



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

*“Diseño de un Sistema de Control Estadístico del Proceso de Encapsulado
de Bebidas Gaseosas”*

INFORME DE PROYECTO INTEGRADOR

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERAS INDUSTRIALES

Presentado por:

Pincay Villamar Daniela Alejandra

Silva Macías Jéssica Pamela

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2016

AGRADECIMIENTOS

De Daniela Pincay

Primeramente quiero agradecer a Dios, porque sin él todo este trabajo no hubiera sido posible.

Asimismo quiero agradecer a mi familia:

A mis padres quienes han sido mis pilares en todo momento. Gracias por el apoyo recibido en las decisiones que he tomado y más aún en esta última etapa del proceso de titulación.

A mis hermanos, quienes siempre me escuchan y traen mucha más alegría a mi vida.

Finalmente quiero agradecer a Jéssica Silva, por ser comprensiva y responsable. Hemos trabajado en equipo sin ninguna dificultad y eso es realmente satisfactorio, sin lugar a duda una gran amiga y compañera de tesis.

De Jéssica Silva

Ante todo quiero agradecer a Dios por cuidarme y bendecirme cada día.

A mi familia por el amor, el apoyo y la paciencia que me han dado en cada etapa de mi vida, gracias a ustedes he podido lograr cada meta que me he propuesto y hoy por hoy llegar a ser la persona quien soy.

A mi Dani por hacer de este proyecto una experiencia muy grata, llena de aprendizaje, alegría y anécdotas para contar.

A mi Petit por cada risa y momento compartido, ustedes han hecho de esta travesía llamada Espol una experiencia inolvidable, su amistad es un tesoro invaluable para mí.

A mis amigos de toda la vida por motivarme y apoyarme en cada una de mis facetas, ustedes me han enseñado que la amistad no tiene límites.

A mi Hachi por acompañarme en esas largas jornadas de estudio y por la alegría que me brinda cada día.

Las palabras quedan cortas para expresar lo mucho que los amo a cada uno de ustedes, se han ganado una parte especial de mi corazón y solo me queda decirles gracias por ser parte de mi vida.

De las dos

Queremos agradecer a nuestra tutora M.Sc. Sofía López por guiarnos durante todo el proyecto de la materia integradora, aportando siempre su valiosa retroalimentación, tiempo y palabras de aliento claves para concluir exitosamente. También queremos agradecer a los colaboradores de los diferentes departamentos de la empresa: Calidad, Producción y Mantenimiento; quienes han aportado enormemente en cada una de las etapas del proyecto.

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad y la autoría del contenido de este Trabajo de Titulación, nos corresponde exclusivamente; y damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"



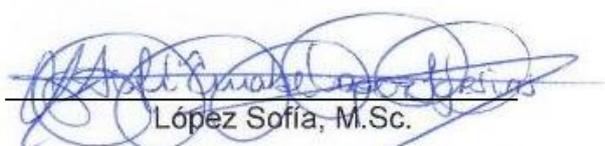
Pincay Villamar Daniela

Autora 1



Silva Macías Jéssica

Autora 2



López Sofia, M.Sc.

Tutora de Materia Integradora

RESUMEN

El presente proyecto fue realizado en una multinacional de bebidas gaseosas. Nuestro cliente: Departamento de Calidad de la Planta de Producción # 131 ubicada en la ciudad de Guayaquil, manifestó que una de las variables de calidad por la cual el departamento es medido se denomina torque, definido como la fuerza de rotación que el consumidor debe aplicar para remover la tapa de la botella. Analizando esta variable en el mes de Mayo 2016, se evidenció un 9,8% de productos no conforme cuyo impacto a la participación del mercado en Ecuador del 7,83% es un tema a considerar notablemente. Por lo tanto, se procedió a crear un Diseño de Sistema de Control Estadístico para la variable torque en el proceso de encapsulado, específicamente en la línea # 1 ya que en el último reporte esta era la línea con mayor número de quejas, y se trabajó con cola negra 2250 ml puesto que era el producto con mayor volumen de producción en esta línea. Para determinar qué cabezal de la encapsuladora estaba trabajando fuera de control estadístico, se realizó cartas X-R para cada uno de los quince cabezales. Los resultados demostraron que cuatro de ellos estaban fuera de control estadístico; por lo cual se aplicó la técnica de generación de causas para determinar la causa raíz y posteriormente la técnica de generación de soluciones para determinar soluciones factibles. Para la Implementación se requirió trabajar en conjunto con Mantenimiento, además de la creación de Políticas a través de Diseño Experimental. Una vez implementadas las soluciones, se logró el objetivo del proyecto: todos los quince cabezales bajo control estadístico. Adicionalmente se evidenció la mejora de los índices de capacidad del proceso.

Palabras Claves: Torque, Sistema de Control Estadístico, Proceso Encapsulado, Cabezales, Fuera y Bajo Control Estadístico, Causa Raíz, Soluciones Factibles, Diseño Experimental, Índices de Capacidad del Proceso.

ABSTRACT

This project was carried out in a multinational beverage. Our client: Quality Department of Production Plant # 131, located in the city of Guayaquil, said that one of the variables of quality for which the department is measured is called torque, defined as the rotational force that the consumer must apply to remove the bottle cap. Analyzing this variable in the month of May 2016 we evidenced a 9.8% of nonconforming products which impact on their market share of 7.83% in Ecuador is an issue to consider remarkably. Therefore, we proceeded to create a Design of a Statistical Control System for variable torque in the encapsulation process, specifically in line # 1, since in the last report it was the line with the highest number of complaints, and we worked with 2250 ml Black Soda since it was the biggest production volume in this line. To determine which capping headset of the encapsulation machine was working out of statistical control, X-R charts were made for each of the capping headset. The results showed that four of them were out of statistical control; thus the causes generation technique was applied to determine the root cause and then the solutions generation technique to determine feasible solutions. Implementation required to work with maintenance, also the creation of Policies through Experimental Design. Once solutions were implemented, the project objective was achieved: all the capping headsets are under statistical control. Additionally, we evidenced the improvement of the process capability indices.

Keywords: *Torque, Statistical Quality Control, Encapsulation Process, Capping headsets, Out or Under Statistical Control, Root Causes, Feasible Solutions, Design of Experiment, Process Capability Index.*

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	ii
DECLARACIÓN EXPRESA.....	iv
RESUMEN.....	v
<i>ABSTRACT</i>	vi
ÍNDICE GENERAL.....	vii
ABREVIATURAS.....	x
SIMBOLOGÍA.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xvii
ÍNDICE DE PLANOS.....	xix
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1.....	3
1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	3
1.1 Justificación	3
1.2 Variable de Interés	3
1.3 Alcance del Proyecto	4
1.4 Restricciones del Proyecto	4
1.5 Entregables Específicos	5
1.6 Equipo de Trabajo	5
1.7 Objetivos	6
1.7.1 Objetivos Generales	6
1.7.2 Objetivos Específicos	6
1.8 Plan de Acción	6
1.9 Marco Teórico	8
CAPÍTULO 2.....	10
2. METODOLOGÍA.....	10
2.1 Recolección de Datos	11
2.1.1 Plan de Recolección de Datos	11
2.1.1.1 Método de Recolección de datos	12
2.1.1.2 Selección del Tamaño de Muestra	16
2.1.1.3 Selección de la frecuencia de Muestra	17
2.1.1.4 Instrumento de Medición (Analógico)	17
2.1.1.4.1 Estudio R&R	18
2.1.2 Data Recolectada	19

2.1.2.1	Cartas de Control para la variable TORQUE.....	19
2.1.2.2	Análisis de Capacidad del Proceso.....	21
2.1.2.3	Resumen Estado Inicial.....	22
2.2	Técnica de Generación de causas.....	23
2.2.1	Lluvia de Ideas de Causas.....	23
2.2.2	Diagrama de Ishikawa.....	23
2.2.3	Matriz de Ponderación de causas.....	25
2.2.4	Verificación de causas potenciales.....	26
2.2.5	5 Por qué's.....	28
2.3	Técnica de Generación de soluciones.....	30
2.3.1	Lluvia Ideas de Soluciones.....	30
2.3.2	Matriz de Priorización de Soluciones.....	32
2.3.3	Plan de Implementación (5W2H).....	33
2.4	Implementación de Soluciones.....	34
2.4.1	Ejemplo de Solución Implementada.....	34
2.4.1.1	Instrumento de Medición (Digital).....	34
2.4.1.1.1	Estudio R&R.....	35
2.4.1.2	Determinar frecuencia de ajuste de torque.....	36
2.4.1.3	Determinar nivel de operación.....	38
2.4.1.3.1	Diseño Experimental General.....	39
2.4.1.3.1.1	Primera Etapa.....	40
2.4.1.3.1.2	Segunda Etapa.....	41
2.4.1.3.1.3	Tercera Etapa.....	43
2.4.1.3.2	Análisis las 3 etapas.....	45
2.4.1.3.3	Selección del nivel de operación.....	46
2.4.2	Resumen de Soluciones Implementadas.....	48
2.4.3	Mantenimiento Anual.....	49
CAPÍTULO 3	51
3	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	51
3.1	Análisis Comparativo de las mejoras.....	52
3.1.1	Cabezal inicialmente bajo control estadístico.....	52

3.1.2 Cabezal inicialmente fuera de control estadístico	53
3.1.3 Resumen de Mejoras	54
3.1.3.1 Cartas de Control	55
3.1.3.2 Análisis de Capacidad	55
3.2 Análisis Comparativo de Torque no conforme	56
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	57
BIBLIOGRAFÍA.....	58
Apéndice A.....	59
Data Recolectada	59
Análisis de los Cabezales del Proceso	60
Verificación de Causas Potenciales	83
5 Por qué's	94
Plan de Implementación de Soluciones	106
Implementación de Soluciones	108
Análisis Comparativo de las mejoras	120

ABREVIATURAS

RRHH	Recursos Humano.
TI	Tecnología e Información.
MKT	Marketing.
S	Semana del proyecto.
VOC	Voice of Customer - Voz del Cliente.
X-R	Carta de Control de Media y Rango.
Max	Máximo.
Min	Mínimo.
R&R	Repetibilidad & Reproducibilidad.
DOE	Design of Experiment - Diseño de Experimento.

SIMBOLOGÍA

in/lb	Unidad de torque [pulgadas/libra - unidades].
m	Metro.
cm	Centímetro.
ml	Mililitro.
Z	Normalidad.
p	Probabilidad.
C _p	Process Capability Index - capacidad del proceso para cumplir especificaciones.
C _{pk}	Process Capability Index - capacidad para entregar productos conformes.
°C	Grados centígrados.
R-Sq	R cuadrado - Poder de Explicación del modelo.
CO ₂	Dióxido de Carbono.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 0.1: Presencia de la empresa en el mundo.....	1
Figura 1.1: Torque de apertura.....	3
Figura 1.2: Diagrama SIPOC de la empresa.....	4
Figura 1.3: Equipo de Trabajo.....	5
Figura 2.1: Cabezales sin etiquetar.....	12
Figura 2.2: Cabezales etiquetados.....	12
Figura 2.3: Estrella sin etiquetar.....	13
Figura 2.4: Estrella etiquetada.....	13
Figura 2.5: Resumen Gráfico Torque (Prueba Piloto).....	16
Figura 2.6: Tamaño de Muestra.....	16
Figura 2.7: Torquímetro Analógico Rango de medición de 0 a 25 in.lb.....	17
Figura 2.8: Certificado de Calibración.....	17
Figura 2.9 ANOVA del Sistema de medición.....	18
Figura 2.10: Carta de Control X-R del Cabezal # 6.....	19
Figura 2.11: Histograma Cabezal # 6.....	20
Figura 2.12: Carta de Control X-R del Cabezal # 1.....	20
Figura 2.13: Resumen Gráfico del Cabezal # 1.....	21
Figura 2.14: Resumen del Análisis de Capacidad del Cabezal # 1.....	21
Figura 2.15: Departamentos: Producción (Operador de la línea # 1 Messal Triblock), Mantenimiento, Calidad.....	23
Figura 2.16: Líderes del proyecto y trabajadores de la empresa.....	24
Figura 2.17: Ishikawa.....	24
Figura 2.18: Matriz de Ponderación de causas.....	25
Figura 2.19: Botellas con torque sobre el Límite Superior de Especificación.....	26
Figura 2.20: Técnica 5 Por que´s para la causa 5.4.....	28
Figura 2.21: Departamentos: Producción (Operador de la línea # 1 Messal Triblock), Mantenimiento, Calidad.....	30
Figura 2.22: Matriz de Priorización de Soluciones.....	32
Figura 2.23: Diseño de Política de calibración.....	34
Figura 2.24: Torquímetro Digital Figura y Certificado de Calibración.....	34
Figura 2.25: ANOVA del Sistema de medición.....	35
Figura 2.26: Calibración de cabezales para determinar frecuencia	36
Figura 2.27: Calibración de los cabezales # 4 y # 9.....	36
Figura 2.28: Diferencia significativa para el cabezal # 4.....	37

Figura 2.29: Diferencia significativa para el cabezal # 9.....	37
Figura 2.30: Proceso de Encapsulado - Empacado - Almacenamiento.....	38
Figura 2.31: Diagrama del Diseño Experimental General.....	39
Figura 2.32: Diagrama del Diseño Experimental para el Proceso de Encapsulado.....	40
Figura 2.33: Diagrama de Cajas y ANOVA del Proceso de Encapsulado.....	41
Figura 2.34: Diagrama del Diseño Experimental para el Proceso de Empacado.....	41
Figura 2.35: Diagrama de Cajas y ANOVA del Proceso de Empacado.....	42
Figura 2.36: Diagrama del Diseño Experimental para Almacenamiento.....	43
Figura 2.37: Diagrama de Cajas y ANOVA del Almacenamiento.....	44
Figura 2.38: Temperatura y Humedad de la bodega.....	44
Figura 2.39: Análisis de las 3 etapas.....	45
Figura 2.40: Diferencias significativas entre el nivel 14 y 18	45
Figura 2.41: Diagrama del Proceso de Encapsulado - Empacado - Almacenamiento.....	46
Figura 2.42: Lección de Un Punto de Calibración de Torque.....	47
Figura 2.43: Desmontaje y traslado de cuerpos roscadores.....	49
Figura 2.44: Repuestos cambiados.....	49
Figura 2.45: Limpieza y lubricación.....	50
Figura 2.46: Calibración y Montaje de los roscadores.....	50
Figura 3.1: Carta de Control X-R Comparativo del Cabezal # 3.....	52
Figura 3.2: Análisis Comparativo de Capacidad de Proceso del Cabezal # 3.....	52
Figura 3.3: Carta de Control X-R Comparativo del Cabezal # 6.....	53
Figura 3.4: Análisis Comparativo de Capacidad de Proceso del Cabezal # 6.....	53
Figura 3.5: Porcentaje de Cabezales Bajo y Fuera de Control Estadístico.....	55
Figura 3.6: Porcentaje de Mejora en la Capacidad del Proceso.....	55
Figura 3.7: Análisis de Torque no conforme.....	56
Figura A.1: Data Recolectada.....	59
Figura A.2: Carta de Control X-R del Cabezal # 5.....	60
Figura A.3: Histograma del Cabezal # 5.....	60
Figura A.4: Carta de Control X-R del Cabezal # 7.....	61
Figura A.5: Histograma Gráfico del Cabezal # 7.....	61
Figura A.6: Carta de Control X-R del Cabezal # 13.....	62
Figura A.7: Histograma Gráfico del Cabezal # 13.....	62
Figura A.8: Carta de Control X-R del Cabezal # 2.....	63
Figura A.9: Resumen Gráfico del Cabezal # 2.....	63
Figura A.10: Resumen del Análisis de Capacidad del Cabezal # 2.....	64
Figura A.11: Carta de Control X-R del Cabezal # 3.....	65
Figura A.12: Resumen Gráfico del Cabezal # 3.....	65

Figura A.13: Resumen del Análisis de Capacidad del Cabezal # 3.....	66
Figura A.14: Carta de Control X-R del Cabezal # 4.....	67
Figura A.15: Resumen Gráfico del Cabezal # 4.....	67
Figura A.16: Resumen del Análisis de Capacidad del Cabezal # 4.....	68
Figura A.17: Carta de Control X-R del Cabezal # 8.....	69
Figura A.18: Gráfica de probabilidad del Cabezal # 8.....	69
Figura A.19: Resumen del Análisis de Capacidad del Cabezal # 8.....	70
Figura A.20: Carta de Control X-R del Cabezal # 9.....	71
Figura A.21: Resumen Gráfico del Cabezal # 9.....	71
Figura A.22: Resumen del Análisis de Capacidad del Cabezal # 9.....	72
Figura A.23: Carta de Control X-R del Cabezal # 10.....	73
Figura A.24: Resumen Gráfico del Cabezal # 10.....	73
Figura A.25: Resumen del Análisis de Capacidad del Cabezal # 10.....	74
Figura A.26: Carta de Control X-R del Cabezal # 11.....	75
Figura A.27: Resumen Gráfico del Cabezal # 11.....	75
Figura A.28: Resumen del Análisis de Capacidad del Cabezal # 11.....	76
Figura A.29: Carta de Control X-R del Cabezal # 12.....	77
Figura A.30: Resumen Gráfico del Cabezal # 12.....	77
Figura A.31: Resumen del Análisis de Capacidad del Cabezal # 12.....	78
Figura A.32: Carta de Control X-R del Cabezal # 14.....	79
Figura A.33: Resumen Gráfico del Cabezal # 14.....	79
Figura A.34: Resumen del Análisis de Capacidad del Cabezal # 14.....	80
Figura A.35: Carta de Control X-R del Cabezal # 15.....	81
Figura A.36: Resumen Gráfico del Cabezal # 15.....	81
Figura A.37: Resumen del Análisis de Capacidad del Cabezal # 15.....	82
Figura A.38: Cuerpo Roscador.....	84
Figura A.39: Mal estado de las Placas Magnéticas.....	85
Figura A.40: Placas Magnéticas.....	86
Figura A.41: Rodamientos Nuevos y Gastados.....	86
Figura A.42: Rodamientos del roscador.....	86
Figura A.43: Chuck y O-ring # 5.....	87
Figura A.44: Chuck y O-ring # 6.....	87
Figura A.45: Chuck y O-ring # 7.....	88
Figura A.46: Chuck y O-ring # 13.....	88
Figura A.47: Disco Antirotacional # 5.....	89
Figura A.48: Disco Antirotacional # 6.....	89
Figura A.49: Disco Antirotacional # 7.....	90

Figura A.50: Disco Antirotacional # 13.....	90
Figura A.51: Solicitud de piezas a Bodega de Repuestos.....	91
Figura A.52: ANOVA Calibración.....	92
Figura A.53: Técnica 5 Por qué's para la causa 4.5.....	94
Figura A.54: Técnica 5 Por qué's para la causa # 4.5.1.....	94
Figura A.55: Técnica 5 Por qué's para la causa # 4.5.2.....	95
Figura A.56: Técnica 5 Por qué's para la causa 4.6.....	96
Figura A.57: Diámetro Interno de los chucks.....	97
Figura A.58: ANOVA del Diámetro Interno de los chucks.....	97
Figura A.59: Prueba de Normalidad del diámetro externo de la tapa.....	98
Figura A.60: Prueba comparativa entre diámetro externo de tapa y diámetro interno de chuck.....	98
Figura A.61: Técnica 5 Por qué's para la causa # 4.6.3.....	99
Figura A.62: Técnica 5 Por qué's para la causa 4.7.....	100
Figura A.63: Técnica 5 Por qué's para la causa 4.8.....	101
Figura A.64: Prueba de dureza de los antirotacionales.....	101
Figura A.65: Técnica 5 Por qué's para la causa # 4.8.2.....	102
Figura A.66: Técnica 5 Por qué's para la causa 5.2.....	103
Figura A.67: Desajuste roscador con llave de 1 y 2.5 pulgadas.....	103
Figura A.68: Calibración de roscador.....	104
Figura A.69: Herramientas utilizadas en el proceso de calibración.....	104
Figura A.70: Técnica 5 Por qué's para la causa 5.3.....	105
Figura A.71: Plan de Inspección de Envasado.....	105
Figura A.72: Cambio de rodamientos del roscador.....	108
Figura A.73: Cambio de o-rings.....	108
Figura A.74: Diseño de Política de O-ring.....	109
Figura A.75: Estado de los o-rings.....	109
Figura A.76: Lección de Un Punto de O-Rings.....	112
Figura A.77: Prueba de Normalidad del torque calibrado.....	114
Figura A.78: Prueba de Homogeneidad de Varianza.....	115
Figura A.79: Prueba de Normalidad del error.....	115
Figura A.80: Prueba de Normalidad del torque ajustado.....	116
Figura A.81: Prueba de Homogeneidad de Varianza.....	117
Figura A.82: Prueba de Normalidad del error.....	117
Figura A.83: Prueba de Normalidad del torque ajustado.....	118
Figura A.84: Prueba de Homogeneidad de Varianza.....	119
Figura A.85 Prueba de Normalidad del error.....	119
Figura A.86: Carta de Control X-R Comparativo del Cabezal # 1.....	120

Figura A.87: Análisis Comparativo de Capacidad de Proceso del Cabezal # 1.....	120
Figura A.88: Carta de Control X-R Comparativo del Cabezal # 2.....	121
Figura A.89: Análisis Comparativo de Capacidad de Proceso del Cabezal # 2.....	121
Figura A.90: Carta de Control X-R Comparativo del Cabezal # 4.....	122
Figura A.91: Análisis Comparativo de Capacidad de Proceso del Cabezal # 4.....	122
Figura A.92: Carta de Control X-R Comparativo del Cabezal # 5.....	123
Figura A.93: Análisis Comparativo de Capacidad de Proceso del Cabezal # 5.....	123
Figura A.94: Carta de Control X-R Comparativo del Cabezal # 7.....	124
Figura A.95: Análisis Comparativo de Capacidad de Proceso del Cabezal # 7.....	124
Figura A.96: Carta de Control X-R Comparativo del Cabezal # 8.....	125
Figura A.97: Análisis Comparativo de Capacidad de Proceso del Cabezal # 8.....	125
Figura A.98: Carta de Control X-R Comparativo del Cabezal # 9.....	126
Figura A.99: Análisis Comparativo de Capacidad de Proceso del Cabezal # 9.....	126
Figura A.100: Carta de Control X-R Comparativo del Cabezal # 10.....	127
Figura A.101: Análisis Comparativo de Capacidad de Proceso del Cabezal # 10.....	127
Figura A.102: Carta de Control X-R Comparativo del Cabezal # 11.....	128
Figura A.103: Análisis Comparativo de Capacidad de Proceso del Cabezal # 11.....	128
Figura A.104: Carta de Control X-R Comparativo del Cabezal # 12.....	129
Figura A.105: Análisis Comparativo de Capacidad de Proceso del Cabezal # 12.....	129
Figura A.106: Carta de Control X-R Comparativo del Cabezal # 13.....	130
Figura A.107: Análisis Comparativo de Capacidad de Proceso del Cabezal # 13.....	130
Figura A.108: Carta de Control X-R Comparativo del Cabezal # 14.....	131
Figura A.109: Análisis Comparativo de Capacidad de Proceso del Cabezal # 14.....	131
Figura A.110: Carta de Control X-R Comparativo del Cabezal # 15.....	132
Figura A.111: Análisis Comparativo de Capacidad de Proceso del Cabezal # 15.....	132

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Resumen de productos de la Planta # 131 en Ecuador que usan preformas.....	2
Tabla 2: Plan de Acción Fase 1.....	6
Tabla 3: Plan de Acción Fase 2.....	6
Tabla 4: Plan de Acción Fase 3.....	7
Tabla 5: Plan de Acción Fase 4.....	7
Tabla 6: Plan de Acción Fase 5.....	7
Tabla 7: Plan de Acción Fase 6.....	7
Tabla 8: Resumen del Plan de Recolección de Datos.....	11
Tabla 9: Distancia de rutas.....	14
Tabla 10: Procedimiento de Recolección y Medición de Datos.....	15
Tabla 11: Elementos del Sistema de Medición.....	18
Tabla 12: Resumen de las Cartas de Control para la variable torque.....	22
Tabla 13: Verificación de la causa 5.4.....	26
Tabla 14: Resumen de Verificación de Causas Potenciales.....	27
Tabla 15: Resumen de Causas Raíces.....	29
Tabla 16: Soluciones a corto plazo.....	30
Tabla 17: Soluciones sostenibles.....	31
Tabla 18: Plan de Implementación de soluciones 5.3.A.....	33
Tabla 19: Elementos del Sistema de Medición	35
Tabla 20: Selección de Niveles.....	39
Tabla 21: Resumen de Soluciones Implementadas.....	48
Tabla 22: Resumen de Mejoras	54
Tabla 23: Verificación de la causa 1.3.....	83
Tabla 24: Verificación de la causa 4.1 - 4.2 - 4.3.....	84
Tabla 25: Verificación de la causa 4.4 - 4.5.....	85
Tabla 26: Verificación de la causa 4.6 - 4.7.....	87
Tabla 27: Verificación de la causa 4.8.....	89
Tabla 28: Verificación de la causa 5.1.....	91
Tabla 29: Verificación de la causa 5.2.....	92
Tabla 30: Elementos del Estudio.....	92
Tabla 31: Verificación de la causa 5.3.....	93
Tabla 32: Plan de Implementación para la causa potencial # 5.2.....	106
Tabla 33: Plan de Implementación para la causa potencial # 4.7.....	107
Tabla 34: Seguimiento de O-rings.....	110

Tabla 35: Resumen del promedio de horas de vida operacional de los o-rings.....111
Tabla 36: Resumen de la data de calibración.....113

ÍNDICE DE PLANOS

Plano 2.1: Diagrama de Recorrido.....	14
---------------------------------------	----

INTRODUCCIÓN

El trabajo fue realizado en una empresa multinacional dedicada a la fabricación de bebidas, con presencia en más de 23 países de Latinoamérica, Asia y África.

A nivel mundial, es la décima mayor empresa de refrescos en volumen de ventas y el cuarto mayor productor de bebidas carbonatadas. (Fuente: Euromonitor, 2011).

El portafolio global de productos se complementa con una variedad de bebidas como: Agua, jugos, néctares, bebidas con adición de electrolitos, carbonatadas, té y bebidas energéticas.



Figura 0.1: Presencia de la empresa en el mundo.

En Ecuador, la planta de producción # 131 de la empresa está localizado en el Guayas y cuenta con una área de 44593.32 m² para las distintas áreas operativas y administrativas, además de un área para despacho de producto terminado.

A nivel nacional utiliza diversos canales de distribución como: Econoredes (bodegas mayoristas), Cedis (centros de distribución) y Autoservicios (supermercados).

La empresa está conformada aproximadamente por 210 trabajadores en planta y 50 trabajadores en cargos administrativos. En la parte operativa se trabaja en 2 turnos con una duración de 12 horas cada uno.

La estructura organizacional de la empresa se encuentra dividida en los departamentos:

- Administrativo y Finanzas: RRHH. y TI, Contabilidad, Finanzas, Crédito, Tesorería, Control de Cedis, Servicios Generales.
- Supply Chain: Planeación, Compras, Producción, Calidad, Insumos, Operaciones.
- Comercial: MKT. Trade, Distribución, Región Costa, Región Sierra, Canal Mayorista, Econoredes.
- Legal.

En el campo de Supply Chain la empresa posee la ventaja competitiva de abarcar varias etapas previas a la producción de las bebidas como el proceso de inyección y soplado para la elaboración de preformas de ciertos formatos y el proceso de inyección para la fabricación de sus propias tapas.

La tabla 1 muestra el resumen de los diferentes productos manufacturados en 4 de sus líneas.

Tabla 1: Resumen de productos de la Planta # 131 en Ecuador que usan preformas.

Línea 1		Línea 2		Línea 3		Línea 4	
ml	Productos	ml	Productos	ml	Productos	ml	Productos
3050	Cola Negra	1035	Cola Negra	360	Cola Negra	625	Agua
3050	Cola Naranja	1035	Cola Manzana	360	Cola Naranja		
3050	Cola Manzana	1035	Cola Naranja	360	Cola Manzana		
3050	Cola Limón	1035	Cola Fresa	360	Cola Fresa		
3300	Cola Negra	1035	Cola Dorada	360	Cola Limón		
2250	Cola Negra	510	Cola Negra	360	Jugo		
2250	Cola Dorada	510	Jugo	1035	Cola Negra		
1700	Jugo	510	Agua	1035	Cola Manzana		
3000	Jugo	1000	Agua	1035	Cola Naranja		
3500	Agua			1035	Cola Fresa		
				1035	Cola Limón		

CAPÍTULO 1

1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El encapsulado de las botellas de Cola Negra en el formato 2250 ml elaborado en la línea # 1 Máquina Messal Triblock de la planta # 131 presenta en el torque de apertura un 5,06% por arriba del límite superior de especificación y un 4,75% por debajo del límite inferior de especificación al 17 de Mayo 2016, lo cual representa una posible pérdida de alrededor del 7,83% que posee actualmente de participación de mercado en la industria de bebidas gaseosas del Ecuador. (De acuerdo al estudio de Participación de Mercado realizado por CCR).

1.1 Justificación

Una de las nueve líneas de producción de la planta que tiene mayor porcentaje de quejas versus su producción es la Línea # 1 con un 4% del total de quejas, según el estudio realizado por el Departamento de Calidad en Septiembre del 2015.

Además, entre todas las características de calidad del producto final, el torque de apertura es una de las variables críticas del proceso. Según un estudio realizado en Febrero del 2016 por el Departamento de Calidad sobre Trade Quality Index; cuyo indicador con más bajo porcentaje (91,90%) es la funcionalidad de la tapa medida como torque de apertura.

1.2 Variable de interés



Figura 1.1: Torque de apertura.

Torque de apertura: Es la fuerza de rotación en sentido opuesto a las manecillas del reloj, medida en in/lb, que el consumidor debe aplicar para remover la tapa de la botella.

Límites de Especificación estipulados por el corporativo:

[8 - 18] in.lb

1.3 Alcance del Proyecto

En la figura 1.2 se observa todos los entes involucrados en la producción de bebidas gaseosas:

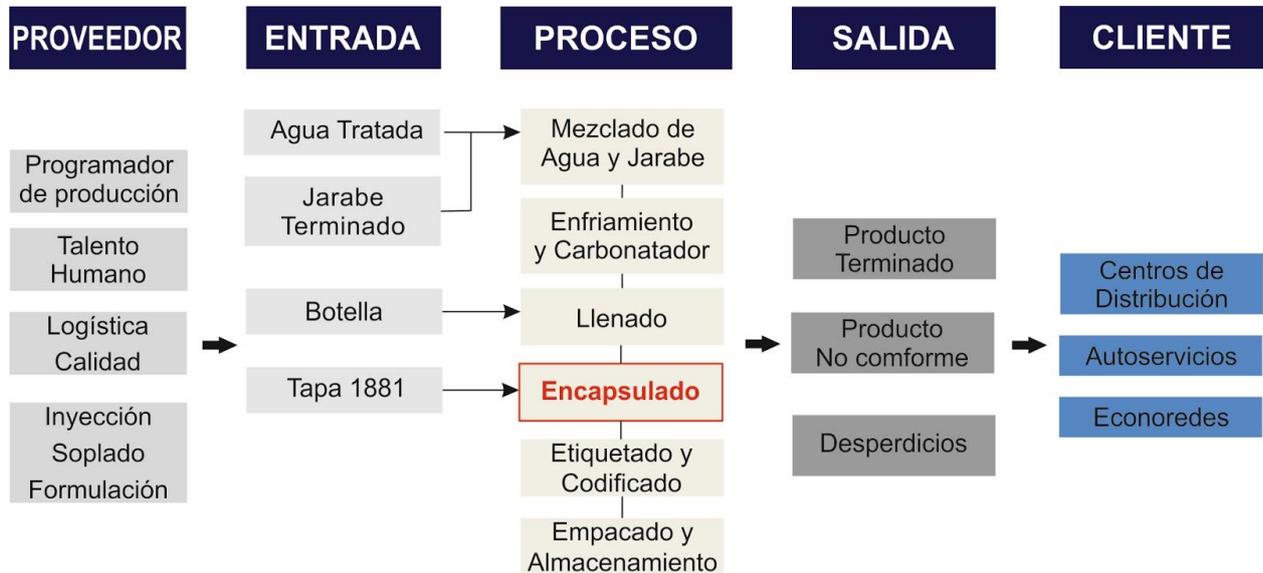


Figura 1.2: Diagrama SIPOC de la empresa.

El proyecto se centrará en el desarrollo de un sistema de control estadístico en el proceso de encapsulado, analizando la variable de calidad: torque, dentro de la Línea # 1 para la bebida gaseosa de Cola Negra en el formato de 2250 ml.

El formato y producto seleccionado se debe a que en la Línea # 1 donde existe mayor problema, el formato de 2250 ml de Cola Negra es el que tiene mayor volumen de producción que los otros formatos, siendo este 55.224 unidades mensuales representando el 22,65% de la producción total de la línea correspondiente al mes de mayo del presente año.

1.4 Restricciones del Proyecto

- El producto Cola Negra 2250 ml se produce una sola vez por semana, aunque es el de mayor volumen producido en la línea 1.
- No se cumple con la planificación de la producción semanal.
- Falta de comunicación sobre cambios en la planificación de la producción entre los departamentos de producción y calidad.

1.5 Entregables Específicos

Para el presente proyecto, se entregará al finalizar:

- Cartas de Control de la variable crítica de calidad: torque de apertura.
- Análisis de capacidad del proceso para los cabezales bajo control estadístico.
- Informe sobre las causas raíces de la problemática.
- Plan de Implementaciones de soluciones.
- Análisis de Impacto en soluciones.

1.6 Equipo de Trabajo

Para el presente trabajo se contará con la colaboración del personal que conforman el círculo de calidad, el supervisor de mantenimiento y los operadores de la línea a estudiar.

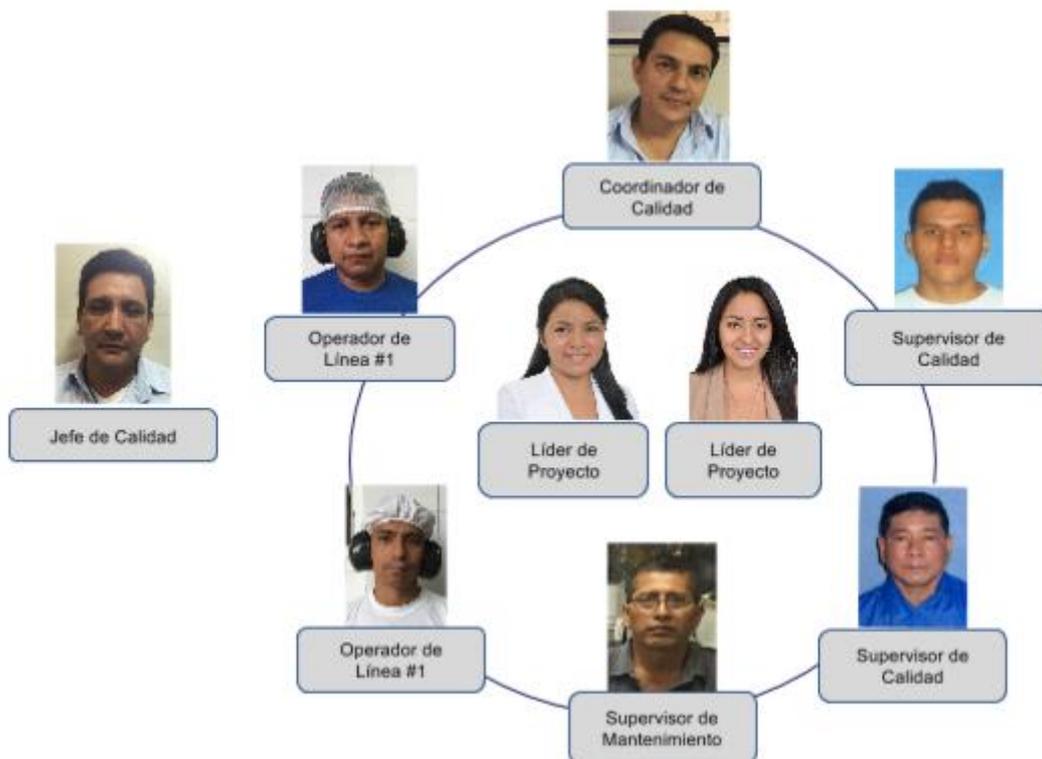


Figura 1.3: Equipo de Trabajo.

1.7 Objetivos

1.7.1 Objetivo General

Diseñar un sistema de control estadístico para el proceso de encapsulado de Cola Negra 2250 ml con el fin de lograr identificar y eliminar causas asignables.

1.7.2 Objetivos Específicos

- Implementar cartas de control para la variable torque.
- Determinar las causas raíces de los puntos fuera de control estadístico.
- Analizar el impacto de implementación de soluciones para eliminar las causas asignables.

1.8 Plan de Acción

El presente plan de acción definido para 16 semanas de trabajo (S), tiene como fin cumplir con los objetivos del proyecto:

Tabla 2: Plan de Acción Fase 1.

Fase	Acción	Fecha de entrega	Actividad	Mayo	
				S1	S2
1	Definir el Problema	20/05/2016	Aplicar la técnica VOC para determinar variable de respuesta, restricciones, y entregables.		
			Diseñar la Prueba piloto para la variable torque. Recolectar y analizar data.		

Tabla 3: Plan de Acción Fase 2.

Fase	Acción	Fecha de entrega	Actividad	Mayo	Junio	
				S3	S4	S5
2	Recolectar datos	10/06/2016	Diseñar el Plan de Recolección de datos.			
			Recolectar data. Construir Cartas de Control.			
			Determinar los cabezales fuera de control estadístico. Analizar la capacidad del proceso para los cabezales bajo control estadístico.			

Tabla 4: Plan de Acción Fase 3.

Fase	Acción	Fecha de entrega	Actividad	Junio	
				S6	S7
3	Analizar de datos	24/06/2016	Aplicar técnica de generación de causas.		
			Determinar causas raíces.		

Tabla 5: Plan de Acción Fase 4.

Fase	Acción	Fecha de entrega	Actividad	Junio			Julio		
				S8	S9	S10	S8	S9	S10
4	Propuesta de Mejoras	15/07/2016	Aplicar técnica de generación de soluciones.						
			Analizar soluciones factibles.						
			Diseñar Plan de Implementación de soluciones.						

Tabla 6: Plan de Acción Fase 5.

Fase	Acción	Fecha de entrega	Actividad	Julio		Agosto					
				S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	
5	Implementación y Verificación	02/09/2016	Implementar soluciones.								
			Recolectar data Construir Cartas de Control.								
			Analizar el impacto de la implementación de soluciones.								

Tabla 7: Plan de Acción Fase 6.

Fase	Acción	Fecha de entrega	Actividad	Septiembre	
				S18	S19
6	Presentación Final	26/09/2016	Retroalimentación del tutor.		
			Presentación de Póster. Entregar documentación final.		

1.9 Marco Teórico

Cartas de Control

Es una herramienta gráfica para el seguimiento de la actividad de un proceso continuo. Los valores de la característica de calidad se representan a lo largo del eje vertical, y el eje horizontal representa las muestras, o subgrupos (en orden de tiempo), de la que se encuentra la característica de calidad. [1]

Límites de Ensayo

Son dos líneas, una por encima y otra por debajo de la línea central, que ayudan en el proceso de toma de decisiones. Son los primeros límites de control del proceso donde se observan las causas asignables.

Límites de Control

Son los límites calculados una vez solucionadas las causas asignables. Estos límites se eligen de manera que la probabilidad de los puntos de muestra que caen entre ellos es casi 1 (generalmente alrededor de 99,7% para 3 límites) si el proceso está bajo control estadístico. Dentro de estos límites se estudian las causas comunes que generen variación dentro las muestras. [2]

Causas Asignables

La variabilidad causada por causas especiales o asignables es algo que no es inherente al proceso. Es decir, no es parte del proceso tal como está diseñado y no afecta a todos los elementos. causas especiales pueden ser el uso de una herramienta equivocada, una materia prima inadecuada, o un procedimiento incorrecto. [3]

Causas Comunes

La variabilidad debida a causas comunes es algo inherente a un proceso. Existe siempre que el proceso no cambie y se la refiere como la variación natural del proceso. Es una parte inherente del diseño del proceso y afecta a todos los elementos. Esta variación es el efecto de muchas causas pequeñas y no puede ser totalmente eliminado. [3]

Lluvia de Ideas

Es una técnica basada en la exposición de manera informal y libre de todas las ideas en torno a un tema o problema planteado que ayuda a estimular la creatividad. [4] La lluvia de ideas supone el pensar rápido y de manera espontánea en ideas, conceptos o palabras que se puedan relacionar con un tema previamente definido y que, entonces, puedan servir a diferentes fines. [5]

Diagrama de Ishikawa

Llamado también diagrama de espina de pescado o diagrama de causa-efecto. Este diagrama causal es la representación gráfica de las relaciones múltiples de causa-efecto entre las diversas variables que intervienen en un proceso. [6] Permite encontrar más rápidamente las causas asignables cuando el proceso se aparta de su funcionamiento habitual. [7]

Matriz de Priorización

Es una herramienta que permite la selección de opciones sobre la base de la ponderación y aplicación de criterios. Hace posible, determinar alternativas y los criterios a considerar para adoptar una decisión, priorizar y clarificar problemas, oportunidades de mejora y proyectos y, en general, establecer prioridades entre un conjunto de elementos para facilitar la toma de decisiones. [8]

5 Por qué's

Es una técnica sistemática de preguntas utilizada durante la fase de análisis de problemas para buscar sus posibles causas principales. La técnica requiere que se pregunte "por qué" al menos cinco veces, o se trabaje a través de cinco niveles de detalle. Una vez que sea difícil responder al "por qué", la causa más probable habrá sido identificada. [9] Se basa en un proceso de trazabilidad, se analizan las posibles causas al problema caminando hacia atrás, hasta llegar a la última causa que originó el problema. [10]

Plan de Implementación (5W2H)

El modelo 5W2H es una herramienta utilizada por las organizaciones para la ejecución de planificación y consiste en la construcción de una hoja de cálculo en el que se busca responder 7 preguntas, cuyas palabras en Inglés, se inician con W y H: Qué (What), Por qué (Why), Cuándo (When), Dónde (Where), Quién (Who), Cómo (How) y Cuánto (How much). [11]

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

La metodología a seguir para el desarrollo del proyecto de Diseño de un sistema de control estadístico para el proceso de encapsulado de bebidas gaseosas es:

1. Recolección de Datos.
 - a. Cartas de Control.
 - b. Capacidad del proceso.
2. Aplicar Técnicas de Generación de causas.
3. Aplicar Técnicas de Generación de soluciones.
4. Implementar soluciones.
5. Analizar el impacto de la implementación de soluciones.

El primer paso será recolectar los datos de la situación inicial y elaborar las cartas de control para cada uno de los 15 cabezales del proceso de encapsulado de la línea # 1, con el fin de determinar cuál de ellos está fuera de control estadístico.

Una vez identificados los cabezales donde se deben tomar medidas correctivas, se eliminarán las causas asignables, puntos que están fuera de los límites de ensayo, mediante las técnicas de generación de causas cuyo objetivo es determinar las causas raíces del problema.

Conociendo las causas raíces se trabajará en conjunto con el equipo de trabajo para generar soluciones viables que permitan la eliminación de dichas causas. Posteriormente se analizará el impacto que se obtendría al implementar las soluciones propuestas.

Adicionalmente, se encontrará la capacidad del proceso para los cabezales que estén bajo control estadístico, con el fin de determinar si los procesos son capaces de cumplir con la amplitud y el valor objetivo.

2.1 Recolección de Datos

La data recolectada será utilizada para elaborar cartas de control X-R ya que es ideal para controlar variables en industrias con producción masiva como es el caso de la empresa, además permite el uso de subgrupos menores a 8 observaciones y al ser 15 cabezales dentro de la encapsuladora es necesario utilizar subgrupos para estudiar el comportamiento de cada uno de ellos.

2.1.1 Plan de Recolección de datos

Antes de construir las cartas de control, se diseñó la recolección de datos.

El detalle se muestra en la tabla 8:

Tabla 8: Resumen del Plan de Recolección de Datos.

Propósito de la recolección de datos	Evidenciar si el proceso de encapsulado está fuera de control estadístico.
Característica de calidad a analizar	TORQUE
Tipo de medida	Producto de Salida del Proceso de Encapsulado
Tipo de data	Discreta
Definición de la característica de calidad	Fuerza de rotación que los cabezales de la máquina encapsuladora aplica a cada tapa de botella.
Método de recolección	Identificación de cabezales y las botellas de muestras.
Instrumento de Medición	Torquímetro calibrado por Disertenic en enero 2016
Tamaño de la muestra (n)	2 botellas
Frecuencia de muestras	45 min
Cantidad de muestra (g)	12
Formulario de Registro	Para los 15 cabezales de la encapsuladora de la línea 1
Equipo de trabajo	Líderes del proyecto y operadores de línea 1

2.1.1.1 Método de Recolección de Datos

Para la toma de muestras se diseñó el proceso de recolección y medición de datos.

Previo a esto se realizaron actividades de puesta a punto.

Mejoras previas para facilitar el proceso de recolección de datos:

Los cabezales de la encapsuladora se encontraban sin ninguna marcación o etiquetado, como se muestra en la figura 2.1, lo cual dificultaba la recolección de datos al desconocer el cabezal del cual se tomaría la muestra.

Sin Etiquetar



Figura 2.1: Cabezales sin etiquetar.

Con la colaboración del operador de la línea # 1 se etiquetó cada cabezal siguiendo la enumeración de # 1 a # 15, como se muestra en la figura 2.2:



Figura 2.2: Cabezales etiquetados.

La estrella del pick and place posee 15 cavidades que trabajan conjuntamente con cada cabezal de la encapsuladora. Esta pieza estaba inicialmente sin etiquetar, como se muestra en la figura 2.3:



Figura 2.3: Estrella sin etiquetar.

El operador de la línea # 1 contribuyó con el etiquetado, como se muestra en la figura 2.4. Las etiquetas fueron colocadas siguiendo la enumeración de los cabezales, de tal manera que se facilita la recolección de las muestras, ya que basta con observar el número en la estrella para obtener una muestra del cabezal que se desee estudiar.

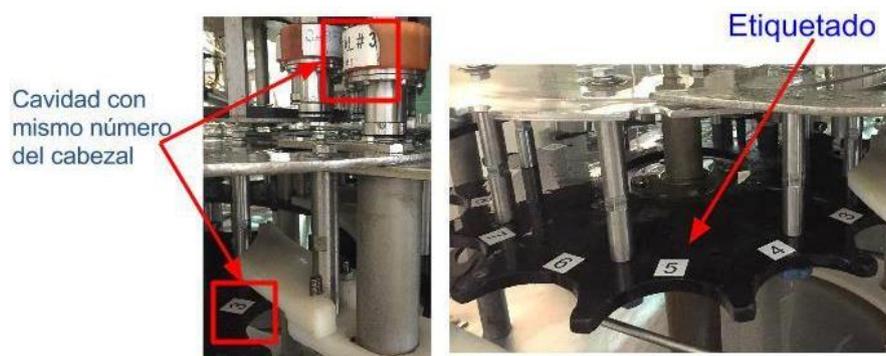
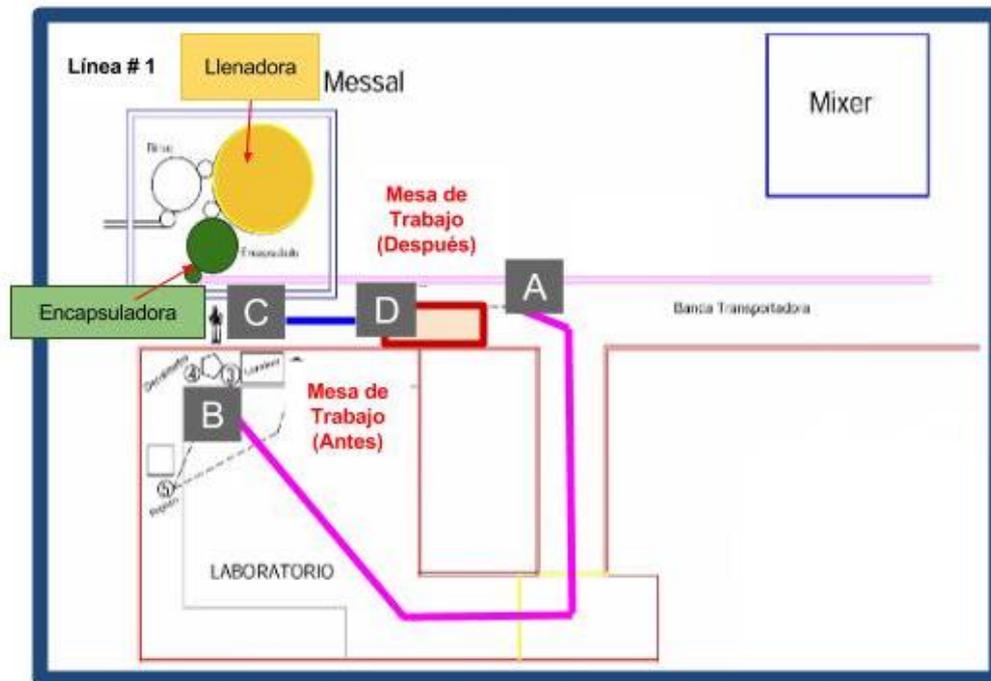


Figura 2.4: Estrella etiquetada.

Para mayor facilidad de recolección y traslado de las muestras, se optó por colocar una mesa de trabajo a lado de la banda transportadora de la línea # 1 como se muestra en el plano 2.1, donde se ubicaron los instrumentos y materiales necesarios para la medición de torque.



Plano 2.1: Diagrama de Recorrido.

Al colocar la mesa de trabajo continua a la línea de producción, se logra reducir considerablemente la distancia que debe recorrer el operador para realizar la prueba de torque, ya que se evita el caminar hasta el laboratorio de Calidad.

Tabla 9: Distancia de rutas.

Ruta	Distancia (m)
A - B (Antes)	16
C - D (Después)	3

Con la ruta propuesta C - D se logra reducir en un 81,25% la distancia de recorrido al pasar de 16 m a 3 m. lo cual representa un ahorro de tiempo significativo.

Una vez realizado todas las puestas a punto, se desarrolló el procedimiento de recolección y medición de datos, como se muestra en la tabla 10.

Tabla 10: Procedimiento de Recolección y Medición de Datos.

Recolección y Medición de Datos					
Planta:	# 131	Máquina:	Messal Triblock de línea # 1	Frecuencia:	45 minutos.
EPP:	Cofia, mascarilla, mandil, tapones para oídos, botas punta de acero.				
Paso	Actividad	Ilustración	Puntos Claves	Estado de la máquina	Herramientas
1	Observación de la botella en la estrella del pick and place.		1.a. Observar y recolectar de la estrella del pick and place la botella del cabezal que se desea estudiar.	Encendida.	---
2	Traslado de botellas.		2.a. Trasladar las botellas seleccionadas a la mesa de trabajo.	---	---
3	Ajuste de botella en torquímetro.		3.a. Colocar y ajustar firmemente la botella en el torquímetro.	---	Torquímetro.
4	Medición del torque.		4.a. Encerar el torquímetro y ejercer fuerza hasta sentir que cede la tapa de la botella.	---	Torquímetro.
5	Anotación de datos.		5.a. Anotar la data recolectada en el formato de registro.	---	Formato de registro.

2.1.1.2 Selección del Tamaño de Muestra

Se realizó una prueba piloto con 32 botellas Cola Negra 2250 ml para determinar el tamaño del subgrupo.

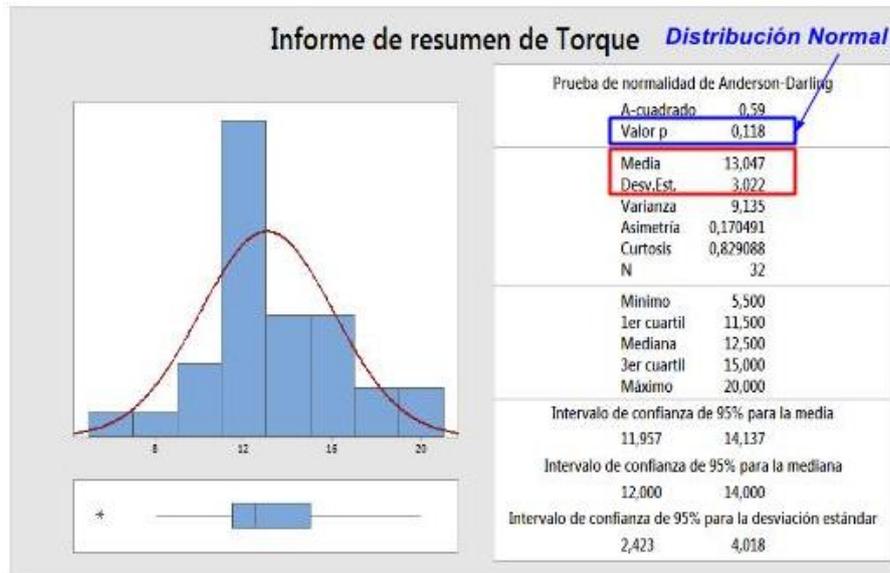


Figura 2.5: Resumen Gráfico Torque (Prueba Piloto).

En la figura 2.5, con un valor $p = 0,118$ se determina que la data de la variable Torque tiene Distribución Normal; por lo tanto, para seleccionar el tamaño del subgrupo, utilizaremos la prueba Z de 1 muestra con diferentes valores de potencia de la muestra y un error de 5 in.lb ya que el corporativo permite una diferencia de 5 unidades para el torque.

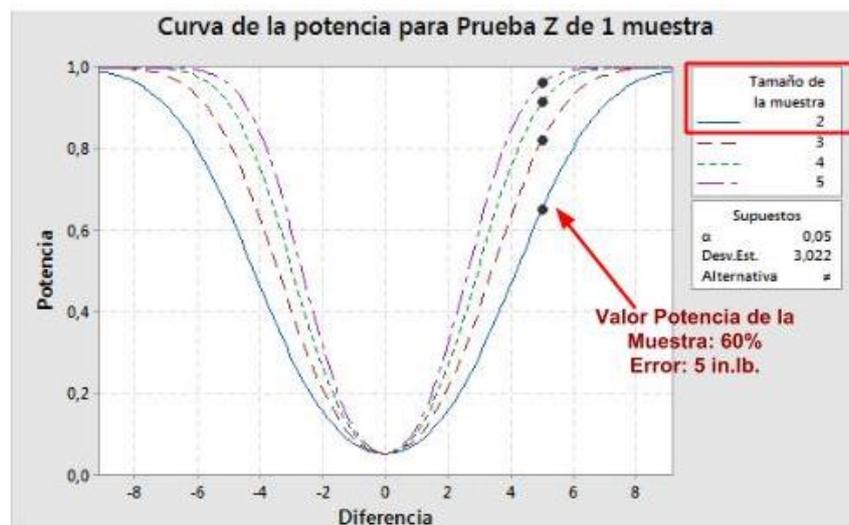


Figura 2.6: Tamaño de Muestra.

Por motivos de restricciones operacionales, seleccionamos el tamaño de muestra de 2 unidades con un valor de potencia de la prueba de 60% y un error de 5 in.lb, como se muestra en la figura 2.6 en la curva de la potencia para el tamaño de muestra.

2.1.1.3 Selección de la Frecuencia entre Muestras

Debido a que la planificación de producción de Cola Negra 2250 ml es de aproximadamente 12 horas una vez por semana, dentro de las cuales existen horas productivas y paros no programados; y considerando que para una buena carta de control es mejor obtener más de 10 puntos (cantidad de muestras) a analizar, y que el tiempo necesario para la medición del torque es de 1 minuto por botella; además con la selección previa del tamaño de subgrupo de 2 botellas por cada uno de los 15 cabezales, es decir, 30 botellas en total cuyo tiempo de medición es de 30 minutos para cada muestra, se seleccionó una frecuencia de 45 minutos entre muestras.

2.1.1.4 Instrumento de Medición (Analógico)



El Instrumento de medición del torque utilizado en el Departamento de Calidad es el torquímetro analógico con rango de medición de 0 a 25 in.lb, como se muestra en la figura 2.7:



Figura 2.7: Torquímetro Analógico Rango de medición de 0 a 25 in.lb.

La calibración del instrumento de medición utilizado para la recolección de datos se realiza anualmente por la empresa DISERTECNIC, la misma que se realizó por última vez en el mes de Enero del presente año, como se muestra en la figura 2.8:



Figura 2.8: Certificado de Calibración.

2.1.1.4.1 Estudio R&R

Antes de proceder con la recolección de datos, se verificó que el sistema de medición sea aceptable mediante el estudio de Repetibilidad y Reproducibilidad.

El método aplicado para el estudio es el método corto donde participan 2 operadores, las cuales serán quienes llevarán a cabo la recolección de datos, y se seleccionaron 15 partes debido que son el total de cabezales de la línea # 1.

Tabla 11: Elementos del Sistema de Medición.

Equipo	Torquímetro analógico con rango de medición de 0 a 25 in.lb.
Parte	15 cabezales de la encapsuladora de la línea # 1
Operador	Líderes del proyecto: 1) Pincay Daniela 2) Silva Jéssica

Para este estudio las líderes del proyecto ocuparon el papel de operadoras, quienes siguieron un proceso estandarizado para la toma de las muestras. Una vez recolectada la data para el estudio, se utilizó el software Minitab para obtener el análisis de varianza del sistema de medición.

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
PART	14	430,083	30,7202	15,5827	0,000
OPERATOR	1	1,837	1,8375	0,9321	0,351
PART * OPERATOR	14	27,600	1,9714	0,4206	0,956
Repeatability	30	140,625	4,6875		
Total	59	600,146			

α to remove interaction term = 0,05

Figura 2.9 ANOVA del Sistema de medición.

En el ANOVA de la figura 2.9, con un valor $p = 0,000$ se determina que las partes (cabezales de la encapsuladora línea # 1) tienen influencia en el sistema. Con un valor $p = 0,351$ se determina que el operador no tiene influencia en el sistema. Con un valor $p = 0,956$ se concluye que la interacción entre parte y operador no tiene influencia.

El sistema de medición es aceptable. De acuerdo al análisis R&R, el sistema detecta las partes y no hay influencia de los operadores y su interacción con las partes; por lo tanto, podemos proceder con la recolección de datos.

2.1.2 Data Recolectada

La recolección de datos fue realizada el día 2 y 3 de junio del 2016; debido a que en esos días de la semana la línea # 1 elaboró Cola Negra 2250 ml. La hoja de registro con los datos recolectados se encuentra en el Apéndice A.

2.1.2.1 Cartas de Control para la variable TORQUE

Con los datos recolectados se procedió a construir las Cartas de Control para la variable torque en los 15 cabezales, usando el software Minitab 17. Para los cabezales que están bajo control estadístico se analizó la normalidad de los datos y posteriormente el análisis de capacidad para dichos procesos. En el Apéndice A se detalla el análisis de las Cartas de Control del torque para los Cabezales de la encapsuladora perteneciente a la línea # 1, además del análisis de normalidad y capacidad del proceso para los cabezales que están bajo control estadístico.

A continuación, se muestra un ejemplo de la Carta de Control para la variable torque del proceso de un cabezal que se encuentra fuera de control estadístico y un ejemplo de carta de control para la variable torque del proceso de un cabezal que se encuentra bajo control estadístico así mismo se presenta el análisis de normalidad y capacidad para ese cabezal.

En la figura 2.10, se observa un ejemplo de Cabezal cuyo proceso está fuera de control estadístico:

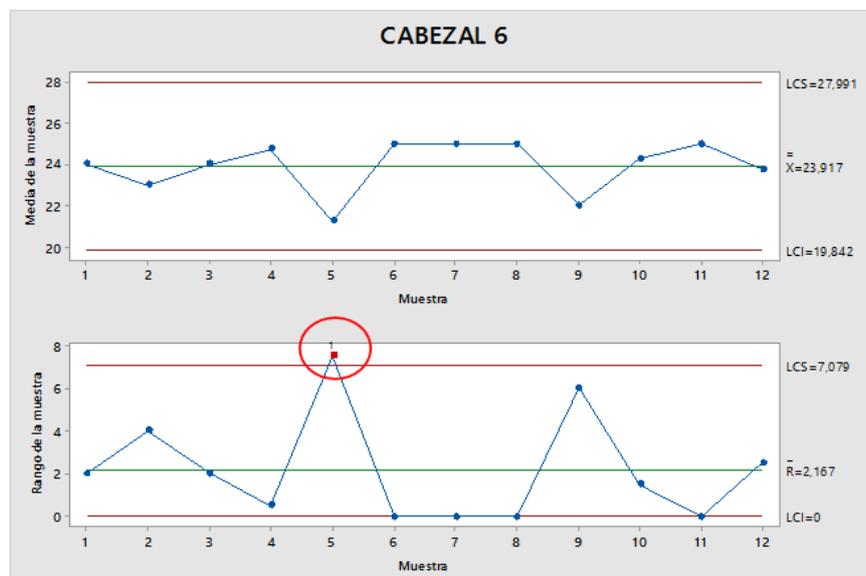


Figura 2.10: Carta de Control X-R del Cabezal # 6.

El proceso del Cabezal 6 se encuentra Fuera de Control Estadístico ya que la muestra # 5 está sobre el límite de control superior en la gráfica para el Rango de la variable Torque, como se muestra en la figura 2.10.

Aunque el Cabezal 6 no tiene un proceso bajo control estadístico para la variable torque, igualmente se analizará el comportamiento de dicho cabezal con respecto a su capacidad para cumplir con los límites de especificación de toque.

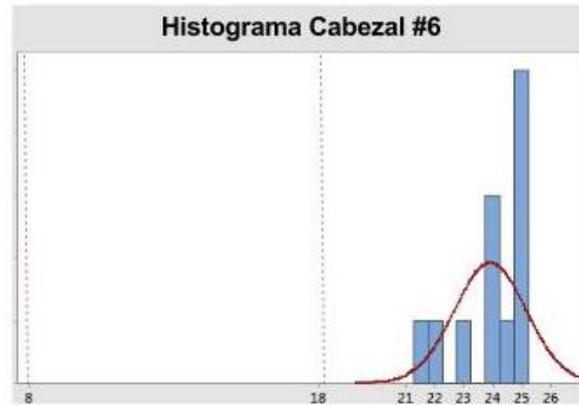


Figura 2.11: Histograma Cabezal #6.

Se puede observar en la Figura 2.11 que la data obtenida se encuentra completamente sobre el Límite Superior de Especificación definido por el corporativo.

En la figura 2.12 se muestra un ejemplo de Cabezal cuyo proceso de torque está bajo control estadístico:

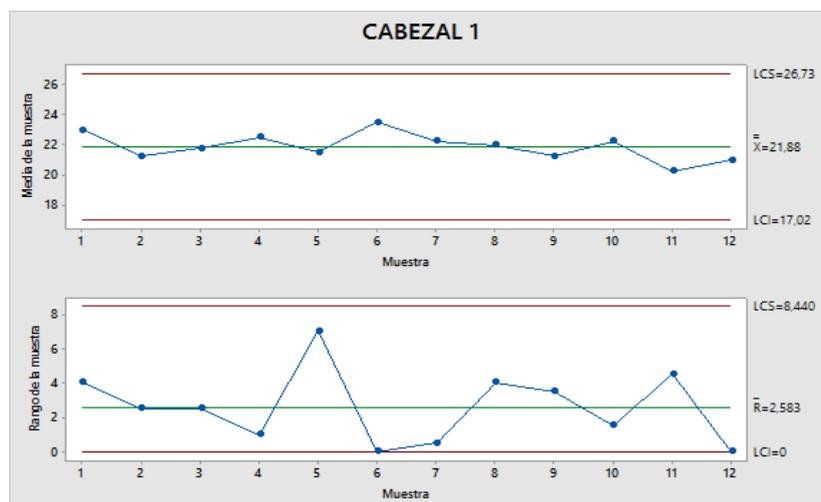


Figura 2.12: Carta de Control X-R del Cabezal # 1.

El proceso del Cabezal 1 se encuentra Bajo Control Estadístico ya que todas las muestras están dentro de los límites de control, como se muestra en la figura 2.12.

2.1.2.2 Análisis de Capacidad del proceso

Analizaremos la capacidad del proceso del Cabezal # 1 ya que está bajo control estadístico.

Primero determinaremos si la data tiene Distribución Normal.

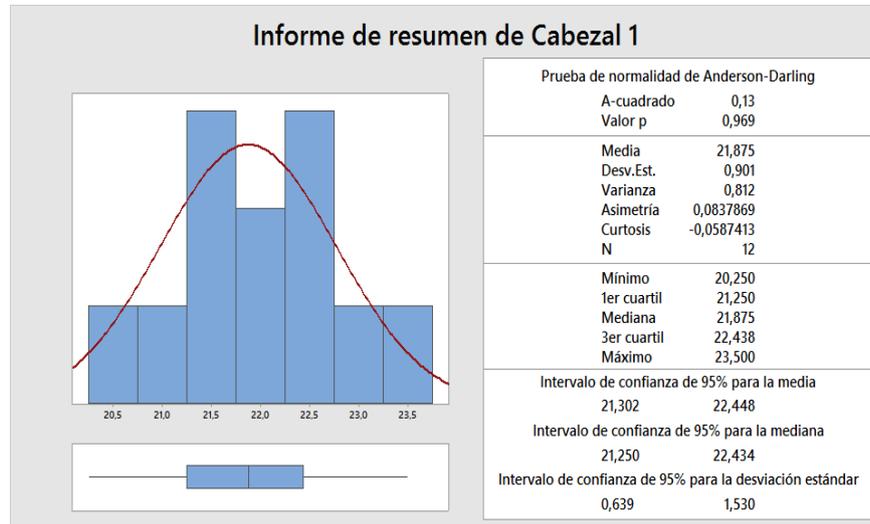


Figura 2.13: Resumen Gráfico del Cabezal # 1.

En la figura 2.13, con un valor $p = 0,969$ se determinó que el proceso del Cabezal 1 tiene Distribución Normal.

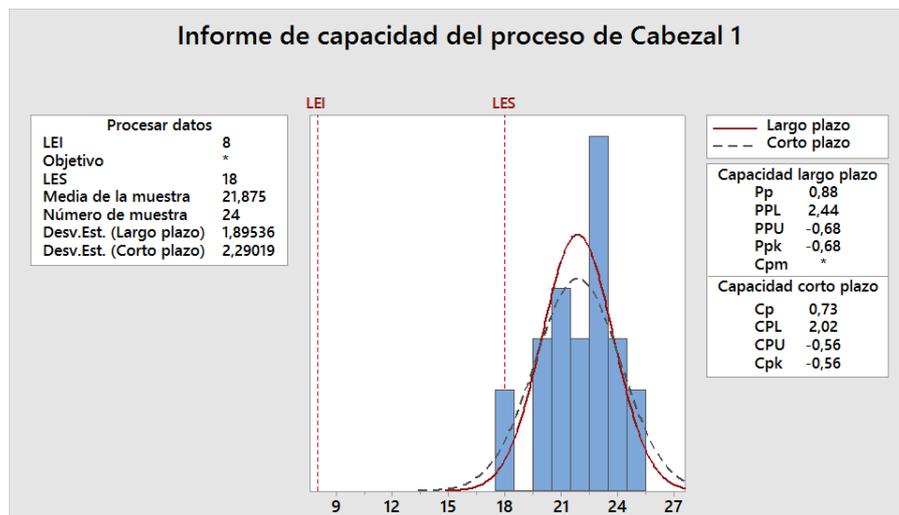


Figura 2.14: Resumen del Análisis de Capacidad del Cabezal # 1.

En la figura 2.14, considerando los límites de especificación [8 - 18] in.lb estipulados por el corporativo, se observa que con un valor de $C_p = 0,73$ y $C_{pk} = -0,56$ el proceso del Cabezal 1 no es capaz de cumplir con la amplitud requerida y el valor objetivo de torque.

2.1.2.3 Resumen Estado Inicial

A continuación se muestra en la tabla 12, el Resumen de los cabezales de la encapsuladora perteneciente a la línea # 1, obtenido del análisis de las Cartas de Control para la variable Torque y Capacidad del Proceso que se detalla en el Apéndice A, esto nos ayuda a identificar los cabezales con los cuales trabajaremos, es decir los que están fuera de control estadístico.

Tabla 12: Resumen de las Cartas de Control para la variable Torque.

Proceso Encapsulado Línea # 1	Estado	Capacidad del Proceso	C_p Cumple con la Amplitud	C_{pk} Cumple con la Amplitud y Media
Cabezal # 1	Bajo Control Estadístico.	Proceso No Capaz.	No	No
Cabezal # 2	Bajo Control Estadístico.	Proceso No Capaz.	No	No
Cabezal # 3	Bajo Control Estadístico.	Proceso No Capaz.	Si	No
Cabezal # 4	Bajo Control Estadístico.	Proceso No Capaz.	Si	No
Cabezal # 5	Fuera de Control Estadístico.	-	-	-
Cabezal # 6	Fuera de Control Estadístico.	-	-	-
Cabezal # 7	Fuera de Control Estadístico.	-	-	-
Cabezal # 8	Bajo Control Estadístico.	Proceso No Capaz.	Si	No
Cabezal # 9	Bajo Control Estadístico.	Proceso No Capaz.	No	No
Cabezal # 10	Bajo Control Estadístico.	Proceso No Capaz.	No	No
Cabezal # 11	Bajo Control Estadístico.	Proceso No Capaz.	No	No
Cabezal # 12	Bajo Control Estadístico.	Proceso No Capaz.	No	No
Cabezal # 13	Fuera de Control Estadístico.	-	-	-
Cabezal # 14	Bajo Control Estadístico.	Proceso No Capaz.	Si	No
Cabezal # 15	Bajo Control Estadístico.	Proceso No Capaz.	No	No

Se tomarán medidas correctivas para los cabezales # 5 - 6 - 7- 13 del proceso de encapsulado.

2.2 Técnicas de Generación de causas

2.2.1 Lluvia de Ideas de Causas

Se realizó una reunión donde participó el personal del departamento de Calidad, el operador de la línea # 1 y el supervisor de mantenimiento, como se muestra en la figura 2.15.

El objetivo fue la generación de ideas sobre las posibles causas del problema con la variable Torque, considerando especialmente los cabezales fuera de control # 5, # 6, # 7 y # 13.



Figura 2.15: Departamentos: Producción (Operador de la línea # 1 Messal Triblock), Mantenimiento, Calidad.

2.2.2 Diagrama de Ishikawa

Las líderes del proyecto guiaron a los colaboradores de la empresa, quienes participaron en la lluvia de ideas para generación de causas, a enumerar y clasificar todas las ideas propuestas en su respectiva categoría de estudio del Ishikawa: Personal, Material, Adquisiciones y Costos, Máquina, Ajuste y Calibración, Medición, como se muestra en la figura 2.16:



Figura 2.16: Líderes del proyecto y trabajadores de la empresa.

En la figura 2.17 se muestra el Ishikawa generado por el equipo de trabajo mencionado en la Lluvia de idea de causas.

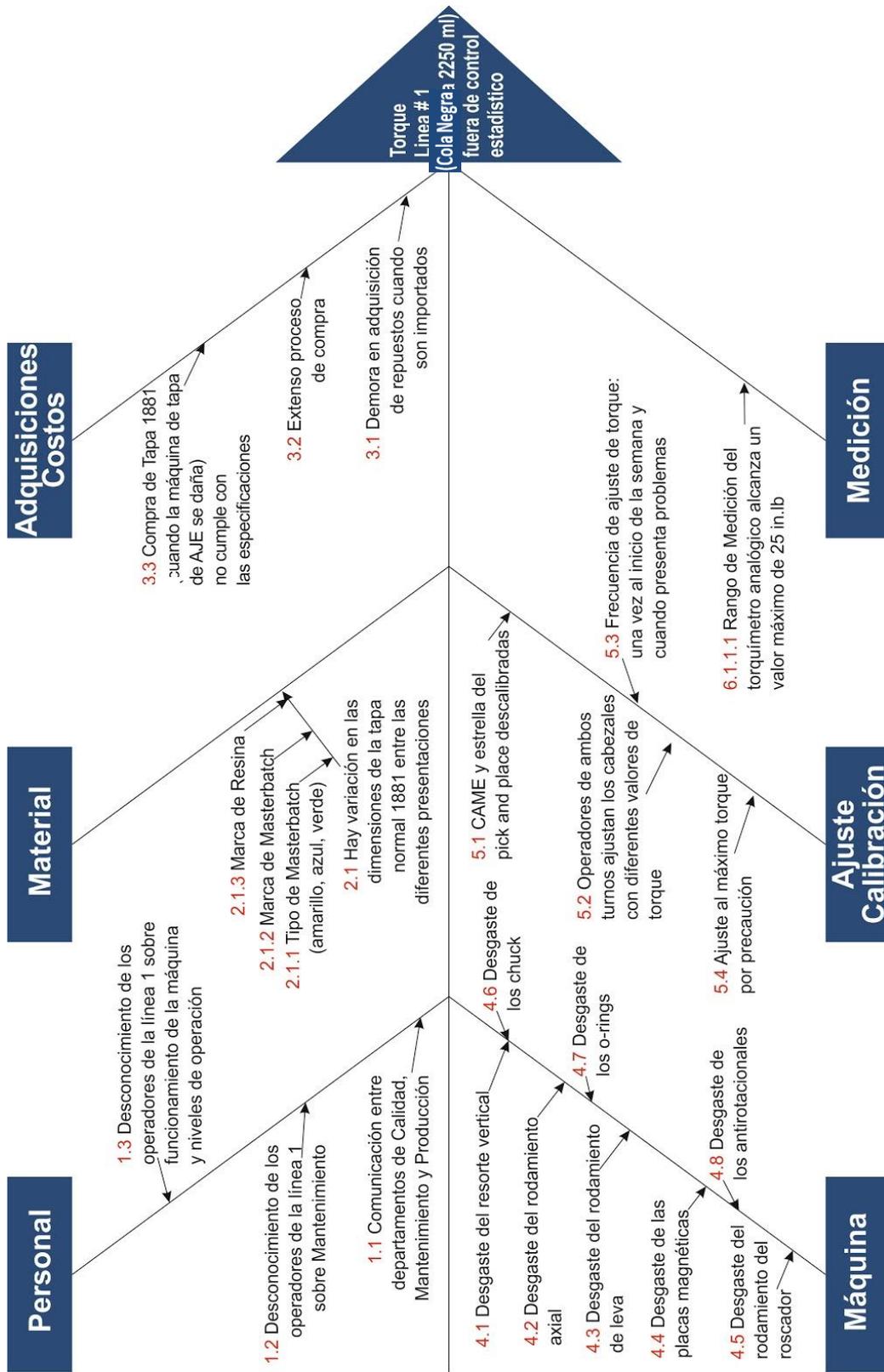


Figura 2.17 Ishikawa.

2.2.3 Matriz de Ponderación de causas

Se analizaron las causas potenciales con la colaboración del jefe de calidad y el supervisor de mantenimiento de la línea # 1, donde se consideró el impacto (alto o bajo) que tienen sobre la variable de estudio y la factibilidad de poderlas controlar (fácil o difícil), de tal manera que se las clasificó en los cuadrantes de la matriz utilizando la enumeración indicada previamente en el Ishikawa.

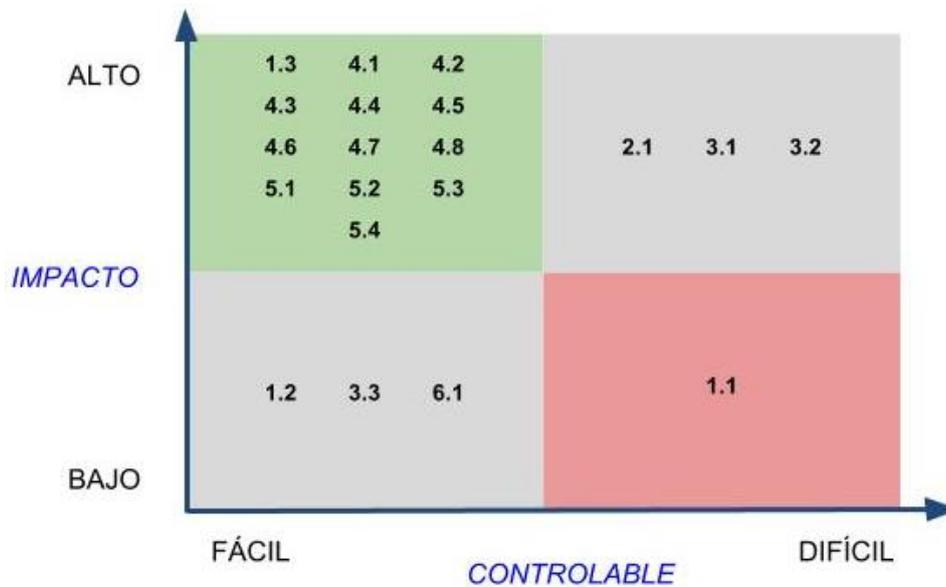


Figura 2.18: Matriz de Ponderación.

A través de la clasificación en los cuadrantes se pudo determinar principalmente las causas más difíciles de controlar y de menor impacto (cuadrante rojo); y las causas más fáciles de controlar y con mayor impacto (cuadrante verde).

En la figura 2.18 se muestra la matriz de ponderación de causas, donde las 13 causas potenciales (cuadrante verde) son aquellas ideas de posibles causas que están afectando el proceso de encapsulado, y cuya verificación es importante ya que de comprobarse como causa potencial se requerirá encontrar la causa raíz de cada una de ellas para su posterior eliminación.

2.2.4 Verificación de causas potenciales

A cada una de las causas importantes se les estableció y se les verificó el posible impacto que tendrían sobre la variable de estudio con la finalidad de determinar si son Causas Potenciales, para ello se utilizaron distintas metodologías de verificación como: Estadística y evidencia Gemba (Go & See).

A continuación se presenta la verificación de una causa potencial. En el Apéndice A se encuentra la verificación de las 13 causas determinadas en la matriz de ponderación como potenciales.

La tabla 13 muestra un ejemplo de Verificación de Causa Potencial:

Tabla 13: Verificación de la causa 5.4

#	Causas Potenciales	Teoría de Impacto	Cómo Verificar?
5.4	Ajuste al máximo torque por precaución.	Todos los productos terminados de la línea # 1 saldrán con valores altos de torque, además de ocasionar desgaste en las piezas mecánicas de la máquina.	Estadística <ul style="list-style-type: none"> Porcentaje de botellas con valores de torque sobre el Límite Superior de Especificación (18 in.lb.).

Para la verificación de esta causa se utilizó la data obtenida en la fase de Recolección de Datos con la cual se elaboraron las Cartas de Control para cada uno de los cabezales.

En la figura 2.19 se observa que el 80% de la data superan el Límite Superior de Especificación (18 in.lb.), verificando así que efectivamente los operadores ajustan al máximo torque por precaución en la encapsuladora, por tanto esta es una Causa Potencial.

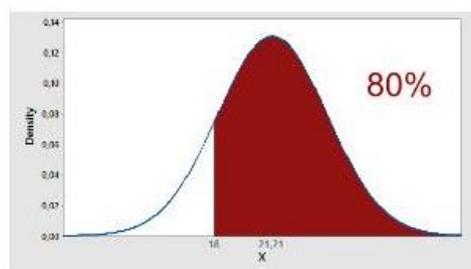


Figura 2.19: Botellas con torque sobre el Límite Superior de Especificación.

A continuación se muestra en la tabla 14, el resumen de la verificación de las causas potenciales:

Tabla 14: Resumen de Verificación de Causas Potenciales.

#	Causas Potenciales	Es una Causa Potencial?
1.3	Desconocimiento de los operadores de la línea 1 sobre el funcionamiento de la máquina y niveles de operación.	NO
4.1	Desgaste del resorte vertical.	NO
4.2	Desgaste del rodamiento axial.	NO
4.3	Desgaste del rodamiento de leva.	NO
4.4	Desgaste de las placas magnéticas.	NO
4.5	Desgaste del rodamiento del roscador.	SI (Cabezales # 5-6-7-13)
4.6	Desgaste de los chucks.	SI (chuck # 7)
4.7	Desgaste de los o-rings.	SI (o-ring # 6-7)
4.8	Desgaste de los antirotacionales.	SI (antirotacional # 5-6-7)
5.1	Calibración del CAME y estrella del pick and place.	NO
5.2	Operadores de ambos turnos ajustan los cabezales a diferentes valores de torque.	SI
5.3	Frecuencia de ajuste de torque.	SI
5.4	Ajuste al máximo torque por precaución.	SI

Se procederá a determinar las causas raíces de las causas potenciales 4.5, 4.6, 4.7, 4.8, 5.2, 5.3 y 5.4, ya que las demás causas generadas se verificó que no son causas potenciales.

2.2.5 5 Por qué's

Con la colaboración de los departamentos de Calidad, Producción, Mantenimiento y Compras se procedió a utilizar la técnica de los 5 Por qué's para determinar la causa raíz correspondiente a cada una de las causas potenciales determinadas previamente.

En el Apéndice A se encuentra la evaluación de los 5 Por qué's de las 6 causas potenciales verificadas restantes.

En la figura 2.20 se muestra un ejemplo de la técnica 5 Por qué's para la causa 5.4:

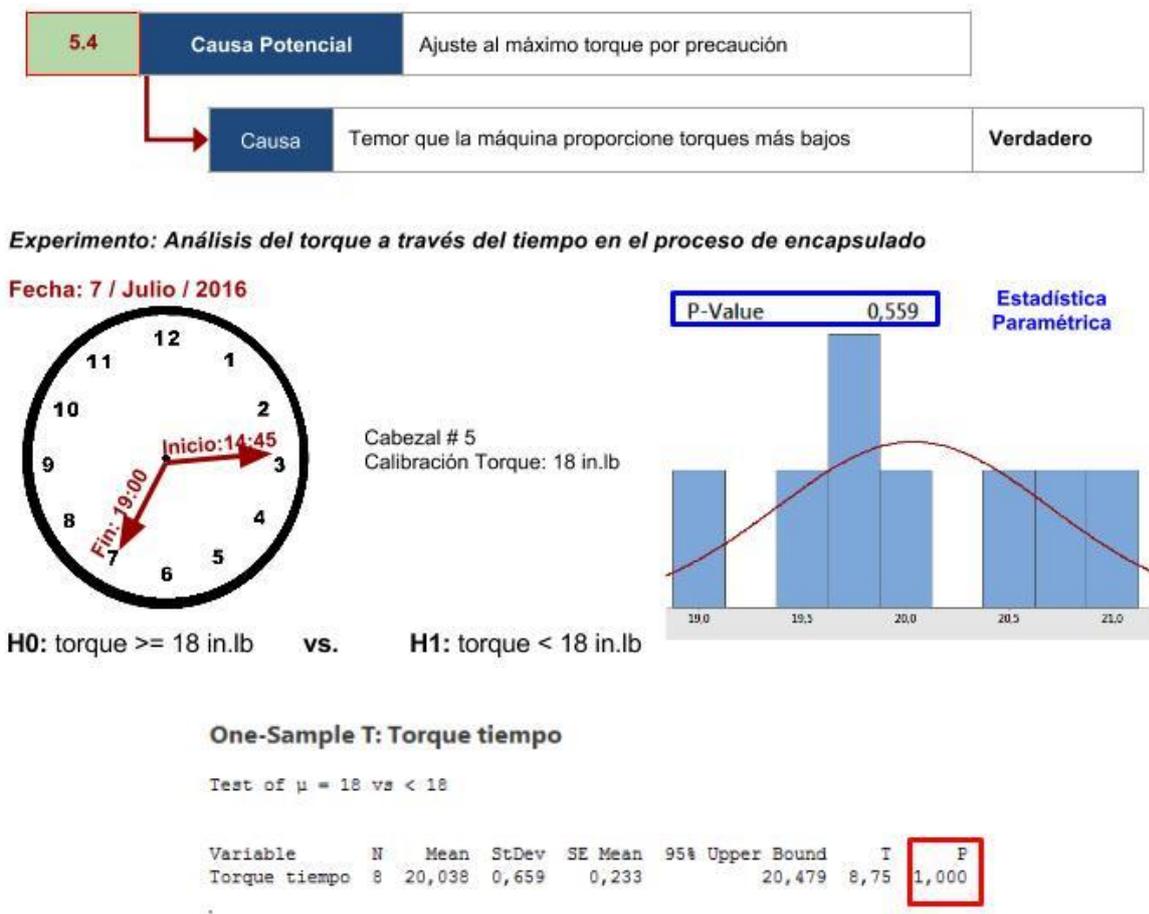


Figura 2.20: Técnica 5 Por qué's para la causa 5.4.

En la figura 2.20: Considerando un valor $p=1$ se determinó que el torque en el tiempo analizado no decrementa de 18 in.lb. Pero el temor de los operadores si es existente, por lo tanto es una causa raíz.

A continuación se muestra en la tabla 15, el resumen con las causas raíces encontradas con la herramienta 5 Por que's para cada una de las causas potenciales verificadas:

Tabla 15: Resumen de Causas Raíces.

# Causa	Causas Potenciales	Causas Raíces
4.5	Desgaste del rodamiento del roscador (# 5-6-7-13).	Ajuste al máximo torque por precaución.
4.6	Desgaste de los chucks (# 7).	Ajuste al máximo torque por precaución.
4.7	Desgaste de los o-rings (# 6-7).	Operadores desconocen la frecuencia de cambio de los o-rings.
4.8	Desgaste de los antirotacionales (# 5-6-7).	Ajuste al máximo torque por precaución.
5.2	Operadores (turno: día y noche) ajustan los cabezales a diferentes valores de torque.	Operadores no poseen un instrumento de calibración.
5.3	Frecuencia de ajuste de torque.	Calibración sujeta a la frecuencia de verificación y a problemas inesperados.
5.4	Ajuste al máximo torque por precaución.	Temor que la máquina proporcione torques más bajos.

2.3 Técnicas de Generación de soluciones

2.3.1 Lluvia de Ideas de Soluciones

Una vez detectado las causas raíces correspondientes a las causas potenciales verificadas procedemos a realizar la lluvia de idea de posibles soluciones para eliminar la causa raíz. Las ideas fueron obtenidas del personal del departamento de calidad, producción y mantenimiento, como se muestra en la figura 2.21:

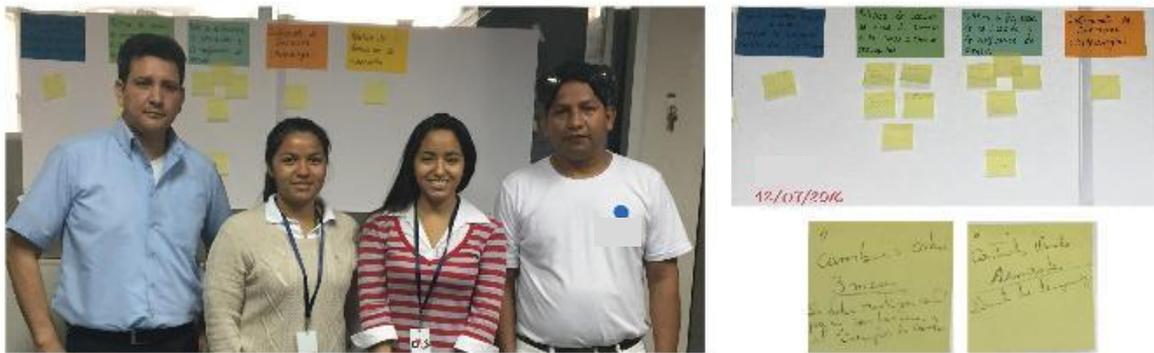


Figura 2.21: Departamentos: Producción (Operador de la línea # 1 Messal Triblock), Mantenimiento, Calidad.

De acuerdo a las soluciones generadas, se las clasificó en dos aspectos: soluciones a corto plazo y soluciones a largo plazo.

Las soluciones a corto plazo son aquellas que se deben hacer, las cuales están detalladas en la tabla 16; sin embargo esto no eliminará la causa raíz.

Tabla 16: Soluciones a corto plazo.

#	Causa Potencial	Soluciones a corto plazo
4.5	Desgaste de rodamientos del roscador (# 5-6-7-13).	<ul style="list-style-type: none"> 4.5.A Cambiar los rodamientos del roscador (# 5-6-7-13).
4.6	Desgaste de chucks (# 7).	<ul style="list-style-type: none"> 4.6.A Cambiar chucks (# 7).
4.7	Desgaste de o-rings (# 6-7).	<ul style="list-style-type: none"> 4.7.A Cambiar o-rings (# 6-7).
4.8	Desgaste de disco antirotacionales (# 5-6-7).	<ul style="list-style-type: none"> 4.8.A Cambiar disco antirotacionales (# 5-6-7).

La Tabla 17 muestra las posibles soluciones para eliminar la causa raíz encontradas anteriormente, este tipo de ideas propuestas son sostenibles; sin embargo hay que considerar de todas ellas cuales son las soluciones factibles a través de la clasificación en la Matriz de Priorización.

Tabla 17: Soluciones sostenibles.

#	Causa Potencial	Causa Raíz	Soluciones
4.7	Desgaste de o-rings.	Operadores desconocen la frecuencia de cambio de los o-rings.	<p>4.7.B Diseño de la política de cambio de o-ring.</p> <p>4.7.B.1 Determinar la frecuencia de cambio de o-ring.</p> <p>4.7.B.2 Determinar la frecuencia del control visual del estado del o-ring.</p>
5.2	Operadores (turno: día y noche) ajustan valores de torque de diferentes manera.	Operadores no poseen un instrumento de calibración.	5.2.A Comprar un instrumento de calibración de Torque.
5.3	Frecuencia de ajuste de torque.	Calibración sujeta a la frecuencia de verificación y a problemas inesperados.	<p>5.3.A Diseñar la Política de calibración.</p> <p>5.3.A.1 Determinar la frecuencia de ajuste de torque.</p> <p>5.3.A.2 Determinar los valores de torque para calibrar el cabezal.</p>
5.4	Ajuste al máximo torque por precaución.	Temor que la máquina proporcione torques más bajos.	

2.3.2 Matriz de Priorización de Soluciones

Con la colaboración del jefe de calidad y el supervisor mecánico, se procedió a clasificar cada una de las soluciones propuestas, según el grado de impacto que tendrían sobre las causas raíces y el grado de dificultad para la implementación de cada una de ellas. Dentro de la matriz se consideraron tanto las soluciones a corto plazo como las soluciones a largo plazo.

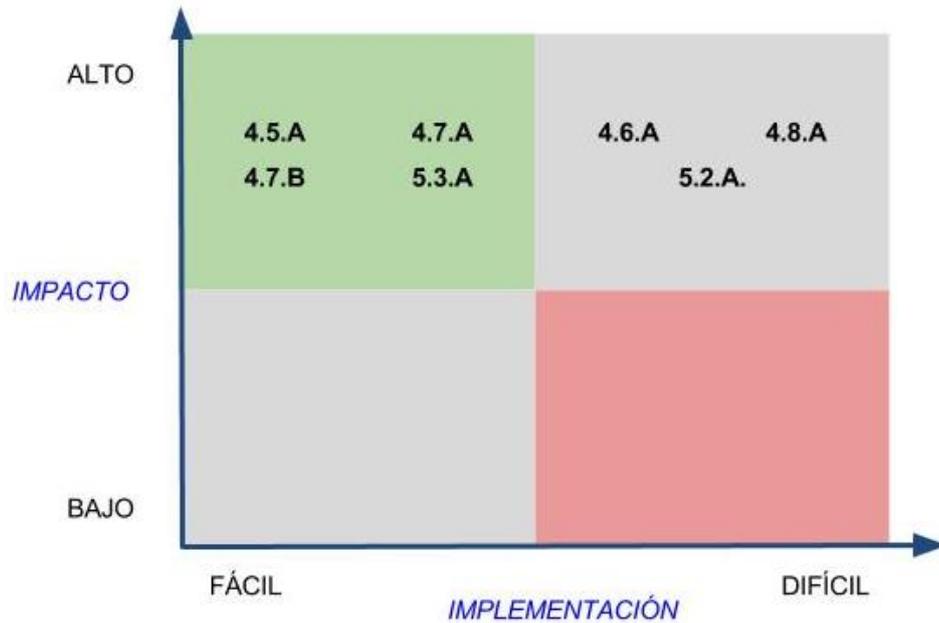


Figura 2.22: Matriz de Priorización.

En la figura 2.22 se muestra la matriz de priorización de soluciones; siendo el cuadrante verde el área más factible y con mayor influencia sobre las causas raíces, determinamos las soluciones 4.5.A, 4.7.A, 4.7.B y 5.3.A las idóneas a implementar.

2.3.3 Plan de Implementación (5W2H)

El plan de implementación para las soluciones factibles se encuentran en el Apéndice A. El objetivo de este plan es describir los datos necesarios para posteriormente implementarlo.

A continuación en la tabla 18 se muestra un ejemplo para las soluciones de las causas raíces pertenecientes a las causas potenciales 5.3 y 5.4.

Tabla 18: Plan de Implementación de soluciones 5.3.A.

Causa Potencial	5.3 Frecuencia de ajuste de torque.	5.4 Ajuste al máximo torque por precaución.
Causa Raíz	Calibración sujeta a la frecuencia de verificación y a problemas inesperados.	Temor que la máquina proporcione torques más bajos.
¿Cuál es la Solución?	5.3.A Diseñar la Política de calibración.	
	5.3.A.1 Determinar la frecuencia de ajuste de torque.	5.3.A.2 Determinar los valores de torque para calibrar el cabezal.
¿Por qué es importante?	Porque los operadores desconocen la frecuencia de verificación por tanto no la hacen.	Porque es la manera de garantizar que la máquina provee el torque apropiado.
¿Cómo será implementada?	1. Análisis del torque a través del tiempo en el proceso de encapsulado.	1. Análisis del torque a través del tiempo después del proceso de encapsulado.
	2. Solicitar aprobación del departamento de Calidad. 3. Comunicar a los operadores sobre la nueva política utilizando "Lección de Un Punto".	
¿Dónde?	Línea # 1 (todos los 15 cabezales).	Línea # 1 (todos los 15 cabezales).
¿Quién es el responsable?	Líderes del proyecto: Pincay Daniela y Silva Jéssica.	
¿Cuánto cuesta la implementación?	Costo Total = \$ 0,00	Costo Total = \$ 0,00
¿Cuándo?	18 / Agosto / 2016	26 / Agosto / 2016
Estado	Finalizado.	Finalizado.

2.4 Implementación de soluciones

De acuerdo al Plan de Implementación de Soluciones, se realizó cada una de las propuestas con el fin de eliminar la causa raíz.

El detalle de las propuestas implementadas se encuentran en el Apéndice A.

A continuación se muestra en la figura 2.23 a manera de ejemplo la solución propuesta 5.3.A para las causas raíces pertenecientes a las causas potenciales 5.3 y 5.4.

2.4.1 Ejemplo de Solución Implementada

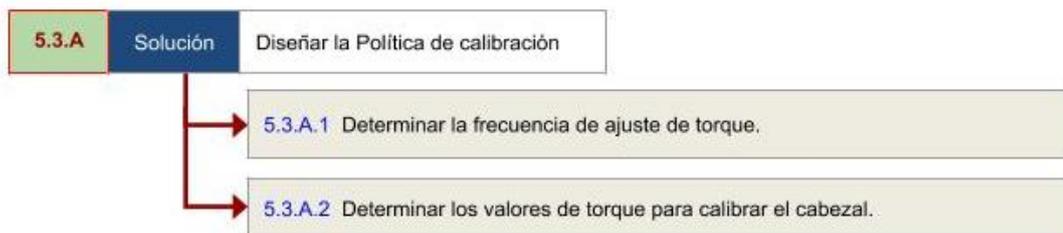


Figura 2.23: Diseño de Política de calibración.

Este estudio tiene como objetivos el determinar:

- ¿Cuándo los operadores necesitan calibrar el cabezal?
- ¿Cuánto es el torque que el operador debe calibrar en el cabezal?

2.4.1.1 Instrumento de Medición (Digital)

Para este estudio, como se muestra en la figura 2.24, se utilizó un torquímetro digital con un rango de medición de 0 a 40 in.lb.

La calibración del instrumento de medición utilizado se realiza anualmente por la empresa Imada.

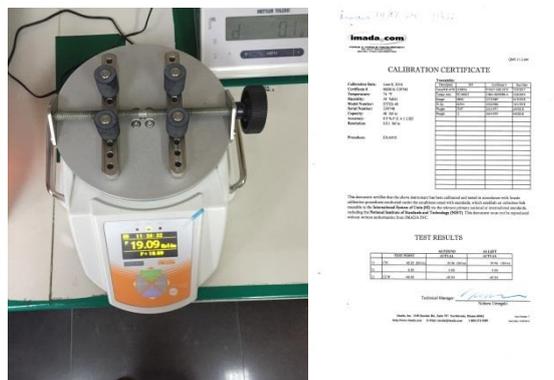


Figura 2.24: Torquímetro Digital Figura y Certificado de Calibración.

2.4.1.1.1 Estudio R&R

Antes de proceder con el estudio, se verificó que el sistema de medición sea aceptable mediante el estudio de Repetibilidad y Reproducibilidad.

El método aplicado para el estudio es el método corto donde participan 2 operadores, las cuales serán quienes llevarán a cabo la recolección de datos, y se seleccionaron 15 partes debido que son el total de cabezales de la línea # 1.

Tabla 19: Elementos del Sistema de Medición.

Equipo	Torquímetro digital con rango de medición de 0 a 40 in.lb.
Parte	15 cabezales de la encapsuladora de la línea # 1
Operador	Líderes del proyecto: 1) Pincay Daniela 2) Silva Jéssica

Una vez recolectado la data para el estudio, se utilizó el software Minitab para obtener el análisis de varianza del sistema de medición.

Gage R&R Study - ANOVA Method

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
PART	14	65,407	4,67194	4,40488	0,004
OPERATOR	1	0,231	0,23064	0,21746	0,648
PART * OPERATOR	14	14,849	1,06063	0,82756	0,636
Repeatability	30	38,449	1,28163		
Total	59	118,936			

α to remove interaction term = 0,05

Figura 2.25: ANOVA del Sistema de medición.

En el ANOVA de la figura 2.25: Con un valor $p = 0,004$ se determina que las partes (cabezales de la encapsuladora línea # 1) tienen influencia en el sistema. Con un valor $p = 0,648$ se determina que el operador no tiene influencia en el sistema. Con un valor $p = 0,636$ se concluye que la interacción entre parte y operador no tiene influencia.

El sistema de medición es aceptable. De acuerdo al análisis R&R, el sistema detecta las partes y no hay influencia de los operadores y su interacción con las partes; por lo tanto, podemos proceder con la recolección de datos.

2.4.1.2 Determinar frecuencia de ajuste de torque

Para llevar a cabo este estudio se calibraron los 15 cabezales a [18 in.lb] usando el torquímetro analógico y la verificación de los mismos con el torquímetro digital, debido a que el torquímetro analógico es más robusto para el operador, como se muestra en la figura 2.26:



Figura 2.26: Calibración de cabezales para determinar frecuencia.

Después de la calibración, los operadores movieron algunas placas magnéticas de los cabezales sin la verificación de los nuevos valores de torque ajustado. Estos cambios los realizaron después de revisar el torque de una botella, la misma que salió con un valor menor a 18 in.lb. (límite superior de especificación). En el Apéndice A se encuentra la data de calibración recolectada.

Durante este estudio los operadores no hicieron ningún cambio en el torque de los cabezales # 4 y # 9, los mismos que fueron analizados en un periodo de tiempo, como se muestra en la figura 2.27:

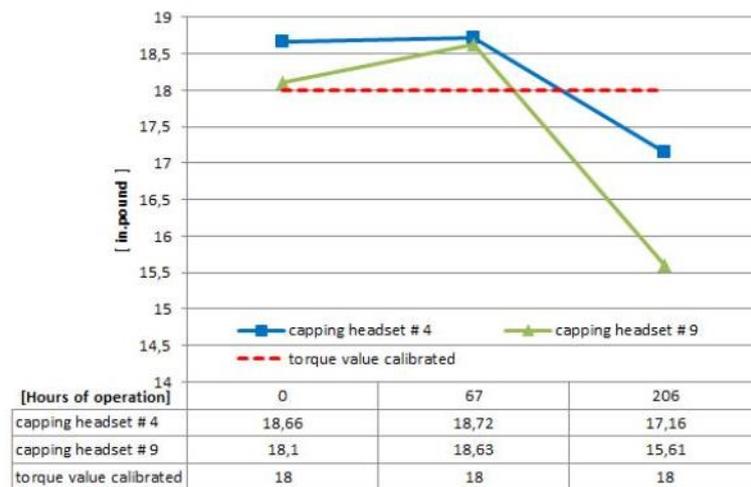


Figura 2.27: Calibración de los cabezales # 4 y # 9.

En la figura 2.27 se puede apreciar que en ambos cabezales, a las 67 horas de operación de la línea, existe un aumento en el valor del torque, mientras que a las 206 horas decrecen considerablemente.

A continuación se verificó si existe diferencia significativa en la calibración de cada cabezal entre el día de inicio y el día en que finalizó el estudio.

Cabezal # 4:

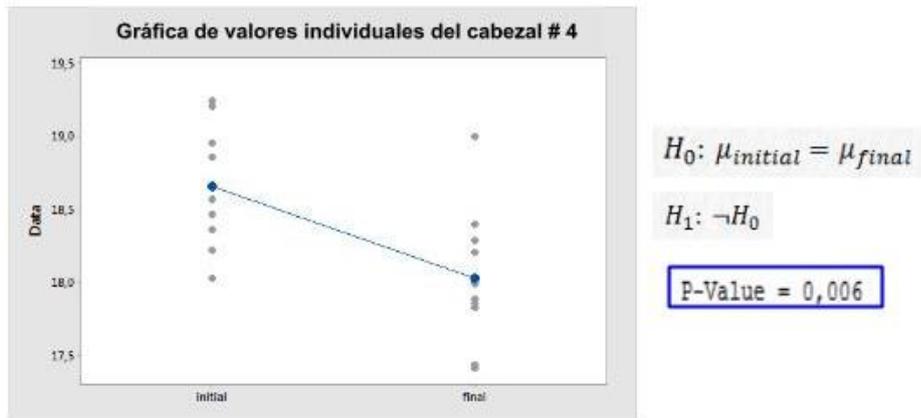


Figura 2.28: Diferencia significativa para el cabezal # 4.

En la figura 2.28: Considerando un valor $p = 0,006$ se rechaza H_0 , es decir existe diferencia significativa después de 206 horas de operación en el cabezal # 4.

Cabezal # 9:

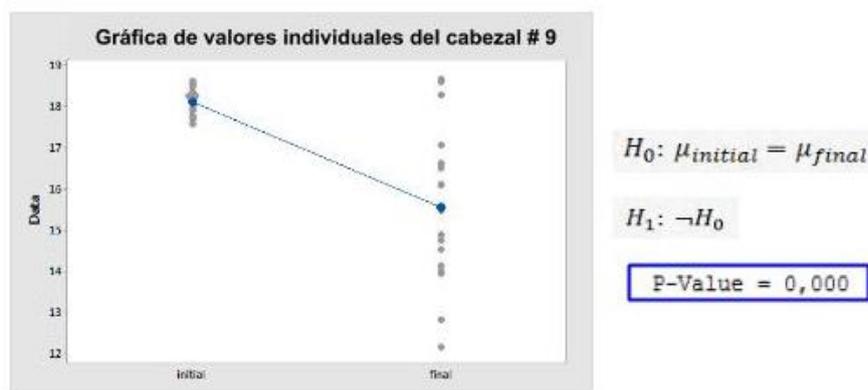


Figura 2.29: Diferencia significativa para el cabezal # 9.

En la figura 2.29: Considerando un valor $p = 0,000$ se rechaza H_0 , es decir existe diferencia significativa después de 206 horas de operación en el cabezal # 9.

Por este motivo se recomienda que los operarios calibren los cabezales cada **2 Semanas**.

2.4.1.3 Determinar nivel de operación

Conociendo el proceso productivo de Cola Negra 2250 ml, para determinar el nivel de operación del torque es clave analizar tres etapas del proceso:

- **Proceso de Encapsulado:** ¿Existe diferencia significativa entre el valor de X y Y?
- **Proceso de Empacado:** ¿Existe diferencia significativa después de que la botella pasa por la Termo?
- **Almacenamiento:** ¿Existe diferencia significativa cuando se almacena la botella por 5 días?

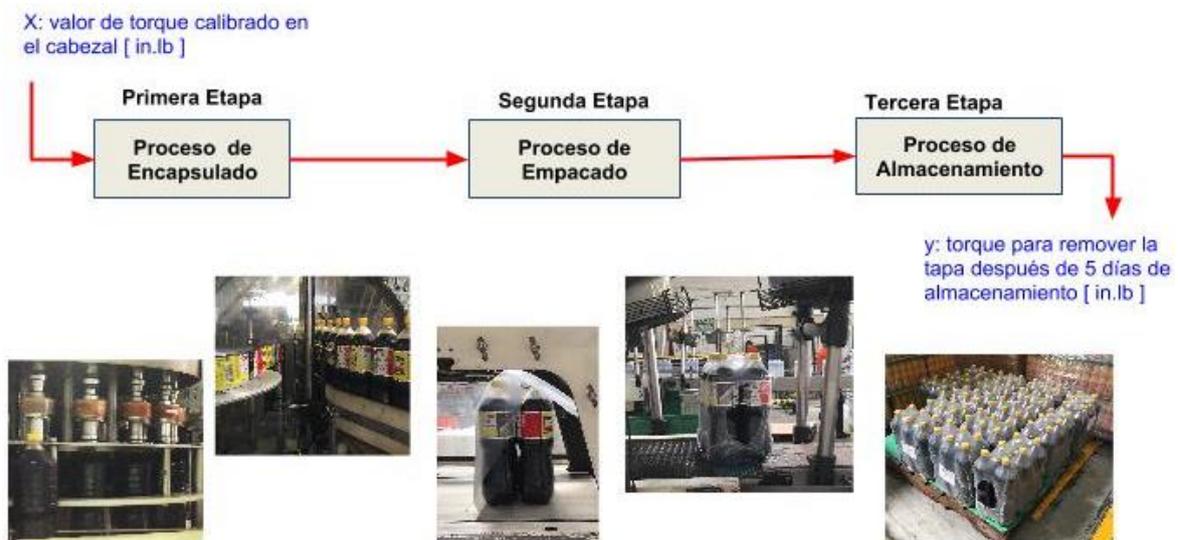


Figura 2.30: Proceso de Encapsulado - Empacado – Almacenamiento.

Para determinar el valor de ajuste de los cabezales, necesitamos realizar algunos diseños experimentales en las tres etapas del proceso que se mencionan en la figura 2.30.

Debido a que es importante conocer si existe variación de la variable de respuesta cuando pasa por las etapas de Encapsulado, donde el torque de ajuste puede diferir del torque de remoción de la tapa; Empacado, ya que al pasar por la Termo puede haber un cambio al pasar por la temperatura de 160°C y Almacenamiento, donde la botella permanece en la Bodega de Productos Terminados alrededor de 5 días en condiciones ambientales de temperatura y humedad.

2.4.1.3.1 Diseño Experimental General

A continuación se detalla los datos que se utilizarán en el diseño experimental para cada etapa del proceso: Encapsulado, Empacado y Almacenamiento.

La variable de respuesta que se analizó en las tres etapas es el torque para remover la tapa de la botella al finalizar cada fase.

En la figura 2.31 se muestra el diagrama para el Diseño Experimental que se usará en las tres etapas del proceso que se analizarán.

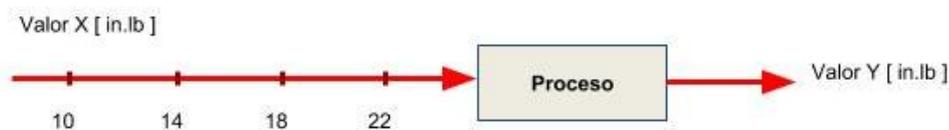


Figura 2.31: Diagrama del Diseño Experimental General.

Solo se considera un factor: valor de torque calibrado en los cabezales, ya que en la máquina encapsuladora solo se ajusta las placas magnéticas para obtener mayor o menor torque. Para este factor se establecieron cuatro niveles, explicados en la tabla 20, los cuales se obtuvieron en conversaciones con el personal de calidad, además de las reuniones en que participamos durante las visitas a diferentes áreas para conocer todo el proceso.

Tabla 20: Selección de Niveles.

Factor	Nivel	Motivo de selección de niveles
X: valor de torque calibrado en el cabezal o ajustado en la botella	10 [in.lb]	De acuerdo al test de presión que se realiza a las tapas 1881, desde este punto no existe fuga.
	14 [in.lb]	Este es el punto medio de los límite de especificación establecido por el Corporativo
	18 [in.lb]	Este es límite superior de especificación del torque establecido por el Corporativo
	22 [in.lb]	Los operadores ajustan los cabezales a valores arriba del límite superior de especificación establecido por el Corporativo

Para el diseño experimental se tuvo la colaboración del personal de la línea # 1 perteneciente a las tres áreas mencionadas.

2.4.1.3.1.1 Primera Etapa: Proceso de Encapsulado

Para esta primera etapa, se calibró un cabezal con el primer nivel escogido, posteriormente se seleccionó 4 botellas cada media hora y se analizó el torque de cada una. Este proceso se repitió para cada uno de los niveles. El detalle se muestra en la figura 2.32:

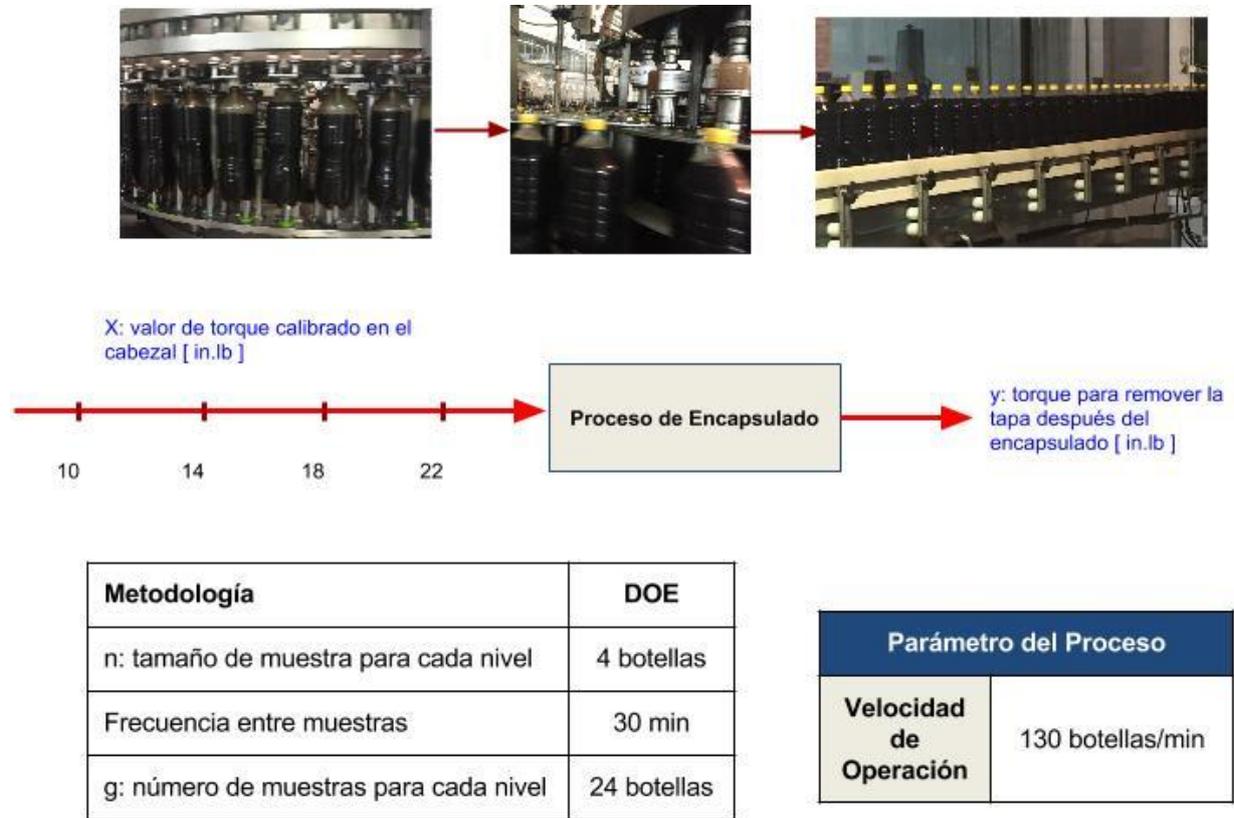


Figura 2.32: Diagrama del Diseño Experimental para el Proceso de Encapsulado.

El modelo propuesto es:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + E_{ij} \quad (2.1)$$

μ : media general.

T_i : efecto del valor de torque calibrado ; $i = 10, 14, 18, 22$.

E_{ij} : errores.

El modelo propuesto cumple con todos los supuestos necesarios para el diseño experimental.

En el Apéndice A se encuentra el detalle de la verificación.

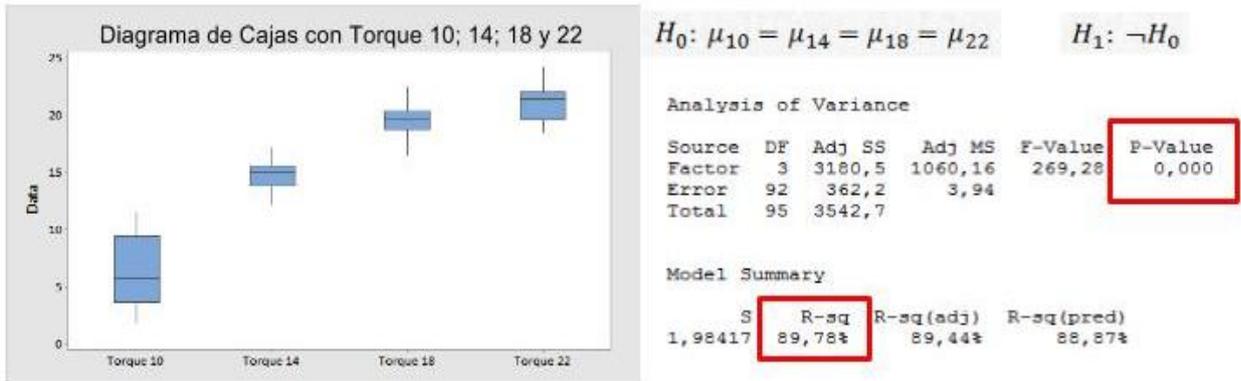


Figura 2.33: Diagrama de Cajas y ANOVA del Proceso de Encapsulado.

En la figura 2.33: El diagrama de cajas muestra diferencias entre el promedio de los cuatro niveles analizados. Adicionalmente considerando un valor $p = 0$ se concluye que hay suficiente evidencia estadística para rechazar H_0 , el valor del torque calibrado en los cabezales tiene influencia en el torque para remover la tapa. Además considerando un $R-sq = 89,78\%$ se puede observar que el modelo propuesto explica el 89,78% de la varianza del proceso.

2.4.1.3.1.2 Segunda Etapa: Proceso de Empacado

Para esta segunda etapa, se recibió en cada ocasión 6 botellas después del proceso de encapsulado, posteriormente las líderes del proyecto les aplicaron el torque del primer nivel escogido y se volvió a colocar las botellas en la banda transportadora para que continúen el proceso de empacado. Una vez formada la paca se analizó el torque. Este proceso se repitió para cada uno de los niveles. El detalle se muestra en la figura 2.34:

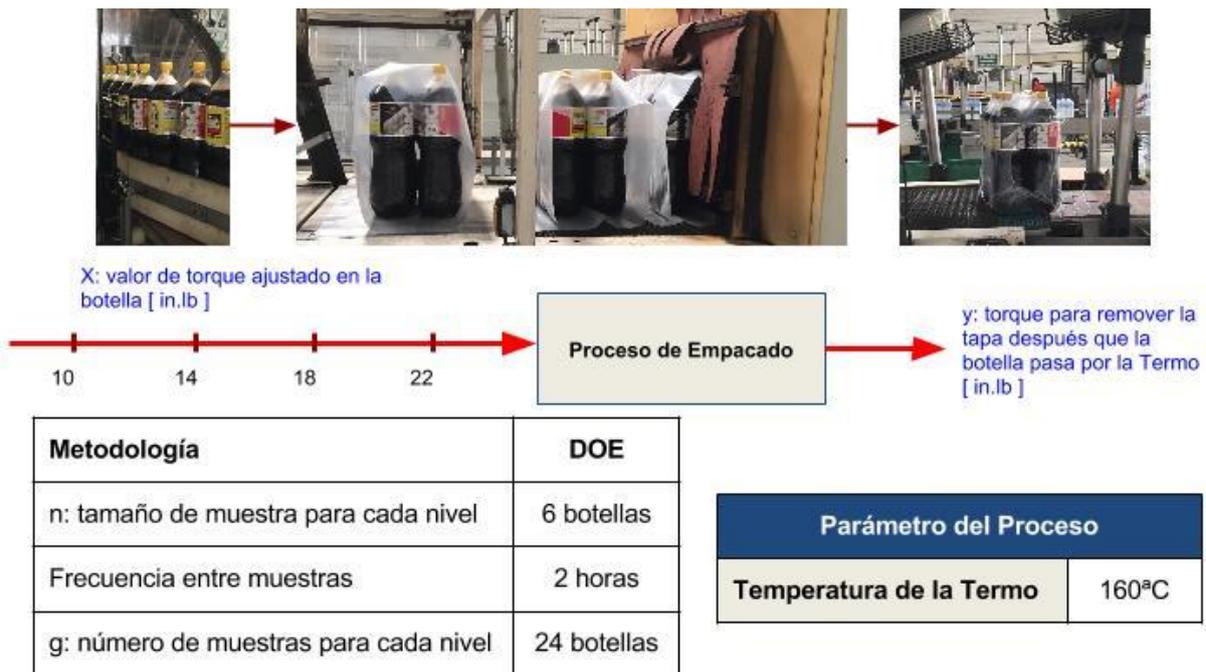


Figura 2.34: Diagrama del Diseño Experimental para el Proceso de Empacado.

El modelo propuesto es:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + E_{ij} \quad (2.2)$$

μ : media general.

T_i : efecto del valor de torque ajustado en la botella ; $i = 10,14,18,22$.

E_{ij} : errores.

El modelo propuesto cumple con todos los supuestos necesarios para el diseño experimental. En el Apéndice A se encuentra el detalle de la verificación.

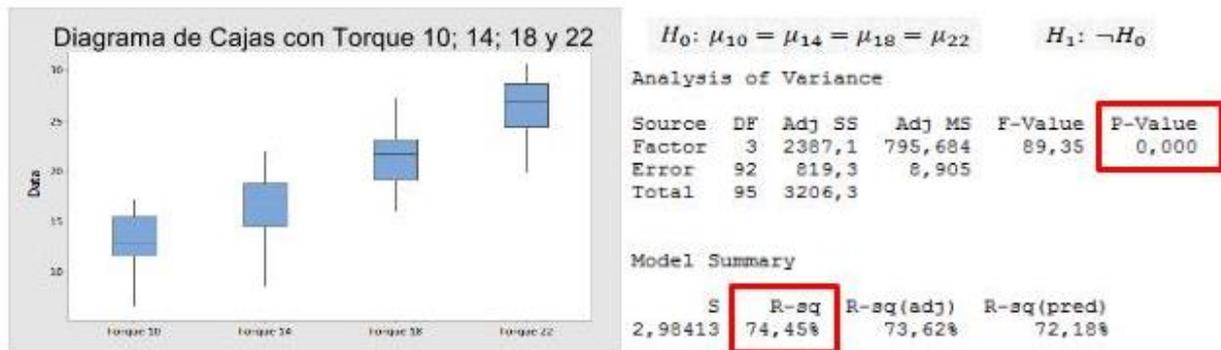


Figura 2.35: Diagrama de Cajas y ANOVA del Proceso de Empacado.

En la figura 2.35: El diagrama de cajas muestra diferencias entre el promedio de los cuatro niveles analizados. Adicionalmente considerando un valor $p = 0$ se concluye que hay suficiente evidencia estadística para rechazar H_0 , el valor de torque ajustado en la botella tiene influencia en el torque para remover la tapa después de que la botella pase por la Termo.

Además considerando un $R\text{-sq} = 74,45\%$ se puede observar que el modelo propuesto explica el 74,45% de la varianza del proceso.

2.4.1.3.1.3 Tercera Etapa: Almacenamiento

Para esta tercera etapa, se receiptó en cada ocasión 6 botellas después del proceso de encapsulado, posteriormente las líderes del proyecto les aplicaron el torque del primer nivel escogido y se volvió a colocar las botellas en la banda transportadora para que continúen el proceso de empaclado. Una vez formada la paca se la colocó en un pallet dentro de la bodega de producto terminado. Este proceso se repitió para cada uno de los niveles. Después de 5 días de almacenamiento (índice de rotación máximo del producto), se analizó el torque de todas las pacas. El detalle se muestra en la figura 2.36:

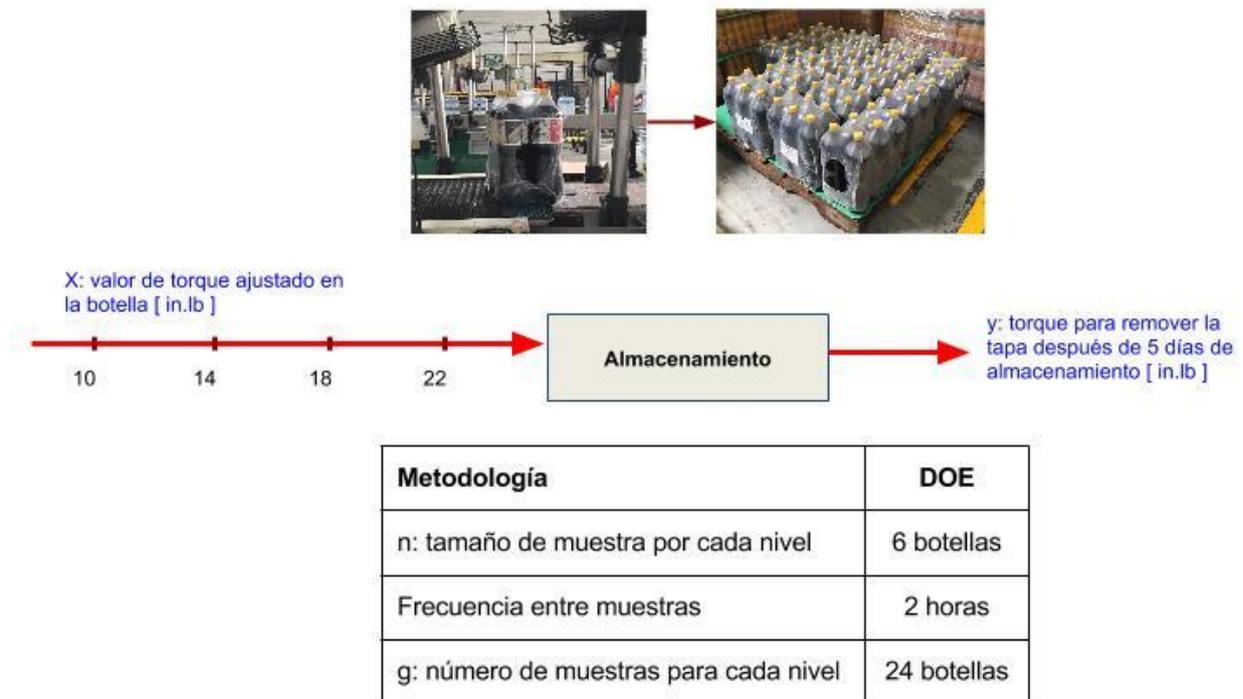


Figura 2.36: Diagrama del Diseño Experimental para Almacenamiento.

El modelo propuesto es:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + E_{ij} \quad (2.3)$$

μ : media general.

T_i : efecto del valor de torque ajustado en la botella ; $i = 10,14,18,22$.

E_{ij} : errores.

El modelo propuesto cumple con todos los supuestos necesarios para el diseño experimental.

En el Apéndice A se encuentra el detalle de la verificación.

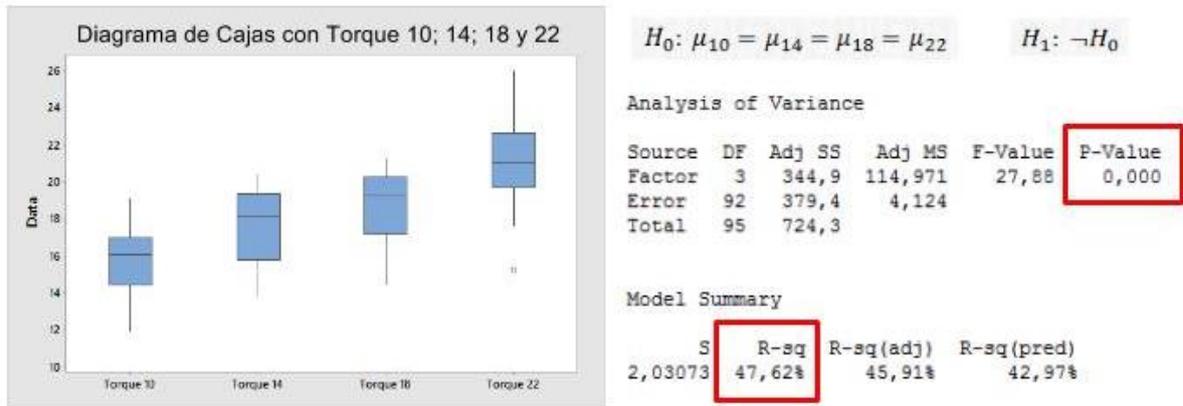


Figura 2.37: Diagrama de Cajas y ANOVA del Almacenamiento.

En la figura 2.37: El diagrama de cajas muestra diferencias entre el promedio de los cuatro niveles analizados. Adicionalmente considerando un valor $p = 0$ se concluye que hay suficiente evidencia estadística para rechazar H_0 , el valor de torque ajustado en la botella tiene influencia en el torque para remover la tapa después de 5 días de almacenamiento. Además considerando un $R-sq = 47,62\%$ se puede observar que el modelo propuesto explica el 47,62% de la varianza del proceso.

En la figura 2.38 se observa que dicho comportamiento se puede explicar dado que existen dos factores: temperatura y humedad, los mismos que no son controlados en Bodega, siendo estos factores influyentes en el estudio, lo cual se ve reflejado en el $R-sq = 47,62\%$. La figura 2.37 muestra el comportamiento de dichos factores entre el 04/Agosto/2016 y el 10/Agosto/2016.

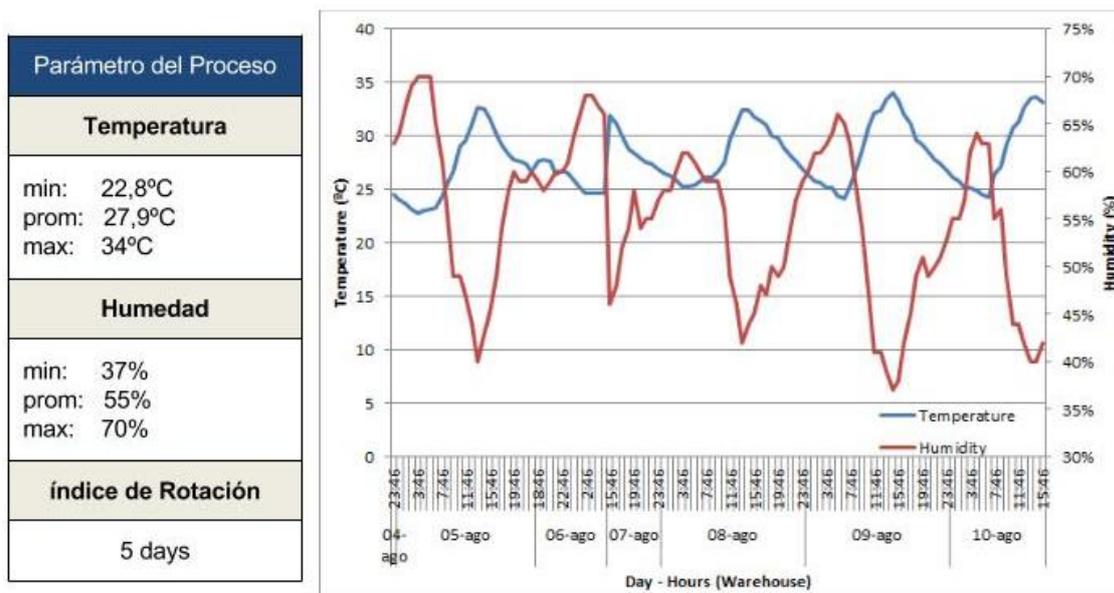


Figura 2.38: Temperatura y Humedad de la bodega.

Esta gráfica fue obtenida del registro que mantiene el departamento de calidad, a través de sensores de temperatura y humedad localizados en la bodega.

2.4.1.3.2 Análisis de las 3 etapas

Se analizaron los resultados obtenidos en las 3 etapas para cada uno de los diferentes niveles establecidos, como se muestra en la figura 2.39:

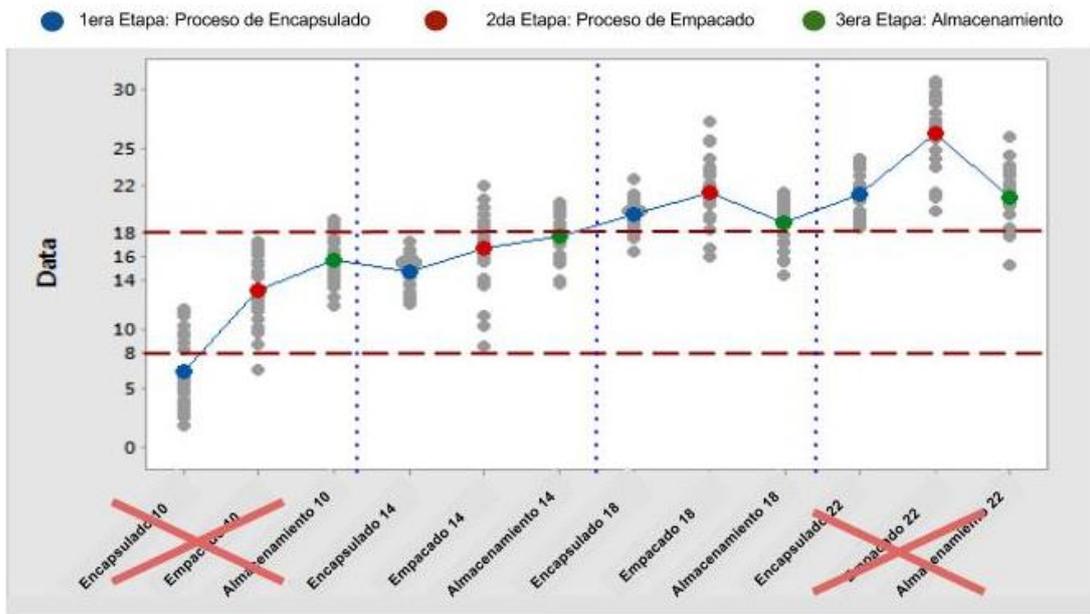


Figura 2.39: Análisis de las 3 etapas.

En la figura 2.39 no se considera el nivel 10 debido a que el proceso de encapsulado no cumple con los límites de especificación establecidos por el corporativo. Adicionalmente se rechaza el nivel 22 ya que en ninguna de las 3 etapas del proceso cumple con los límites de especificación.

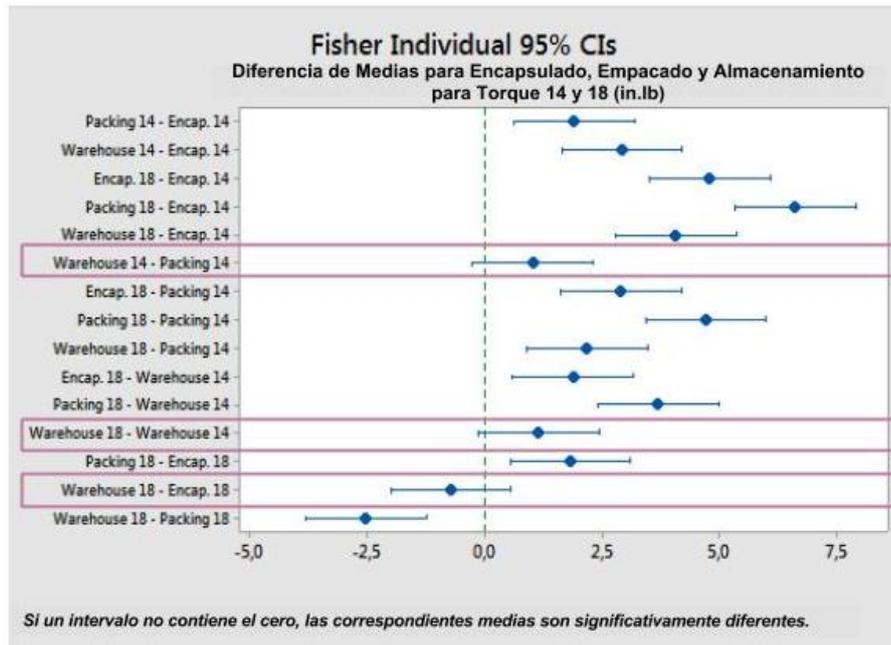


Figura 2.40: Diferencias significativas entre el nivel 14 y 18.

En la figura 2.40 a través de la prueba de Fisher podemos observar que existe diferencia significativa entre la etapa de encapsulado del nivel 14 y el nivel 18. Mientras que no existe diferencia significativa entre:

- Empacado 14 y Almacenamiento 14.
- Almacenamiento 14 y Almacenamiento 18.
- Encapsulado 18 y Almacenamiento 18.

2.4.1.3.3 Selección del nivel de operación para calibrar el cabezal

En la figura 2.41 se observa las 3 etapas que se analizaron en el estudio:



Figura 2.41: Diagrama del Proceso de Encapsulado - Empacado – Almacenamiento.

El estudio muestra que el nivel de operación para el torque que cumple con los límites de especificación y que también no existe diferencias significativas entre algunas etapas del proceso son el nivel 14 y el nivel 18.

Posterior a la reunión de retroalimentación con el Jefe de Calidad sobre los resultados obtenidos en el Diseño Experimental de las tres etapas, se escogió el nivel de operación: **16 [in.lb]** para calibrar los cabezales.

2.4.2 Resumen de Soluciones Implementadas

A continuación se muestra en la tabla 21, el resumen de las soluciones implementadas:

Tabla 21: Resumen de Soluciones Implementadas.

Soluciones	Estado
4.5.A Cambiar los rodamientos del roscador - <u>Solución a Corto Plazo.</u>	Implementado
4.7.A Cambiar los o-rings - <u>Solución a Corto Plazo.</u>	Implementado
4.7.B Diseño de la política de cambio o-ring. 4.7.B.1 Determinar la frecuencia de cambio de o-ring. 4.7.B.2 Determinar la frecuencia del control visual del estado del o-ring.	Implementado
5.3.A Diseño de la política de Calibración. 5.3.A.1 Determinar la frecuencia de ajuste de torque. 5.3.A.2 Determinar los valores de torque para calibrar el cabezal.	Implementado

Dentro de la fase de implementación se tuvo la oportunidad de participar del mantenimiento anual realizado en la encapsuladora de la línea # 1 desde el 24/Agosto/2016 al 27/Agosto/2016, siendo este un punto clave en la puesta a punto para que los cabezales tengan las mismas condiciones básicas.

2.4.3 Mantenimiento Anual

Una vez por año se realiza un mantenimiento programado en la encapsuladora, donde hay cambio de repuestos, limpieza y lubricación completa.

En el mes de Agosto se tuvo la oportunidad de estar presente en la realización del mismo.

Detalle del mantenimiento

El departamento de mantenimiento en conjunto con el operador de la línea # 1, retiraron completamente los cuerpos roscadores y los trasladaron al taller de mantenimiento, como se muestra en la figura 2.43:



Figura 2.43: Desmontaje y traslado de cuerpos roscadores.

A cada uno de los roscadores se les cambió los anillos de bronce, el resorte, o-rings, esferas y rodamiento axial, como se muestra en la figura 2.44. Además se verificó las partes previas, las mismas que se encontraron en buen estado a excepción del eje del cabezal # 13, el cual tuvo que ser reemplazado.



Figura 2.44: Repuestos cambiados.

En la figura 2.45 se observa como los trabajadores se encargaron de limpiar y lubricar cada pieza. El corporativo decidió cambiar la grasa alvania, utilizada anteriormente en todas las máquinas, por grasa de grado alimenticio, ya que al tratarse de productos de consumo alimenticio se quiere tener todas las precauciones en el tema de salubridad y calidad.



Figura 2.45: Limpieza y lubricación.

Una vez ensamblados todos los roscadores, como se muestra en la figura 2.46, el operador de la línea conjunto a las líderes del proyecto calibró cada uno de cabezales. Posteriormente, el departamento de mantenimiento procedió al montaje en la encapsuladora.

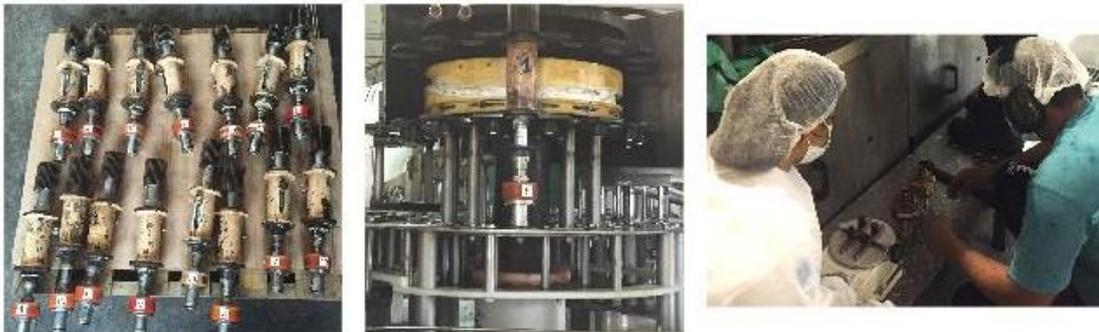


Figura 2.46: Calibración y Montaje de los roscadores.

CAPÍTULO 3

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Posterior a la implementación de soluciones se analizó el comportamiento de los cabezales bajo control estadístico (# 1-2-3-4-8-9-10-11-12-14-15) y los cabezales que al inicio del proyecto se encontraban fuera de control estadístico (# 5-6-7-13).

Las herramientas utilizadas para evaluar los resultados fueron:

- Cartas de Control.
- Análisis de Capacidad.

Con los datos recolectados después de la implementación de soluciones se procedió a construir las Cartas de Control para la variable torque en los 15 cabezales de la encapsuladora, usando el software Minitab 17.

Posteriormente se encontró la distribución de la data recolectada para analizar la capacidad del proceso de cada cabezal.

Para evidenciar las mejoras, se comparó el estado inicial de los cabezales con el estado final una vez implementadas las soluciones, tanto para los cabezales que estaban inicialmente fuera de control estadístico como para los que estaban bajo control estadístico.

Adicionalmente se obtuvo el porcentaje de reducción de producto no conforme con el torque definido por el corporativo [8 - 18] in.lb y el ahorro obtenido con dicha reducción.

A continuación se muestra un ejemplo del análisis comparativo de cada estado inicial. En el Apéndice A se encuentran los cabezales restantes.

3.1 Análisis Comparativo de las mejoras

3.1.1 Cabezal inicialmente bajo control estadístico

En la figura 3.1 se muestra un ejemplo de Cabezal cuyo proceso está bajo control estadístico:

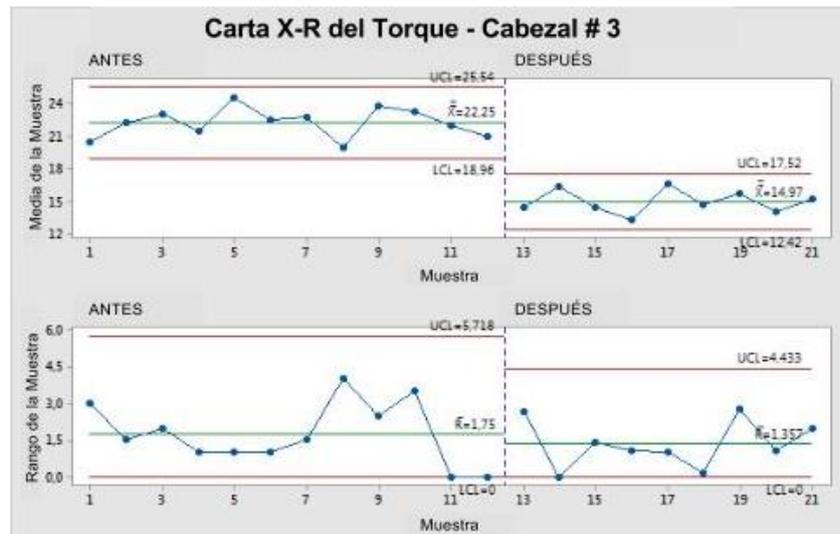


Figura 3.1: Carta de Control X-R Comparativo del Cabezal # 3.

La carta de control X-R del cabezal # 3 de la figura 3.1 muestra que el proceso se ha mantenido bajo control estadístico con la nueva política de calibración, además se observa una mejora en el cumplimiento de los límites de las cartas.

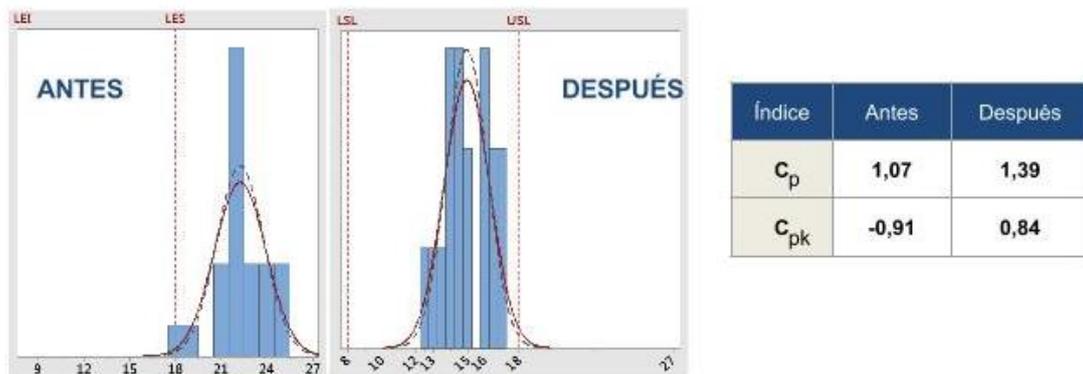


Figura 3.2: Análisis Comparativo de Capacidad de Proceso del Cabezal # 3.

Al comparar los índices de capacidad en la figura 3.2 se observa una mejora notable entre el antes y el después de la implementación de soluciones. Donde el C_p mejoró del 1,07 al 1,39 y el C_{pk} del -0,91 al 0.84. Aunque el proceso del Cabezal # 3 aún no logra ser capaz, ambos índices son muy cercanos a 1, lo cual es una gran mejoría para cumplir con los límites de especificación [8 - 18] in.lb estipulados por el corporativo.

3.1.2 Cabezal inicialmente fuera de control estadístico

En la figura 3.3 se muestra un ejemplo de Cabezal cuyo proceso se encontraba fuera de control estadístico:

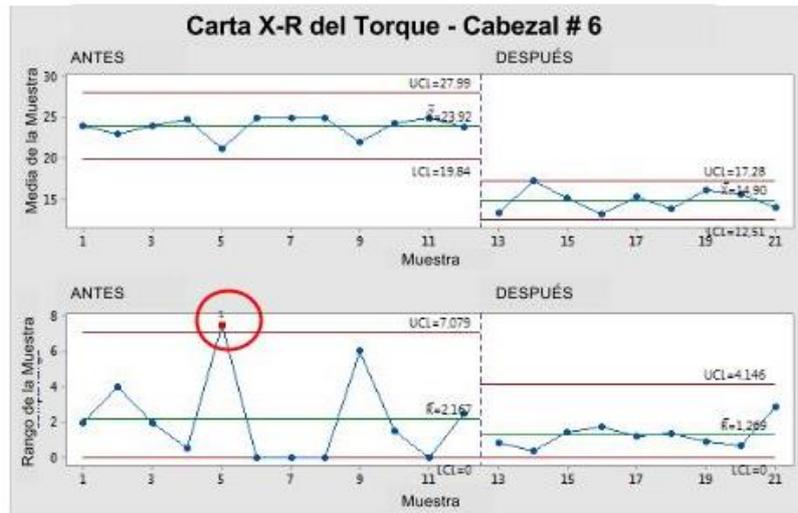


Figura 3.3: Carta de Control X-R Comparativo del Cabezal # 6.

La carta de control X-R del cabezal # 6 de la figura 3.3 muestra que el proceso pasó a estar bajo control estadístico con la nueva política de calibración, y se observa una mejora en los límites de control.

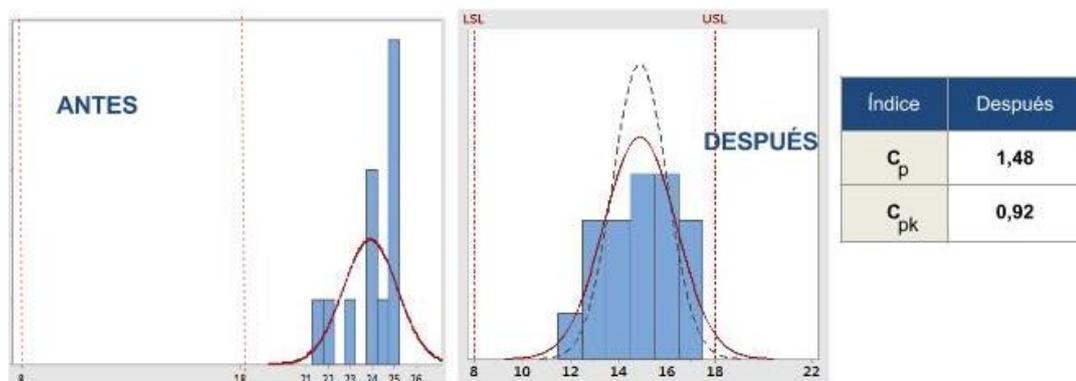


Figura 3.4: Análisis Comparativo de Capacidad de Proceso del Cabezal # 6.

Al comparar los índices de capacidad en la figura 3.4 se observa una mejora notable entre el antes y el después de la implementación de soluciones. Anteriormente el comportamiento del cabezal no poseía una distribución conocida, lo cual impedía determinar la capacidad del proceso.

Con las soluciones implementadas se puede observar que el proceso posee una distribución normal con $C_p = 1,48$ y $C_{pk} = 0,92$. Aunque el proceso del Cabezal # 6 aún no logra ser capaz, ambos índices son muy cercanos a 1, lo cual es una gran mejoría para cumplir con los límites de especificación [8 - 18] in.lb estipulados por el corporativo.

3.1.3 Resumen de Mejoras

A continuación se muestra en la tabla 22, el resumen con el estado previo y actual de todos los cabezales, como también sus índices de capacidad:

Tabla 22: Resumen de Mejoras.

# Cabezal	Estado Inicial	Estado Final	Estado de Índices de Capacidad			
			Antes C_p	Después C_p	Antes C_{pk}	Después C_{pk}
1	Bajo Control Estadístico.	Bajo Control Estadístico.	0,73	0,83	-1,56	0,43
2	Bajo Control Estadístico.	Bajo Control Estadístico.	0,55	0,54	-0,49	0,31
3	Bajo Control Estadístico.	Bajo Control Estadístico.	1,07	1,39	-0,91	0,84
4	Bajo Control Estadístico.	Bajo Control Estadístico.	1,33	0,55	-1,23	0,50
5	Fuera de Control Estadístico.	Bajo Control Estadístico.	0,80	0,70	-0,21	0,27
6	Fuera de Control Estadístico.	Bajo Control Estadístico.	-	1,48	-	0,92
7	Fuera de Control Estadístico.	Bajo Control Estadístico.	1,29	0,86	-0,32	0,31
8	Bajo Control Estadístico.	Bajo Control Estadístico.	1,70	1,06	-2,18	0,80
9	Bajo Control Estadístico.	Bajo Control Estadístico.	0,59	0,65	-0,37	0,31
10	Bajo Control Estadístico.	Bajo Control Estadístico.	0,54	0,61	-0,23	0,11
11	Bajo Control Estadístico.	Bajo Control Estadístico.	0,65	0,57	-0,32	0,42
12	Bajo Control Estadístico.	Bajo Control Estadístico.	0,73	1,42	-1,56	0,49
13	Fuera de Control Estadístico.	Bajo Control Estadístico.	-	0,75	-	0,17
14	Bajo Control Estadístico.	Bajo Control Estadístico.	1,33	0,88	0,14	0,14
15	Bajo Control Estadístico.	Bajo Control Estadístico.	0,61	1,2	-0,29	0,67

3.1.3.1 Cartas de Control

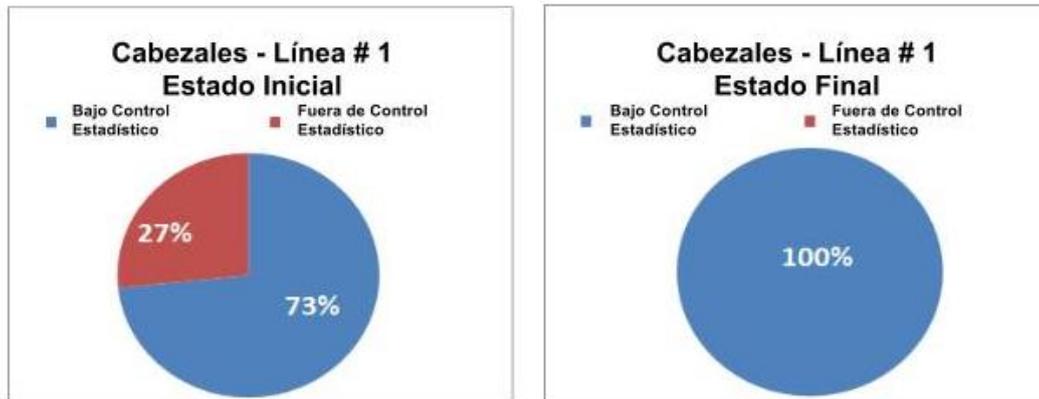


Figura 3.5: Porcentaje de Cabezales Bajo y Fuera de Control Estadístico.

En la figura 3.5 se puede observar que al inicio del proyecto el 27% de los cabezales se encontraban fuera de control estadístico y después de la implementación de las mejoras todos los cabezales se encuentran bajo control estadístico.

3.1.3.2 Análisis de Capacidad

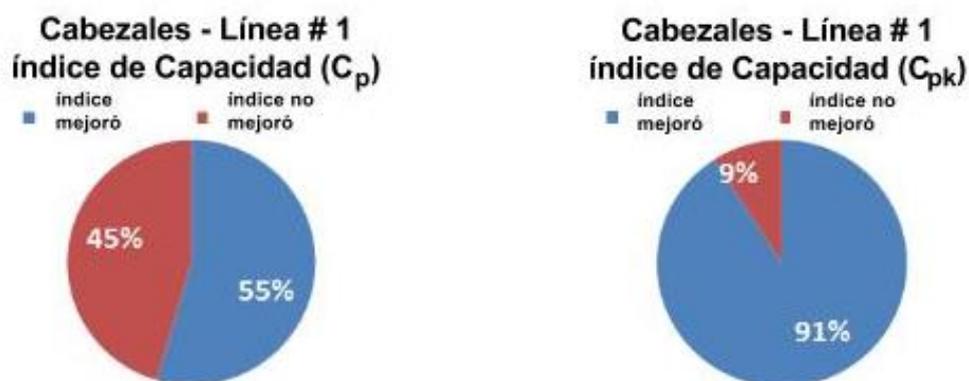


Figura 3.6: Porcentaje de Mejora en la Capacidad del Proceso.

Al comparar los índices de capacidad de los cabezales cuyos procesos se encontraban inicialmente bajo control estadístico, se observa en la figura 3.6 que después de las mejoras, en el índice de C_p el 55% mejoró considerablemente, mientras que en el caso del índice de C_{pk} el 91% presentó una gran mejoría.

3.2 Análisis Comparativo de Torque no conforme

Con la data recolectada previamente, se analizó la cantidad de torque no conforme a los límites de especificación establecidos por el corporativo y se comparó con el porcentaje inicial de torque no conforme encontrado en el mes de Mayo del 2016.

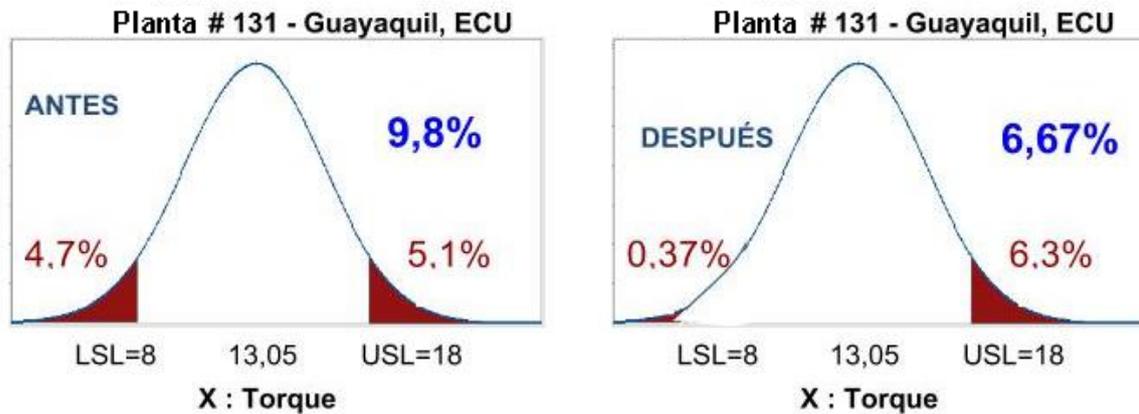


Figura 3.7: Análisis de Torque no Conforme.

En la figura 3.7 del Análisis de Torque no Conforme se observó una reducción significativa de torque no conforme en un 3,13% lo cual, al considerar los costos de producción, representa un ahorro potencial anual de \$14 705,71.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

1. La importancia de conocer el proceso, el trabajo en equipo y el tiempo invertido dentro de la empresa fue clave para cumplir el objetivo del proyecto:

Diseñar un sistema de control estadístico para el proceso de encapsulado de Cola Negra 2250 ml con el fin de lograr identificar y eliminar causas asignables.

2. Los resultados obtenidos después de la implementación fueron:
 - Procesos bajo control estadístico de los 15 cabezales pertenecientes a la encapsuladora de la línea # 1.
 - Mejoramiento de la capacidad del proceso para cumplir con las especificaciones y el target:
 - El 93 % de los cabezales mejoraron sus índices de capacidad del proceso.
 - El 53 % de los cabezales mejoraron el índice C_p (capacidad del proceso para cumplir con las especificaciones).
 - El 93% de los cabezales mejoraron el índice C_{pk} (capacidad del proceso para producir productos conformes).

Recomendaciones

1. Cumplir las Políticas de O-ring y Calibración determinadas en el proyecto.
2. Cumplir la Política de verificación de torque en la botella determinado por el departamento de Calidad.
3. Realizar una Investigación de Mercado sobre el rango de fuerza que puede aplicar sin dificultad una persona (hombre y mujer) para remover la tapa de la botella.
4. Determinar el torque que la botella necesita para no permitir fuga de CO_2 .
5. Mantener el stock necesario de o-ring según el requerimiento de la política de cambio de o-ring.

BIBLIOGRAFÍA

[1] A. Mitra, Fundamentals of Quality Control and Improvement. 3era ed. Alabama, USA: John Wiley & Sons, 2008, pp 265.

[2] A. Mitra, Fundamentals of Quality Control and Improvement. 3era ed. Alabama, USA: John Wiley & Sons, 2008, pp 268.

[3] A. Mitra, Fundamentals of Quality Control and Improvement. 3era ed. Alabama, USA: John Wiley & Sons, 2008, pp 267.

[4] (2016) Universidad Abierta de Cataluña. Consultado: junio 2016. [En línea]. Disponible: http://cv.uoc.edu/UOC/a/moduls/90/90_156/programa/main/viu/tecniques/viu30.htm

[5] (2016) Definición abc. Consultado: junio 2016. [En línea]. Disponible: <http://www.definicionabc.com/comunicacion/luvia-de-ideas.php>

[6] J. Ramirez. (2016) Monografía. Consultado: junio 2016. [En línea]. Disponible: <http://www.monografias.com/trabajos42/diagrama-causa-efecto/diagrama-causa-efecto.shtml>

[7] (2016) Gestipolis. Consultado: junio 2016. [En línea]. Disponible: <http://www.gestipolis.com/diagramas-causa-efecto-pareto-y-de-flujo-elementos-clave/>

[8] (2016) Aiteco Posts. Consultado: junio 2016. [En línea]. Disponible: <http://www.aiteco.com/matriz-de-priorizacion/>

[9] (2016) Asociación Española para la Calidad. Consultado: junio 2016. [En línea]. Disponible: <http://www.aec.es/web/guest/centro-conocimiento/5-porque>

[10] (2016) PDCA. Consultado: junio 2016. [En línea]. Disponible: <http://www.pdcahome.com/los-5-porques-2/>

[11] P. Nunes. (2015) Knoow. Consultado: junio 2016. [En línea]. Disponible: <http://knoow.net/es/cieeconcom/gestion/modelo-dos-5w-2h-ou-5w2h/>

Análisis de los Cabezales del Proceso de Encapsulado Línea # 1

Cabezales Fuera de Control Estadístico

- Análisis del Cabezal # 5 de la Encapsuladora - Línea 1.

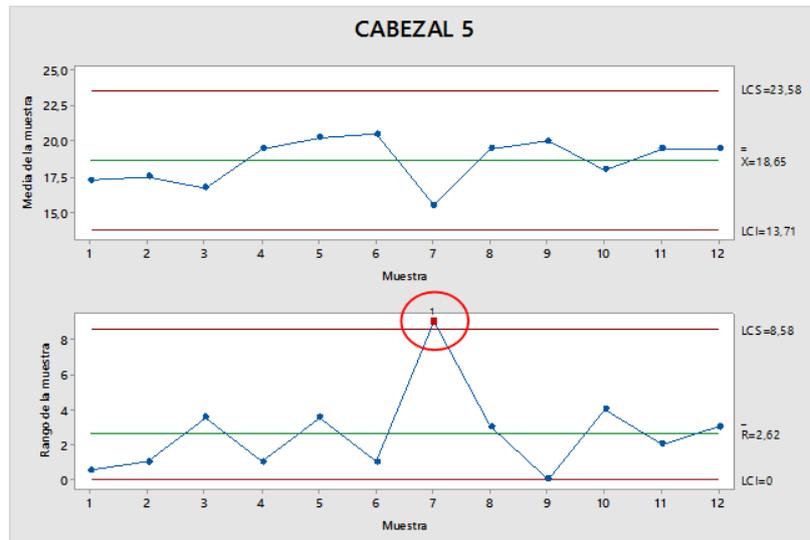


Figura A.2: Carta de Control X-R del Cabezal # 5.

En la figura A.2: el proceso del Cabezal 5 se encuentra Fuera de Control Estadístico ya que la muestra 7 está sobre el límite de control superior en la gráfica para el Rango de la variable Torque.

Aunque el Cabezal 5 no tiene un proceso bajo control estadístico para la variable torque, igualmente se analizará el comportamiento de dicho cabezal con respecto a su capacidad para cumplir con los límites de especificación de torque.

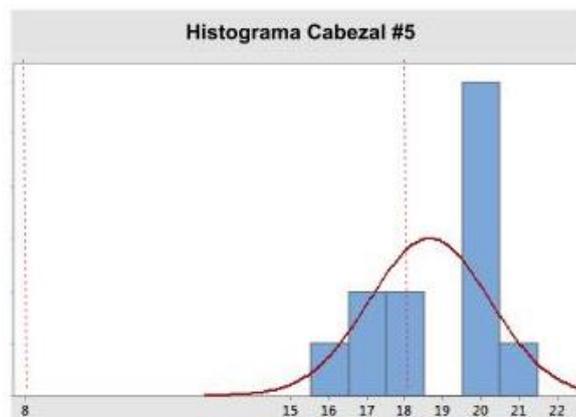


Figura A.3: Histograma del Cabezal # 5.

Se puede observar en la Figura A.3 que la data obtenida se encuentra parcialmente sobre el Límite Superior de Especificación definido por el corporativo.

- Análisis del Cabezal # 7 de la Encapsuladora - Línea 1.

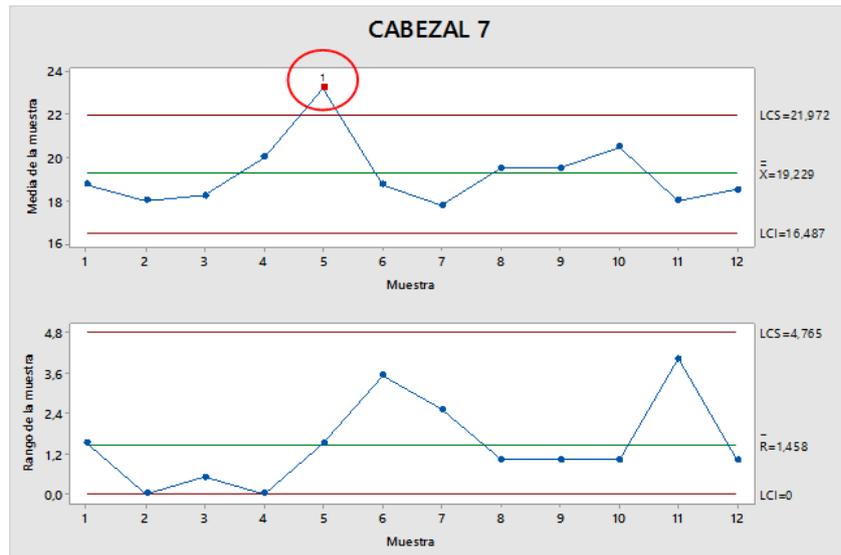


Figura A.4: Carta de Control X-R del Cabezal # 7.

En la figura A.4: el proceso del Cabezal 7 se encuentra Fuera de Control Estadístico ya que la muestra 5 está sobre el límite de control superior en la gráfica para la Media de la variable Torque.

Aunque el Cabezal 7 no tiene un proceso bajo control estadístico para la variable torque, igualmente se analizará el comportamiento de dicho cabezal con respecto a su capacidad para cumplir con los límites de especificación de torque.

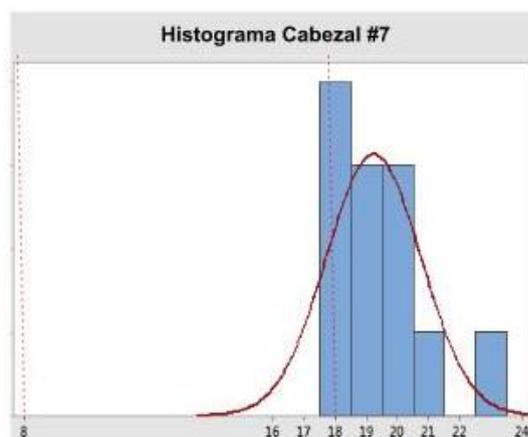


Figura A.5: Histograma del Cabezal # 7.

Se puede observar en la Figura A.5 que la data obtenida se encuentra mayormente sobre el Límite Superior de Especificación definido por el corporativo.

- Análisis del Cabezal # 13 de la Encapsuladora - Línea 1.

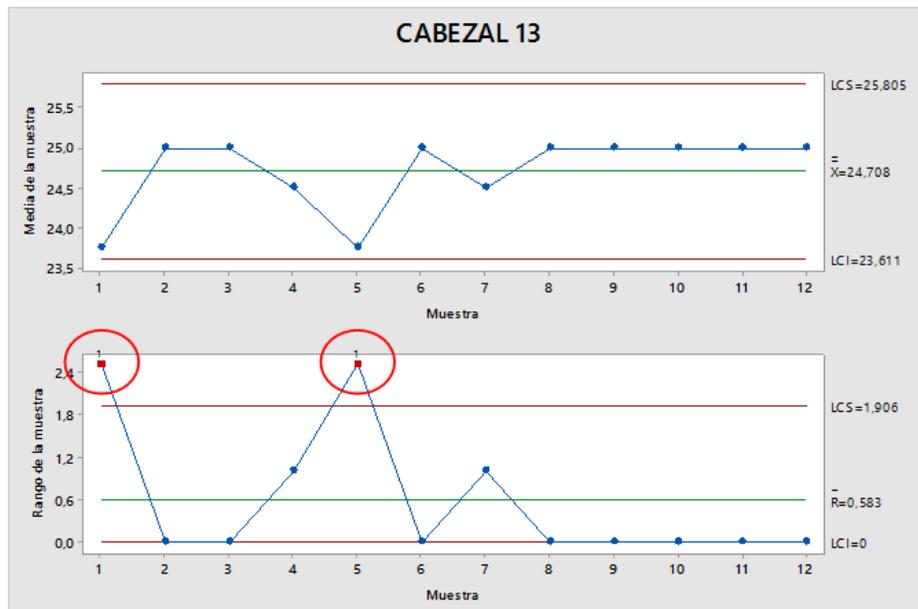


Figura A.6: Carta de Control X-R del Cabezal # 13.

En la figura A.6 se observa que el proceso del Cabezal 13 se encuentra Fuera de Control Estadístico ya que las muestras 1 y 5 están sobre el límite de control superior en la gráfica para el Rango de la variable Torque.

Aunque el Cabezal 13 no tiene un proceso bajo control estadístico no tiene un proceso bajo control estadístico para la variable torque, igualmente se analizará el comportamiento de dicho cabezal con respecto a su capacidad para cumplir con los límites de especificación de torque.

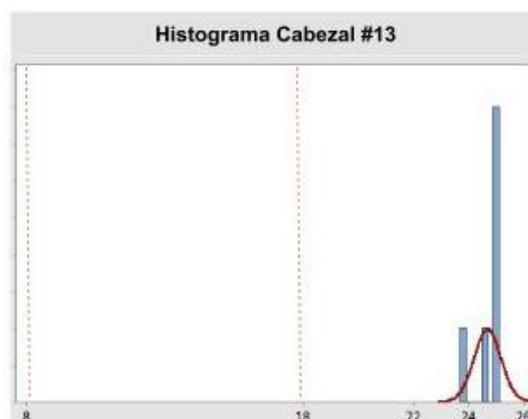


Figura A.7: Histograma del Cabezal # 13.

Se puede observar en la Figura A.7 que la data obtenida se encuentra completamente sobre el Límite Superior de Especificación definido por el corporativo.

Cabezales Bajo Control Estadístico

- Análisis del Cabezal # 2 de la Encapsuladora - Línea 1.

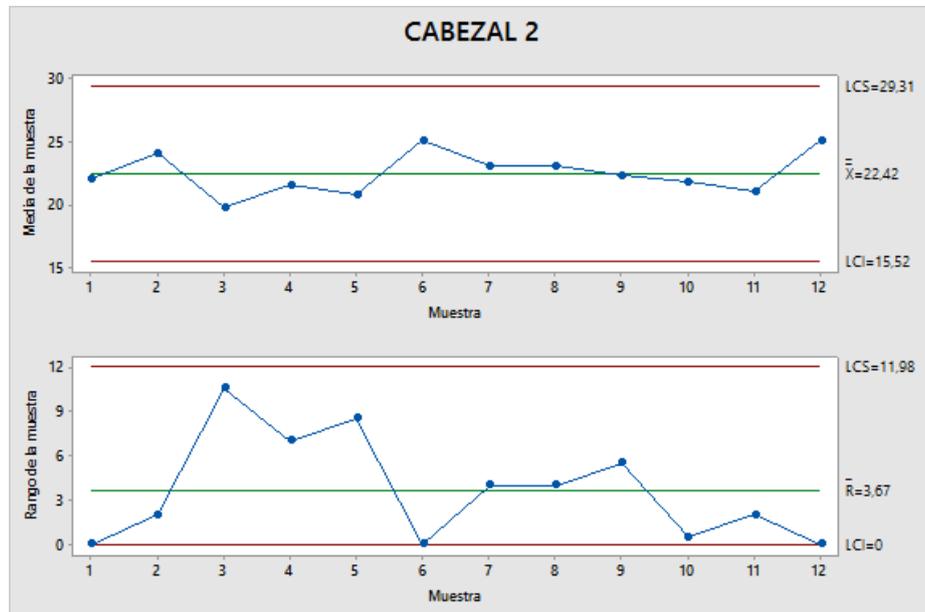


Figura A.8: Carta de Control X-R del Cabezal # 2.

En la figura A.8 se observa que el proceso del Cabezal 2 se encuentra Bajo Control Estadístico ya que todas las muestras están dentro de los límites de control.

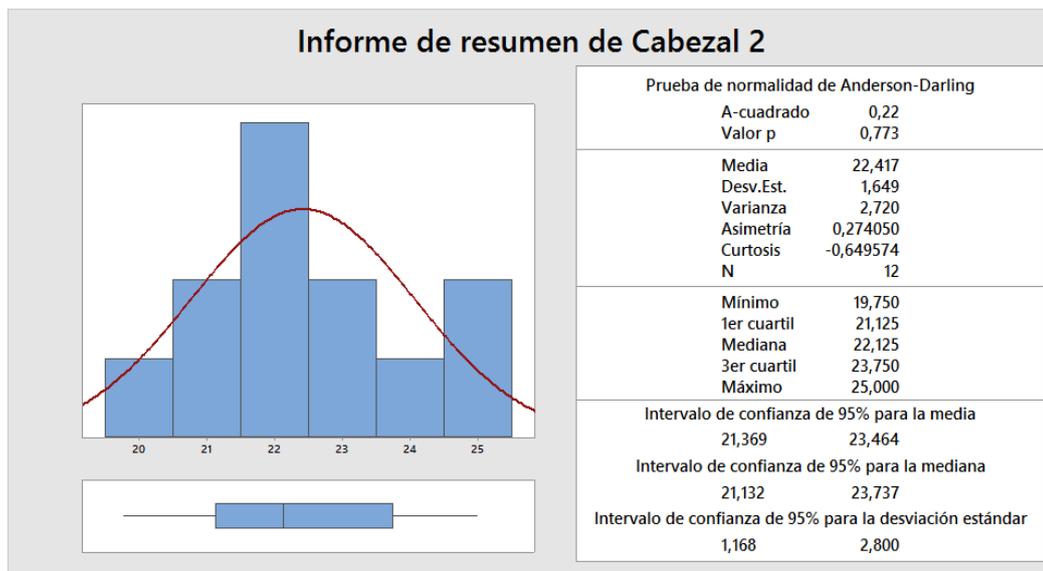


Figura A.9: Resumen Gráfico del Cabezal # 2.

En la figura A.9, con un valor $p = 0,773$ se determina que el proceso del Cabezal 2 tiene Distribución Normal.

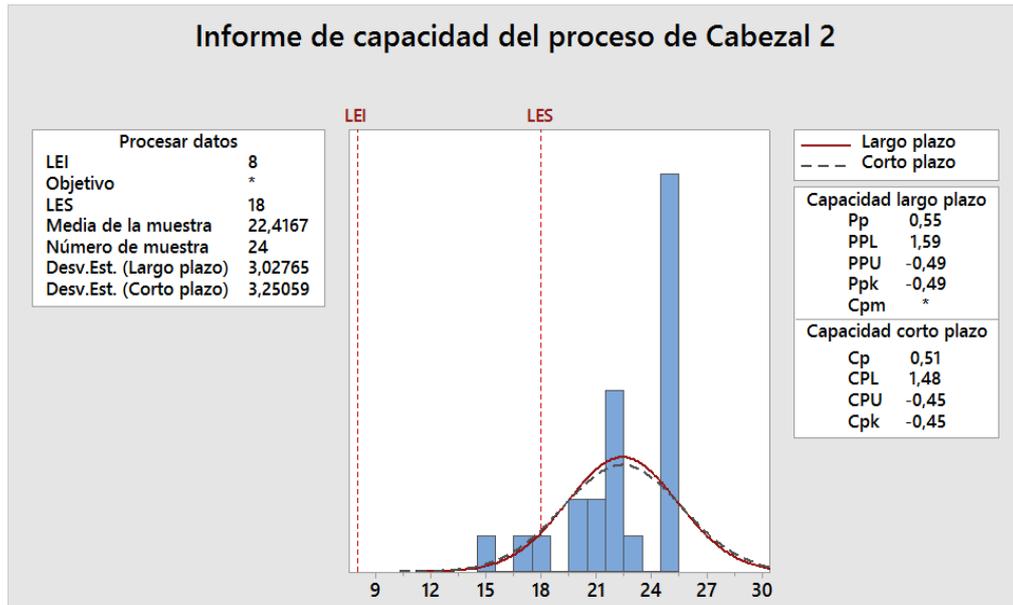


Figura A.10: Resumen del Análisis de Capacidad del Cabezal # 2.

En la figura A.10, con $C_p = 0,51$ y $C_{pk} = -0,45$ se observa que el proceso del Cabezal 2 no es capaz de cumplir con la amplitud y el target.

- Análisis del Cabezal # 3 de la Encapsuladora - Línea 1.

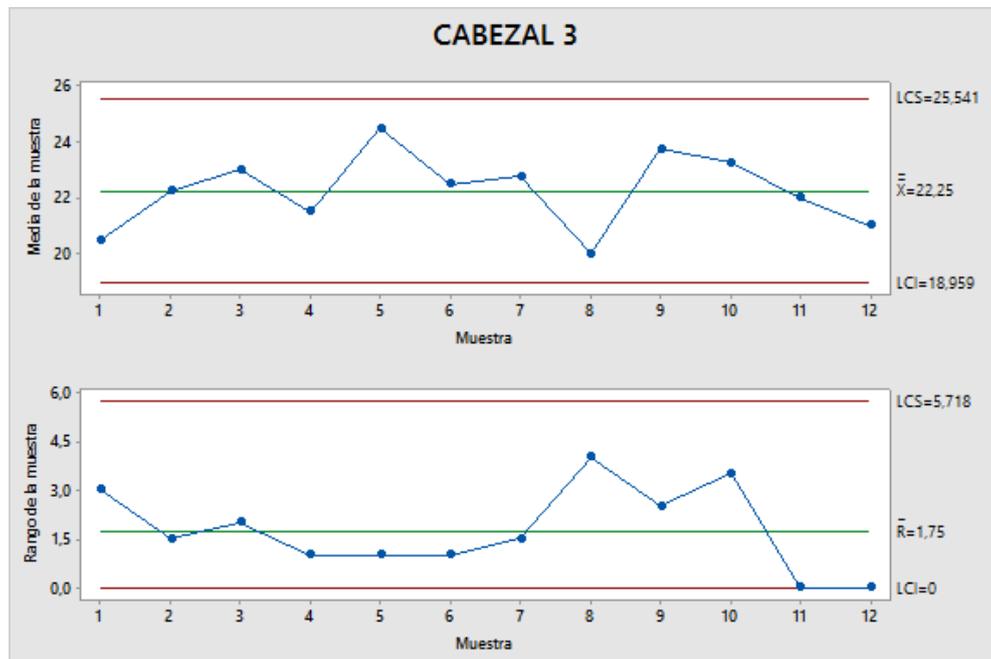


Figura A.11: Carta de Control X-R del Cabezal # 3.

En la figura A.11, el proceso del Cabezal 3 se encuentra Bajo Control Estadístico ya que todas las muestras están dentro de los límites de control.

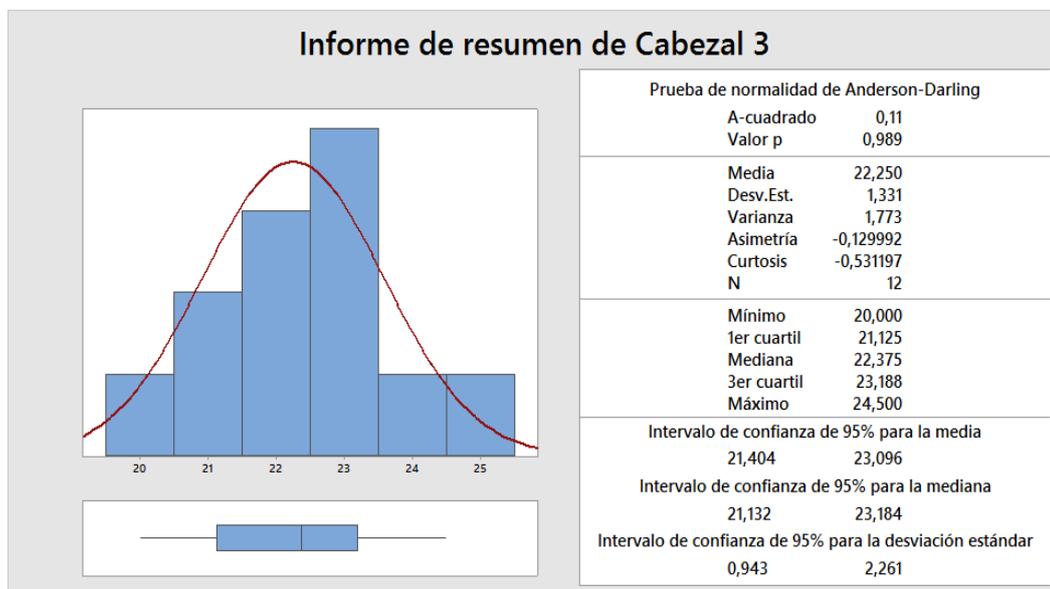


Figura A.12: Resumen Gráfico del Cabezal # 3.

En la figura A.12, con un valor $p = 0,989$ se determina que el proceso del Cabezal 3 tiene Distribución Normal.

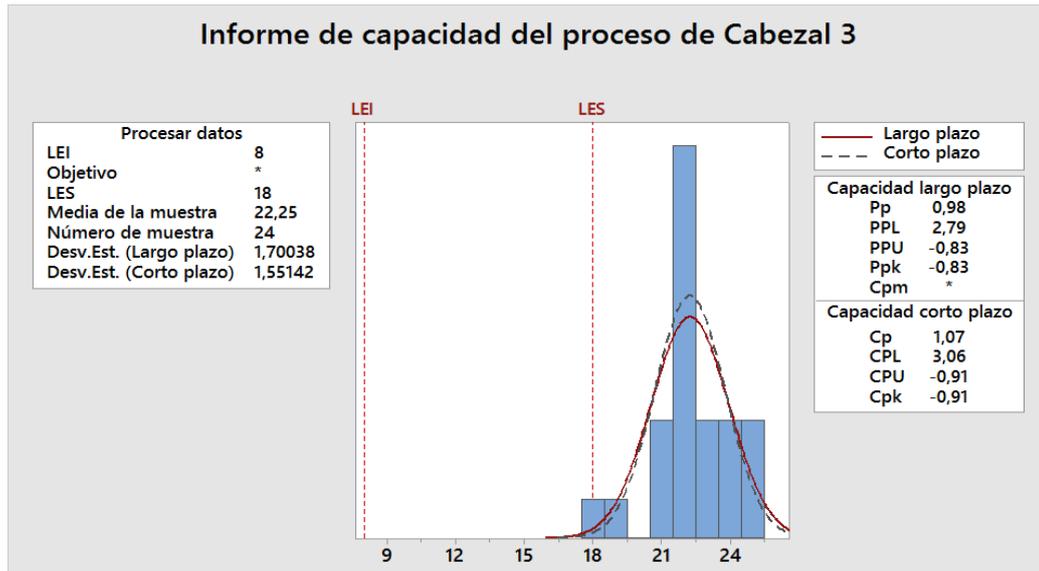


Figura A.13: Resumen del Análisis de Capacidad del Cabezal # 3.

En la figura A.13, con $C_p = 1,07$ y $C_{pk} = -0,91$ se observa que el proceso del Cabezal 3 no es capaz de cumplir con la amplitud y el target.

- Análisis del Cabezal # 4 de la Encapsuladora - Línea 1.

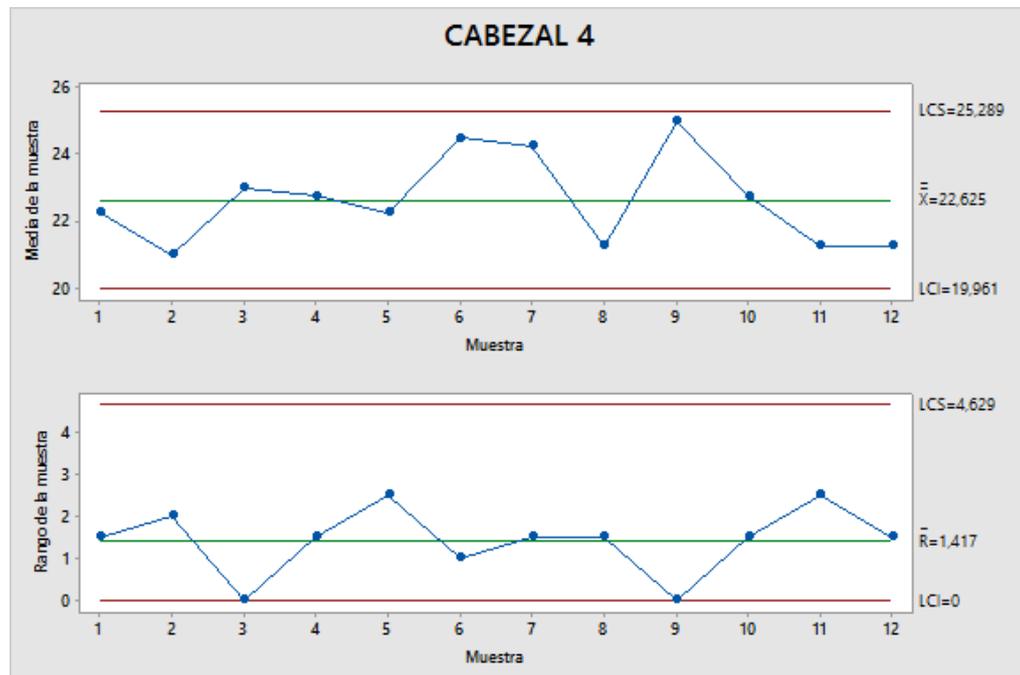


Figura A.14: Carta de Control X-R del Cabezal # 4.

En la figura A.14, el proceso del Cabezal 4 se encuentra Bajo Control Estadístico ya que todas las muestras están dentro de los límites de control.

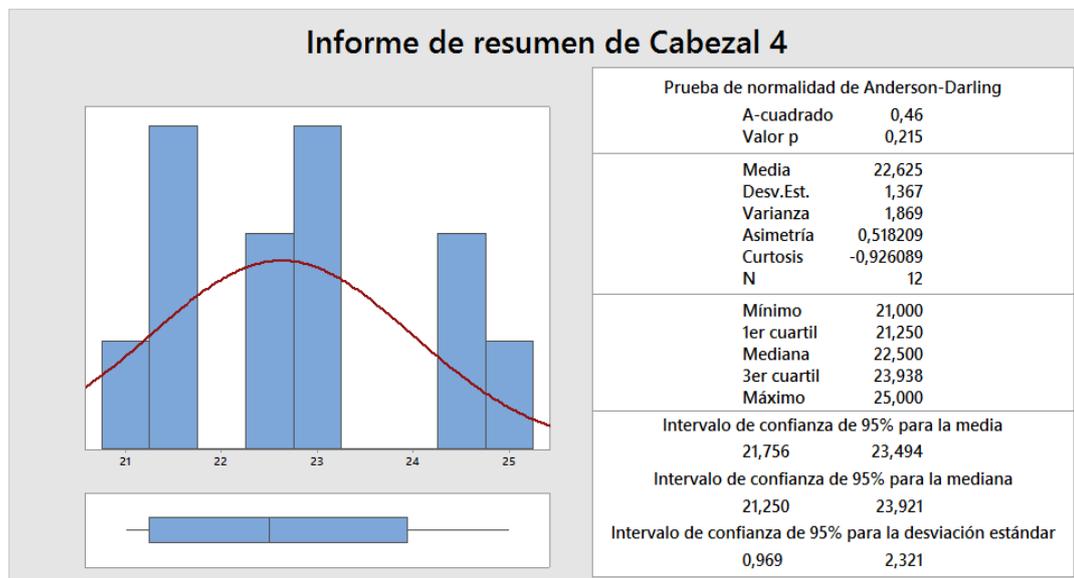


Figura A.15: Resumen Gráfico del Cabezal # 4.

En la figura A.15, con $p = 0,215$ se determina que el proceso del Cabezal 4 tiene Distribución Normal.

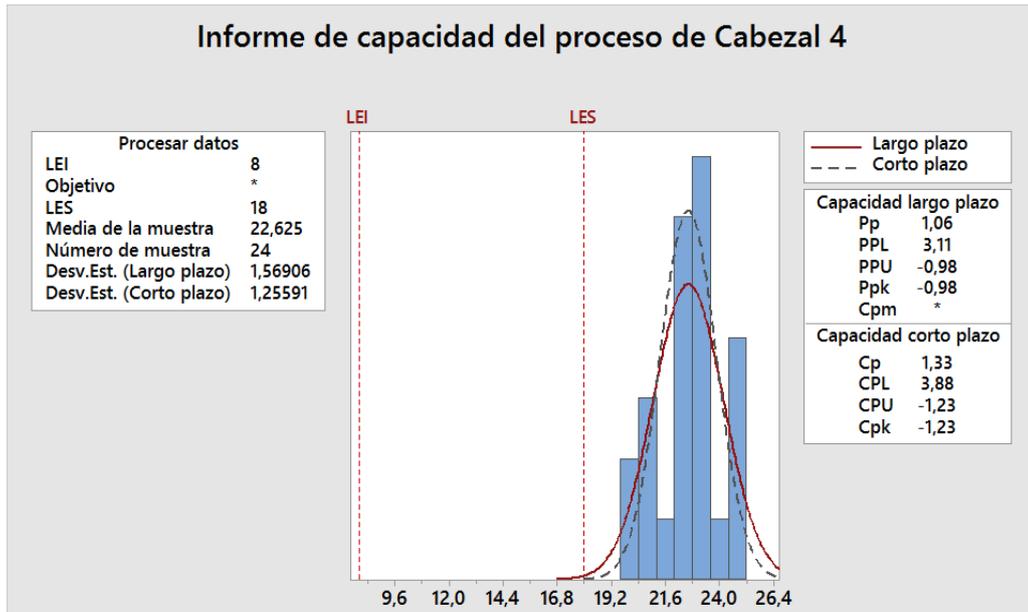


Figura A.16: Resumen del Análisis de Capacidad del Cabezal # 4.

En la figura A.16, con $C_p = 1,33$ y $C_{pk} = -1,23$ se observa que el proceso del Cabezal 4 no es capaz de cumplir con la amplitud y el target.

- Análisis del Cabezal # 8 de la Encapsuladora - Línea 1.

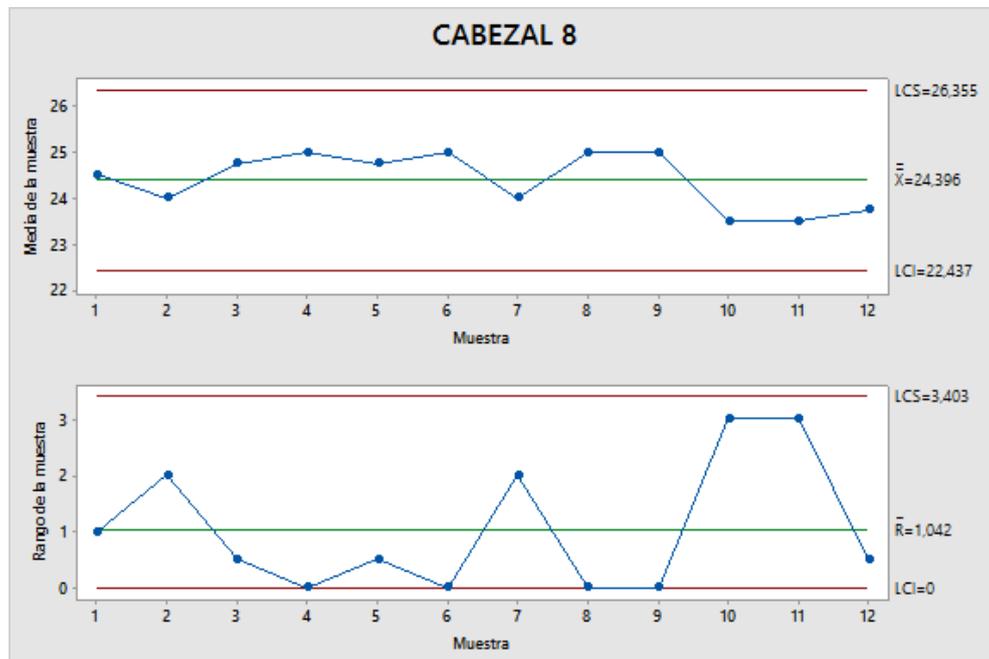


Figura A.17: Carta de Control X-R del Cabezal # 8.

En la figura A.17, el proceso del Cabezal 8 se encuentra Bajo Control Estadístico ya que todas las muestras están dentro de los límites de control.

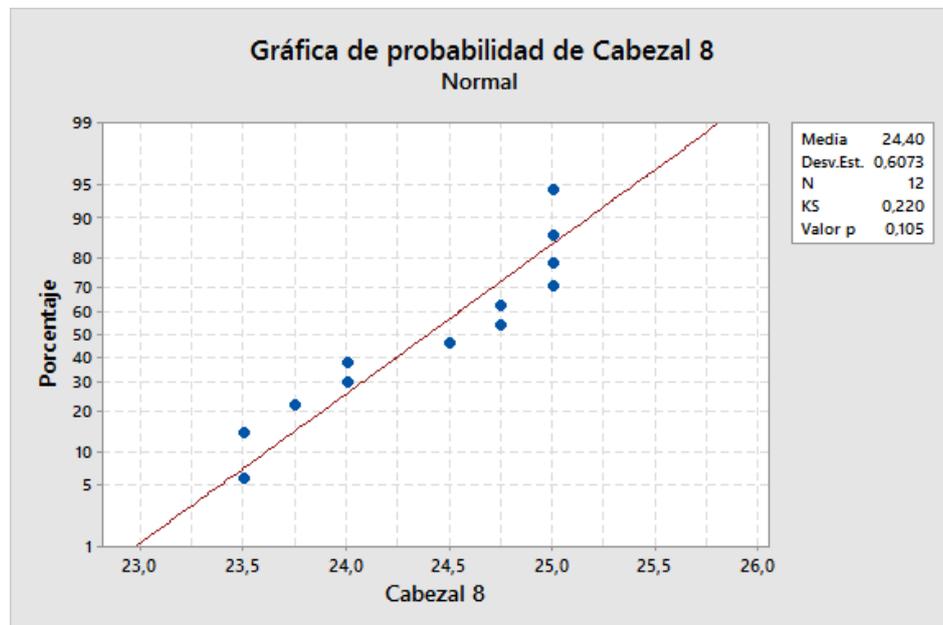


Figura A.18: Gráfica de probabilidad del Cabezal # 8.

En la figura A.18, con $p = 0,105$ se determina que el proceso del Cabezal 8 tiene Distribución Normal.

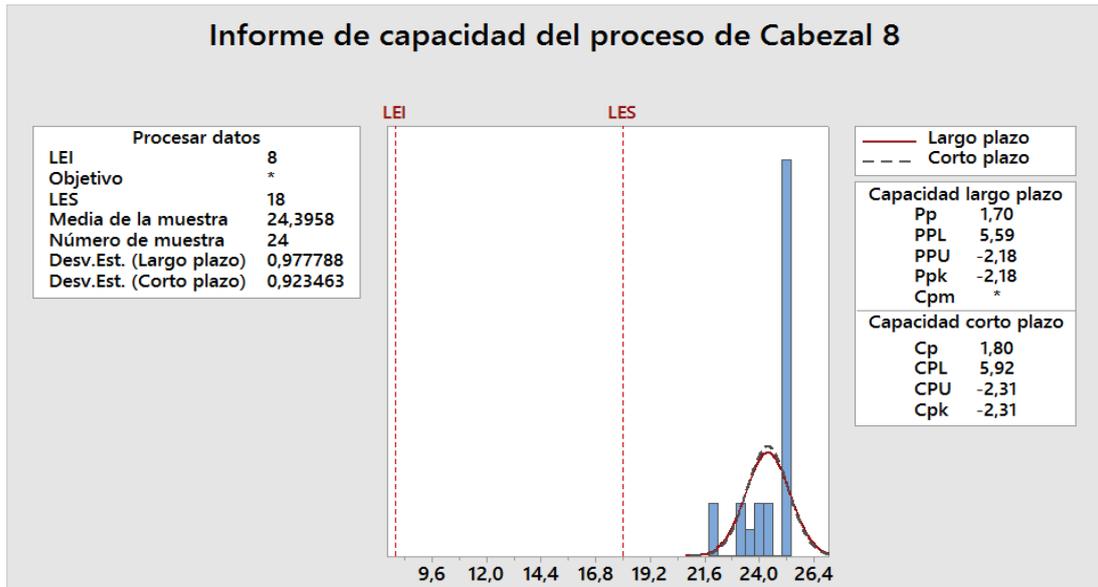


Figura A.19: Resumen del Análisis de Capacidad del Cabezal # 8.

En la figura A.19, con $C_p = 1,80$ y $C_{pk} = -2,31$ se observa que el proceso del Cabezal 8 no es capaz de cumplir con la amplitud y el target.

- Análisis del Cabezal # 9 de la Encapsuladora - Línea 1.

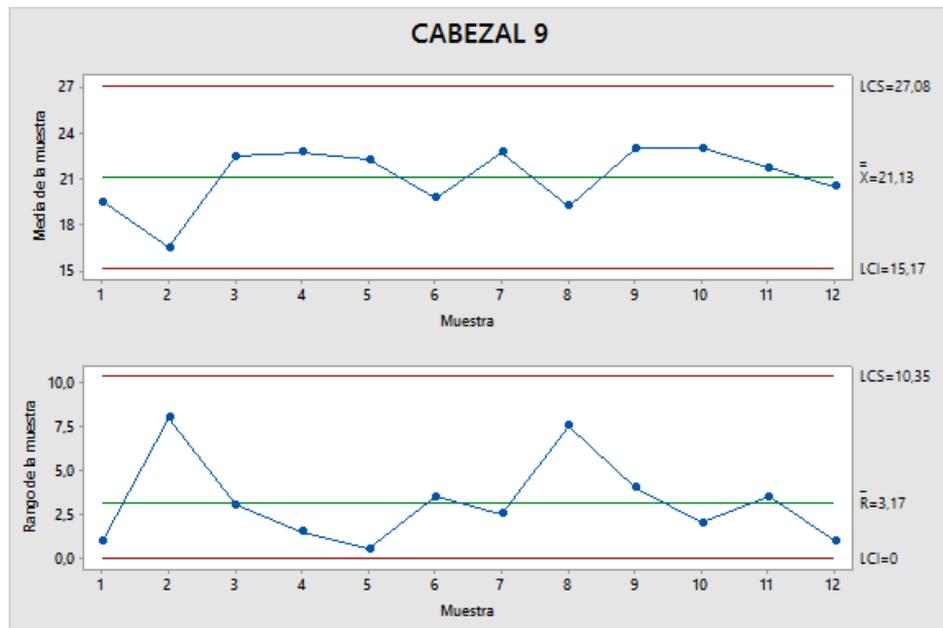


Figura A.20: Carta de Control X-R del Cabezal # 9.

En la figura A.20, el proceso del Cabezal 9 se encuentra Bajo Control Estadístico ya que todas las muestras están dentro de los límites de control.

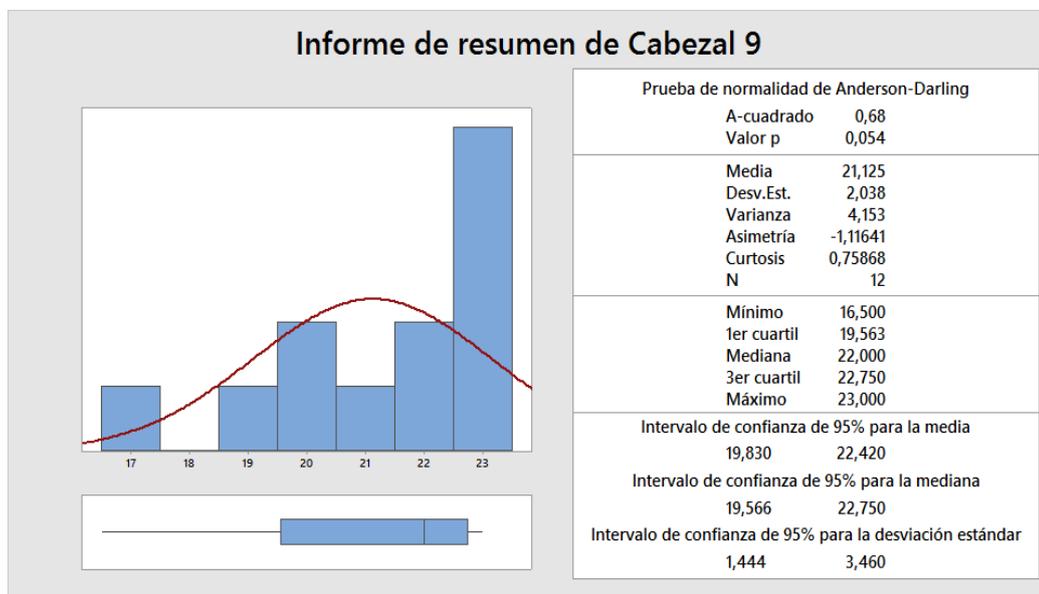


Figura A.21: Resumen Gráfico del Cabezal # 9.

En la figura A.21, con $p = 0,054$ se determina que el proceso del Cabezal 9 tiene Distribución Normal.

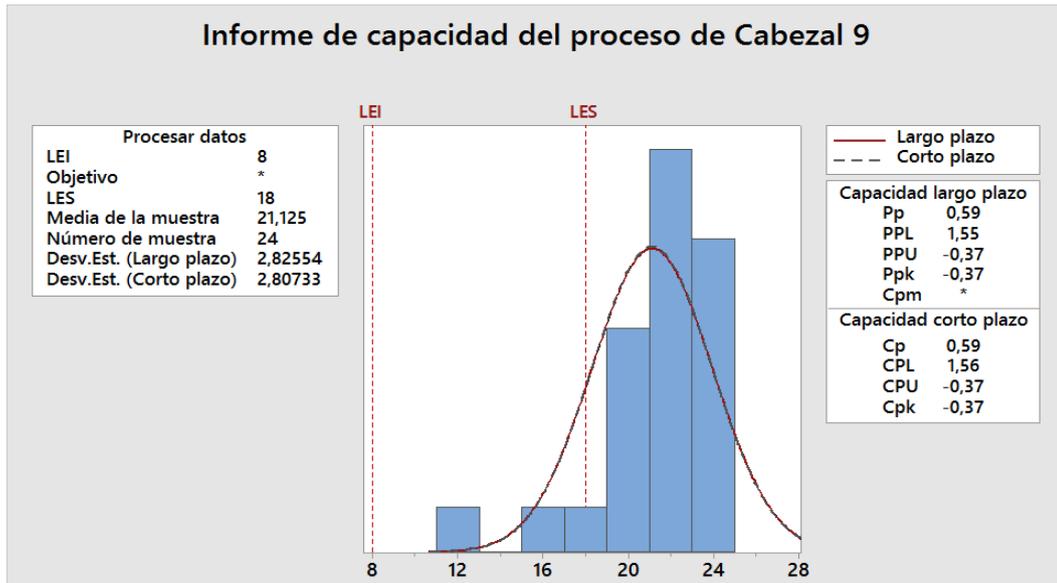


Figura A.22: Resumen del Análisis de Capacidad del Cabezal # 9.

En la figura A.22, con $C_p = 0,59$ y $C_{pk} = -0,37$ se observa que el proceso del Cabezal 9 no es capaz de cumplir con la amplitud y el target.

- Análisis del Cabezal # 10 de la Encapsuladora - Línea 1.

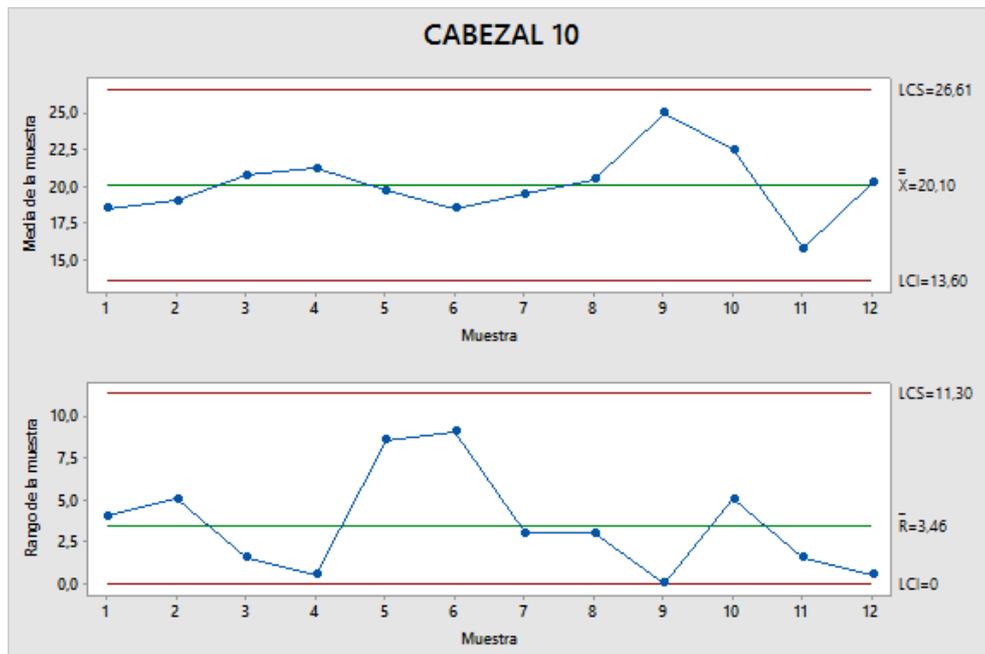


Figura A.23: Carta de Control X-R del Cabezal # 10.

En la figura A.23, el proceso del Cabezal 10 se encuentra Bajo Control Estadístico ya que todas las muestras están dentro de los límites de control.

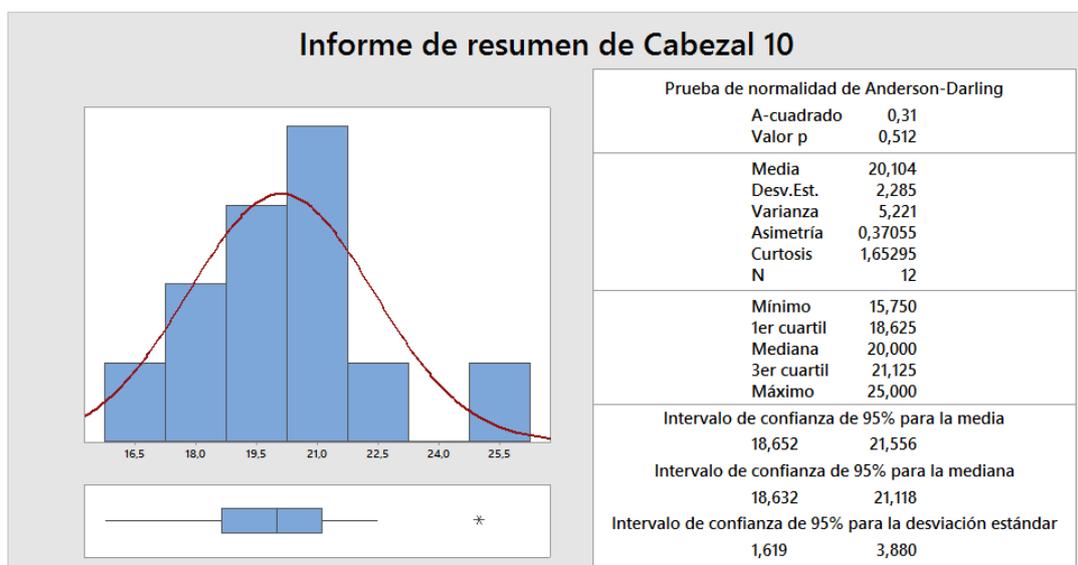


Figura A.24: Resumen Gráfico del Cabezal # 10.

En la figura A.24, con $p = 0,512$ se determina que el proceso del Cabezal 10 tiene Distribución Normal.

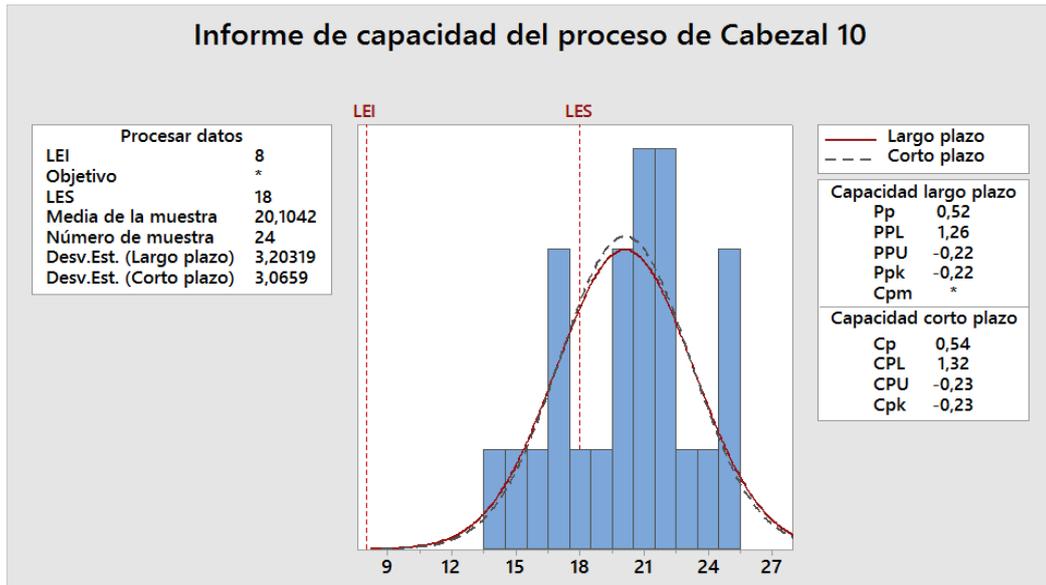


Figura A.25: Resumen del Análisis de Capacidad del Cabezal # 10.

En la figura A.25, con $C_p = 0,54$ y $C_{pk} = -0,23$ se observa que el proceso del Cabezal 10 no es capaz de cumplir con la amplitud y el target.

- Análisis del Cabezal # 11 de la Encapsuladora - Línea 1.

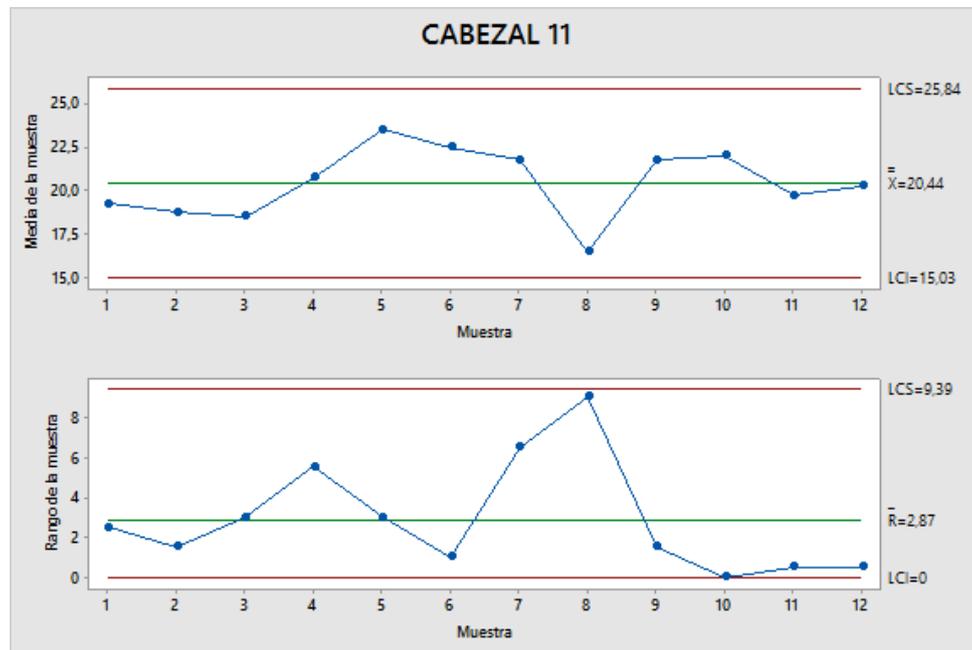


Figura A.26: Carta de Control X-R del Cabezal # 11.

En la figura A.26, el proceso del Cabezal 11 se encuentra Bajo Control Estadístico ya que todas las muestras están dentro de los límites de control.

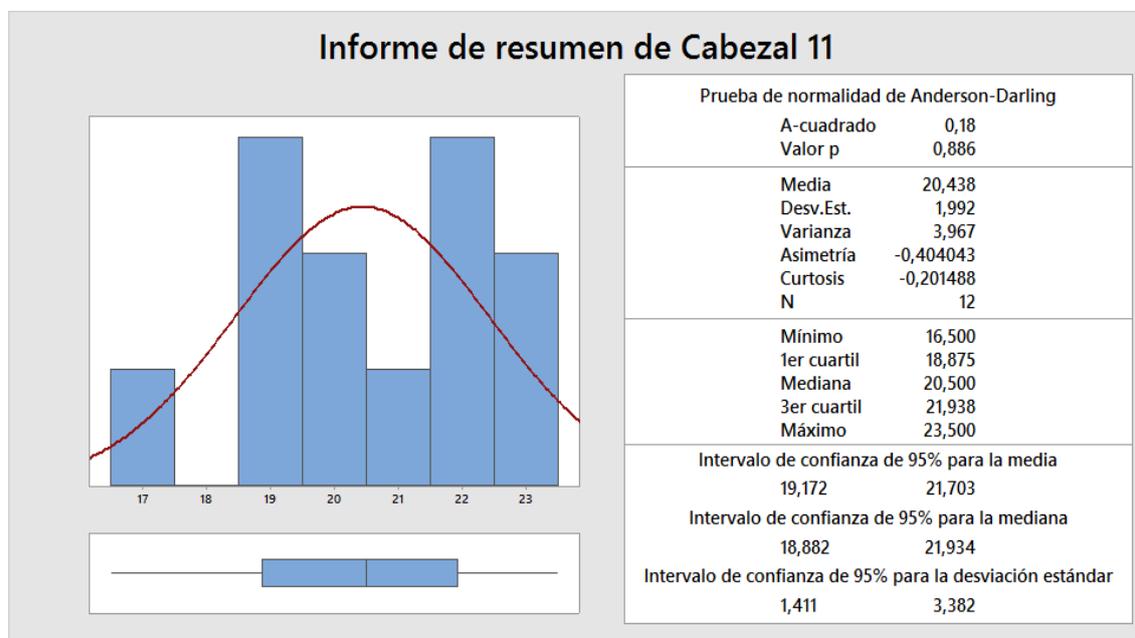


Figura A.27: Resumen Gráfico del Cabezal # 11.

En la figura A.27, con $p = 0,886$ se determina que el proceso del Cabezal 11 tiene Distribución Normal.

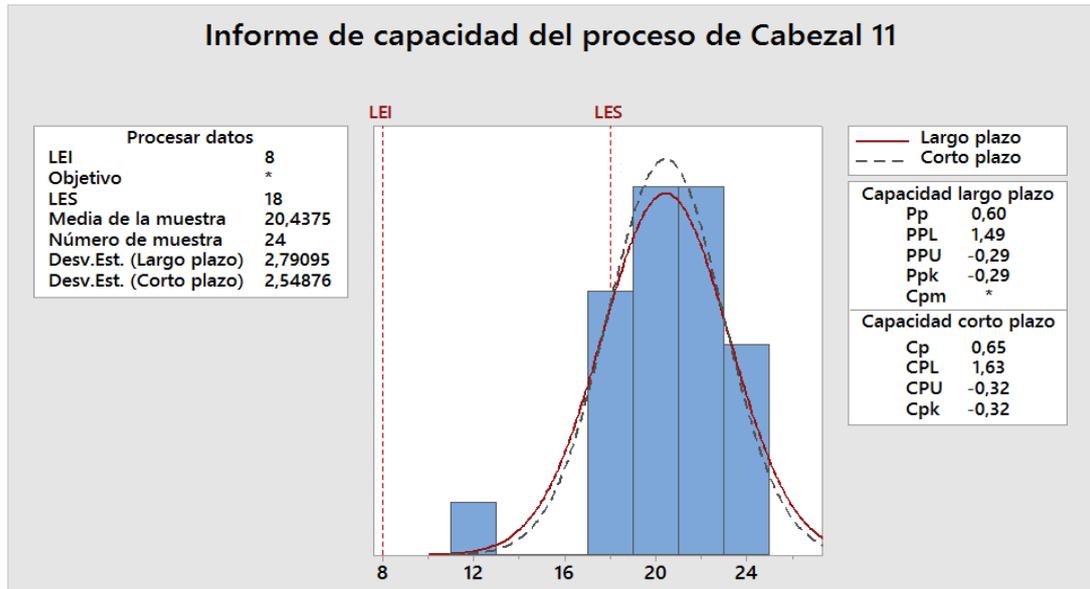


Figura A.28: Resumen del Análisis de Capacidad del Cabezal # 11.

En la figura A.28, con $C_p = 0,65$ y $C_{pk} = -0,32$ se observa que el proceso del Cabezal 11 no es capaz de cumplir con la amplitud y el target.

- Análisis del Cabezal # 12 de la Encapsuladora - Línea 1.

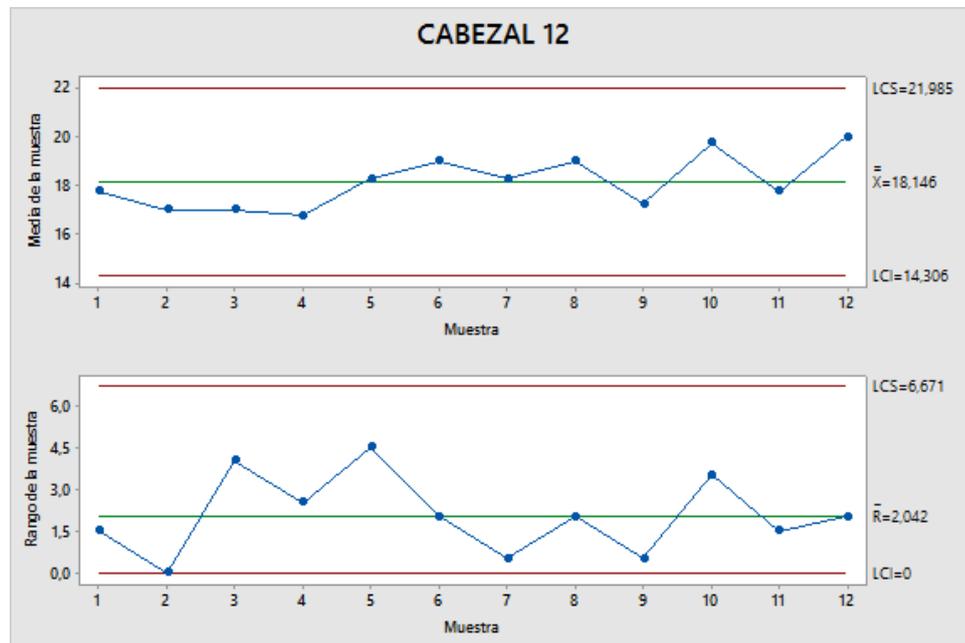


Figura A.29: Carta de Control X-R del Cabezal # 12.

En la figura A.29, el proceso del Cabezal 12 se encuentra Bajo Control Estadístico ya que todas las muestras están dentro de los límites de control.

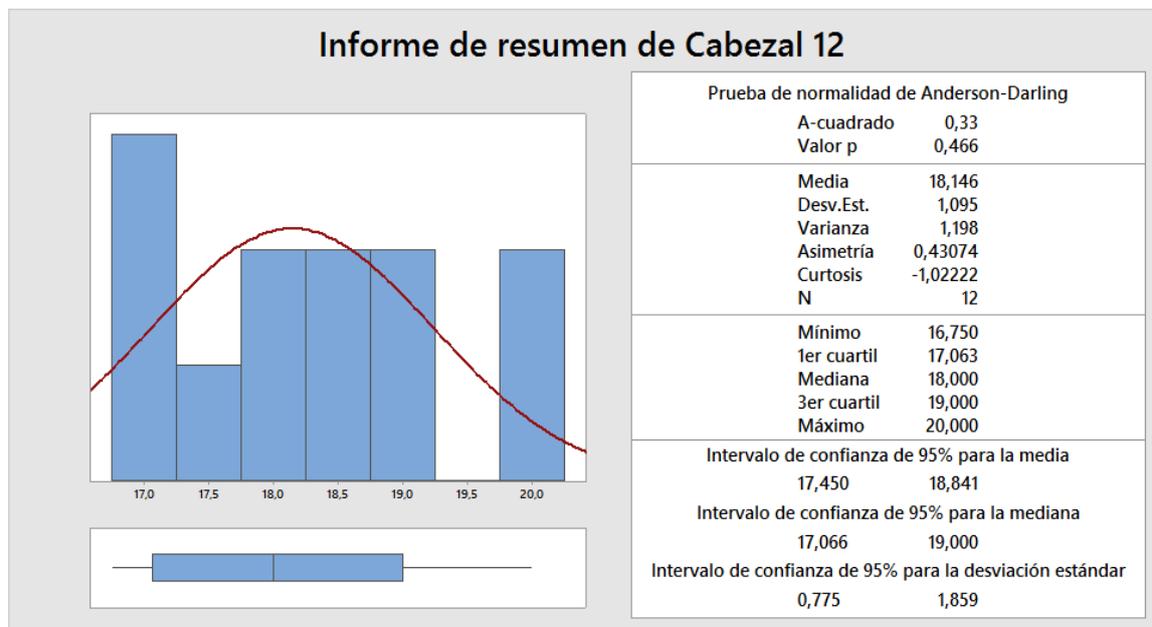


Figura A.30: Resumen Gráfico del Cabezal # 12.

En la figura A.30, con $p = 0,466$ se determina que el proceso del Cabezal 12 tiene Distribución Normal.

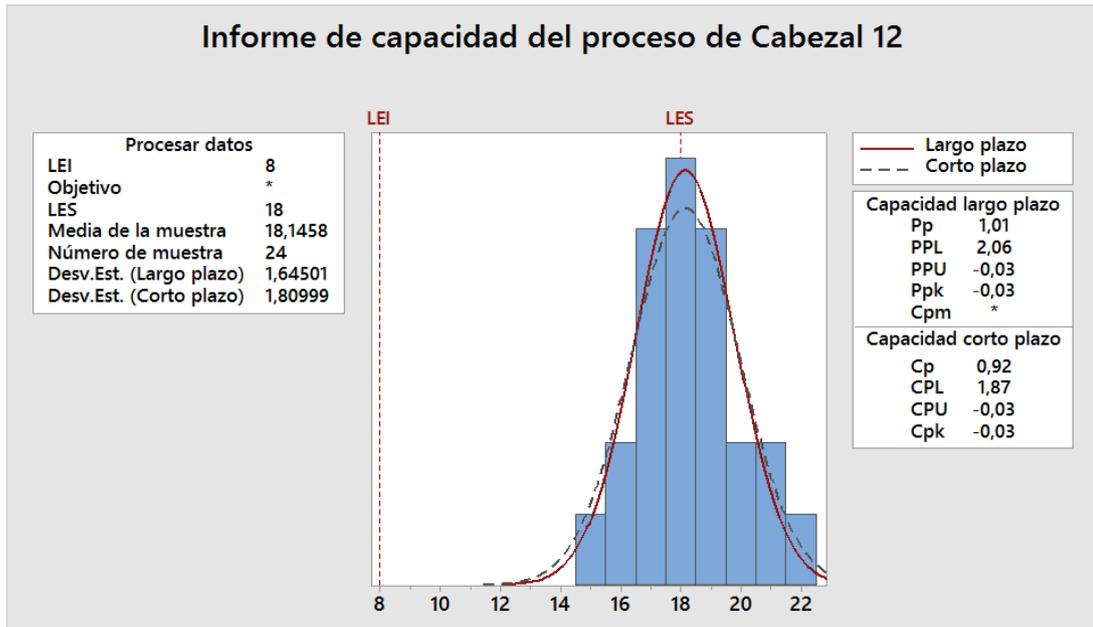


Figura A.31: Resumen del Análisis de Capacidad del Cabezal # 12.

En la figura A.31, con $C_p = 0,92$ y $C_{pk} = -0,03$ se observa que el proceso del Cabezal 12 no es capaz de cumplir con la amplitud y el target.

- Análisis del Cabezal # 14 de la Encapsuladora - Línea 1.

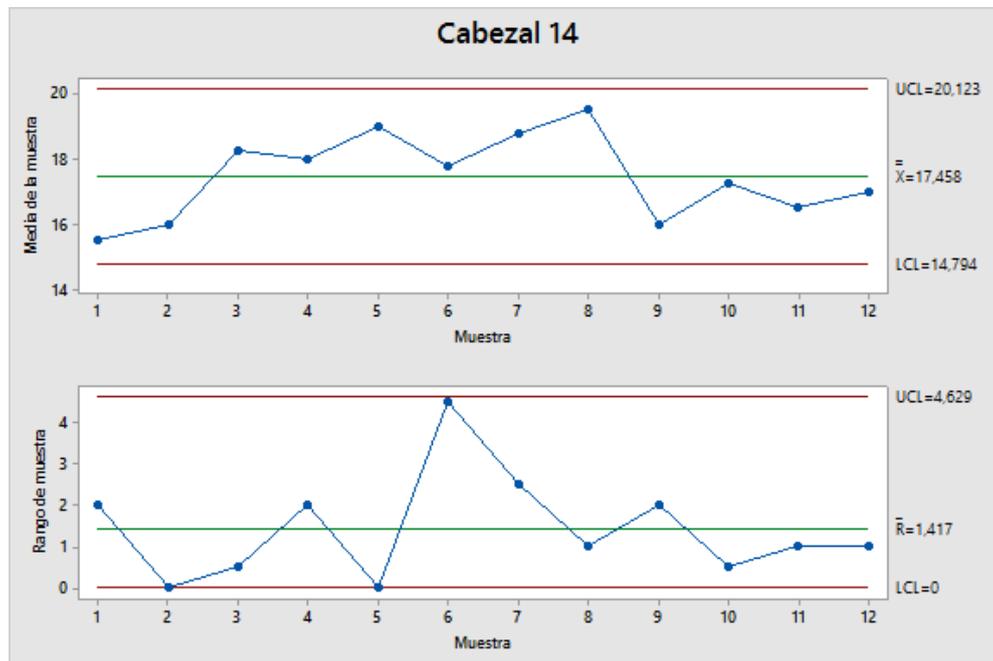


Figura A.32: Carta de Control X-R del Cabezal # 14.

En la figura A.32, el proceso del Cabezal 14 se encuentra Bajo Control Estadístico ya que todas las muestras están dentro de los límites de control.

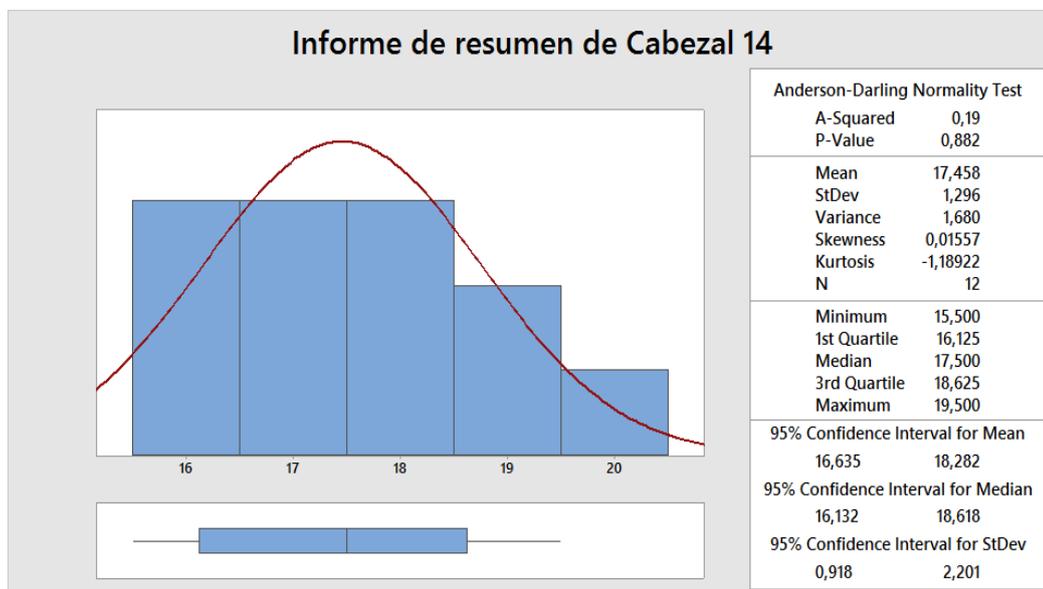


Figura A.33: Resumen Gráfico del Cabezal # 14.

En la figura A.33, con $p = 0,882$ se determina que el proceso del Cabezal 14 tiene Distribución Normal.

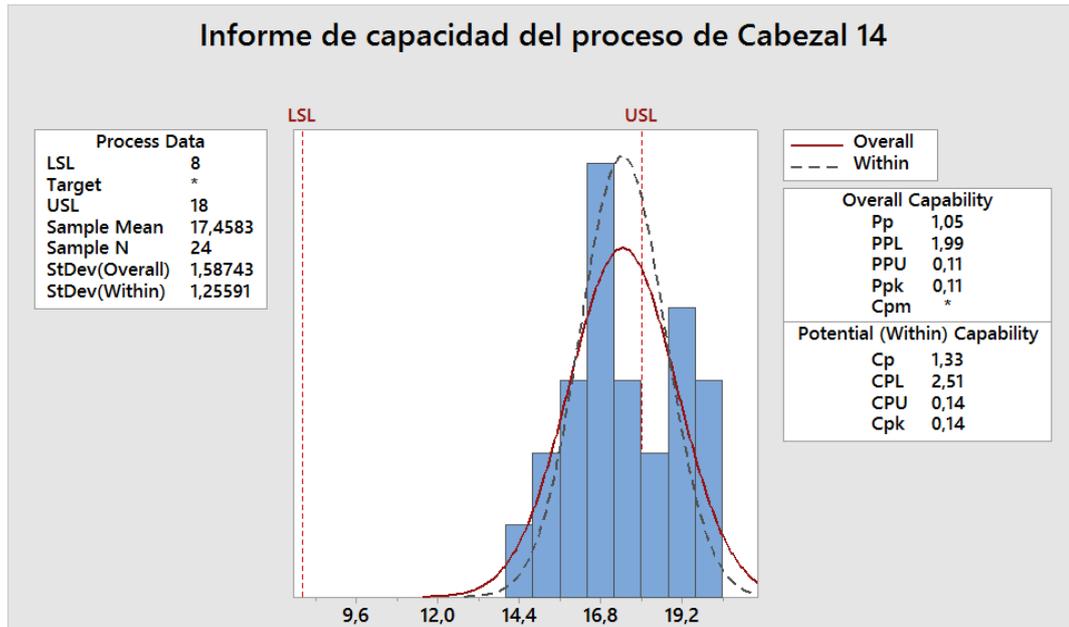


Figura A.34: Resumen del Análisis de Capacidad del Cabezal # 14.

En la figura A.34, con $C_p = 1,33$ y $C_{pk} = 0,14$ se observa que el proceso del Cabezal 14 no es capaz de cumplir con la amplitud y el target.

- Análisis del Cabezal # 15 de la Encapsuladora - Línea 1.

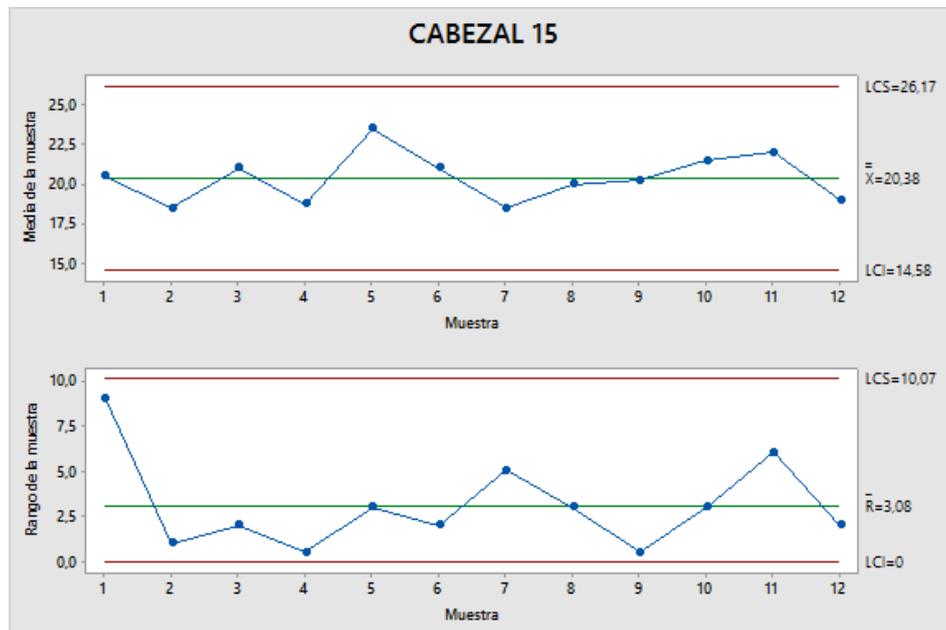


Figura A.35: Carta de Control X-R del Cabezal # 15.

En la figura A.35, el proceso del Cabezal 15 se encuentra Bajo Control Estadístico ya que todas las muestras están dentro de los límites de control.

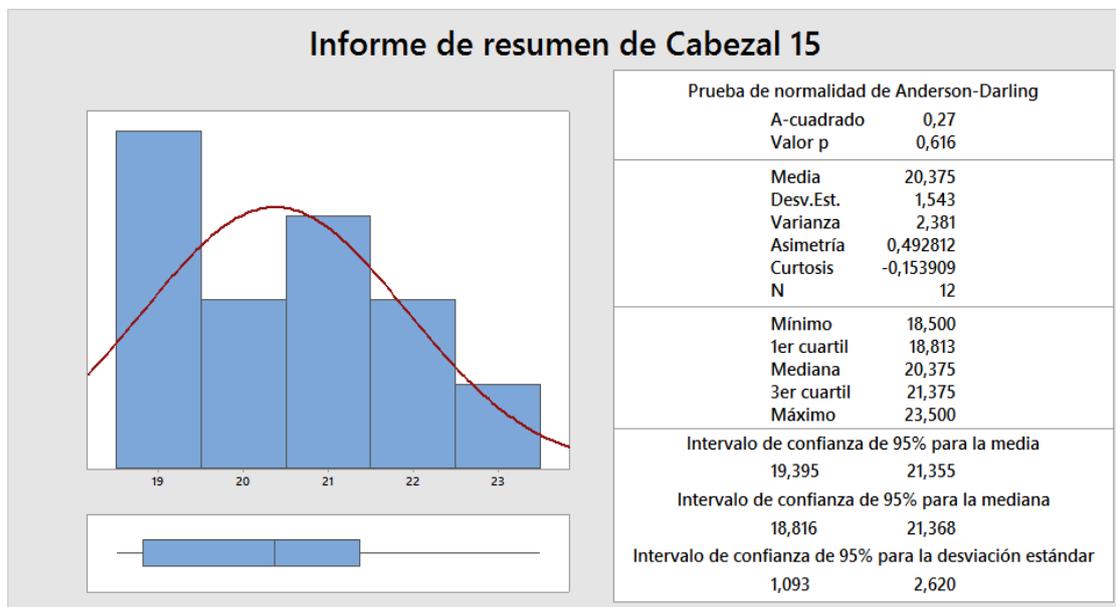


Figura A.36: Resumen Gráfico del Cabezal # 15.

En la figura A.36, con $p = 0,616$ se determina que el proceso del Cabezal 15 tiene Distribución Normal.

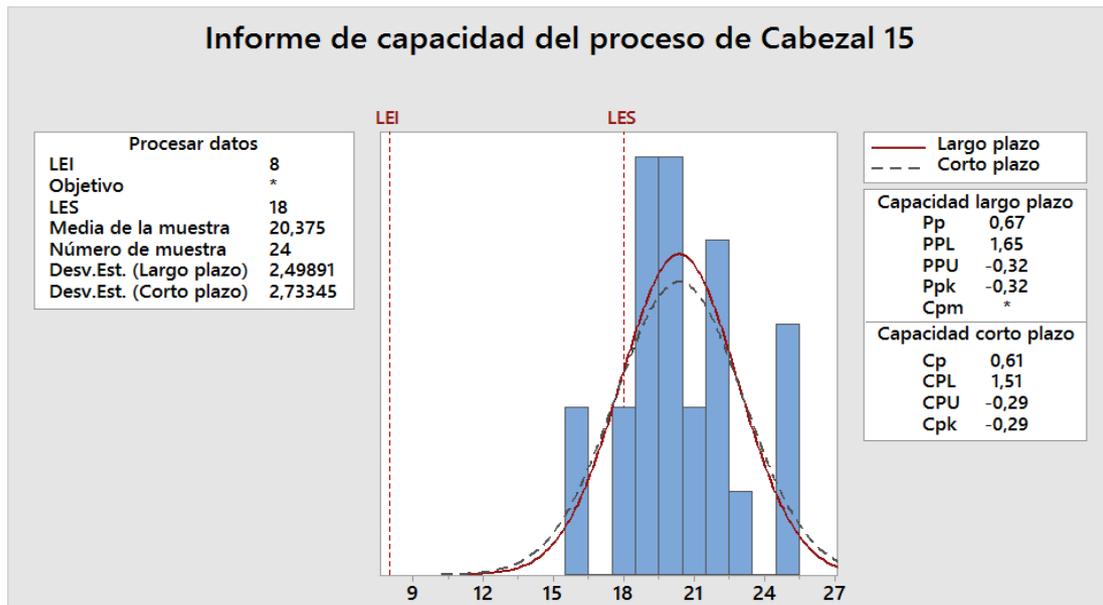


Figura A.37: Resumen del Análisis de Capacidad del Cabezal # 15.

En la figura A.37, con $C_p = 0,61$ y $C_{pk} = -0,29$ se observa que el proceso del Cabezal 15 no es capaz de cumplir con la amplitud y el target.

Verificación de Causas Potenciales

- Causa # 1.3.

Tabla 23: Verificación de la causa 1.3.

#	Causas Potenciales	Teoría de Impacto	Cómo Verificar?
1.3	Desconocimientos de los operadores de la línea 1 sobre el funcionamiento y los niveles operacionales de la máquina.	Piezas de la máquina pueden salir dañadas al utilizar altos valores de torque; además, el producto final saldrá con torques no deseados.	Go & See Preguntar al operador si ha recibido estas instrucciones y solicitar el registro de la charla.

Para la verificación de esta causa se entrevistó a los operadores de la línea # 1.

Funcionamiento de la máquina:

Cuando el operador empieza a trabajar en el área asignada, en este caso: Messal Triblock, el anterior operador que ocupaba ese mismo puesto de trabajo daba todas las indicaciones de cómo funciona la máquina; además los operadores entrevistados indicaron que con el paso del tiempo han ganado experiencia.

Debido a que este paso de información entre operadores no se registra, no se puede presentar algún documento escaneado que lo certifique.

Niveles de operación:

Los operadores de la línea 1: Sr. Freddy Alvarado y Sr. Antonio Chávez asistieron a los círculos de calidad que realiza el departamento de calidad donde se indicó los niveles operacionales de cada producto y presentación de tapa.

Debido a que no se registra los temas tratados en los círculos de calidad y tampoco hay un registro de asistentes, no se puede presentar algún documento escaneado que lo certifique.

Se puede concluir que los operadores si conocen sobre el funcionamiento y niveles de operación de la máquina Messal Triblock. Esta no es una causa potencial; sin embargo, ellos no aplican los niveles operacionales definidos por Calidad y el corporativo de la empresa.

- Causa # 4.1 - 4.2 - 4.3.

Tabla 24: Verificación de la causa 4.1 - 4.2 - 4.3.

#	Causas Potenciales	Teoría de Impacto	Cómo Verificar?
4.1	Desgaste del resorte vertical.	Esto no permite que el resorte aplique la presión necesaria para el encapsulado de la botella.	Go & See Revisar la orden de trabajo del cambio de la pieza.
4.2	Desgaste del rodamiento axial.	El desgaste del rodamiento axial afecta el ascenso y descenso del cuerpo roscador.	Go & See Revisar la orden de trabajo del cambio de la pieza.
4.3	Desgaste del rodamiento de leva.	No permite el movimiento correcto de los cabezales en los rieles de la leva.	Go & See Revisar la orden de trabajo del cambio de la pieza.

Para la verificación de esta causa se consultó con el responsable del Mantenimiento de la Línea #1 quien proporcionó la siguiente evidencia:

El 13 de Agosto del 2015, la planta de producción realizó un cambio del modelo de tapas que se usaba (1810) al nuevo modelo (1881), por ese motivo se cambió el came y se efectuó el mantenimiento anual, donde se desmontaron los 15 cuerpos roscadores para el respectivo cambio de resortes verticales, rodamientos axiales y de leva.

En la figura A.38 se muestra un ejemplo de cuerpo roscador con sus partes:



Figura A.38: Cuerpo Roscador

- Causa # 4.4 - 4.5.

Tabla 25: Verificación de la causa 4.4 - 4.5.

#	Causas Potenciales	Teoría de Impacto	Cómo Verificar?
4.4	Desgaste de las placas magnéticas.	Las placas desgastadas no permiten un buen funcionamiento del roscador. Por más de que se ajuste no dará más torque.	Go & See Revisar el estado de la pieza.
4.5	Desgaste del rodamiento del roscador.	No permite que el roscador de los giros correctamente, ya que se presenta mayor dificultad al rotar.	Go & See Revisar el estado de la pieza.

Para la verificación de esta causa se desmontaron los roscadores # 5 - 6 - 7 - 13 cuyos procesos estaban fuera de control estadístico, con el fin de determinar si las placas magnéticas o rodamientos estaban desgastados.

Placas Magnéticas:

En la figura A.39 se muestra un ejemplo de placas magnéticas en mal estado: fisura, corrosión y desgaste.



Figura A.39: Mal estado de las Placas Magnéticas.

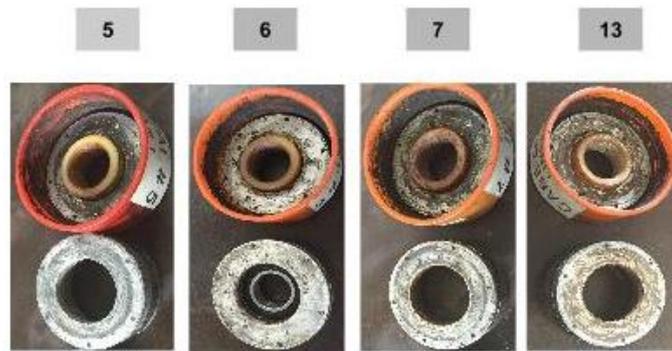


Figura A.40: Placas Magnéticas.

Como se observa en la figura A.40 las placas magnéticas fijas y móviles no tienen desgaste, fisuras o corrosión, pero necesitan ser limpiados. Esta no es una causa potencial.

Rodamientos del roscador:

En la figura A.41 se observa un ejemplo de rodamiento en mal estado: corrosión.



Figura A.41: Rodamientos Nuevos y Gastados.



Figura A.42: Rodamientos del roscador.

Como se observa en la figura A.42 los rodamientos del roscador # 5 - 6 - 7 - 13 presentan corrosión. Esta es una Causa Potencial.

- Causa # 4.6 - 4.7.

Tabla 26: Verificación de la causa 4.6 - 4.7.

#	Causas Potenciales	Teoría de Impacto	Cómo Verificar?
4.6	Desgaste de los chuck.	Si las estrías o las esferas del chuck no están en buenas condiciones ocasionará que no sujete bien la tapa y no aplique un correcto torque.	Go & See Revisar el estado de los chuck.
4.7	Desgaste de los o-ring.	Si el elástico no funciona, las esferas se pueden caer dentro del contenido de la botella y el chuck no podrá operar correctamente.	Go & See Revisar el estado de los o-ring.

Para la verificación de esta causa se desmontó los chuck cuyos cabezales estaban fuera de control estadístico.



Figura A.43: Chuck y O-ring # 5.

En la figura A.43 sección izquierda, se observa que la superficie frontal del chuck no está desgastado, además ninguna esfera está hundida. Esta no es una causa potencial.

En la sección derecha, el o-ring está en buenas condiciones. Esta no es una causa potencial.



Figura A.44: Chuck y O-ring # 6.

En la figura A.44 sección izquierda, se observa que la superficie frontal del chuck no está desgastado, además ninguna esfera está hundida. Esta no es una causa potencial.

En la sección derecha, el o-ring tiene muchos cortes. Esta es una causa potencial.



Figura A.45: Chuck y O-ring # 7.

En la figura A.45 sección izquierda, se observa que la superficie frontal del chuck está desgastada, además todas las esferas están hundidas. Esta es una causa potencial. En la sección derecha, el o-ring tiene algunos cortes. Esta es una causa potencial.



Figura A.46: Chuck y O-ring # 13.

En la figura A.46 sección izquierda, se observa que la superficie frontal del chuck no está desgastado, además ninguna esfera está hundida. Esta no es una causa potencial. En la sección derecha, el o-ring está en buenas condiciones. Esta no es una causa potencial.

En conclusión, el chuck # 7 si presenta desgaste y los o-ring # 6 y 7 también presentan desgastes, siendo estos una causa potencial.

- Causa # 4.8.

Tabla 27: Verificación de la causa 4.8.

#	Causas Potenciales	Teoría de Impacto	Cómo Verificar?
4.8	Desgaste de los discos antirotacionales.	Cuando el roscador gira para sellar la botella, si los discos antirotacionales están desgastados, la botella girará al mismo tiempo que el roscador y por lo tanto no hará un buen sellado.	Go & See Revisar el estado de los discos antirotacionales.

Para la verificación de esta causa se desmontó los discos antirotacionales de los cabezales # 5 - 6 - 7- 13 cuyos procesos están fuera de control estadístico.



Figura A.47: Disco Antirotacional # 5.

En la figura A.47, el disco rotacional # 5 no presenta desgastes; sin embargo, este modelo permite que la botella continúe rotando.



Figura A.48: Disco Antirotacional # 6.

En la figura A.48, el disco rotacional # 6 no presenta desgastes; sin embargo, este modelo permite que la botella continúe rotando.



Figura A.49: Disco Antirotacional # 7.

En la figura A.48, el disco rotacional # 7 no presenta desgastes; sin embargo, este modelo permite que la botella continúe rotando.



Figura A.50: Disco Antirotacional # 13.

En la figura A.50, el disco rotacional # 13 tiene un diferente modelo que no permite que la botella continúe rotando.

En conclusión, el disco antirotacional # 5 - 6 - 7 permite el movimiento de la botella, a excepción del # 13. Esta es una causa potencial.

- Causa # 5.1.

Tabla 28: Verificación de la causa 5.1.

#	Causas Potenciales	Teoría de Impacto	Cómo Verificar?
5.1	Came y estrella pick and place descalibradas.	Si estas dos partes de la máquina están mal calibradas, ocasionarían que el chuck no sostenga la tapa debido a la diferencia en la posición.	Go & See Revisar las órdenes de trabajo de mantenimiento del Came y pick and place.

Para la verificación de esta causa se consultó con el responsable de mantenimiento de la línea #1.

Como se mencionó anteriormente en el análisis de causa # 4.1 - 4.2 - 4.3, el Came fue reemplazado el 13 de agosto del 2015, y en esa fecha también se procedió con cambios de piezas del pick and place para posteriormente ser calibrados.

A continuación se presenta en la figura A.51 la evidencia de los cambios realizados:

Numero: 73890		Fecha del Mantenimiento		F.
Emision: 13/08/2015				
Area Solicitant 022 PRODUCCION ADMINISTRATIVO				
Solicitante: 138393 PISCO SORNOZA HECTOR LINCOLN				
Linea: 07 REPUESTOS				Aprobado
por: 138393 PISCO SORNOZA HECTOR LINCOLN				
Atendido: No F. Atencion: 00/00/0000				
<hr/>				
CAME	25191	ROLDANA DO PISTAO COD.E-50-60-151-168	LLENADORA ME	140060101
0	0	UN	60.0000 60.0000	1.0000
	25192	PARAFUSO FIXADOR DA ROLDANA COD.E-40-30-81-080	LLE	140060101
0	0	UN	60.0000 60.0000	0.0000
	40545	22291 CONJUNTO CAME DEL ROSCADOR (PCC01881) (MESAL		140060101
0	0	UN	1.0000 1.0000	1.0000
	40547	106568 C.M. BOCAL CABEZADEL ROSCADOR COD 28772 (PC		140060101
		UN	1.0000 1.0000	1.0000
PICK AND PLACE	149	18630 ESTRELLA TRAC PICK AND PLACE 25 X 318.1 X 59		140060101
0	0	UN	1.0000 1.0000	0.0000
	40550	18638 GUIA PICK AND PLACE 15 X 232.4 X 388.8 X 163		140060101
0	0	UN	1.0000 1.0000	0.0000
	40551	18633 CHAPA PROT TAPAS PICK AND PLACE 1.2 X 227.2		140060101
0	0	UN	1.0000 1.0000	0.0000

Figura A.51: Solicitud de piezas a Bodega de Repuestos

Según lo presentado por el departamento de mantenimiento, ellos calibraron el came y pick and place star, además los operadores indicaron que no han tenido inconvenientes porque no está descentrado. Esta no es una causa potencial.

- Causa # 5.2.

Tabla 29: Verificación de la causa 5.2.

#	Causas Potenciales	Teoría de Impacto	Cómo Verificar?
5.2	Operadores de ambos turnos ajustan los cabezales con diferentes valores de torque.	Cuando los operadores calibran con diferentes valores de torque produce una alta variabilidad en el torque del producto final.	Estadística Estudio R&R para calibración de torque.

Para la verificación de esta causa se realizó un Estudio R&R para medir la habilidad de los operadores al momento de calibrar.

Tabla 30: Elementos del Estudio.

Equipo	Torquímetro analógico con rango de medición de 0 a 25 in.lb.
Parte	Cabezal # 5 de la encapsuladora de la línea # 1 calibrado a 10 in.lb - 12 in.lb - 14 in.lb - 16 in.lb - 18 in.lb.
Operador	Operadores permanentes de la línea # 1: 1) Operador turno 1 2) Operador turno 2

Una vez recolectado la data para el estudio, se utilizó el software Minitab para obtener el análisis de varianza del sistema de calibración utilizado actualmente por los operadores.

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Parte	4	581,53	145,383	5,77086	0,059
Operador	1	2,88	2,880	0,11432	0,752
Parte * Operador	4	100,77	25,193	9,22802	0,000
Repeatability	40	109,20	2,730		
Total	49	794,38			

α to remove interaction term = 0,05

Figura A.52: ANOVA Calibración.

En el ANOVA de la figura A.52, con un valor $p = 0$ se concluye que la interacción entre parte y operador tiene influencia sobre el resultado del sistema actual de calibración. Es decir, diferentes valores de torque son calibrados de diferentes formas; por lo tanto esto no es aceptable. Esta es una causa potencial.

- Causa # 5.3.

Tabla 31: Verificación de la causa 5.3.

#	Causas Potenciales	Teoría de Impacto	Cómo Verificar?
5.3	Frecuencia de ajuste de torque: una vez al inicio de la semana y cuando presenta problemas.	Una baja frecuencia de ajuste de torque puede ocasionar que la máquina trabaje con un valor incorrecto de torque.	Go & See Revisar el número de veces que los operadores calibran en una semana.

Para la verificación de esta causa se entrevistó a los operadores responsable del área de sellado y encapsulado de la línea # 1; además se observó el trabajo que realizaban entre cambios de formatos o sabor y cuando la línea arrancaba.

Entrevista a los operadores:

Los operadores indicaron que ellos no mueven el roscador entre cambios de formato o sabores, es decir, no se calibra el cabezal entre los cambios. Ellos comentaron que se ajusta el torque solamente a inicios de semana o cuando tienen problemas en la línea.

Observación durante la jornada laboral:

De acuerdo a lo observado, cuando existe cambio de formatos realizan las siguientes tareas:

- Activan La limpieza del tanque de la llenadora.
- Regulan la cantidad de agua del mixer.
- Activan los niveles de operación para el proceso de mezclado.
- Modifican los niveles operacionales hasta obtener los grados brix y volúmenes de CO₂. aceptables.

Como se detalla, en ningún momento hicieron ajustes en la sección de la encapsuladora, la frecuencia de calibración es baja. Esta es una causa potencial.

5 Por qué's

- Causa # 4.5.

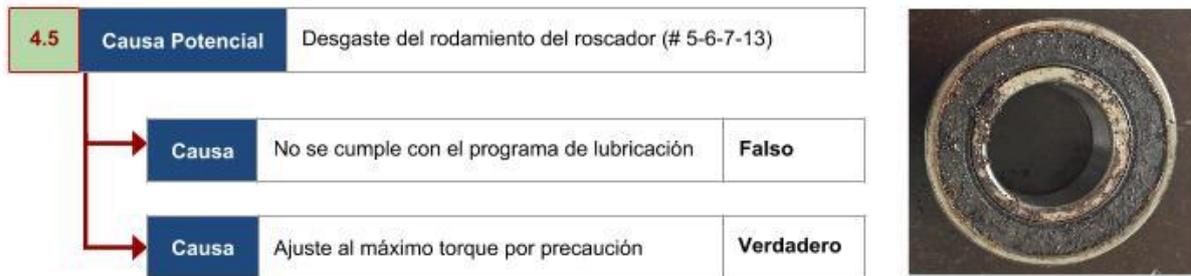


Figura A.53: Técnica 5 Por qué's para la causa 4.5.

- Causa # 4.5.1 No se cumple con el programa de lubricación.

El Departamento de Mantenimiento utiliza el Software MP9 para programar las órdenes de trabajo de lubricación de acuerdo a las horas trabajadas por la máquina (500 hrs), como se muestra en la figura A.54:



Figura A.54: Técnica 5 Por qué's para la causa # 4.5.1.

El supervisor de Mantenimiento verifica el trabajo y certifica el cumplimiento de las órdenes de trabajo. Por tanto esta no es la causa raíz.

- Causa # 4.5.2 Ajuste al máximo torque por precaución.

Esta causa fue determinada previamente como una Causa Potencial.

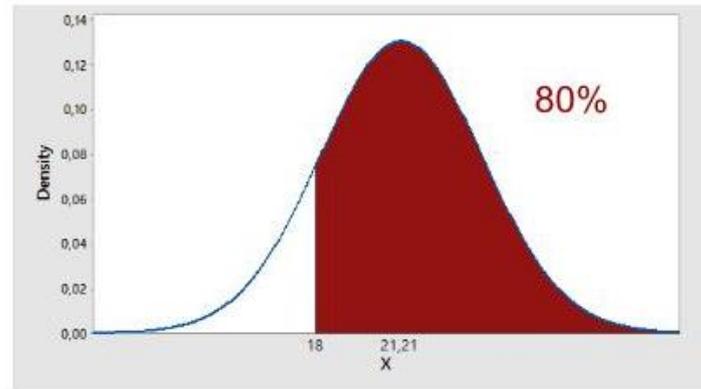


Figura A.55: Técnica 5 Por qué's para la causa # 4.5.2.

En la figura A.55, el 80% de los valores de torque obtenidos anteriormente, se encuentran sobre el Límite Superior de Especificación, el cual es 18 in.lb. Por tanto es una causa raíz.

- Causa # 4.6

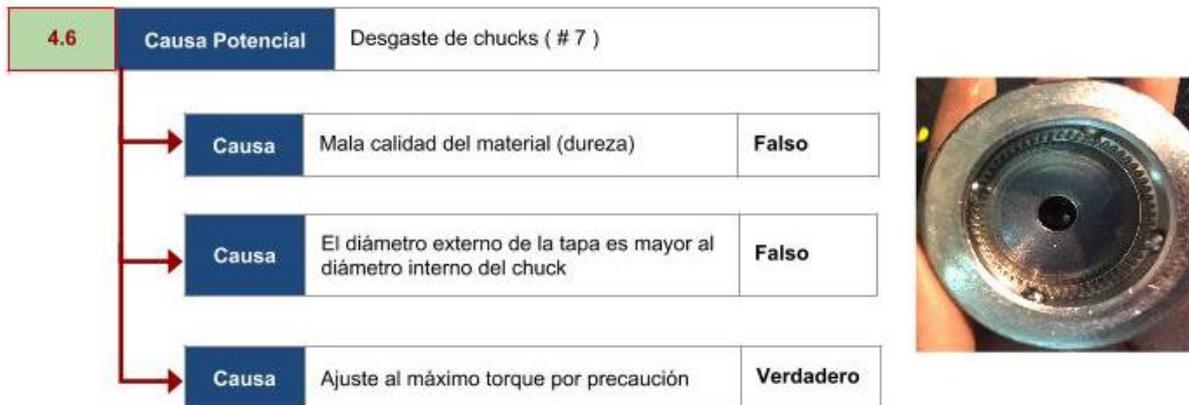


Figura A.56: Técnica 5 Por qué's para la causa 4.6.

- Causa # 4.6.1 Mala calidad del material (dureza).

El personal de la bodega de repuestos y del departamento de mantenimiento indicaron ciertas condiciones para el proceso de admisión de repuestos a la bodega:

- El personal de mantenimiento revisa visualmente todos los repuestos cuando llegan a la empresa.
- Si el repuesto no cumple con las especificaciones solicitadas, no se permite su ingreso a la bodega.
- El departamento de mantenimiento no realiza pruebas de dureza al material de los repuestos, estas son realizadas por el proveedor.

Todas las condiciones mencionadas permiten asegurar la calidad del material; por lo tanto, no es una causa raíz.

- Causa # 4.6.2 El diámetro externo de la tapa es mayor al diámetro interno del chuck.

Las líderes del proyecto midieron el diámetro interno de los chucks # 5-6-7-13, como se muestra en la figura A.57, cuya medición se validó que sea aceptable a través de un estudio de Repetibilidad y Reproducibilidad.

CHUCK #	Internal Diameter
5	30,93
6	30,64
7	30,70
13	30,83



Figura A.57: Diámetro Interno de los chucks.

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Parte	3	0,41421	0,138071	15,6824	0,024
Operador	1	0,00781	0,007813	0,8874	0,416
Parte * Operador	3	0,02641	0,008804	0,3693	0,776
Repeatability	24	0,57215	0,023840		

Figura A.58: ANOVA del Diámetro Interno de los chucks .

En el ANOVA de la figura A.58, con un valor $p = 0,024$ se determina que las partes (chucks # 5-6-7-13) tienen influencia en la medición. Con un valor $p = 0,416$ se determina que los operadores (líderes del proyecto) no tienen influencia en la medición. Con un valor $p = 0,776$ se concluye que la interacción entre parte y operador no tiene influencia.

El sistema de medición es aceptable. De acuerdo al análisis R&R, el sistema detecta las partes y no hay influencia de los operadores y su interacción con las partes.

Adicionalmente se solicitó al departamento de Inyección la data del diámetro externo de las tapas utilizadas el día de recolección de datos y se les realizó la prueba de Normalidad.

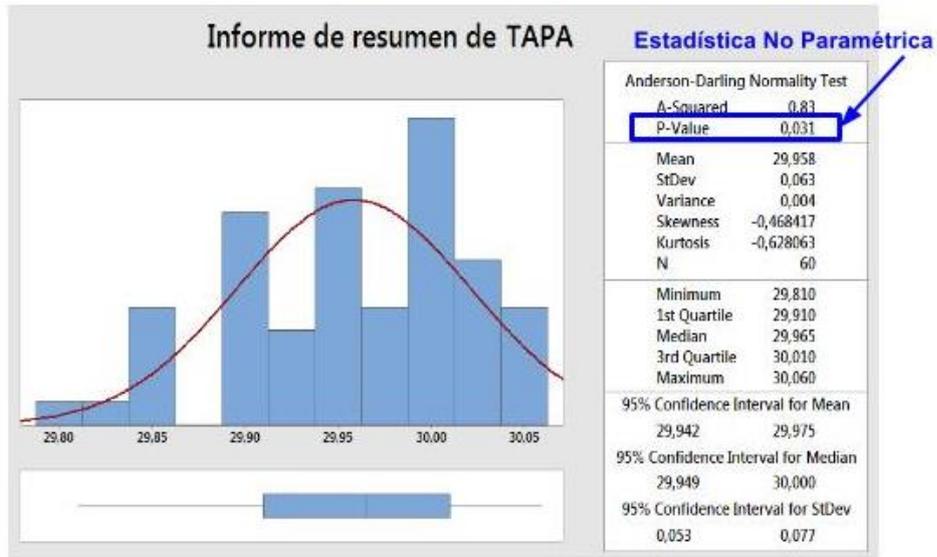


Figura A.59: Prueba de Normalidad del diámetro externo de la tapa.

En la figura A.59, con un valor de $p = 0,031$ el diámetro externo de la tapa no posee una distribución Normal, por tanto se utilizará estadística no paramétrica para el estudio comparativo.

H_0 : Diámetro externo de la tapa \leq Diámetro interno del chuck

vs

H_1 : Diámetro externo de la tapa $>$ Diámetro interno del chuck

CHUCK # 5

Sign Test for Median: Diametro Tapa

Sign test of median = 30,93 versus $>$ 30,93

	N	Below	Equal	Above	P	Median
Diametro Tapa	60	60	0	0	1,0000	29,97

CHUCK # 7

Sign Test for Median: Diametro Tapa

Sign test of median = 30,70 versus $>$ 30,70

	N	Below	Equal	Above	P	Median
Diametro Tapa	60	60	0	0	1,0000	29,97

CHUCK # 6

Sign Test for Median: Diametro Tapa

Sign test of median = 30,64 versus $>$ 30,64

	N	Below	Equal	Above	P	Median
Diametro Tapa	60	60	0	0	1,0000	29,97

CHUCK # 13

Sign Test for Median: Diametro Tapa

Sign test of median = 30,83 versus $>$ 30,83

	N	Below	Equal	Above	P	Median
Diametro Tapa	60	60	0	0	1,0000	29,97

Figura A.60: Prueba comparativa entre diámetro externo de tapa y diámetro interno de chuck.

En la figura A.60, considerando un valor de $p = 1$ se demuestra que el diámetro externo de la tapa es menor al diámetro interno del chuck, por tanto no es una causa raíz.

- Causa # 4.6.3 Ajuste al máximo torque por precaución.

Esta causa fue determinada previamente como una Causa Potencial.

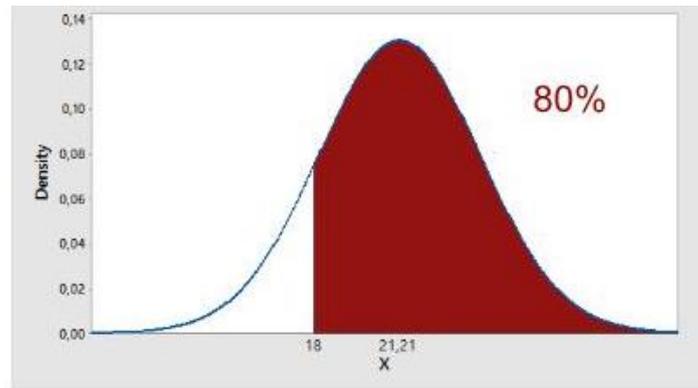


Figura A.61: Técnica 5 Por qué's para la causa # 4.6.3.

En la figura A.61, el 80% de los valores de torque obtenidos anteriormente, se encuentran sobre el Límite Superior de Especificación, el cual es 18 in.lb. Por tanto es una causa raíz.

- Causa # 4.7.

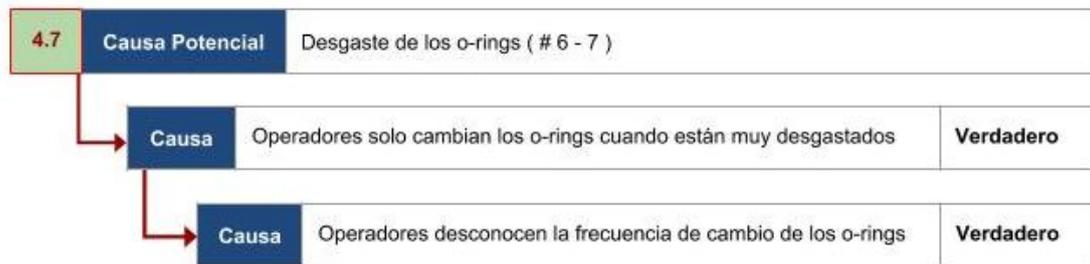


Figura A.62: Técnica 5 Por qué's para la causa 4.7.

- Causa # 4.7.1 Operadores solo cambian los o-rings cuando están muy desgastados.

Las líderes del proyecto evidenciaron que los operadores cambian los o-rings solamente cuando ellos detectan alguna fisura en la banda elástica, que pueda afectar el ajuste que genera para sostener las esferas que agarran las tapas en el proceso de encapsulado. Los operadores realizan este control únicamente de forma visual. Por tanto es una causa.

- Causa # 4.7.1.1 Operadores desconocen la frecuencia de cambio de los o-rings.

Los operadores comentaron a las líderes del proyecto que ellos no recibieron, en ningún momento, instrucciones sobre el tiempo apropiado de cambio para los o-rings, por lo cual solo realizan el cambio de los mismos cuando detectan que se encuentran desgastados. Por tanto es una causa raíz.

- Causa # 4.8

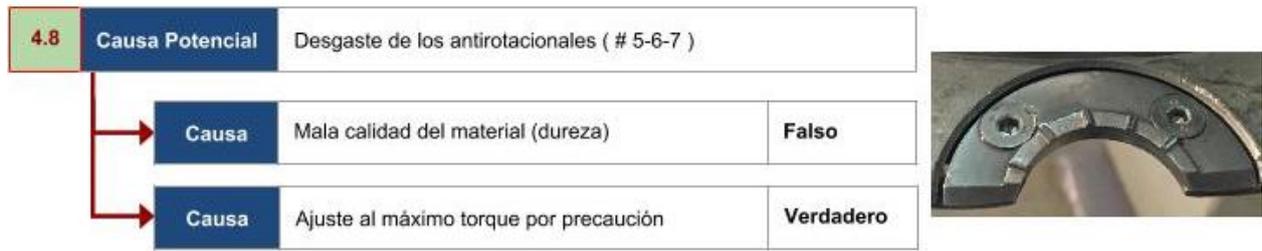


Figura A.63: Técnica 5 Por que´s para la causa 4.8.

- Causa # 4.8.1 Mala calidad del material (dureza).

El personal de la bodega de repuestos y del departamento de mantenimiento indicaron ciertas condiciones para el proceso de admisión de repuestos a la bodega:

- El personal de mantenimiento revisa visualmente todos los repuestos cuando llegan a la empresa.
- Si el repuesto no cumple con las especificaciones solicitadas, no se permite su ingreso a la bodega.
- El departamento de mantenimiento no realiza pruebas de dureza al material de los repuestos, estas son realizadas por el proveedor.

El departamento de mantenimiento proporcionó la prueba de dureza de los antirotacionales otorgada por el proveedor.



Figura A.64: Prueba de dureza de los antirotacionales

A través de la prueba de dureza mostrado en la figura A.64 y todas las condiciones mencionadas para el ingreso de los repuestos verificamos que el material de los antirotacionales es de buena calidad, por tanto no es una causa raíz.

- Causa # 4.8.2 Ajuste al máximo torque por precaución.

Esta causa fue determinada previamente como una Causa Potencial.

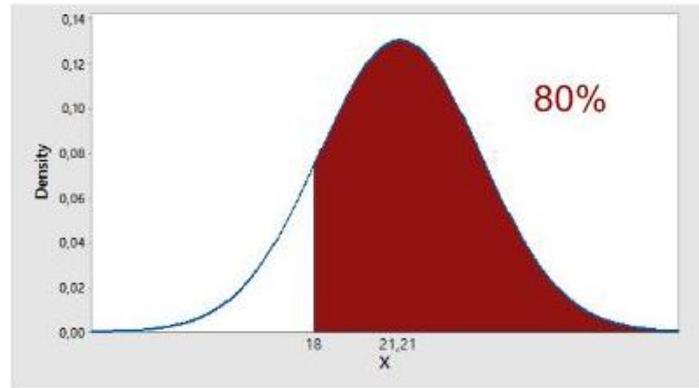


Figura A.65: Técnica 5 Por qué's para la causa # 4.8.2.

En la figura A.65, el 80% de los valores de torque obtenidos anteriormente, se encuentran sobre el Límite Superior de Especificación, el cual es 18 in.lb. Por tanto es una causa raíz.

- Causa # 5.2.

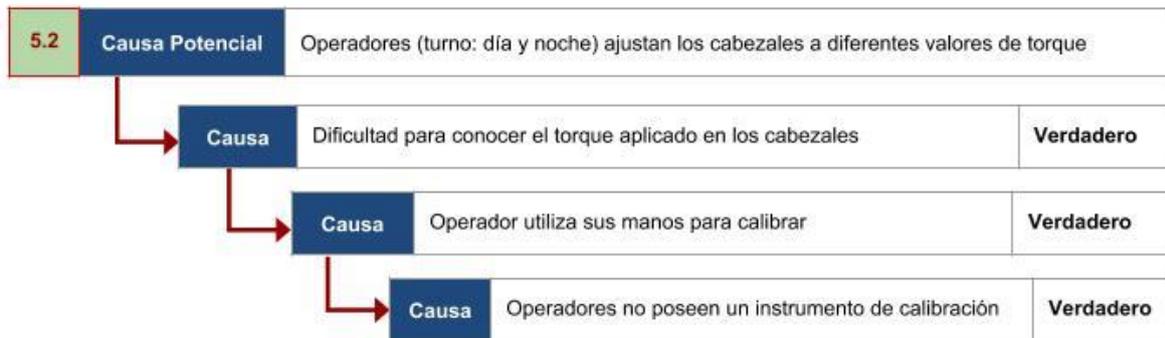


Figura A.66: Técnica 5 Por qué's para la causa 5.2.

- Causa # 5.2.1 Dificultad para conocer el torque aplicado en los cabezales.

Los operadores de la línea ajustan las placas magnéticas de los cabezales sin retirarlos de la máquina encapsuladora. En ningún momento se retiran los roscadores para su verificación en el torquímetro debido a que esto representa un tiempo considerable y solo se tiene una hora para el set up de la máquina, por ello esta es una causa.

- Causa # 5.2.1.1 Operador utiliza sus manos para calibrar.

La metodología de calibración utilizada por los operadores es como se muestra a continuación:

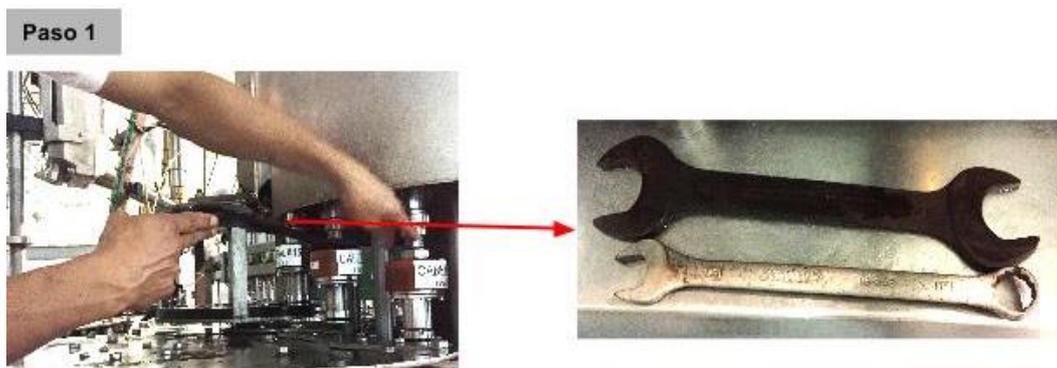


Figura A.67: Desajuste roscador con llave de 1 y 2.5 pulgadas.

El operador utiliza una llave de 1 pulgada y una llave de 2.5 pulgadas para desajustar el perno de rosca inversa y así liberar los roscadores, como se muestra en la figura A.67.



Figura A.68: Calibración de roscador.

Como se muestra en la figura A.68: el operador utiliza ambas manos para mover el roscador y calibrarlo con el torque deseado. A mayor separación entre las placas menor será el torque, mientras que a menor separación entre las placas mayor será el torque. El operador se guía con sus manos y su experiencia para realizar la calibración. Por este motivo es una causa.

- Causa # 5.2.1.1.1 Operadores no poseen un instrumento de calibración.

De acuerdo a la metodología de calibración utilizada por los operadores, ellos no utilizan un instrumento de calibración para ajustar las placas magnéticas, solamente utilizan sus manos y la experiencia para conocer el número de vueltas necesarias para el roscador, como se muestra en la figura A.69.



Figura A.69: Herramientas utilizadas en el proceso de calibración.

Las llaves son utilizadas únicamente para desajustar el perno de rosca inversa, la calibración del roscador se realiza con las manos. Por tanto es una causa raíz.

- Causa # 5.3

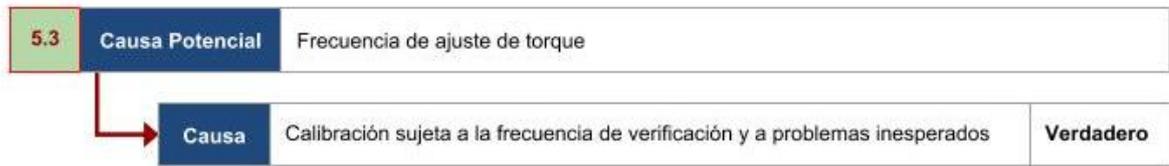


Figura A.70: Técnica 5 Por qué's para la causa 5.3.

- Causa # 5.3.1 Calibración sujeta a la frecuencia de verificación y a problemas inesperados.

El departamento de calidad posee un plan de inspección de envasado, donde se establece como frecuencia para el control de capsulado que el operador debe realizar la verificación de torque entre cada cambio de formato.

MATRIZ:		PLAN DE INSPECCIÓN DE ENVASADO							
CÓDIGO: PA-AC-12		FECHA DE APROBACIÓN: 24 OCTUBRE 2013							
Nº DE EDICIÓN: 0		PÁG. 1 / 1							
OBJETIVO:				ALCANCES:					
Realizar los análisis de calidad respectivos para asegurar que el producto obtenido del proceso de envasado cumple los parámetros de calidad establecidos.				Aplica a todas las actividades de inspección y verificación realizadas a las muestras obtenidas en el área de envasado e incluye las acciones inmediatas a tomar que permitirán corregir la desviación obtenida durante el proceso.					
TIPO DE ANÁLISIS / VARIABLE DE CALIDAD	CRITERIOS DE ACEPTACIÓN	METODO PARA REALIZAR EL ANÁLISIS	FRECUENCIA / RESPONSABLE DE REALIZAR EL ANÁLISIS	FORMATO DE REGISTRO	ACCIONES A TOMAR EN CASO DE DESVIACIONES	RESPONSABLE DE EJECUTAR LAS ACCIONES			
CONTROL DE CAPSULADO (TORQUE)	8 – 18 lb-pulg (28mm)	Según Instructivo (IT-AC-25) Comprobación de Torque de Remoción.	Operador de llenado cada cambio de formato	(FO-PR-07) Registro de Control de Proceso de llenado.	- Detener la producción. - Avisar al Supervisor Producción / Control de Calidad - Aplicar el Procedimiento de Producto No Conforme (PR-AC-01), en caso de tener producto en línea que presente desviación menor al nominal.	Operador de llenado			
	8 – 18 lb-pulg (Sport caps 28mm)					Inspector de Calidad 1 vez por turno.	FO-AC-18 Control de Envasado	- Analizar las causas que originaron el problema y tomar las acciones necesarias utilizando para ello el procedimiento "Acciones Correctivas y Preventivas" (PR-SC-03)	Supervisor de Producción
	8 – 18 lb-Pulg (Tapa 1881)								Inspector de Calidad.

Figura A.71: Plan de Inspección de Envasado

A pesar de la frecuencia establecida, mostrada en la figura A.71, los operadores no realizan la verificación en el lapso de tiempo esperado. Por ello se la considera una causa raíz.

Plan de Implementación de soluciones

- Soluciones de las causas raíces perteneciente a la causa potencial # 5.2.

Tabla 32: Plan de Implementación para la causa potencial # 5.2.

Causa Potencial	5.2 Desgaste de los rodamientos del roscador.
Causa Raíz	Ajuste al máximo torque por precaución.
¿Cuál es la Solución?	4.5.A Cambiar los rodamientos del roscador - <u>Solución a corto plazo.</u>
¿Por qué es importante implementarlo?	Porque los rodamientos están desgastados y no permite rotar bien.
¿Cómo será implementado?	1. Programar con el Departamento de Mantenimiento el cambio de pieza. 2. Técnico de Mantenimiento cambia el rodamiento del roscador.
¿Dónde será implementado?	Rodamientos del roscador # 5 - 6 - 7 -13 de la línea # 1.
¿Quién es el responsable de implementarlo?	Supervisor de Mantenimiento de la línea # 1.
¿Cuánto cuesta la implementación?	Costo Total = \$ 32,48
¿Cuándo será implementado?	23 / julio / 2016
Estado de la implementación	Finalizado.

- Soluciones de las causas raíces perteneciente a la causa potencial # 4.7.

Tabla 33: Plan de Implementación para la causa potencial # 4.7.

Causa Potencial	4.7 Desgaste de los o-ring.		
Causa Raíz	Operadores no conocen la frecuencia de cambio de los o-ring.		
¿Cuál es la Solución?	4.7.A Cambiar los o-ring <u>Solución a corto plazo.</u>	4.7.B Diseñar la política de cambio de o-ring.	
		4.7.B.1 Determinar la frecuencia de cambio de o-ring.	4.7.B.2 Determinar la frecuencia de control visual.
¿Por qué es importante?	Porque no pueden sostener las esferas del chuck.	Porque no deben exceder el tiempo de vida útil.	Porque es posible detectar los o-ring en malas condiciones.
¿Cómo será implementada?	1. Mantenimiento solicita o-ring a bodega de repuestos. 2. Operador lo cambia.	1. Analizar el tiempo de vida útil del o-ring. 2. Solicitar aprobación de la política al departamento de calidad. 3. Comunicar la política a través de lección de un punto.	
¿Dónde?	Línea # 1 (todos los 15 cabezales).		
¿Quién es el responsable?	Líderes del proyecto: Pincay Daniela y Silva Jéssica.		
¿Cuánto cuesta la implementación?	Costo Total = \$ 15,00	Costo Total = \$ 0,00	
¿Cuándo?	23 / julio / 2016	23 / julio / 2016 - 27 / agosto /2016	
Estado	Finalizado.	Finalizado.	

Implementación de Soluciones

- Solución 4.5.A.

4.5.A	Solución	Cambiar los rodamientos del roscador - <u>Solución a Corto Plazo</u>
--------------	-----------------	--



Figura A.72: Cambio de rodamientos del roscador.

Con ayuda del personal de mantenimiento se realizó el cambio de los rodamientos de los 15 roscadores, como se muestra en la figura A.72.

- Solución 4.7.A

4.7.A	Solución	Cambiar los o-rings - <u>Solución a Corto Plazo</u>
--------------	-----------------	---



Figura A.73: Cambio de o-rings.

Con ayuda del personal de mantenimiento se realizó el cambio de los o-rings de cada uno de los chucks correspondientes a los 15 cabezales, como se muestra en la figura A.73.

- Solución 4.7.B.

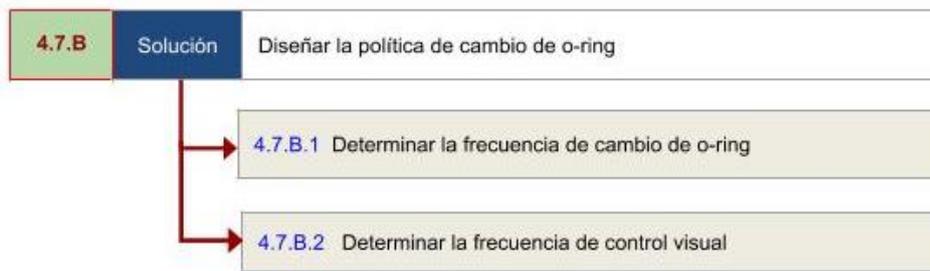


Figura A.74: Diseño de Política de O-ring.

Para determinar tanto la frecuencia de cambio como también la frecuencia de control visual se cambiaron todos los o-rings y se realizó un seguimiento a cada uno de ellos por varias semanas. Este estudio se llevó a cabo con la colaboración de los operadores de la línea # 1, quienes compartieron su opinión sobre el estado de cada uno de los o-rings.

Observaciones del seguimiento:

- Todos los 15 o-rings fueron cambiados por unos nuevos el 23/Julio/2016.
- La línea # 1 no trabajó el 24/Julio/2016 and 25/Julio/2016.
- Control Visual fue realizado el 30/Julio/2016, 09/Agosto/2016 y 11/Agosto/2016 (registrando las horas de operación de la máquina encapsuladora).
- El estado de los o-rings fue registrado según el estado en que se encontraba: bueno, malo o neutral. (de acuerdo a la experiencia de los operadores).
- Cuando el estado es malo, es tiempo de cambiar por un nuevo o-ring.



Figura A.75: Estado de los o-rings.

En la tabla 34 se muestra el seguimiento del estado del o-ring en cada uno de los 15 cabezales.

Tabla 34: Seguimiento de O-rings.

CONTROL VISUAL: E ESTADO DE UN NUEVO O-RING																	
Día	26 jul	27 jul	28 jul	29 jul	30 jul	31 jul	1 ag	2 ag	3 ag	4 ag	5 ag	6 ag	7 ag	8 ag	9 ag	10 ag	11 ag
Horas trabajadas					67										167		206
O-ring # 1					⊖										⊗		⊕
O-ring # 2					⊕										⊖		⊗
O-ring # 3					⊖										⊖		⊗
O-ring # 4					⊖										⊖		⊗
O-ring # 5					⊕										⊖		⊗
O-ring # 6					⊖										⊖		⊗
O-ring # 7					⊖										⊖		⊗
O-ring # 8					⊕										⊖		⊗
O-ring # 9					⊕										⊖		⊗
O-ring # 10					⊕										⊖		⊗
O-ring # 11					⊖										⊖		⊗
O-ring # 12					⊖										⊖		⊗
O-ring # 13					⊕										⊖		⊗
O-ring # 14					⊕										⊖		⊗
O-ring # 15					⊖										⊗		⊕

- Solución # 4.7.B.2 Determinar la frecuencia de control visual.

De acuerdo al seguimiento realizado a cada uno de los o-rings y al análisis realizado con los operadores de la línea # 1, se estableció como frecuencia para el control visual del estado de los o-rings 1 Semana.

- Solución # 4.7.B.2 Determinar la frecuencia de cambio de o-ring

La tabla 35 muestra el resumen de las horas de vida operacional de los o-rings de cada cabezal:

Tabla 35: Resumen del promedio de horas de vida operacional de los o-rings.

RESUMEN			
# Chuck	Promedio de Horas de Vida Operacional	# Chuck	Promedio de Horas de Vida Operacional
1	167 Horas	9	206 Horas
2	206 Horas	10	206 Horas
3	206 Horas	11	206 Horas
4	206 Horas	12	206 Horas
5	206 Horas	13	206 Horas
6	206 Horas	14	206 Horas
7	206 Horas	15	167 Horas
8	206 Horas	VO	200 Horas

El tiempo de vida operacional promedio de los o-rings, considerando el tiempo de cada uno en los 15 chucks, es de 200 horas, pero la recomendación es cambiar todos los o-rings cada **2 Semanas**.

- Solución 5.3.A.
- Solución # 5.3.A.1 Determinar la frecuencia de ajuste de torque.

Tabla 36: Resumen de la data de calibración.

RESUMEN DE LA DATA DE CALIBRACIÓN					
Cabezal	Calibración 23/Julio/2016	Verificación 23/Julio/2016	Verificación 30/Julio/2016	Verificación 11/Agosto/2016	Verificación 18/Agosto/2016
1	18 [in.lb]	18,21 [in.lb]	19,73 [in.lb]	19,69 [in.lb]	19,21 [in.lb]
2	18 [in.lb]	18,13 [in.lb]	19,63 [in.lb]	23,77 [in.lb]	23,61 [in.lb]
3	18 [in.lb]	18,98 [in.lb]	20,38 [in.lb]	19,90 [in.lb]	19,90 [in.lb]
4	18 [in.lb]	18,66 [in.lb]	18,72 [in.lb]	17,16 [in.lb]	18,61 [in.lb]
5	18 [in.lb]	18,37 [in.lb]	19,45 [in.lb]	17,77 [in.lb]	18,95 [in.lb]
6	18 [in.lb]	18,26 [in.lb]	18,96 [in.lb]	15,92 [in.lb]	18,60 [in.lb]
7	18 [in.lb]	18,28 [in.lb]	18,84 [in.lb]	23,45 [in.lb]	23,23 [in.lb]
8	18 [in.lb]	18,52 [in.lb]	19,42 [in.lb]	18,04 [in.lb]	18,68 [in.lb]
9	18 [in.lb]	18,10 [in.lb]	18,63 [in.lb]	15,61 [in.lb]	17,88 [in.lb]
10	18 [in.lb]	18,79 [in.lb]	23,57 [in.lb]	21,97 [in.lb]	19,47 [in.lb]
11	18 [in.lb]	18,36 [in.lb]	22,06 [in.lb]	22,67 [in.lb]	19,05 [in.lb]
12	18 [in.lb]	18,25 [in.lb]	20,37 [in.lb]	23,02 [in.lb]	25,55 [in.lb]
13	18 [in.lb]	18,67 [in.lb]	28,09 [in.lb]	18,88 [in.lb]	18,50 [in.lb]
14	18 [in.lb]	18,64 [in.lb]	19,21 [in.lb]	20,15 [in.lb]	19,62 [in.lb]
15	18 [in.lb]	18,55 [in.lb]	22,88 [in.lb]	21,19 [in.lb]	17,60 [in.lb]

- Solución # 5.3.A.2 Determinar los valores de torque para calibrar el cabezal.
 - Primera Etapa: Proceso de Encapsulado.

Prueba de Normalidad

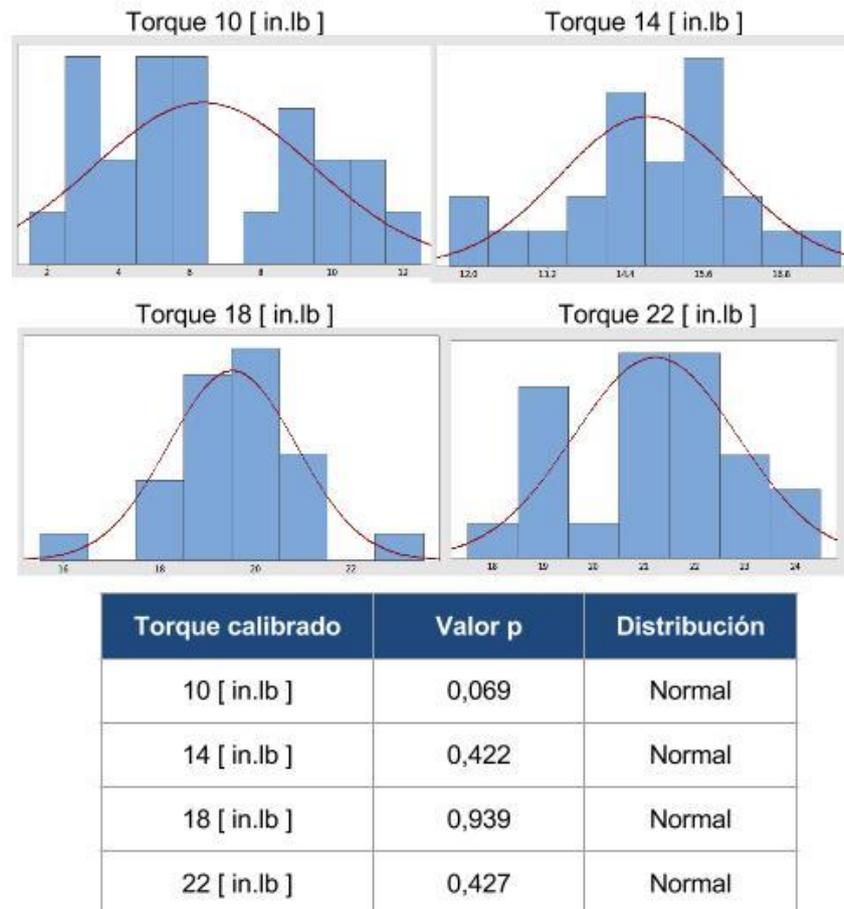


Figura A.77: Prueba de Normalidad del torque calibrado.

En la figura A.77, considerando un valor p mayor a 0,05 para todos los torques calibrados, se concluye que la data posee una distribución Normal.

Supuestos

Validación del modelo propuesto.

- Homogeneidad de Varianza.

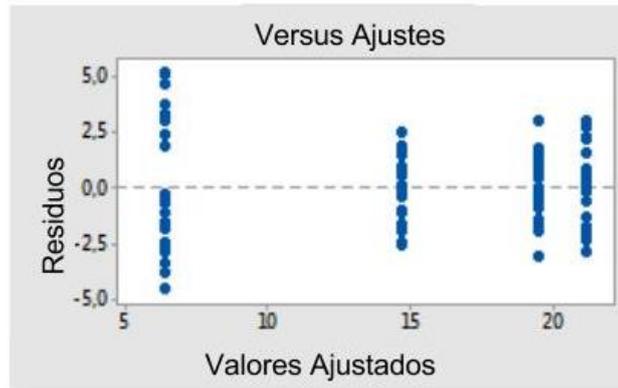


Figura A.78: Prueba de Homogeneidad de Varianza.

La gráfica A.78, Residuos vs Valores Ajustados, no presentan ningún tipo de tendencias, por lo tanto se demuestra que la varianza es homogénea.

- Normalidad del Error.

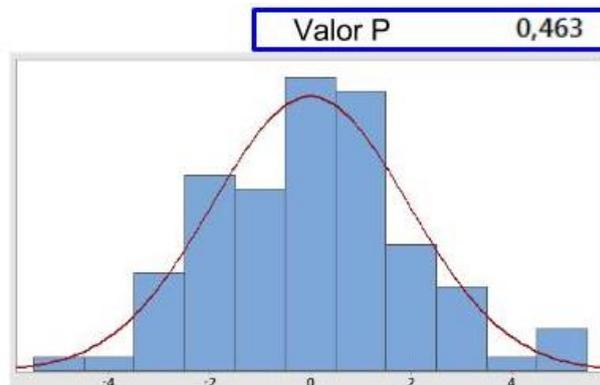


Figura A.79: Prueba de Normalidad del error.

En la figura A.79, considerando un valor $p = 0,463$ se concluye que la data de los residuos poseen distribución normal.

- Independencia del Error.

El DOE posee solo un factor y las muestras fueron tomadas aleatoriamente, por tanto el Error es independiente.

El Modelo Propuesto cumple con todos los supuestos.

- Segunda Etapa: Proceso de Empacado.

Prueba de Normalidad

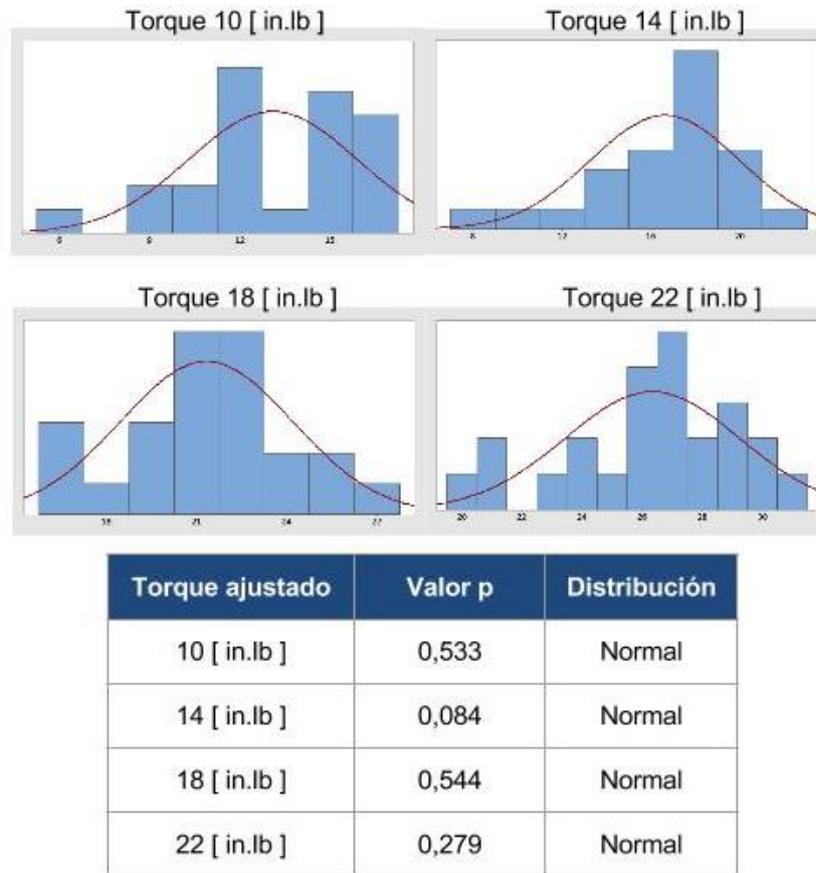


Figura A.80: Prueba de Normalidad del torque ajustado.

En la figura A.80, considerando un valor p mayor a 0,05 para todos los torques ajustados, se concluye que la data posee una distribución Normal.

Supuestos

Validación del modelo propuesto.

- Homogeneidad de Varianza.

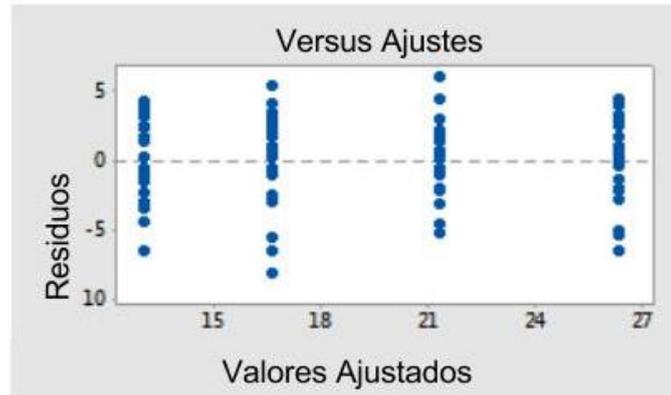


Figura A.81: Prueba de Homogeneidad de Varianza.

La gráfica A.81, Residuos vs Valores Ajustados, no presentan ningún tipo de tendencias, por lo tanto se demuestra que la varianza es homogénea.

- Normalidad del Error.

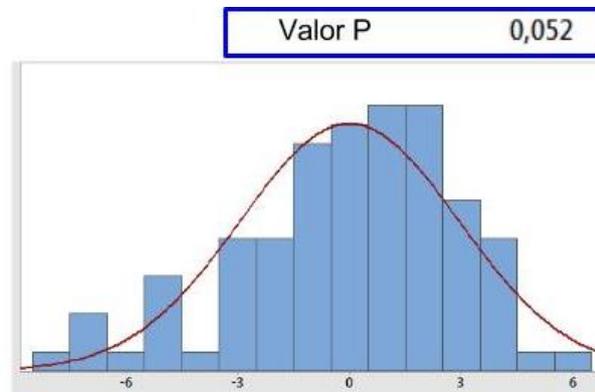


Figura A.82: Prueba de Normalidad del error.

En la figura A.82, considerando un valor $p = 0,052$ se concluye que la data de los residuos poseen distribución normal.

- Independencia del Error.

El DOE posee solo un factor y las muestras fueron tomadas aleatoriamente, por tanto el Error es independiente.

El Modelo Propuesto cumple con todos los supuestos.

- Tercera Etapa: Almacenamiento.

Prueba de Normalidad

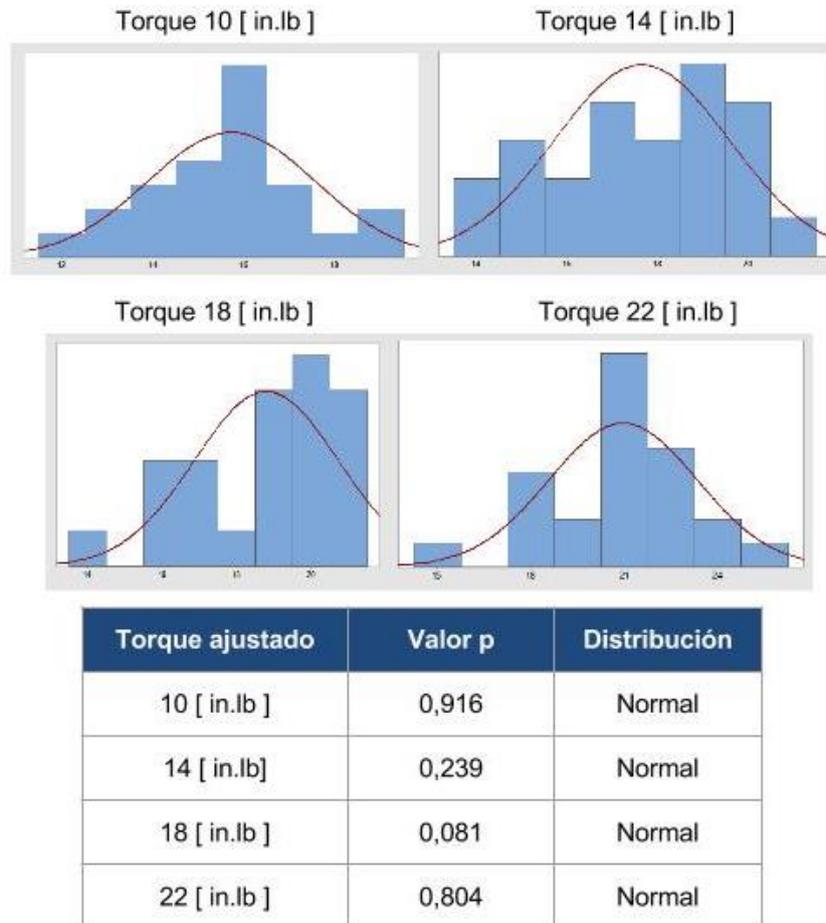


Figura A.83: Prueba de Normalidad del torque ajustado.

En la figura A.83, considerando un valor p mayor a 0,05 para todos los torques ajustados, se concluye que la data posee una distribución Normal.

Supuestos

Validación del modelo propuesto.

- Homogeneidad de Varianza.

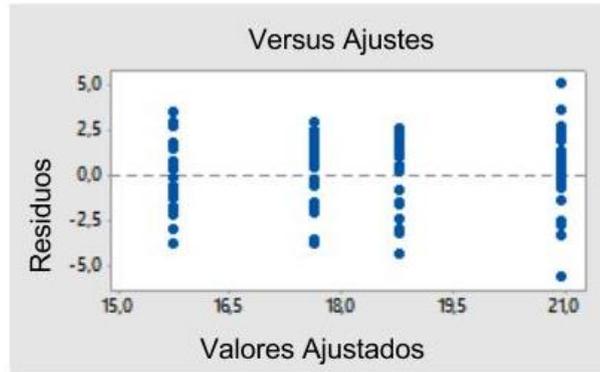


Figura A.84: Prueba de Homogeneidad de Varianza.

La gráfica A.84, Residuos vs Valores Ajustados, no presentan ningún tipo de tendencias, por lo tanto se demuestra que la varianza es homogénea.

- Normalidad del Error.

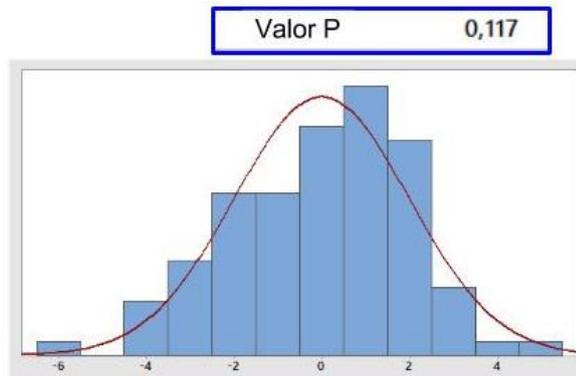


Figura A.85 Prueba de Normalidad del error.

En la figura A.85, considerando un valor $p = 0,117$ se concluye que la data de los residuos poseen distribución normal.

- Independencia del Error.

El DOE posee solo un factor y las muestras fueron tomadas aleatoriamente, por tanto el Error es independiente.

El Modelo Propuesto cumple con todos los supuestos.

Análisis Comparativo de las mejoras

- Análisis Comparativo del Cabezal # 1 de la Encapsuladora - Línea 1.

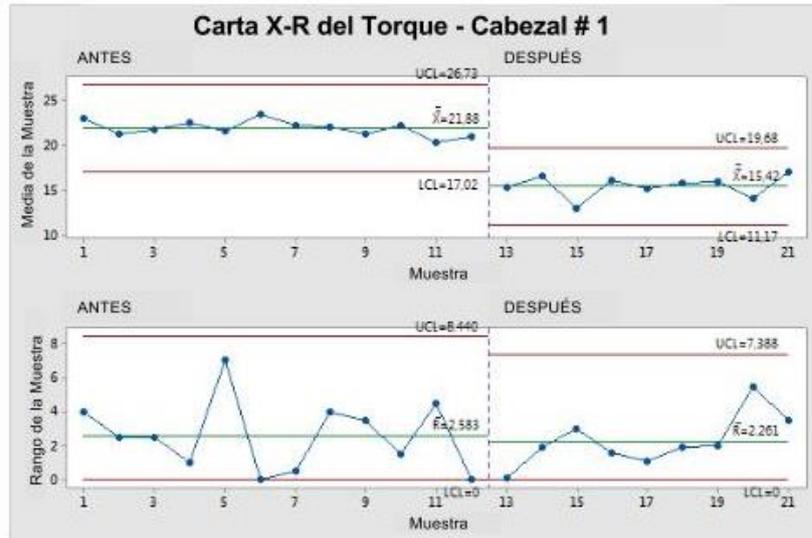


Figura A.86: Carta de Control X-R Comparativo del Cabezal # 1.

La carta de control X-R del cabezal # 1 en la figura A.86 muestra que el proceso se ha mantenido bajo control estadístico con la nueva política de calibración, además se observa una mejora en los límites de las cartas.

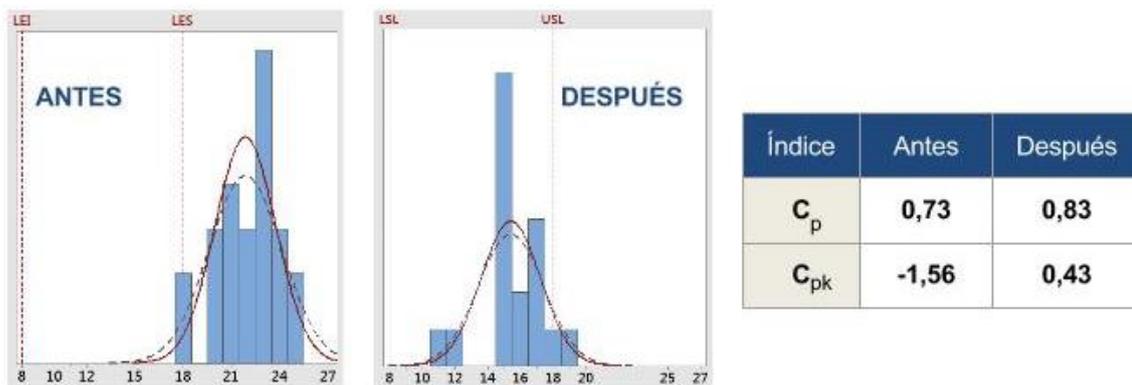


Figura A.87: Análisis Comparativo de Capacidad de Proceso del Cabezal # 1.

Al comparar los índices de capacidad en la figura A.87 se observa una mejora notable entre el antes y el después de la implementación de soluciones. Donde el C_p mejoró del 0,73 al 0,83 y el C_{pk} del -1,56 al 0,43. Aunque el proceso del Cabezal # 1 aún no logra ser capaz, ambos índices son muy cercanos a 1, lo cual es una gran mejoría para cumplir con los límites de especificación [8 - 18] in.lb estipulados por el corporativo.

- Análisis Comparativo del Cabezal # 2 de la Encapsuladora - Línea 1.

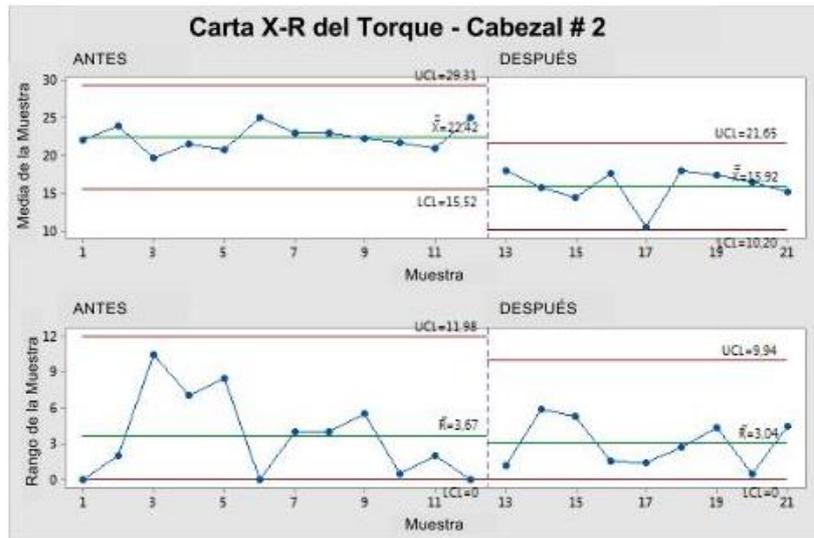


Figura A.88: Carta de Control X-R Comparativo del Cabezal # 2.

La carta de control X-R del cabezal # 2 en la figura A.88 muestra que el proceso se ha mantenido bajo control estadístico con la nueva política de calibración, además se observa una mejora en los límites de las cartas.

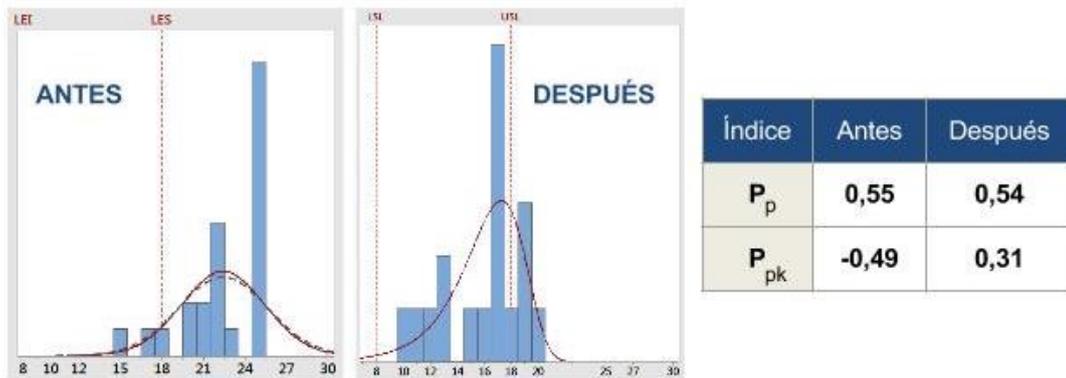


Figura A.89: Análisis Comparativo de Capacidad de Proceso del Cabezal # 2.

Al comparar los índices de capacidad en la figura A.89 se observa una mejora parcial entre el antes y el después de la implementación de soluciones. Donde el P_p cambió del 0,55 al 0,54 y el P_{pk} del -0,49 al 0,31. Aunque el proceso del Cabezal # 2 aún no logra ser capaz, ambos índices son muy cercanos a 1, lo cual es una gran mejora para cumplir con los límites de especificación [8 - 18] in.lb estipulados por el corporativo.

- Análisis Comparativo del Cabezal # 4 de la Encapsuladora - Línea 1.

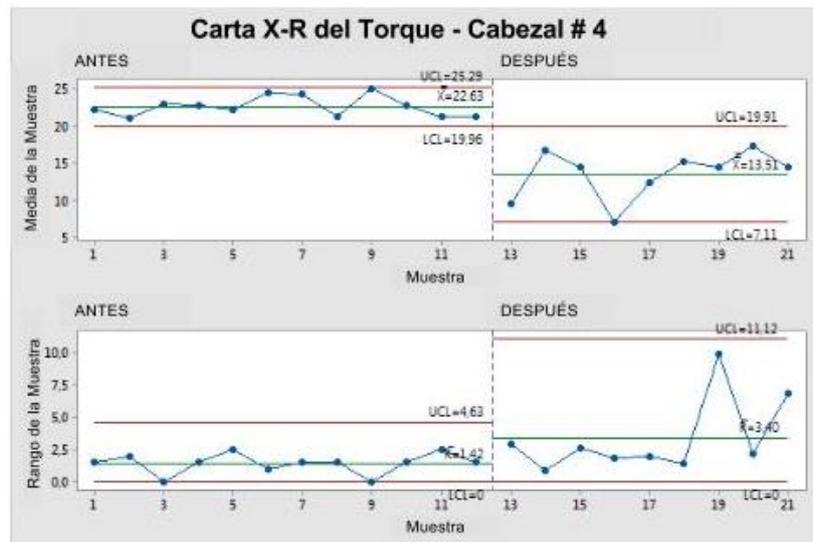


Figura A.90: Carta de Control X-R Comparativo del Cabezal # 4.

La carta de control X-R del cabezal # 4 en la figura A.90 muestra que el proceso se ha mantenido bajo control estadístico con la nueva política de calibración, además se observa una mejora en los límites de las cartas.

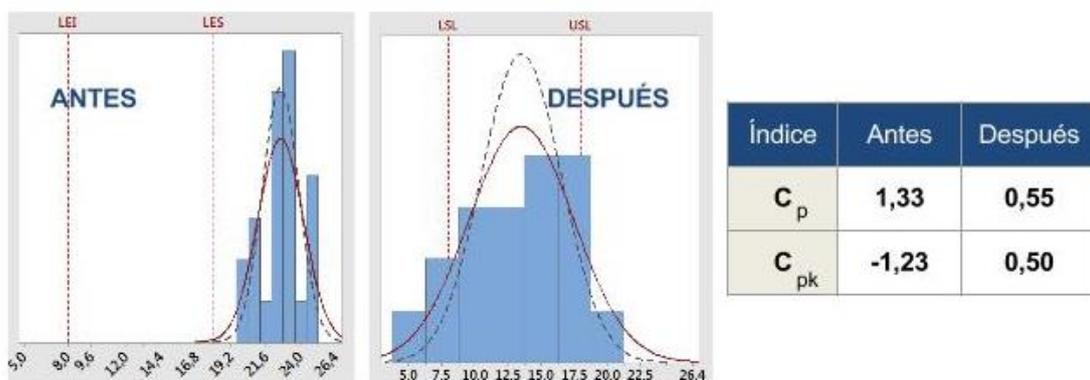


Figura A.91: Análisis Comparativo de Capacidad de Proceso del Cabezal # 4.

Al comparar los índices de capacidad en la figura A.91 se observa una mejora parcial entre el antes y el después de la implementación de soluciones. Donde el C_p cambió del 1,33 al 0,55 y el C_{pk} del -1,23 al 0,50. Aunque el proceso del Cabezal # 4 aún no logra ser capaz, ambos índices son muy cercanos a 1, lo cual es una gran mejora para cumplir con los límites de especificación [8 - 18] in.lb estipulados por el corporativo.

- Análisis Comparativo del Cabezal # 5 de la Encapsuladora - Línea 1.

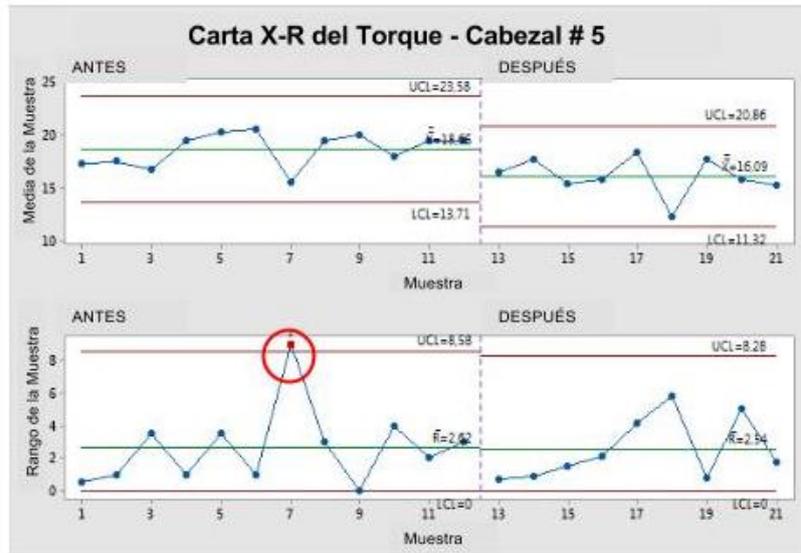


Figura A.92: Carta de Control X-R Comparativo del Cabezal # 5.

La carta de control X-R del cabezal # 5 en la figura A.92 muestra que el proceso pasó a estar bajo control estadístico con la nueva política de calibración, además se observa una mejora en los límites de las cartas.

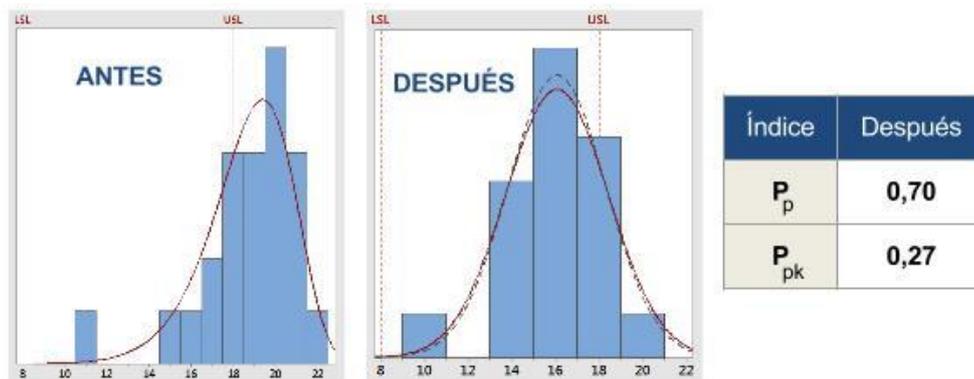


Figura A.93: Análisis Comparativo de Capacidad de Proceso del Cabezal # 5.

Al comparar los índices de capacidad en la figura A.93 se observa una mejora parcial entre el antes y el después de la implementación de soluciones. Donde el P_p cambió del 0,80 al 0,70 y el P_{pk} del -0,21 al 0,27. Aunque el proceso del Cabezal # 5 aún no logra ser capaz, ambos índices son muy cercanos a 1, lo cual es una gran mejoría para cumplir con los límites de especificación [8 - 18] in.lb estipulados por el corporativo.

- Análisis Comparativo del Cabezal # 7 de la Encapsuladora - Línea 1.

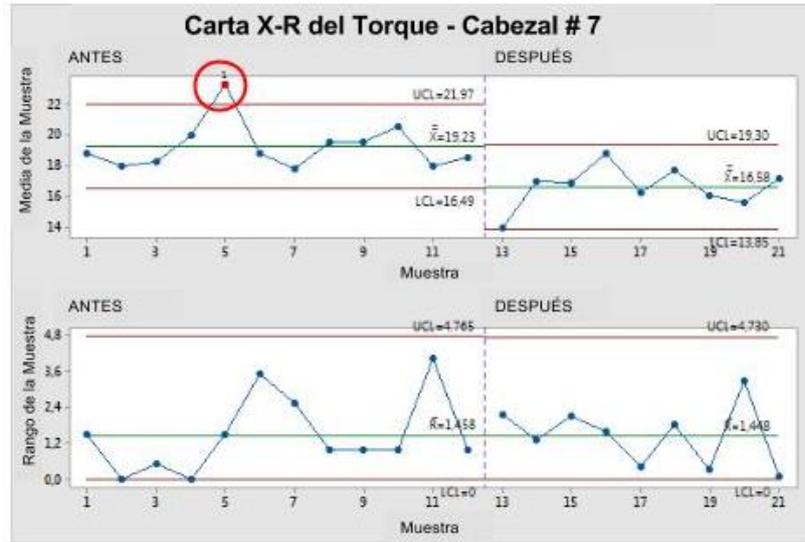


Figura A.94: Carta de Control X-R Comparativo del Cabezal # 7.

La carta de control X-R del cabezal # 7 en la figura A.94 muestra que el proceso pasó a estar bajo control estadístico con la nueva política de calibración, además se observa una mejora en los límites de las cartas.

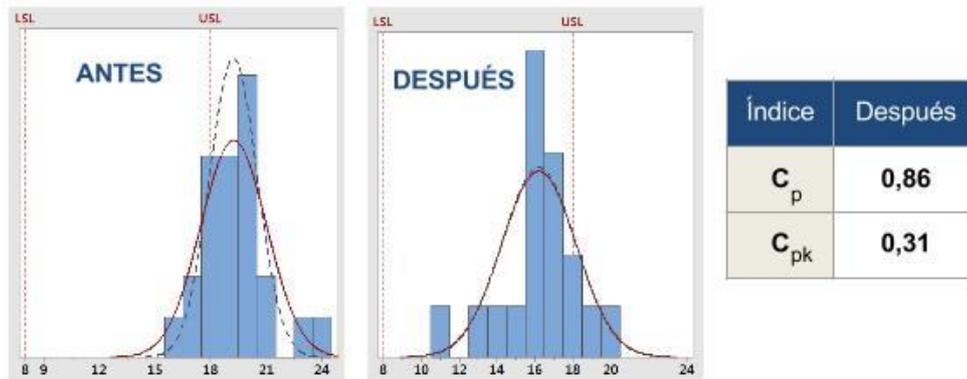


Figura A.95: Análisis Comparativo de Capacidad de Proceso del Cabezal # 7.

Al comparar los índices de capacidad en la figura A.95 se observa una mejora parcial entre el antes y el después de la implementación de soluciones. Donde el C_p cambió del 1,29 al 0,86 y el C_{pk} del -0,32 al 0,31. Aunque el proceso del Cabezal # 7 aún no logra ser capaz, ambos índices son muy cercanos a 1, lo cual es una gran mejoría para cumplir con los límites de especificación [8 - 18] in.lb estipulados por el corporativo.

- Análisis Comparativo del Cabezal # 8 de la Encapsuladora - Línea 1.

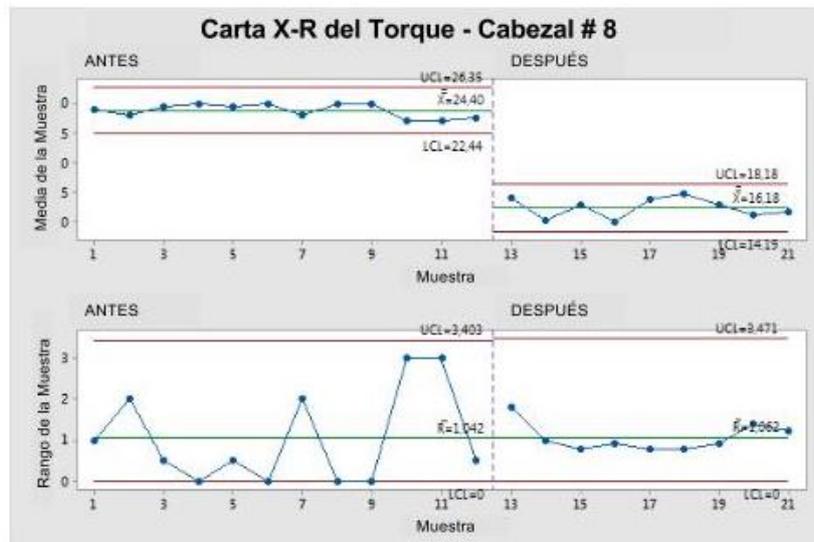


Figura A.96: Carta de Control X-R Comparativo del Cabezal # 8.

La carta de control X-R del cabezal # 8 en la figura A.96 muestra que el proceso se ha mantenido bajo control estadístico con la nueva política de calibración, además se observa una mejora en los límites de las cartas.

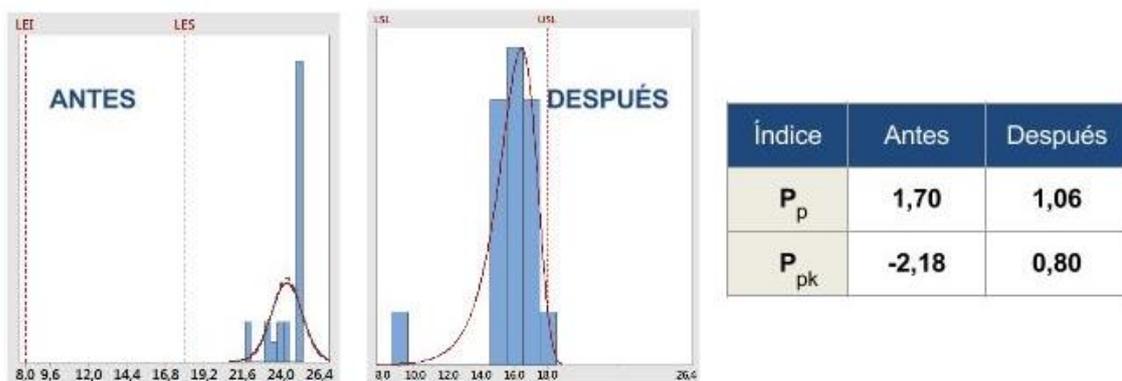


Figura A.97: Análisis Comparativo de Capacidad de Proceso del Cabezal # 8.

Al comparar los índices de capacidad en la figura A.97 se observa una mejora notable entre el antes y el después de la implementación de soluciones. Donde el P_p cambió del 1,70 al 1,06 y el P_{pk} del -2,18 al 0,80. Aunque el proceso del Cabezal # 8 aún no logra ser capaz, ambos índices son muy cercanos a 1, lo cual es una gran mejoría para cumplir con los límites de especificación [8 - 18] in.lb estipulados por el corporativo.

- Análisis Comparativo del Cabezal # 9 de la Encapsuladora - Línea 1.

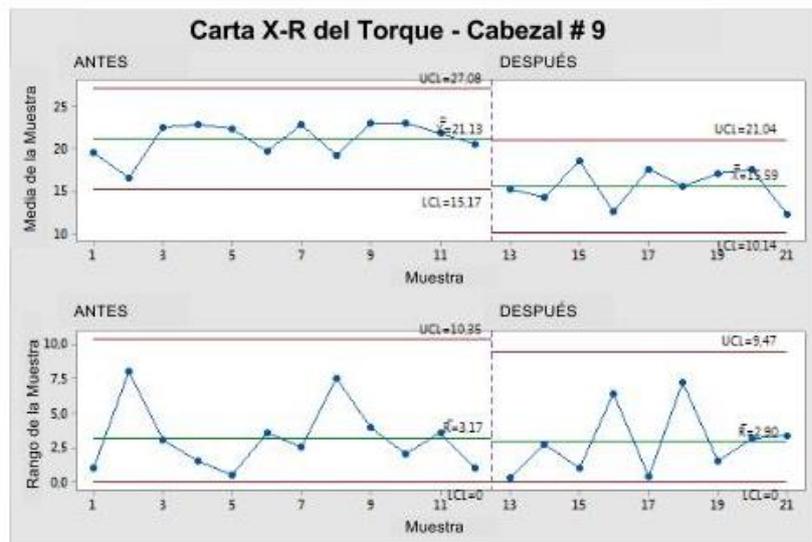


Figura A.98: Carta de Control X-R Comparativo del Cabezal # 9.

La carta de control X-R del cabezal # 9 en la figura A.98 muestra que el proceso se ha mantenido bajo control estadístico con la nueva política de calibración, además se observa una mejora en los límites de las cartas.

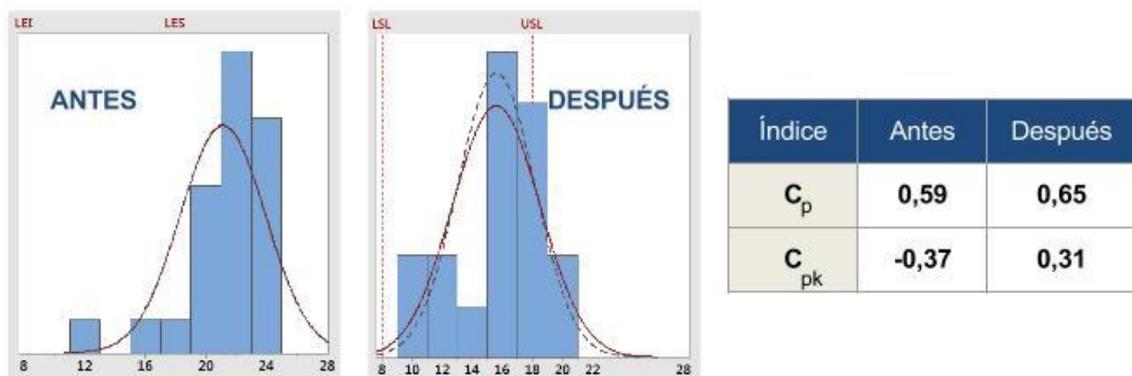


Figura A.99: Análisis Comparativo de Capacidad de Proceso del Cabezal # 9.

Al comparar los índices de capacidad en la figura A.99 se observa una mejora notable entre el antes y el después de la implementación de soluciones. Donde el C_p cambió del 0,59 al 0,65 y el C_{pk} del -0,37 al 0,31. Aunque el proceso del Cabezal # 9 aún no logra ser capaz, ambos índices son muy cercanos a 1, lo cual es una gran mejoría para cumplir con los límites de especificación [8 - 18] in.lb estipulados por el corporativo.

- Análisis Comparativo del Cabezal # 10 de la Encapsuladora - Línea 1.

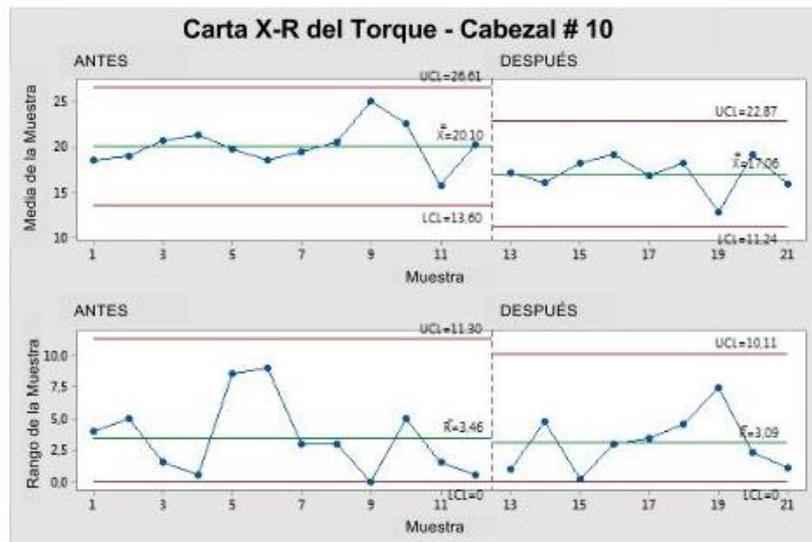


Figura A.100: Carta de Control X-R Comparativo del Cabezal # 10.

La carta de control X-R del cabezal # 10 en la figura A.100 muestra que el proceso se ha mantenido bajo control estadístico con la nueva política de calibración, además se observa una mejora en los límites de las cartas.

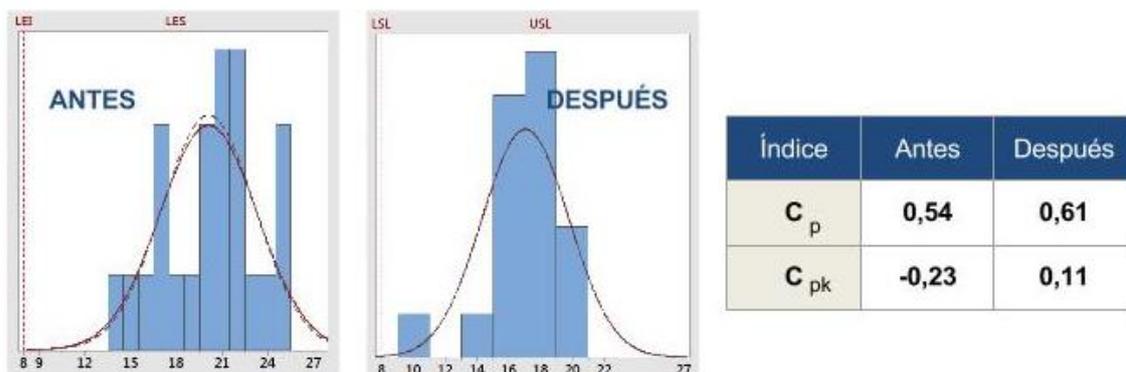


Figura A.101: Análisis Comparativo de Capacidad de Proceso del Cabezal # 10

Al comparar los índices de capacidad en la figura A.101 se observa una mejora notable entre el antes y el después de la implementación de soluciones. Donde el C_p cambió del 0,54 al 0,61 y el C_{pk} del -0,23 al 0,11. Aunque el proceso del Cabezal # 10 aún no logra ser capaz, ambos índices son muy cercanos a 1, lo cual es una gran mejora para cumplir con los límites de especificación [8 - 18] in.lb estipulados por el corporativo.

- Análisis Comparativo del Cabezal # 11 de la Encapsuladora - Línea 1.

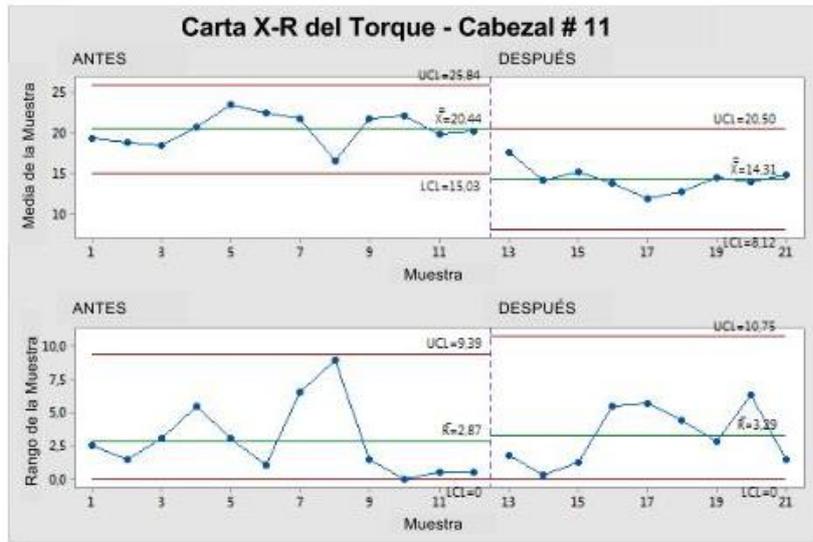


Figura A.102: Carta de Control X-R Comparativo del Cabezal # 11.

La carta de control X-R del cabezal # 11 en la figura A.102 muestra que el proceso se ha mantenido bajo control estadístico con la nueva política de calibración, además se observa una mejora en los límites de las cartas.

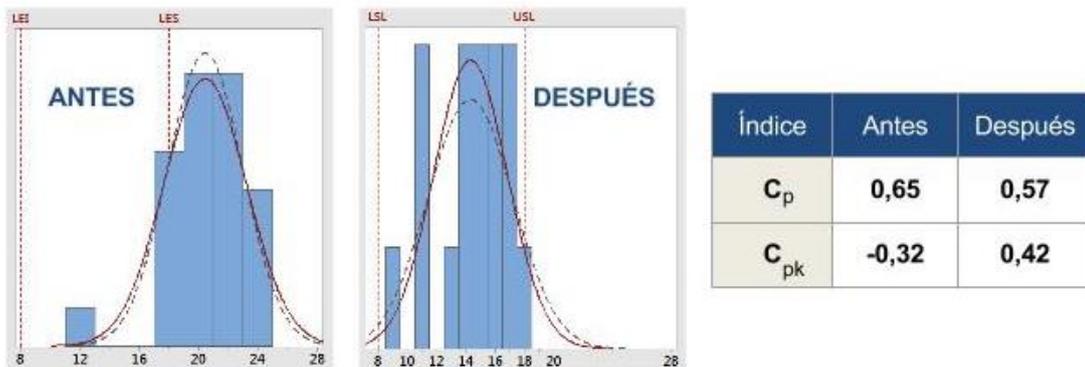


Figura A.103: Análisis Comparativo de Capacidad de Proceso del Cabezal # 11.

Al comparar los índices de capacidad en la figura A.103 se observa una mejora parcial entre el antes y el después de la implementación de soluciones. Donde el C_p cambió del 0,65 al 0,57 y el C_{pk} del -0,32 al 0,42. Aunque el proceso del Cabezal # 11 aún no logra ser capaz, ambos índices son muy cercanos a 1, lo cual es una gran mejoría para cumplir con los límites de especificación [8 - 18] in.lb estipulados por el corporativo.

- Análisis Comparativo del Cabezal # 12 de la Encapsuladora - Línea 1.

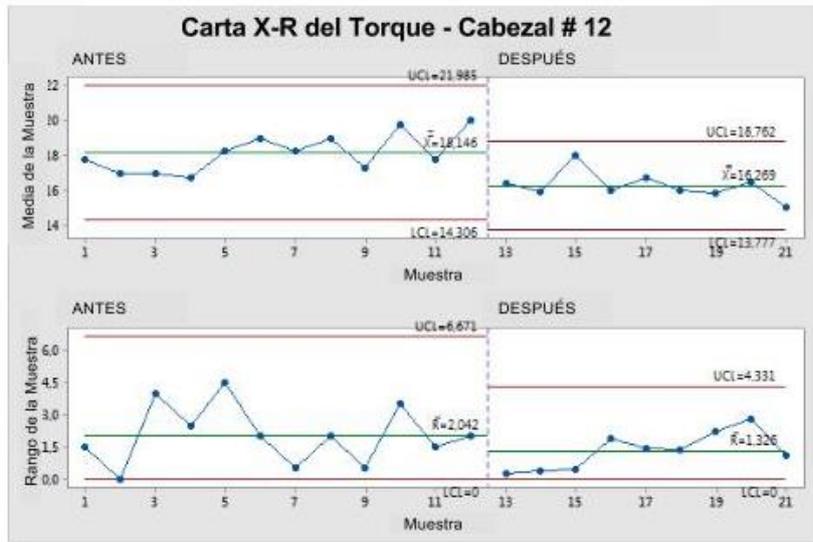


Figura A.104: Carta de Control X-R Comparativo del Cabezal # 12.

La carta de control X-R del cabezal # 12 en la figura A.104 muestra que el proceso se ha mantenido bajo control estadístico con la nueva política de calibración, además se observa una mejora en los límites de las cartas.

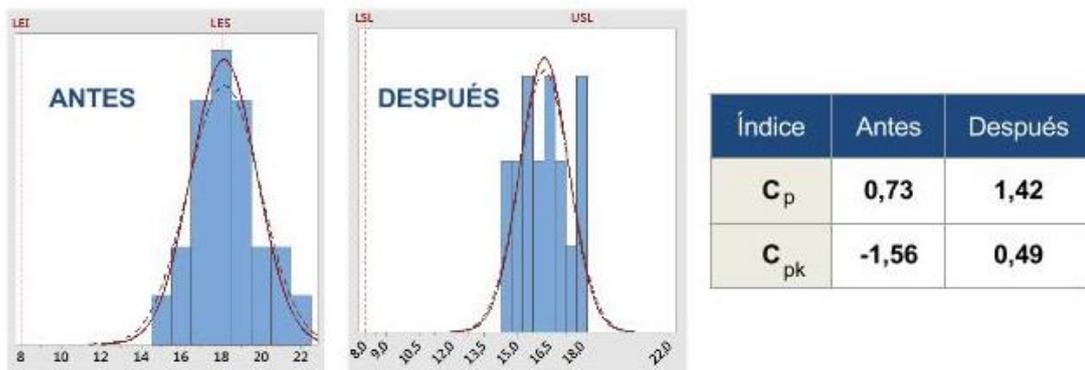


Figura A.105: Análisis Comparativo de Capacidad de Proceso del Cabezal # 12.

Al comparar los índices de capacidad en la figura A.105 se observa una mejora notable entre el antes y el después de la implementación de soluciones. Donde el C_p cambió del 0,73 al 1,42 y el C_{pk} del -1,56 al 0,49. Aunque el proceso del Cabezal # 12 aún no logra ser capaz, ambos índices son muy cercanos a 1, lo cual es una gran mejoría para cumplir con los límites de especificación [8 - 18] in.lb estipulados por el corporativo.

- Análisis Comparativo del Cabezal # 13 de la Encapsuladora - Línea 1.

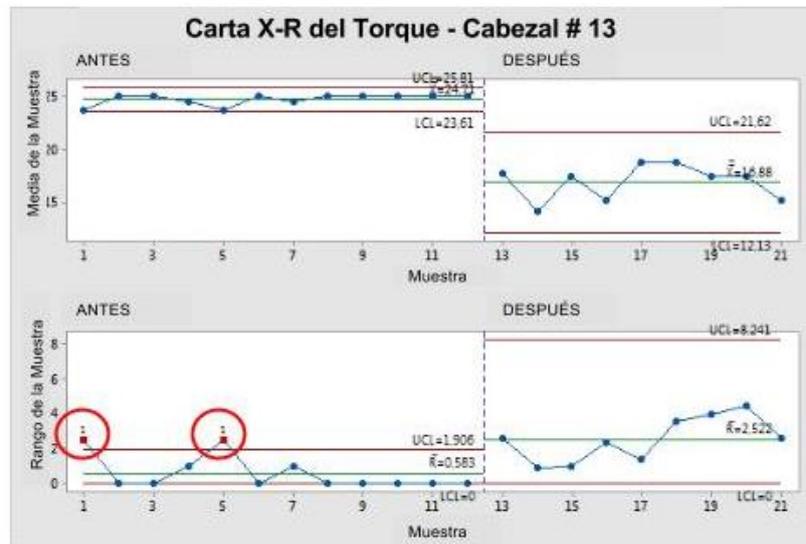


Figura A.106: Carta de Control X-R Comparativo del Cabezal # 13.

La carta de control X-R del cabezal # 13 en la figura A.106 muestra que el proceso pasó a estar bajo control estadístico con la nueva política de calibración, además se observa una mejora en los límites de las cartas.

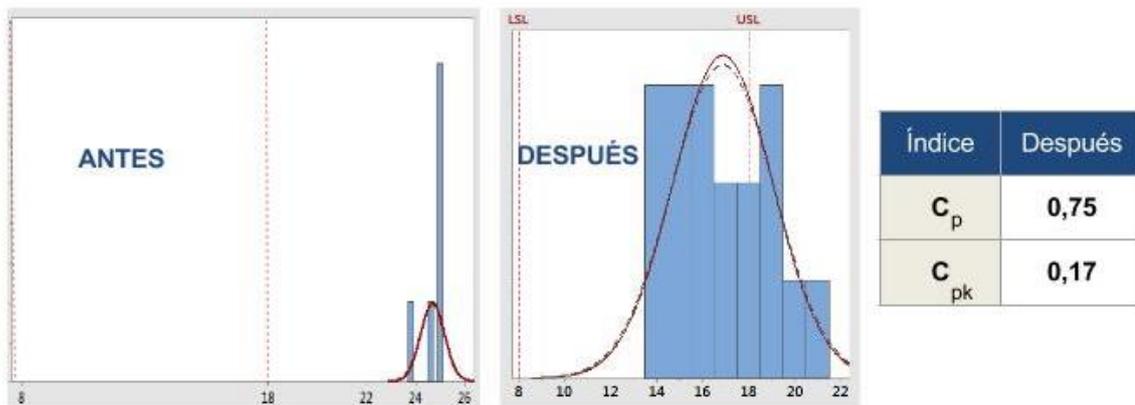


Figura A.107: Análisis Comparativo de Capacidad de Proceso del Cabezal # 13.

Al comparar los índices de capacidad en la figura A.107 se observa una mejora notable entre el antes y el después de la implementación de soluciones. Anteriormente el comportamiento del cabezal no poseía una distribución conocida, lo cual impedía determinar la capacidad del proceso.

Con las soluciones implementadas se puede observar que el proceso posee una distribución normal con $C_p = 0,75$ y $C_{pk} = 0,17$. Aunque el proceso del Cabezal # 13 aún no logra ser capaz, ambos índices son muy cercanos a 1, lo cual es una gran mejoría para cumplir con los límites de especificación [8 - 18] in.lb estipulados por el corporativo.

- Análisis Comparativo del Cabezal # 14 de la Encapsuladora - Línea 1.

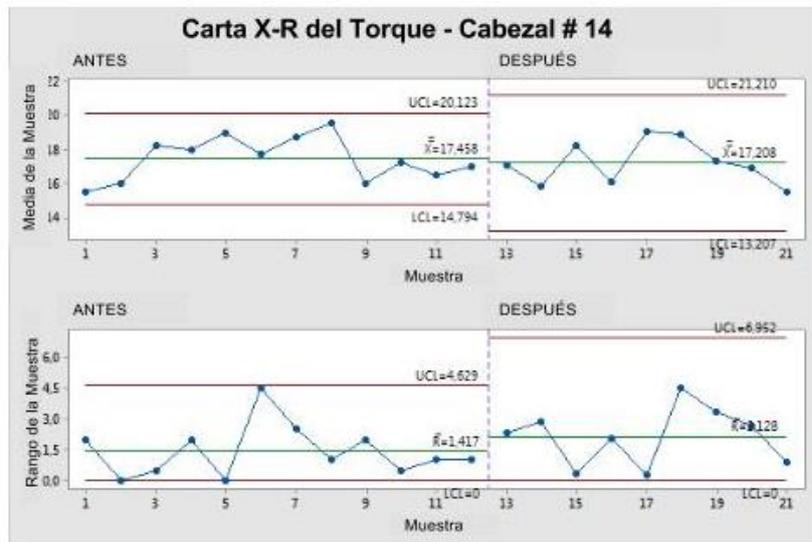


Figura A.108: Carta de Control X-R Comparativo del Cabezal # 14.

La carta de control X-R del cabezal # 14 en la figura A.108 muestra que el proceso se ha mantenido bajo control estadístico con la nueva política de calibración, además se observa una mejora en los límites de las cartas.

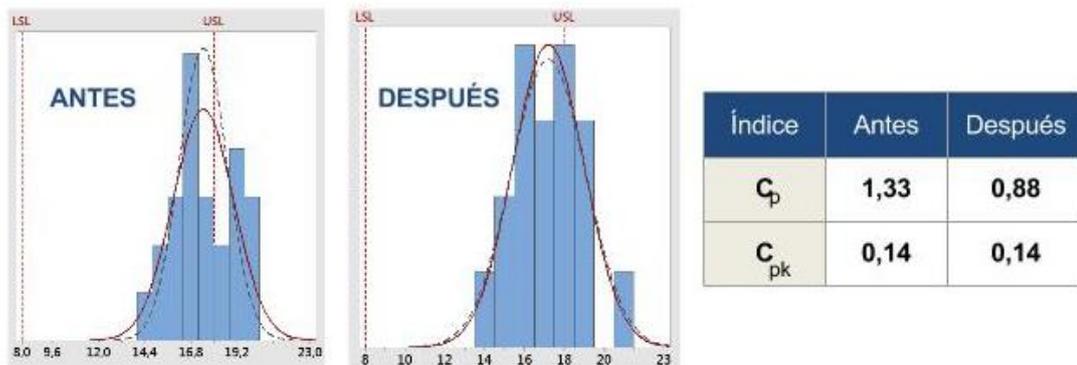


Figura A.109: Análisis Comparativo de Capacidad de Proceso del Cabezal # 14.

Al comparar los índices de capacidad en la figura A.109 se observa no hubo mejora entre el antes y el después de la implementación de soluciones. Donde el C_p cambió del 1,33 al 0,88 y el C_{pk} se mantuvo en 0,14. Aunque el proceso del Cabezal # 14 aún no logra ser capaz, ambos índices son muy cercanos a 1, lo cual es una gran mejoría para cumplir con los límites de especificación [8 - 18] in.lb estipulados por el corporativo.

- Análisis Comparativo del Cabezal # 15 de la Encapsuladora - Línea 1.

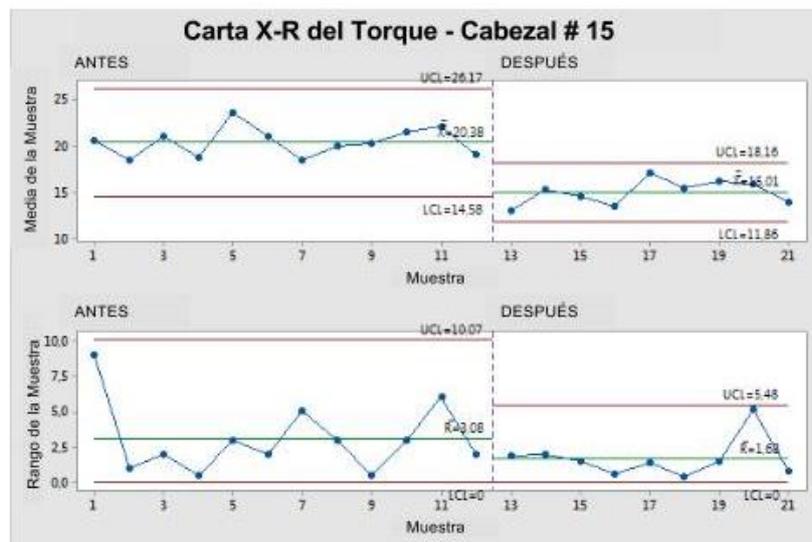


Figura A.110: Carta de Control X-R Comparativo del Cabezal # 15.

La carta de control X-R del cabezal # 15 en la figura A.110 muestra que el proceso se ha mantenido bajo control estadístico con la nueva política de calibración, además se observa una mejora en los límites de las cartas.

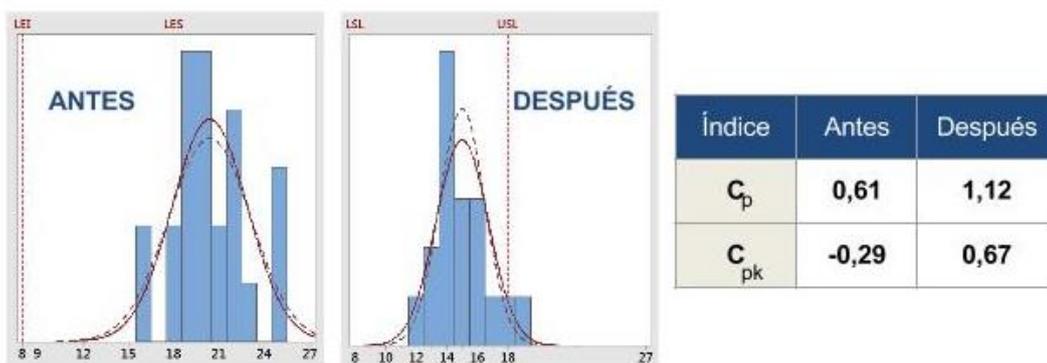


Figura A.111: Análisis Comparativo de Capacidad de Proceso del Cabezal # 15.

Al comparar los índices de capacidad en la figura A.111 se observa una mejora notable entre el antes y el después de la implementación de soluciones. Donde el C_p cambió del 0,61 al 1,12 y el C_{pk} del -0,29 al 0,67. Aunque el proceso del Cabezal # 15 aún no logra ser capaz, ambos índices son muy cercanos a 1, lo cual es una gran mejoría para cumplir con los límites de especificación [8 - 18] in.lb estipulados por el corporativo.