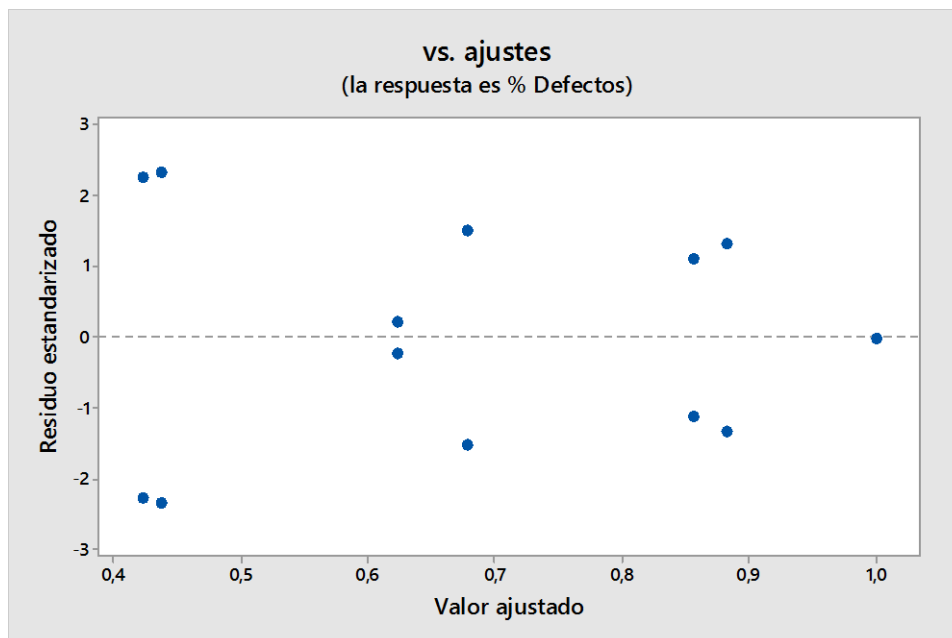
**Figura 92-3:** Gráfica de supuesto de normalidad



Fuente: Autores

La figura 93-3 enseña que para los datos sobre el porcentaje de defectos, los residuos siguen una línea recta, por lo tanto existe evidencia de normalidad, asimetría.

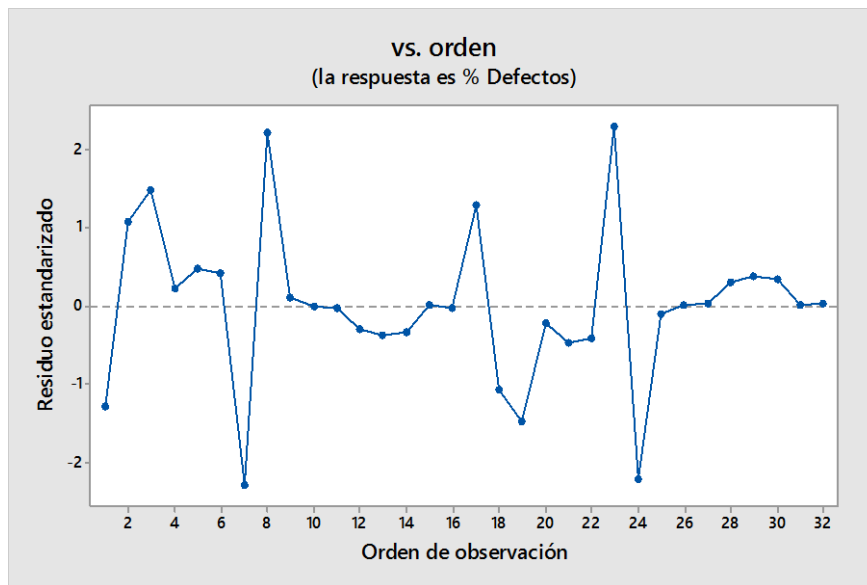
**Figura 93-3:** Gráfica de supuesto de homogeneidad de varianza residuos vs ajustes



Fuente: Autores

La Figura 94-3 los Residuos versus ajustes están dispersos aleatoriamente alrededor de cero. No existe evidencia de varianza no constante, términos faltantes.

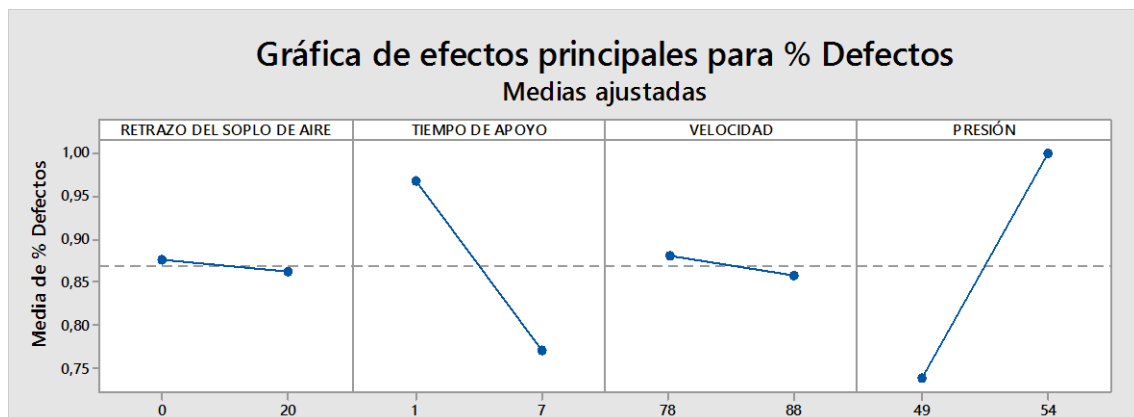
**Figura 94-3:** Gráfica de supuesto de independencia residuos vs orden



Fuente: Autores

La Figura 95-3 en los datos sobre el porcentaje de defectos, los residuos versus orden están dispersos aleatoriamente alrededor de cero con excepción de 20 residuos que son producidos debido a que durante la toma de datos la variable respuesta dio la misma siendo esta del 100% de defectos.

**Figura 95-3:** Gráfica de efectos principales medias ajustadas

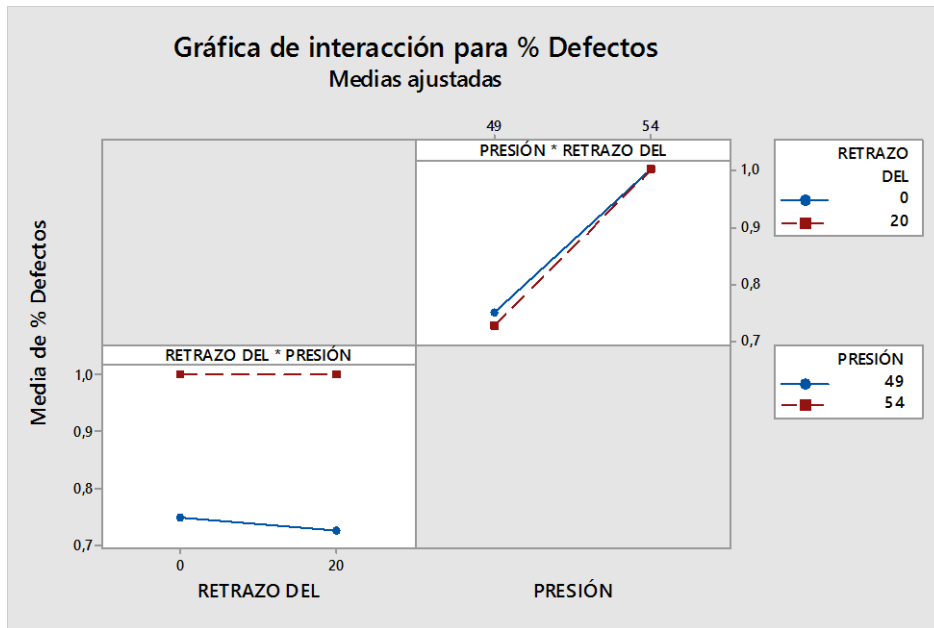


Fuente: Autores

En la Figura 96-3 demuestra que para minimizar el porcentaje de defectos del producto se debe trabajar con una presión de 49, a una velocidad de 88, con un tiempo de apoyo de 7 y con un retraso del soplo de aire de 20 teniendo en cuenta que los factores más influyentes en la variable respuesta son la velocidad y la presión.



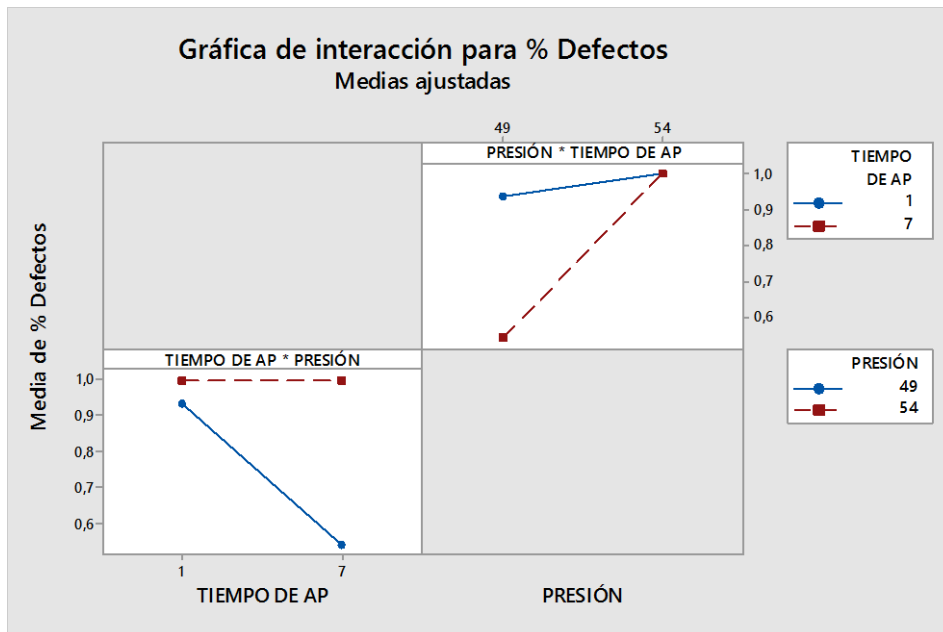
**Figura 96-3:** Gráfica de interacción retraso del soplo de aire por presión medias ajustadas



Fuente: Autores

La Figura 97-3 nos indica que para disminuir el porcentaje de defectos se debe trabajar con una presión de 49 y con un retraso del soplo de aire de 20 y no se debe trabajar a una presión de 54 y con un retraso del soplo de aire de 0 o 20 ya que así el porcentaje de defectos incrementara.

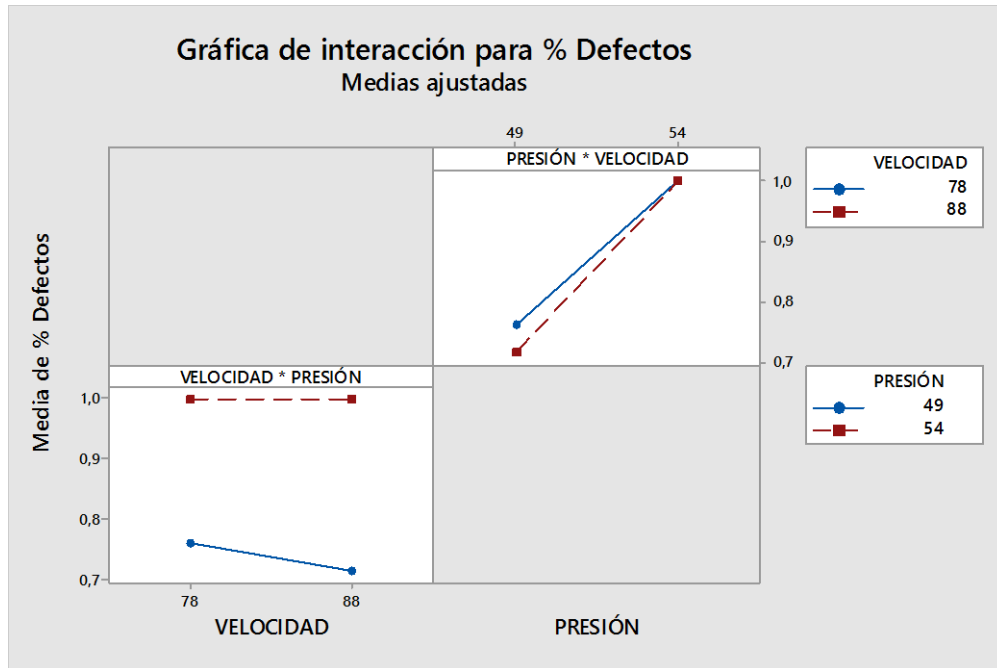
**Figura 97-3:** Gráfica de interacción tiempo de apoyo por presión medias ajustadas



Fuente: Autores

La Figura 98-3 nos indica que para disminuir el porcentaje de defectos se debe trabajar con una presión de 49 y con un tiempo de apoyo de 7 y no se debe trabajar a una presión de 54 y con un tiempo de apoyo de 1 o 7 ya que así el porcentaje de defectos incrementara.

**Figura 98-3:** Gráfica de interacción velocidad por presión medias ajustadas



Fuente: Autores

La Figura 99-3 nos indica que para disminuir el porcentaje de defectos se debe trabajar con una presión de 49 y con una velocidad de 88 y no se debe trabajar a una presión de 54 y con una velocidad de 78 o 88 ya que así el porcentaje de defectos incrementara.

## Resultado

El diseño experimental determinó que las condiciones óptimas para el proceso de producción de la bota infantil deberían ser para controlar el defecto de los huecos en el talón trabajar con retraso del soplo de aire de 20, para tener un tiempo de ciclo de máximo 27 seg/ par se debe trabajar con tiempos de apoyo de 2 a 4. Los diseños nos demostraron que trabajando con presiones bajas el porcentaje de defectos aumenta al igual que con presiones altas la presión óptima debe ser [47-57] tomando en cuenta que las tallas pequeñas (21-22-23-24,25,26) pueden trabajar a 47, 48, 49 mientras que las tallas grandes (28,29,30,31,32,33) deben trabajar a 52,53,54.

Mientras que la velocidad optima es [87-97] tomando en cuenta las mismas características de la presión. Al momento de trabajar en las tallas grandes con presiones de 47, 48, 49 se debe bajar la velocidad y aumentar el tiempo de apoyo pero si se hace eso no se podrá trabajar a un tiempo de ciclo de 27 seg/par.

### 3.4.6. *Diseño Experimental de las tallas (estaciones) máquina WT-05*

#### 3.4.6.1. *Diseño Experimental de la talla 26 de la máquina WT-05*

Los factores de este diseño con sus niveles están detallados a continuación:

**Tabla 43-3.** Factores y niveles del diseño 3<sup>2</sup>

PRESION	VELOCIDAD
31	60
33	65
35	75

Fuente: Autores

Las constantes para este diseño experimental fueron:

**Tabla 44-3.** Constantes del diseño 3<sup>2</sup>

CONSTANTE	
Temperaturas (°C)	
Z1	160
Z2	165
Z3	165
Z4	130
Contra presión	0
Velocidad del tornillo	90-100
Tiempo de apoyo	1-4
Retraso del soplo de aire	20

Fuente: Autores

**Tabla 45-3.**Diseño experimental factorial 3<sup>2</sup>

Factores:	2	Réplicas:	2
Corridas base:	9	Total de corridas:	18
Bloques base:	1	Total de bloques:	1
Número de niveles:	3. 3		

Fuente: Autores

**Tabla 46-3.**Información del factor

Factor	Niveles	Valores		
Presión	3	31	33	35
Velocidad	3	60	65	75

Fuente: Autores

**Tabla 47-3.**Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Presión	2	0,76132	0,38066	2121,3	0,000
Velocidad	2	0,11248	0,056240	313,40	0,000
Presión*Velocidad	4	1,29749	0,324373	1807,63	0,000
Error	9	0,00162	0,000179		
Total	17	2,17291			

Fuente: Autores

Con el ANOVA podemos concluir que los factores influyentes en la reducción del porcentaje de defectos son los efectos principales presión, velocidad y el efecto de interacción doble velocidad por presión.

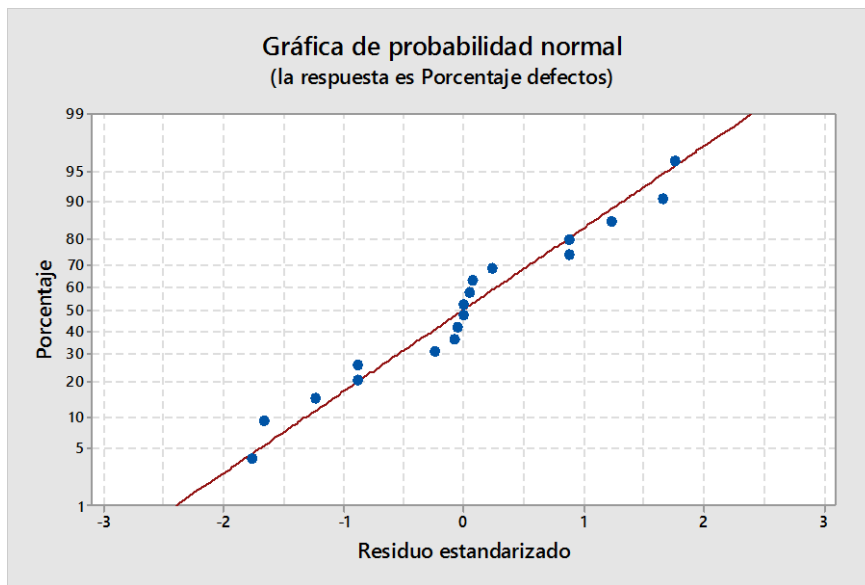
### Resumen del modelo

R-cuad = 99,93%

R-cuad (ajustado) = 99,86%

El R<sup>2</sup> ajustado nos indica que el 99,86% de los factores estudiados influyen en el porcentaje de defectos mientras que un 0,14% son por otros factores.

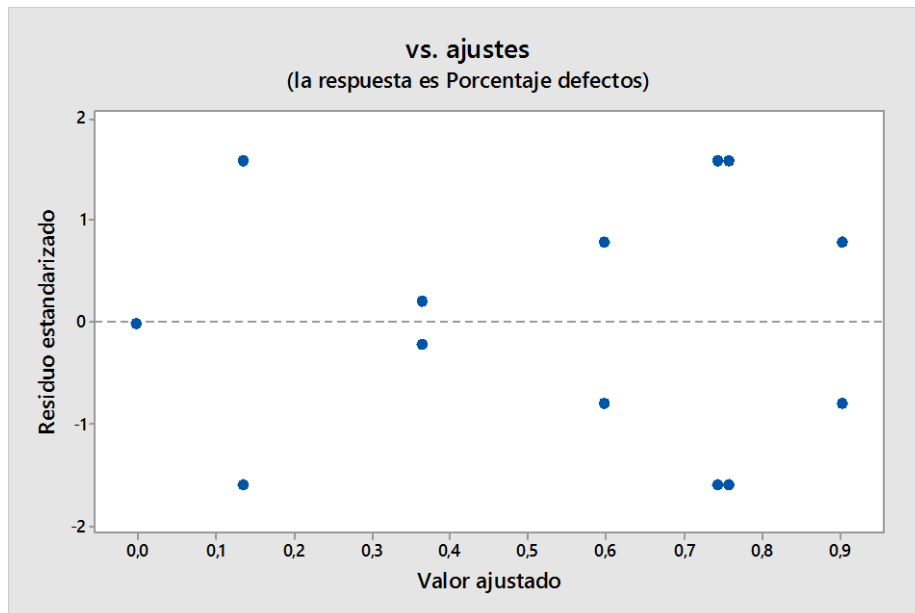
**Figura 99-3:** Gráfica de supuesto normalidad



Fuente: Autores

La Figura 100-3 en los datos sobre el porcentaje de defectos, los residuos siguen una línea recta, por lo tanto existe evidencia de normalidad, asimetría.

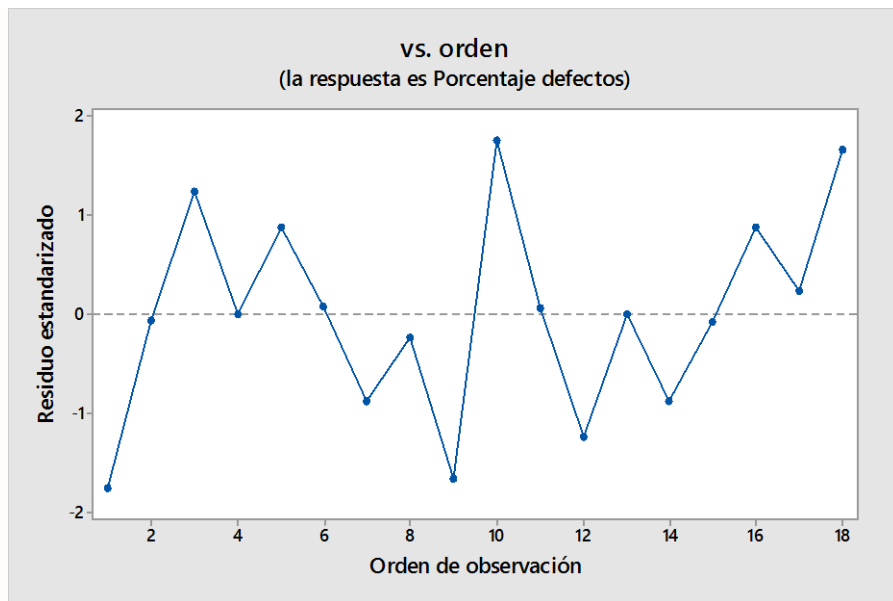
**Figura 100-3:** Gráfica de supuesto homogeneidad de varianza residuos vs ajustes



Fuente: Autores

La Figura 101-3 indica los residuos versus ajustes, donde los residuos están dispersos aleatoriamente alrededor de cero. No existe evidencia de varianza no constante.

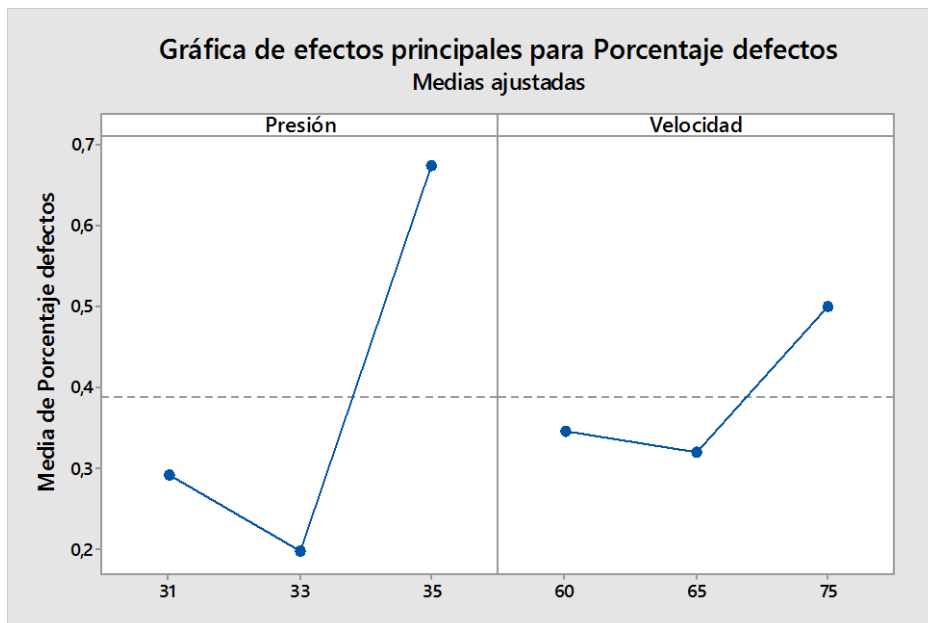
**Figura 101-3:** Gráfica de supuesto de independencia residuos vs orden



Fuente: Autores

La Figura 102-3 muestra los residuos versus orden donde los datos sobre el porcentaje de defectos, los residuos están dispersos aleatoriamente alrededor de cero.

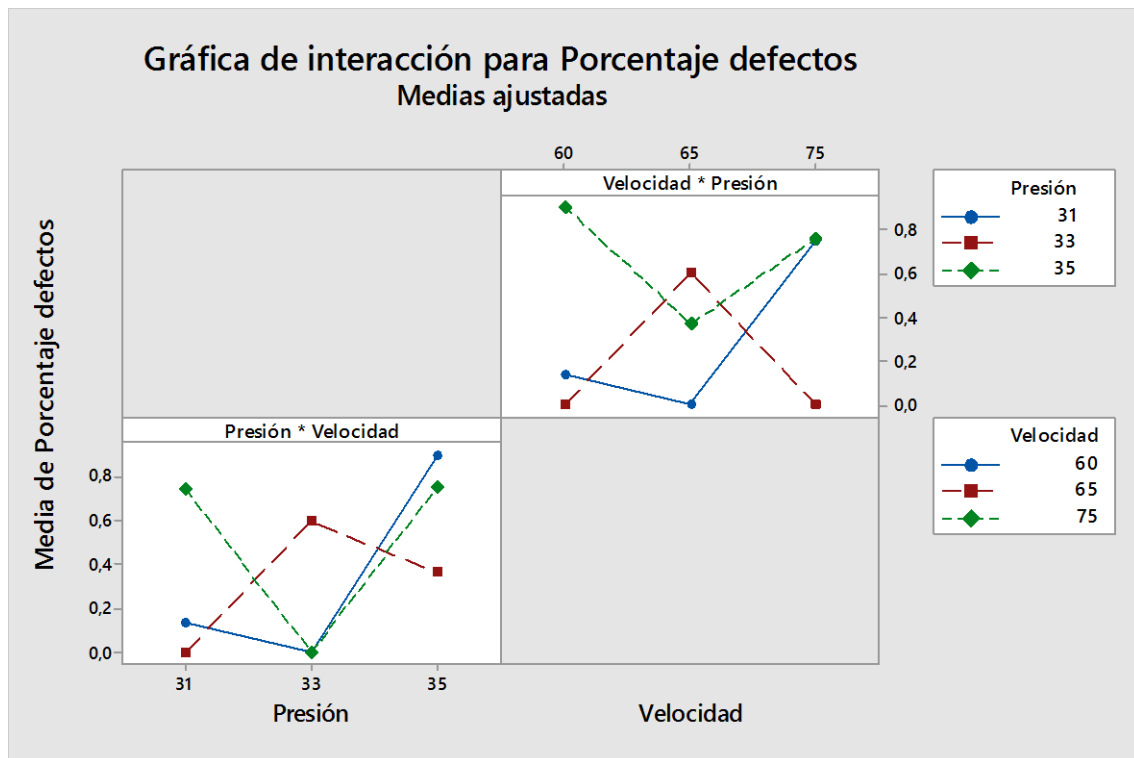
**Figura 102-3:** Gráfica de efectos principales medias ajustadas



Fuente: Autores

En la Figura 103-3 se observa que para minimizar el porcentaje de defectos del producto se debe trabajar con una presión de 33 y a una velocidad de 65.

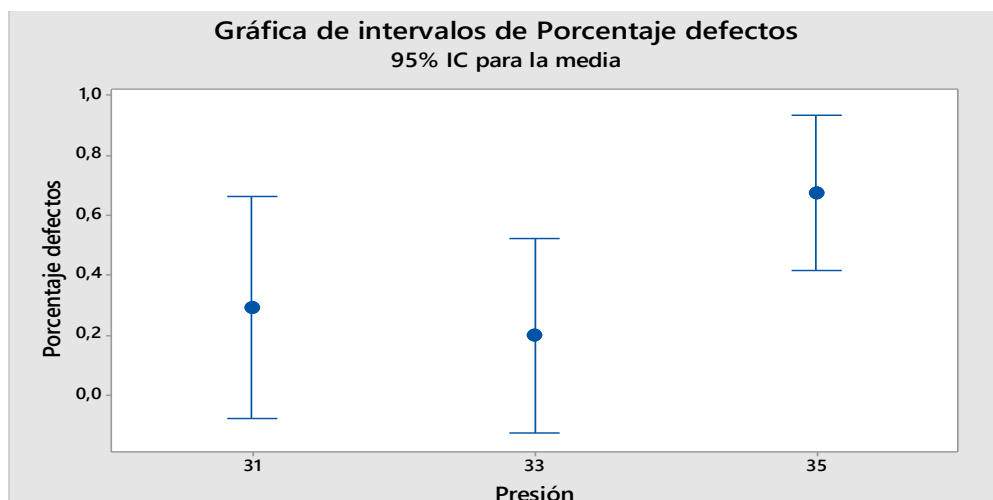
**Figura 103-3:** Gráfica de interacción medias ajustadas



Fuente: Autores

La Figura 104-3 revela que para disminuir el porcentaje de defectos y a su vez reducir el tiempo de ciclo se debe trabajar con una presión de 33 con una velocidad de 60 o 75, o con una presión de 31 a una velocidad de 65 y no se debe trabajar a una presión de 35 con una velocidad de 60 ya que con estos niveles el porcentaje de defectos incrementara.

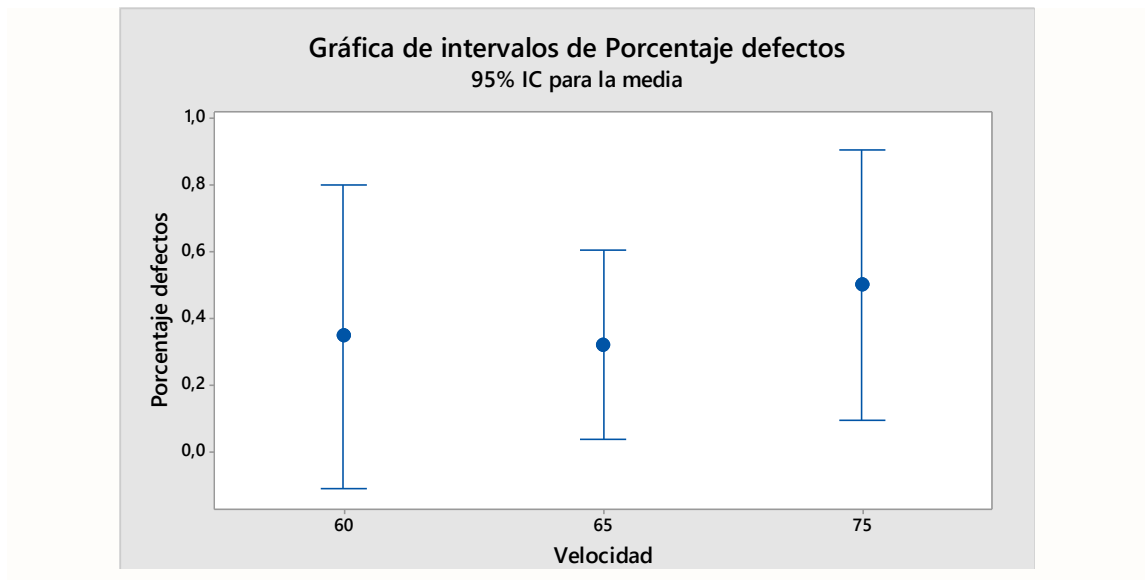
**Figura 104-3:** Gráfica de intervalos de la presión



Fuente: Autores

En la Figura 105-3 se concluye que la presión si es diferente con relación al porcentaje de imperfecciones, por lo que se recomienda utilizar una presión de 33 para la elaboración de la bota infantil ya que de esta manera se obtiene un porcentaje de defectos mínimo con un tiempo de ciclo de 27 segundos por par que es lo que se desea.

**Figura 105-3:** Gráfica de intervalos de la velocidad.



Fuente: Autores

En la Figura 106-3 se concluye que la velocidad si es diferente con relación al porcentaje de imperfecciones, por lo que se recomienda utilizar una velocidad del tornillo de 60 a 65 para la elaboración de la bota infantil ya que de esta manera se obtiene un porcentaje de defectos mínimo con un tiempo de ciclo de 27 segundos por par que es lo que se desea.

#### 3.4.6.2. Diseño Experimental de la talla 31 de la máquina WT-05

Los factores de este diseño con sus niveles están detallados a continuación:

**Tabla 48-3.** Factores y niveles del diseño 3<sup>2</sup>

PRESION	VELOCIDAD
31	60
33	65
35	75

Fuente: Autores



Las constantes para este diseño experimental fueron:

**Tabla 49-3.**Constantes del diseño  $3^2$

CONSTANTE	
Temperaturas (°C)	
Z1	160
Z2	165
Z3	165
Z4	130
Contra presión	0
Velocidad del tornillo	90-100
Tiempo de apoyo	1-4
Retraso del soplo de aire	20

Fuente: Autores

**Tabla 50-3.**Diseño experimental factorial  $3^2$

Factores:	2	Réplicas:	2
Corridas base:	9	Total de corridas:	18
Bloques base:	1	Total de bloques:	1
Número de niveles:	3. 3		

Fuente: Autores

**Tabla 51-3.**Información del factor

Factor	Niveles	Valores		
Presión	3	31	33	35
Velocidad	3	60	65	75

Fuente: Autores

**Tabla 52-3.**Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Presión	2	0,83480	0,417402	1632,28	0,000
Velocidad	2	0,23322	0,116612	456,02	0,000
Presión*Velocidad	4	1,60638	0,401595	1570,47	0,000
Error	9	0,00230	0,000256		
Total	17	2,67671			

Fuente: Autores

Con el ANOVA podemos concluir que los factores influyentes en la reducción del porcentaje de defectos son los efectos principales presión, velocidad y el efecto de interacción doble velocidad por presión.

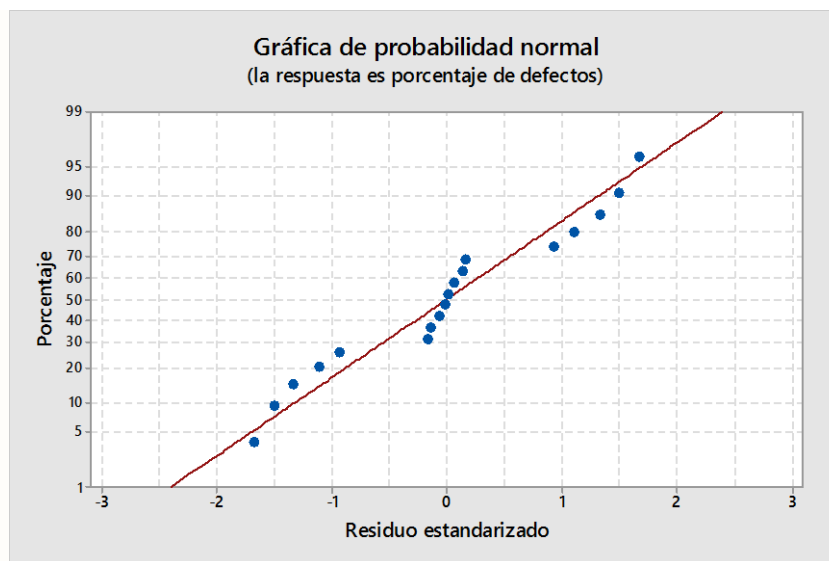
### Resumen del modelo

R-cuad = 99,91%

R-cuad (ajustado) = 99,84%

El  $R^2$  ajustado nos indica que el 99,84% de los factores estudiados influyen en el porcentaje de defectos mientras que un 0,16% son por otros factores.

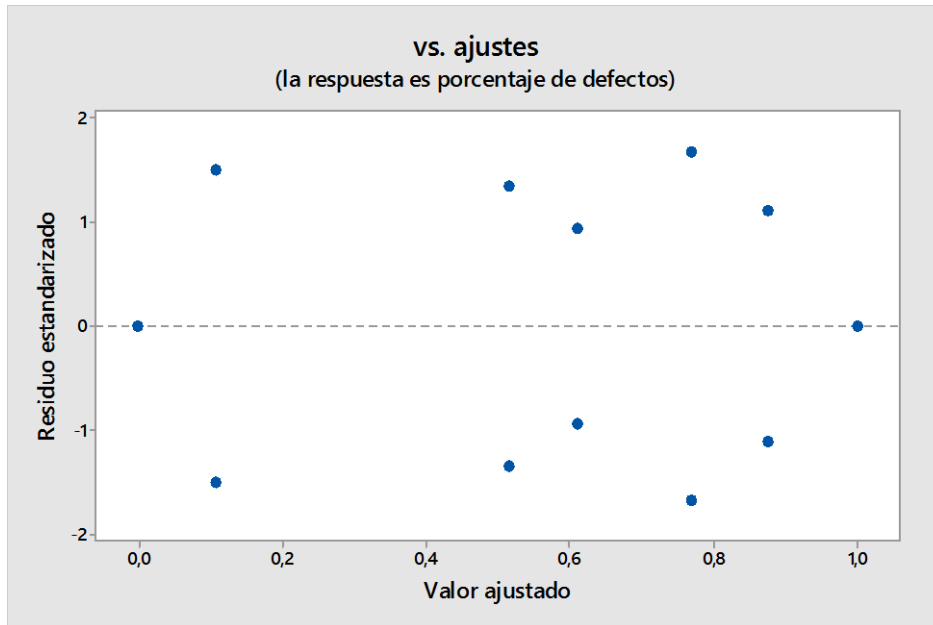
**Figura 106-3:** Gráfica de supuesto normalidad



Fuente: Autores

La Figura 107-3 indica que para los datos sobre el porcentaje de defectos, los residuos siguen una línea recta, por lo tanto existe evidencia de normalidad, asimetría.

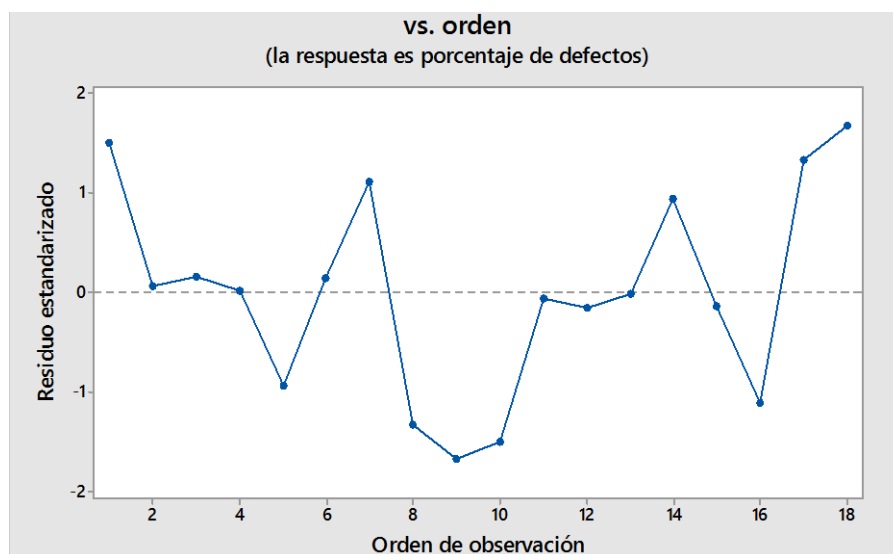
**Figura 107-3:** Gráfica de supuesto homogeneidad de varianza residuos vs ajustes



Fuente: Autores

La Figura 108-3 muestra los residuos versus ajustes, donde de acuerdo con esta gráfica, los residuos están dispersos aleatoriamente alrededor de cero. No existe evidencia de varianza no constante.

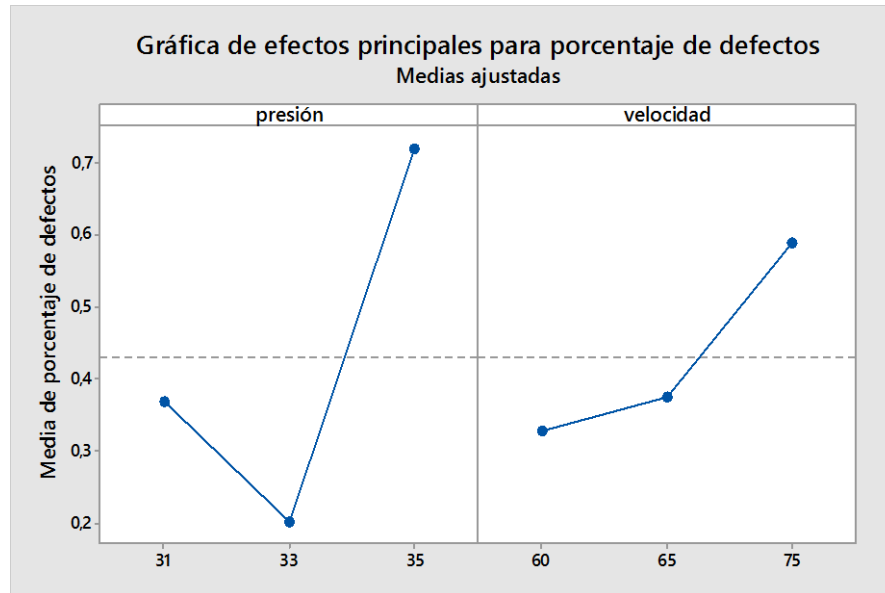
**Figura 108-3:** Gráfica de supuesto de independencia residuos vs orden



Fuente: Autores

La Figura 109-3 señala los residuos versus orden para los datos sobre el porcentaje de defectos, los residuos están dispersos aleatoriamente alrededor de cero a excepción de 8 residuos los cuales pertenecen a un valor de la variable respuesta de 0% de producto defectuoso.

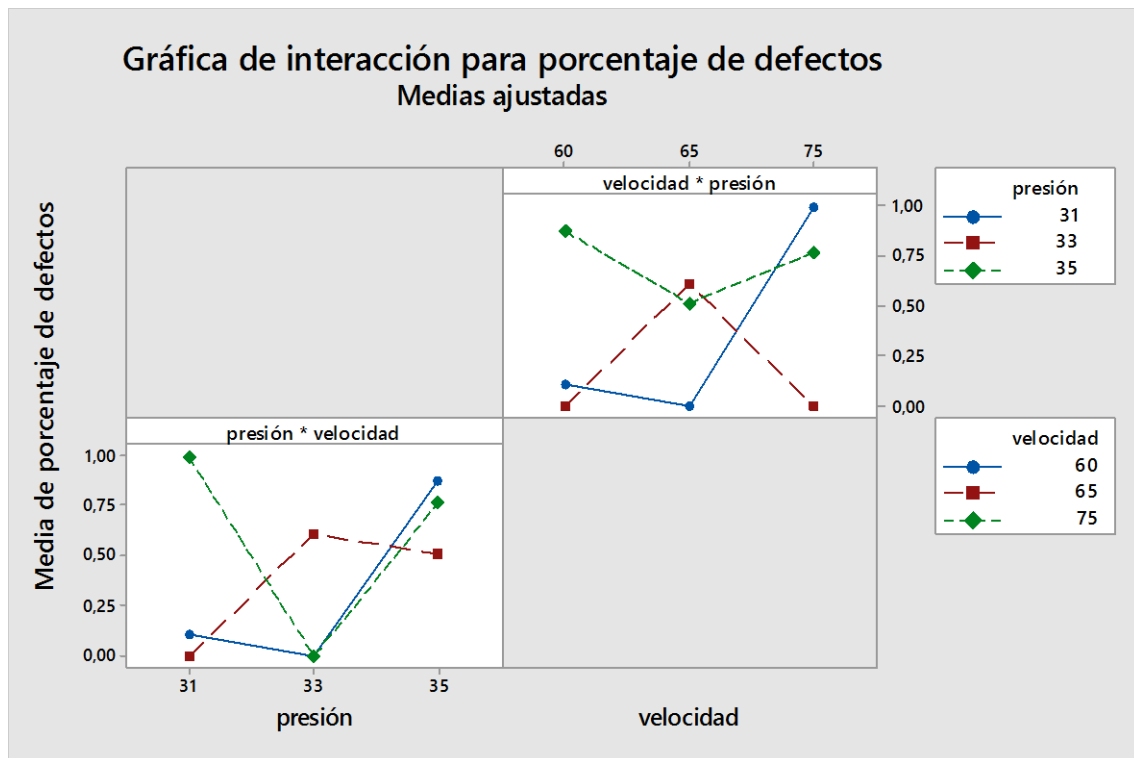
**Figura 109-3:** Gráfica de efectos principales medias ajustadas



Fuente: Autores

En la Figura 110-3 se observa que para minimizar el porcentaje de defectos del producto se debe trabajar con una presión de 33 y a una velocidad de 60.

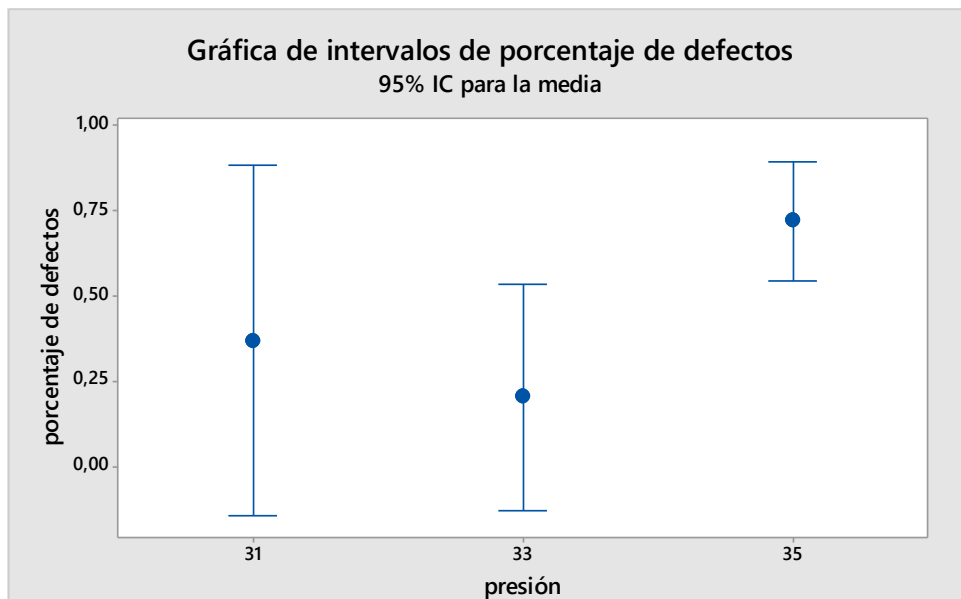
**Figura 110-3:** Gráfica de interacción medias ajustadas



Fuente: Autores

La Figura 111-3 nos indica que para disminuir el porcentaje de defectos y a su vez reducir el tiempo de ciclo se debe trabajar con una presión de 33 con una velocidad de 60 o 75, o con una presión de 31 a una velocidad de 65 y no se debe trabajar a una presión de 31 con una velocidad de 75 ya que con estos niveles el porcentaje de defectos incrementara.

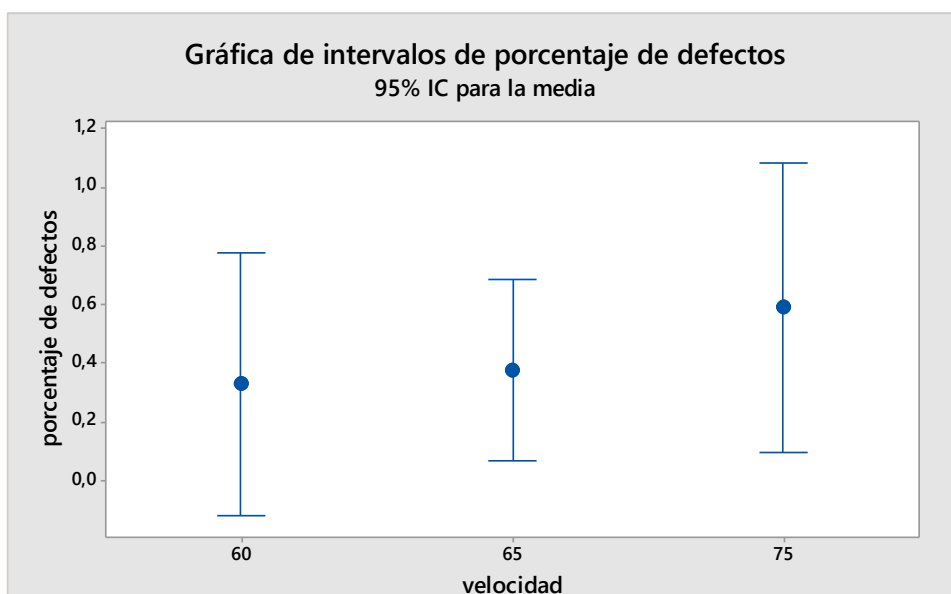
**Figura 111-3:** Gráfica de intervalos de la presión



Fuente: Autores

En la Figura 112-3 se concluye que la presión si es diferente con relación al porcentaje de imperfecciones, por lo que se recomienda utilizar una presión de 33 para la elaboración de la bota infantil ya que de esta manera se obtiene un porcentaje de defectos mínimo con un tiempo de ciclo de 27 segundos por par que es lo que se desea.

**Figura 112-3:** Gráfica de intervalos de la velocidad



Fuente: Autores

En la Figura 113-3 se concluye que la velocidad si es diferente con relación al porcentaje de imperfecciones, por lo que se recomienda utilizar una velocidad del tornillo de 60 a 65 para la elaboración de la bota infantil ya que de esta manera se obtiene un porcentaje de defectos mínimo con un tiempo de ciclo de 27 segundos por par que es lo que se desea.

### 3.4.6.3. Diseño Experimental de la talla 33 de la máquina WT-05

Los factores de este diseño con sus niveles están detallados a continuación:

**Tabla 53-3.** Factores y niveles del diseño  $3^2$

PRESION	VELOCIDAD
32	75
34	80
36	85

Fuente: Autores

Las constantes para este diseño experimental fueron:

**Tabla 54-3.** Constantes del diseño  $3^2$

CONSTANTE	
Temperaturas (°C)	
Z1	160
Z2	165
Z3	165
Z4	130
Contra presión	0
Velocidad del tornillo	90-100
Tiempo de apoyo	1-4
Retraso del soplo de aire	20

Fuente: Autores

**Tabla 55-3.**Diseño experimental factorial 3<sup>2</sup>

Factores:	2	Réplicas:	2
Corridas base:	9	Total de corridas:	18
Bloques base:	1	Total de bloques:	1
Número de niveles:	3. 3		

Fuente: Autores

**Tabla 56-3.**Información del factor

Factor	Niveles	Valores		
Presión	3	32	34	36
Velocidad	3	75	80	85

Fuente: Autores

**Tabla 57-3.**Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Presión	2	0,20840	0,01042	62,85	0,000
Velocidad	2	0,06124	0,03062	184,69	0,000
Presión*Velocidad	4	0,04168	0,01042	62,85	0,000
Error	9	0,00149	0,000166		
Total	17	0,12526			

Fuente: Autores

Con el ANOVA podemos concluir que los factores influyentes en la reducción del porcentaje de defectos son los efectos principales presión, velocidad y el efecto de interacción doble velocidad por presión.

**Resumen del modelo**

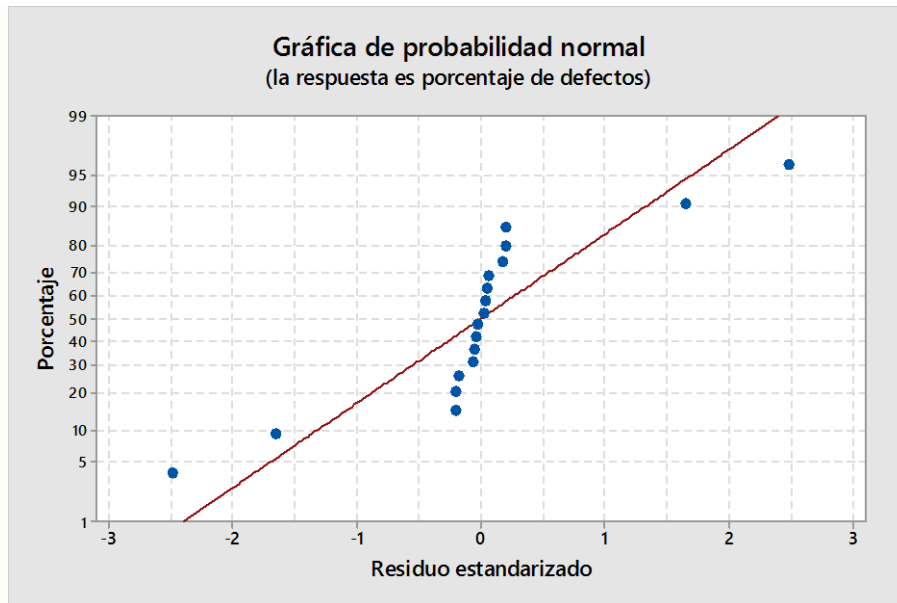
R-cuad = 98,81%

R-cuad (ajustado) = 97,75%

El R<sup>2</sup> ajustado nos indica que el 97,75% de los factores estudiados influyen en el porcentaje de defectos mientras que un 2,25% son por otros factores.



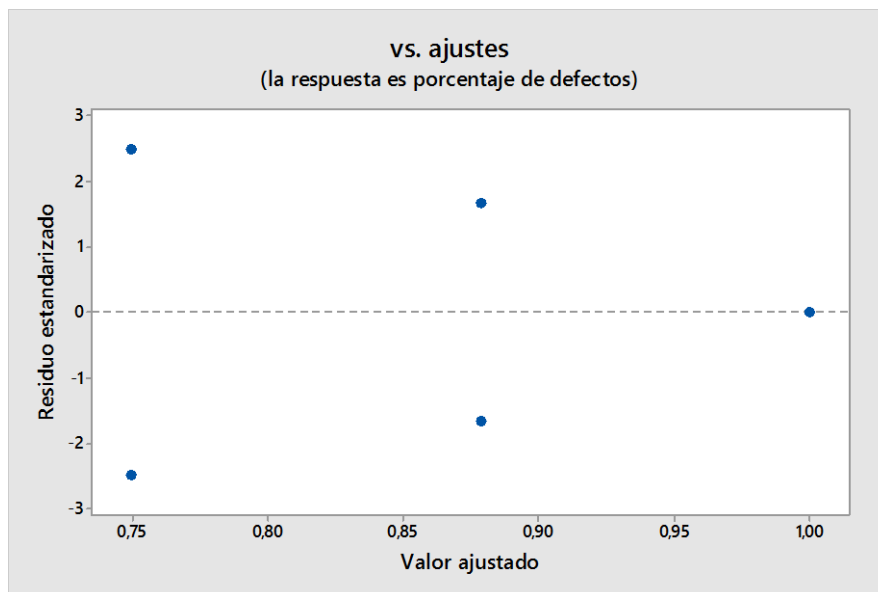
**Figura 113-3:** Gráfica de supuesto normalidad



Fuente: Autores

La Figura 114-3 dice que los datos sobre el porcentaje de defectos, los residuos siguen una línea recta a excepción de los datos agrupados en cero que son producidos al realizar las corridas experimentales donde los resultados de la variable respuesta arrojaron el mismo valor, el 100% de producto defectuoso en 14 corridas experimentales, por lo tanto existe evidencia de normalidad, asimetría.

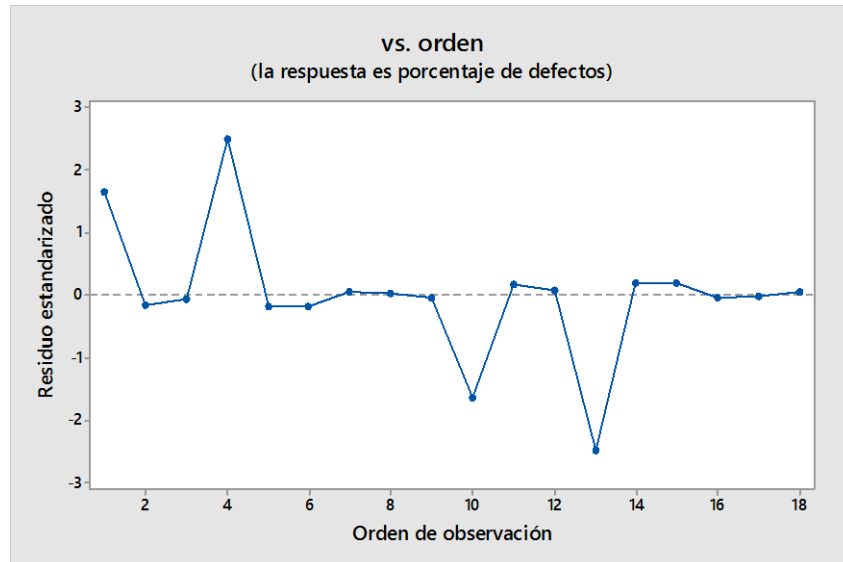
**Figura 114-3:** Gráfica de supuesto homogeneidad de varianza residuos vs ajustes



Fuente: Autores

La Figura 115-3 los residuos versus ajustes están dispersos aleatoriamente alrededor de cero. No existe evidencia de varianza no constante.

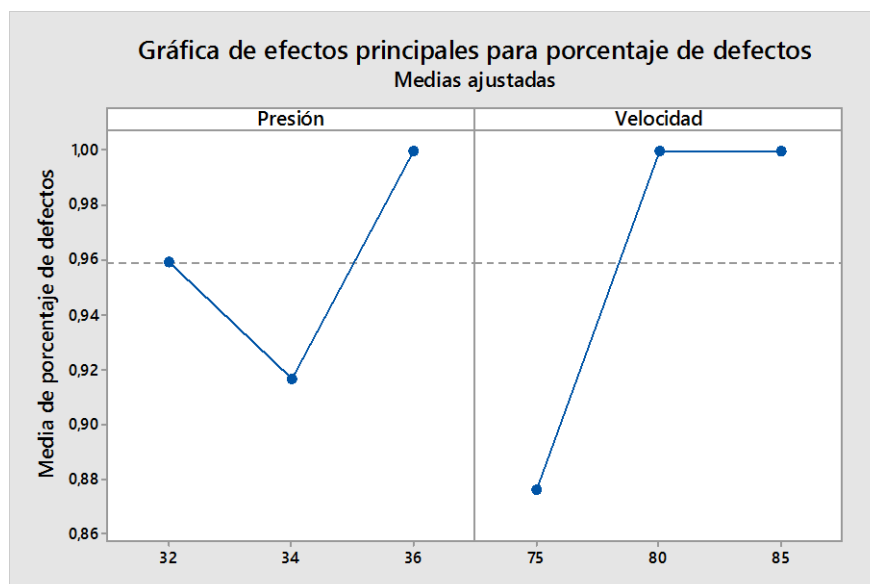
**Figura 115-3:** Gráfica de supuesto de independencia residuos vs orden



Fuente: Autores

La Figura 116-3 indica que los datos sobre el porcentaje de defectos, los residuos versus orden están dispersos aleatoriamente alrededor de cero.

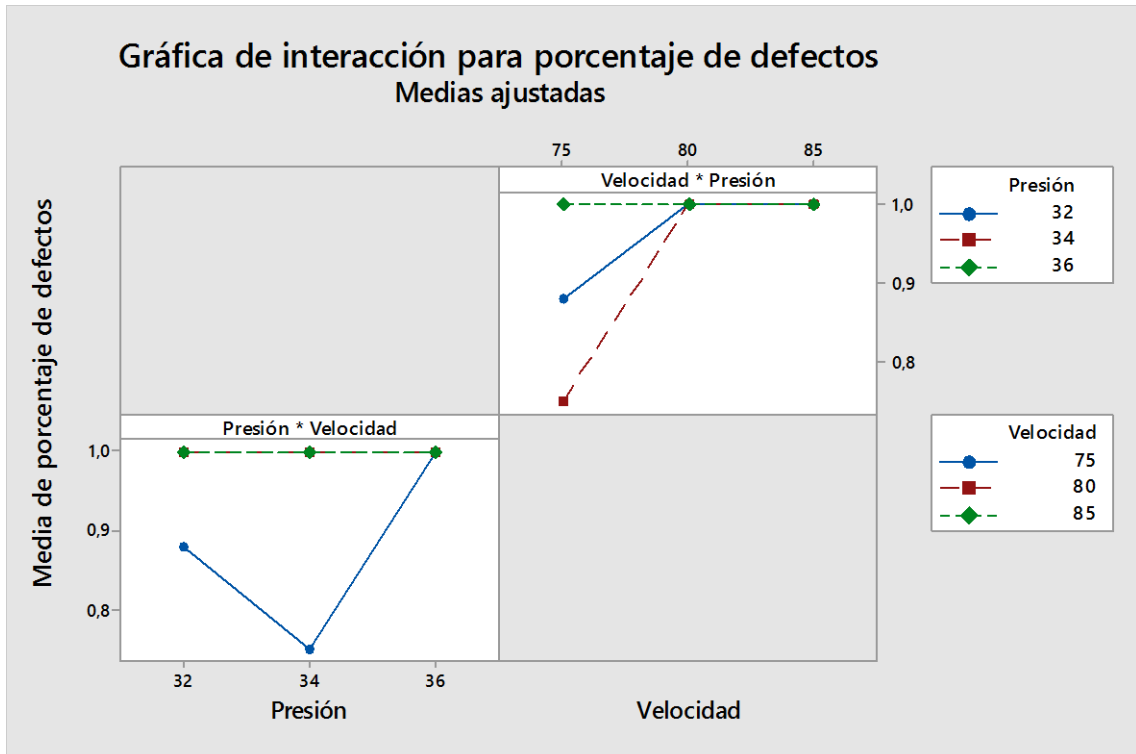
**Figura 116-3:** Gráfica de efectos principales medias ajustadas



Fuente: Autores

En la Figura 117-3 se observa que para minimizar el porcentaje de defectos del producto se debe trabajar con una presión de 34 y a una velocidad de 75.

**Figura 117-3:** Gráfica de interacción medias ajustadas



Fuente: Autores

La Figura 118-3 indica que para disminuir el porcentaje de defectos y a su vez reducir el tiempo de ciclo se debe trabajar con una presión de 34 con una velocidad de 75 y no se debe trabajar a una presión de 36 con una velocidad de [75-85] ya que con estos niveles el porcentaje de defectos incrementará.

## Resultados

Los diseños nos demostraron que trabajando con presiones bajas el porcentaje de defectos aumenta al igual que con presiones altas la presión óptima debe ser [30-36], mientras que la velocidad óptima sería [60-70] de esta manera se tendría un proceso estable, trabajando con tiempo de ciclo de 27 seg/par y un bajo porcentaje de defectos.

## CAPÍTULO IV

### 4. PROPUESTA

#### 4.1. Análisis y Resultados.

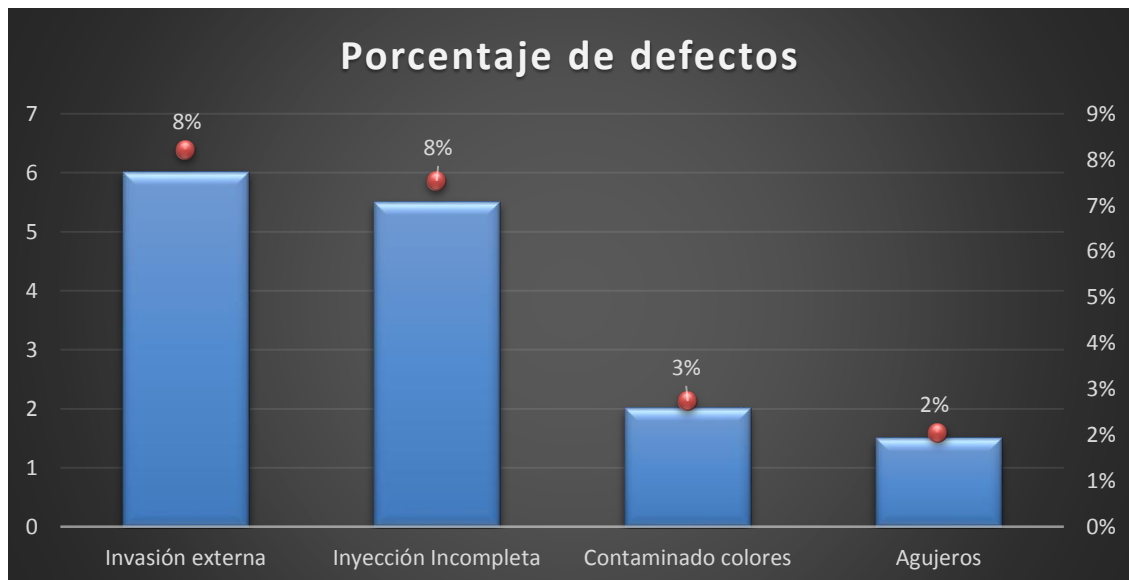
##### 4.1.1. Análisis de las condiciones óptimas primera toma

Los datos con los que se trabajaron para la reducción de los defectos en la producción son:

1. Contrapresión: 0% (100 PSI)
2. Velocidad del Tornillo 100% (120 RPM)
3. Retraso del soplo del aire: 20 seg.
4. Tiempo de apoyo: 4 seg.
5. Tiempo de ciclo: 26,25 seg

##### 4.1.1.1. Defectos encontrados en la producción de la bota infantil.

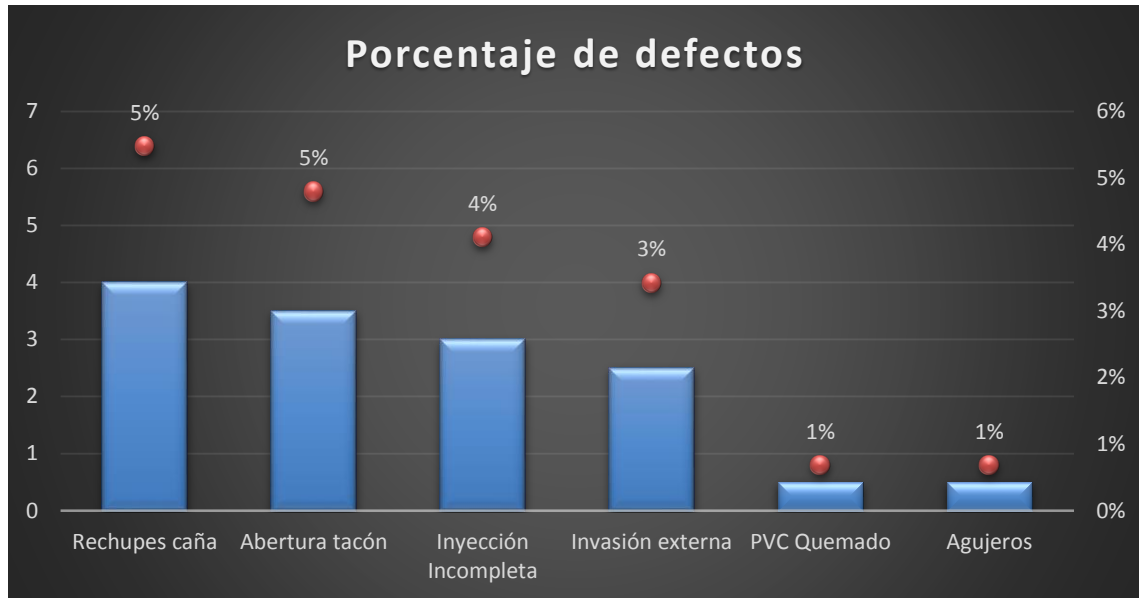
**Gráfica 1-4:** Diagrama de defectos del proceso de inyección antes del diseño experimental



Fuente: Autores

Los defectos en el proceso de inyección son invasión externa con un 8%, inyección incompleta con un 8%, contaminado colores 3% y agujeros 2%.

**Gráfica 2-4.** Diagrama de defectos del proceso de inyección después del diseño experimental



Fuente: Autores

Los defectos en el proceso de inyección son rechupes caña 5%, abertura tacón 5%, inyección incompleta 4%, invasión externa 3%.

## Resultado

Las condiciones óptimas tomadas del diseño experimental  $3^2$  indican que el defecto invasión externa se redujo del 8% al 3%, inyección incompleta de 8% al 4%, agujeros del 2% al 1%, desapareciendo el defecto contaminación colores pero se encontraron nuevos defectos en el proceso los cuales son rechupes caña con un 5% y abertura tacón con 5% por lo que se debe realizar un nuevo diseño experimental esta vez tomando en cuenta los factores que afectan a las estaciones.

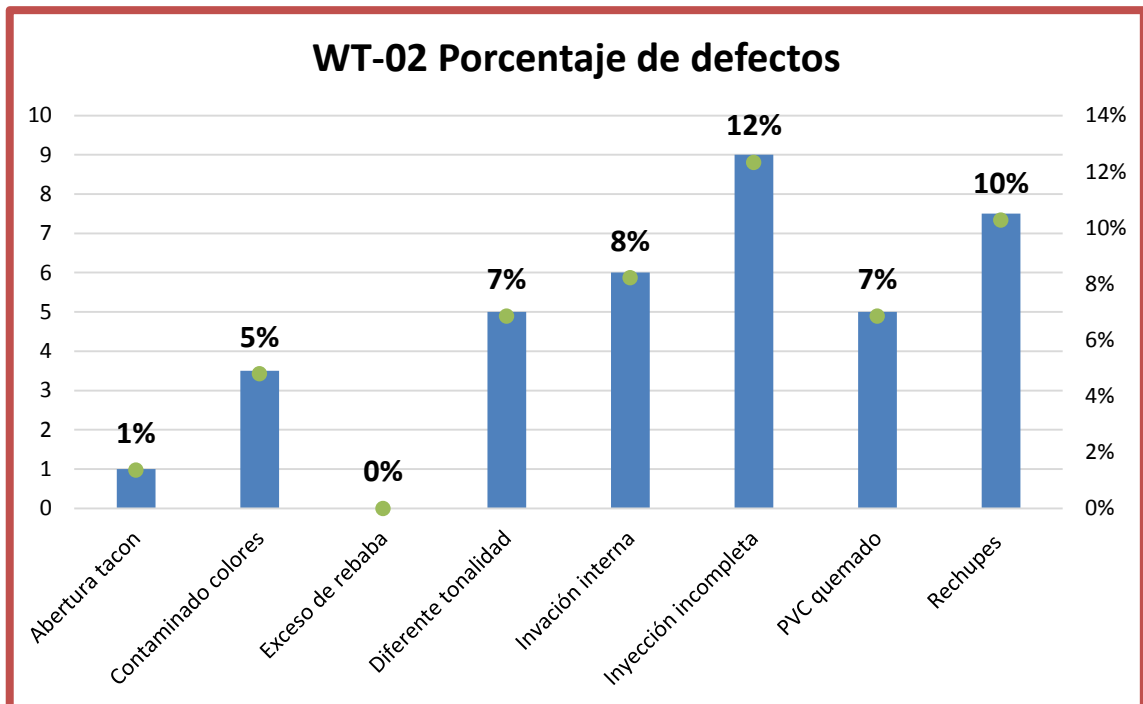
#### 4.1.2. Análisis de las condiciones óptimas segunda toma

Los datos con los que se trabajaron para la reducción de los defectos en la producción son:

1. Contrapresión: 0% (100 PSI)
2. Velocidad del Tornillo 100% (120 RPM)
3. Retraso del soplo del aire: 10-20 segundos
4. Soplo de aire: 0-10 segundos.
5. Tiempo de apoyo: 2 - 4 segundos
6. Presión para la estaciones de la inyectora WT-05: 30 – 40 %
7. Presión para las estaciones de la inyectora WT-02: 47 – 57 %
8. Velocidad para la estaciones de la inyectora WT-05: 60 - 75 %
9. Velocidad para la estaciones de la inyectora WT-02: 85 - 97 %
10. Tiempo de ciclo: 26 - 27 segundos

##### 4.1.2.1. Defectos encontrados en la producción de la bota infantil.

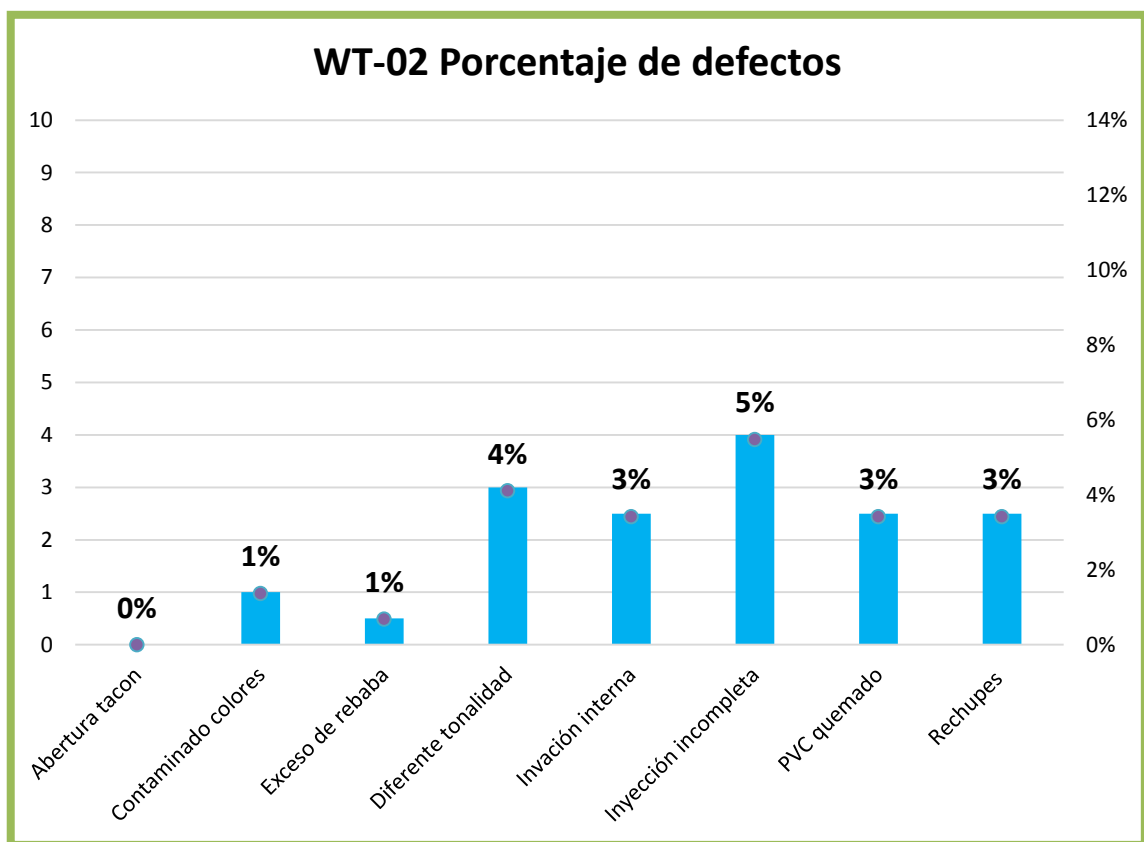
**Gráfica 3-4.** Diagrama de defectos en el proceso de inyección de la máquina WT-02 antes del diseño experimental.



Fuente: Autores

La grafica nos indica la cantidad y el porcentaje de defectos producidos en el proceso en función al tamaño de muestra de la máquina WT-02 el cual nos indica que debemos tomar 73 pares del ciclo de producción, indicándonos que los defectos más influyentes antes de aplicar el diseño experimental en el proceso son rechupes 10%, inyección incompleta 12%, PVC quemado 7%, invasión interna 8%, diferente tonalidad 7% e contaminado colores 5%.

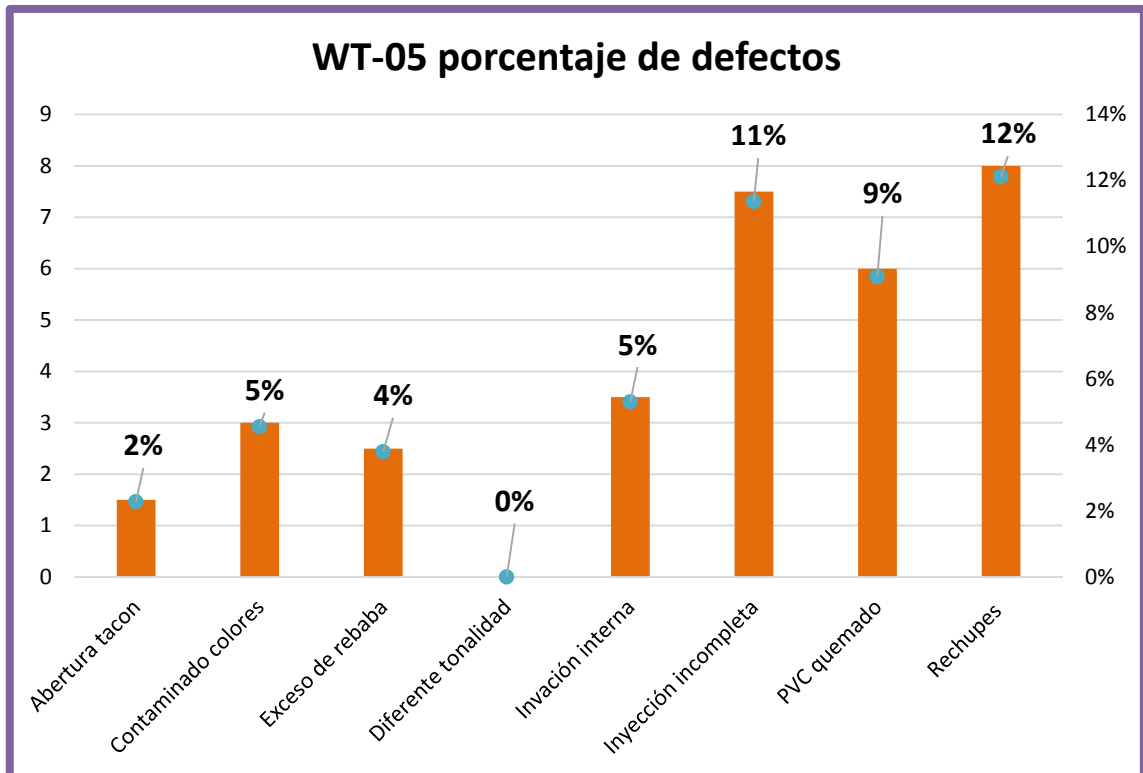
**Gráfica 4-4.** Diagrama de defectos en el proceso de inyección de la máquina WT-02 después del diseño experimental.



Fuente: Autores

La grafica nos indica la cantidad y el porcentaje de defectos producidos en el proceso en función al tamaño de muestra de la máquina WT-02 el cual nos indica que debemos tomar 73 pares del ciclo de producción, indicándonos que los defectos más influyentes antes de aplicar el diseño experimental en el proceso son inyección incompleta 5%, diferente tonalidad 4%.

**Gráfica 5-4.** Diagrama de defectos en el proceso de inyección de la máquina WT-05 antes del diseño experimental.

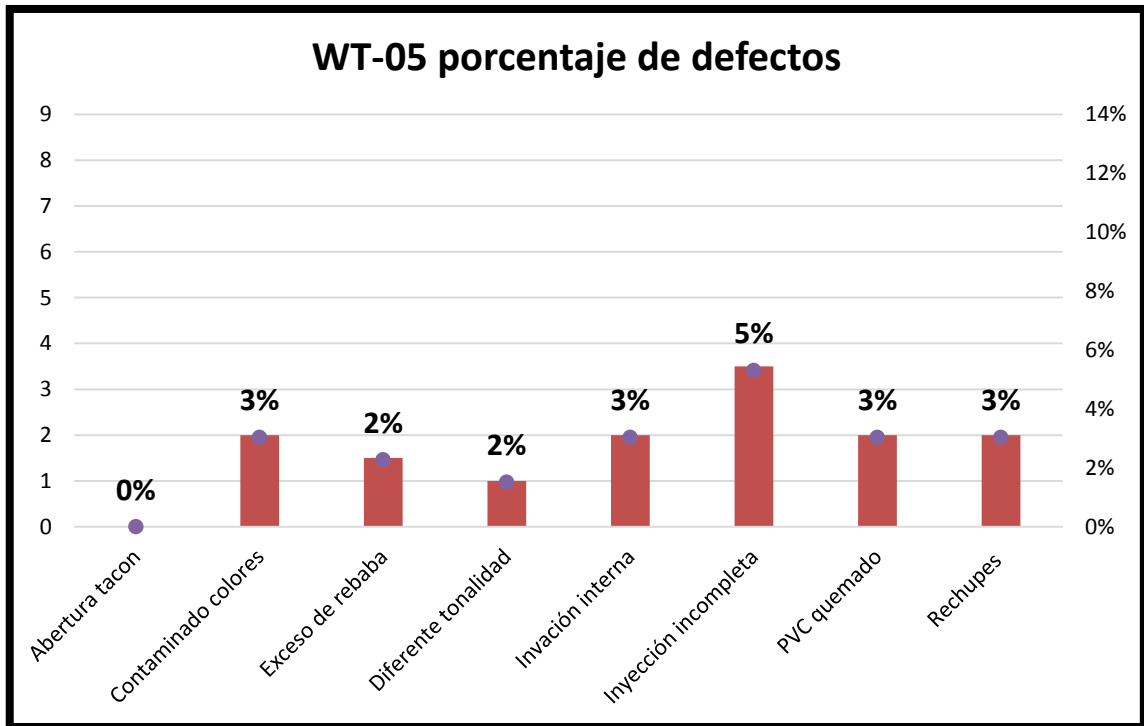


Fuente: Autores

La grafica nos indica la cantidad y el porcentaje de defectos producidos en el proceso en función al tamaño de muestra de la máquina WT-05 el cual nos indica que debemos tomar 66 pares del ciclo de producción, indicándonos que los defectos más influyentes antes de aplicar el diseño experimental en el proceso son rechupes 12%, inyección incompleta 11%, PVC quemado 9%, invasión interna 5% e contaminado colores 5%.



**Gráfica 6-4.** Diagrama de defectos en el proceso de inyección de la máquina WT-05 después del diseño experimental.



Fuente: Autores

La gráfica nos indica la cantidad y el porcentaje de defectos producidos en el proceso en función al tamaño de muestra de la máquina WT-05 el cual nos indica que debemos tomar 66 pares del ciclo de producción, indicándonos que los defectos más influyentes después de aplicar el diseño experimental en el proceso es inyección incompleta 5%.

## Resultado:

**Tabla 1-4.** Comparación del porcentaje de defectos antes y después del diseño experimental en la máquina WT-02.

DEFECTO	ANTES	DESPUES
Rechupes	10%	3%
Inyección incompleta	12%	5%
PVC quemado	7%	3%
Invasión interna	8%	3%
Diferente tonalidad	7%	4%
Contaminado colores	5%	1%

Fuente: Autores

Las condiciones óptimas tomadas de los diseños experimentales para la máquina WT-02 indican que el defecto rechupes bajo del 10% al 3%, inyección incompleta del 12% al 5%, PVC quemado del 7% al 3%, invasión interna del 8% al 3%, diferente tonalidad del 7% al 4% e contaminado colores del 5% al 1%.

**Tabla 2-4.** Comparación del porcentaje de defectos antes y después del diseño experimental en la máquina WT-05

DEFECTO	ANTES	DESPUES
Rechupes	12%	3%
Inyección incompleta	11%	5%
PVC quemado	9%	3%
Invasión interna	5%	3%
Contaminado colores	5%	3%

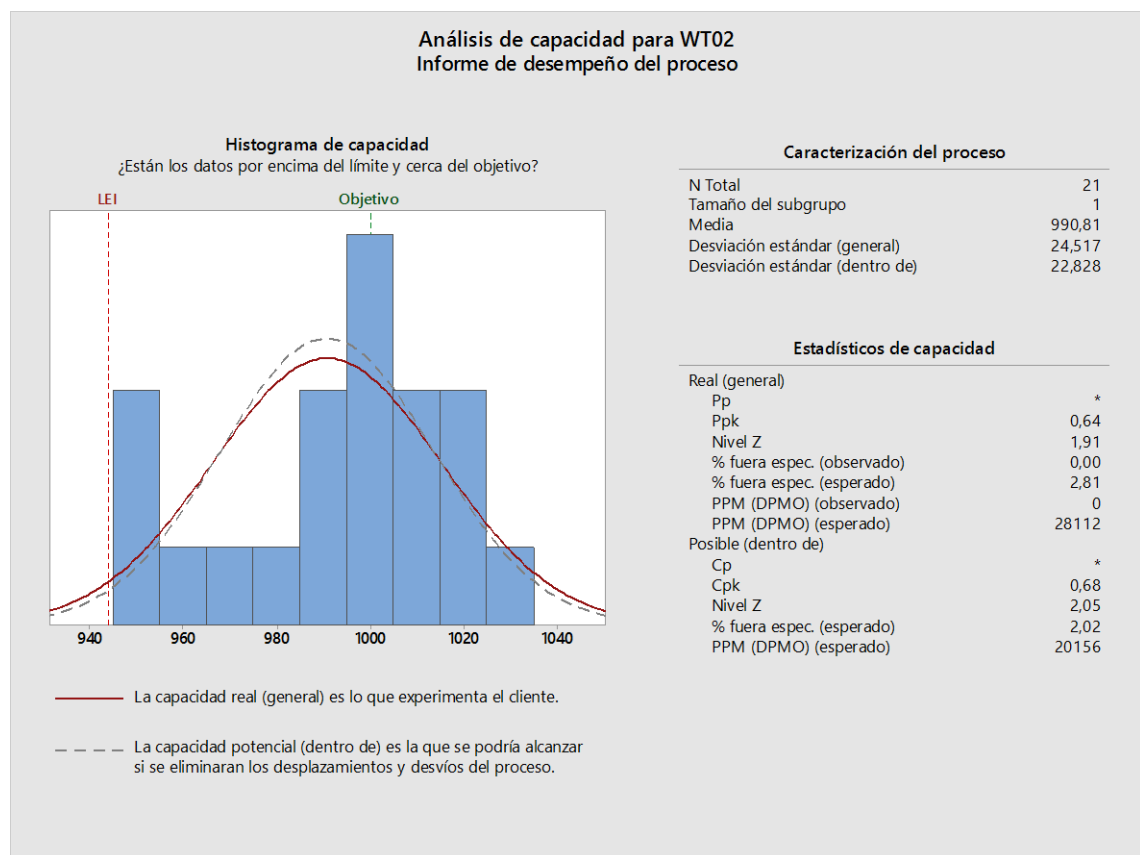
Fuente: Autores

En la máquina WT-05 se indican que el defecto rechupes bajo del 12% al 3%, inyección incompleta del 11% al 5%, PVC quemado del 9% al 3%, invasión interna del 5% al 3% e contaminado colores del 5% al 3%. Esta comparación nos indica que los defectos en el proceso de producción mediante el tamaño de muestra se redujeron en ambas máquinas en un 56% para la máquina WT-05 y en un 57% para la máquina WT-02.

### 4.1.3. Análisis de capacidad de la producción después del diseño experimental

#### 4.1.3.1. Análisis de capacidad de la máquina WT-02

**Figura 1-4.** Análisis de capacidad de la máquina WT-02

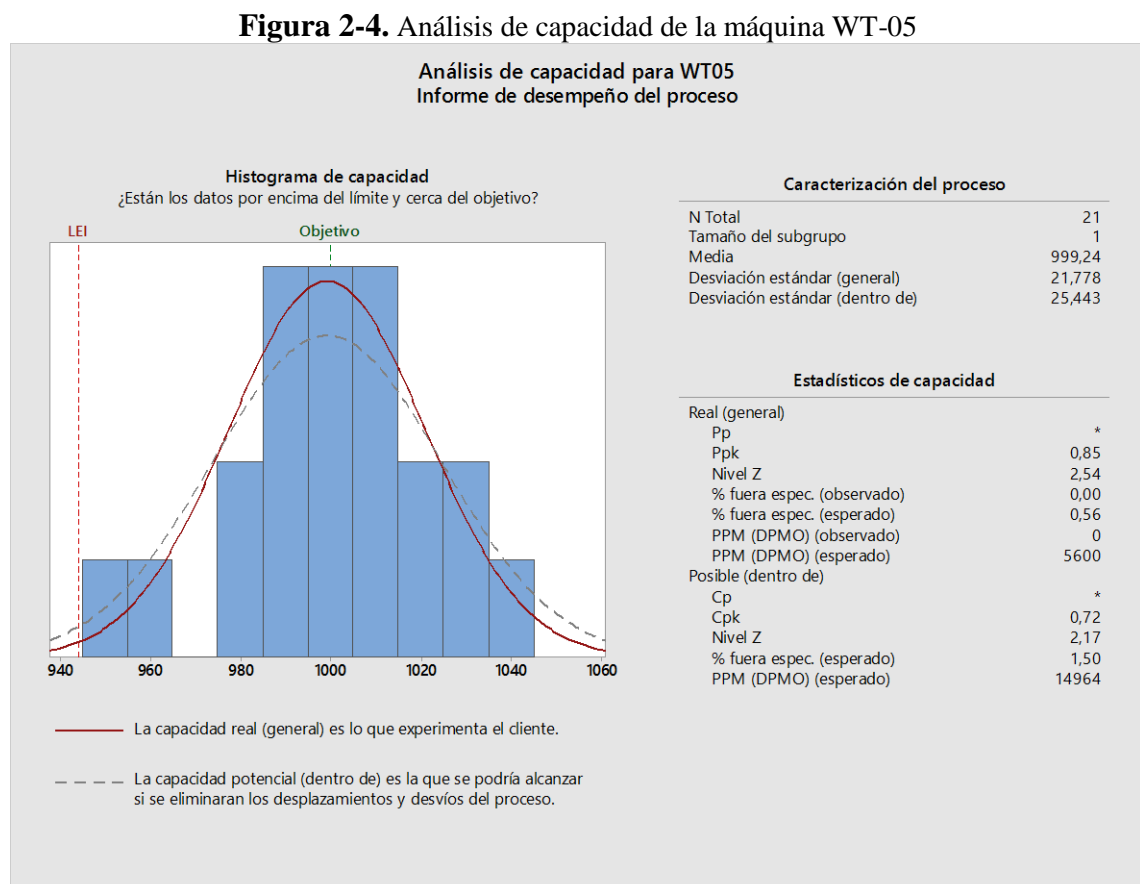


Fuente: Autores

En la figura 1-4 el histograma indica un comportamiento no normal debido a que la capacidad real se encuentra abierta y la capacidad potencial se encuentra cerrada, los datos se encuentran centrados, por ende el proceso cumple con las especificaciones encontrándose en control estadístico, dentro de un tiempo los datos seguirán estabilizándose. Las características del proceso nos indican que la muestra es de 21 con un tamaño del subgrupo de 1, una media de 990,81 de

todos los datos, donde la desviación estándar general o a largo plazo es de 24,517 y la desviación estándar dentro de o a corto plazo es de 22,828. El estadístico de capacidad inca que como no tenemos un Pp y Cp no tenemos un proceso estable y un Ppk de 0,64 y un Cpk de 0,68 el proceso es variable tanto a corto como a largo plazo, el porcentaje fuera de especificación de 2,02 y una cantidad de efectos esperados de 20156 lo que nos indica que el proceso es variable pero con el tiempo se va a ir estabilizando.

#### 4.1.3.2. Análisis de capacidad de la máquina WT-05



Fuente: Autores

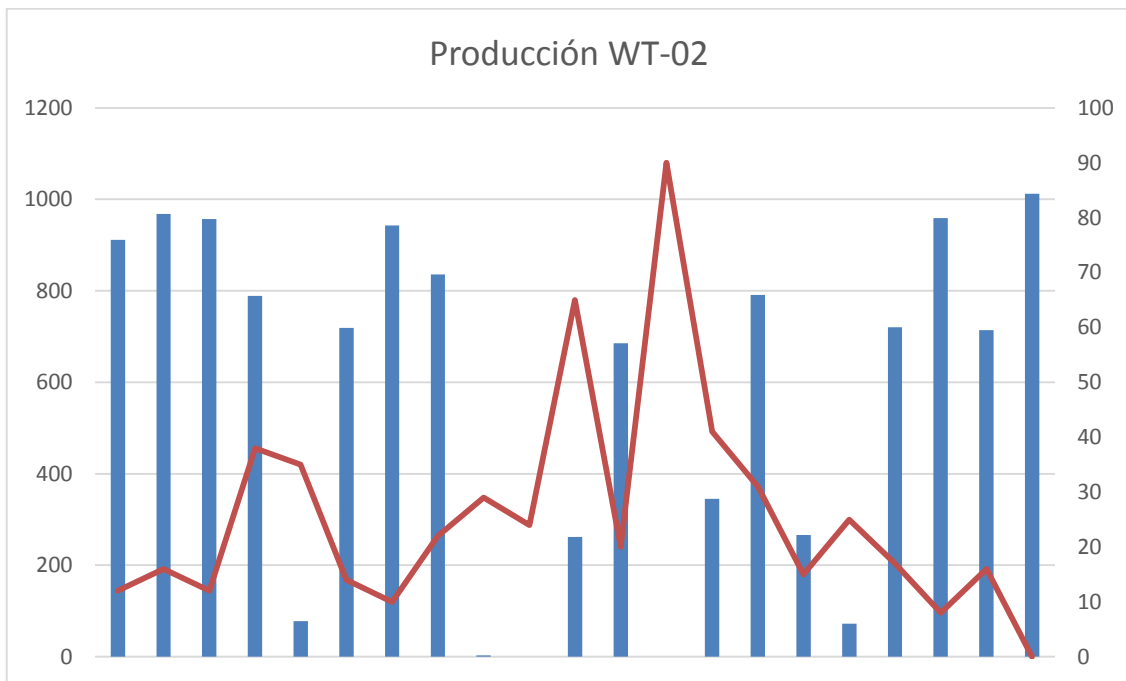
En la figura 2-4 el histograma indica un comportamiento no normal debido a que la capacidad real se encuentra abierta y la capacidad potencial se encuentra cerrada, los datos se encuentran centrados con la excepción de tres datos que están desplazados hacia la izquierda, por debajo del límite de especificación inferior, por ende el proceso no cumple con las especificaciones en este momento encontrándose fuera de control estadístico pero dentro de un tiempo los datos se pueden estabilizar. Las características del proceso nos indican que la muestra es de 21 con un tamaño del

subgrupo de 1, una media de 999,24 de todos los datos, donde la desviación estándar general o a largo plazo es de 21,778 y la desviación estándar dentro de o a corto plazo es de 25,443. El estadístico de capacidad indica que como no tenemos un Pp y Cp no tenemos un proceso estable y un Ppk de 0,85 y un Cpk de 0,72 el proceso es altamente variable tanto a corto como a largo plazo, el porcentaje fuera de especificación es de 1,50 y una cantidad de efectos esperados de 14964 lo que nos indica que el proceso es variable pero con el tiempo se va a ir estabilizando.

#### 4.1.4. Análisis de la producción antes vs después del diseño experimental

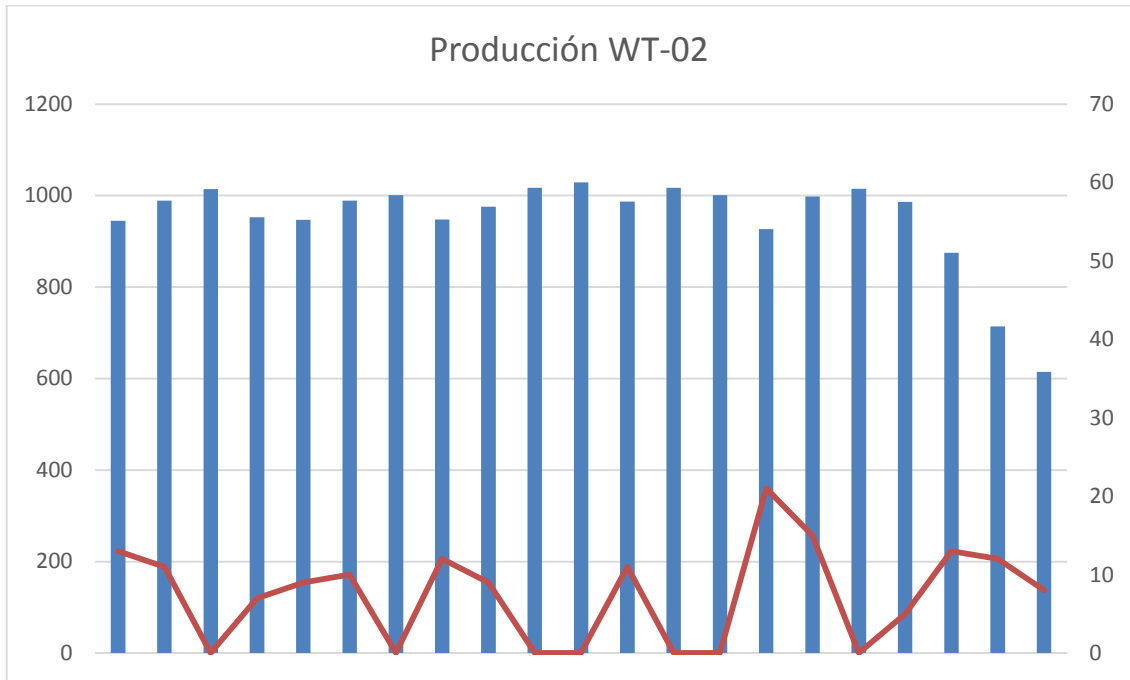
##### 4.1.4.1. Análisis de la producción de la máquina WT-02

**Gráfica 7-4.** Análisis de producción de la máquina WT-02 antes del diseño experimental



Fuente: Autores

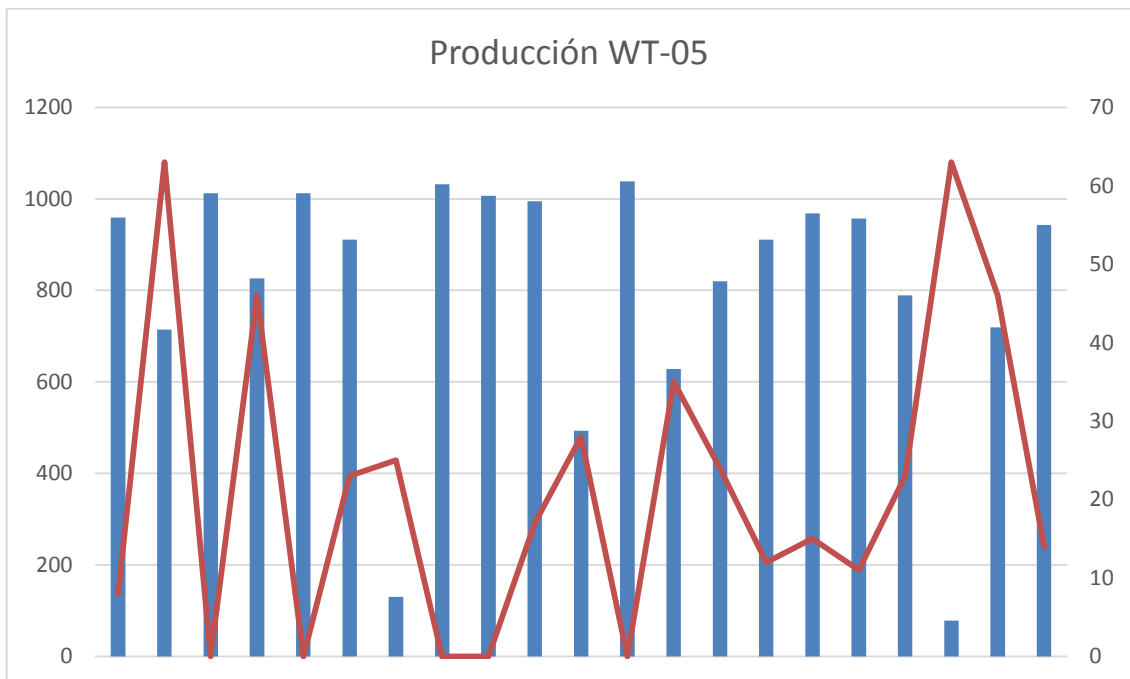
**Gráfica 8-4.** Análisis de producción de la máquina WT-02 después del diseño experimental



Fuente: Autores

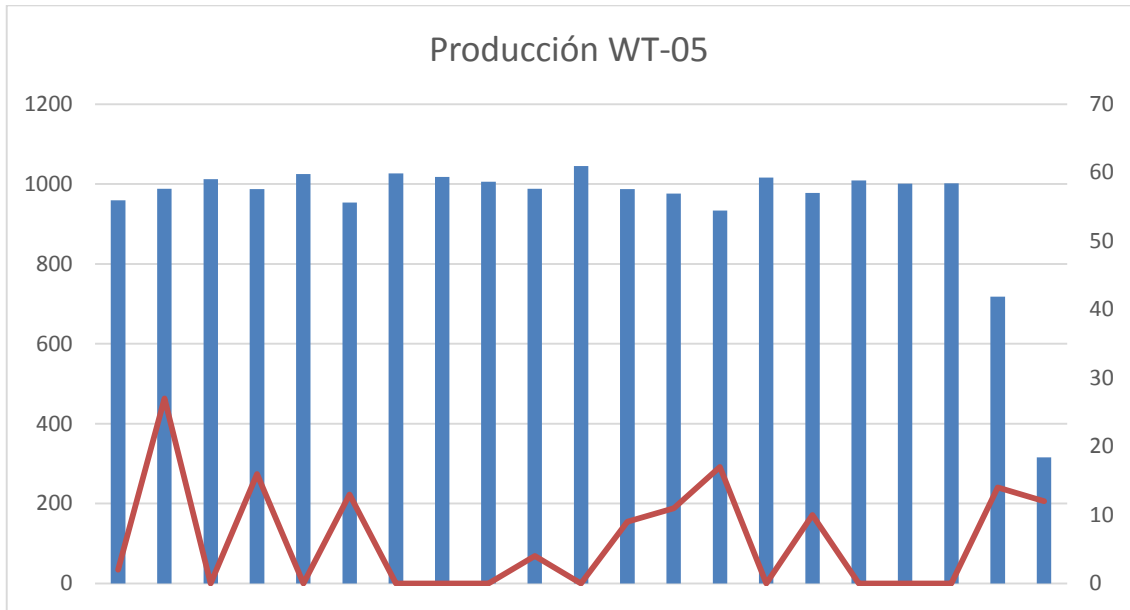
4.1.4.2. Análisis de la producción de la máquina WT-05

**Gráfica 9-4.** Análisis de producción de la máquina WT-05 antes del diseño experimental



Fuente: Autores

**Gráfica 10-4.** Análisis de producción de la máquina WT-05 después del diseño experimental



Fuente: Autores

**Resultado:**

**Tabla 3-4.** Análisis de producción antes y después de los diseños experimentales

	WT-05		WT-02	
	Antes	Después	Antes	Después
Porcentaje de defectos	2,60%	0,67%	4,30%	0,78%
Producción	16942	19946	12030	19943
- Defectos	453	135	540	156
Costo Reproceso	\$18,12	\$5,4	\$21,6	\$6,24
CPK	-0,14	0,68	-0,40	0,72

Fuente: Autores

La tabla 3-4 indica que la producción aumento, la cantidad de defectos disminuyeron, el porcentaje de defectos disminuyo en un 1,93% para la máquina WT-05 y para la máquina WT-02 en un 3,52%, el costo de reproceso disminuyo en un 12,72 \$ para la máquina WT-05 y para la máquina WT-02 en 15,36\$, el cpk aumento.

## CAPÍTULO V

### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

- La capacidad actual del proceso de inyección fue determinada mediante el uso del análisis de capacidad obteniendo valores negativos, demostrando que existe una alta variabilidad en la producción tanto a largo como a corto plazo.
- Se determinaron los factores influyentes en el proceso los cuales fueron contrapresión, velocidad del tornillo haciendo referencia al control de la máquina en general, mientras que para el control de las estaciones tomado en cuenta la variable respuesta porcentaje de defectos los factores influyentes fueron velocidad, presión, retraso del soplo de aire y para la variable respuesta tiempo de ciclo el factor influyente fue el tiempo de apoyo.
- Se determinó el tamaño de muestra mediante la fórmula:  $n = 2,5^2 \left( \frac{1-Po}{Po} \right)$  la cual nos ayuda a que los datos extraídos durante la ejecución de los diseños experimentales sean característicos de la población.
- Mediante el uso de Minitab se ejecutaron distintos diseños experimentales como  $2^4$ ,  $2^3$ ,  $3^2$  en base a una variable respuesta y corridas experimentales aleatorias.
- Se evaluaron e interpretaron las gráficas de interacción las cuales determinaron las condiciones óptimas de fabricación, se determinó el coeficiente de regresión lineal el cual fue mayor al 70% lo que nos indica que los factores estudiados son representativos en la variable respuesta, se interpretó el cuadro ANOVA el cual indico los factores significativos en la variable respuesta.
- Se propusieron las condiciones óptimas de fabricación y se determinó cual es el ahorro por proceso, cual fue la reducción del porcentaje de defectos en el proceso y mediante el análisis de capacidad determino si la variabilidad del proceso se redujo y si el cpk aumento.



## 5.2. Recomendaciones

- Se recomienda controlar al personal de inyección mediante hojas de control y cambios de actitud.
- Es importante conocer el principio de operación de las máquinas para determinar los factores influyentes en el proceso y poder analizarlos, de tal manera que se tomen adecuadas acciones de mejora.
- Realizar una investigación con el método del poka yoke para eliminar los defectos producidos por el personal mediante la adquisición de herramientas semiautomáticas
- Tener una persona que realice un análisis de capacidad a las máquinas para tenerlas bajo control estadístico y si están generando una alta variabilidad determinar qué condiciones continúan afectando a la variable respuesta.
- Generar en la época baja de producción diseños de experimentos para que estos no afecten en la meta de producción y puedan realizarse más fácilmente y ágilmente.
- Cuando se realicen pruebas experimentales realizarlas en la bota negro/amarillo ya que estas se pueden recuperar más fácilmente que las de distintos colores ya que el color negro absorbe todo y no generan pérdidas y costos altos a la empresa.

## BIBLIOGRAFÍA

**ACOSTA, Ricardo. 2014.** *Estándares de producción*. [En línea]. 22 de abril de 2014. [Consultado: 18 de junio del 2017]. Disponible en: <https://prezi.com/4f9b46is1imz/estandares-de-produccion/>.

**BELTRÁN & MARCILLA.** *Tecnología de Polímeros*. 2015, pp. 3-186.

**BELTRÁN, M & MARCILLA, A. 2012.** *Inyección*. [En línea]. 14 de agosto de 2012. [Consultado: 18 de junio del 2017]. Disponible en: <http://iq.ua.es/TPO/Tema5.pdf>.

**CASTEJON, Osiris.** *Diseño y analisis de experimentos*. España: Universidad Rafael Urdaneta, 2011, pp. 22-29.

**DOUGLAS, Montgomery.** *Diseño y Análisis de Experimentos*. México: LIMUSA, S.A., 2013, pp. 13-14.

**EXPLORABLE. 2009.** *Muestreo Aleatorio*. [En línea]. 13 de julio de 2009. [Consultado: 28 de junio del 2017]. Disponible en: <https://explorable.com/es/muestreo-aleatorio>.

**GARCÍA, Julio César Lesso. 2012.** *Aplicación de diseños de experimentos. Centro Universitario Querétano*. [En línea]. noviembre de 2012. [Consultado: 28 de junio del 2017]. Disponible en: <http://ri.uaq.mx/xmlui/bitstream/handle/123456789/2150/RI001299.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

**GLADYS. 2008.** *¿Qué es el Cpk? Measure Control*. [En línea]. 23 de abril de 2008. [Consultado: 4 de julio del 2017]. Disponible en: <http://www.measurecontrol.com/que-es-ckp/>.

**GONZALES, Mariano. 2015.** *Inyección de materiales*. [En línea]. 13 de junio de 2015. [Consultado: 4 de julio del 2017]. Disponible en: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/06/inyeccion-de-materiales-plasticos-ii.html>.

**GUTIERREZ, Humberto & SALAZAR, Roman.** *Análisis y Diseño de Experimentos*. México: McGRAW-HILL, 2014, pp. 6-8.

**GUTIERREZ, Porfirio.** *Elementos de Diseño de Experimentos.* Zapopan, Jalisco/ Astra Ediciones, S.A. de C.V., 2014, pp. 17-40.

**GUITIERREZ, Humberto.** *Análisis y Diseño de experimentos.* México: Mc Graw Gill, 2012, pp. 81.

**INTRODUCCIÓN AL DISEÑO DE EXPERIMENTOS.** *Ciencia experimental.* Intode. 2010. pp. 5-13.

**JUÁREZ, David. 2012.** *Evolución de la técnica en el sector de inyección. Tecnología.* [En línea]. 12 de noviembre de 2012. [Consultado: 11 de julio del 2017]. Disponible en: <https://www.3ciencias.com/wp-content/uploads/2012/11/1.estudio-y-analisis-del-moldeo-por-inyeccion-de-materiales-polimericos-termoplasticos.pdf>.

**MARIANO. 2011.** *Tecnología de los Plásticos. Tecnología de los Plásticos.* [En línea]. 13 de junio de 2011. [Consultado: 11 de julio del 2017]. Disponible en: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/06/inyeccion-de-materiales-plasticos-ii.html>.

**MELLADO, Jesus.** *Cursosma.* [En línea]. [Consultado: 11 de julio del 2017]. Disponible en: <http://www.uaaan.mx/~jmelbos/cursosma/madeO10.pdf>.

**MENDOZA, Henry. 2012.** *Universidad Nacional de Colombia. Cursos de ciencias.* [En línea] 2012. [Consultado: 11 de julio del 2017]. Disponible en: [http://168.176.60.11/cursos/ciencias/2000352/html/un6/cont\\_605-89.html](http://168.176.60.11/cursos/ciencias/2000352/html/un6/cont_605-89.html).

**Minitab Inc. 2017.** *support.minitab.* [En línea] 2017. [Consultado: 11 de julio del 2017]. Disponible en: <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/quality-and-process-improvement/capability-analysis/supporting-topics/basics/specification-limits/>.

**PUJOJ, Carlos. 2011.** *Mirelasolucion. Mirelasolucion.* [En línea]. 3 de mayo de 2011. <http://www.mirelasolucion.es/blog/la-ingenieria-de-metodos-mejora-la-productividad-de-su-empresa/>.

**PULIDO, Humberto.** *Control estadístico de la calidad y Seis Sigma.* Mexico: Universidad de Guadalajara, 2009. pp 120-125.

**RODRIGUEZ, Jorge.** *Introducción a la Termodinámica.* España: Universidad Tecnológica Nacional, 2013, pp. 15-21.