

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO

Colegio de Ciencias e Ingeniería

**La industria plasmada en la línea blanca: mayor eficiencia en sus
piezas para garantizar un perfecto funcionamiento de los
electrodomésticos**

Jaqueline Estefanía Martínez Acosta Silva
Diego Guilcapi, MSc., Director de Tesis

Tesis de Grado presentada como requisito para la obtención del Título de
Ingeniera Industrial

Quito, mayo de 2014

Universidad San Francisco de Quito
Colegio de Ciencias e Ingeniería

HOJA DE APROBACIÓN DE TESIS

**La industria plasmada en la línea blanca: mayor eficiencia en sus
piezas para garantizar un perfecto funcionamiento de los
electrodomésticos**

Jaqueline Estefanía Martínez Acosta Silva

Diego Guilcapi, MSc.

Director de Tesis

.....

Carlos Suárez, Ph.D.

Miembro del Comité de Tesis

.....

Pablo Dávila, Ph.D.

Miembro del Comité de Tesis

.....

Danny Navarrete, MSc.

Miembro del Comité de Tesis

.....

Ximena Córdova, Ph.D.

Decana de la Escuela de Ingeniería

Colegio de Ciencias e Ingeniería

.....

Quito, mayo de 2014

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído la Política de Propiedad Intelectual de la Universidad San Francisco de Quito y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo de investigación quedan sujetos a lo dispuesto en la Política.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo de investigación en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma:

Nombre: Jaqueline Estefanía Martínez Acosta Silva

C. I.: 1716025349

Fecha: Quito, mayo de 2014

DEDICATORIA

Dedico este esfuerzo a mi familia
Julio Martínez Acosta, Jaqueline Silva y
Luis Martínez Acosta que han sido un
gran apoyo y un impulso, se los dedico
con todo mi amor.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por permitir que mis deseos se hagan realidad como el de esta meta académica; a los ejecutivos de la empresa VYM S.A. por brindarme total apoyo y apertura para la realización de este proyecto; a Diego Guilcapi por haberme guiado con profesionalismo y dedicación; y, a mis padres y hermano por estar siempre a mi lado.

Resumen

El presente proyecto aplica el ciclo de Deming utilizando las fases: Planear, Hacer y Verificar en el proceso de la bisagra puerta de horno de la empresa VYM S.A. para aumentar la productividad de dicho producto y disminuir la cantidad de reproceso generado.

Mediante la utilización de diagramas de Pareto, diagramas de flujo y estudio de tiempos estándares se indica que se puede aumentar la productividad en un 12,66%. Por otro lado, a través de herramientas como causa – efecto, 5 por qué, 5W & 1H, diseño de experimentos, análisis de regresión, y diagramas de Pareto se muestra cómo se reducirán los reproceso en un intervalo de 0,46% a 4,42%.

A partir de todas las herramientas utilizadas se proponen mejoras en la bisagra puerta de horno y se calcula el ahorro en la empresa al tener mejor calidad en sus piezas y aumento en la productividad.

Abstract

This project applies the Deming cycle using the phases: Plan, Do and Check. The cycle is applied in the process of an oven door hinge at the company VYM S.A. so that the productivity of the product increases and the amount of reprocess generated decreases.

Using Pareto charts, flow charts and standard times it will be established that productivity can increase by 12.66%. On the other hand, with the tools of cause - effect, 5 why, 5W& 1H, design of experiments, analysis regression and Pareto charts its shown how the amount of reprocess can be reduced in 0.46 % to 4.42 %.

We propose improvements for the oven door hinge and estimate the possible savings for the company. This will allow VYM S.A.to have better quality oven door hinges and to increase their productivity.

TABLA DE CONTENIDO

Resumen	7
Abstract	8
INTRODUCCIÓN	16
OBJETIVOS	17
Objetivo General	17
Objetivos Específicos.....	17
JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.....	17
REVISIÓN DE LITERATURA	18
CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO.....	21
1.1 Ciclo de Deming	21
1.2 Fase Planear	21
1.2.1 Diagrama de Pareto	22
1.2.2 Diagrama de Flujo	22
1.2.3 Project Charter.....	23
1.3 Fase Hacer	24
1.3.1 Análisis de tiempos y de actividades.....	24
1.3.2 Estudio de tiempos	25
1.3.2.1 Ciclos del Estudio.....	25
1.3.2.2 Calificaciones del Desempeño.....	26
1.3.2.3 Suplementos	29
1.3.2.4 Tiempo estándar.....	32
1.3.3 Diagrama de Pescado.....	32
1.3.4 Inferencia sobre una proporción de una población.....	33
1.3.4.1 Elección del tamaño de la muestra	33
1.3.4.2 Intervalo de confianza para una proporción binomial	34
1.3.5 Diseño Estadístico de Experimentos (DOE)	35
1.3.6 Hoja de Verificación.....	36
1.3.7 Mantenimiento Productivo Total (TPM).....	37
1.3.8 Prueba U de Mann-Whitney	39
1.3.8.1 Prueba de tablas de contingencia.....	39
1.3.9 Intervalo de confianza para $p_1 - p_2$	40

1.4 Fase Verificar	41
1.4.1 Filosofía Lean	41
CAPÍTULO 2. FASE PLANEAR	43
2.1 Levantamiento de información.....	43
2.1.1 Antecedentes de VYM S.A.	43
2.2 Detección del producto estrella	44
2.2.1 Análisis del volumen de producción	44
2.2.2 Análisis de las utilidades de producción.....	46
2.3 Levantamiento de los macro procesos	47
2.3.1 Procesos de los productos con mayor volumen de producción y utilidad.....	47
2.4 Descripción del producto estrella.....	48
2.4.1 Levantamiento de los procesos involucrados en la Bisagra Puerta de Horno	48
2.5 Análisis del reproceso de los productos	52
2.6 Project Charter	54
CAPÍTULO 3. FASE HACER	55
3.1 Determinar la producción.....	55
3.1.1 Análisis de tiempos y de actividades	55
3.1.2 Estudio de tiempos	56
3.1.2.1 Inicio del estudio	56
3.1.2.2 Ejecución del estudio.....	64
3.2 Análisis del reproceso.....	70
3.2.1 Detección de las posibles causas del reproceso.....	70
3.2.1.1 Diagrama de pescado.....	71
3.2.1.2 Contestación a los 5 por qué.....	72
3.2.1.3 Contestación a las 4W y 1H	73
3.2.2 Detección de las áreas con mayor reproceso.....	74
3.2.3 Diseño estadístico de experimentos para los involucrados en el reproceso	79
3.3 Detección de las causas.....	112
3.3.1 Operadores.....	112
3.3.2 Máquinas	115
3.3.3 Interacción máquina – operador	120
3.4 Propuesta de mejora.....	122
3.4.1 Mejora Operarios	123
3.4.1.1 Capacitación	123
3.4.1.2 Seguridad	124

3.4.2 Mejora Máquinas	127
3.4.2.1 Mantenimiento Autónomo.....	130
3.4.2.2 Mantenimiento Preventivo	131
3.5 Reducción del reproceso	133
CAPÍTULO4. FASE VERIFICAR	143
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	1466
Conclusiones.....	1466
Recomendaciones.....	149
Referencias	152
ANEXOS	157
ANEXO 2.1 Productos ofrecidos por VYM S.A.	157
ANEXO 2.2 Requerimientos de materia prima por producto	158
ANEXO 2.3 Levantamiento macro	158
ANEXO 2.4 Proceso palanca	163
ANEXO 2.5 Proceso seguro del gatillo	164
ANEXO 2.6 Proceso del gatillo.....	165
ANEXO 2.7 Proceso del resorte	166
ANEXO 2.8 Proceso del porta resorte	167
ANEXO 2.9 Procedimientos de la BPH	168
ANEXO 2.10 Procedimiento de ensamble de gatillo embocinado y el remache	184
ANEXO 2.11 Ensamblaje con remaches (gatillo y palanca al cuerpo de la pieza)	185
ANEXO 2.12 Producto final (BPH)	186
ANEXO 3.1 Matrices de valor agregado del proceso de la BPH	187
ANEXO 3.2 Resumen estudio de tiempos cuerpo BPH	194
ANEXO 3.3 Resumen estudio de tiempos palanca	195
ANEXO 3.4 Resumen estudio de tiempos gatillo.....	196
ANEXO 3.5 Resumen estudio de tiempos seguro	197
ANEXO 3.6 Resumen estudio de tiempos porta resorte	198
ANEXO 3.7 Resumen estudio de tiempos resorte	199
ANEXO 3.8 Resumen estudio de tiempos ensamble	200
ANEXO 3.9 Error e intervalo de confianza para la proporción de defectuosos ...	201
ANEXO 3.10 Combinaciones de datos defectuosos.....	202
ANEXO 3.11 Variables indicadoras codificadas	205
ANEXO 3.12 Mantenimiento autónomo	206
ANEXO 3.13 Mantenimiento preventivo	207

TABLAS

Tabla 1.1 Número recomendado de ciclos de observación	26
Tabla 1.2 Sistema de calificación de habilidades de Westinghouse	28
Tabla 1.3 Sistema de calificación de esfuerzo de Westinghouse	28
Tabla 1.4 Suplementos recomendados por ILO	31
Tabla 2.1 Perdidas por el reproceso del año 2013	53
Tabla 2.2 Project Charter del Proyecto de Grado.....	54
Tabla 3.1 Resumen análisis de valor agregado	56
Tabla 3.2 Cálculo del número de observaciones requerido	62
Tabla 3.3 Cálculo del coeficiente de variación	63
Tabla 3.4 Total del porcentaje de los suplementos	67
Tabla 3.5 Total del tiempo estándar	68
Tabla 3.6 Mejora de la productividad	70
Tabla 3.7 Piezas reprocesadas año 2013.....	77
Tabla 3.8 Piezas reprocesadas turnos extra año 2013.....	80
Tabla 3.9 Total de piezas reprocesadas de las combinaciones	82
Tabla 3.10 ANOVA pieza seguro	82
Tabla 3.11 ANOVA con términos significativos pieza seguro	88
Tabla 3.12 ANOVA pieza gatillo	95
Tabla 3.13 ANOVA con términos significativos pieza gatillo.....	96
Tabla 3.14 ANOVA con modelo no significativo	105
Tabla 3.15 ANOVA con modelo significativo	106106
Tabla 3.16 ANOVA con términos significativos pieza cuerpo	107
Tabla 3.17 Lista de verificación máquina 8	11717
Tabla 3.18 Lista de verificación máquina 9	119
Tabla 3.19 Sistema de protección.....	125
Tabla 3.20 Valores observados pieza seguro operador 2.....	135
Tabla 3.21 Valores esperados pieza seguro operador 2	135
Tabla 3.22 Frecuencia esperada pieza seguro operador 2.....	135
Tabla 3.23 Frecuencia esperada pieza seguro operador 4.....	136
Tabla 3.24 Frecuencia esperada pieza gatillo máquina 9	136
Tabla 3.25 Frecuencia esperada pieza cuerpo máquina 8	137

Tabla 3.26 Comparación de la proporción.....	139
Tabla 3.27 Reducción de reproceso	141
Tabla 4.1 Mejora del reproceso pieza seguro.....	143
Tabla 4.2 Mejora del reproceso pieza gatillo	143
Tabla 4.3 Mejora del reproceso pieza cuerpo	144
Tabla 4.4 Mejora del reproceso.....	144

GRÁFICOS

Gráfico 1.1 Ejemplo diagrama de Pareto.....	22
Gráfico 1.2 Simbología diagrama de flujo	23
Gráfico 1.3 Simbología análisis de valor agregado de un proceso	24
Gráfico 1.4 Lista de verificación	37
Gráfico 1.5 Los 7 desperdicios clásicos.....	42
Gráfico 2.1 Volumen de ventas año 2011	44
Gráfico 2.2 Volumen de ventas año 2012	45
Gráfico 2.3 Volumen de ventas año 2013	46
Gráfico 2.4 Utilidades año 2013	47
Gráfico 2.5 Pérdidas económicas año 2013	53
Gráfico 3.1 Probabilidad Anderson-Darling del cuerpo.....	58
Gráfico 3.2 Probabilidad Anderson-Darling del gatillo.....	59
Gráfico 3.3 Probabilidad Anderson-Darling del seguro del gatillo	59
Gráfico 3.4 Probabilidad Anderson-Darling del resorte	60
Gráfico 3.5 Probabilidad Anderson-Darling del porta resorte	61
Gráfico 3.6 Probabilidad Anderson-Darling del ensamble	61
Gráfico 3.7 Diagrama de Pescado	71
Gráfico 3.8 Diagrama de Pareto proporción del reproceso para las piezas.....	78
Gráfico 3.9 Diagrama de Pareto del total de piezas defectuosas para el cuerpo	79
Gráfico 3.10 Análisis de los residuales para el seguro	83
Gráfico 3.11 Prueba de Normalidad Anderson-Darling para la pieza seguro	84
Gráfico 3.12 Box-Cox	84
Gráfico 3.13 Transformación de los datos.....	85
Gráfico 3.14 Boxplot.....	85
Gráfico 3.15 Análisis de los residuales transformados para el seguro	86
Gráfico 3.16 Ecuación de la pieza seguro	89
Gráfico 3.17 Diagrama de Efectos significativos en el reproceso del seguro	90
Gráfico 3.18 Diagrama de las interacciones significativas en el reproceso del seguro	90
Gráfico 3.19 Diagrama de Pareto del total de piezas defectuosas para el seguro.....	91
Gráfico 3.20 Resultado de los actores principales del reproceso en el seguro	92
Gráfico 3.21 Análisis de los residuales para el gatillo	93

Gráfico 3.22 Prueba de Normalidad Anderson-Darling para la pieza gatillo	94
Gráfico 3.23 Box-Cox	95
Gráfico 3.24 Ecuación de la pieza gatillo.....	97
Gráfico 3.25 Diagrama de las interacciones significativas en el reproceso del gatillo	98
Gráfico 3.26 Diagrama de Pareto del total de piezas defectuosas para el gatillo	99
Gráfico 3.27 Resultado de los actores principales del reproceso en el gatillo.....	100
Gráfico 3.28 Análisis de los residuales para el cuerpo	101
Gráfico 3.29 Prueba de Normalidad Anderson-Darling para la pieza cuerpo	102
Gráfico 3.30 Box-Cox	103
Gráfico 3.31 Transformación de los datos.....	103
Gráfico 3.32 Boxplot.....	103
Gráfico 3.33 Análisis de los residuales transformados para el cuerpo	103
Gráfico 3.34 Ecuación de la pieza cuerpo.....	108
Gráfico 3.35 Diagrama de Efectos significativos en el reproceso del cuerpo.....	109
Gráfico 3.36 Diagrama de la interacción significativa en el reproceso del cuerpo....	109
Gráfico 3.37 Diagrama de Pareto del total de piezas defectuosas para el cuerpo	110
Gráfico 3.38 Resultado de los actores principales del reproceso en el cuerpo.....	111
Gráfico 3.39 Influencia de la educación en piezas defectuosas del seguro	114
Gráfico 3.40 Influencia de la experiencia en piezas defectuosas del seguro.....	115
Gráfico 3.41 Causantes del reproceso en la máquina 8 en corte.....	118
Gráfico 3.42 Causantes del reproceso en la máquina 9 en corte.....	120
Gráfico 3.43 Porción de piezas defectuosas antes y después de la capacitación	121
Gráfico 3.44 Porción de piezas defectuosas antes y después del mantenimiento.....	122
Gráfico 3.45 Protección personal	126
Gráfico 3.46 Troquel	128

INTRODUCCIÓN

La procesadora VYM S. A. es una metalmecánica que realiza partes y piezas de la línea blanca, es decir, para los electrodomésticos como cocinas, refrigeradoras, hornos, microondas, entre otros. Desde hace algún tiempo, su producto estrella, tiene gran cantidad de reproceso a lo largo del año lo que provoca grandes pérdidas económicas, materiales y tiempos.

En este proyecto, se utiliza el ciclo de Deming para poder aumentar la productividad y encontrar las causas por las que se está generando reproceso en el producto que otorga las mayores ganancias y que contiene la mayor cantidad de procesos en la empresa.

En la fase planear, se detectan los productos de mayor volumen y utilidades generadas para la empresa, levantando para cada uno de ellos su macro proceso. Luego, se levanta el proceso del producto estrella, es decir de la bisagra puerta de horno (BPH) y se obtienen datos sobre el porcentaje de reproceso generado a lo largo del 2013. En esta fase se realiza un Project Charter para terminar la planificación del proyecto como paso final.

En la fase hacer, se realiza un análisis de actividades levantadas en la anterior fase, y un estudio de tiempos estándares para poder determinar la productividad real de la BPH. Luego, para reducir el reproceso se usan herramientas tanto cualitativas como cuantitativas para encontrar los factores principales que causan este tipo de defecto. Una vez, detectadas las causas se plantean mejoras para disminuir la cantidad de reproceso generado. De esta fase, el resultado es incrementar en un 13,12% a 17,08% del total de piezas producidas al año.

En la última fase que se utiliza en este proyecto, verificar, se realiza un análisis financiero mostrando que si se implementaran las soluciones propuestas la empresa obtendría un ahorro de al menos \$20.232,46 dólares anuales en la utilidad bruta.

OBJETIVOS

Objetivo General

- Aumentar el volumen de producción y reducir el reproceso del producto más destacado, a través de la utilización del ciclo de Deming para enmendar los errores de fabricación en la empresa VYM S.A.

Objetivos Específicos

- Identificar el producto estrella de la empresa.
- Levantar y analizar el proceso de fabricación del producto estrella.
- Determinar tiempos estándares para la producción.
- Encontrar los factores que causan el reproceso.
- Proponer mejoras para evitar o disminuir el reproceso.
- Verificar que las propuestas planteadas mejoren la rentabilidad del producto estrella.

JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Las familias ecuatorianas buscan mejorar su estilo de vida con productos y servicios que acorten el tiempo para realizar las actividades laborales del hogar. Hoy en día equipan sus viviendas con aparatos de línea blanca, ya que son de gran utilidad por su rápido funcionalismo y eficiencia en un solo producto, llegando a convertirse en necesidades para el hombre. La línea blanca comprende “cocinas, refrigeradores, aires acondicionados, calentadores, lavadoras y secadoras” (Aparatos Electrodomésticos, 2003). La empresa VYM S.A. forma parte de esta contribución ya que es una metalmecánica que produce piezas para la línea blanca. Por lo que este proyecto nace con el propósito de reducir las pérdidas económicas, materiales y tiempos de aquel producto que contribuye mayormente a la empresa, que es la bisagra de la puerta de horno de cocinas.

REVISIÓN DE LITERATURA

En Ecuador la producción de aparatos electrodomésticos en la línea blanca hasta el año 2010, ha contribuido al Estado ecuatoriano con ingresos de 5,7 millones de dólares en el impuesto a la renta y más de 25 millones en impuesto al valor agregado (Jácome & Varela, 2011). Lo que representó 30,7 millones de dólares por la venta de aparatos de línea blanca (Jácome & Varela, 2011). El mercado de electrodomésticos cambia constantemente para poder adaptarse al entorno ofreciendo productos mejores con nueva tecnología, produciendo electrodomésticos con un diferente estilo y características (Vizueté & Nelly, 2008). La importación de piezas y partes de la línea blanca ha disminuido desde el año 2008 (Jácome & Varela, 2011). “Esta situación puede haberse dado por la provisión interna existente en el país, de empresas fabricantes de partes y piezas para el sector, especialmente de cocinas, así como a las salvaguardas para proteger la industria nacional de parte del gobierno nacional” (Jácome & Varela, 2011).

La provisión de partes y piezas de las empresas ecuatorianas carecen de tecnología, y de inversión lo que les lleva a tener una baja productividad y calidad (Jácome & Varela, 2011).

Incluso, a este sector que provee de insumos a la industria de línea blanca le hace falta mejorar en las especificaciones y normas establecidas por los productos de línea blanca debido principalmente a carencia en procedimientos de evaluación en la calidad de los productos, así como a la inexistencia de laboratorios de certificación, espacios físicos adecuados para la producción de piezas y partes, y el difícil acceso al financiamiento en la banca privada y el desconocimiento de las líneas de crédito en la banca pública, lo que les hace estar en períodos recurrentes de iliquidez que les imposibilita mejorar la tecnología utilizada y generar investigación y desarrollo (Jácome & Varela, 2011).

Sobre la base de las estadísticas y resultados arrojados en el Ecuador es fundamental ahondar en estudios realizados. Dichos estudios definen como proceso a la actividad o grupo de actividades que dan un insumo, agregan valor y suministran un producto al

cliente externo o interno (Harrington, 1993). De esta definición aparece el mejoramiento de procesos, como una de las herramientas utilizadas por las empresas para aumentar la calidad de los productos y servicios, incrementar los resultados financieros y operativos de la empresa, autoevaluar sus ventajas competitivas, identificar oportunidades de mejora, y satisfacer totalmente a sus clientes (Pérez & Soto, 2005). Igualmente la importancia de mejorar el proceso es poder manejar de una manera más eficiente la producción a menores costos y ser innovadoras en productos y/o servicios que se brinden (Perez, Giraldo, & Serna, 2006). Para realizar la mejora se debe seleccionar aquel proceso que tenga problemas reales o potenciales evidenciados (Auliso, Miles, & Quintillán, 2007). Por lo que esta herramienta “se convierte en una metodología de solución a los problemas de la compañía” (Pérez & Soto, 2005).

El análisis de la operación es una de las fases más importantes, dentro del mejoramiento del proceso, ya que al estudiar los elementos productivos e improductivos se puede incrementar la productividad, y reducir tiempos por unidad y costos unitarios (Freivalds, 2008). Para poder realizar esto se tiene herramientas tanto de control estadístico, como cualitativas (Alfaro, 2009). Que permiten conocer a profundidad el o los procesos e identificar la problemática para dar la mejor solución (Harrington, 1993).

Como se pretende conocer el problema y aumentar la calidad en el área de producción, se debe utilizar el control de calidad para poder detectar rápidamente “cuellos de botella, productos defectuosos, pérdidas de tiempo y etapas críticas” (López, 2001). De acuerdo con lo que expresa el escritor Troya, “el tiempo utilizado por el proceso es uno de los recursos más valiosos” (2011) ya que períodos largos de ciclo impiden realizar una entrega a tiempo del producto para el cliente e incrementan los costos (Troya, 2011). Por lo que para lograr reducir el tiempo de ciclo, el equipo de trabajo debe poner su atención en las actividades más largas y en las que hacen más lento el proceso (Troya, 2011). Igualmente

se debe examinar el proceso actual para determinar por qué los horarios no se cumplen, y así poder establecer prioridades y eliminar estos tropiezos, y luego buscar las formas de reducir el tiempo de ciclo total (Troya, 2011).

Por otro lado, para realizar un mejoramiento del proceso se debe realizar un análisis del flujo del proceso, para identificar y eliminar desperdicios como tiempos de esperas, procesos que no sean necesarios o sub-utilizados (Sitel). Esto se debe hacer desde la perspectiva del cliente para detectar cómo eliminar los desperdicios de la manera correcta (Knox, 2006). Los desperdicios se definen como todo lo que el cliente no valora (George, 2010). Una vez que se haya observado a detalle los procesos que se desean mejorar, se puede lograr reducir al máximo los defectos en los productos o servicios para obtener la satisfacción del cliente (López, 2001). Los desperdicios son inseparables a los procesos, dado que las empresas no se dan cuenta de la cantidad de desperdicio que realizan, tampoco evidencian la implicación que tienen sobre los costos (George, 2010). Al reducir estos en los procesos, se tiene como consecuencia mejoras sorprendentes en el rendimiento general del negocio (George, 2010).

CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO

1.1 Ciclo de Deming

“Es una de las principales herramientas para lograr la mejora continua en las organizaciones o empresas que desean aplicar a la excelencia en sistemas de calidad” (Implementation Sig, 2012). Esta metodología se la utiliza para lograr la mejora continua de la calidad en una empresa (Implementation Sig, 2012). El ciclo completo consta de 4 fases que se deben de llevar a cabo secuencialmente según Implementation Sig.:

Planear: Se definen cuáles van a ser los objetivos y los medios para conseguirlos (2012).

Hacer: Se debe implementar la visión preestablecida, es decir qué cambios se van a realizar para efectuar la mejora de la empresa (2012).

Verificar: Se va a “comprobar si se están alcanzando los objetivos previstos con los recursos previamente asignados” (2012).

Actuar: Finalmente esta última fase es “analizar y corregir las posibles desviaciones detectadas, así como también proponer mejoras a los procesos ya empleados” (2012), lo cual en este trabajo no se llega por motivos del proyecto, pues no se implementan las propuestas solo se plantean, por lo que las conclusiones y recomendaciones propondrán la implementación de las mejoras propuestas.

1.2 Fase Planear

Dentro de esta fase se utilizará herramientas como Diagrama de Pareto y Diagrama de Flujo para levantar procesos e información necesaria para analizar sus productos determinando sus problemas y necesidades. Igualmente, se plantea un Project Charter para planear el desarrollo de cada entregable del proyecto.

1.2.1 Diagrama de Pareto

Es una herramienta que se basa en la ley del 80-20, el 20% de las causas resuelven el 80% de los problemas, por lo que ayuda a identificar, de forma visual, cuales minorías de características hay que prestar atención para utilizar todos los recursos necesarios para realizar una acción de mejora sin desperdiciar esfuerzos, ya que en este análisis se descarta a las mayorías triviales (Rovira). Se recomienda utilizar este tipo de diagramas cuando hay que detectar oportunidades de mejora, las principales causas de los problemas y dar prioridad a sus soluciones, o para mejorar la calidad de cierto producto o servicio (Rovira). A continuación se presenta un diagrama de Pareto:

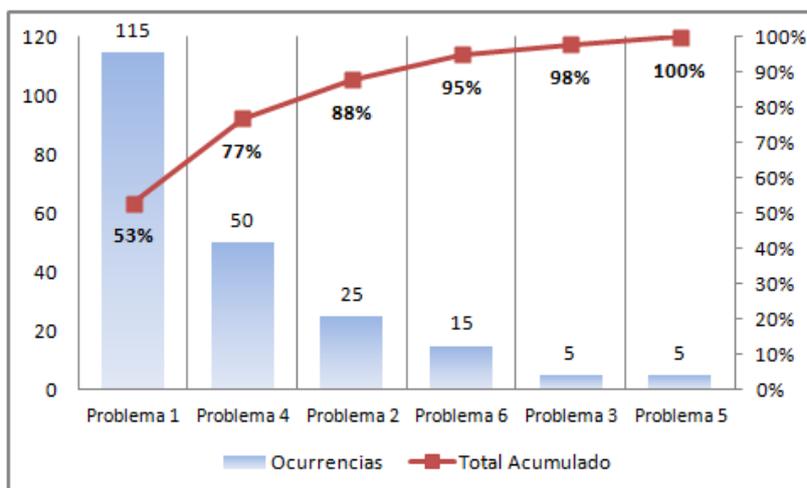


Gráfico 1.1 Ejemplo Diagrama de Pareto

Fuente: TenStep, 2012

Lo que muestra este gráfico es que se “necesita resolver los problemas # 1 y # 4 en primer lugar. Ahí es donde vas a lograr el mayor impacto” (TenStep, 2012).

1.2.2 Diagrama de Flujo

La representación gráfica que se proyecta a través del diagrama de flujo se utiliza en este trabajo para proyectar el proceso secuencial que se está realizando, además que es de gran utilidad para poder establecer la relación entre máquinas, operarios y clientes internos, que son necesarios para cada proceso productivo (Juran, Nicolau, & Gonzales, 1990). Los

símbolos que se utilizan, según la ANSI (American National Standards Institute) en el diagrama de flujo y que se presentan en el siguiente gráfico son los siguientes:

SIMBOLO	REPRESENTA
	Inicio o término. Indica el principio o el fin del flujo, puede ser acción o lugar, además se usa para indicar una unidad administrativa o persona que recibe o proporciona información.
	Actividad. Describe las funciones que desempeñan las personas involucradas en el procedimiento.
	Documento. Representa un documento en general que entre, se utilice, se genere o salga del procedimiento.
	Decisión o alternativa. Indica un punto dentro del flujo en donde se debe tomar una decisión entre dos o más alternativas.
	Conector de página. Representa una conexión o enlace con otra hoja diferente, en la que continúa el diagrama de flujo.

Gráfico 1.2 Simbología Diagrama de Flujo

Fuente: Juran, Nicolau, & Gonzales, 1990

1.2.3 Project Charter

Al ser “... una herramienta crucial para el desarrollo de toda actividad, en la cual se detallan cada uno de los aspectos fundamentales y cruciales de todo Proyecto” (Escuela de organización industrial , 2013) Aquí se utiliza y determina cuales serán el alcance, objetivos, entregables, responsabilidades, planes (Financieros, Recursos, Calidad) y las consideraciones (Riesgos, asunciones, restricciones) (Escuela de organización industrial, 2013). Otra de las consideraciones para ser aplicado en este trabajo es por cuanto el Project Charter es “el proceso que consiste en desarrollar un documento que autoriza formalmente un proyecto o una fase y en documentar los requisitos iniciales que satisfacen las necesidades y expectativas de los interesados” (Escuela de organización industrial , 2013).

1.3 Fase Hacer

En esta fase se aplican herramientas para aumentar la productividad como el análisis de tiempos, análisis de actividades y estudio de tiempos estándares. Las herramientas para reducir el reproceso son diagrama de pescado y diseño de experimentos.

1.3.1 Análisis de tiempos y de actividades

El análisis de valor agregado es utilizado en este trabajo por ser “una herramienta que permite de manera sistemática identificar todo aquello que no da Valor al producto final y que con su eliminación se reduce el coste total del producto” (Lean -Sigma experiencia focalizada a resultados, 2012). Además su gráfico desarrolla el proceso identificando todas las actividades enlistadas en una matriz para especificar cuáles generan un valor agregado para el cliente (VAC) y el valor agregado para el negocio (VAN) y cuáles no; usando los símbolos adecuados (Lean -Sigma experiencia focalizada a resultados, 2012).

Símbolo	Representa
	Operación
	Inspección
	Transporte
	Almacenamiento
	Demora

Gráfico 1.3 Simbología análisis de valor agregado de un proceso

Fuente: Nievel, 2008

1.3.2 Estudio de tiempos

“Es una técnica de medición del trabajo empleada para registrar los tiempos y ritmos de trabajo correspondientes a los elementos de una tarea definida, efectuada en condiciones determinadas y para analizar los datos a fin de averiguar el tiempo requerido para efectuar la tarea según una norma de ejecución preestablecida” (Kanawaty, 1996). Para poder realizar un buen estudio de tiempos se recomiendan tener en cuenta ciertos aspectos:

- El operario debe estar familiarizado totalmente con la técnica y detalles antes de estudiar la operación (Niebel & Freivalds, 2008).
- Usar un cronómetro adecuado para la medición de tiempos, utilizando el método continuo el cual consiste en que el cronómetro trabaje durante todo el estudio y se registren los valores sin detenerlo (Niebel & Freivalds, 2008).
- Seleccionar al operario promedio, es decir que desempeña su trabajo con consistencia y de manera sistemática (Niebel & Freivalds, 2008).
- La posición de operador es estar de pie, con unos cuantos pies atrás del operario para no distraerlo o interferir con su trabajo (Niebel & Freivalds, 2008).
- Dividir a la operación en grupo de movimientos, para poder identificar puntos terminales para saber qué tiempos registrar (Niebel & Freivalds, 2008).

1.3.2.1 Ciclos del Estudio

Se pueden estimar los ciclos de 2 formas, esto se realiza para saber cuántos ciclos se van a estudiar para llegar a un estándar justo (Niebel & Freivalds, 2008). General Electric Company, estableció valores como una guía aproximada del número de ciclos a observar:

Tiempo de ciclos en minutos	Número recomendado de ciclos
0,10	200
0,25	100
0,50	60
0,75	40
1	30
2	20
2-5	15
5-10	10
10 – 20	8
20 – 40	5
40 o más	3

Tabla 1.1 Número recomendado de ciclos de observación

Fuente: General Electric Company

El otro método se basa en la distribución t, ya que los tiempos de estudios involucran solamente muestras pequeñas ($n < 30$) de una población (2008). Donde el intervalo de confianza es $\bar{x} \pm t \frac{s}{\sqrt{n}}$, el término \pm se lo puede considerar como un término de error, por lo que la fórmula se convierte en $k\bar{x} = \frac{ts}{\sqrt{n}}$, donde k es la fracción aceptable de \bar{x} ; \bar{x} es la media muestral $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$, s es la desviación estándar de la muestra $s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$ siendo n = número total de datos de la muestra y x_i = valor cualquiera de la variable (valor iésimo) (2008). Despejando n se obtiene: $n = \left(\frac{ts}{k\bar{x}}\right)^2$ donde \bar{x} y s se pueden determinar a partir de (n) datos históricos de elementos similares, t se obtiene a partir de una probabilidad de error tipo I con (n-1) grados de libertad, se observa en las tablas de puntos de porcentaje de la distribución t (2008).

1.3.2.2 Calificaciones del Desempeño

Se utiliza para ajustar los tiempos observados con los esperados para obtener un desempeño estándar, teniendo en cuenta: la velocidad, la destreza, los movimientos falsos, la efectividad y otros factores que influyan en la producción (Niebel & Freivalds, 2008).

“Un operario calificado se define como un operario con amplia experiencia que trabaja en las condiciones acostumbradas en la estación de trabajo” (Niebel & Freivalds, 2008). Este paso se realiza para ajustar el tiempo medio observado (TO) de cada elemento realizado durante el registro del estudio de tiempo normal (TN) que requiere un operario calificado para hacer el trabajo (Niebel & Freivalds, 2008). Utilizando la siguiente fórmula del libro de Niebel & Freivalds se obtiene el tiempo normal:

$$TN = \left(TO \times \frac{C}{100} \right)$$

Donde:

C: Calificación del desempeño del operario expresada como porcentaje, con el 100% correspondiente al desempeño estándar de un operario calificado.

Método para calificar: el sistema Westinghouse

“Esté método considera 4 factores para evaluar el desempeño del operario: habilidad, esfuerzo, condiciones y consistencia” (Niebel & Freivalds, 2008). A pesar de ello, existen varias compañías que utilizan el sistema de Westinghouse sólo incluyendo los factores de habilidad y esfuerzo que son los que intervienen directamente en el factor de actuación ya que la consistencia es similar a la habilidad y las condiciones ambientales se califican generalmente como promedio (Niebel & Freivalds, 2008). Por lo que para este proyecto se tomará en consideración los dos factores mencionados.

Niebel & Freivalds definen a la habilidad de un operario como “el resultado de la experiencia y las aptitudes inherentes de coordinación natural y ritmo” (2008). Del mismo modo dicen que la habilidad aumenta con el tiempo al familiarizarse con el trabajo ya que se tiene “más rapidez, movimientos más suaves y mayor libertad en cuanto a titubeos y movimientos falsos” (2008), y se puede tener una disminución por factores físicos o psicológicos (2008). Es por eso que este sistema posee seis grados o tipos de habilidad que

pertenecen al grado de competencia aceptable para la evaluación dada por el observador, mostrados en la siguiente tabla:

+	0,15	A1	Superior
+	0,13	A2	Superior
+	0,11	B1	Excelente
+	0,08	B2	Excelente
+	0,06	C1	Bueno
+	0,03	C2	Bueno
	0,00	D	Promedio
-	0,05	E1	Aceptable
-	0,10	E2	Aceptable
-	0,16	F1	Malo
-	0,22	F2	Malo

Tabla 1.2 Sistema de calificación de habilidades de Westinghouse

Fuente: S. M. Lowry, et al., 1940

Del mismo modo, Niebel & Freivalds definen el esfuerzo como “una demostración de la voluntad para trabajar con efectividad” (2008). Siendo característico de la velocidad con la que se realiza la habilidad, y que se la puede controlar en un grado alto (2008). Por lo que, el observador sólo debe tomar en cuenta el esfuerzo “efectivo” del operario (2008), mostrados en la siguiente tabla 3:

+	0,13	A1	Excesivo
+	0,12	A2	Excesivo
+	0,10	B1	Excelente
+	0,08	B2	Excelente
+	0,05	C1	Bueno
+	0,02	C2	Bueno
	0,00	D	Promedio
-	0,04	E1	Aceptable
-	0,18	E2	Aceptable
-	0,12	F1	Malo
-	0,17	F2	Malo

Tabla 1.3 Sistema de calificación de esfuerzo de Westinghouse

Fuente: S. M. Lowry, et al., 1940

Es importante mencionar que los analistas pueden calificar cada uno de los ciclos o pueden dar un promedio de calificación para todos los ciclos si es que las operaciones son cortas y no requieren de manipulaciones delicadas ya que los resultados son consistentes de un ciclo a otro (Niebel & Freivalds, 2008).

Una vez que se hayan asignado la calificación para habilidad y esfuerzo, sea por ciclo o promedio, se debe determinar el factor de desempeño global sumando algebraicamente los valores asignados y agregando una unidad a esa suma (2008). Por ejemplo, si a un operador se le califica con una habilidad C2 y un esfuerzo C1, el factor de desempeño sería el siguiente:

Habilidad	C2	+ 0,03
Esfuerzo	C1	+ 0,05
Suma aritmética		+ 0,08
Factor de desempeño		1,08 = 108 %

1.3.2.3 Suplementos

Debido a que ningún operario puede mantener un paso estándar durante la jornada de trabajo se debe asignar suplementos que son “interrupciones, demoras y disminuciones en el paso causadas por fatiga en toda tarea asignada” (Niebel & Freivalds, 2008) esto no se puede incluir en el tiempo normal debido a que son demoras inevitables, por lo que se debe realizar ciertos ajustes para compensar esas pérdidas añadiendo un suplemento al tiempo normal para llegar a un estándar justo (Niebel & Freivalds, 2008). Según Niebel & Freivalds se debe considerar tres tipos de suplementos los constantes, por fatiga variable y especiales (2008).

Los suplementos constantes se dividen en necesidades personales y fatiga básica (Niebel & Freivalds, 2008). Las necesidades personales “incluyen suspensiones del trabajo

para mantener el bienestar del empleado, por ejemplo, beber agua e ir al sanitario” (Niebel & Freivalds, 2008). No hay una base científica que asigne un porcentaje numérico, pero en varias compañías este suplemento va de 4,6 a 6,5% por lo que dar una cifra de 5% parece ser lo adecuado (Niebel & Freivalds, 2008). Para la fatiga básica se “toma en cuenta la energía consumida para llevar a cabo el trabajo y aliviar la monotonía” (Niebel & Freivalds, 2008). Es adecuado asignar 4% del tiempo normal para un operario (Niebel & Freivalds, 2008).

Los suplementos por fatiga variable se dan debido a que la fatiga no es homogénea ya que existen razones físicas y psicológicas que la alteran (Niebel & Freivalds, 2008). Los factores más importantes que afectan la fatiga son “las condiciones de trabajo, en especial el ruido, calor y humedad; la naturaleza del trabajo, como la postura, cansancio muscular y tedio, y la salud general del trabajador” (Niebel & Freivalds, 2008). La oficina del trabajo de Estados Unidos (International Labour Office- ILO) ha tabulado las diversas condiciones de trabajo para obtener los factores de suplementos adecuados, que se muestra a continuación:

A. Suplementos constantes:	
1. Suplemento personal	5
2. Suplemento por fatiga básica	4
B. Suplementos variables	
1. Suplemento por estar de pie	2
2. Suplemento por posición anormal	
a. un poco incómoda	0
b. incómoda (agachado)	2
c. muy incómoda (tendido, estirado)	7
3. Uso de la fuerza o energía muscular (levantar, jalar o empujar)	
Peso levantado, en libras:	
5	0
10	1
15	2
20	3
25	4
30	5
35	7
40	9
45	11
50	13
60	17
70	22
4. Mala iluminación	
a. un poco abajo de la recomendada	0
b. bastante menor a la recomendada	2
c. muy inadecuada	5
5. Condiciones atmosféricas (calor y humedad) - variable	0 - 100
6. Atención requerida	
a. trabajo bastante fino	0
b. trabajo fino o preciso	2
c. trabajo muy fino y muy preciso	5
7. Nivel de ruido	
a. continuo	0
b. intermitente - fuerte	2
c. intermitente - muy fuerte	5
d. de tono alto - fuerte	5
8. Estrés mental	
a. proceso bastante complejo	1
b. atención compleja o amplia	4
c. muy compleja	8
9. Monotonía	
a. nivel bajo	0
b. nivel medio	1
c. nivel alto	4
10. Tedio	
a. algo de tedio	0
b. tedioso	2
c. muy tedioso	5

Tabla 1.4 Suplementos recomendados por ILO

Fuente: Niebel & Freivalds, 2008

Al utilizar esta tabla el observador debe determinar cada uno de los factores de suplemento para cada elemento, y luego sumar estos valores para tener el suplemento de fatiga global, que después se suma al suplemento de fatiga constante (Niebel & Freivalds, 2008).

Los suplementos especiales son demoras que se aplican sobre los elementos de esfuerzo, tales como interrupciones de supervisores, observadores, despachador; irregularidades en materiales; dificultades con las especificaciones y demoras de interferencia (Niebel & Freivalds, 2008).

1.3.2.4 Tiempo estándar

“Tiempo requerido para un operario totalmente calificado y capacitado, trabajando a paso normal y realizando un esfuerzo promedio para ejecutar la operación” (Niebel & Freivalds, 2008). Se obtiene con la siguiente fórmula de Niebel & Freivalds el tiempo estándar:

$$TS = TN \times (1 + S) = \left(TO \times \frac{C}{100} \right) \times (1 + S)$$

Donde:

TS: Tiempo estándar

TN: Tiempo normal

TO: Tiempo observado en realizar la actividad

C: Calificación del desempeño

S: Suplementos expresados como porcentaje del tiempo normal

1.3.3 Diagrama de Pescado

También conocido como diagrama causa – efecto, consiste en definir la ocurrencia de un evento no deseado o un problema como el efecto, ubicándolo en la “cabeza de pescado” y después se identifican los factores que contribuyen como las causas,

ubicándolas en el “esqueleto del pescado” que sale del hueso posterior de la cabeza (Niebel & Freivalds, 2008). Las principales causas que se han encontrado, que originan el efecto se dividen en cinco categorías principales: personas, máquinas, métodos, materiales y ambiente, cada una dividida en sub-causas (Niebel & Freivalds, 2008).

1.3.4 Inferencia sobre una proporción de una población

Se toma una muestra aleatoria de tamaño n de una población y las observaciones de esta muestra pertenecen a una clase de interés, en una variable aleatoria que sigue una distribución binomial (Montgomery & Runger, 2009). En esta distribución se espera dos tipos de resultados, para este caso se tiene piezas buenas y piezas defectuosas y “es razonable modelar la ocurrencia de los artículos defectuosos con la distribución binomial” (Montgomery & Runger, 2009). Se usará probabilidades de experimentos binomiales de tal forma que se aproxime a la distribución normal, ya que el estimador puntual \hat{P} es aproximadamente normal con media p y varianza $\frac{p(1-p)}{n}$, donde el parámetro binomial p es la proporción de artículos defectuosos producidos y n : es el tamaño de la muestra aleatoria (Montgomery & Runger, 2009). Esto se podrá realizar siempre y cuando p no esté cerca de 0 ó 1, n sea relativamente grande y la multiplicación de np y $n(1-p)$ sean mayores o iguales a 5 (Montgomery & Runger, 2009).

1.3.4.1 Elección del tamaño de la muestra

“En situaciones en que es posible seleccionar el tamaño de la muestra, n puede escogerse para tener una confianza del 100 $(1 - \alpha)$ por ciento de que el error sea menor que un valor específico” (Montgomery & Runger, 2009). Si se toma al error $E = z_{\alpha/2} \sqrt{\frac{p(1-p)}{n}}$ y se despeja n se obtiene el tamaño de muestra apropiado:

$$n = \left(\frac{z_{\alpha/2}}{E} \right)^2 p(1-p)$$

Si se utiliza esta ecuación se necesita una estimación de p que puede estar dada por una muestra anterior o con una estimación subjetiva (Montgomery & Runger, 2009). Si estas alternativas no son útiles se puede tomar una muestra preliminar para calcular \hat{p} y obtener el tamaño de muestra de las observaciones necesarias para estimar p con la precisión deseada (Montgomery & Runger, 2009). Otro enfoque es que para la ecuación de n , siempre se tendrá un máximo para $p = 0.5$; entonces se tendría una confianza de al menos $100(1 - \alpha)$ por ciento (Montgomery & Runger, 2009).

1.3.4.2 Intervalo de confianza para una proporción binomial

Los intervalos de confianza se usan cuando “la estimación puntual no proporciona información suficiente acerca de un parámetro” (Montgomery & Runger, 2009). Para construir el intervalo de confianza según Montgomery & Runger (2009) para p se usa la siguiente ecuación:

$$P(-z_{\alpha/2} \leq Z \leq z_{\alpha/2}) \approx 1 - \alpha$$

Y como la distribución es aproximadamente normal $Z = \frac{X - np}{\sqrt{np(1-p)}} = \frac{\hat{p} - p}{\sqrt{\frac{p(1-p)}{n}}}$, así

que:

$$P\left(-z_{\alpha/2} \leq \frac{\hat{p} - p}{\sqrt{\frac{p(1-p)}{n}}} \leq z_{\alpha/2}\right) \approx 1 - \alpha.$$

Reordenando esta expresión se obtiene:

$$P\left(\hat{p} - z_{\alpha/2} \sqrt{\frac{p(1-p)}{n}} \leq p \leq \hat{p} + z_{\alpha/2} \sqrt{\frac{p(1-p)}{n}}\right) \approx 1 - \alpha.$$

Sin embargo, en la expresión se incluye el parámetro desconocido p , por lo que se lo reemplaza con \hat{p} en la cantidad $\sqrt{\frac{p(1-p)}{n}}$, que se le conoce como el error estándar del estimador puntual \hat{p} (Montgomery & Runger, 2009). Lo cual da como resultado el

“intervalo de confianza del 100 (1 – α) por ciento aproximado para la proporción p de la población:

$$\hat{p} - z_{\alpha/2} \sqrt{\frac{\hat{p}(1 - \hat{p})}{n}} \leq p \leq \hat{p} + z_{\alpha/2} \sqrt{\frac{\hat{p}(1 - \hat{p})}{n}}$$

Donde $z_{\alpha/2}$ es el punto porcentual $\alpha/2$ superior de la distribución normal estándar”

(Montgomery & Runger, 2009).

1.3.5 Diseño Estadístico de Experimentos (DOE)

DOE “... se refiere al proceso para plantar el experimento de tal forma que se recaben datos adecuados que puedan analizarse con métodos estadísticos que llevarán a conclusiones válidas y objetivas” (Montgomery, 2010). Para aplicar este enfoque Montgomery (2010) recomienda utilizar el siguiente procedimiento:

1. Identificación y enunciación del problema: debe ser claro de tal manera que se desarrollen objetivos específicos y globales (Montgomery, 2010).
2. Elección de los factores y los niveles: Los factores “son las variables independientes que pueden influir en la variabilidad de la variable de interés” (Universidade Da Coruña). Los niveles están en “cada uno de los resultados de un factor. Según sean elegidos por experimentados o elegidos al azar de una amplia población” (Universidade Da Coruña).
3. Selección de la variable de respuesta: La variable de interés o de respuesta “es la variable que se desea estudiar y controlar su variabilidad” (Universidade Da Coruña). Se debe “...tener la certeza de que esta variable proporciona en realidad información útil acerca del proceso bajo estudio” (Montgomery, 2010).
4. Elección del diseño experimental: implica la elección del tamaño de muestra (número de réplicas), selección de un orden de corridas para los ensayos experimentales (Montgomery, 2010).

5. Realización del experimento: se debe monitorear el proceso con atención, para asegurarse que se está realizando conforme a lo planeado (Montgomery, 2010).
6. Análisis estadístico de los datos: es la utilización de métodos estadísticos para analizar los datos con el fin de llegar a conclusiones objetivas y no apreciativas (Montgomery, 2010). Se presentan los resultados con un modelo empírico, es decir, “mediante una ecuación derivada de los datos que expresa la relación entre la respuesta y los factores importantes del diseño” (Montgomery, 2010). A este método se lo conoce como análisis de varianza o ANOVA por sus siglas en inglés (Gutiérrez, 2008). Que es una tabla que resume la variabilidad en las observaciones del experimento (Kuehl, 2001). Para poder utilizar el ANOVA se debe verificar la adecuación del modelo mediante el análisis de los residuos, para así determinar si el modelo es lo suficientemente robusto y confiable (Montgomery, 2010). Se debe verificar que los residuales cumplan con los supuestos de normalidad, varianza constante e independencia (Montgomery, 2010). Si los supuestos se satisfacen, se puede decir que el ANOVA “...es una prueba exacta de la hipótesis de que no hay diferencias en las medias de los tratamientos” (Montgomery, 2010).
7. Conclusiones y recomendaciones: Una vez que se analizaron los datos, se debe obtener conclusiones prácticas de los resultados y recomendar un curso de acción (Montgomery, 2010). Se puede utilizar métodos gráficos para presentar los resultados (Montgomery, 2010).

1.3.6 Hoja de Verificación

Existen 7 herramientas básicas de la calidad que han sido creadas para mejorar la calidad y son utilizadas para analizar y solucionar problemas operativos en los distintos contextos de la organización (Hotfrog, 2011). Esta herramienta forma parte de una de ellas ya que se usa para reunir de forma ordenada y estructurada los datos en base al

comportamiento de un proceso, con el fin de detectar tendencias (Campos, 2012). Esta herramienta de forma visual se muestra de la siguiente manera:

Tipo de defectos	Verificación	subtotal
El acondicionamiento de los surtidores.		40
Las altas temperaturas producidas por la máquina.		50
Fallas en los componentes de los surtidores.		60
Falta de materia prima.		120
Los operarios no respetan su hora de descanso.		78
La Estructura.		25
Tiempo de ocio por parte de los operarios al manejar los surtidores.		10
Otros.		70
Total = 453		

Gráfico 1.4 Lista de verificación

Fuente: Stevenson, 2008

1.3.7 Mantenimiento Productivo Total (TPM)

El TPM es una metodología de mejora que ayuda a prevenir fallas impidiendo paros inoportunos y reparaciones de emergencia (Sicconini, 2008). Mediante los conceptos de prevención, cero defectos dados por las máquinas, cero accidentes, cero defectos y participación total de las personas (Sicconini, 2008). De tal modo que se cree un ambiente de producción sin averías mecánicas e interrupciones técnicas (Olofsson, 2014).

Para aplicar el TPM se debe incluir ocho pilares:

1. Mejoras Enfocadas: para eliminar las pérdidas ocasionadas con el proceso productivo (Espinosa, 2011). Igualmente, se definen pasos a seguir para reducir las paradas de la máquina, en especial las no programadas (Espinosa, 2011).
2. Mantenimiento Autónomo: cada operario debe saber cómo diagnosticar y prevenir las fallas del equipo que opere para que se pueda prolongar la vida útil de este (Espinosa, 2011). Los operarios tendrán tareas elementales de mantenimiento con un programa básico que les indique, por ejemplo cómo limpiar la máquina o revisar nivel de aceite (Espinosa, 2011).

3. Mantenimiento Planeado: conjunto de actividades para construir y mejorar el proceso a efecto de que se lo mantenga en condiciones óptimas (Espinosa, 2011). De tal forma que el personal tenga responsabilidades con el mantenimiento, estableciendo su rol dentro del plan de conservación del equipo (Espinosa, 2011).
4. Capacitación: aumenta las capacidades y habilidades de los empleados (Espinosa, 2011). Esto implica un conjunto de contenidos teóricos y prácticos que tengan especificaciones del fabricante para el manejo de las máquinas que tengan cierto grado de conocimiento y experiencias previas en el sector mecánico (Espinosa, 2011).
5. Control Inicial: reduce el deterioro de los equipos actuales y mejora los costos de mantenimiento, este pilar es utilizado con máquinas nuevas (Espinosa, 2011).
6. Mejoramiento para la Calidad: se toma acciones preventivas de tal modo que se tenga un proceso y equipo con cero defectos (Espinosa, 2011). La calidad del mantenimiento va desde la forma de utilizar la herramienta hasta la forma de manejarla (Espinosa, 2011).
7. TPM en los departamentos de apoyo: ayuda a eliminar las pérdidas en los procesos administrativos y aumenta su eficiencia (Espinosa, 2011). Esto es aplicable en el departamento de finanzas, compras, almacenes (Espinosa, 2011). Dentro de este pilar, el TPM toma los siguientes significados:
 - T: total participación de sus miembros
 - P: productividad (volumen de ventas y ordenes por personas)
 - M: mantenimiento de clientes actuales y búsqueda de nuevos
8. Seguridad, Higiene y Medio Ambiente: fuera de accidentes y sin contaminación (Espinosa, 2011). Tomando precauciones para prevenir accidentes físicos, químicos

y de funcionamiento (Espinosa, 2011). Es necesario detallar las reglas de seguridad y control (Espinosa, 2011).

1.3.8 Prueba U de Mann-Whitney

Esta prueba se la usa para muestras independientes donde se compara la medida central con el fin de encontrar diferencias (Domínguez, 2013). Las muestras que se usen no necesariamente deben ser del mismo tamaño (Domínguez, 2013). Las condiciones que se deben cumplir para utilizar esta prueba es tener dos muestras independientes y que los datos sean de la escala ordinal (Domínguez, 2013). La pregunta de investigación para esta prueba es: ¿Existe diferencia entre grupos?, de tal modo que se compare si las 2 muestras tienen el mismo rendimiento o no (Domínguez, 2013). Dicha prueba se rechaza si $p < \alpha$ (Domínguez, 2013).

Los datos son ordinales si existe una relación de equivalencia (Hernández, 2007) como por ejemplo, más deseado, más gordo, más alto, entre otros. A estas relaciones se las puede expresar con el símbolo ' $<$ ' (Domínguez, 2013).

1.3.8.1 Prueba de tablas de contingencia

Esta prueba ayuda a conocer "...si los dos métodos de clasificación son estadísticamente independientes" (Montgomery & Runger, 2009). Se debe suponer que el primer método de clasificación tiene r niveles y el segundo tiene c niveles (Montgomery & Runger, 2009). "Será O_{ij} la frecuencia observada del nivel i del primer método de clasificación y el nivel j del segundo método de clasificación" (Montgomery & Runger, 2009). La hipótesis que se desea probar es que los métodos de clasificación de renglón y columna son independientes (Montgomery & Runger, 2009). "Si se rechaza esta hipótesis, se concluye que hay cierta interacción entre los dos criterios de clasificación" (Montgomery & Runger, 2009). "Sea p_{ij} la probabilidad de que un elemento seleccionado

al azar esté en la celda ij , dado que las dos clasificaciones son independientes” (Montgomery & Runger, 2009).

Entonces $p_{ij} = u_i v_j$ donde u_i = la probabilidad de que un elemento al azar este en el renglón i y v_j = la probabilidad de que un elemento al azar este en el renglón j (Montgomery & Runger, 2009). Estos estimadores son calculados de la siguiente forma:

$$\hat{u}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^c O_{ij} \text{ y } \hat{v}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^r O_{ij}$$

Por lo tanto, la frecuencia esperada de cada celda es:

$$E_{ij} = n \hat{u}_i \hat{v}_j = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^c O_{ij} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^r O_{ij}$$

Entonces, el estadístico es:

$$X_o^2 = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \frac{(O_{ij} - E_{ij})^2}{E_{ij}}$$

Esta prueba tiene una distribución X_o^2 aproximada con $(r-1)(c-1)$ grados de libertad si la hipótesis nula es verdadera (Montgomery & Runger, 2009). “Por lo tanto, la hipótesis de independencia se rechazaría si el valor observado del estadístico de prueba X_o^2 excediera $X_{\alpha, (r-1)(c-1)}^2$ ” (Montgomery & Runger, 2009).

1.3.9 Intervalo de confianza para $p_1 - p_2$

Se considera que hay dos parámetros binomiales, p_1 y p_2 que representan las proporciones de dos muestras (Montgomery & Runger, 2009). El intervalo de confianza del $100(1-\alpha)$ porciento para la diferencia de dos proporciones se calcula a partir de las observaciones de dos muestras aleatorias e independientes de tamaño n_1 y n_2 :

$$\begin{aligned} \hat{p}_1 - \hat{p}_2 - z_{\alpha/2} \sqrt{\frac{\hat{p}_1(1-\hat{p}_1)}{n_1} + \frac{\hat{p}_2(1-\hat{p}_2)}{n_2}} &\leq p_1 - p_2 \\ &\leq \hat{p}_1 - \hat{p}_2 + z_{\alpha/2} \sqrt{\frac{\hat{p}_1(1-\hat{p}_1)}{n_1} + \frac{\hat{p}_2(1-\hat{p}_2)}{n_2}} \end{aligned}$$

Donde $z_{\alpha/2}$ es el punto porcentual $\alpha/2$ superior de la distribución normal estándar (Montgomery & Runger, 2009).

1.4 Fase Verificar

Durante esta fase se evalúan los resultados obtenidos, por medio de un análisis económico que demuestra financieramente cuanto puede ahorrar la empresa, mostrando la comparación de cuanto venden y cuanto pudieran vender. De tal manera que se demuestre que los objetivos fueron alcanzados al dar mayor rentabilidad a la empresa.

1.4.1 Filosofía Lean

Esta metodología ayuda a mejorar la eficiencia en el área de manufactura. Lean es una filosofía que busca incrementar la eficiencia operacional eliminando el desperdicio de tal modo que se le entregue el máximo valor al cliente (Sicconini, 2008). Por lo tanto se debe definir el valor desde la perspectiva del cliente y expresar el valor en términos de un producto o servicio específico el cuál satisface las necesidades del cliente a un precio concreto, en un momento determinado (Sicconini, 2008). Por lo tanto, eliminando los desperdicios se logra mejorar la calidad, se reducen tiempos de producción y disminuyen los costos.

Existen 7 clases de desperdicio los cuales son mencionados a continuación:

1. Sobreproducción: Producir más de lo que demanda el cliente por hacerlo de una manera pronta, más rápida o tener una cantidad mayor.
2. Espera: Personas o partes esperando para que un ciclo de trabajo se termine y poder comenzar.
3. Transporte: Excesivo movimiento de información, personas, mercancía lo que provoca tener pérdidas en tiempo, esfuerzo y costo.
4. Sobreprocesamiento: Procesar más allá de un nivel requerido por el cliente.

5. Inventarios: Tener un almacenamiento excesivo de materias primas, productos intermedios o del producto final.
6. Defectos: Un producto que no cumple con las condiciones específicas.
7. Movimiento: Pobre distribución de la organización, de equipos, de cuartos, de los puestos de trabajo.

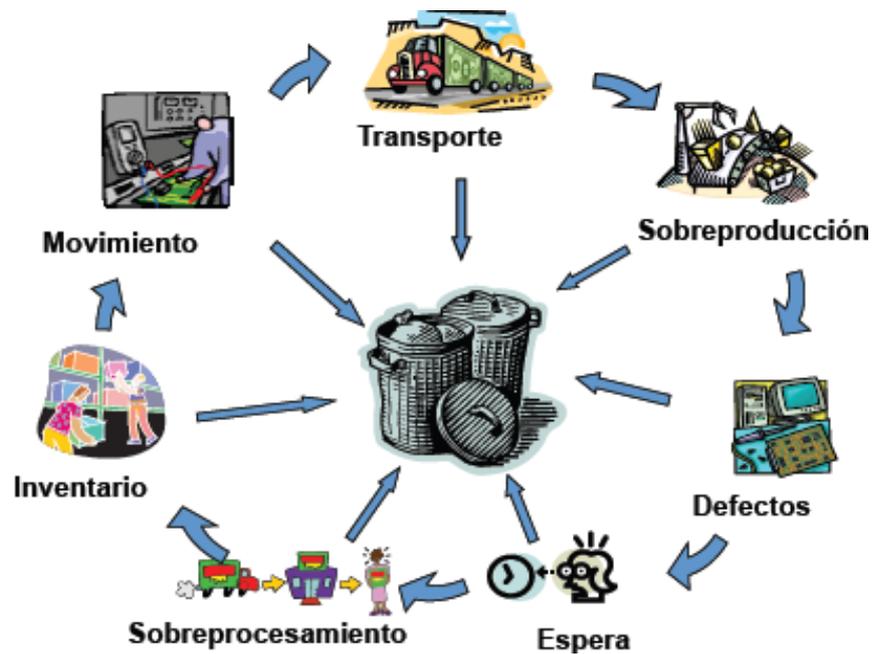


Gráfico 1.5 Los 7 Desperdicios Clásicos

Fuente: Lobos, 2011

CAPÍTULO 2. FASE PLANEAR

2.1 Levantamiento de información

2.1.1 Antecedentes de VYM S.A.

La procesadora VYM S.A., ubicada en Quito – Ecuador (José de la Rea y Francisco García OE1-178), comenzó sus operaciones en el año 1983. Desde ese entonces se ha proyectado a ser la empresa líder en la metalmecánica haciendo sus propios diseños, fabricando sus piezas, partes y mecanismos para la línea blanca.

Para poder llegar a ser una empresa líder, la empresa ha establecido un mejoramiento en sus procesos de fabricación, ha sustituido su maquinaria con equipos nuevos y ha adquirido herramientas computacionales para poder realizar el diseño, desarrollo y mejora de sus productos. Adicionalmente, ha logrado implementar sistemas y equipos de ensayo para aquellos materiales utilizados bajo los conceptos de la Norma ISO 9001, 2008 e ISO14000.

VYM S. A. emplea a 102 personas, de las cuales 22 pertenecen al personal administrativo que trabajan en un horario de 8am – 5pm. Que están divididos en los 7 departamentos: ingeniería, RRHH, mercadeo-ventas, compras, calidad, producción y financiero. Los operarios restantes son los obreros de producción, que son 80 y trabajan en dos turnos de 40 personas, de día (7am - 3:30pm) con 30 minutos para comer y de tarde (3:30pm –11:30pm).

El departamento de producción se divide en tres áreas: Planificación de la producción, Control de la Producción y Logística. El departamento de Planificación de la producción, supervisa los diferentes procesos para obtener los productos finales: bisagra puerta horno (BPH), bisagra caliente platos (BCP), partes para refrigeradora (RI), soporte

motor ventilador (SMV), tomas de gas (TOM), porta ciclos (PC), tuercas (TUC), racks para cajón cocina (CAJ), racks para horno (HOR), refiérase al ANEXO 2.1.

En agosto del año 2013 se entrevistó al Gerente General de la empresa, Ingeniero Raúl Mendizábal, quién advirtió que ha registrado algunos problemas en la producción. Al día siguiente se hizo una visita a la empresa, donde la Ingeniera Teresa Morales, jefa de producción, confirmó que ha tenido problemas con el reproceso de las piezas en un 27,3% desde enero 2013, por lo que esto genera pérdidas económicas, de materiales y de tiempos; especialmente con la bisagra puerta de horno, que expresó es el producto que contribuye mayormente a la empresa VYM S.A.

2.2 Detección del producto estrella

2.2.1 Análisis del volumen de producción

La empresa produce lo que vende ya que sus clientes proporcionan los datos de planificación para todo un año, por lo tanto al analizar el volumen de producción se debe analizar las ventas de cada uno de los productos. La empresa pudo proporcionar datos de los tres últimos años por lo tanto se obtienen 36 datos del volumen de ventas, que pertenecen a los años 2011, 2012 y 2013, los cuales se muestran en los siguientes diagramas de Pareto:

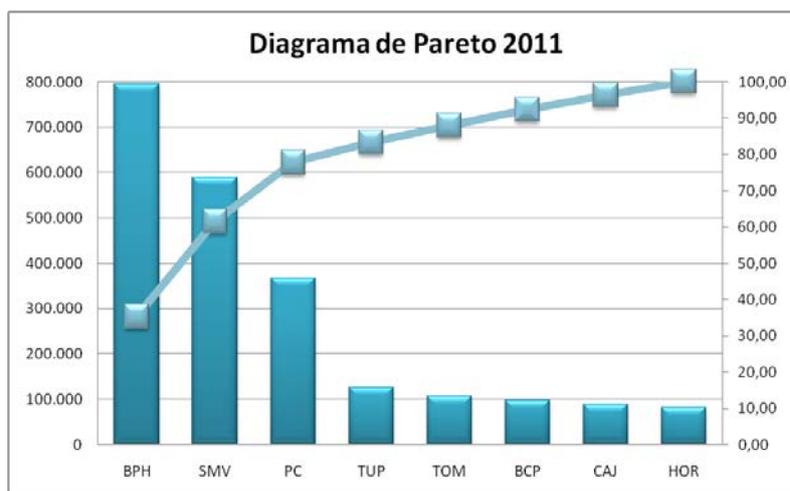


Gráfico 2.1 Volumen de ventas año 2011

A través del anterior diagrama de Pareto se observa que la BPH es el producto que mayormente contribuye con las ventas de la empresa en un 35,31%. El SMV es el siguiente producto que contribuye a la empresa con un 26,16% y finalmente el PC con un 16,27% con lo que sumando todos estos porcentajes se obtiene 77,74%, casi llegando al 80% de las ventas. Por lo que se determina que la mayor parte de las ventas de la empresa son los tres productos mencionados para el año 2011.

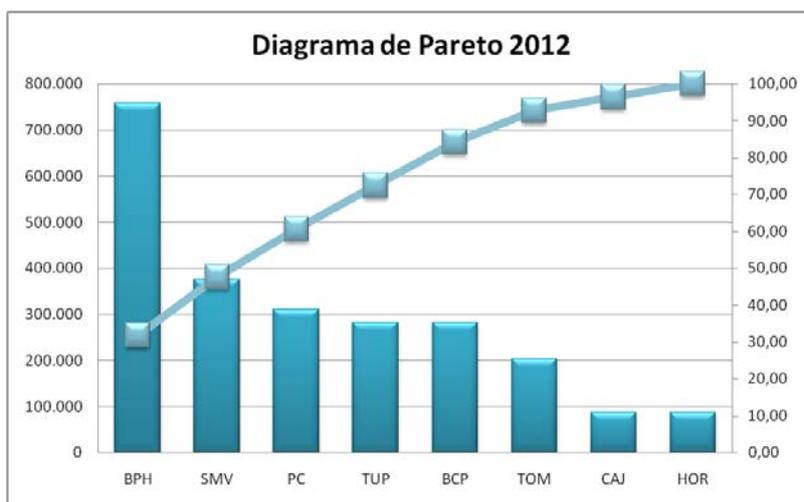


Gráfico 2.2 Volumen de ventas año 2012

De la misma manera para el 2012, se analizan los datos a través del diagrama de Pareto, y se observa del gráfico proyectado que igualmente la BPH es el producto que mayormente contribuye a las ventas con un 31,78%. El SMV es el siguiente producto que contribuye a la empresa con un 15,76%, el PC con un 12,98% y un cuarto producto el TUP con un 11,86%, con lo que sumando todos estos porcentajes se obtiene 72,38%, casi llegando al 80% de las ventas. Por lo que se concluye que la mayor parte de las ventas de la empresa son los cuatro productos mencionados para el año 2012.

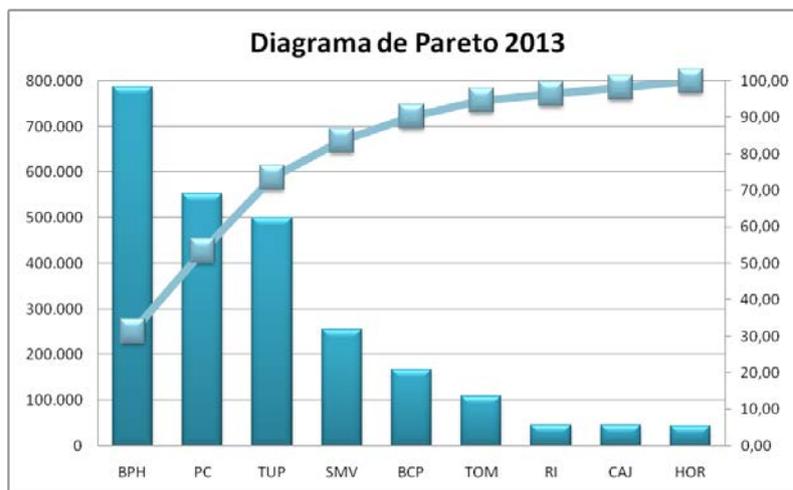


Gráfico 2.3 Volumen de ventas año 2013

Finalmente para el último año, se analizan los datos a través del diagrama de Pareto, y se observa de su proyección que nuevamente el BPH es el producto que mayormente contribuye a las ventas con un 31,43%. Luego el PC es el siguiente producto que contribuye a la empresa con un 22,04% y el TUP con un 19,97%, con lo que sumando todos estos porcentajes se obtiene 73,44%, casi llegando al 80% de las ventas. Por lo que se establece que la mayor parte de las ventas de la empresa son los tres productos mencionados para el año 2013.

En los análisis anteriormente descritos nos conducen a señalar que según los resultados de los diagramas de Pareto, se deben analizar los cuatro productos que son los que mayormente han contribuido a las ventas por tres años seguidos, los cuales son BPH (bisagra puerta de horno), SMV (soporte motor ventilador), PC (porta ciclor) y TUP (tuercas).

2.2.2 Análisis de las utilidades de producción

Para poder analizar las utilidades generadas por la empresa se utilizaron datos tomados de los estados financieros de la empresa para el año 2013, debido a que el problema en cuestión se lo detectó en dicho año. Para realizar el análisis se recogieron los datos constantes en el ANEXO 2.2, donde se presentan los requerimientos de materia

prima, que son necesarios para fabricar 9 productos, donde se muestran los costos por materia prima, costo total y precio de venta por producto. Para obtener las ganancias se resta del precio de venta del costo de fabricación por producto. Por lo que a partir de esos datos se multiplica por la cantidad de unidades vendidas obteniendo el siguiente diagrama de Pareto:

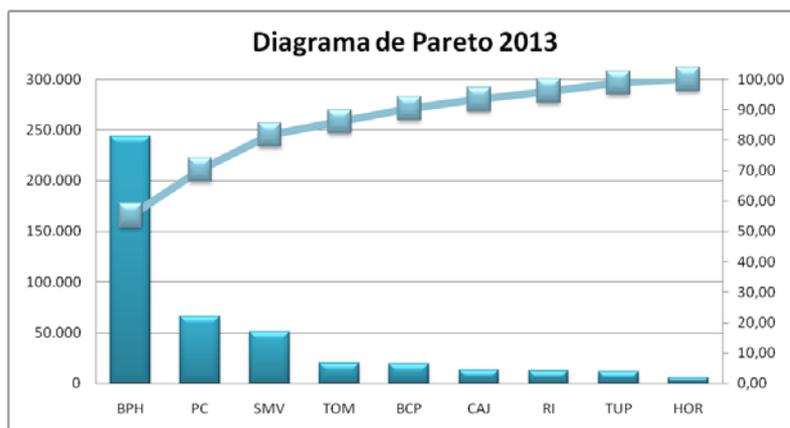


Gráfico 2.4 Utilidades año 2013

A través de este diagrama de Pareto se observa que, la BPH es el producto que da más ganancias a la empresa con un 55,28%. El PC es el siguiente producto que contribuye a la empresa con un 14,97%, con lo que sumando todos estos porcentajes se obtiene 70,26%, casi llegando al 80% de las utilidades. En consecuencia se concluye que la mayor parte de las utilidades de la empresa son de los dos productos mencionados para el año 2013.

2.3 Levantamiento de los macro procesos

2.3.1 Procesos de los productos con mayor volumen de producción y utilidad

Como se detectaron que los productos que contribuyen a las utilidades están dentro de los que contribuyen a las ventas se estudia el proceso de cuatro productos BPH, SMV, PC y TUC, lo que se muestra en el ANEXO 2.3. Como se puede observar en dicho anexo la BPH contiene los procedimientos del SMV, por lo tanto si se mejora el proceso de la BPH contiene los procedimientos del SMV, por lo tanto si se mejora el proceso de la BPH, que es más completo, se podrán aplicar las mismas mejoras para el SMV. Por otro

lado, PC y TUC son fabricados por una máquina donde el operador sólo interviene al calibrar la máquina, poner la materia prima y sacar el producto final, por lo que no se puede realizar un estudio complejo de mejoramiento para estas piezas, ya que es un proceso que en su totalidad es automatizado.

En consecuencia, de lo detallado en los numerales 2.2 y 2.3 de este trabajo, se concluye que el producto que se va a analizar es la BPH, ya que tiene un proceso que abarca otros, es el que más ventas y ganancias produce para la empresa.

2.4 Descripción del producto estrella

2.4.1 Levantamiento de los procesos involucrados en la Bisagra Puerta de Horno

La BPH es una pieza en la línea blanca que se utiliza para poder abrir y cerrar la puerta del horno con un movimiento suave y ajustable. Para cumplir con esta función se necesita de diferentes piezas como la palanca, el seguro del gatillo, el gatillo, el resorte y el porta-resorte que son ensamblados al cuerpo de la bisagra. Estas piezas deben pasar por varios procedimientos similares antes de ser ensamblados, explicados a detalle con un diagrama de flujo. El lote de palancas, debe pasar por el proceso de corte, se verifica si se realizó bien el corte para luego ser galvanizada, embocinada y si está bajo las normas específicas, pasa al ensamble, ver el ANEXO 2.4. Para el lote de seguro del gatillo, se necesita que la materia prima pase por el slitter, luego a corte y se revisa si se realizó bien la pieza para luego ser doblada y galvanizada; si cumple con las especificaciones, pasa al ensamble, ver el ANEXO 2.5. El lote de gatillo, pasa directamente a corte, luego al galvanizado, embocinado, se acopla con el seguro y se verifica si cumple con las especificaciones para continuar al ensamblaje, ver el ANEXO 2.6. Para realizar el lote de resorte se debe ir al conformado y corte, esmerilado y templado para pasar al ensamble, ver el ANEXO 2.7. La última parte, es el lote de porta resorte, donde la materia prima va por el slitter, se verifica si está bien realizado el corte para ser doblado, galvanizado y si cumple

con las especificaciones, continúa al ensamble que se realiza en dos pasos, ver el ANEXO 2.8.

Los siguientes procedimientos que se explican, son iguales para cada una de las piezas en caso de requerirlas. Se necesita en cada paso de diferente materia prima o troqueles para realizarlas, las prensas mecánicas que se usan desde el corte hasta el planchado son 12 máquinas exactas que al cambiar de troquel realizan diferentes operaciones y piezas, pero se destinan ciertas máquinas para realizar el procedimiento, nombradas de la # 1 a la 12 según el caso se explican a continuación, para mayor detalle ir al ANEXO 2.9:

Procedimiento de Slitter (1 máquina requerida)

Se recibe toda la materia prima y se la almacena, hasta su utilización en la máquina. La materia prima, no puede ser utilizada al instante, debido a que previamente se necesita calibrar el slitter de acuerdo a la producción. Posteriormente, se coloca la materia prima en la máquina: el cuerpo BPH (lámina de acero, bobina de 1,4 mm de espesor), el seguro (lámina de acero, bobina de 0,9 mm de espesor) y el porta resorte (lámina de acero, bobina de 1,4 mm de espesor). Se temple los flejes (láminas), se pesa y se almacena para su posterior uso.

Procedimiento de Corte (máquina # 1, 2, 4, 8, 9, 10 y/o 12):

Para realizar este proceso se debe montar y calibrar el troquel dependiendo de la pieza que se desea realizar. Una vez que esté bien calibrado, se monta el fleje al desembobinador y se corta la pieza, si se aprueba la pieza se almacena en una tina para su posterior uso.

Procedimiento de Doblado (máquina # 2, 3, 5, 6, y/o 11)

Al igual que el proceso de corte, se necesita montar y calibrar el troquel en la máquina, dependiendo de la pieza que se desea realizar. Una vez calibrado, se toman las

piezas cortadas y se colocan manualmente pieza por pieza, en la máquina para doblar; si se aprueba la pieza se almacena en una tina para su posterior uso.

Procedimiento de Orejado y Nervado (máquina # 4 y/o 11)

Se monta y calibra el troquel en la máquina, dependiendo de la pieza que se desea realizar. Sin embargo, en la BPH, sólo se usa esta máquina para el cuerpo, pero se la utiliza también en los porta ciclos y tuercas. Los cuerpos doblados y cortados, son puestos manualmente pieza por pieza, en la máquina para perforar; si se aprueba la pieza se almacena en una tina para su posterior uso.

Procedimiento de Planchado (máquina # 7)

Igual que los procedimientos anteriores, se monta y calibra el troquel en la máquina dependiendo de la pieza que se desea realizar. Los cuerpos cortados, doblados y nervados, manualmente son colocados pieza por pieza en la máquina para ser planchados; si se aprueba la pieza se almacena en una tina para un uso posterior.

Procedimiento de Galvanizado

La tina que contiene las piezas, es trasladada al área de galvanizado. Primero, se desengrasan las piezas en la tina 1 y se las enjuaga en agua, en la tina 2. Después se colocan las piezas en el zinc (mezcla de Hidróxido de Sodio, Cianuro, Sosa Caustica), dentro de un tambor, para que el químico usado, bañe las mismas. Después se enjuagan las piezas y se las neutraliza en ácido nítrico, para ser cromatizadas en ultra blue 1 y 2. Luego de ello, las piezas son enjuagadas en agua, secadas y almacenadas, para los siguientes procedimientos.

Proceso de Roscado (1 máquina)

Se toman los cuerpos cortados, doblados, nervados, planchados y galvanizados, y se colocan manualmente, pieza por pieza en la máquina para roscar; si se aprueba la pieza se almacena en una tina para su posterior uso.

Procedimiento de Embocinado (2 máquinas)

Para este procedimiento, se necesita un bocín que está hecho de AG30 grilón. Este material, se coloca en la inyectora de plástico, para que realice la inyección y se sacan los bocines en ramas que son cortadas para ser almacenadas. Los sobrantes de materia son reciclados.

Estos bocines son utilizados en la palanca y gatillo. Para la palanca, se colocan los bocines en el hueco de la palanca, lo mismo se realiza para el gatillo. Estos son almacenados en una tina para su posterior uso.

Procedimiento de Conformado y Corte (1 máquina)

Este procedimiento sirve para la realización del resorte, el cual necesita de alambre para ser fabricado. Se coloca el alambre en el dispensador una vez que la máquina esté calibrada. Luego se montan las guías del resorte y se prende la máquina, la cual conforma y corta el alambre. Se revisa el estado del resorte con los calibres y, si está bien, se almacena en tinas.

Procedimiento de Esmerilado (1 máquina)

Listos los resortes, se los ingresa uno a uno, a la máquina de esmerilado en una rueda que posee la máquina; se verifica que las puntas estén bien esmeriladas y se los almacena en tinas.

Procedimiento de Ensamble

Este procedimiento se lleva a cabo en dos partes. Para la primera parte (ensamble 1) se necesitan las palancas, gatillos, bocines, seguros, cuerpos y remaches. Se toma el seguro, el gatillo y el remache; se los junta con la máquina remachadora de modo que estén los dos sujetos. Luego, se toma el bocín y el gatillo con el seguro y se los une, para observar cómo queda la pieza ir al ANEXO 2.10. Se verifica que el gatillo y el seguro del gatillo no presenten machas negras o imperfecciones, que el gatillo no esté doblado, que la

boca del remache tenga forma de anillo y que el seguro se mueva libremente hasta que se tope con el gatillo.

Si se aprueban todos estos pasos se procede a ensamblar esa pieza al cuerpo con un remache y después la palanca al cuerpo con un remache, para observar cómo queda la pieza, ir al ANEXO 2.11. Se verifica también que la palanca no presente machas negras o imperfecciones, no se encuentre doblada, que el bocín no se mueva o gire con respecto al gatillo y palanca, y que el bocín este correctamente ubicado con respecto al gatillo y palanca.

Si se cumple con todo el procedimiento anteriormente descrito, se procede a la segunda parte del ensamblaje (ensamble 2), para lo cual se necesitan los resortes, porta resortes, remaches y la pieza del ensamble 1. Para ensamblar, se toma el resorte y se lo coloca en el porta resorte, posteriormente se añade el remache. Se verifica que el resorte tenga una superficie plana en los extremos, que esté correctamente esmerilado en las puntas, que el porta resorte pueda rotar libremente en el interior del resorte, que no presente manchas negras o imperfecciones y que la boca del remache tenga forma de anillo. Luego, se acopla al cuerpo del ensamble 1, mediante un remache. Se verifica si la pieza final está bien elaborada, para poderla engrasar y aceitar. Para observar las BPH terminadas, ir al ANEXO 2.12.

2.5 Análisis del reproceso de los productos

A pesar de que la BPH es el producto que genera más utilidades para la empresa, también es el que ocasiona más pérdidas por el reproceso que se genera antes de ser entregado al cliente final. El reproceso es reparar aquellas piezas fabricadas que tuvieron cierta deformación al ser producidas pero que no se desecharon ya que se pueden usar si se las modifica. A continuación se muestra los datos proporcionados por la empresa de las pérdidas económicas que ocasiona el reproceso a lo largo del 2013:

Códigos	Ganancia (\$)	% Reproceso	Pérdida (\$)	NETA (\$)
BPH	243.904,90	21%	51.220,03	192.684,87
BCP	18.940,31	30,0%	5.682,09	13.258,22
TOM	19.779,52	16,6%	3.283,40	16.496,12
PC	66.058,96	14,3%	9.446,43	56.612,53
CAJ	12.955,18	16,6%	2.150,56	10.804,62
HOR	5.182,01	12,5%	647,75	4.534,26

Tabla 2.1 Pérdidas por el reproceso del año 2013

Fuente: Datos históricos de VYM S.A.

Como se muestra en la tabla, no todos los productos que fabrica VYM S.A son reprocesados, y el producto que más genera pérdidas es la BPH con un 21% de reproceso dentro de sus piezas. En el total de pérdidas económicas significa lo siguiente:

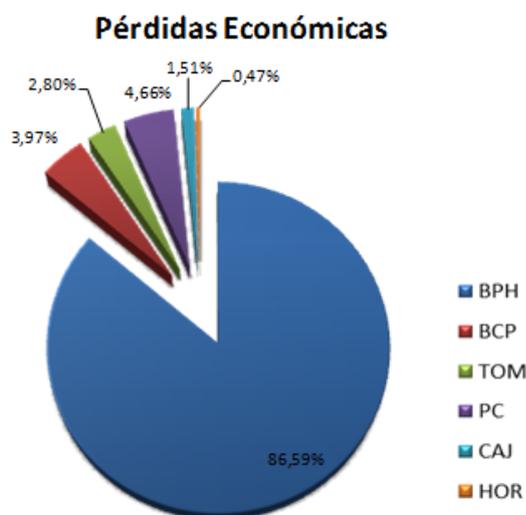


Gráfico 2.5 Pérdidas económicas año 2013

Conforme se puede observar la BPH es la que mayor porcentaje de pérdidas genera a la empresa, por lo que se requiere tomar una acción inmediata para evitar perder más dinero, en este sentido se desarrollará un mejoramiento del proceso para reducir este % de pérdidas en un 7% anual, de tal modo que la empresa obtenga mayores ganancias con la BPH. Si se logra cumplir con este propósito, se tendrá mayor producción y satisfacción del cliente, ya que los pedidos se entregarán justo a tiempo, porque no habrá retrasos en la producción por

el reproceso. Por lo que el siguiente punto detalla cómo se trabajará en este proyecto para poder alcanzar los objetivos de mejorar el volumen de producción y reducir el reproceso.

2.6 Project Charter

Se presenta el Project Charter del proyecto a continuación:

Project Charter				
Nombre del proyecto	La industria plasmada en la línea blanca: mayor eficiencia en sus piezas para garantizar un perfecto funcionamiento de los electrodomésticos.			
Autorizaciones	Nombres	Función	Día	Firma
Autora	Jaqueline Martínez Acosta	Alumna	25/01/2014	
Aprobado	Diego Guilcapi	Director de Tesis	22/04/2014	
Contexto del Proyecto y Problema	La procesadora VYM S.A., ubicada en Quito – Ecuador (José de la Rea y Francisco García OE1-178), comenzó sus operaciones en el año 1983. Desde ese entonces se ha proyectado a ser la empresa líder en la metalmecánica, haciendo sus propios diseños, fabricando sus piezas, partes y mecanismos para la línea blanca. Actualmente, está teniendo problemas en la producción por el % de reproceso de las piezas. De acuerdo a los datos de enero a diciembre del año 2013, se reportó un 40,56% de reproceso anual en la pieza seguro del gatillo; 24,87% en la pieza gatillo; y 23,32% en la pieza cuerpo, los cuales conforman una parte del producto estrella de la empresa que es la bisagra puerta de horno cuya producción diaria es de 2.500 piezas, lo cual ha provocado pérdidas económicas, de materiales y de tiempos.			
Fecha Inicio	01/03/2012	Fecha Fin	22/04/2014	
Objetivos del Proyecto	Identificar el producto estrella de la empresa. Levantar y analizar el proceso de fabricación del producto estrella. Determinar tiempos estándares para la producción Reducir los reproceso encontrando los factores que lo causan Plantear propuestas que mejoren el proceso de fabricación del producto estrella. Calcular el ahorro de la empresa			
Entregables	Fase Planear: Enero, Febrero Fase Hacer: Marzo, Abril Fase Verificar: Abril			
Meta del proyecto	Mejorar la productividad diaria de la bisagra puerta de horno (BPH) de cocinas de 2.500 piezas diarias a 2.600 piezas diarias. Igualmente, reducir el número de defectos por pieza estudiada de la BPH en un 7% hasta Abril 22, 2014.			
Beneficios del proyecto	Mayor rentabilidad de la empresa Mayor eficiencia en la producción de la BPH Mejor utilización de la mano de obra			
Costos	\$250 dólares en \$100 de gasolina, \$150 copias y empastado			
Problemas y Riesgos	No alcanzar a entregar los entregables por falta de tiempo y no tener los datos necesarios para poder reducir el porcentaje deseado de reproceso y mejorar la productividad.			
Informes	Frecuencia	Quienes		
Reuniones				
Reunion con Director	Semanal	Diego Guilcapi, Jaqueline Martínez		
Reportes				
Progreso Reportes	Semanal	Diego Guilcapi		
Cierre Reportes	2014			

Tabla 2.2 Project Charter del Proyecto de Grado

Fuente: Formato extraído de pmlinks.com

CAPÍTULO 3. FASE HACER

3.1 Determinar la producción

Para poder determinar la productividad se realizará un análisis del valor agregado para el proceso de la BPH para conocer a mayor profundidad el proceso, luego se realizará un estudio de tiempos estándares de aquellos que estén involucrados en producir, y no en los períodos de calibración o mantenimiento de la máquina o transporte; sin embargo estos tiempos serán tomados en consideración en las matrices de valor agregado explicados en la sección 1.3.1. Esto se debe a que estos tiempos son solamente para la primera pieza del lote que se fabrique, ya que solo se necesita realizar una vez esos procedimientos para ser utilizados por el resto de piezas que conformen el lote.

Actualmente, se tiene un promedio de 2.500 piezas (indicador) que deben ser realizadas en dos turnos de ocho horas, con un total de 28 obreros (Morales T., 2014). Por lo que para mejorar este indicador se establecerán los tiempos de fabricación de la BPH.

3.1.1 Análisis de tiempos y de actividades

Luego de haber levantado el proceso, se analizan cuales son las actividades que generan valor para el cliente y el negocio, de acuerdo a la explicación de la sección 1.3.1 para conocer a profundidad las actividades más importantes en el proceso. Las actividades mencionadas en el análisis de valor son las mismas que las del diagrama de flujo de la sección 2.4.1. Se realizaron 7 matrices detallando los procesos necesarios para realizar la BPH: el cuerpo, la palanca, el gatillo, el seguro, el porta resorte, el resorte y el ensamble, mostrados en el ANEXO 3.1.

En resumen, se muestra la siguiente tabla:

Subproceso	VAN / VAC	Operación	Transporte	Espera	Inspección	Archivo	Total Act.	Tiempo Total (min)
Cuerpo	15	32	7	1	6	14	60	449,892
Palanca	5	13	2	1	1	4	21	89,073
Seguro	9	22	4	1	3	8	38	322,763
Gatillo	5	13	2	1	1	4	21	84,09
Porta Resorte	9	22	4	1	3	8	38	331,737
Resorte	3	9	3	0	3	5	20	95,157
Ensamble	6	19	5	0	3	1	28	4,5683
Total							226	1377,28

Tabla 3.1 Resumen análisis de valor agregado

Como se puede observar se necesitan 226 actividades para generar una BPH con un tiempo de 22 horas para el periodo de preparación, fabricación de la primera pieza del lote y las demás actividades involucradas en el proceso de producción por lote. Los índices del valor agregado para tiempos y actividades, mostrados en el ANEXO 3.1 son bajos debido a que son actividades que son necesarias y no pueden ser eliminadas. En general se encontró que el VAN es la trazabilidad que se le da al proceso para verificar que no se entreguen piezas malas al cliente y el VAC es la grasa que se le coloca a la pieza, permitiendo que la pieza dure más tiempo.

3.1.2 Estudio de tiempos

3.1.2.1 Inicio del estudio

De acuerdo a la teoría expuesta en la sección 1.3.2, se tomaron las recomendaciones necesarias para realizar un buen estudio de tiempos. Iniciando el estudio con el registro de la hora y conociendo que se utilizará la técnica para registrar los tiempos llamada “regresos a cero” que consiste en registrar “después de leer el cronómetro en el punto terminal de cada elemento, el tiempo se restablece en cero; cuando se realiza el siguiente elemento el tiempo avanza a partir de cero” (Niebel & Freivalds, 2008). Por lo

que se registra en la plantilla proporcionada por Niebel y Frivalds (2008) el tiempo observado (TO) con los dígitos necesarios omitiendo el punto decimal.

Para poder recolectar la información necesaria, a fin de realizar el estudio de tiempos, se utilizó los procedimientos que se levantaron en la sección 2.4.1 y así describir el número de elementos que necesita las piezas que conforman la BPH.

Determinación de los ciclos de estudio

Antes de comenzar a tomar datos, es necesario determinar el ciclo de estudio para cada una de las piezas que conforman la BPH (cuerpo, palanca, gatillo, seguro, resorte, porta resorte) y su ensamble. Como se explicó en la sección 1.3.2.1 se puede estimar los números recomendados de ciclos, por medio de la distribución t utilizando muestras pequeñas con datos históricos de la compañía. Por lo que se registraron 25 lecturas históricas para cada uno de los elementos por pieza, utilizando una probabilidad de error de 5%, ya que existen varios autores que al realizar un estudio de tiempos utilizan un nivel de confianza de 95%. Tal es el caso de estudio de Rodríguez, que determinó el tiempo estándar de la línea de producción de una empresa manufacturera usando la técnica de regresos a ceros, tomando un nivel de confianza de 95% (Rodríguez, 2008).

No obstante lo establecido en el párrafo anterior, al estar utilizando la prueba t para obtener el número de ciclos de estudio, se supone que las observaciones de la muestra pertenecen a una población normal. Montgomery recomienda verificar el supuesto de normalidad de la prueba t, con la gráfica de probabilidad normal, que es un método gráfico que ayuda a determinar si la distribución de los datos muestrales se ajustan a una normal (2009).

En los análisis que se explicarán a continuación se utiliza el software MINITAB, que arroja los gráficos de probabilidad usando la prueba de Anderson - Darling (AD), una prueba no paramétrica utilizada para verificar si una muestra proviene de una distribución

específica (Montgomery & Runger, 2009). Si en el gráfico se presenta un valor bajo AD significa que el ajuste de la distribución de los datos es mejor, y si el valor P es mayor al nivel de significancia ($1-\alpha$) determinado, se concluye que los datos siguen una distribución normal (Montgomery & Runger, 2009). En este caso se selecciona un alfa de 0,05 por lo explicado anteriormente, es decir un nivel de significancia de 95%. Las hipótesis atrás de estas pruebas fueron:

H_0 : Los datos siguen una distribución Normal.

H_1 : Los datos NO siguen una distribución Normal.

Para el cuerpo se presenta el siguiente gráfico de probabilidad:

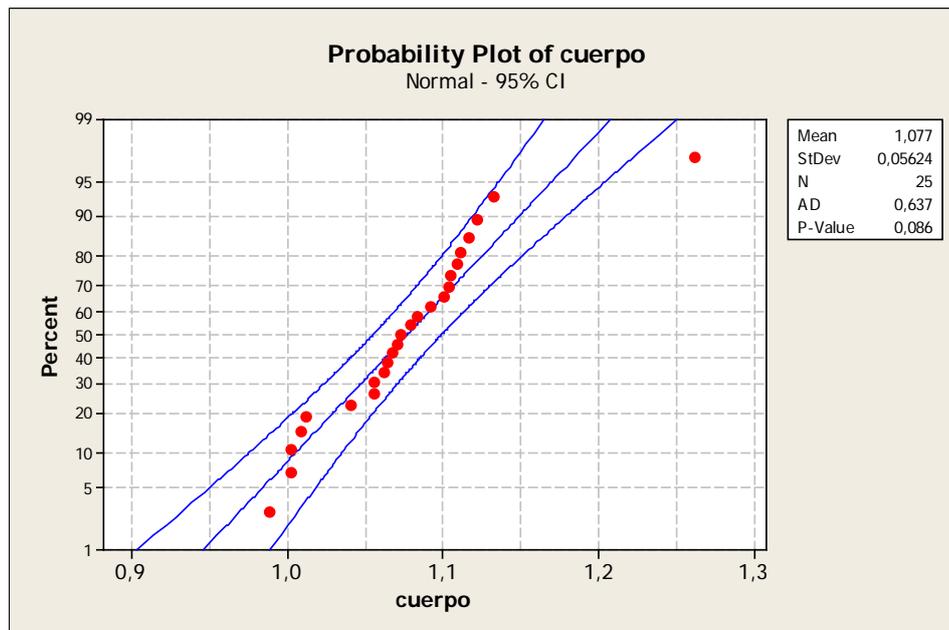


Gráfico 3.1 Probabilidad Anderson-Darling del cuerpo

Se puede observar en el gráfico 3.1, dado por el software MINITAB, que los datos siguen una distribución normal al ser el valor P mayor a 0,05 y el AD bajo. Por lo que no existe evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula.

De la misma manera se analiza para el gatillo:

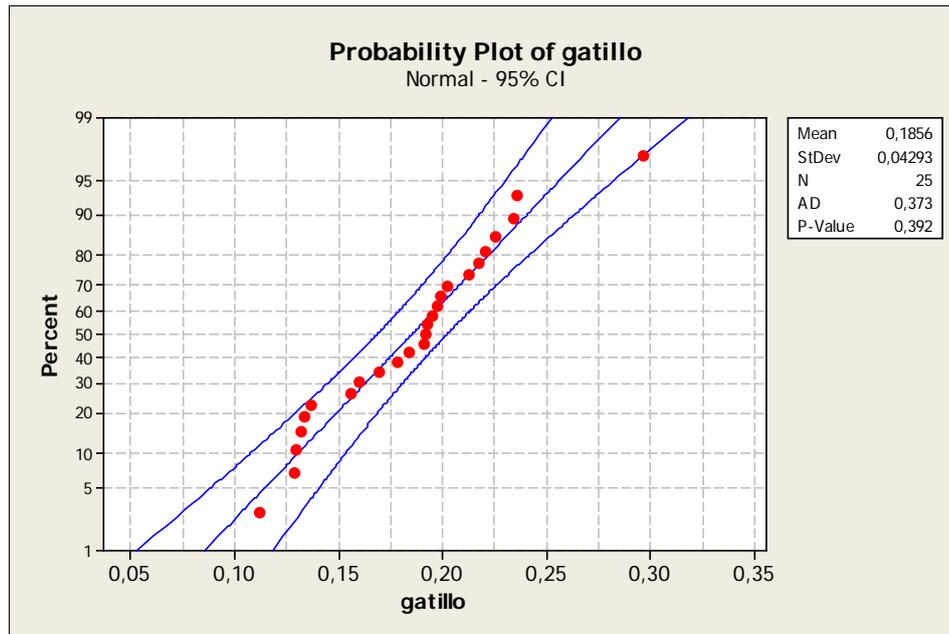


Gráfico 3.2 Probabilidad Anderson-Darling del gatillo

Se puede observar en el gráfico 3.2, dado por el software MINITAB, que los datos siguen una distribución normal al ser el valor P mayor a 0,05 y el AD bajo. Por lo que, no existe evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula.

Para el seguro del gatillo:

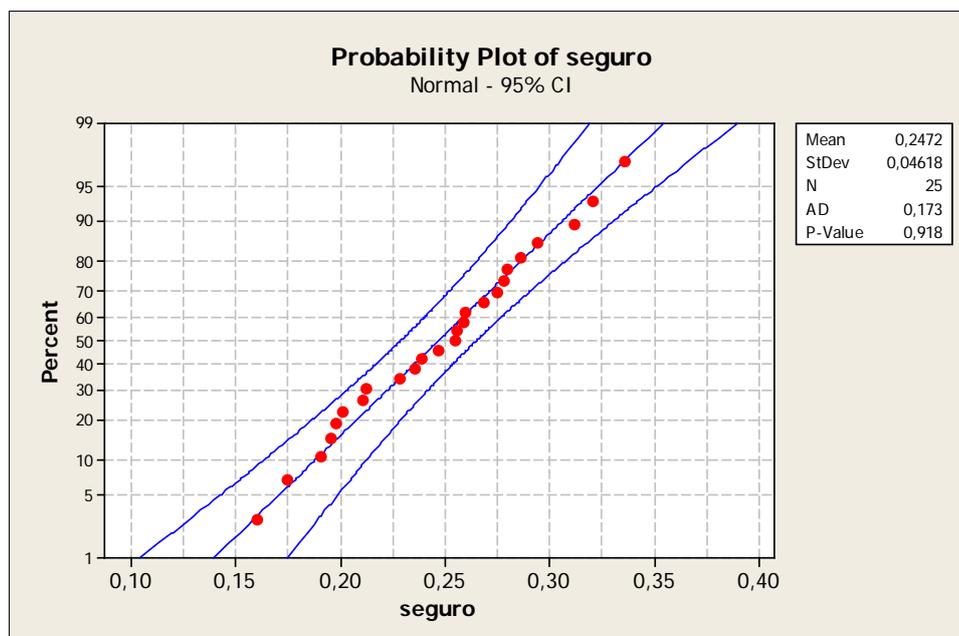


Gráfico 3.3 Probabilidad Anderson-Darling del seguro del gatillo

Se puede observar en el gráfico 3.3, dado por el software MINITAB, que los datos siguen una distribución normal al ser el valor P mayor a 0,05 y el AD bajo. Por lo que, no existe evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula.

Para el resorte:

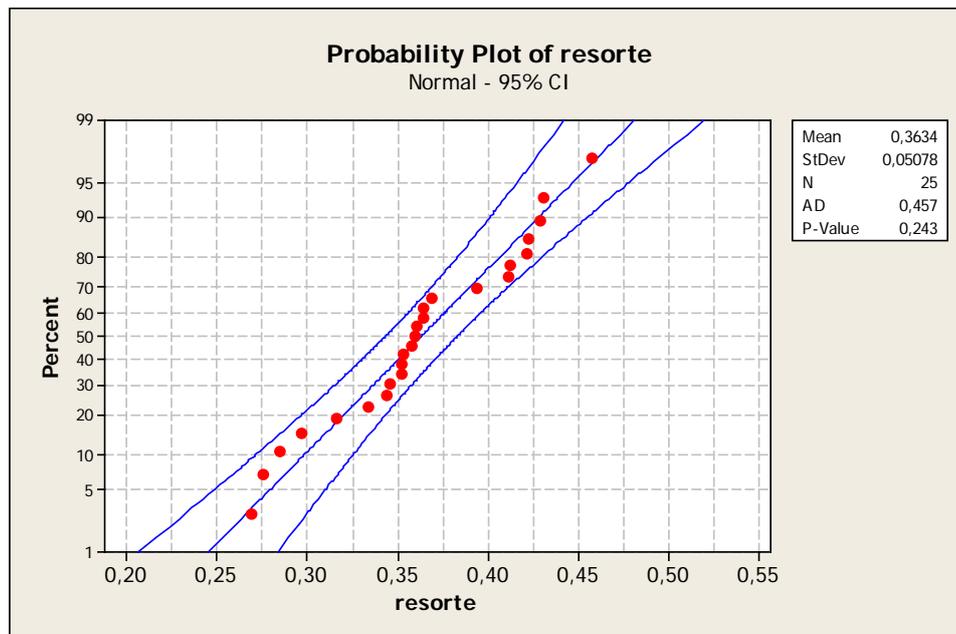


Gráfico 3.4 Probabilidad Anderson-Darling del resorte

Se puede observar en el gráfico 3.4, dado por el software MINITAB, que los datos siguen una distribución normal al ser el valor P mayor a 0,05 y el AD bajo. Por lo que no existe evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula.

Para el porta resorte:

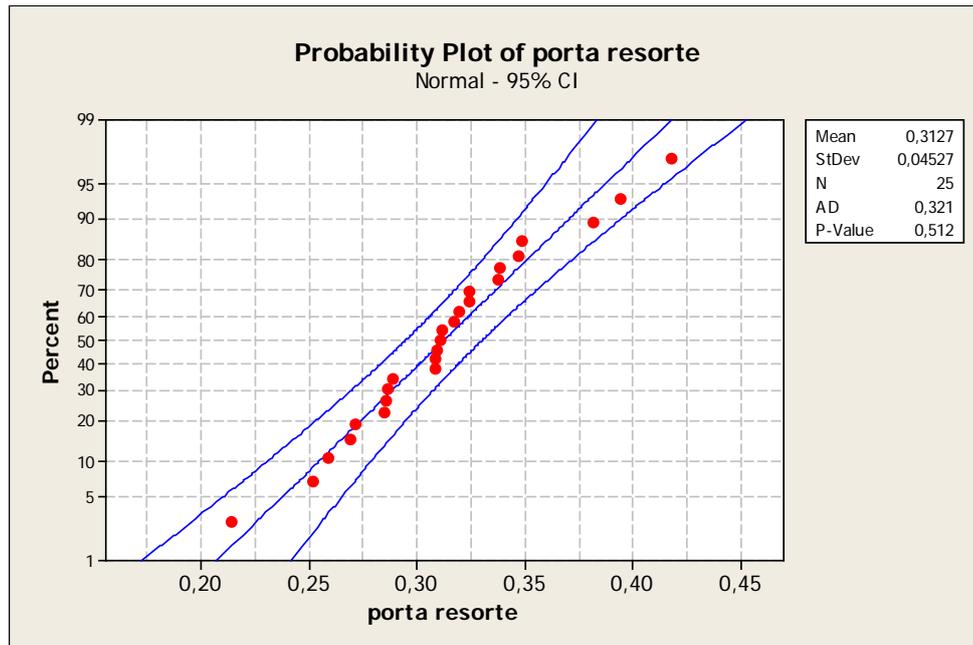


Gráfico 3.5 Probabilidad Anderson-Darling del porta resorte

Se puede observar en el gráfico 3.5, dado por el software MINITAB, que los datos siguen una distribución normal al ser el valor P mayor a 0,05 y el AD bajo. Por lo que, no existe evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula.

Para el ensamble:

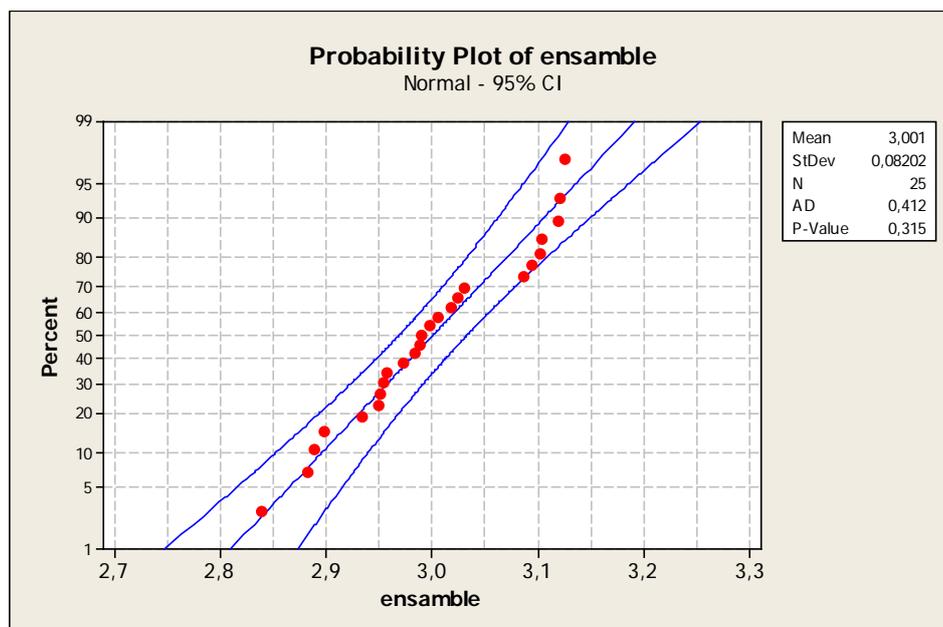


Gráfico 3.6 Probabilidad Anderson-Darling del ensamble

Se puede observar en el gráfico 3.6, dado por el software MINITAB, que los datos siguen una distribución normal al ser el valor P mayor a 0,05 y el AD bajo. Por lo que, no existe evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula. Por lo tanto, se puede utilizar los siguientes valores en el estudio de tiempos, utilizando la ecuación descrita en la sección 1.3.2.1 se establece una probabilidad de error $k = 5\%$ con 24 grados de libertad, lo que conduce a $t=2,064$. Se obtiene para la muestra inicial de cada una de las piezas \bar{x} y s , lo que resulta lo siguiente:

	cuerpo	palanca	gatillo	seguro	resorte	porta resorte	ensamble
\bar{x}	1,077	0,2466	0,1856	0,2472	0,3634	0,3127	3,001
s	0,056	0,040	0,043	0,046	0,051	0,045	0,082
k	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
grado de libertad	24	24	24	24	24	24	24
t	2,064	2,064	2,064	2,064	2,064	2,064	2,064
n	5	46	91	59	33	36	1

Tabla 3.2 Cálculo del número de observaciones requerido

Fuente: Datos históricos de VYM S.A.

A pesar de que los datos hayan sido normales, se debe considerar el coeficiente de variación (CVE), ya que las estimaciones hechas a través de muestras tienen dos tipos de errores (Departamento Administrativo Nacional de Estadística , 2008). Los ajenos al muestreo, que se dan por procedimientos imperfectos de la observación, son errores inherentes de toda investigación estadística (Departamento Administrativo Nacional de Estadística , 2008). Y los errores de muestreo, que se dan por estudiar sólo una fracción de la población total (Departamento Administrativo Nacional de Estadística , 2008). La forma de calcular el error muestral es midiendo la variabilidad de la distribución muestral del estimador, que está dado por:

$$CVE = \frac{S}{\bar{x}} * 100$$

Donde:

s: desviación estándar de la muestra

\bar{x} : media muestral

Según el Departamento Administrativo Nacional de Estadística de Colombia, se considera que una estimación con un coeficiente de variación:

- Hasta del 7%, es precisa (2008);
- Entre el 8 y el 14%, tiene una precisión aceptable (2008);
- Entre el 15% y 20%, es una precisión regular y se debe utilizar los estimadores con precaución (2008);
- Mayor del 20%, indica que la estimación es poco precisa y sólo se recomienda utilizarla con fines descriptivos (2008).

Por lo tanto, para los datos obtenidos el coeficiente de variación es el siguiente:

	cuerpo	palanca	Gatillo	seguro	resorte	porta resorte	ensamble
CVE	5,20%	16,22%	23,17%	18,61%	14,03%	14,39%	2,73%

Tabla 3.3 Cálculo del coeficiente de variación

Fuente: Datos históricos de VYM S.A.

La mayoría de los valores son menores al 20%, por lo que se encuentran dentro de los límites establecidos. Sin embargo, el gatillo es mayor al 20%, entonces se debe utilizar una metodología alternativa que facilitará la lectura e interpretación de los coeficientes de variación a través de los intervalos de confianza, que “es un rango dentro del cual los valores no pueden ser considerados estadísticamente diferentes unos de otros, y se encuentran sujetos a un nivel de confiabilidad del 95%” (Departamento Administrativo Nacional de Estadística , 2008). La forma de calcular el intervalo según el Departamento Nacional de Estadística de Colombia es la siguiente:

- Tomar el valor puntual de la estimación.

- Calcular el error estándar del estimador, que está definido por:

$$error\ std = cve * \hat{\theta}$$

- A esta estimación se le suma lo siguiente:

$$I.C. = \hat{\theta} \pm 1.96 * error\ std$$

El valor de 1.96 es el valor crítico correspondiente a dos colas de una distribución normal para un nivel de confianza de 95%.; por lo tanto, para el gatillo el tiempo estándar debe estar determinado por un intervalo.

3.1.2.2 Ejecución del estudio

Una vez determinado los números de ciclos que se necesitan observar para cada parte de la BPH, y habiendo establecido que se utilizará la técnica de regresos a ceros; aún no se puede comenzar a realizar la toma de datos sin considerar los dos siguientes puntos que se deben realizar en conjunto con la toma de tiempos.

Calificaciones del desempeño del operario

Como se señaló en la sección 1.3.2.2, se necesita calificar a los operarios, de acuerdo a la actividad que realicen en cada parte de la BPH. Por lo que, para cada ciclo observado se dio una calificación del desempeño utilizando el sistema Westinghouse, explicado en la sección 1.3.2.2, tomando en cuenta los dos factores de habilidad y esfuerzo. Se decidió realizar una evaluación por cada ciclo y no una promedio, debido a que se observó que la mayoría de tiempos variaban de un ciclo al otro, y no se mantenía un mismo operario para cada uno de los elementos que conforman la pieza de la BPH; por ejemplo, como se indicó en el capítulo anterior, para realizar el gatillo se necesita del proceso de corte, galvanizado y embocinado, donde para el corte se tiene un operario diferente que el de galvanizado, y otro para el embocinado. Igualmente se decidió calificar de esta manera para tener una mayor precisión en el cálculo del tiempo estándar, ya que un operario no puede mantener su desempeño de la misma manera todas las veces que realiza el mismo trabajo.

Asignación de suplementos

Al igual que en la calificación de desempeño, se asignó un propio suplemento a cada una de las piezas que conforman la BPH, utilizando la tabla 1.4 de la ILO, en todas las partes de las piezas se asigna una necesidad personal de 5, fatiga básica de 4, por lo expuesto en la sección 1.3.2.3. Para los suplementos variables se asigna, dependiendo de la pieza que se esté realizando, lo que se observaba y por entrevistas verbales que se mantuvieron con los trabajadores después de la toma de datos.

Existen algunos suplementos que se mantienen constantes para todas las piezas, como el estar de pie que se le se asigna un valor de 2; la posición que mantienen los trabajadores es incómoda, ya que se quejan de dolor de pies y de la espalda; al estar en la misma posición por el tiempo que dura la operación, se asigna un valor de 2; en toda la planta ninguno de los trabajadores se quejaban por falta de luz en su puesto de trabajo, y se mantiene un nivel de iluminación de 650 lux, por lo que el % de suplemento que se asigna es un valor de 0; las condiciones atmosféricas en su mayoría se mantienen constante por lo que se asigna un valor de 0; los trabajadores no tienen un estrés mental, ya que son procesos que se realizan mecánicamente con la experiencia, se asigna un valor de 1; los trabajos que realizan utilizan las mismas herramientas y máquinas repetitivamente, por lo que se posee una alta monotonía al pensar varias veces en los mismos proceso, que se debe realizar para fabricar cada una de las piezas, en tal efecto se asigna un valor de 4; y finalmente son tareas tediosas, ya que usan repetitivamente ciertos miembros del cuerpo como los dedos, manos y piernas haciendo que el trabajo tenga casi siempre los mismos movimientos físicos, a esta se le asigna un valor de 2.

Por otro lado, los factores que cambian en cada pieza se detallan a continuación. Para el cuerpo de la BPH se asignan los siguientes valores para el suplemento variable: el peso que posee el cuerpo de la BPH es de 0,16 libras, pero siempre se las apila en 124 piezas para

poder ser trasladadas al siguiente procedimiento, por lo que el peso que cargan es de 19,82 libras = 20 libras, a lo que se asigna un valor de 3; la atención que requiere realizar el cuerpo es muy precisa, puesto que si hay un ligero movimiento de la pieza metálica el cuerpo no sirve y se vuelve desperdicio, lo mismo sucede para las demás piezas, a excepción del resorte en consecuencia para las demás piezas se asigna un valor de 5; el nivel de ruido que se maneja en las piezas es el mismo a excepción del resorte, que necesita del corte, por tanto en esa máquina se tiene un ruido muy fuerte e intermitente, a lo que se asigna un valor de 5; ver ANEXO 3.2 para la aplicación de los suplementos.

Para la palanca lo que cambia del cuerpo es el peso que es de 0,08 libras, pero siempre se las apila en 188 piezas para poder ser trasladadas al siguiente procedimiento, por eso el peso que cargan es de 15,02 libras = 15 libras, a lo cual se asigna un valor de 2, ver ANEXO 3.3 para la aplicación de los suplementos; igualmente cambia el peso del gatillo que es de 0,04 libras, pero siempre se las apila en 231 piezas para poder ser trasladadas al siguiente procedimiento, por tanto el peso que cargan es de 9,24 libras = 10 libras, para lo que se asigna un valor de 1, ver ANEXO 3.4 para la aplicación de los suplementos. El peso del seguro del gatillo es de 0,02 libras, pero siempre se las apila en 278 piezas para poder ser trasladadas al siguiente procedimiento, el peso que cargan es de 5,55 libras = 5 libras, se asigna un valor de 0, ver ANEXO 3.5 para la aplicación de los suplementos. El peso del porta resorte es de 0,10 libras, pero siempre se las apila en 140 piezas para poder ser trasladadas al siguiente procedimiento, el peso que cargan es de 14,03 libras = 15 libras, y se asigna un valor de 2, ver ANEXO 3.6 para la aplicación de los suplementos.

Para el resorte el peso que posee es de 0,04 libras, pero siempre se las apila en 140 resortes para poder ser trasladadas al siguiente procedimiento, el peso que cargan es de 9,88 libras = 10 libras, y se asigna un valor de 1; la atención que requiere realizar el cuerpo es bastante fina, ya que es un proceso automatizado que sólo se necesita ver en el

día las primeras piezas que salgan bien para saber si está bien calibrada la máquina y mover las piezas cuando ya se llene la cubeta; el nivel de ruido que se maneja en la fabricación del resorte es fuerte e intermitente, pero no por el ruido de la fábrica, en razón de as máquina del resorte, en este caso se asigna un valor de 2; ver ANEXO 3.7 para la aplicación de los suplementos.

Durante la toma de datos no se dieron suplementos especiales, en tal razón en cada pieza el valor que se asigna es cero. Con lo que finalmente se obtiene los siguientes suplementos para las piezas de la BPH:

Pieza	Suplemento
cuerpo	33
palanca	32
gatillo	31
seguro	30
resorte	23
porta resorte	32
ensamble	33

Tabla 3.4 Total del porcentaje de los suplementos

Determinación del tiempo estándar

Una vez que se ha observado el número total de ciclos, registrando el tiempo en minutos de cada uno de los elementos y calificando cada operación, se procede a calcular el TN, de acuerdo a la sección 1.3.2.2, para luego obtener el tiempo estándar del elemento a partir de la ecuación de la sección 1.3.2.4 Cada uno de los tiempos estándar calculados se encuentra en los ANEXOS 3.2 al 3.8.

Para saber si se realizó un buen estudio de tiempos se necesita realizar la verificación de tiempos. Se debe registrar el tiempo de terminación e inicio exacto para cada una de las mediciones realizadas. Se debe anotar el TTAS, que es el tiempo transcurrido antes del estudio, y el TTDS que es el tiempo transcurrido después del estudio; se suman estos dos valores y el resultado se lo anota en Tiempo total (Niebel & Freivalds, 2008). Luego se suman todos los TO totales registrados y si existe un tiempo inefectivo que es la suma de

los elementos extraños, como las interrupciones que hacen retrasar el proceso (Niebel & Freivalds, 2008). En todo el estudio no se dio ningún elemento extraño que haya detenido el proceso, por lo que no existe tiempo inefectivo.

Se suma el tiempo total, el tiempo efectivo e inefectivo y la respuesta se la registra en el tiempo total, luego se resta este valor del tiempo no contado para conocer el % de error de registro, dividiendo el tiempo no contado para el tiempo transcurrido, se espera que este valor sea menor a 2% (Niebel & Freivalds, 2008). Calculando el % de error de registro para cada una de las piezas no se tiene ningún valor mayor a 2%, lo que demuestra que el estudio es válido.

Finalmente, los tiempos que se deben manejar para producir cada una de las piezas que conforman la BPH, tomando en cuenta que el gatillo tiene un tiempo entre:

- $\hat{\theta} = 0,30$
- $error\ std = cve * \hat{\theta} = 0,2317 * 0,30 = 0,069$
- $I.C. = \hat{\theta} \pm 1,96 * error\ std = 0,30 \pm 1,96 * 0,069 = 0,30 \pm 0,14$

Se tienen los siguientes tiempos estándares:

Pieza	Tiempo estándar total (min)
Cuerpo	1,72
Palanca	0,40
Gatillo	$0,30 \pm 0,14$
Seguro	0,42
Resorte	0,49
Porta resorte	0,47
Ensamble	4,50
TOTAL	$8,30 \pm 0,14$

Tabla 3.5 Total del tiempo estándar

En consecuencia, si se realizara pieza por pieza con un sólo operador, el tiempo requerido para realizar 1 bisagra puerta de horno es entre 8 minutos 10 segundos (8,16 min) a 8 minutos 26 segundos (8,44min), con un operario totalmente calificado y capacitado, sin contar los tiempos de transporte y mantenimiento. Sin embargo, ese tiempo

se lo debe considerar para conocer cuántas BPH se podrían producir en un día. Como se mencionó en la sección 3.1.1 se necesitan 1377,28 min para comenzar a producir la BPH y luego se necesitarán $8,30 \pm 0,14$ para seguir produciendo las piezas hasta completar el lote diario de producción. Se tomará el mayor tiempo que puede implicar realizar la bisagra para mostrar el peor de los casos, es decir 8,44 min por la segunda pieza que se realice en el lote.

Como se indicó anteriormente, lo que se produce actualmente son 2.500 piezas diarias con 28 operarios. Utilizando los tiempos obtenidos esto significa que para obtener la primera pieza, cada operario está implicado en un tiempo de $1.377,28 / 28 = 49,19$ min, y para las 2.499 piezas restantes el tiempo de cada operario implicado es de $(8,44 / 28) = 0,3 * 2.499 = 749,7$ min. Lo que significa que para producir las 2.500 piezas se requiere de 798,89 min, es decir 13 horas con 19 min. Por lo que se está perdiendo 2 horas 41 min, tiempo en el que se podrían fabricar más piezas.

Se conoce que los operarios no pueden trabajar 8h seguidas, habiendo considerado este particular en los 8,44 min, por suplementos explicados en la sección 3.1.2.2, se debe considerar este período para el tiempo restante. Al respecto, se investigó que en el 2013, Survey.com realizó una encuesta sobre el tiempo perdido en la jornada laboral (Gouveia, 2013), obteniéndose que de 1.000 personas el 34% afirmó perder 30 minutos o menos del tiempo de trabajo (Gouveia, 2013). El 24% entre 30 a 60 minutos diarios y el 11% afirma que pasan varias horas al día perdiendo el tiempo, en cosas no relacionadas con el trabajo (Gouveia, 2013). Se toma al grupo de mayor % consultado, es decir 30 min perdidos en la jornada laboral de 8 horas, por lo tanto se trabajaría 7h30min por jornada, a esto se le multiplica los dos turnos, obteniendo un total de 900 min de trabajo al día. Esto da como resultado que la eficiencia esperada de los operarios es de 93,75%, tomando en cuenta que 960 min son las horas de trabajo pagadas.

Por lo que si se mantienen los tiempos estándares asignados a cada una de las actividades se logrará fabricar diariamente 12,66%, más de lo que actualmente se produce. Se muestra a continuación las equivalencias a esta cifra, tomando en cuenta que un día son 16 horas trabajadas, en una semana son 5 días laborales, en un mes son 4 semanas, en 1 año son 12 meses y una BPH cuesta \$1,29/unidad:

	Piezas (unidades)			Dólares (\$)		
	Actual	Propuesto	Diferencia	Venta Actual	Venta Futura	Diferencia
diario	2.500	2.817	317	\$ 3.225,00	\$ 3.633,29	\$ 408,29
semanal	12.500	14.083	1.583	\$ 16.125,00	\$ 18.166,43	\$ 2.041,43
mensual	50.000	56.330	6.330	\$ 64.500,00	\$ 72.665,70	\$ 8.165,70
anual	600.000	675.960	75.960	\$ 774.000,00	\$ 871.988,40	\$ 97.988,40

Tabla 3.6 Mejora de la productividad

Como se puede observar, al año se podría vender \$ 97.9888,40 al aumentar la productividad en un 12,66%, utilizando los tiempos estándares obtenidos. Esto se puede lograr estableciendo la cantidad de piezas que se deben producir en un turno de 8 horas de trabajo ya que se ha demostrado que se pueden obtener mejores resultados.

3.2 Análisis del reproceso

Como se mencionó en la sección 2.5, la BPH es el producto que mayor reproceso tiene. Lo que implica que es el que mayores pérdidas da a la empresa. En esta sección, se tratará de disminuir el porcentaje anual de reproceso que se genera detectando las posibles causas, el área de mayor reproceso y los factores que lo influyen.

3.2.1 Detección de las posibles causas del reproceso

Existen varias herramientas para poder identificar cuáles son las posibles causas por las que se pueden generar los desperdicios, entre ellas está el diagrama de causa efecto, contestación a las 4W y 1H, y a los 5 por qué.

3.2.1.1 Diagrama de pescado

Se realizaron entrevistas para poder detectar cuáles son las posibles causas que provocan el efecto (pieza defectuosa), aplicando la teoría de la sección 2.3.3, el resultado es el siguiente:

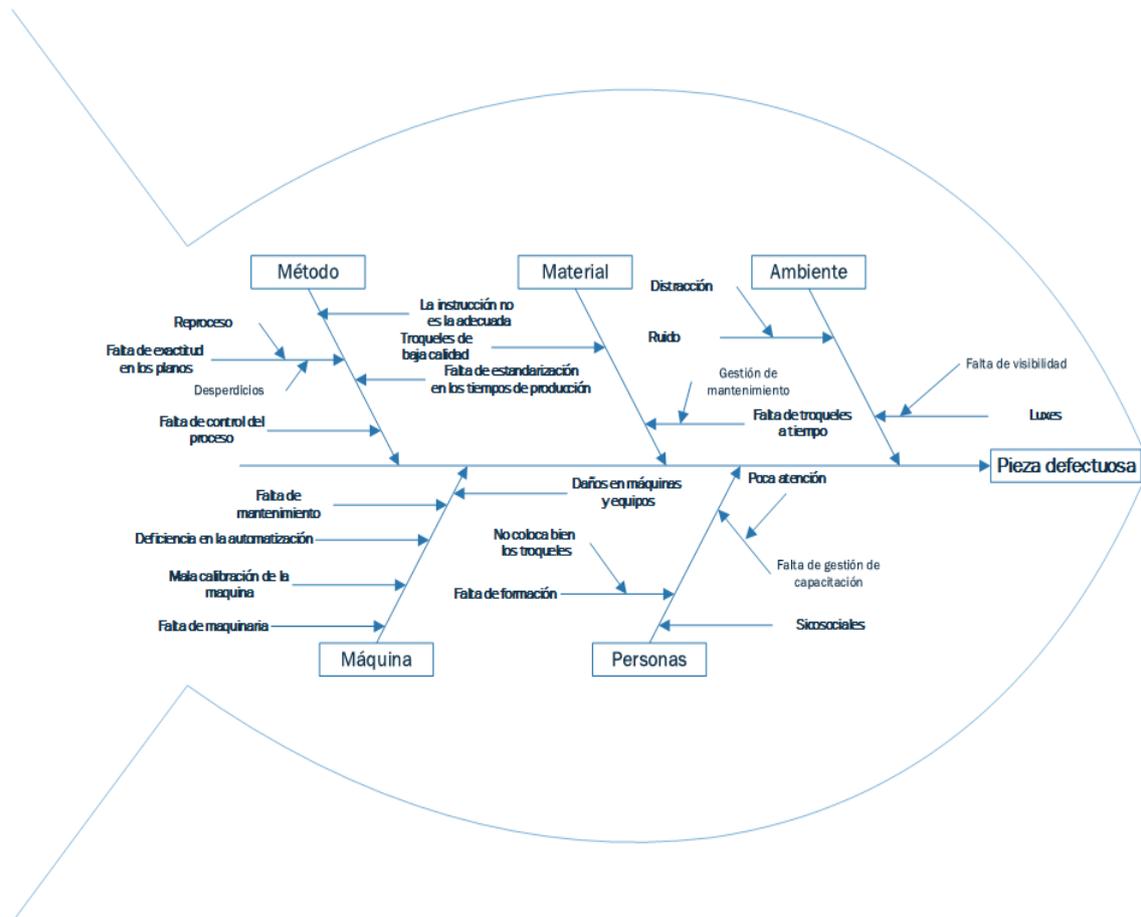


Gráfico 3.7 Diagrama de Pescado

Como se puede observar, las mayores causas se encuentran en la máquina utilizada para fabricar las BPH. Este hecho mayormente se da por la falta de mantenimiento de los troqueles, ya que existe un área que es la encargada de montar y desmontar los troqueles cada que se debe utilizar, causando daños en los mismos, generando una mala producción. Aproximadamente, se monta y desmonta troqueles en cada cambio de lote de producción que es entre 24 horas a 48 horas, esto depende de los

pedidos de los clientes. El reproceso se da cuando salen piezas fuera de las especificaciones y cómo no puede parar la producción o tener tanto desperdicio de materia prima, se trata de cumplir los pedidos bajo esas condiciones, tratando de arreglar la pieza dañada para poder utilizarla y entregarla. Lo que provoca tiempos desperdiciados de producir nuevas piezas. Igualmente, el otro factor importante que causa los defectos son los operadores por la falta de formación que tienen al manejar las prensas mecánicas.

3.2.1.2 Contestación a los 5 por qué

El problema a solucionar es reducir en un 7% anual el reproceso de las piezas que conforman la BPH.

1. ¿Por qué hay reproceso?

Porque no se cumple con la calidad necesaria, lo cual ocasiona pérdidas económicas, materiales y de tiempos para la empresa.

2. ¿Por qué no se cumple con la calidad?

Porque los operarios no colocan bien las piezas para su proceso y tienen que volver a hacerlo.

3. ¿Por qué no colocan bien las piezas?

Porque los troqueles no cumplen con los requisitos para entregar piezas buenas.

4. ¿Por qué no cumplen con los requisitos los troqueles?

Porque no se realiza un correcto montaje de los troqueles y no se tiene un mantenimiento de los mismos lo que provoca daños en las piezas.

Nuevamente, se encontró que el problema primordial de ¿por qué se da el reproceso?, es por la falta de mantenimiento en los troqueles y su mal montaje en la máquina generando piezas malas que deben ser reprocesadas.

3.2.1.3 Contestación a las 4W y 1H

¿Cuál (What) es el problema?: La empresa antes de entregar el producto al cliente final, tiene un % de reproceso en el producto que más vende. Este problema no lo hace conocer al cliente, ya que son proveedores confiables, pero esto perjudica a la empresa en sus ganancias, pues no gana todo lo que vende, porque tiene tiempo, materiales y costos desperdiciados por el reproceso de la bisagra puerta de horno. Por lo tanto, el reproceso está consumiendo demasiados recursos económicos y humanos lo que afecta directamente a la rentabilidad de la empresa, por la falta de control del proceso. Igualmente, el reproceso no sólo genera las pérdidas antes detalladas, sino que también genera falta de oportunidad en la entrega de los pedidos, puesto que hay menos productividad.

¿Cuándo (When) se da el problema?: El problema se da al manufacturar las piezas que componen la BPH, pero el mayor porcentaje del mismo se dice que está en el procedimiento de corte. También se da al momento de calibrar la máquina colocando el troquel, ya que se necesita de la misma máquina para producir varias piezas que tienen diferente forma, tamaño y espesor, por lo que cada que se necesita hacer otra pieza se debe desmontar el troquel y calibrar otro. Esto ocasiona daños en el mismo troquel, y a su vez perjudica a la máquina si se coloca mal porque se dañan partes de la maquina retrasando la producción de varias piezas.

¿Dónde (Where) se da el problema?: El problema ocurre a lo largo del proceso productivo, porque si la pieza no cumple con las especificaciones y se puede arreglar realizan el reproceso, caso contrario la desechan. El proceso de corte especialmente es un

paso crítico, porque es donde más daños se dan en el material, los siguientes pasos ya llevan la falla de este y se debe trabajar con lo que se tiene para cumplir con la demanda.

¿Quiénes (Who) están involucrados en el problema?: Los involucrados en este problema son:

- Los obreros que manejan las máquinas;
- El encargado de control de calidad;
- El supervisor de turno; y,
- El encargado de mantenimiento.

¿Cómo (How) afecta el problema?: El problema afecta financieramente a la empresa, ya que pierde una gran cantidad de material y tiempo en el que se podría realizar nuevas piezas buenas. La mayor incidencia de pérdida está en:

- Costo en horas extras; y,
- Costo por pieza defectuosa

El resultado obtenido de las tres herramientas utilizadas es que la causa principal del reproceso estaría en el área de corte por la falta de mantenimiento, si no están bien calibrados los troqueles para la producción de las piezas. Los operarios, también provocan el reproceso ya que no tienen una buena formación en el manejo de troqueles.

3.2.2 Detección de las áreas con mayor reproceso

Con el fin de detectar si el área que genera mayor reproceso es la de corte, obtenida con las herramientas cualitativas o si existen otras, se tomarán datos históricos de la compañía del año 2013, de la cantidad de piezas defectuosas que salen por cada lote de

producción, en cada una de las áreas, y para cada una de las piezas, en el caso de que aplique. Según los datos de las hojas de troquelado de la empresa, el reproceso se genera en las áreas de corte, doblado, nervado y planchado para el cuerpo de la BPH. Para la palanca, seguro y gatillo sólo en el área de corte, para el porta resorte en el área de corte y doblado y para el resorte en el área de conformado y esmerilado.

Para los otros procedimientos de las piezas no pueden ser reparadas, por lo que se desechan si no cumplen con las especificaciones, y según sus objetivos de calidad, la empresa no sobrepasa el 2% de desperdicio de producto en planta durante el año (Morales T., 2014). Por lo que no es motivo de interés para el estudio.

Se utilizará la sección 1.3.4 para obtener el tamaño de muestra sobre la proporción de la población, ya que se tiene datos de la cantidad de piezas buenas y de piezas defectuosas lo que indica que siguen una distribución binomial que se aproxima a una normal, por lo explicado en dicha sección.

Como no se tiene datos de muestras anteriores y no se quiere realizar una estimación subjetiva de la proporción de datos defectuosos, se toma en consideración el segundo enfoque de la sección 1.3.4.1, el cual indica que para tener al menos una confianza de 95% de que la estimación p dé su verdadera proporción, estando 0,05 independientes del valor de p , se utilizará $p = 0,5$. Y el otro criterio a considerar es el error que “suele utilizarse un valor que varía entre el 1% (0,01) y 9% (0,09), valor que queda a criterio del encuestador” (Morillo, 2013). Otro autor menciona que “el margen de error máximo aceptable, que suele fijarse es entre un 5% y 10%” (Araujo, 2010). Por lo que se considera un error aceptable del 7%.

Entonces usando la fórmula de la sección 1.3.4.1 se obtiene el tamaño de muestra, tomando en consideración que se tiene una confianza de al menos 95%, $\alpha = 0,05$ y al tener un intervalo de confianza de dos colas se obtiene un $\alpha/2 = 0,025$, es decir un $z_{\alpha/2} = 1,96$

obtenido en las tablas de distribución normal estándar acumulada, y un $E = 7\%$ se calcula el tamaño de la muestra:

$$n = \left(\frac{z_{\alpha/2}}{E}\right)^2 p(1-p) = \left(\frac{1,96}{0,07}\right)^2 0,5(1-0,5) = 196 \text{ observaciones}$$

Una vez determinada el tamaño de muestra se procedió a tomar 200 datos, reduciendo en 0,01% el error, para cada proceso que producen desperdicio y así poder detectar las áreas y piezas que mayormente afectan a la BPH. Como se mencionó anteriormente, las piezas palanca, seguro y gatillo sólo se tiene reproceso en corte, por lo que en cada uno se tomaron 200 datos para el proceso de corte. Para las demás piezas se tomaron 200 datos por proceso.

Cómo ya se tiene una muestra inicial se puede calcular el \hat{p} de la sección 1.3.4.1 ya que se conoce la cantidad exacta de defectos que hay en cada muestra y así conocer realmente cuál fue el verdadero error por proceso al tomar las 200 observaciones. Se explicará el procedimiento para el proceso de corte de la pieza cuerpo. Con una muestra de 200 datos y una confianza del 95% se obtuvo 69 defectuosas. Con lo que $p = 69 / 200 = 0,345$; y un $z_{\alpha/2} = 1,96$ obtenido en las tablas de distribución normal estándar acumulada. Con la fórmula de la misma sección se obtiene:

$$E = z_{\alpha/2} \sqrt{\frac{p(1-p)}{n}} = 1,96 \sqrt{\frac{0,345(1-0,345)}{200}} = 0,066$$

El E es considerado aceptable, y para conocer entre que rangos se encuentra la ocurrencia de los defectos se calcula el intervalo de confianza para una proporción binomial, explicada en la sección 1.3.4.2:

$$0,345 - 1,96 \sqrt{\frac{0,345(1-0,345)}{200}} \leq p \leq 0,345 + 1,96 \sqrt{\frac{0,345(1-0,345)}{200}}$$

$$0,279 \leq p \leq 0,411$$

Lo que significa que el reproceso para el área de corte de la pieza cuerpo puede ocurrir 27,9% a 41,1% de las veces que se realice este procedimiento.

Para las demás piezas y procesos se siguió el mismo procedimiento explicado, se muestra a continuación los resultados obtenidos en el ANEXO 3.9. Como se puede observar en los datos, el mayor error que se obtuvo es de 7% y según los intervalos de confianza obtenidos hay que estudiar las piezas seguro, gatillo y cuerpo para el área de corte.

Luego de haber comprobado que el error no fuera muy grande, para el total de 2.200 datos, se muestra el resumen de las observaciones tomadas, con el siguiente cuadro para conocer las piezas que más afectan en el reproceso de la BPH:

	PIEZAS BUENAS	PIEZAS DEFECTUOSAS	PROPORCIÓN DEFECTUOSOS
Cuerpo	1.737.682	405.265	23,32%
Palanca	695.198	108.539	15,61%
Seguro	1.045.358	424.045	40,56%
Gatillo	556.070	138.295	24,87%
Porta resorte	1.447.070	218.503	15,10%
Resorte	851.308	31.299	3,68%

Tabla 3.7 Piezas reprocesadas año 2013

Como se puede observar en la tabla, para el tamaño de muestra escogido, se tiene por cada pieza el porcentaje de reproceso. Para detectar cuáles son las piezas que necesitan mayor atención. Se muestra el siguiente gráfico para la proporción de piezas defectuosas de los datos tomados:

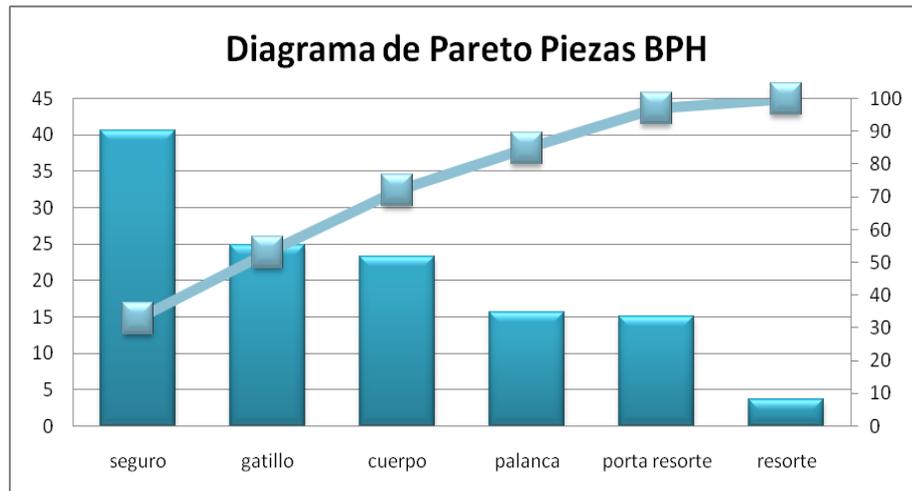


Gráfico 3.8 Diagrama de Pareto proporción del reproceso para las piezas

A través del diagrama de Pareto proyectado se observa que, el seguro es la pieza que genera mayor reproceso en la BPH con un 32,94%. El gatillo es la siguiente pieza que produce reproceso con un 20,20%, luego el cuerpo con un 18,94%, con lo que sumando todos estos porcentajes se obtiene 72,07%, estando cerca del 80% de las piezas dentro del reproceso. La siguiente pieza es la palanca con un 12,67% que comprado con los demás porcentajes es bajo y sumando todos los porcentajes mencionados se tiene 84,75% sobrepasando el 80%. En consecuencia, se concluye que la mayor parte del reproceso se encuentra en las piezas seguro, gatillo y cuerpo para la muestra obtenida del año 2013, las cuales serán tomadas en consideración para detectar el área que mayormente afecta a la BPH.

El seguro y el gatillo tienen reproceso en el área de corte, pero para el cuerpo se muestra el siguiente diagrama realizado con la muestra del año 2013, del total de piezas defectuosas:

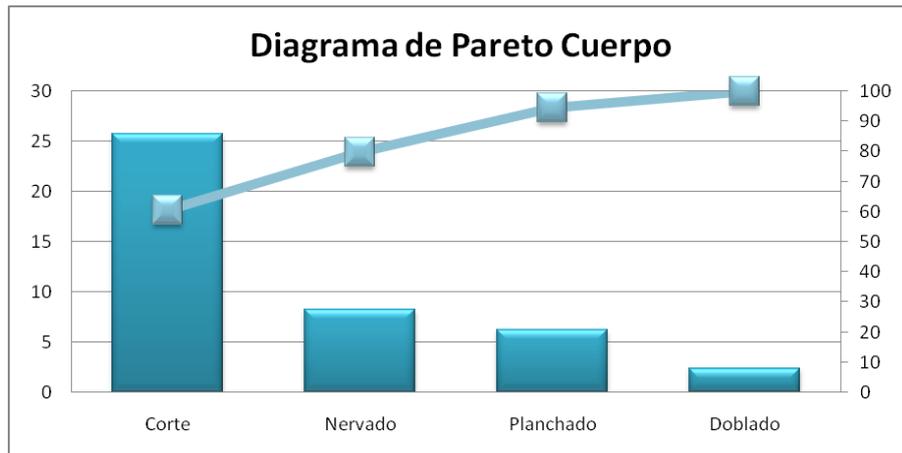


Gráfico 3.9 Diagrama de Pareto del total de piezas defectuosas para el cuerpo

A través del diagrama de Pareto proyectado se observa que, el área de corte para el cuerpo de la BPH es la que genera mayor reproceso en la BPH con un 63,66%. El área de nervado es la que le sigue con un 20,33% con lo que sumando todos estos porcentajes se obtiene 83,37%, sobrepasando el 80%. En consecuencia, se concluye que la mayor parte del reproceso se encuentra en el área de corte para el cuerpo de la muestra obtenida del año 2013, lo cual será tomado en consideración para detectar los problemas que se están generando en el área de corte para la BPH.

Los trabajadores de la empresa ya lo mencionaron, el área de corte efectivamente es la que está produciendo mayor reproceso en la BPH, específicamente en las piezas de seguro, cuerpo y gatillo. Por lo que se estudiará a mayor profundidad este procedimiento en dichas piezas para disminuir el % de reproceso.

3.2.3 Diseño estadístico de experimentos para los involucrados en el reproceso

Con los datos de la anterior sección se realizará un DOE explicado en la sección 1.3.5 para detectar estadísticamente los factores principales que causan el reproceso, de tal forma que se tenga una validez robusta en las conclusiones. Se utilizará el procedimiento explicado en dicha sección para realizar un DOE robusto para cada una de las piezas que provocan el reproceso en la BPH, es decir, el seguro, el gatillo y el cuerpo.

1. Identificación y enunciación del problema: identificar los principales actores que influyen el reproceso en la BPH y cuáles son los niveles que se deben estudiar para cada uno de ellos, de manera que se identifique las causas principales que generan la pieza defectuosa.

2. Elección de los factores y los niveles:

Factores: en un proceso de manufactura se considera que los factores que normalmente puedan afectar son las personas, métodos y máquinas (Reyes, 2001), por lo que se tomará en consideración al operario, máquina que se utilice y el tiempo en que se realiza cada operación dividida por los turnos de trabajo. Esto se mantendrá constante para cada pieza analizada.

Niveles: A partir de los datos obtenidos en la sección 3.2.2, se procedió a encontrar los niveles que afecten mayormente en el área de corte para el seguro, gatillo y cuerpo de la BPH.

- Turno: en este caso puede ser el turno 1 de: 7:00am a 15:30pm o el turno 2: de 15:30pm a 23:30pm; sin embargo, hay veces que se trabaja más allá de esos horarios, porque llevan retrasos en la producción y esto se lo consideró como turno 2. No se lo consideró como otro turno debido a que no es significativo estudiarlos como un turno por separado, ya que de la muestra obtenida eran pocos los días que se trabajaban en esos horarios y no tenían mucho reproceso. Esto podemos observar en la siguiente tabla:

Pieza	Horas	Defectuosas en ese horario	Total de Defectuosos	%
seguro	23:30 a 7:00	15.807	424.045	3,73%
gatillo	23:30 a 7:00	832	138.295	0,60%
cuerpo	23:30 a 7:00	20.232	258.018	7,84%

Tabla 3.8 Piezas reprocesadas turnos extra año 2013

Como se puede observar el % de reproceso es bajo, con lo que demuestra que no es significativo tomar el turno por separado. Entonces los niveles por turno son nivel 1 (7:00-15:30) y nivel 2 (15:30 – 23:30 más las horas extra).

- La máquina tiene los niveles por pieza: para el seguro, máquina # 1, 2 y 4; para el gatillo, máquina # 8, 9, 10 y 12 y para el cuerpo, máquina # 2, 8 y 12.
- Los operadores igualmente se define los niveles por pieza: para el seguro, operario 1, 2, 3, 4 y 5; para el gatillo, operario 1, 2 y 3; y para el cuerpo, operario 1, 2, 3, 4 y 5. Cabe mencionar que, no se mostrarán los nombres de los operadores que causan el reproceso por confidencialidad de la empresa, por lo que se codificará los nombres por números.

3. Selección de la variable de respuesta: cantidad de reproceso generado en cada pieza estudiada de la BPH debido al objetivo específico de encontrar los factores del reproceso.

4. Elección del diseño experimental: teniendo 3 factores y distintos niveles, se decide utilizar un diseño factorial no replicado, es decir que se tiene 1 sola réplica debido a que la empresa solamente pudo proporcionar los datos del reproceso para el año 2013, y estos datos no pueden ser medidos para el presente año por cuestiones de tiempo. Se debe tomar los datos del año como uno solo debido a que el interés está en reducir el porcentaje de reproceso anualmente detectando los posibles factores que lo influyen. El modelo matemático de los efectos que seguirá cada uno de los experimentos para el análisis de varianza será el siguiente:

$$y_{ijkl} = \mu + \tau_i + \beta_j + \gamma_k + (\tau\beta)_{ij} + (\tau\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\tau\beta\gamma)_{ijk} + \varepsilon_{ijkl} \begin{cases} i = 1, 2, \dots, a \\ j = 1, 2, \dots, b \\ k = 1, 2, \dots, c \\ l = 1, 2, \dots, n \end{cases}$$

Donde:

μ = media de la respuesta

τ = Turno
 β = Máquina
 γ = Operador
 ε = error aleatorio del modelo
a = nivel del factor A (turno)
b = nivel del factor B (máquina)
c = nivel del factor C (operador)
l = número de replicas

5. Realización del experimento: para ejecutar el experimento se considera los datos tomados en la sección 3.2.2. Entonces a partir del número de niveles y factores se obtienen 30 combinaciones para el seguro, 24 combinaciones para el gatillo y 30 combinaciones para el cuerpo, mostrados en el ANEXO 3.10 el cual presenta los resultados obtenidos con respecto a los involucrados en el reproceso para el año 2013.

Es importante mencionar que de todas las combinaciones presentadas se está estudiando los siguientes porcentajes del reproceso:

Pieza	Defectuosos estudiados	Total de defectuosos	%
seguro	318.409	424.045	75,09%
gatillo	116.655	138.295	84,35%
cuerpo	198.745	258.018	77,03%

Tabla 3.9 Total de piezas reprocesadas de las combinaciones

Con la tabla 3.9 se observa que las combinaciones representan el mayor porcentaje de la cantidad de reproceso, para la muestra obtenida en la sección 3.2.2.

6. Análisis estadístico de los datos: para este punto, se corrió el diseño factorial en el software Design-Expert 8.0.1, obteniendo los siguientes resultados por cada una de las piezas analizadas, pero antes de analizar los datos se debe confirmar la adecuación de los modelos verificando los supuestos de normalidad de los residuos, varianza constante de los residuos entre los tratamientos e independencia de los mismos (Montgomery, 2010).

Seguro

A continuación se muestra el análisis de los residuales para la pieza seguro

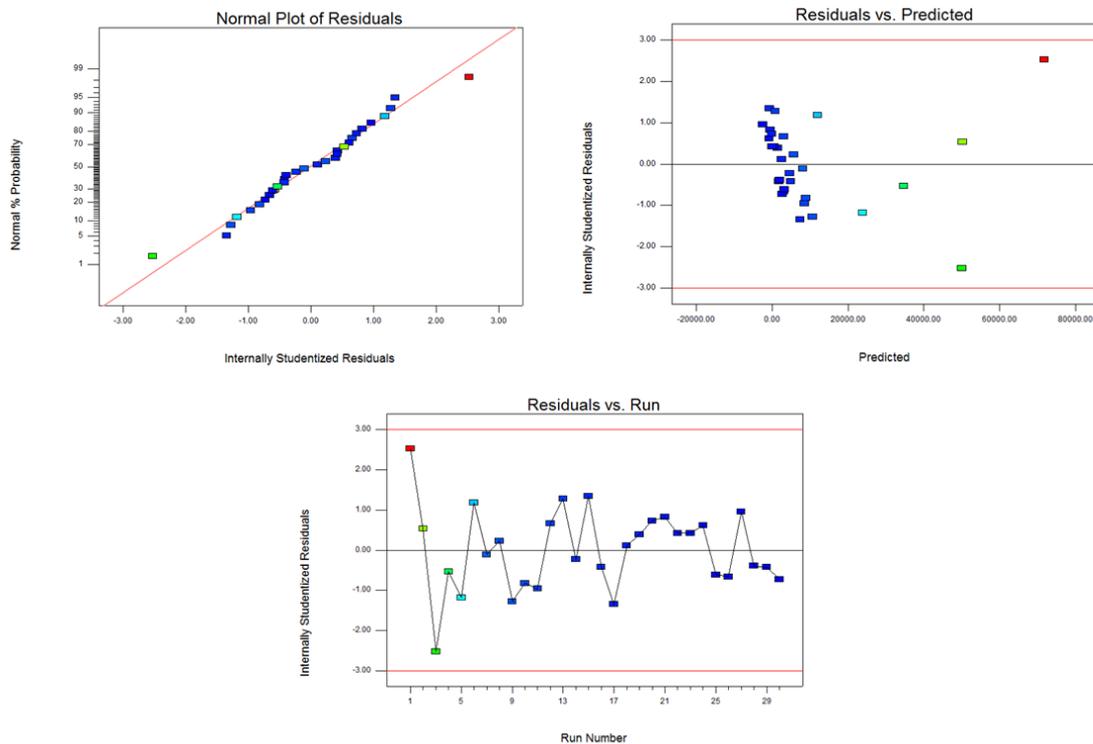


Gráfico 3.10 Análisis de los residuales para el seguro

Con respecto al primer gráfico de normalidad de los residuales parecen ser normales ya que los puntos de los residuales se encuentran cercanos a la línea central. En el segundo gráfico de residuales vs. valores ajustados parece tener un patrón definido, ya que tiene cierta tendencia a abrirse hacia la derecha formando una corneta, por lo que se puede decir que los residuales no tienen una varianza constante. Finalmente, en el gráfico de residuales vs. orden no se tiene corridas sólo positivas o negativas, por lo que no hay razón para sospechar de que exista una violación del supuesto de independencia.

Para corroborar que exista normalidad en los residuales, se realiza la prueba de Anderson Darling, también utilizada en la sección 3.1.2.1. Se selecciona un alfa de 0,05, es decir un nivel de significancia de 95%. Las hipótesis atrás de esta prueba son:

H_0 : Los datos siguen una distribución Normal.

H_1 : Los datos NO siguen una distribución Normal.

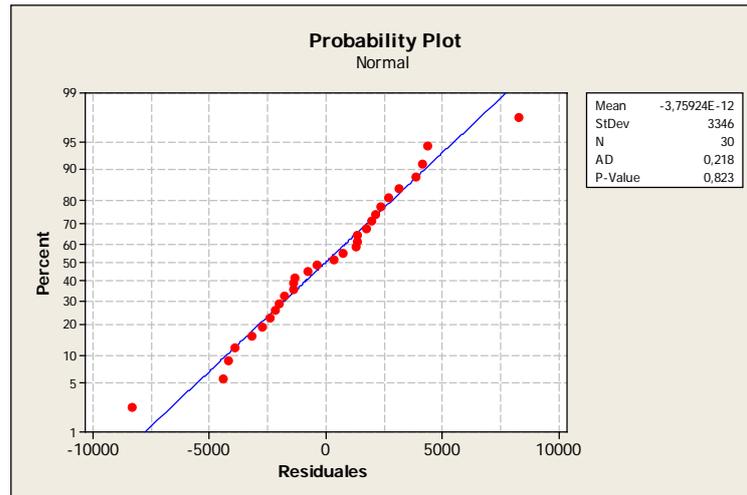


Gráfico 3.11 Prueba de Normalidad Anderson-Darling para la pieza seguro

Dado que $p > \alpha$ se acepta la H_0 , por lo que los residuales son normales, como se sospechaba al observar el gráfico.

Debido que se sospecha que no se cumple el supuesto de varianza constante de los residuos entre los tratamientos, se utiliza el método de Box-Cox, la cual se usa para observar si se necesita realizar una transformación en el caso de que en el intervalo de confianza de dicho método no se incluya el valor de 1.

Design-Expert® Software
R1

Lambda
Current = 1
Best = 0.34
Low C.I. = 0.02
High C.I. = 0.6

Recommend transform:
Square Root
(Lambda = 0.5)

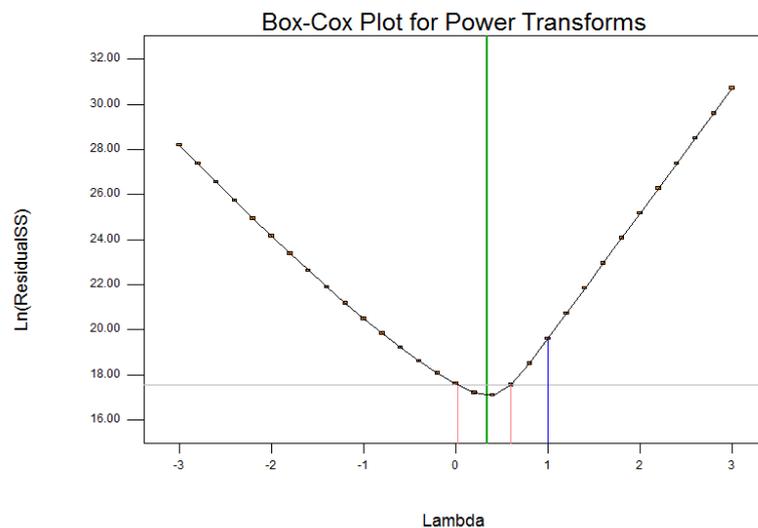


Gráfico 3.12 Box-Cox

De acuerdo al método utilizado el intervalo de confianza del 95% es [0,02 a 0,6], por lo que sí se necesita transformar. La recomendación propuesta es la raíz cuadrada (squareroot) con una constante igual a 0 y $\lambda = 0,5$.

Se realiza la transformación propuesta, mostrada a continuación:

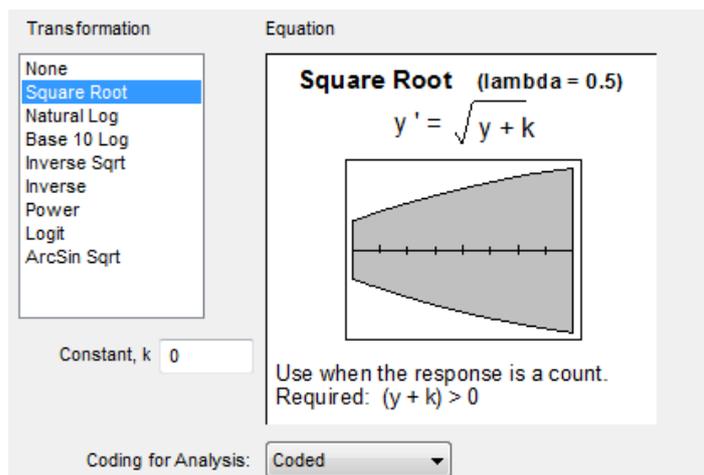


Gráfico 3.13 Transformación de los datos

Al transformar los datos, estos se vuelven más simétricos como se puede ver en el siguiente gráfico:

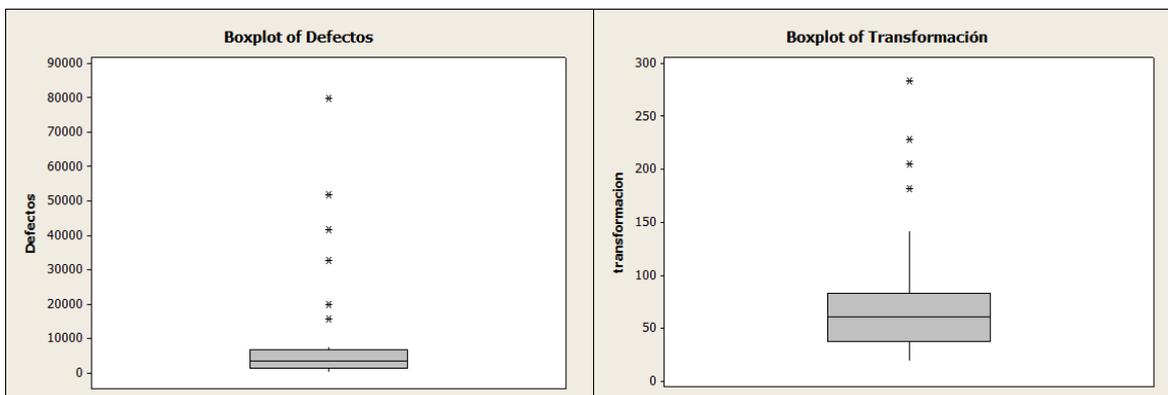


Gráfico 3.14 Boxplot

Como la transformación utilizada es square root, y como esta es una función creciente, el resultado que se obtendrá no cambia la validez de los resultados ya que se tendrá los mismos factores significativos.

Una vez transformados se analiza nuevamente los residuales:

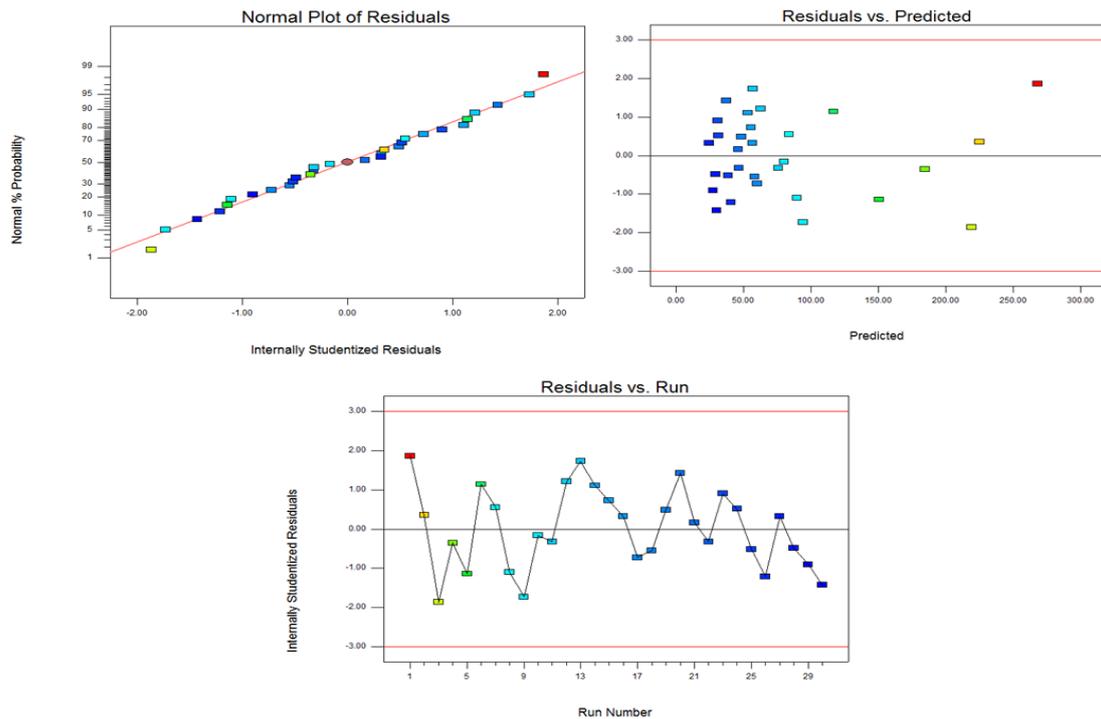


Gráfico 3.15 Análisis de los residuales transformados para el seguro

Con respecto al primer gráfico de normalidad se observa una tendencia normal, ya que los puntos de los residuales se encuentran cercanos a la línea central. En el segundo gráfico de residuales vs. valores ajustados no muestra un patrón definido, por lo que se tiene una varianza constante. Finalmente, en el gráfico de residuales vs. orden no se tiene corridas solo positivas o negativas, por lo que no hay razón para sospechar de que exista una violación del supuesto de independencia.

Se han comprobado y verificado los supuestos para los residuales se procede al análisis de varianza explicado en la 1.3.5:

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F	
Model	1.209E+005	21	5757.49	23.75	< 0.0001	significant
<i>A-Turno</i>	3851.04	1	3851.04	15.89	0.0040	
<i>B-Maquina</i>	37772.43	2	18886.21	77.91	< 0.0001	
<i>C-Operador</i>	41991.81	4	10497.95	43.31	< 0.0001	
<i>AB</i>	2528.84	2	1264.42	5.22	0.0355	
<i>AC</i>	328.03	4	82.01	0.34	0.8449	
<i>BC</i>	34435.19	8	4304.40	17.76	0.0002	
Residual	1939.34	8	242.42			
Cor Total	1.228E+005	29				

Tabla 3.10 ANOVA pieza seguro

Los factores que son significativos son los que su valor p es menor a $\alpha=0,05$. El estadístico es significativo cuando se rechaza la H_0 , que manifiesta que las medias de todos los tratamientos y sus interacciones son iguales (Montgomery, 2011). En este caso son: turno, máquina, operador, interacción turno máquina e interacción máquina operador. En el ANOVA presentado se puede notar que no existe la interacción ABC debido a que al tener una sola réplica “...no se cuenta con ninguna estimación interna del error” (Montgomery, 2011). La forma de abordar este problema es mediante el principio de efectos esparcidos el cual supone que algunas interacciones de orden superior son insignificantes por lo que se combina sus cuadrados medios para estimar el error (Montgomery, 2011). Es decir, que el modelo está “...dominado por algunos de los efectos principales y las interacciones de orden inferior, y la mayor parte de las interacciones de orden superior son insignificantes” (Montgomery, 2011).

Eliminando los factores que no son significativos se obtiene en siguiente ANOVA:

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value	
Model	1.206E+005	17	7092.90	37.54	< 0.0001	significant
<i>A-Turno</i>	3851.04	1	3851.04	20.38	0.0007	
<i>B-Maquina</i>	37772.43	2	18886.21	99.95	< 0.0001	
<i>C-Operador</i>	41991.81	4	10497.95	55.56	< 0.0001	
<i>AB</i>	2528.84	2	1264.42	6.69	0.0112	
<i>BC</i>	34435.19	8	4304.40	22.78	< 0.0001	
Residual	2267.37	12	188.95			
Cor Total	1.228E+005	29				

Tabla 3.11 ANOVA con términos significativos pieza seguro

El análisis ANOVA indica que todos los factores influyen significativamente con un 95% de confianza sobre la variable de respuesta, es decir, sobre la cantidad de reproceso generado en la pieza seguro de la BPH.

A partir del análisis realizado, la ecuación matemática que se ajusta a la cantidad de reproceso generado por la pieza seguro, dado por el software Design-Expert 8.0.1 es:

$$\begin{aligned} \widehat{y} = & 80.74 - 11.33A + 46.68B[1] - 7.38B[2] - 26.64C[1] + 20.89C[2] - 29.55C[3] \\ & + 64.32C[4] - 9.87AB[1] - 2.37AB[2] - 25.20B[1]C[1] \\ & + 4.98B[2]C[1] + 56.42B[1]C[2] - 23.25B[2]C[2] - 34.81B[1]C[3] \\ & - 4.88B[2]C[3] + 51.87B[1]C[4] - 3.98B[2]C[4] \end{aligned}$$

De acuerdo a esta ecuación se presentan el error estándar e intervalo de confianza para cada factor y nivel de la ecuación:

Term	Coefficient	df	Standard	95% CI	95% CI
	Estimate		Error	Low	High
Intercept	80.74	1	2.51	75.27	86.21
A-Turno	-11.33	1	2.51	-16.80	-5.86
B[1]	46.68	1	3.55	38.94	54.41
B[2]	-7.38	1	3.55	-15.12	0.35
C[1]	-26.64	1	5.02	-37.58	-15.71
C[2]	20.89	1	5.02	9.95	31.82
C[3]	-29.55	1	5.02	-40.49	-18.62
C[4]	64.32	1	5.02	53.39	75.26
AB[1]	-9.87	1	3.55	-17.60	-2.13
AB[2]	-2.37	1	3.55	-10.11	5.36
B[1]C[1]	-25.20	1	7.10	-40.66	-9.73
B[2]C[1]	4.98	1	7.10	-10.48	20.45
B[1]C[2]	56.42	1	7.10	40.95	71.88
B[2]C[2]	-23.25	1	7.10	-38.72	-7.78
B[1]C[3]	-34.81	1	7.10	-50.28	-19.34
B[2]C[3]	-4.88	1	7.10	-20.34	10.59
B[1]C[4]	51.87	1	7.10	36.41	67.34
B[2]C[4]	-3.98	1	7.10	-19.44	11.49

Gráfico 3.16 Ecuación de la pieza seguro

De acuerdo a los intervalos de confianza si se incluye el valor de cero, los términos no son significativos en la ecuación de regresión por lo que se reescribe la ecuación con los términos significativos:

$$\begin{aligned} \widehat{y} = & 80.74 - 11.33A + 46.68B[1] - 26.64C[1] + 20.89C[2] - 29.55C[3] \\ & + 64.32C[4] - 9.87AB[1] - 25.20B[1]C[1] + 56.42B[1]C[2] \\ & - 23.25B[2]C[2] - 34.81B[1]C[3] + 51.87B[1]C[4] \end{aligned}$$

La ecuación de la cantidad de reproceso generado en la pieza seguro está en términos de factores codificados, las variables A, B[1], B[2], C[1], C[2], C[3] y C[4] son variables indicadoras codificadas que se definen en el ANEXO 3.11.

Al analizar todos los supuestos y obteniendo los efectos principales y sus interacciones se construye gráficas para observar los efectos de cada factor involucrado en el reproceso:

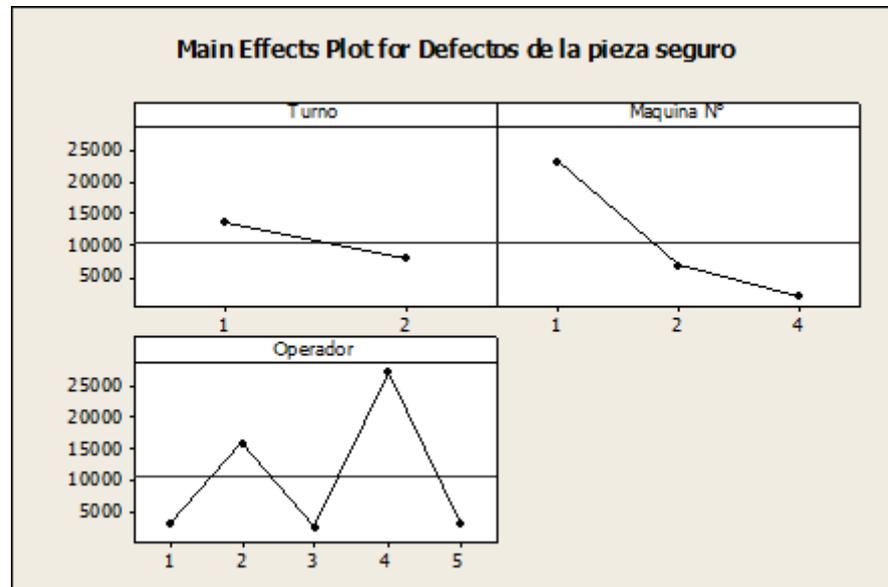


Gráfico 3.17 Diagrama de Efectos significativos en el reproceso del seguro

Esto indica que el factor que más influye en la variable de respuesta es el operador, seguido por la máquina y por último el turno.

Igualmente, se construye gráficas de indican las interacciones involucradas en el reproceso:

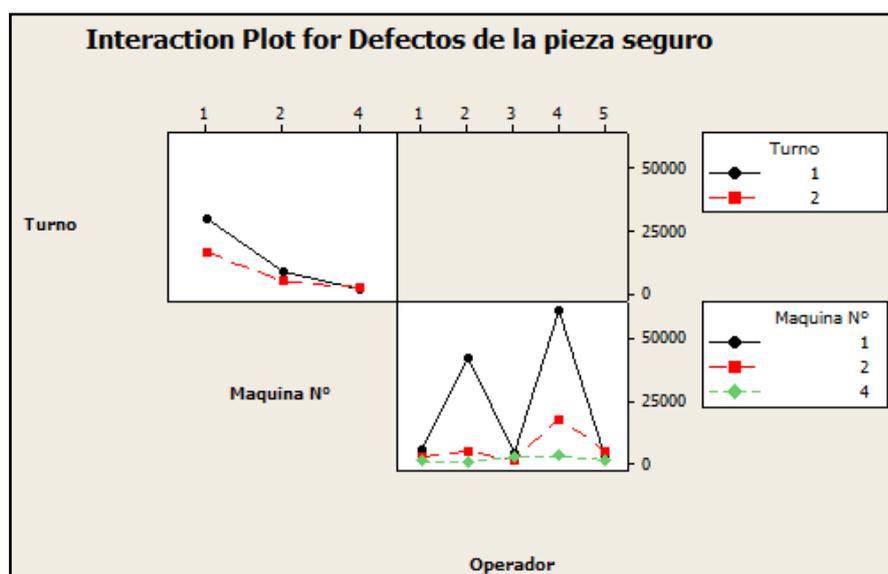


Gráfico 3.18 Diagrama de las interacciones significativas en el reproceso del seguro

En el gráfico solamente se muestran los efectos generados por las interacciones que salieron significativas en el ANOVA, es decir turno vs. máquina y máquina vs. operador. El hecho que las rectas no sean paralelas indica que la interacción es significativa. En general, el mayor reproceso está generado en la máquina 1 independiente del turno. Para los operadores se puede observar que el operador 2 y 4 son los que más generan reproceso con la máquina 1.

El siguiente paso a analizar sería la separación de medias, ya que después del análisis de varianzas se rechazó la hipótesis nula de la igualdad de los tratamientos; sin embargo, este paso no se lo puede realizar, ya que se tiene una sola replica por lo tanto se realiza diagramas de Pareto explicado en la sección 1.2.1, puesto que esta herramienta ayuda a detectar las causas que están provocando el reproceso en la empresa. Se muestra el siguiente diagrama de las combinaciones versus la cantidad de piezas defectuosas generadas:

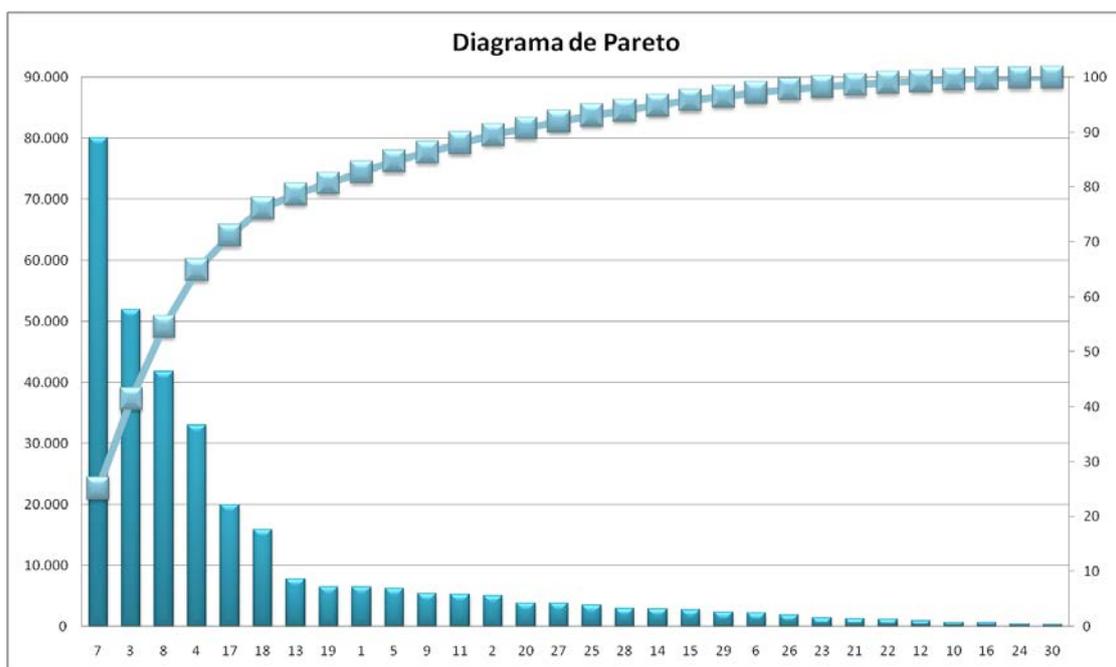


Gráfico 3.19 Diagrama de Pareto del total de piezas defectuosas para el seguro

A través del diagrama de Pareto proyectado se observa que: la combinación 7 es la que genera mayor % de reproceso en la BPH con un 25,15%. La combinación 3 es la que sigue en el reproceso con un 16,30%; luego la combinación 8 con un 13,10%; la combinación 4 con un 10,36%; la combinación 17 con un 6,28%; la combinación 18 con un 4,98%; la combinación 13 con un 2,44%; y, la combinación 19 con un 2,05% con lo que sumando todos estos porcentajes se obtiene 80,67%. En consecuencia, se concluye que la mayor parte del reproceso se encuentra en estas combinaciones, para la muestra obtenida del año 2013. (Para conocer cuáles son las combinaciones ir al ANEXO 3.10.)

Para tener un entendimiento más claro sobre los resultados generados se muestran los siguientes gráficos, para la pieza seguro de la BPH:

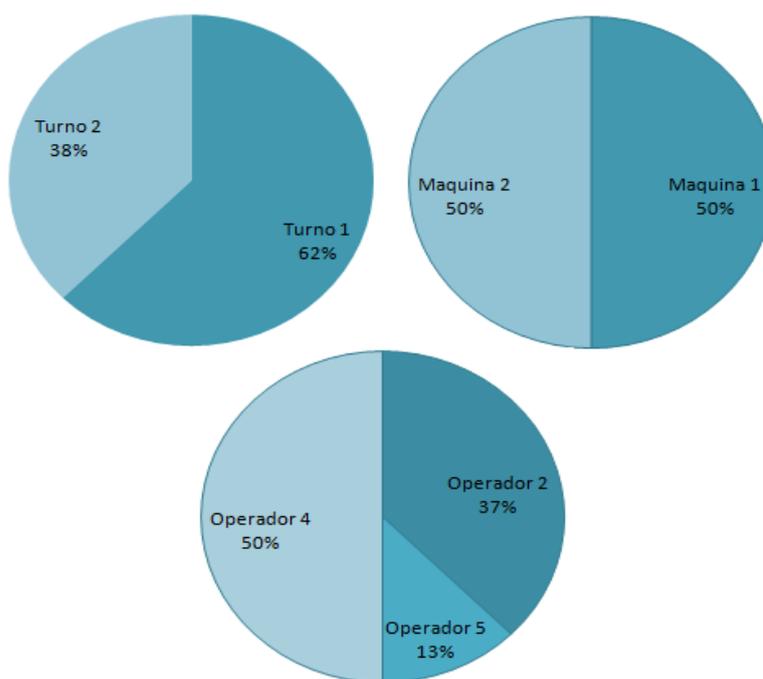


Gráfico 3.20 Resultado de los actores principales del reproceso en el seguro

A partir de estos gráficos se puede concluir que en el seguro, las máquinas 2 y 1 producen la mayor cantidad de reproceso en el turno 1, con el operario 2 o con el 4; sin embargo, por lo gráficos 3.15 y 3.16 se descarta al turno y a la máquina 2. Quedando en observación los operarios 2 y 4 con la máquina 1. Si se observa con cuidado las

combinaciones, la máquina tiene niveles altos de reproceso con los operarios 2 y 4, pero con los operarios 1, 3 y 5 casi no tiene con lo que se descarta la posibilidad que la máquina 2 sea la que provoca el reproceso.

Gatillo

A continuación se muestra el análisis de los residuales para la pieza gatillo

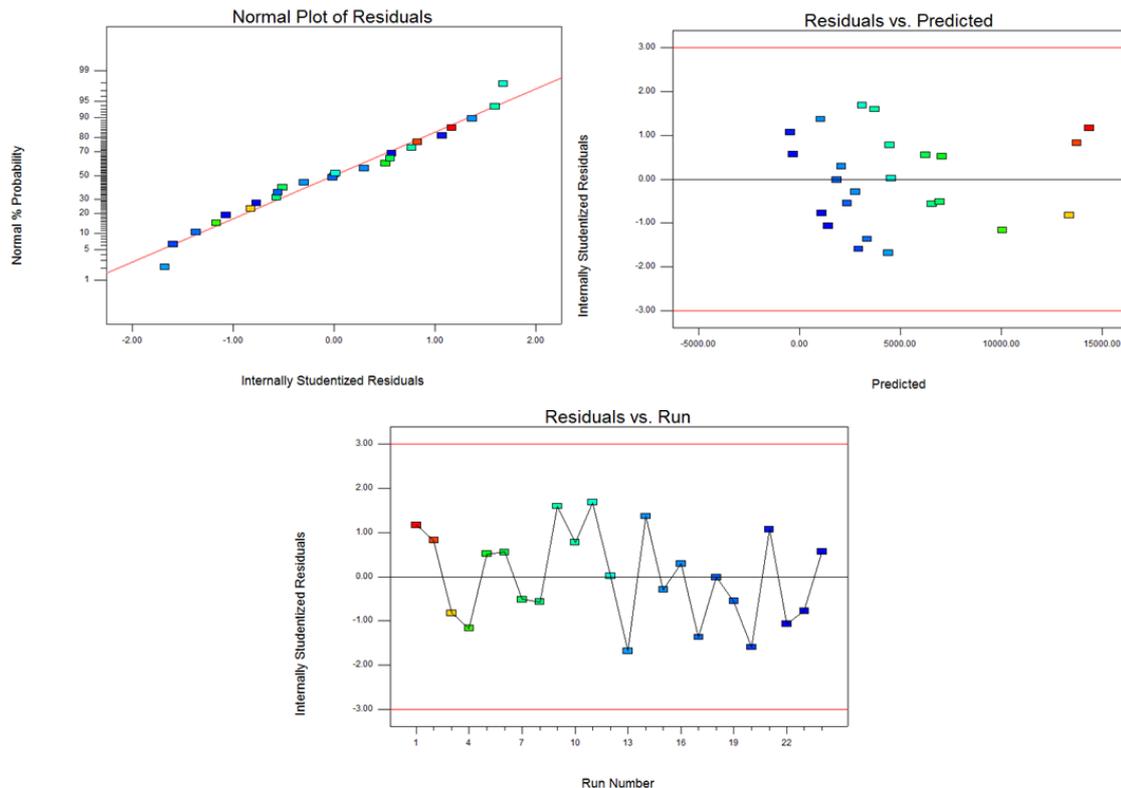


Gráfico 3.21 Análisis de los residuales para el gatillo

Con respecto al primer gráfico de normalidad de los residuales parecen ser normales, ya que los puntos de los residuales se encuentran cercanos a la línea central. En el segundo gráfico de residuales vs. valores no tienen un patrón definido, por lo que se puede decir que los residuales tienen varianza constante. Finalmente, en el gráfico de residuales vs. orden no se tiene corridas sólo positivas o negativas, por lo que no hay razón para sospechar de que exista una violación del supuesto de independencia.

Para corroborar que exista normalidad en los residuales, se realiza la prueba de Anderson Darling también utilizada en la sección 3.1.2.1. Se selecciona un alfa de 0,05, es decir un nivel de significancia de 95%. Las hipótesis atrás de esta prueba son:

H_0 : Los datos siguen una distribución Normal.

H_1 : Los datos NO siguen una distribución Normal.

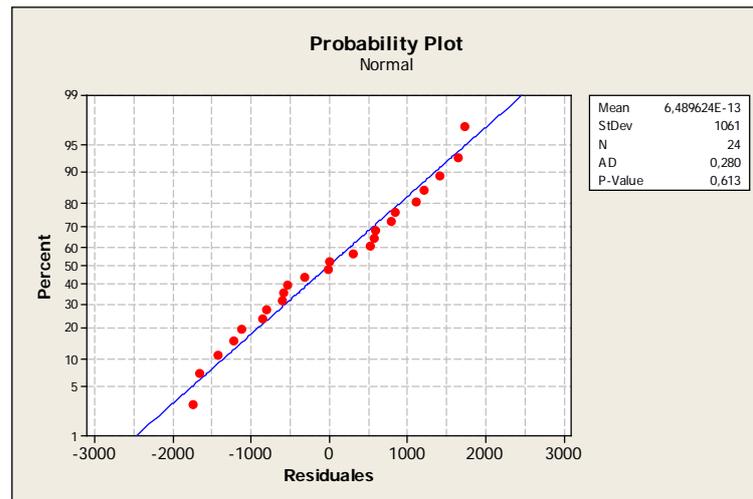


Gráfico 3.22 Prueba de Normalidad Anderson-Darling para la pieza gatillo

Dado que $p > \alpha$ se acepta la H_0 por lo que los residuales son normales, como se sospechaba al observar el gráfico.

Se utiliza el método de Box-Cox, para verificar el cumplimiento de los supuestos o si se necesita realizar una transformación en el caso de que en el intervalo de confianza de dicho método no se incluya el valor de 1.

Design-Expert® Software
R1
Lambda
Current = 1
Best = 0.62
Low C.I. = -0.07
High C.I. = 1.26
Recommend transform:
None
(Lambda = 1)

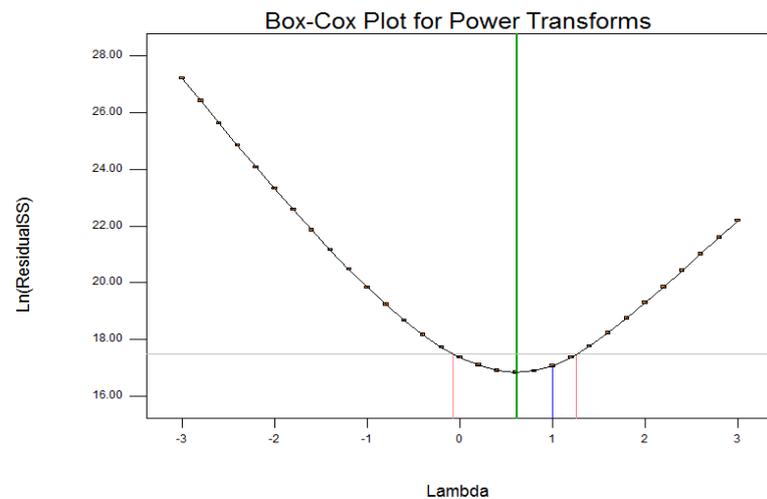


Gráfico 3.23 Box-Cox

De acuerdo al método utilizado el intervalo de confianza del 95% es [-0,07 a 1,26] por lo que no se necesita de la transformación.

Habiendo comprobado y verificado los supuestos para los residuales se procede al análisis de varianza explicado en la sección 1.3.5:

Response	1	R1			
ANOVA for selected factorial model					
Analysis of variance table [Classical sum of squares - Type II]					
Source	Sum of Squares	Mean Square	F Value	p-value	
Model	4.160E+008	2.447E+007	5.67	0.0204	significant
<i>A-Turno</i>	1.983E+007	1.983E+007	4.60	0.0757	
<i>B-Maquina</i>	1.345E+008	4.482E+007	10.39	0.0086	
<i>C-Operador</i>	2.566E+007	1.283E+007	2.97	0.1267	
<i>AB</i>	1.707E+007	5.690E+006	1.32	0.3526	
<i>AC</i>	1.860E+007	9.301E+006	2.16	0.1970	
<i>BC</i>	2.004E+008	3.339E+007	7.74	0.0125	
Residual	2.589E+007	4.315E+006			
Cor Total	4.419E+008				

Tabla 3.12 ANOVA pieza gatillo

Los factores que son significativos son los que su valor p es menor a $\alpha=0,05$. El estadístico es significativo cuando se rechaza la H_0 , que manifiesta que las medias de todos los tratamientos y sus interacciones son iguales (Montgomery, 2011). En este caso

son: máquina e interacción máquina operador. Como la interacción incluye al operador este también debe ser considerado en el análisis por el principio de jerarquía. El cuál menciona “que si un modelo contiene un término de orden superior, deberá contener también todos los términos de orden inferior que lo componen” (Montgomery, 2010). Al igual que en análisis del seguro, no se incluye a la interacción ABC por principio de efectos esparcidos explicado anteriormente.

Eliminando los factores que no son significativos se obtiene en siguiente ANOVA:

Response 1 R1						
ANOVA for selected factorial model						
Analysis of variance table [Classical sum of squares - Type II]						
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F	
Model	3.605E+008	11	3.277E+007	4.83	0.0057	significant
<i>B-Maquina</i>	1.345E+008	3	4.482E+007	6.61	0.0069	
<i>C-Operador</i>	2.566E+007	2	1.283E+007	1.89	0.1932	
<i>BC</i>	2.004E+008	6	3.339E+007	4.92	0.0092	
Residual	8.139E+007	12	6.783E+006			
Cor Total	4.419E+008	23				

Tabla 3.13 ANOVA con términos significativos pieza gatillo

El análisis ANOVA indica que todos los factores, a excepción del operador, influyen significativamente con un 95% de confianza sobre la variable de respuesta, es decir, sobre la cantidad de reproceso generado en la pieza gatillo de la BPH.

A partir del análisis realizado, la ecuación codificada que se ajusta a la cantidad de reproceso generado por la pieza gatillo es:

$$\begin{aligned} \hat{y} = & 4860.63 - 1323.29B[1] + 2791.54B[2] - 3161.79B[3] - 218.63C[1] \\ & - 1361.38C[2] - 632.96B[1]C[1] + 4333.71B[2]C[1] \\ & + 284.04B[3]C[1] + 1014.04B[1]C[2] + 711.71B[2]C[2] \\ & + 139.54B[3]C[2] \end{aligned}$$

De acuerdo a esta ecuación se muestra el error estándar e intervalo de confianza para cada factor y nivel de la ecuación:

Term	Coefficient	df	Standard	95% CI	
	Estimate		Error	Low	High
Intercept	4860.63	1	531.62	3702.33	6018.92
B[1]	-1323.29	1	920.79	-3329.51	682.93
B[2]	2791.54	1	920.79	785.32	4797.76
B[3]	-3161.79	1	920.79	-5168.01	-1155.57
C[1]	218.63	1	751.82	-1419.45	1856.70
C[2]	-1361.38	1	751.82	-2999.45	276.70
B[1]C[1]	-632.96	1	1302.19	-3470.18	2204.27
B[2]C[1]	4333.71	1	1302.19	1496.48	7170.93
B[3]C[1]	284.04	1	1302.19	-2553.18	3121.27
B[1]C[2]	1014.04	1	1302.19	-1823.18	3851.27
B[2]C[2]	711.71	1	1302.19	-2125.52	3548.93
B[3]C[2]	139.54	1	1302.19	-2697.68	2976.77

Gráfico 3.24 Ecuación de la pieza gatillo

Por los intervalos de confianza, hay algunos términos no son significativos en la ecuación de regresión, se reescribe la ecuación de la cantidad de reproceso generado en la pieza gatillo en términos de factores codificados significativos:

$$\hat{y} = 4860.63 + 2791.54B[2] - 3161.79B[3] + 4333.71B[2]C[1]$$

Las variables B[2], B[3] y C[1] son variables indicadoras codificadas que se definen en el ANEXO 3.11.

Como el ANOVA sólo se tiene a la máquina como el factor que causa el reproceso no es necesario realizar el gráfico de los efectos para conocer el que más influye en la variable de respuesta, ya que se conoce que es la máquina. Por otro lado no se conoce cuál es la interacción que más influye. Entonces, se construye gráficas de indican la interacción involucrada en el reproceso:

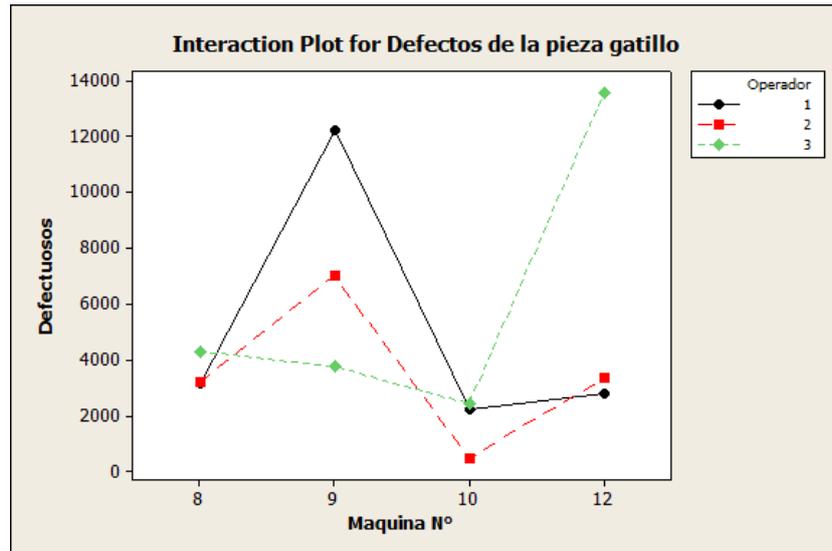


Gráfico 3.25 Diagrama de las interacciones significativas en el reproceso del gatillo

En el gráfico solamente se muestran los efectos generados por las interacciones que salieron significativas en el ANOVA, es decir máquina vs. operador. El hecho que las rectas no sean paralelas indica que la interacción es significativa. En general, el mayor reproceso está generado en la máquina 9 independiente del operario. Pero en la máquina 12 el operador 3 es el que más está generado reproceso en el gatillo.

Como se explicó anteriormente, el siguiente paso a analizar sería la comparación de medias; sin embargo se reitera que este paso no se lo puede realizar, ya que se tiene una sola replica por lo tanto se realiza el diagramas de Pareto explicado en la sección 1.2.1, que muestra las combinaciones versus la cantidad de piezas defectuosas generadas:

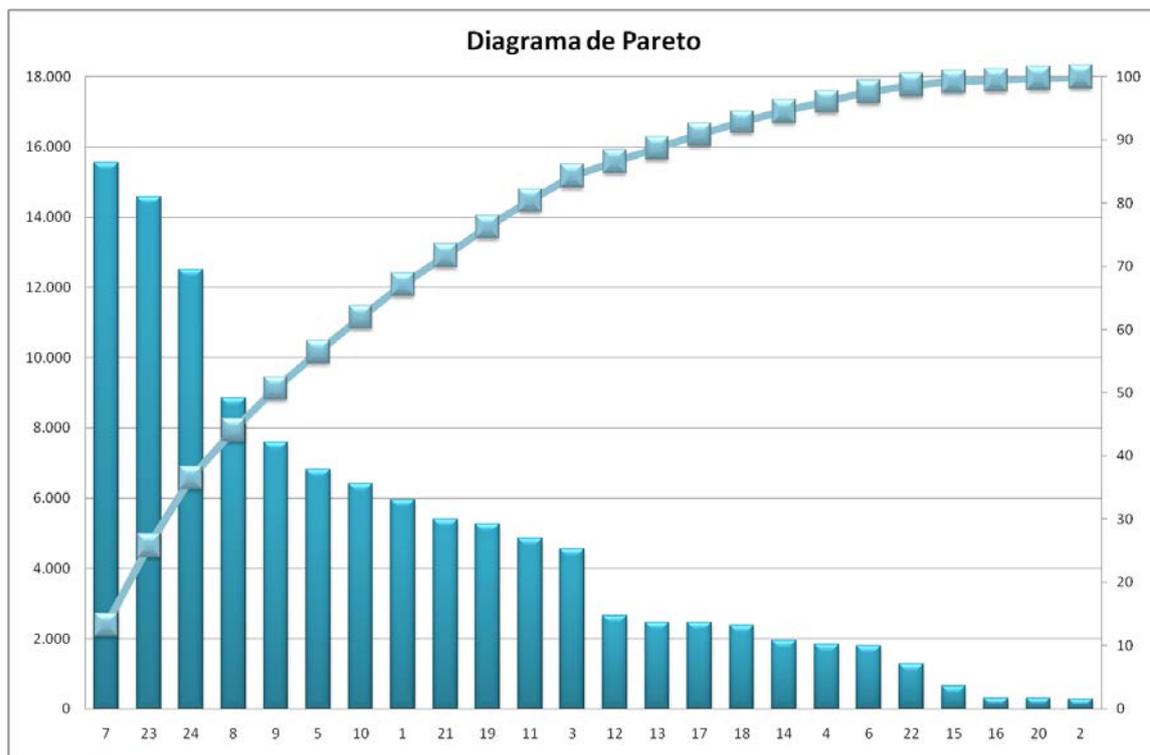


Gráfico 3.26 Diagrama de Pareto del total de piezas defectuosas para el gatillo

A través del diagrama de Pareto proyectado se observa que, la combinación 7 es la que genera mayor % de reproceso en la BPH, con un 13,34%. La combinación 23 es la siguiente que produce reproceso con un 12,51%; luego la combinación 24 con un 10,72%; la combinación 8 con un 7,58%; la combinación 9 con un 6,51%; la combinación 5 con un 5,84%; la combinación 10 con un 5,50%; la combinación 1 con un 5,11%; la combinación 21 con un 4,62%; la combinación 19 con un 4,52%; y, la combinación 11 con un 4,16% con lo que sumando todos estos porcentajes se obtiene 80,41%. En consecuencia, se concluye que la mayor parte del reproceso se encuentra en estas combinaciones para la muestra obtenida del año 2013. (Para conocer cuáles son las combinaciones ir al ANEXO 3.10.)

Para tener un entendimiento más claro sobre los resultados generados se muestran los siguientes gráficos para la pieza gatillo de la BPH:

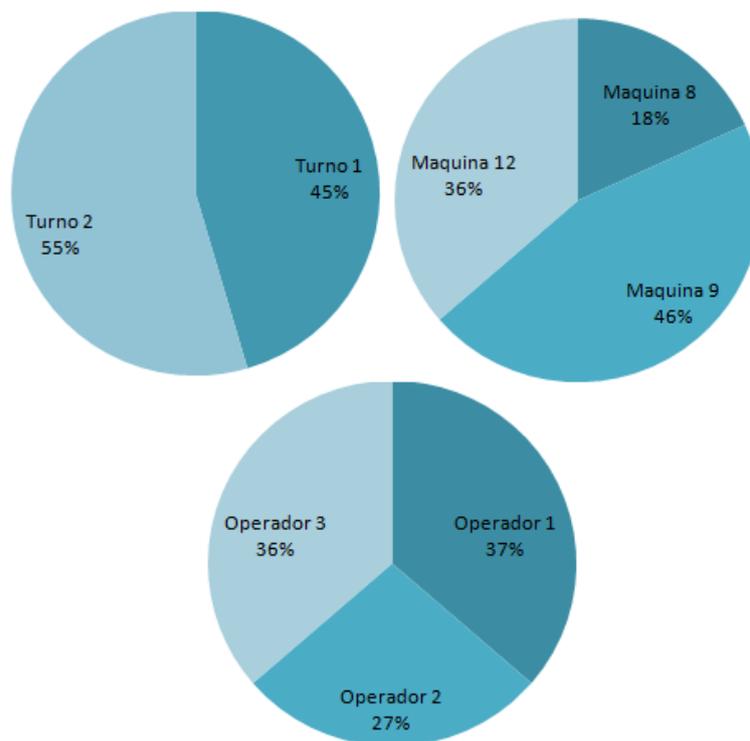


Gráfico 3.27 Resultado de los actores principales del reproceso en el gatillo

A partir de estos gráficos se puede concluir que en el gatillo, las máquinas 9 y 12 producen la mayor cantidad de reproceso en el turno 2 con los operarios 1, 2 ó 3; sin embargo, por el ANOVA se puede decir que el turno y operador no son los causantes del reproceso. Lo que con lleva a investigar a las combinaciones de la máquina 9, obteniendo que el reproceso se da con los operarios 1, 2 y 3, por lo que el principal actor de estas piezas defectuosas no se atribuye al operador, sino a la máquina 9. Igualmente, para la máquina 12 se tiene reproceso con los operarios 1, 2 y 3, pero en mayor cantidad con el operador 3, por lo tanto la interacción de estos dos es lo que mayormente está causando el reproceso.

Cuerpo

A continuación se muestra el análisis de los residuales para la pieza cuerpo

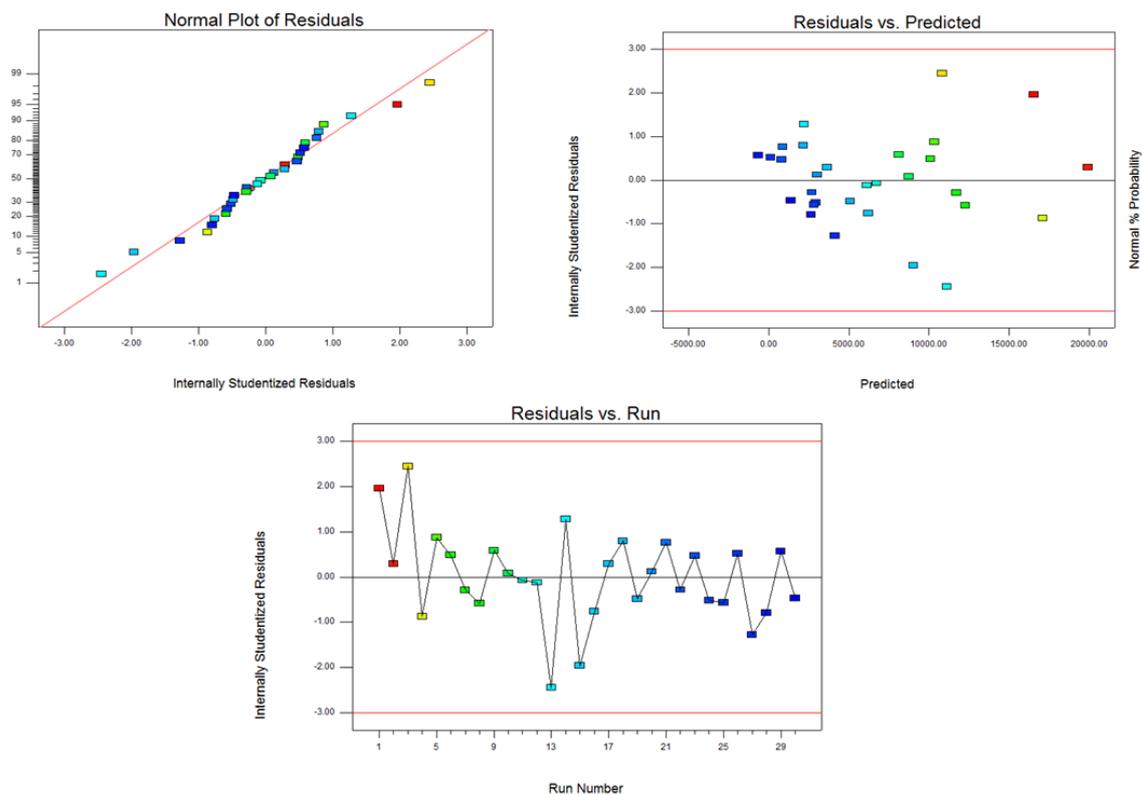


Gráfico 3.28 Análisis de los residuales para el cuerpo

Con respecto al primer gráfico de normalidad de los residuales parecen que no son normales, ya que hay ciertos puntos de los residuales que no se encuentran cercanos a la línea central. En el segundo gráfico de residuales vs, valores ajustados parece tener un patrón definido, ya que tiene cierta tendencia a abrirse hacia la derecha formando una corneta, por lo que se puede decir que los residuales no tienen una varianza constante. Finalmente, en el gráfico de residuales vs. orden no se tiene corridas sólo positivas o negativas, por lo que no hay razón para sospechar de que exista una violación del supuesto de independencia.

Para verificar si se cumple o no con la normalidad en los residuales, se realiza la prueba de Anderson Darling también utilizada en la sección 3.1.2.1. Se selecciona un alfa de 0,05, es decir un nivel de significancia de 95%. Las hipótesis atrás de esta prueba son:

H_0 : Los datos siguen una distribución Normal.

H_1 : Los datos NO siguen una distribución Normal.

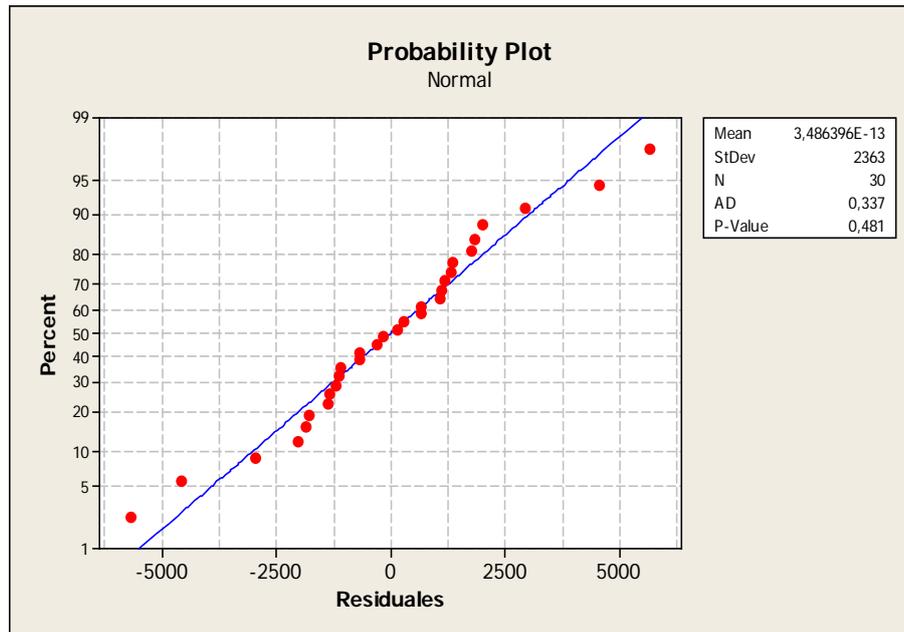


Gráfico 3.29 Prueba de Normalidad Anderson-Darling para la pieza cuerpo

Dado que $p > \alpha$ se acepta la H_0 , por lo que los residuales son normales, es por esto que se debe realizar una prueba para verificar con mayor exactitud los supuestos, ya que a simple vista podemos cometer equivocaciones.

Sin embargo, como se sospecha que no se cumple el supuesto de varianza constante de los residuos entre los tratamientos, se utiliza el método de Box-Cox, para observar si se necesita realizar una transformación si en el intervalo de confianza no se incluye el valor de 1.

Design-Expert® Software
R1

Lambda
Current = 1
Best = 0.19
Low C.I. = -0.33
High C.I. = 0.79

Recommend transform:
Log
(Lambda = 0)

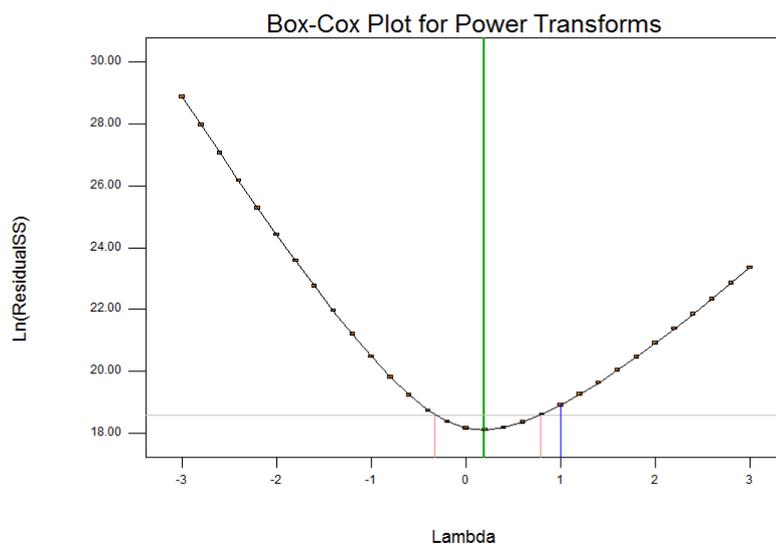


Gráfico 3.30 Box-Cox

Como el intervalo de confianza del 95% es $[-0,33$ a $0,79]$ se necesita transformar. La recomendación propuesta es logaritmo natural (Log) con $\lambda = 0$.

Se realiza la transformación propuesta, mostrada a continuación:

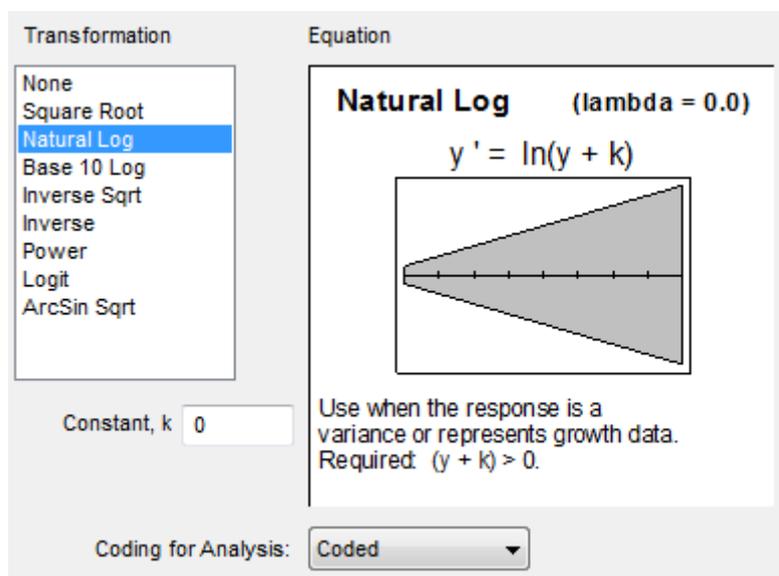


Gráfico 3.31 Transformación de los datos

Al transformar los datos, estos se vuelven más simétricos como se puede ver en el siguiente gráfico:

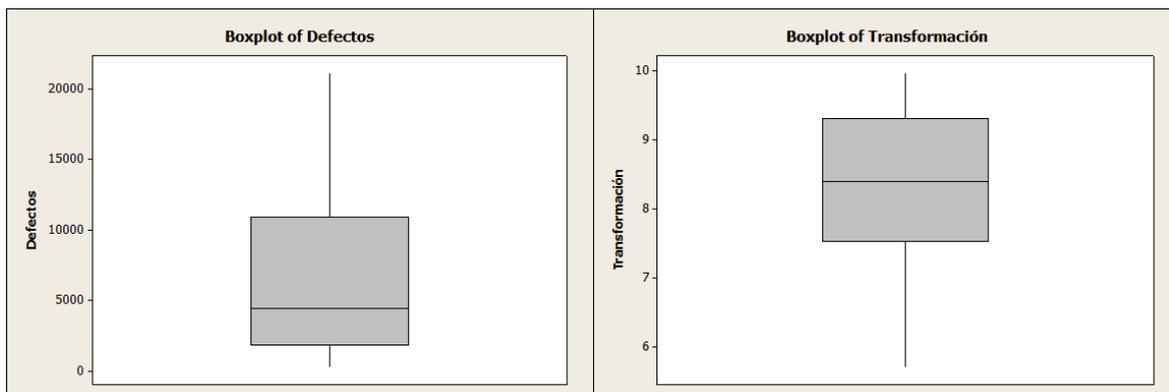


Gráfico 3.32 Boxplot

Como la transformación utilizada es log, y esta igualmente es una función creciente, por lo que el resultado que se obtendrá no altera los resultados ya que se tendrá los mismos factores significativos.

Una vez transformados se analiza nuevamente los residuales:

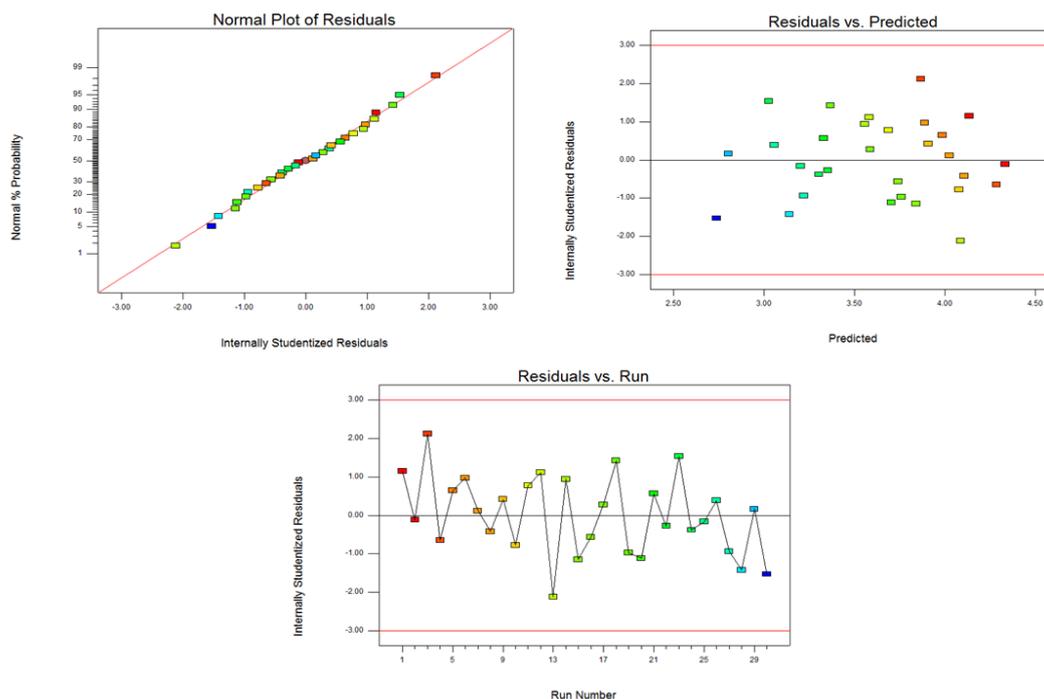


Gráfico 3.33 Análisis de los residuales transformados para el cuerpo

Con respecto al primer gráfico de normalidad se observa una tendencia normal, ya que los puntos de los residuales se encuentran cercanos a la línea central. En el segundo gráfico de residuales vs. valores ajustados no muestra un patrón definido, por lo que se tiene una

varianza constante. Finalmente, en el gráfico de residuales vs. orden no se tiene corridas sólo positivas o negativas, por lo tanto no hay razón para sospechar de que exista una violación del supuesto de independencia.

Una vez que se ha comprobado y verificado los supuestos para los residuales se procede al análisis de varianza explicado en la sección 1.3.5:

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F
Model	5.49	21	0.26	2.53	0.0889 not significant
<i>A-Turno</i>	0.023	1	0.023	0.22	0.6486
<i>B-Maquina</i>	1.73	2	0.86	8.37	0.0109
<i>C-Operador</i>	1.17	4	0.29	2.83	0.0983
<i>AB</i>	0.034	2	0.017	0.17	0.8497
<i>AC</i>	0.56	4	0.14	1.36	0.3295
<i>BC</i>	1.98	8	0.25	2.39	0.1193
Residual	0.83	8	0.10		
Cor Total	6.32	29			

Tabla 3.14 ANOVA con modelo no significativo

Como el modelo no es significativo se debe aplicar el principio de efectos esparcidos explicado anteriormente eliminando las interacciones con un valor p más alto, es decir AB.

Response 1 R1
 Transform: Natural Log Constant: 0

ANOVA for selected factorial model

Analysis of variance table [Classical sum of squares - Type II]

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F	
Model	5.46	19	0.29	3.34	0.0275	significant
A-Turno	0.023	1	0.023	0.27	0.6153	
B-Maquina	1.73	2	0.86	10.05	0.0041	
C-Operador	1.17	4	0.29	3.40	0.0531	
AC	0.56	4	0.14	1.63	0.2418	
BC	1.98	8	0.25	2.87	0.0605	
Residual	0.86	10	0.086			
Cor Total	6.32	29				

Tabla 3.15 ANOVA con modelo significativo

Como el modelo es significativo se puede analizar los factores que son significativos comparando si el valor p es menor a $\alpha=0,05$. En este caso es la máquina. Sin embargo, debido a que el operador y la interacción BC están cercanos al valor de 0,05 serán tomados en consideración. Debido a esto, se decide aumentar el error tipo I, es decir tener un riesgo mayor de rechazar H_0 cuando esta es verdadera. En otras palabras, rechazar que las medias de todos los tratamientos y sus interacciones son iguales. Se compara el modelo con un $\alpha=0,06$.

Eliminando los factores que no son significativos se obtiene en siguiente ANOVA:

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F	
Model	4.87	14	0.35	3.62	0.0093	significant
<i>B-Maquina</i>	1.73	2	0.86	8.98	0.0027	
<i>C-Operador</i>	1.17	4	0.29	3.04	0.0510	
<i>BC</i>	1.98	8	0.25	2.57	0.0550	
Residual	1.44	15	0.096			
Cor Total	6.32	29				

Tabla 3.16 ANOVA con términos significativos pieza cuerpo

El análisis ANOVA indica que la máquina influye significativamente con un 95% de confianza sobre la variable de respuesta; es decir, sobre la cantidad de reproceso generado en la pieza seguro de la BPH, pero nuevamente se toma en consideración al operador y a la interacción máquina-operador por estar muy cercanos a 0,05.

A partir del análisis realizado, la ecuación codificada que se ajusta a la cantidad de reproceso generado por la pieza cuerpo es:

$$\widehat{\ln y} = 3.62 - 0.045B[1] + 0.31B[2] - 0.073C[1] + 0.31C[2] + 0.13C[3] - 0.26C[4] \\ - 0.035B[1]C[1] + 0.31B[2]C[1] + 0.10B[1]C[2] - 0.27B[2]C[2] \\ - 0.46B[1]C[3] + 0.064B[2]C[3] + 0.21B[1]C[4] - 0.29B[2]C[4]$$

De acuerdo a esta ecuación se muestra el error estándar e intervalo de confianza para cada factor y nivel de la ecuación:

Term	Coefficient	df	Standard	95% CI	95% CI
	Estimate		Error	Low	High
Intercept	3.62	1	0.057	3.50	3.74
B[1]	-0.045	1	0.080	-0.22	0.13
B[2]	0.31	1	0.080	0.14	0.48
C[1]	-0.073	1	0.11	-0.31	0.17
C[2]	0.31	1	0.11	0.065	0.55
C[3]	0.13	1	0.11	-0.11	0.38
C[4]	-0.26	1	0.11	-0.50	-0.014
B[1]C[1]	-0.035	1	0.16	-0.38	0.31
B[2]C[1]	0.31	1	0.16	-0.027	0.66
B[1]C[2]	0.10	1	0.16	-0.24	0.44
B[2]C[2]	-0.27	1	0.16	-0.61	0.074
B[1]C[3]	-0.46	1	0.16	-0.80	-0.12
B[2]C[3]	0.064	1	0.16	-0.28	0.41
B[1]C[4]	0.21	1	0.16	-0.13	0.55
B[2]C[4]	-0.29	1	0.16	-0.63	0.048

Gráfico 3.34 Ecuación de la pieza cuerpo

Los intervalos de confianza indican que hay algunos términos que no son significativos en la ecuación de regresión, se reescribe la ecuación de la cantidad de reproceso generado en la pieza cuerpo en los términos de factores significativos codificados:

$$\widehat{\ln y} = 3.62 + 0.31B[2] + 0.31C[2] - 0.26C[4] - 0.46B[1]C[3]$$

Las variables B[1], B[2], C[2], C[3] y C[4] son variables indicadoras codificadas que se definen en el ANEXO 3.11.

Al analizar todos los supuestos y obteniendo los efectos principales y sus interacciones se construye gráficas que indican los efectos de cada factor involucrado en el reproceso:

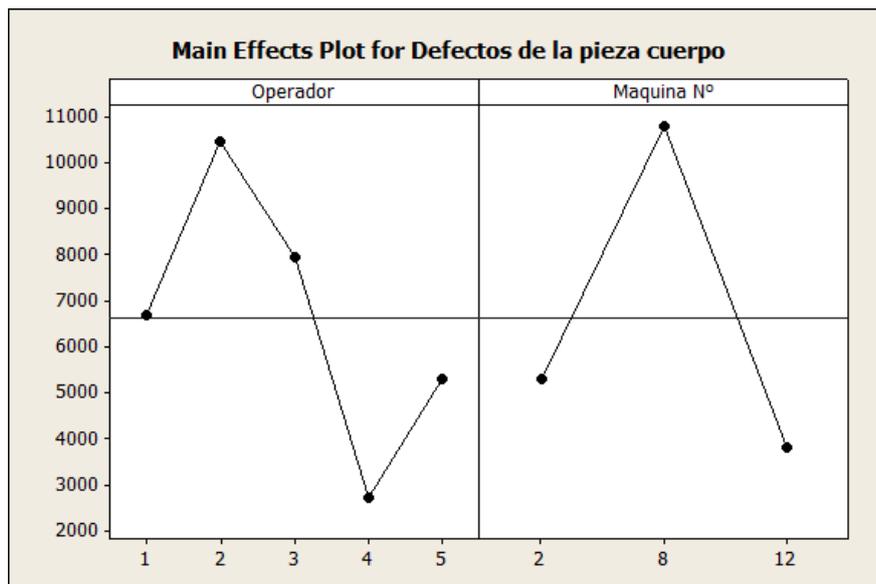


Gráfico 3.35 Diagrama de Efectos significativos en el reproceso del cuerpo

Esto indica que el factor que más influye en la variable de respuesta es la máquina, seguido por el operador.

Igualmente, se construye gráficas de indican la interacción involucrada en el reproceso:

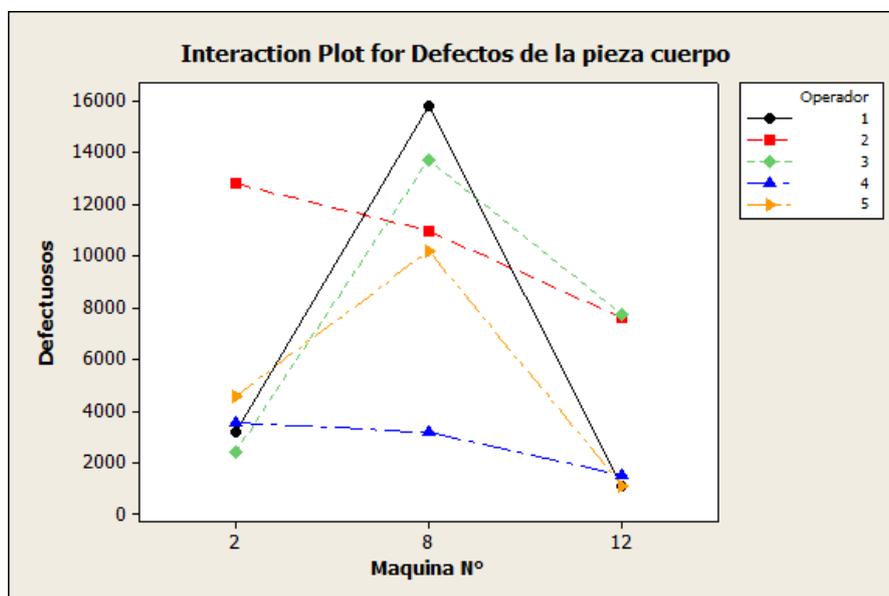


Gráfico 3.36 Diagrama de la interacción significativa en el reproceso del cuerpo

En el gráfico solamente se muestra los efectos generados por las interacciones que salieron significativas en el ANOVA, es decir máquina vs. operador. El hecho que las

rectas no sean paralelas indica que la interacción es significativa; en general, el mayor reproceso está generado en la máquina 8 independiente del operador.

Igual que en los casos anteriores, el siguiente paso a analizar sería la comparación de medias porque se rechazó la hipótesis nula de la igualdad de los tratamientos, a pesar que el gráfico 3.36 dice que la máquina 8 es la que provoca el reproceso en la pieza cuerpo, se realizan los diagramas de Pareto explicado en la sección 1.2.1, para corroborar esta conclusión:

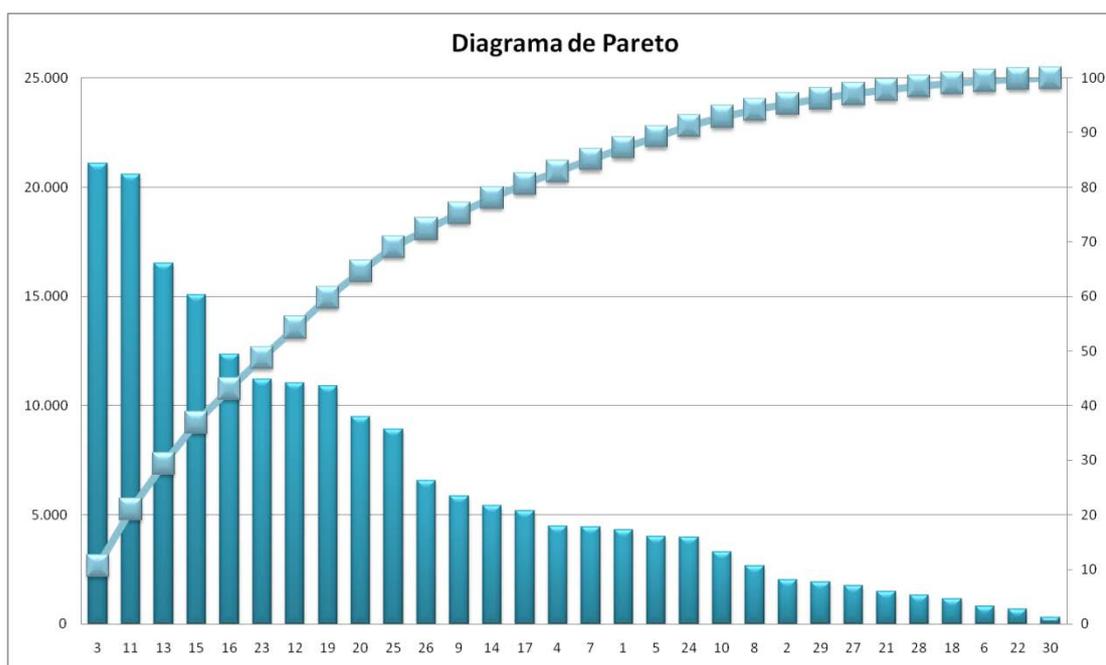


Gráfico 3.37 Diagrama de Pareto del total de piezas defectuosas para el cuerpo

A través del diagrama de Pareto proyectado se observa que, la combinación 3 es la que genera mayor % de reproceso en la BPH con un 10,62%. La combinación 11 es la siguiente que produce reproceso con un 10,36%; luego la combinación 13 con un 8,31%; la combinación 15 con un 7,58%; la combinación 16 con un 6,22%, la combinación 23 con un 5,64%; la combinación 12 con un 5,56%; la combinación 19 con un 5,48%; la combinación 20 con un 4,77%; la combinación 25 con un 4,48%; la combinación 26 con un 3,29%; la combinación 9 con un 2,94%; la combinación 14 con un 2,73%; y, la

combinación 17 con un 2,60%, con lo que sumando todos estos porcentajes se obtiene 80,60%. En consecuencia, se concluye que la mayor parte del reproceso se encuentra en estas combinaciones para la muestra obtenida del año 2013. (Para conocer cuáles son las combinaciones ir al ANEXO 3.10.)

Para tener un entendimiento más claro sobre los resultados generados se muestran los siguientes gráficos para la pieza cuerpo de la BPH:

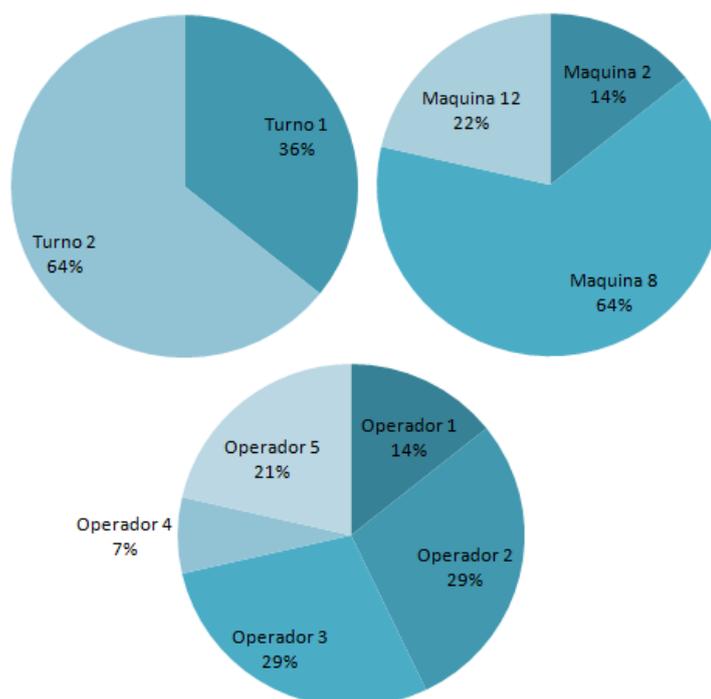


Gráfico 3.38 Resultado de los actores principales del reproceso en el cuerpo

A partir de estos gráficos se puede concluir que en el cuerpo, la máquina 8 produce la mayor cantidad de reproceso en el turno 2, en conjunto con todos los operarios seleccionados para el estudio. Por el ANOVA realizado para el cuerpo se sabe que el turno no es significativo.

7. Conclusiones y recomendaciones del diseño de experimentos:

- Se concluye que para la pieza seguro el operario es el factor principal que provoca el reproceso, con los operadores 2 y 4. Por lo que se debe conocer las causas por las

que estos operarios generan reproceso de tal manera que disminuyan la cantidad de seguros defectuosos.

- Se concluye que para la pieza gatillo la máquina es el factor principal que provoca el reproceso con la máquina 9. Se debe investigar las causas que provocan que esta máquina produzca defectos en el gatillo.
- Igualmente, para la pieza gatillo se debe tener cuidado al usar la máquina 12 con el operario 3, ya que son uno de los principales causantes del reproceso. Por lo tanto se deben investigar las causas por lo que se genera esto.
- Se concluye que para la pieza cuerpo la máquina es el factor principal que provoca el reproceso con la máquina 8. Se debe investigar las causas que provocan que esta máquina produzca defectos en el cuerpo.

3.3 Detección de las causas

Una vez identificados los factores que están causando el reproceso se debe indagar las principales causas por las que estas lo están provocando, para luego dar la solución para que estos porcentajes se reduzcan. Para esta sección, se utilizan herramientas como listas de verificación, diagrama de Pareto, los 5 ¿por qué? con entrevistas para poder detectar la causa raíz y poder eliminar o evitar los problemas posteriormente.

3.3.1 Operadores

De acuerdo a la sección 3.2.3 los operadores 2 y 4 de la pieza seguro son los causantes del reproceso generado en dicha pieza. Se realizó una entrevista por separado a estos 2 operadores para conocer la causa por la que no estaban trabajando, bajo las condiciones adecuadas con la herramienta de los 5 por qué. Obteniendo los siguientes resultados:

Operador 2:

1. ¿Por qué cree usted que un operador puede generar reproceso en la pieza seguro?

Porque no se le ha dado la correcta inducción o enseñanza para manejar la máquina

2. ¿Por qué no se le ha enseñado bien?

Porque es muy rápida la instrucción y uno mismo debe aprender a manejar la máquina por medio de la experiencia que se genera ya en la operación.

3. ¿Por qué utilizan la experiencia?

Porque son diferentes piezas que debemos realizar y sólo se nos enseña al principio con una pieza entonces nosotros debemos aprender cómo manejar la prensa con las diferentes piezas.

Operador 4:

1. ¿Por qué cree usted que un operador puede generar reproceso en la pieza seguro?

Porque no se sienten cómodos al operar la máquina

2. ¿Por qué no se sienten cómodos?

Porque estamos parados todo el tiempo y es muy cansado realizar la misma operación en la misma posición.

3. ¿Por qué realizan la misma operación?

Porque las prensas requieren realizar el mismo movimiento una y otra vez y para hacer el seguro del gatillo se necesita de mucha precisión y cuidado, para no tener daños en las piezas, pero si las máquinas están dañadas nosotros no podemos hacer nada más que trabajar bajo esas condiciones si es que ya dimos aviso a mantenimiento y nos dan esa instrucción.

De acuerdo a las causas que se puede asignar a estos operadores que generan el reproceso, es por la monotonía existente en el proceso y por la falta de capacitación al comenzar el trabajo.

Aparte de realizar las entrevistas, se indagó en el tipo de formación y experiencia laboral que tenían estas personas al entrar a la empresa. Encontrando que el operador 2 no

tiene ningún tipo de educación y su experiencia laboral ha sido en restaurante como mesero y en hogares como jardinero, por lo que no ha tenido ningún tipo de formación en el uso de prensas mecánicas antes de entrar a la empresa, en tal sentido este puede ser uno de los principales factores contribuyentes por las que no se produzca piezas buenas.

El operador 4 culminó sus estudios primarios, pero tampoco ha tenido una experiencia laboral con prensas mecánicas, porque sus anteriores trabajos fueron de percheros y meseros. Es importante mencionar este hecho puesto que siempre es necesario tener cierto tipo de formación para manejar máquinas y educación básica para entender lo que se le enseña. Se realizará una comparación de los 14 operarios estudiados y con experiencia en prensas antes de ser contratados para la pieza seguro en el procedimiento de corte con los datos de la sección 3.2.2, para conocer si la educación o experiencia afectan en producir las piezas defectuosas. Se clasificará a la educación en 3 grupos: no tiene educación (no), primaria y secundaria; a la experiencia en 2 grupos si ha trabajado antes con prensas mecánicas (si) o si no ha tenido una experiencia anterior (no).

A continuación se muestran los resultados obtenidos de la influencia que tiene la educación en la cantidad de piezas defectuosas generadas en el seguro.

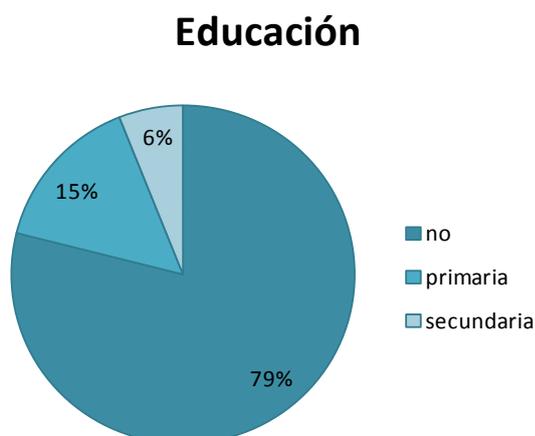


Gráfico 3.39 Influencia de la educación en piezas defectuosas del seguro

Como se puede observar el no tener ningún tipo de educación, influencia en la cantidad de piezas defectuosas en un 79%; por lo que se debería contratar personal que al menos tenga cierto nivel de estudio para poder disminuir el porcentaje de reproceso generado en la pieza seguro.

A continuación se muestran los resultados obtenidos de la influencia que tiene la experiencia en la cantidad de piezas defectuosas generadas en el seguro.

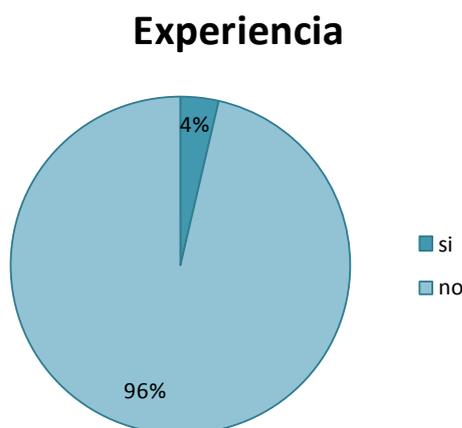


Gráfico 3.40 Influencia de la experiencia en piezas defectuosas del seguro

Como se puede observar el no tener ninguna experiencia anterior manejando prensas mecánicas, influencia en la cantidad de piezas defectuosas en un 96%, en tal sentido se debería contratar personal que tenga al menos un tiempo de experiencia o conozca de estas máquinas para reducir el % de reproceso en la pieza seguro.

3.3.2 Máquinas

En la sección 3.2.3 se detectó que las máquinas que influyen mayormente en el reproceso son la máquina 8 en el cuerpo y la máquina 9 en el gatillo. Es importante mencionar que todas las máquinas utilizadas son idénticas, y sólo cambian por el troquel que se utilice para fabricar la pieza.

Las máquinas utilizadas en el proceso de fabricación de la BPH son prensas mecánicas que trabajan con metales en frío, ejerciendo fuerza sobre el metal para

deformarlo. En términos mecánicos, la función que realiza esta máquina es por medio de un volante de inercia, obtiene energía que es transmitida vía mecánica a un troquel (WordPress, 2008). Proporcionando un golpe seco y contundente a la lámina de metal (Guevara, 2010). Estas prensas comúnmente son usadas para realizar operaciones de corte, estampación, doblado, planchado, nervado y embuticiones pequeñas (WordPress, 2008), por lo que de acuerdo al trabajo que se desee realizar se diseña y construyen los troqueles (Guevara, 2010). Los principales componentes de esta herramienta son un punzón y una matriz, también conocidos como ‘macho’ y ‘hembra’, respectivamente (Marín, 2002).

Como los reproceso se encuentran en el procedimiento de corte y sólo se estudiará los defectos que se dieron cuando realizaban la pieza gatillo o cuerpo. Antes de tomar los datos de los mantenimientos, existe cierta literatura de las prensas mecánicas que detectan los errores más comunes en los procedimientos de corte de metales. Según Guevara (2010) el corte comúnmente se deteriora por desgaste del troquel y de la matriz. Cuando se realiza el corte, el mayor problema se encuentra al controlar el fleje o lámina dentro de una troqueladora, ya que el cilindro del troquel gira a cierta velocidad y el cilindro de la cubierta gira a otra, creando una calidad deficiente de los troquelados (Equalizer, 2010). Tomando en cuenta que la literatura dice que las máquinas no son el problema sino el troquel que se use, se investigó cuáles son las causas que han provocado reproceso en las máquinas 8 y 9 en el procedimiento de corte a través de una lista de verificación de los mantenimientos dados a estas por la cantidad de defectos generados para verificar si los troqueles son el problema.

A continuación se muestra la lista de verificación, explicada en la sección 1.3.6, de los tipos de defectos encontrados en la máquina 8 para la pieza cuerpo.

Tipo de defectos	Verificación	Subtotal
mala regulación troquel	IIII	4
falta de platina	I	1
desgaste punzón	+++ + + + + + + + + +	25
desgaste bocines	II	2
desgaste pernos	+++ IIII	9
falla eléctrica	II	2
desgaste frenos	III	3
mtto de aire rota	I	1
	Total	47

Tabla 3.17 Lista de verificación máquina 8

Se puede observar que el defecto que mayormente se da en la máquina 8 es el desgaste de punzón y al que se le debe prestar mayor atención. A estos tipos de defectos se los puede clasificar en 3 grupos: empleado de mantenimiento, máquina o troquel (Sanunga, 2013). Al empleado de mantenimiento, se le atribuye la mala regulación del troquel, ya que al montarlo no lo coloca bien causando fallas en las piezas (Sanunga, 2013). A la máquina, se le atribuye: falla eléctrica (cuando la máquina no tiene toda su fuerza para cortar el metal por falla de conexiones o vibraciones), desgaste bocín (por la fricción que se ejerce en el eje de la rueda de la máquina, obteniendo un giro más lento por el uso frecuente), mtto de aire (se tiene fugas de aire por lo que causa un mal troquelado por el desgaste de los elementos de conexión acoplados a la manguera) y el desgaste de frenos (por el continuo uso de la máquina) (Sanunga, 2013).

Al troquel, se le atribuye la falta de platina (esto se da en troqueles viejos, que se debe usar una lata de bronce maleable para ajustar la pieza para que quede en la medida que se requiere), desgaste punzón y desgaste perno (Sanunga, 2013).

Para conocer cuáles son las causas que se deben estudiar se realiza la ley del 80-20 explicado en la sección 1.2.1.

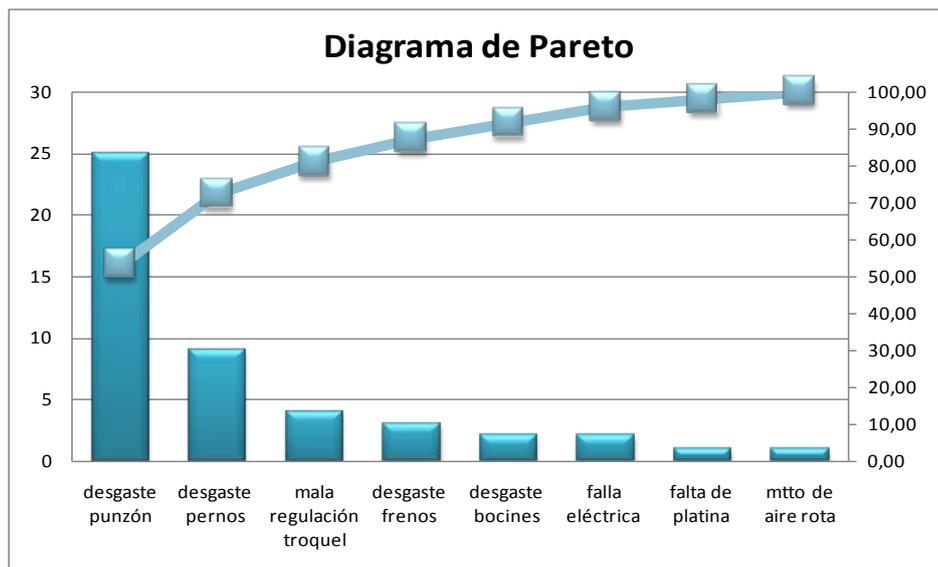


Gráfico 3.41 Causantes del reproceso en la máquina 8 en corte

A través del diagrama de Pareto proyectado se observa que, el desgaste de punzón es la mayor causa que genera reproceso en la BPH para la máquina 8 en el procedimiento de corte en la pieza cuerpo, con un 53,19%. El desgaste de los pernos es la siguiente que produce reproceso con un 19,15%; luego la mala regulación del troquel con un 8,51%, con lo que sumando todos estos porcentajes se obtiene 80,85%. Estas causas son las que se deben estudiar para poder evitar o eliminar fallas en esta máquina. Se puede notar que todas estas fallas están dadas por el troquel utilizado.

Se realiza la lista de verificación, explicada en la sección 1.3.6, de los tipos de defectos encontrados en la máquina 9 para la pieza gatillo.

Tipo de defecto	Verificación	Subtotal
desgaste frenos	III	3
desgaste eje de arrastre	I	1
desgaste pernos	+++ +## IIII	14
desgaste guías	I	1
mal estado protector	I	1
desgaste pedal	I	1
desgaste punzón	+++	5
mala regulación troquel	+++	5
	Total	31

Tabla 3.18 Lista de verificación máquina 9

Se puede observar que el defecto que mayormente se da en la máquina 9 es el desgaste de pernos y al que se le debe prestar mayor atención. Al igual que en el caso anterior, estos tipos de defectos se los puede clasificar en 3 grupos: empleado de mantenimiento, máquina o troquel (Sanunga, 2013). Al empleado de mantenimiento, se le atribuye la mala regulación del troquel y el mal estado del protector (alno ajustar bien los pernos). A la máquina, se le atribuye: desgaste eje de arrastre, desgaste pedal y desgaste frenos por el uso de la máquina. Al troquel, se le atribuye desgaste punzón, desgaste perno y desgaste guías (no permite que le fleje este templado) (Sanunga, 2013).

Para conocer cuáles son las causas que se deben estudiar se realiza la ley del 80-20 explicado en la sección 1.2.1.

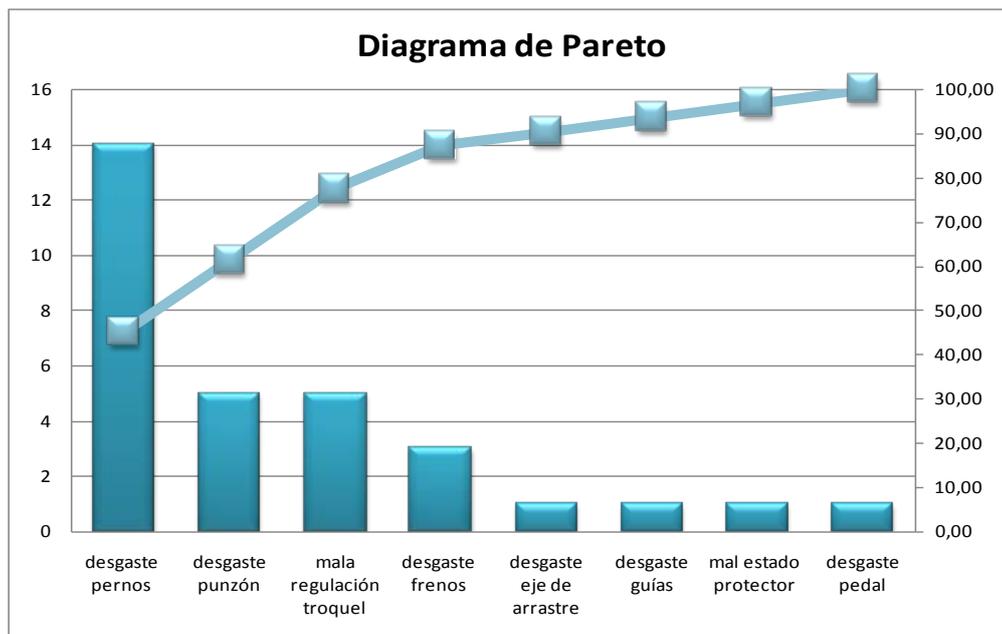


Gráfico 3.42 Causantes del reproceso en la máquina 9 en corte

A través del diagrama de Pareto proyectado se observa que, el desgaste de pernos es la mayor causa que genera reproceso en la BPH para la máquina 9 en el procedimiento de corte en la pieza gatillo, con un 45,16%. El desgaste del punzón es la siguiente que produce reproceso con un 16,13% y la mala regulación del troquel con un 16,13%, con lo que sumando todos estos porcentajes se obtiene 77,42%. Estas causas son las que se debe estudiar para poder evitar o eliminar fallas en esta máquina.

De acuerdo a los dos diagramas de Pareto de las causas asignables a ambas máquinas resultaron ser los mismos y esto se debe a las fallas en el troquel utilizado. La mayor parte de las causas es porque no se tiene un mantenimiento preventivo de los troqueles y sólo se tiene el correctivo cuando se generan piezas malas o el operador avisa de los defectos que se están dando.

3.3.3 Interacción máquina – operador

Por la sección 3.2.3 se conoce que la interacción entre la máquina 12 con el operario 3 son significativas, es decir que al unirse estos 2 factores se incrementó la cantidad de

reproceso generado en la pieza gatillo en el año 2013. Se buscó en los registros para conocer si es que este hecho se lo puede atribuir a alguna causa.

Con los datos de la sección 3.2.2 se pudo observar que desde enero a febrero del año 2013, el operador 3 mantenía un nivel alto de piezas defectuosas y después de esta fecha su rendimiento mejoró notablemente, se buscó en los registros de capacitación de la empresa y este operador fue capacitado el día 1 de marzo del 2013, por lo que se puede decir que la capacitación que se le brindó al operario dio resultados. Esto se puede observar en el siguiente gráfico

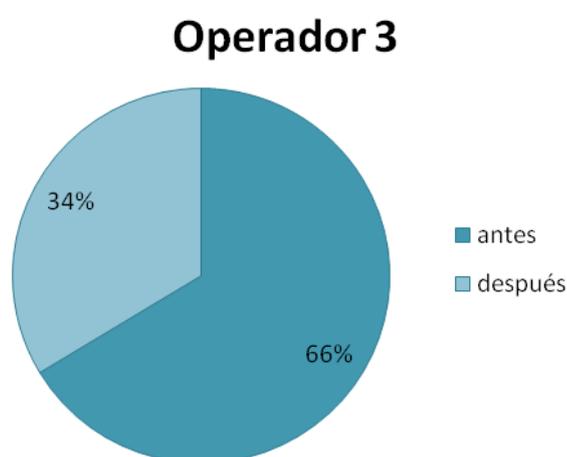


Gráfico 3.43 Porción de piezas defectuosas antes y después de la capacitación

Del total de los defectuosos que generó el operario 3 en el 2013, antes de la fecha indicada generó el 66% y después el 34% lo que muestra una gran reducción de piezas defectuosas.

Por otro lado, la máquina 12 no estuvo trabajando en la pieza gatillo desde comienzos de mayo del 2013, según los datos de la sección 3.2.2, por lo que se indagó en las fichas de mantenimiento de las máquinas para conocer el motivo por el cual la máquina 12 no operó de mayo a julio del año 2013. Lo que se encontró es que se paró su funcionamiento porque el troquel destinado para esa máquina estaba en reparación en

razón de que estaba generando muchas piezas defectuosas. La reparación que se le dio al troquel si dio resultado, esto se puede ver en el siguiente gráfico:

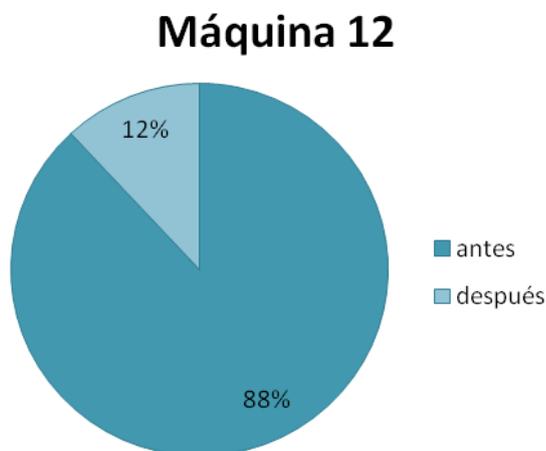


Gráfico 3.44 Porción de piezas defectuosas antes y después del mantenimiento

Del total de defectuosos que generó la máquina 12, de mayo a julio del año 2013, generó el 88% y después el 12%, lo que muestra una gran reducción de piezas defectuosas.

Por lo tanto, la capacitación del operador y la reparación del troquel tienen fechas cercanas, y antes de realizar los planes de acción fue lo que creó que fuera significativa su interacción. Al estar solucionado el problema actualmente no se requiere realizar una mejora.

3.4 Propuesta de mejora

A partir de las causas encontradas en la sección 3.3 es necesario realizar una planificación que incluya tanto capacitaciones como mantenimiento preventivo de los troqueles de las máquinas. El mantenimiento productivo total (TPM por sus siglas en inglés) explicado en la sección 1.3.7 se utilizará con el fin de proponer mejoras en el programa de mantenimiento de los troqueles, ya que resulta ser un problema al no tener un mantenimiento preventivo, pues impide la continuidad de la producción porque genera defectos en las piezas, y a su vez capacitar a los operarios en el uso y conocimiento de la prensa mecánica. Al aplicar el TPM se mejorará la calidad, puesto que habrá menos

variación, se mejora la productividad al aumentar la disponibilidad del equipo y se reduce gastos por mantenimiento (Sicconini, 2008). Igualmente esta metodología será de gran ayuda para evitar el desgaste forzado de los troqueles y da al operador la responsabilidad de cuidar su equipo, de tal forma que lo mantenga en óptimas condiciones (Sicconini, 2008). La implementación del TPM puede durar más de un año, por lo tanto se toman ciertos aspectos de esta para poder reducir reproceso y aumento de la productividad.

3.4.1 Mejora Operarios

3.4.1.1 Capacitación

La capacitación es uno de los pilares del TPM, explicado en la sección 1.3.7 y necesaria para disminuir el reproceso generado por el operario 2 y 4 en la pieza seguro. Igualmente esta sección es importante, ayuda a cuidar a las prensas mecánicas y a los troqueles, si los empleados están capacitados adecuadamente. Una mala operación de la prensa o mala instalación del troquel, determinan unos de los principales daños en la maquinaria y tiempo muerto (Kren, 2006).

La empresa contrata personal sin experiencia en prensas mecánicas y algunos sin ninguna educación; este punto es de vital importancia ya que se debe realizar una formación teórica y práctica que permitan operar una prensa de manera correcta y que permita diagnosticar y corregir problemas, tal y cómo el TPM lo solicita. La capacitación de los operadores, para la operación de la máquina, debe incluir los siguientes puntos:

- Programa de entrenamiento;
- Equipos de protección personal;
- Conocimiento y familiarización del equipo;
- Limpieza, nivelación y lubricación de la máquina; y,
- Reglas de mantenimiento.

Una capacitación primordial es en el mantenimiento de las máquinas, considerando que los operadores deben estar involucrados en este proceso. Esta capacitación permite alertar al personal de mantenimiento cuando se presente algún problema y no se trabaje bajo condiciones defectuosas (Kren, 2006). Los operadores como manejan la prensa todos los días, al estar entrenados sólo escuchando o viendo pueden indicar cosas que provoquen problemas (Kren, 2006).

Se debe tener operarios totalmente calificados y capacitados para manejar prensas mecánicas, ya que éstas no afectan únicamente en la productividad, sino que son peligrosas para el operario por una mala operación. Resulta ser que estas máquinas son una de las más peligrosas que existen en la industria y tienen la tasa de accidentabilidad más alta, no sólo en frecuencia sino en gravedad de los daños que provoca (Confederación de empresarios de Ceuta).

3.4.1.2 Seguridad

La seguridad es otro de los pilares del TPM, explicado en la sección 1.3.7, este punto se hace presente para enfatizar la importancia de la capacitación de los operarios al operar las prensas. Los riesgos que más se presentan al manejar las prensas mecánicas son: “...atrapamientos en la zona del troquel, caída de objetos, atrapamientos con zonas de transmisión” (Confederación de empresarios de Ceuta). Se debe tomar medidas preventivas

Sistema de protección	Definición
Troquel cerrado.	Troquel que está diseñado para que no sea posible el atrapamiento del operador.
Resguardo fijo.	Resguardo sin partes móviles, cuya posición puede alterarse para acceder a la zona de peligro
Resguardo con pantalla móvil enclavada mecánicamente o sobre el mando de forma directa al mecanismo de embrague.	Resguardo con partes móviles cuya posición puede alterarse para acceder a la zona de peligro.
Apartacuerpos.	Resguardos que están unidos mecánicamente a la corredera y apartan el cuerpo del operario de la zona de peligro al producirse el movimiento de cierre del troquel.
Mando a dos manos.	Dispositivo que obliga a usar las dos manos para conseguir el cierre del troquel.
Barreras inmateriales.	Dispositivos que presentan un campo detector sensible y que al ser alterado actúan sobre el mando de la prensa.

Tabla 3.19 Sistema de protección

Fuente: Instituto nacional de seguridad e higiene en el trabajo

Además, de los sistemas de seguridad que se deben manejar con la prensa mecánica, todas las empresas deben utilizar los siguientes equipos de protección individual al manejar este tipo de máquina:

- Calzado de seguridad.
- Protectores auditivos.
- Guantes de protección contra riesgos mecánicos (dependiendo de la pieza a manipular).
- Protección ocular (dependiendo de la pieza a manipular).

Se muestra en la siguiente imagen los equipos de protección individual (EPI) que se deben usar al manejar una prensa mecánica:



Gráfico 3.45 Protección personal

Fuente: Imágenes de Google

La mayor parte del tiempo los operarios tienen puesto el equipo de protección individual, pero hay veces que no llevan guantes. La mayor parte de veces no llevan protección ocular y el calzado no es muy bueno, por lo que se debe mejorar en estos aspectos para evitar cualquier daño en el operador y usar los EPI adecuados.

Por otro lado, como ya se mencionó, las prensas mecánicas pueden causar varios accidentes poniendo en peligro la salud de los trabajadores. Por este motivo, se puede considerar adquirir sensores de fotocélulas que usan rayos láser para detectar cualquier interrupción, como la mano del operador, evitando el funcionamiento de la máquina; es decir que, el pistón no baja y corta si es que no tiene un área despejada (Morales F., 2014). Esto podría aumentar el bienestar de los operarios y la seguridad en la empresa.

Monotonía

Dentro de la seguridad se debe considerar a la monotonía, ya que un trabajo repetitivo puede causar distracción y por ende accidentes (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo). Este apartado también es considerado debido a que en la sección 3.3.1 se encontró que es una de las posibles causas por las que los operarios no estaban trabajando

en condiciones óptimas, porque el trabajo en la prensa mecánica resulta ser bastante monótono, pues se repiten las mismas tareas causando aburrimiento y fatiga para los operarios. Además, la monotonía tiene efectos sobre la eficiencia y la actitud del trabajador provocando que estas sean menores y negativas, respectivamente (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo).

Es necesario que los trabajadores combinen tareas y no sólo estén trabajando en una sola cosa por un tiempo prolongado. Es recomendable que se realice una rotación de puestos entre cierto número de trabajadores, de tal modo que el operario tenga cambios frecuentes de tarea (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo). Igualmente es aconsejable que se organicen grupos autónomos en donde se compartan responsabilidades en la realización de tareas combinadas y división del trabajo (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo). Cuando se combine las tareas se debe proporcionar ocasiones para que el trabajador camine o pueda cambiar de posición de pie a sentado o viceversa (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo).

3.4.2 Mejora Máquinas

El TPM manifiesta que, hay que tener un mantenimiento preventivo de los equipos, así como también conocerlos. Como en la anterior sección se encontró que los troqueles están generando el problema de reproceso, se explican ciertos aspectos que se deben tomar en cuenta en las partes que más se desgatan por falta de control y por ende causan el reproceso en el gatillo y cuerpo.

Los troqueles de corte tienen el siguiente aspecto físico:

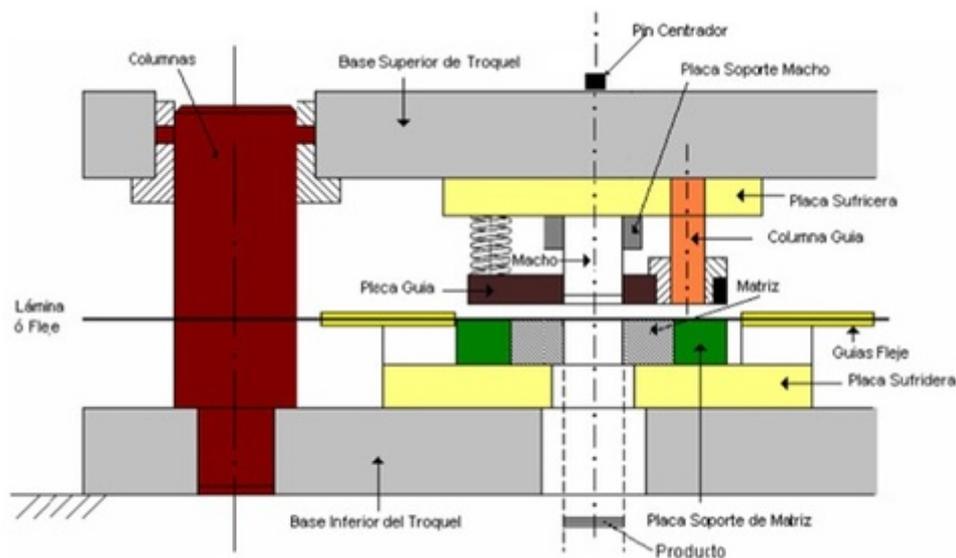


Gráfico 3.46 Troquel
Fuente: Guachamin, 2008

Cada una de las partes que conforman el troquel pueden sufrir de desgaste por el uso y al no tener un mantenimiento de estos se provocan los defectos. Como se mencionó anteriormente el punzón es conocido como macho, se lo puede observar en el gráfico 3.46. Este ejerce presión sobre la lámina o fleje a troquelar, cortándola por el juego entre éste y la matriz (Valencia, 2010). “Los punzones, que deben estar perfectamente diseñados y mecanizados, muy bien sujetos, acorde a las dimensiones requeridas, con excelentes acabados y un adecuado tratamiento térmico de endurecido” (Marín, 2002). Este tratamiento ayuda a evitar el desgaste del punzón ya que da un recubrimiento de las partes haciéndolo más duro (Devia, 2012). En la empresa, el encargado de mantenimiento indica que a los troqueles se les da un tratamiento térmico, pero no se tiene un proceso estandarizado, hay veces que cambian las condiciones y por el mínimo factor que cambie causa un desgaste prematuro en la parte endurecida (Sanunga, 2013). Esto genera alteraciones en las piezas porque se trabaja con condiciones fuera de las especificaciones, al cambiar las instrucciones que indica el tratamiento para poder asegurar un endurecimiento de las partes. Sería de gran utilidad que el ingeniero especialista o el

tecnólogo de la empresa revise y mejore el tratamiento térmico, de tal manera que, se lo realice mejor y evitar que el punzón se rompa o se desgaste antes de tiempo.

Además, es de gran importancia que los troqueles tengan una alta resistencia a la compresión y al desgaste. Esto también se logra utilizando aceros aleados con tratamiento de temple para fabricarlos (Marín, 2002). Sin embargo, no se puede solamente cambiar el tipo de material del troquel para que la eficiencia de las herramientas mejoren, sino también de la calidad superficial de éstas (Marín, 2002). Por lo que es de vital importancia mejorar el tratamiento que se le esté dando a los punzones, para disminuir el desgaste y por ende las piezas defectuosas.

Igualmente, si es que se reparan los troqueles que generan superficie rugosas mediante el pulido y alisamiento, afectará a la eficiencia de la herramienta (Marín, 2002). Es por esto que no solamente el punzón debe estar muy bien mecanizado y sin rugosidades, sino también la matriz; y es preferible que estas también estén rectificadas y abrillantadas, porque a la menor desigualdad se dañara la forma de la pieza troquelada (Marín, 2002). Además, pequeñas deformaciones de la pieza, aun que el proceso de troquelado este bien, provoca un agotamiento prematuro de la capacidad de conformación de la herramienta, porque se forman pequeñas grietas superficiales en la matriz que dañan por completo al troquel con el paso del trabajo (Marín, 2002). A su vez, los troqueles de corte deben ser rectificadas periódicamente, entonces se requiere conocer las tolerancias para el afilado dadas por los fabricantes, para tener un mantenimiento preventivo, en razón de que esta es una de las causas principales de la disminución de la vida útil del troquel (Marín, 2002).

Por otro lado, la otra causa que provoca daños en las piezas es el perno. Este es una pieza larga metálica hecha de acero o hierro utilizada para sujetar piezas en general de gran volumen (Garzón, 2011). Esta pieza ayuda a unir el punzón con el pistón de la prensa. El ajuste entre el perno y el pistón, tanto como su geometría, son sumamente importantes y

por ningún motivo se deben alterar, ya que esto puede provocar desgaste en el perno (Moresa, 2010). Esto puede provocar el desajuste entre las partes provocando accidentes o una mala alineación al momento de cortar las piezas lo que genera piezas con defectos (Sanunga, 2013). En consecuencia, se debe considerar que el ajuste del perno en el pistón se debe realizar a una temperatura de 21°C (70° F) (Moresa, 2010). El perno debe estar limpio, esto se lo puede realizar con aceite anticorrosivo para proteger al perno contra el desgaste (Moresa, 2010). Otra solución para evitar el desgaste de los pernos es adquirir pernos anti desgaste que posean un núcleo con Carburo de Tungsteno lo que ocasiona que el metal se endurezca y tenga gran resistencia (Neo Weld, 2013).

La tercera causa de defectos en las piezas gatillo y cuerpo es la mala regulación del troquel. Esto se da al momento de montar el troquel en la prensa mecánica, por varias causas como por ejemplo la mala alineación entre la matriz y el punzón, mal ajuste del perno, desgaste de las piezas que conforman el troquel o se han realizado mal las reparaciones de troqueles viejos (Sanunga, 2013). Es por este motivo que para evitar el desgaste de las partes del troquel se debe considerar un mantenimiento autónomo y preventivo.

3.4.2.1 Mantenimiento Autónomo

Este mantenimiento es uno de los pilares del TPM, explicado en la sección 1.3.7., donde se hace presente la capacitación de los operadores de tal forma que sin necesidad de un empleado de mantenimiento puedan cuidar su equipo. Si se aplica esta capacitación, se podrá prevenir contaminación por agentes externos, rotura de piezas, desplazamientos y errores de manipulación (Espinosa, 2011). Se debe capacitar al empleado en limpieza, lubricación, revisión de niveles, parámetros y ajustes menores que se establezcan siempre antes de comenzar con sus actividades (Sicconini, 2008). Se presenta el registro que debe ser llenado por el operador en el ANEXO 3.12, el cuál debe estar cerca de la máquina, para

que el operador pueda llenarlo y registrar sus actividades. Este tipo de mantenimiento es una inspección más amplia que busca defectos que puedan evitar averías futuras, defectos de calidad o inseguridad para el operario (Escudero, 2007). Para implantar este tipo de mantenimiento se deben seguir los siguientes pasos según Escudero (2007):

1. Contratar un coordinador de TPM de tiempo completo para coordinar un programa que identifique la filosofía e implicaciones del TPM para todos los empleados de la compañía.
2. Formar equipos de trabajo para iniciar un proceso de corrección de fallas de manera que se determinen las oportunidades de mejoramiento.
3. Entrenar a los coordinadores del TPM, esto se lo puede obtener de los fabricantes o de instituciones privadas para conocer los aspectos principales en funcionamiento y mantenimiento de los equipos. De tal manera que se prolongue la vida útil.

3.4.2.2 Mantenimiento Preventivo

Este mantenimiento es otro de los pilares del TPM, explicado en la sección 1.3.7., este debe incluir una mayor previsión, en cuanto a troqueles, de acuerdo a Ascam centro tecnológico (2008), de lo siguiente:

- Afilado o cambio de punzones.
- Sustitución de los resortes.
- Matrices.
- “Gripado” de columnas guía.
- Placa guía.
- Tolerancias de corte.
- Roturas o desprendimientos.

Al realizar un programa de prevención de los troqueles se logra reducir percances en estos y en costos de reparar los dañados por una falta de cuidado. Los altos directivos

siempre desean tener un mayor retorno sobre la inversión, instituyendo programas de manufactura esbelta o llevar los estándares de calidad al siguiente nivel de certificación (Dickerson, 2007). Implantando un programa de protección de troqueles ayuda a alcanzar estas metas (Dickerson, 2007). Si se logra implementar un buen plan de prevención se reducirán los percances en los troqueles, por lo tanto se reduce la posibilidad de tener piezas defectuosas, en ese sentido se reduce el número de defectos por millón y a su vez se tiene un ahorro en costos y mejoría del taller (Dickerson, 2007).

Para tener una buena prevención es necesario llenar el formato del ANEXO 3.13 de tal forma que se tenga en cuenta fechas de reparación o sustitución de las partes del troquel para así evitar daños.

Finalmente, es importante mencionar que todos estos mantenimientos recomendados a la empresa se deben realizar de acuerdo a la producción de piezas que se realice, en razón de que no se le puede dar un mantenimiento igual a un troquel que produce 1.000 piezas diarias frente a uno que produce 10.000 piezas diarias, porque el desgaste es mayor al producir más (Morales F., 2014). También el tiempo de mantenimiento va a depender de la fuerza de corte que se utilice en la prensa, puesto que no se le puede dar un mantenimiento igual a un troquel que acciona una fuerza de 10 kg, frente a uno que tiene una fuerza de 100 kg, porque a mayor fuerza el mantenimiento debe ser más rápido, al ser el impacto mayor sobre el troquel (Morales F., 2014). Para saber la fuerza de corte que se está realizando se utiliza la siguiente fórmula:

$$F = p * e * RST$$

Donde:

p: perímetro de corte de la pieza en mm

e: es el espesor del material utilizado en mm

RST: resistencia del material en kg / mm^2 , este valor se observa en la tabla de resistencia al corte

Por ejemplo, para el cuerpo de la BPH

$$p = 433 \text{ mm}$$

$$e = 1,4 \text{ mm}$$

RST = acero laminado en frío con 0,4 % de C = 72 kg /mm².

$$F = 433 * 1,44 * 72 = 44.893,44 \text{ kg}$$

Entonces, dependiendo del valor de la fuerza que se utiliza al cortar la pieza se debe planificar en que tiempo se deben hacer los mantenimientos. Otras valoraciones que se deben tomar en cuenta para dar para un buen mantenimiento a los troqueles, según la entrevista que se realizó al Ingeniero Mecánico Javier Morales, profesor de la USFQ son:

- Número de fases y descripción de la transformación.
- Espesor del material.
- Tipo de prensa destinada.
- Carrera aproximada de trabajo.
- Alimentación y evacuación de pieza.
- Indicaciones adicionales.
- Tipo de material a transformar.
- Ancho de banda.
- Paso de matriz.
- Cálculos técnicos.

3.5 Reducción del reproceso

Como las mejoras propuestas en la sección 3.4 no van a ser implementadas en la empresa, se realizarán suposiciones en el caso de que si se implementen, para saber en cuánto se podría reducir el reproceso, para conocer cuál es el efecto que tiene sobre la máquina el mantenimiento; se revisarán los registros de mantenimiento de las máquinas 8 y 9 para saber si es que los defectos se reducen después de haber tenido un mantenimiento.

Para conocer el efecto de las capacitaciones se revisarán los perfiles de los operarios 2 y 4 de la pieza seguro, para saber si es que los defectos se reducen después de ser capacitados.

A partir de las fechas de mantenimiento se obtuvieron 16 datos antes y 16 después del mantenimiento y 17 datos antes y 17 después de las capacitaciones. Dado que son pocos datos, estos no pueden seguir una distribución normal, por lo que se debe utilizar estadística no paramétrica para conocer si existe diferencia estadística entre muestras.

La prueba seleccionada es la de Mann - Whitney, explicada en la sección 1.3.8. Como se debe tener datos ordinales, se ordena los datos obtenidos, poniéndolos de mayor a menor para conocer si es que existe diferencia entre las muestras, de tal manera que el porcentaje que se reduzca se asuma que será el mismo, si se implementa las mejoras planteadas en la sección 3.4.

Antes de usar esta prueba, se debe verificar si las 2 muestras son independientes, por lo que se usa la prueba de tablas de contingencia explicada en la sección 1.3.8.1 para cada una de las piezas estudiadas: seguro, gatillo y cuerpo. Donde se desea conocer si hay independencia entre lo que sucede antes y después del mantenimiento o capacitación, según el caso. Se mostrará el procedimiento que se aplicó en la primera prueba de tablas de contingencia; para las demás sólo se mostrará la tabla de frecuencia esperada, el último paso para obtener el estadístico X_o^2 ; ya que se aplica lo mismo para todas.

Seguro

En este caso, se quiere conocer si las muestras, antes y después de la capacitación dada a los operadores 2 y 4, son independientes. La hipótesis para esta pieza es:

H_0 : Antes de realizar la capacitación es independiente de lo que suceda después de está.

H_a : Antes de realizar la capacitación no es independiente de lo que suceda después de está.

De acuerdo a la sección 1.3.8.1 se debe obtener los valores esperados y observados dentro de un intervalo. Para este caso es necesario que en cada uno de los intervalos tenga

una probabilidad de al menos 5 datos. Una vez que se tienen los intervalos de las dos muestras se ubica la cantidad de veces que se repite el valor dentro de ese intervalo. Se tiene la siguiente tabla de valores observados O_{ij} :

Valores observados				
u_i/v_j	[0,100]	[100,1500]	[1500,6020]	Suma
[0,1500]	1	3	2	6
[1500,2900]	2	2	2	6
[2900,8540]	2	1	2	5
Suma	5	6	6	17

Tabla 3.20 Valores observados pieza seguro operador 2

Luego se debe obtener la tabla de valores esperados con la fórmula de la sección 1.3.8.1

para E_{ij} :

Valores esperados				
u_i/v_j	[0,100]	[100,1500]	[1500,6020]	Suma
[0,1500]	1,764706	2,117647059	2,117647059	6
[1500,2900]	1,764706	2,117647059	2,117647059	6
[2900,8540]	1,470588	1,764705882	1,764705882	5
Suma	5	6	6	17

Tabla 3.21 Valores esperados pieza seguro operador 2

Teniendo las dos tablas se calcula la tabla de frecuencia esperada con la fórmula del estadístico X_o^2 de la sección 1.3.8.1:

Frecuencia Esperada			
u_i/v_j	[0,100]	[100,1500]	[1500,6020]
[0,1500]	0,331373	0,367647059	0,006535948
[1500,2900]	0,031373	0,006535948	0,006535948
[2900,8540]	0,190588	0,331372549	0,031372549

Tabla 3.22 Frecuencia esperada pieza seguro operador 2

Luego se debe sumar estos valores para sólo tener un valor del estadístico $X_o^2 = 1,30$.

Puesto que $X_o^2 = 1,3 < X_{0,05,4} = 9,49$ se acepta la hipótesis de independencia, y se concluye que antes de realizar la capacitación, es independiente de lo que sucede después de esta enseñanza.

Para el operador 4, siguiendo el mismo procedimiento anterior se tiene la siguiente tabla de frecuencia esperada:

Frecuencia Esperada			
u_i/v_j	[0,1000]	[1000,2400]	[2140,4400]
[0,2000]	1,764706	0,177941176	1,415686275
[2000,5000]	0,089636	0,151260504	0,044817927
[5000,7500]	2,831373	0,777941176	0,882352941

Tabla 3.23 Frecuencia esperada pieza seguro operador 4

Aplicando la fórmula del estadístico de prueba de la sección 1.3.8.1 se obtiene $X_o^2 = 8,13$. Puesto que $X_o^2 = 8,13 < X_{0,05,4} = 9,49$ se acepta la hipótesis de independencia, y se concluye en el mismo resultado de la tabla 3.22, en lo referente a capacitación.

Gatillo y Cuerpo

En este caso, se quiere conocer si las 2 muestras, antes y después del mantenimiento de la máquina 9 y 8 son independientes. La hipótesis para estas piezas es:

H_o : Antes de realizar el mantenimiento es independiente de lo que suceda después de está.

H_a : Antes de realizar el mantenimiento no es independiente de lo que suceda después de está.

Para la máquina 9, se tiene la siguiente tabla de frecuencia esperada:

Frecuencia Esperada			
u_i/v_j	[0,80]	[80,600]	[600,1770]
[0,300]	0,05	0,644642857	1,3225
[300,1280]	1,5	0,053571429	1,875
[1280,7600]	1,25	0,301785714	0,1225

Tabla 3.24 Frecuencia esperada pieza gatillo máquina 9

Aplicando la fórmula del estadístico de prueba de la sección 1.3.8.1 se obtiene $X_o^2 = 7,12$. Puesto que $X_o^2 = 7,12 < X_{0,05,4} = 9,49$ se acepta la hipótesis de independencia y se concluye que antes de realizar el mantenimiento, es independiente de lo que sucede después de ese proceso.

Para la máquina 8, se tiene la siguiente tabla de frecuencia esperada:

Frecuencia Esperada			
u_i/v_j	[0,100]	[100,600]	[600,1526]
[0,950]	0,008333	0,1225	0,2025
[950,1800]	0,027778	0,408333333	0,675
[1800,4600]	0,008333	0,1225	0,2025

Tabla 3.25 Frecuencia esperada pieza cuerpo máquina 8

Aplicando la fórmula del estadístico de prueba de la sección 1.3.8.1 se obtiene $X_o^2 = 1,78$. Puesto que $X_o^2 = 1,78 < X_{0,05,4} = 9,49$, se acepta la hipótesis de independencia y se concluye lo mismo que la tabla 3.24, con respecto a mantenimiento.

Una vez que se comprobó que todas las muestras son independientes, se procede a realizar la prueba de Mann – Whitney, explicada en la sección 1.3.8 con las siguientes hipótesis:

H_o : La mediana de las dos poblaciones son iguales.

H_a : La mediana de la primera muestra es mayor que la mediana de la segunda muestra.

Utilizando el software Minitab 16 se obtuvieron los siguientes resultados:

Seguro

Mann-Whitney Test and CI: antes. después de la capacitación operador 2

```
N Median
C1 17 2004,0
C2 17 645,0
```

```
Point estimate for ETA1-ETA2 is 1204,0
95,0 Percent CI for ETA1-ETA2 is (-0,1.2246,0)
W = 352,5
Test of ETA1 = ETA2 vs ETA1 > ETA2 is significant at 0,0302
The test is significant at 0,0296 (adjusted for ties)
```

Existe evidencia estadística para rechazar H_o con un $\alpha=0,05$, ya que el valor p es menor a α . Se puede decir que, el rendimiento de los operarios es mejor después de realizar una capacitación. La capacitación si ayuda a reducir el número de defectos en la pieza seguro en el operador 2.

Mann-Whitney Test and CI: antes. después de la capacitación operador 4

	N	Median
C4	17	3010,0
C5	17	1720,0

Point estimate for ETA1-ETA2 is 1918,0
 95,0 Percent CI for ETA1-ETA2 is (729,9.3382,9)
 W = 383,0
 Test of ETA1 = ETA2 vs ETA1 > ETA2 is significant at 0,0017
 The test is significant at 0,0017 (adjusted for ties)

Existe evidencia estadística para rechazar H_0 con un $\alpha=0,05$, puesto que el valor p es menor a α . Se puede indicar que, el rendimiento de los operarios es mejor después de realizar una capacitación. La capacitación si ayuda a reducir el número de defectos en la pieza seguro en el operador 4.

Mann-Whitney Test and CI: antes. después del mantenimiento máquina 9

	N	Median
C7	16	979,5
C8	16	157,5

Point estimate for ETA1-ETA2 is 370,0
 95,2 Percent CI for ETA1-ETA2 is (-0,1.1128,0)
 W = 314,5
 Test of ETA1 = ETA2 vs ETA1 > ETA2 is significant at 0,0298
 The test is significant at 0,0283 (adjusted for ties)

Existe evidencia estadística para rechazar H_0 con un $\alpha=0,05$, en razón de que el valor p es menor a α . Se puede señalar que, el rendimiento de las máquinas es mejor después de realizar un mantenimiento. El mantenimiento si ayuda a reducir el número de defectos en la pieza gatillo.

Mann-Whitney Test and CI: antes. después del mantenimiento máquina 8

	N	Median
C10	16	1179,0
C11	16	247,5

Point estimate for ETA1-ETA2 is 921,0
 95,2 Percent CI for ETA1-ETA2 is (0,1.1503,1)
 W = 322,0
 Test of ETA1 = ETA2 vs ETA1 > ETA2 is significant at 0,0151
 The test is significant at 0,0145 (adjusted for ties)

Existe evidencia estadística para rechazar H_0 con un $\alpha=0,05$ ya que el valor p es menor a α . Se puede manifestar que, el rendimiento de las máquinas es mejor después de realizar

un mantenimiento. El mantenimiento si ayuda a reducir el número de defectos en la pieza cuerpo.

Dado que si hay una diferencia entre las muestras, el porcentaje que se reduce, como se dijo antes, se asumirá que será el mismo, si se implementaran las mejoras para la máquina y operador. Se muestra un cuadro comparativo de la proporción entre piezas buenas y malas, antes y después de la capacitación para los operadores y para mantenimiento para las máquinas:

	Antes Proporción	Después Proporción
operador 2	0,52468883	0,19148364
operador 4	0,53674454	0,2001735
máquina 9	0,58861893	0,22526356
máquina 8	0,87267839	0,408885

Tabla 3.26 Comparación de la proporción

A partir de esta tabla se puede tener el porcentaje de reducción para cada operador y máquina. Para el operador 2 se tiene una reducción de 33,32%; para el operador 4 una reducción de 33,66%; para la máquina 9 una reducción de 36,33%; y, para la máquina 8 una reducción de 46,38%. Es mejor si a estos datos se los trata como un intervalo, considerando que se está asumiendo que esos valores se lograrían reducir. Entonces se debe utilizar un intervalo de confianza para la diferencia entre dos proporciones, explicado en la sección 1.3.9. Para cada una de las proporciones, tomando como ejemplo al operador 2 de la pieza seguro con la fórmula de la sección 1.3.9, se realizó el siguiente procedimiento:

$$0,52 - 0,19 - 1,96 \sqrt{\frac{0,52(1 - 0,52)}{17} + \frac{0,19(1 - 0,19)}{17}} \leq p_1 - p_2$$

$$\leq 0,52 - 0,19 + 1,96 \sqrt{\frac{0,52(1 - 0,52)}{17} + \frac{0,19(1 - 0,19)}{17}}$$

Resolviendo se obtiene el intervalo de confianza para la reducción de defectos de la pieza seguro en el operador 2:

$$0,0310 \leq p_1 - p_2 \leq 0,6354$$

Como el intervalo no incluye al 0, se puede decir que parece probable que las modificaciones hechas en el proceso de capacitación haya reducido la proporción de piezas defectuosas que se producen.

El intervalo de confianza para la reducción de defectos de la pieza seguro en el operador 4 es:

$$0,0326 \leq p_1 - p_2 \leq 0,6405$$

Tomando a $n_1= 17$ y $n_2= 17$ y los datos de la tabla 3.26.

El intervalo de confianza para la reducción de defectos de la pieza gatillo en la máquina 9 es:

$$0,0471 \leq p_1 - p_2 \leq 0,6796$$

Tomando a $n_1= 16$ y $n_2= 16$ y los datos de la tabla 3.26.

El intervalo de confianza para la reducción de defectos de la pieza cuerpo en la máquina 8 es:

$$0,1727 \leq p_1 - p_2 \leq 0,7548$$

Tomando a $n_1= 16$ y $n_2= 16$ y los datos de la tabla 3.26.

Ya se conoce cuanto es el intervalo del porcentaje que se reduce en cada una de las piezas que producen la mayor cantidad de defectos en la empresa; por lo tanto, se comparará con la tabla 3.7 cuánto se puede reducir los defectos, empleando las mejoras planteadas. Dado que la pieza palanca, porta resorte y resorte no se dio ninguna mejora, se mantienen igual que en la tabla 3.7. Para la pieza cuerpo únicamente se estudió el proceso de corte, entonces los procesos de nervado, planchado y doblado se mantienen en los mismos valores de defectos. Igualmente, como no se estudiaron todos los defectos que se

producen en el procedimiento de corte para las piezas seguro, gatillo y cuerpo, sino solo el de las combinaciones del diseño de experimentos, los demás valores se mantendrán igual.

Para las combinaciones del seguro del operador 2 y 4, de la máquina 8 de la pieza cuerpo y de la máquina 9 se multiplicó la cantidad de defectuosos que se generaron en el año 2013, por el intervalo de confianza para saber la cantidad de piezas defectuosas que se reducían. Con lo que se obtiene la siguiente tabla, que muestra cuantas piezas defectuosas se tuvieron dentro de los intervalos obtenidos anteriormente:

	PIEZAS BUENAS	PIEZAS DEFECTUOSAS		PROPORCIÓN DEFECTUOSAS	
		Intervalo Inferior	Intervalo Superior	Intervalo Inferior	Intervalo Superior
Cuerpo	1.737.682	386.656	323.949	22,25%	18,64%
Seguro	1.045.358	415.660	256.847	39,76%	24,57%
Gatillo	556.070	136.134	107.090	24,48%	19,26%

Tabla 3.27 Reducción de reproceso

Como se puede observar en la tabla, del 100% de las piezas realizadas se puede llegar a reducir en la pieza cuerpo del 23,32% de la tabla 3.7 a 22,25% - 18,64%; en la pieza seguro del 40,56% de la tabla 3.7 a 39,76% - 24,57%; y en la pieza gatillo del 24,87% de la tabla 3.7 a 24,48% - 19,26%. Esto quiere decir que, al menos se puede llegar a reducir el porcentaje de reproceso al año entre un 1,07% a 4,68% en la pieza cuerpo; 0,8% - 15,99% en la pieza seguro; y 0,39% - 5,61% en la pieza gatillo de lo que actualmente se produce si es que se aplican las mejoras en estas piezas.

Es importante mencionar que las mejoras propuestas no solamente se pueden aplicar al proceso de corte en las piezas seguro, gatillo y cuerpo, esto se puede hacer a todo el proceso que interviene en la producción de la BPH, que tenga prensas mecánicas y operadores; esto ayudaría a reducir más la cantidad de piezas defectuosas al año. Este

porcentaje mostrado es lo mínimo que se puede llegar a disminuir, porque se está comparando con el estado en el que se producen defectos, y no con un estado con menos errores. Es necesario implementar lo propuesto para poder llegar a conclusiones verdaderas que demuestren la disminución real del reproceso en cada una de las piezas estudiadas.

CAPÍTULO 4. FASE VERIFICAR

Dentro de esta fase se quiere llegar a mostrar monetariamente cuánto le cuesta a la empresa tener la cantidad de reproceso que tiene por cada una de las piezas estudiadas, es decir en seguro, gatillo y cuerpo. Se conoce que al reducir los defectos encontrados en la pieza se logra aumentar la productividad por la filosofía de Lean, explicada en la sección 1.4.1 que está basada en la eliminación de desperdicios para lograr que un proceso sea mejor. Dado que esta filosofía ha sido comprobada que funciona, se puede decir que al disminuir el reproceso en la pieza cuerpo de 1,07% a 4,68%; en la pieza seguro de 0,8% a 15,99%; y en la pieza gatillo de 0,39% a 5,61%, esto aumentará la productividad al año.

En la tabla 3.6 se mostraron la cantidad de piezas que pueden realmente fabricar los operarios con un 12,66% por encima de la producción actual, y ahora con la reducción de reproceso en las piezas estudiadas esta cantidad podrá al año cambiar, utilizando los datos del Anexo 2.2 se tiene las siguientes tablas comparativas por cada una de las piezas estudiadas:

	Seguro					
	Piezas (unidades)			Dólares (\$)		
	Actual	Propuesta	Diferencia	Venta Actual	Venta Futura	Diferencia
13,46%	600.000	680.760	80.760	\$ 6.000	\$ 6.807,60	\$ 807,60
28,65%	600.000	771.900	171.900	\$ 6.000	\$ 7.719	\$ 1.719,00

Tabla 4.1 Mejora del reproceso pieza seguro

	Gatillo					
	Piezas (unidades)			Dólares (\$)		
	Actual	Propuesta	Diferencia	Venta Actual	Venta Futura	Diferencia
13,73%	600.000	682.380	82.380	\$ 18.000	\$ 20.471,40	\$ 2.471,40
17,34%	600.000	704.040	104.040	\$ 18.000	\$ 21.121,20	\$ 3.121,20

Tabla 4.2 Mejora del reproceso pieza gatillo

	Cuerpo					
	Piezas (unidades)			Dólares (\$)		
	Actual	Propuesta	Diferencia	Venta Actual	Venta Futura	Diferencia
13,05%	600.000	678.300	78.300	\$ 48.000	\$ 54.264	\$ 6.264,00
18,27%	600.000	709.620	109.620	\$ 48.000	\$ 56.769,60	\$ 8.769,60

Tabla 4.3 Mejora del reproceso pieza cuerpo

Se puede observar que existe una gran diferencia en el total de piezas que se pudieran realizar en la empresa de BPH y el dinero que pudieran tener al año. La diferencia con lo que actualmente se vende con lo que pudieran vender está entre \$ 9.543,00 a \$ 13.609,80 dólares. Esta diferencia se debe a los costos de mala calidad en las piezas, es decir al reproceso que realizan en cada una de ellas. Por lo que si se logran solucionar en las piezas estudiadas, se llegará a tener una mayor rentabilidad en las piezas seguro, gatillo y cuerpo que conforman la BPH.

Además, también se debe considerar a las demás piezas que igualmente deben aumentar en la productividad según los tiempos establecidos en la sección 3.1.2.2, para esto se realiza la siguiente tabla con los datos del Anexo 2.2

		Piezas (unidades)			Dólares (\$)		
		Actual	Propuesta	Diferencia	Venta Actual	Venta Futura	Diferencia
Porta resorte	12,66%	600.000	675.960	75.960	\$ 30.000	\$ 33.798,00	\$ 3.798,00
Resorte	12,66%	600.000	675.960	75.960	\$ 6.000	\$ 6.759,60	\$ 759,60
Palanca	12,66%	600.000	675.960	75.960	\$ 42.000	\$ 47.317,20	\$ 5.317,20

Tabla 4.4 Mejora del reproceso

Se puede observar que igualmente existe una gran diferencia en el total de piezas que se pudieran realizar y dinero que pudieran generar al año. Aumentando los valores de la tabla 4.4 lo mínimo que se espera que la empresa pueda aumentar sus ingresos en ventas es entre \$ 19.417,80 a \$ 23.484,60 dólares. Esto se logra si aumentan el indicador de 2.500 piezas diarias a 2.817 y si se reduce el reproceso en las piezas estudiadas.

Este ahorro podría ayudar con las propuestas en la sección 3.4 de dar capacitaciones a los empleados en seguridad industrial, manejo troqueles y cuidado de los mismos. También serviría para dar el mantenimiento autónomo y preventivo necesario que requieren los troqueles y contratar personal calificado o subcontratar el tratamiento superficial del troquel para endurecerlo. Con esto la empresa se aseguraría en aumentar la producción por ende sus ventas ya que el ahorro que se muestra es lo mínimo que se puede llegar a ahorrar.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A partir de todos los análisis realizados, se pudo determinar que el reproceso es un problema de gran importancia, puesto que genera costos, tiempos y materiales desperdiciados. Las propuestas presentadas en este proyecto pueden ser de gran ayuda a la empresa, en cuanto a su rentabilidad, ya que se presenta lo mínimo que la empresa puede llegar a producir y ahorrar.

Conclusiones:

1. Los productos con mayor volumen de ventas en la empresa VYM S.A. desde el año 2011 han sido la bisagra puerta de horno (BPH), tuercas (TUC), porta ciclor (PC) y soporte motor ventilador (SMV). Los productos que generaron mayores ganancias a la empresa en el año 2013 son BPH y SMV.
2. Los procesos de TUC y PC son totalmente automatizados, mientras que los de la BPH y SMV son procesos similares. La BPH tiene un proceso más complejo que abarca los del SMV por lo tanto las mejoras propuestas también pueden ser implementadas en este.
3. A partir del estudio realizado, se pudo determinar que la BPH es el producto estrella de la empresa por la cantidad de volumen producido y las ganancias que genera. Sin embargo, también es el que más pérdidas da a la empresa por la cantidad de reproceso; para el año 2013 se detectó que del 100% de las piezas el 40,56% fueron reprocesadas en la pieza seguro del gatillo; 24,87% en la pieza gatillo; y 23,32% en la pieza cuerpo.

4. Al levantar y analizar el proceso de la BPH el IVA tanto de actividades como de tiempo no pueden ser mejorados, debido a que el principal problema es la gran cantidad de reproceso, más no las actividades que se hacen en el mismo.
5. El tiempo estándar requerido para realizar 1 BPH es entre 8,16 minutos a 8,44 minutos, con un operario totalmente calificado y capacitado, sin contar los tiempos de transporte, mantenimiento, preparación, entre otros. Considerando con esos tiempos se necesita adicionalmente 1377, 28 min.
6. La empresa se mantiene con un indicador diario de 2.500 piezas producidas, lo que significa que existe tiempo desperdiciado de los operarios de 2 horas 41 min. Si se corrige este indicador debería ser de 2.817 piezas; 12,66% más de lo que actualmente se produce diariamente si se tiene una eficiencia de los operarios de 93,75%.
7. El factor que causa el reproceso con las herramientas cualitativas, es el procedimiento de corte por la falta de mantenimiento en los troqueles utilizados. En las herramientas cuantitativas, es el procedimiento de corte en las piezas seguro, gatillo y cuerpo.
8. Con el diseño de experimentos se detectó que la causa raíz del reproceso en la pieza seguro son los operadores 2 y 4, en la pieza gatillo la máquina 9 y en la pieza cuerpo la máquina 8.
9. Los operarios 2 y 4 generan reproceso en la pieza seguro, por la monotonía del proceso, y por la falta de experiencia al manejar prensas mecánicas.
10. La máquina 8 y 9 generan reproceso en la pieza cuerpo y gatillo respectivamente, por la mala regulación del troquel, el desgaste de punzón y el desgaste de pernos.

11. Con las propuestas de mejora planteadas a través del TPM, si se aplican a las causas raíces, se logrará disminuir entre un 1,07% a 4,68% en la pieza cuerpo; 0,8% - 15,99% en la pieza seguro; y 0,39% - 5,61% en la pieza gatillo del total de piezas reprocesadas al año: es decir, tener un porcentaje de reproceso entre 22,25% al 18,64% en la pieza cuerpo; 39,76% al 24,57% en la pieza seguro; y 24,48% al 19,26% en la pieza gatillo anualmente.
12. Si se logra reducir el reproceso y aumentar la productividad, la empresa lograría un ahorro al año entre \$ 19.417,80 a \$ 23.484,60 dólares en las ventas para los componentes que conforman la BPH.

En resumen de las conclusiones obtenidas se muestra el siguiente cuadro:

Objetivos Específicos	Conclusiones	Secciones
Identificar el producto estrella de la empresa.	1	2.2.1
	2	2.2.2
	3	2.3.1 y 3.2.2
Levantar y analizar el proceso de fabricación del producto estrella.	4	3.1.1
Determinar tiempos estándares para la producción.	5	3.1.2.2
	6	3.1.2.2
Encontrar los factores que causan el reproceso.	7	3.2.1 y 3.2.2
	8	3.2.3
	9	3.3.1
	10	3.3.2
Proponer mejoras para evitar o disminuir el reproceso.	11	3.5 y 3.6
Verificar que las propuestas planteadas mejoren la rentabilidad del producto estrella.	12	4

Tabla 5.1 Objetivos y Conclusiones

Recomendaciones:

- Se recomienda a la compañía realizar una capacitación más intensa a los empleados encargados del manejo de las máquinas, para que estos puedan manejarlas con más confianza y eficacia. De tal modo que se evite caer fuera de las especificaciones de BPH.
- Sería de gran utilidad que el tecnólogo mejore el tratamiento térmico que está proporcionando al endurecimiento de los troqueles, de modo que este tenga una mayor fuerza, y resistencia a la compresión y al desgaste.
- En la empresa no se debería contratar para el manejo de máquinas a personal que no tenga una educación básica, y que no haya trabajado antes con prensas mecánicas, para evitar el reproceso, especialmente en la pieza seguro.
- Se debería tener un mantenimiento preventivo y autónomo de los troqueles para evitar el reproceso en las piezas, las hojas que deberían usar en cada uno de estos mantenimientos se muestra en el Anexo 3.12 y 3.13.
- Para mejorar la producción se aconseja que cada cierto tiempo se pare, y se dé el mantenimiento correspondiente, de acuerdo al número de piezas realizadas.
- Se debe aprovechar para realizar el mantenimiento de los troqueles y verificar su estado, en el tiempo que se desmonta, que aproximadamente 2 días, el troquel para comenzar con otra producción.
- Una vez que se implementen las mejoras en las piezas seguro, gatillo y cuerpo se deben aplicar las mismas mejoras a las demás piezas que se manejen con los troqueles ya que se ha mostrado lo que se puede llegar a ganar cuando se reduce el reproceso en las piezas mencionadas pero esto podría aumentar mucho más.

- Si los operadores logran aumentar la productividad, se los debería recompensar con un programa de incentivos para que así ellos se sientan cómodos aumentando la producción y la empresa pueda tener más productos vendidos.
- Como las prensas mecánicas son unas de las máquinas que más alto índice de accidentes y es alta su gravedad; la empresa debería tener un proyecto que disminuya la monotonía en el trabajo ya que los operadores pueden tener ser afectados físicamente si no se logra controlar.
- Se recomienda que a los operarios se les enseñe a cuidar su máquina de tal manera que puedan prevenir cualquier daño y puedan prologar la vida útil de este.
- Las capacitaciones deberían estar orientadas hacia conocer las máquinas y también como evitar la monotonía existente en el trabajo.
- Al aplicar el TPM, la empresa debería tener un indicador que les muestre el tiempo que realmente se trabaja o se aprovecha en cada una de las piezas. Este indicador se lo conoce como OEE que es igual a la disponibilidad del equipo por la eficiencia por la calidad. Donde el tiempo disponible es igual al tiempo total que se trabaja, es decir los 2 turnos de trabajo menos los tiempos que se han planeado para el descanso. Luego, se debe calcular el tiempo muerto, es decir el porcentaje del tiempo disponible (reparaciones, cambios de producto). Después, obtener el tiempo operativo que es igual al tiempo disponible menos el tiempo muerto. Todo esto se realiza con el fin de obtener la disponibilidad que resulta ser la división entre el tiempo operativo para el tiempo disponible. En seguida, se obtiene la eficiencia que es igual a la producción total para el tiempo operativo por su capacidad. Finalmente se obtiene la calidad que es igual a la producción total menos defectos y reproceso y esto dividido para la producción total.

- Como las mejoras no fueron implementadas, se recomienda a la empresa realizar el mismo procedimiento que se realizó en este proyecto con los datos reales con el fin de conocer exactamente cuánto se puede llegar a ganar y reducir en el reproceso y no solamente en las piezas seguro, gatillo y cuerpo sino en todas las que estén involucradas en la BPH y también en el SMV ya que mantienen procesos similares.

Referencias

- Alfaro, F. (2009). Análisis de la operación (los diez enfoques primarios). *Wordpress* , 75-85.
- Aparatos Electrodomésticos. (2003). *ANDI* , IV, 469-481.
- Araujo, M. (2010). *Indicadores de calidad: Manual de muestreo para prestadores*. Santiago de Chile: Gobierno de Chile.
- Ascam Centro Tecnológico. (2008). *Mantenimiento integral de troqueles*. Monterrey: Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey.
- Auliso, R., Miles, J., & Quintillán, I. (2007). Claves para la mejorara de los procesos en las organizaciones. *FCE* , 1-11.
- Campos, L. (2012). *7 herramientas básicas de control de calidad*. HBCC.
- Confederación de empresarios de Ceuta. *Prevención de riesgos laborales*. Ceuta: Fudación para la prevención de riesgos laborales.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística . (2008). *Estimación e Interpretación del coeficiente de variación de la encuesta cocensal*. Colombia .
- Devia, D. (2012). *Mecanismos de desgaste en herramientas de conformado con recubrimiento de Tiain por medio de sistemas PAPVD*. Medellín: Universidad nacional de Colombia.
- Dickerson, G. (2007). ¿Necesita justificar un programa de protección de troqueles? *Metalforming* , 8-12.
- Domínguez, I. (2013). *Guía metodológica para elegir la prueba no paramétrica adecuada en una investigación con aplicaciones en R*. Veracruz: Universidad Veracruzana.
- Equalizer. (2010). Los 7 mayores problemas de productividad del troquelado se resuelven con un solo componente. *Dicar confiable* , 1- 3.
- Escudero, A. (2007). *Implantación de la Filosofía TPM en una Planta de Producción y Envasado* . Madrid: ICAI.
- Escuela de organización industrial . (2013 de Abril de 2013). *El Project Charter*. Recuperado el 25 de Enero de 2014, de <http://www.eoi.es/blogs/madeon/2013/04/15/el-project-charter/>

- Espinosa, F. (2011). *TPM-Mantenimiento productivo total*. Mexico D.F: Universidad Politécnica.
- Freivalds, A. (2008). *Mejorando al trabajo* (11 ed.). México.
- Garzón, C. (2011). Pernos estructurales de alta resistencia. *Ciencia* , 14 (1), 57-58.
- George, M. (2010). La guía Lean Six Sigma para hacer más con menos. *6 sigma* , 20-55.
- Gouveia, A. (28 de Julio de 2013). *2013 Wasting Time at Work Survey*. Recuperado el 05 de Febrero de 2014, de <http://www.salary.com/2013-wasting-time-at-work-survey/slide/2/>
- Guachamin, A. (2008). *Troqueles*. Recuperado el 15 de Marzo de 2013, de <http://conformadomecanicodepiezasdtc.weebly.com/troqueles.html>
- Guevara, O. (2010). *La logística en la planeación, programación y distribución de estufas*. México D.F: Instituto Politécnico Nacional.
- Gutiérrez. (2008). *Análisis y diseño de experimentos*. Mexico D.F.: McGraw-Hills.
- Harrington, J. (1993). *Mejoramiento de los Procesos de la Empresa*. México.
- Hernández, S. (2007). *Estadística no paramétrica*. Veracruz: Universidad Veracruzana.
- Hotfrog. (10 de Marzo de 2011). *Las 7 herramientas de la calidad*. Recuperado el 03 de Febrero de 2014, de <http://www.hotfrog.com.mx/Companies/RENGENIERIA-DE-NEGOCIOS/Las-7-Herramientas-de-la-Calidad-19151>
- Implementation Sig. (2012). *El ciclo de Deming*. Recuperado el 11 de Noviembre de 2013, de <http://www.implementacionsig.com/index.php/generalidades-sig/55-ciclo-de-deming>
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo. *PUNTO DE COMPROBACIÓN 119: Combinar las tareas para hacer que el trabajo sea más interesante y variado*. Madrid.
- Jácome, H., & Varela, M. (2011). *Boletín mensual de análisis sectorial de MIPYMES: Elaboración de partes y piezas para el sector de línea blanca*. Quito: Flacso .
- Juran, M., Nicolau, J., & Gonzales, M. (1990). *Liderazgo para la calidad: Manual para ejecutivos*. Madrid: Díaz de Santos.
- Kanawaty, G. (1996). *Introducción al estudio del trabajo*. Ginebra: O.I.T.

- Knox, F. (2006). Lean Six Sigma. *Usa Armor School Research Library* , 20.
- Kren, L. (2006). Mantenimiento de prensas. *Metforming* , 18-19.
- Kuehl, R. (2001). *Diseño de Experimentos*. (2a ed.). México D.F.: Thompson.
- Lean -Sigma experiencia focalizada a resultados. (2012). *Análisis de Valor de un proceso. VSM*. Recuperado el 01 de Febrero de 2014, de <http://www.lean-sigma.es/analisis-de-valor-de-los-procesos-2.php>
- Lobos, N. (26 de Agosto de 2011). *Estado de resultados de pasos múltiples*. Recuperado el 31 de Marzo de 2014, de Gerencie: <http://www.gerencie.com/estado-de-resultados.html>
- López, G. (2001). Metodología Six-Sigma: Calidad Industrial. *DYNA* , 77 (7), 50-57.
- Marín, C. (2002). Troqueles y Troquelado Para la Producción de Grandes Series de Piezas. *Metal Actual* , 58 (35), 16 - 23.
- Montgomery, D. (2010). *Diseño y Análisis de Experimentos* (2a ed.). México: Limusa Wiley.
- Montgomery, D., & Runger, G. (2009). *Probabilidad y Estadística aplicadas a la ingeniería* (2a ed.). México: Limusa Wiley.
- Morales, F. (20 de Marzo de 2014). MSc. mecánico industrial. (J. Martínez Acosta, Entrevistador)
- Morales, T. (23 de Enero de 2014). Gerente de Producción. (J. Martínez Acosta, Entrevistador)
- Moresa. (Abril de 2010). *Consejos para instalar el perno en el pistón*. Recuperado el 15 de Marzo de 2013, de <http://tumotor.mx/2010/04/consejos-para-instalar-el-perno-en-el-piston/>
- Morillo, C. (2013). *Plan de marketing a través de medios sociales para posicionar a la empresa VyM Aerografía en la ciudad de Cuenca*. Cuenca: Universidad Tecnológica Israel.
- Neo Weld. (2013). *Pernos Anti-Desgaste*. Recuperado el 16 de Marzo de 2014, de <http://neoweld.es/productos/pernos-anti-desgaste/>
- Niebel, B., & Freivalds, A. (2008). *Ingeniería Industrial: métodos, estándares y diseño del trabajo* (11 ed.). México: McGraw-Hills.

- Olofsson, O. (31 de Enero de 2014). *¿Qué es TPM o Mantenimiento Productivo Total?* Recuperado el 17 de Marzo de 2014, de <http://world-class-manufacturing.com/es/tpm.html>
- Pérez, G., & Soto, A. (2005). Propuesta metodológica para el mejoramiento de procesos utilizando el enfoque Harrington y la Norma ISO 9004. *Universidad EAFIT* , 41 (139), 46-46.
- Perez, G., Giraldo, B., & Serna, J. (2006). El mejoramiento de procesos y su aplicación bajo norma ISO 9004: caso compañía de aceites. *Dyna* , 73 (150), 97-106.
- Reyes, P. (2001). *Introducción al Diseño de Experimentos*. México: ICICM.
- Rodríguez, J. (2008). *Determinación del tiempo estándar para la actualización de las ayudas visuales en una línea de producción de una empresa manufacturera*. Sonora: Instituto Tecnológico de Sonora.
- Ross, S., Westerfield, R., & Jordan, B. (2010). *Fundamentos de Finanzas Corporativas* (9na ed.). México D.F.: McGraw Hill.
- Rovira, C. (s.f.). *Diagrama de Pareto*. Recuperado el 11 de Noviembre de 2013, de Herramienta Básica para la mejora de la Calidad: http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria_industrial/diagramadepareto/
- Sanunga, O. (14 de Marzo de 2013). Encargado del área de mantenimiento. (J. Martínez Acosta, Entrevistador)
- Sicconini, L. (2008). *Lean Manufacturing paso a paso*. Bogotá: Norma .
- Sitel. Calidad y Procesos: Lean Sigma, un paso más hacia la máxima eficiencia empresarial. *Sitel* , 1 (806), 1-11.
- Stevenson, W. J. (2008). *Operations Management* (10ima ed.). Mexico D.F.: McGraw-Hill.
- TenStep. (8 de Febrero de 2012). El Análisis de Pareto. Argentina.
- Troya, G. (2011). *Reducción del tiempo de ciclo del proceso*. México: USON.
- Universidade Da Coruña . (s.f.). *Diseño de experimentos* . Recuperado el 22 de Febrero de 2014, de http://www.udc.es/dep/mate/estadistica2/sec2_2.html
- Valencia, A. (27 de Octubre de 2010). *Procesos de conformado plástico de metales*. Recuperado el 15 de Marzo de 2014, de

<http://blog.utp.edu.co/metalografia/2010/10/27/8-procesos-de-conformado-plastico-de-metales/>

Vizuite, R., & Nelly, F. (2008). *Estudio para la apertura de una sucursal de la comercializadora almacenes macro en el cantón Montúfar, de la provincia del Carchi*. Guayaquil: ESPE.

WordPress. (2008). *Definición de prensa*. Recuperado el 13 de Marzo de 2014, de <http://definicion.de/prensa/>

ANEXOS

ANEXO 2.1 Productos ofrecidos por VYM S.A.



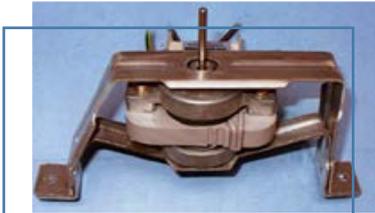
BPH



BCP



RI



SMV



TOM



PC



TUP



CAJ



HOR

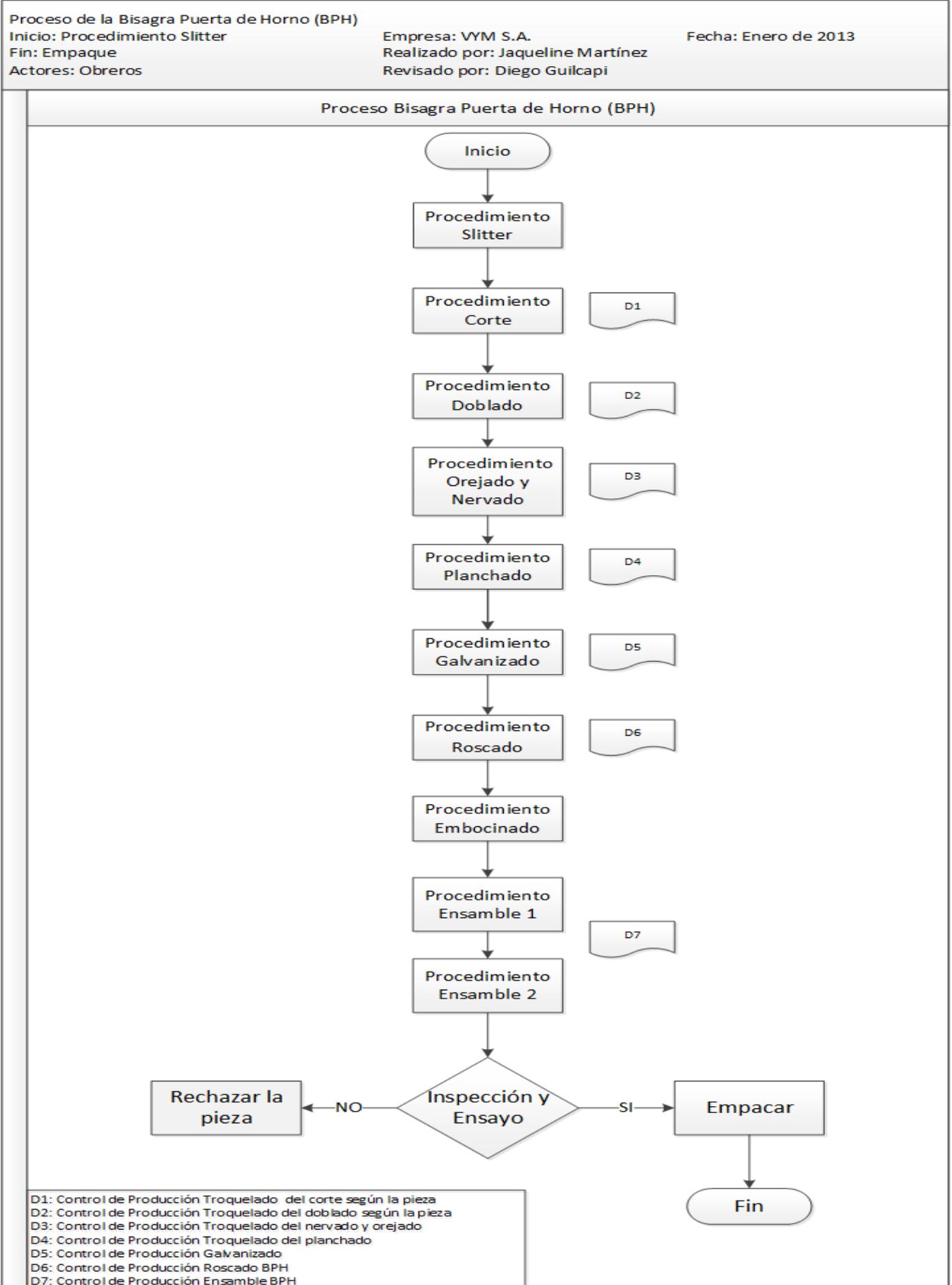
ANEXO 2.2 Requerimientos de materia prima por producto

Producto	Materia Prima	Constitución	Costos	Costo Total	Precio Venta
BPH	Alambre	0,05	0,01	0,98	1,29
	Acero	0,9	0,18		
	Plástico	2	0,40		
	Remaches	2	0,40		
BCP	Alambre	0,05	0,004	0,38	0,49
	Acero	0,9	0,07		
	Plástico	2	0,15		
	Remaches	2	0,15		
HOR	Alambre	0,05	0,003	0,25	0,37
	Acero	0,9	0,05		
	Plástico	2	0,10		
	Remaches	2	0,10		
SMV	Lámina de aluminio	1	0,26	0,26	0,46
RI	Acero	1	0,35	0,35	0,62
PC	Zamac 5	1	0,25	0,25	0,37
TOM	Zamac 5	1	0,15	0,15	0,33
TUP	Zamac 5	1	0,14	0,14	0,16
CAJ	Acero	0,98	0,34	0,35	0,64
	Plástico	0,01	0,004		
	Remaches	0,01	0,004		

BPH		
Materia Prima	Costos	Precio Venta
Alambre	0,01	0,01
Acero	0,18	0,23
Plástico	0,40	0,52
Remaches	0,40	0,52
Total	0,98	1,29

Pieza con Acero de la BPH	Constitución	Costos	Precio Venta
Cuerpo	0,3	0,06	0,08
Seguro	0,05	0,01	0,01
Gatillo	0,1	0,02	0,03
Palanca	0,25	0,05	0,07
Porta Resorte	0,2	0,04	0,05
Total	0,9	0,18	0,23

ANEXO 2.3 Levantamiento macro

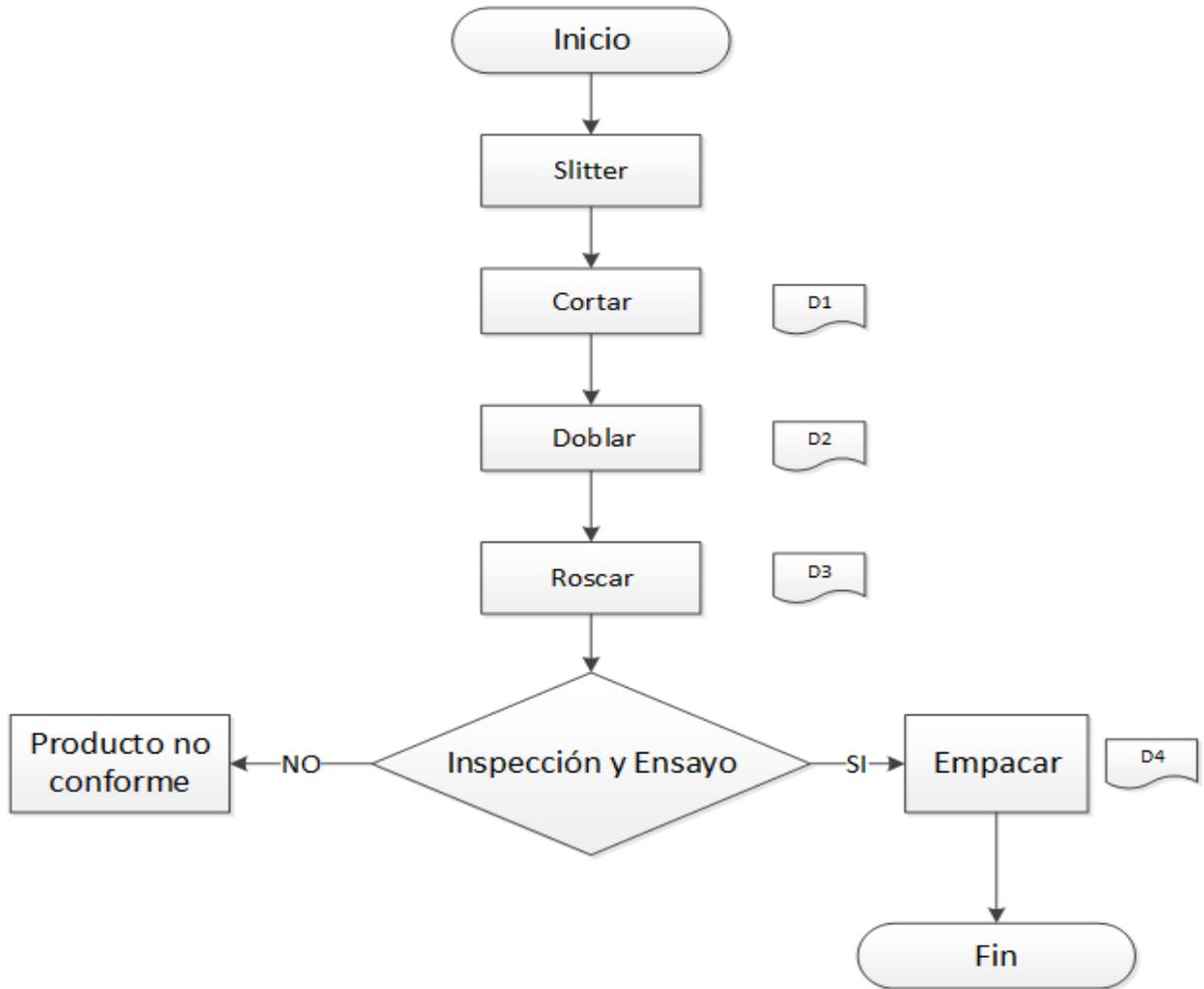


Proceso Soporte Motor Ventilador
 Inicio: Slitter
 Fin: Empacar
 Actores: Obreros

Empresa: VYM S.A.
 Realizado por: Jaqueline Martínez
 Revisado por: Diego Guilcapi

Fecha: Enero de 2013

Proceso Soporte Motor Ventilador (SMV)



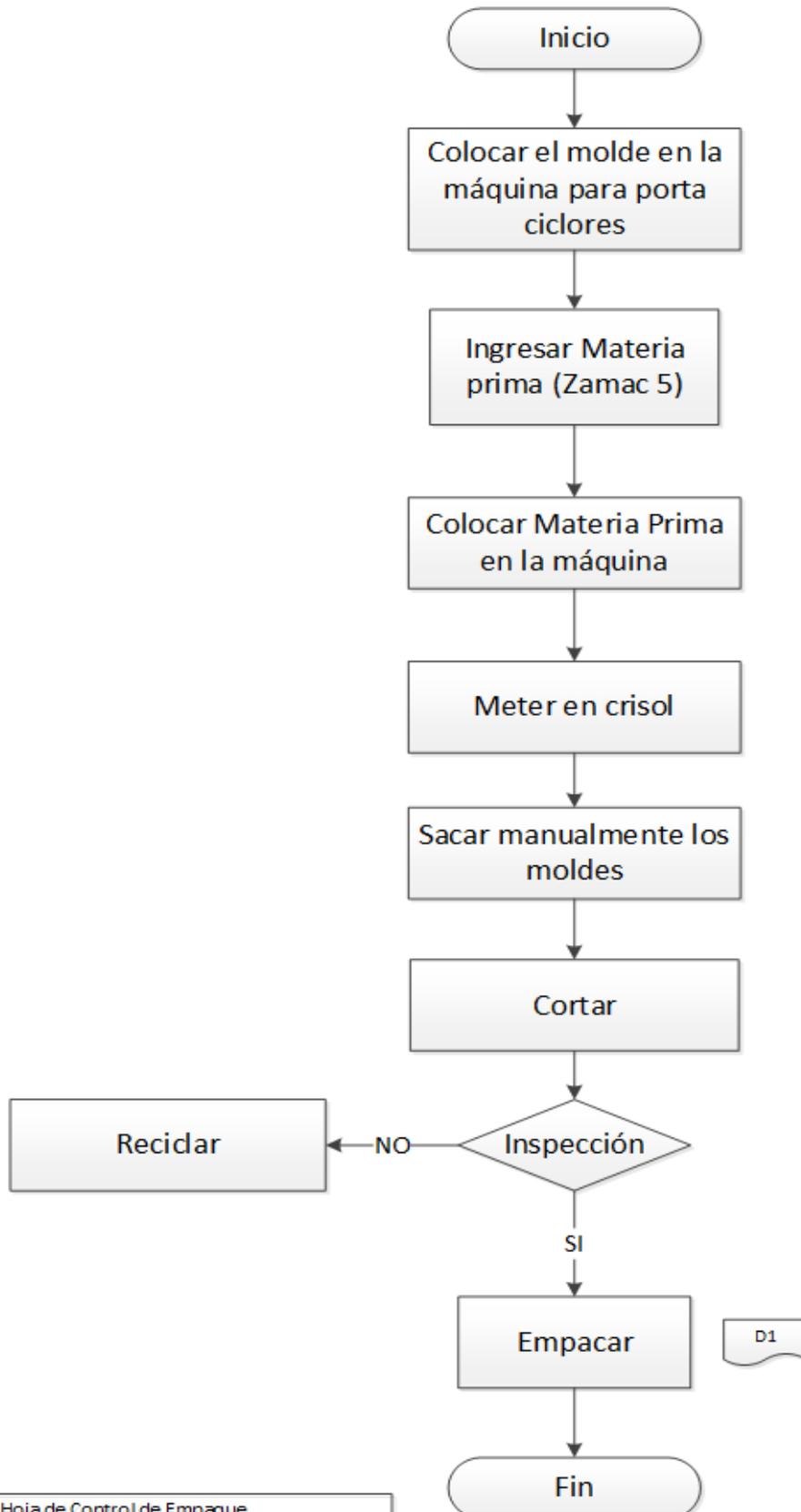
D1: Hoja de Control de Producción Troquelado
 D2: Hoja de Control de Producción Troquelado
 D3: Hoja de Control de Producción Roscado
 D4: Hoja de Control de Empaque

Proceso Portaciclор
Inicio: Colocar el molde en la máquina
Fin: Empacar
Actores: Obreros

Empresa: VYM S.A.
Realizado por: Jaqueline Martínez
Revisado por: Diego Guilcapi

Fecha: Enero de 2013

Procedimiento Porta Ciclор (PC)



D1: Hoja de Control de Empaque

Proceso Tuercas

Inicio: Colocar el molde en la máquina

Fin: Empacar

Actores: Obreros

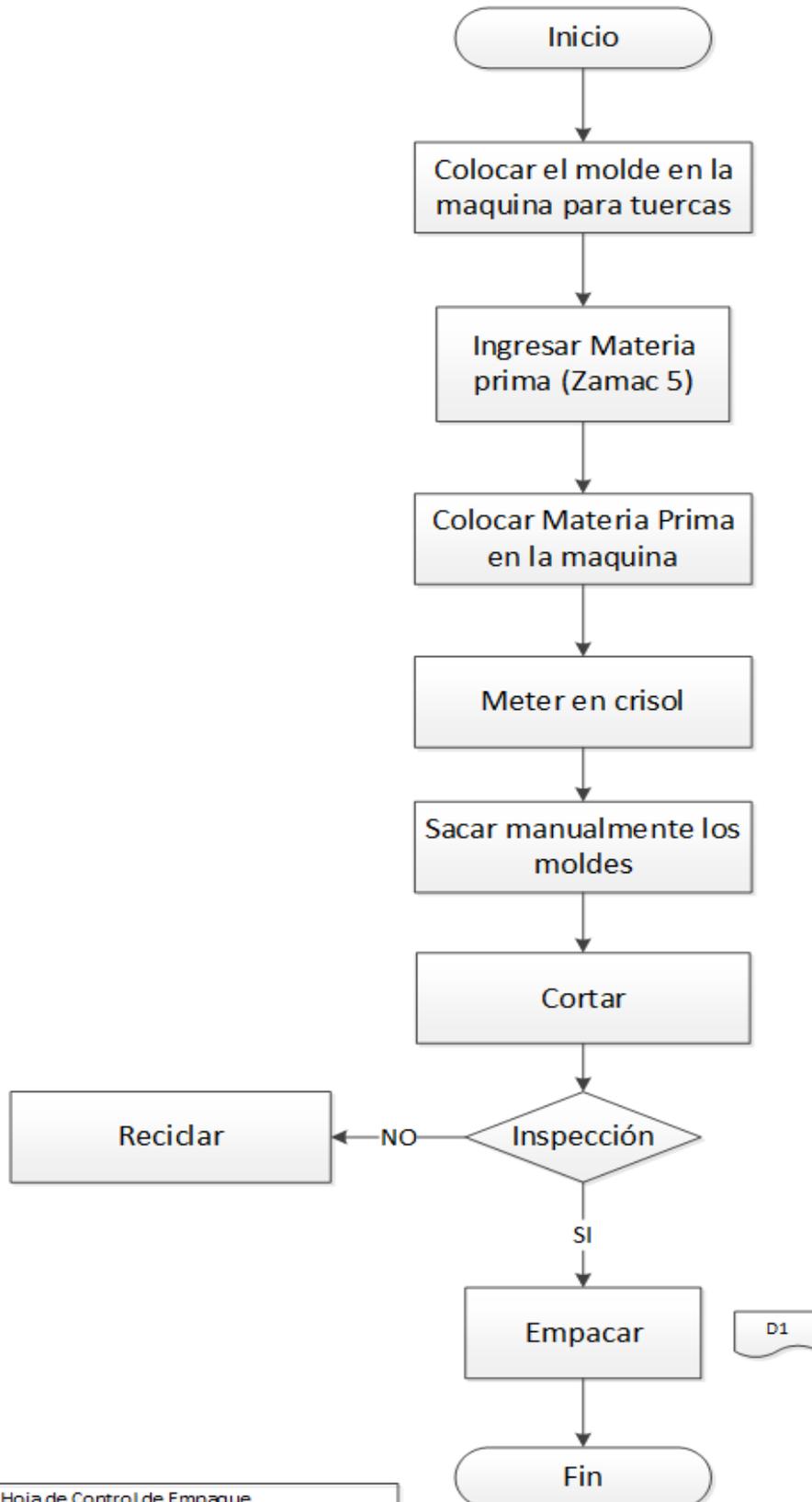
Empresa: VYM S.A.

Realizado por: Jaqueline Martínez

Revisado por: Diego Guilcapi

Fecha: Enero de 2013

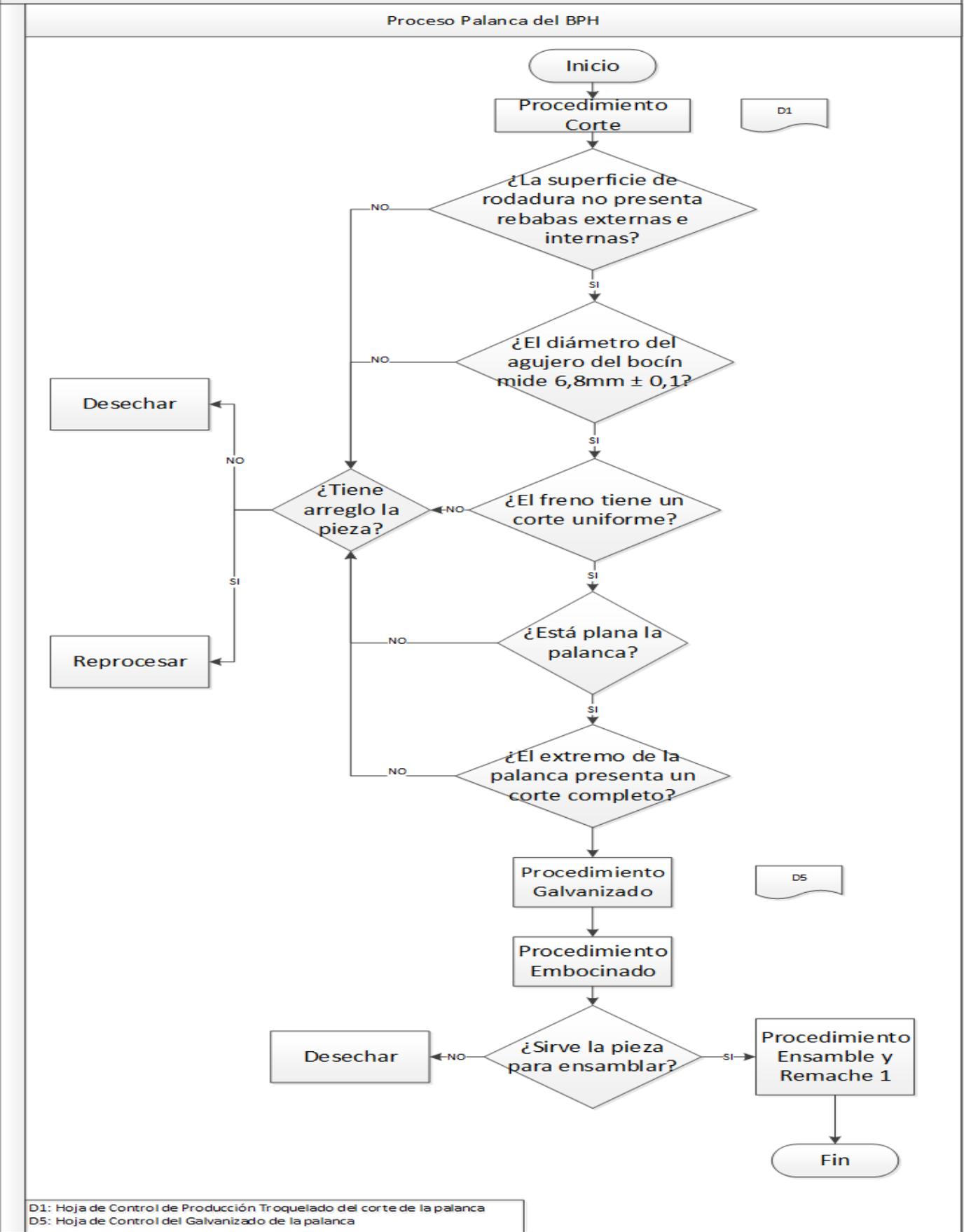
Procedimiento Tuercas (TUC)



D1: Hoja de Control de Empaque

ANEXO 2.4 Proceso palanca

Proceso de la Palanca Inicio: Procedimiento Corte Fin: Procedimiento Ensamble 1 Actores: Obreros	Empresa: VYM S.A. Realizado por: Jaqueline Martínez Revisado por: Diego Guilcapi	Fecha: Enero de 2013
---	--	----------------------

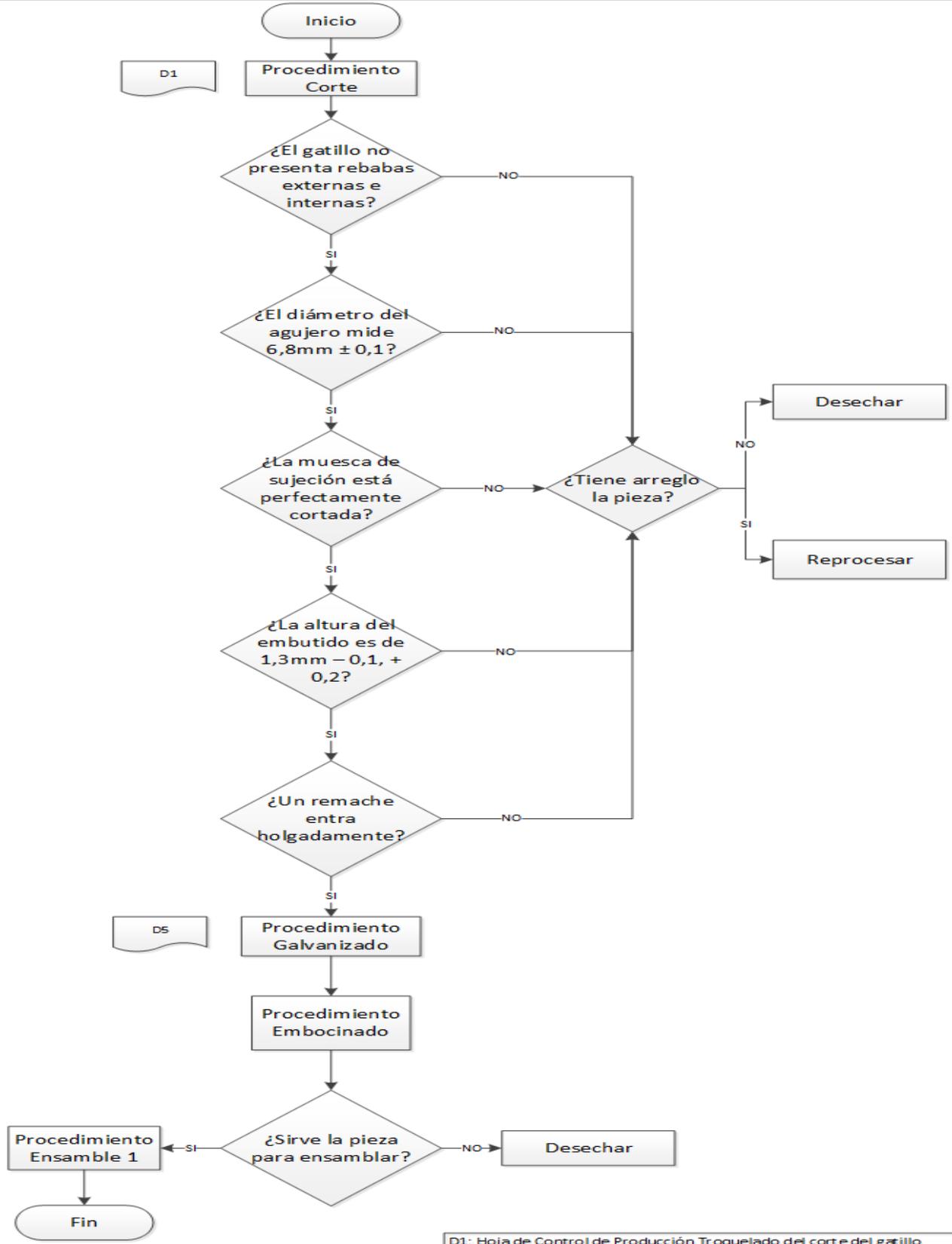


D1: Hoja de Control de Producción Troquelado del corte de la palanca
 D5: Hoja de Control del Galvanizado de la palanca

ANEXO 2.5 Proceso seguro del gatillo

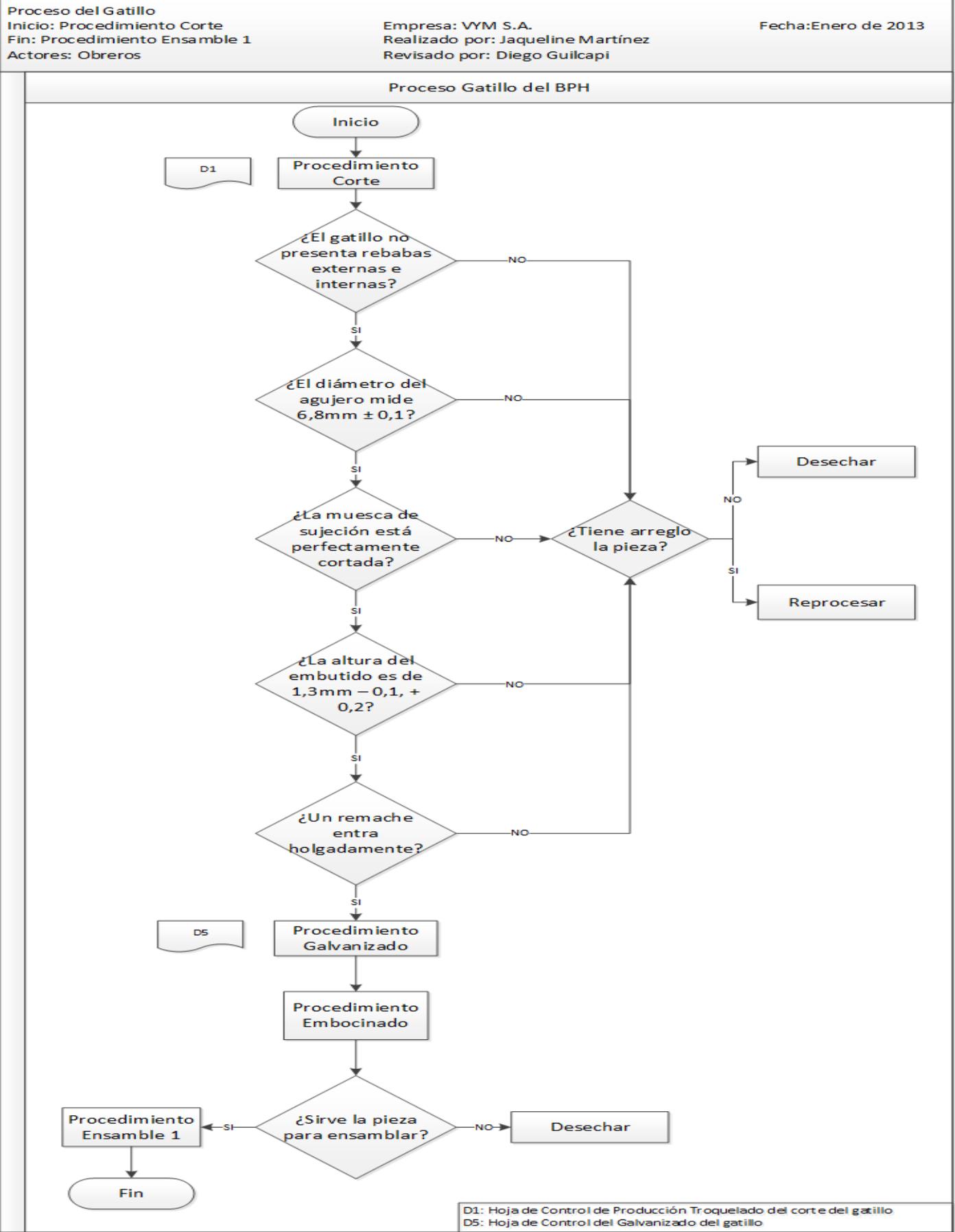
Proceso del Gatillo Inicio: Procedimiento Corte Fin: Procedimiento Ensamble 1 Actores: Obreros	Empresa: VYM S.A. Realizado por: Jaqueline Martínez Revisado por: Diego Guilcapi	Fecha: Enero de 2013
---	--	----------------------

Proceso Gatillo del BPH



D1: Hoja de Control de Producción Troquelado del corte del gatillo
 D5: Hoja de Control del Galvanizado del gatillo

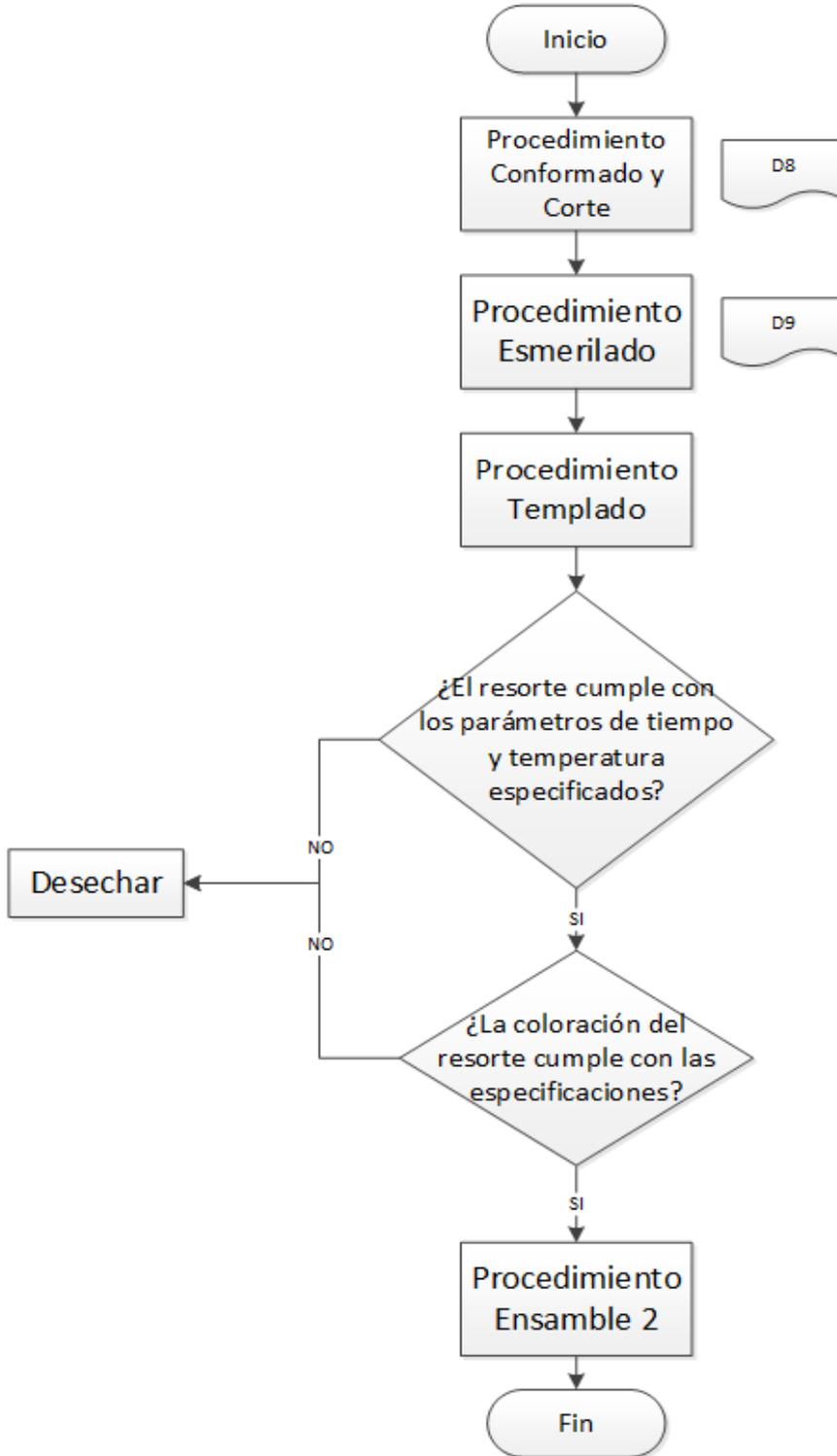
ANEXO 2.6 Proceso del gatillo



ANEXO 2.7 Proceso del resorte

Proceso del Resorte	Empresa: VYM S.A.	Fecha: Enero de 2013
Inicio: Procedimiento Conformado y Corte	Realizado por: Jaqueline Martínez	
Fin: Procedimiento Ensamble 2	Revisado por: Diego Guilcapi	
Actores: Obreros		

Proceso Resorte del BPH

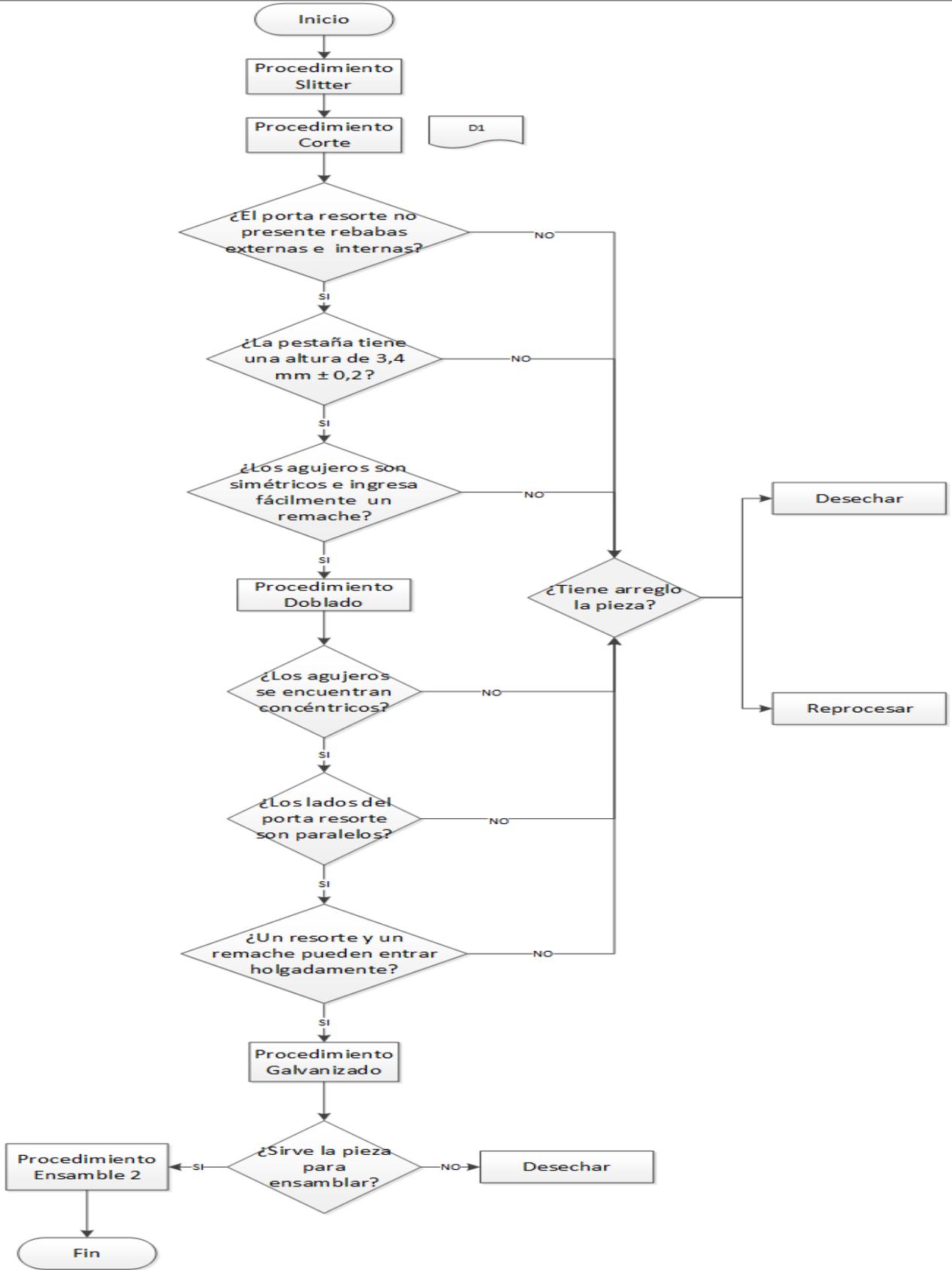


D8: Hoja de Control de Producción Fabricación de Resortes para el conformado
D9: Hoja de Control de Producción Fabricación de Resortes para el esmerilado

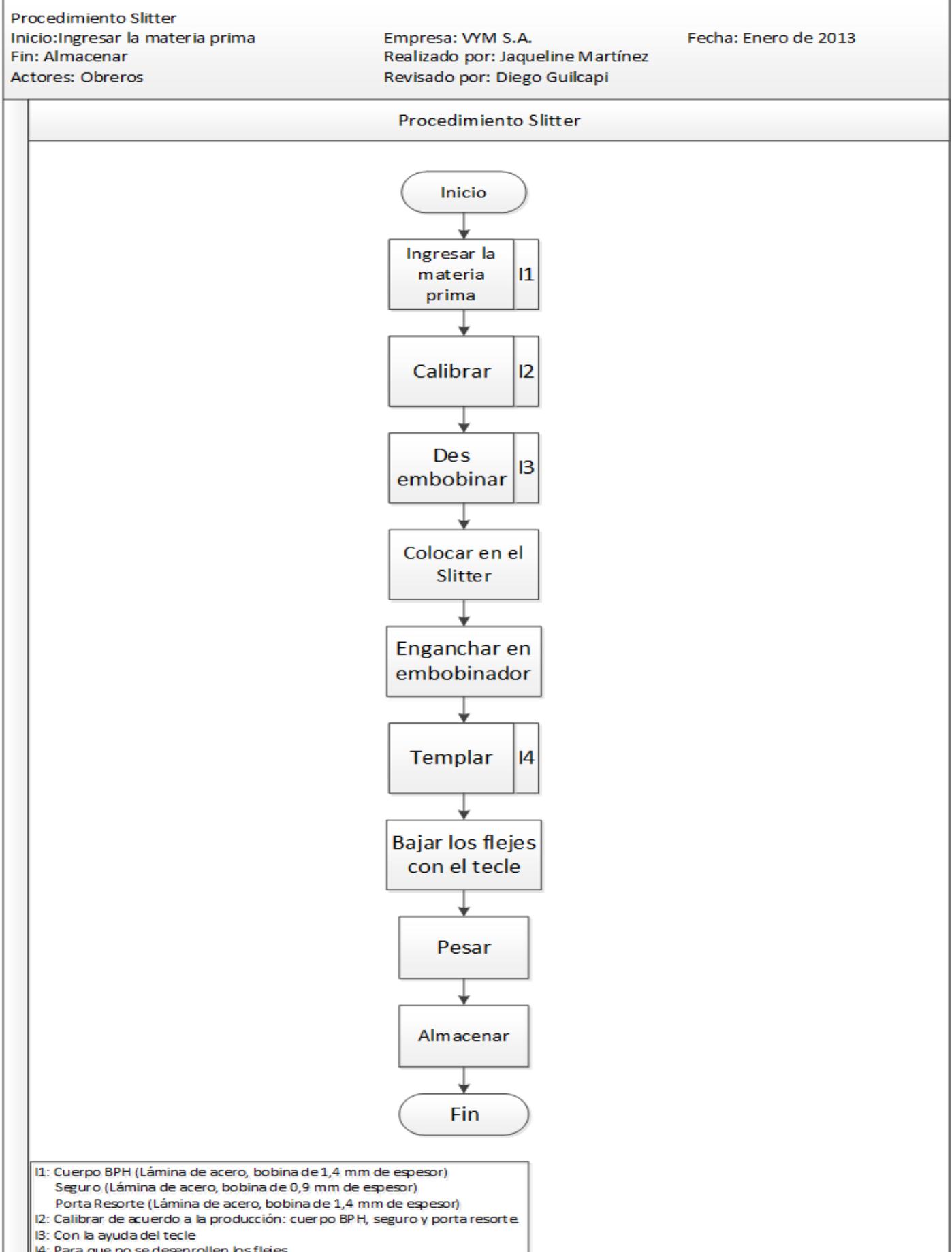
ANEXO 2.8 Proceso del porta resorte

Proceso del Portaersorte Inicio: Procedimiento Slitter Fin: Procedimiento Ensamble 2 Actores: Obreros	Empresa: VYM S.A. Realizado por: Jaqueline Martínez Revisado por: Diego Guilcapi	Fecha: Enero de 2013
--	--	----------------------

Proceso Porta Resorte del BPH



ANEXO 2.9 Procedimientos de la BPH

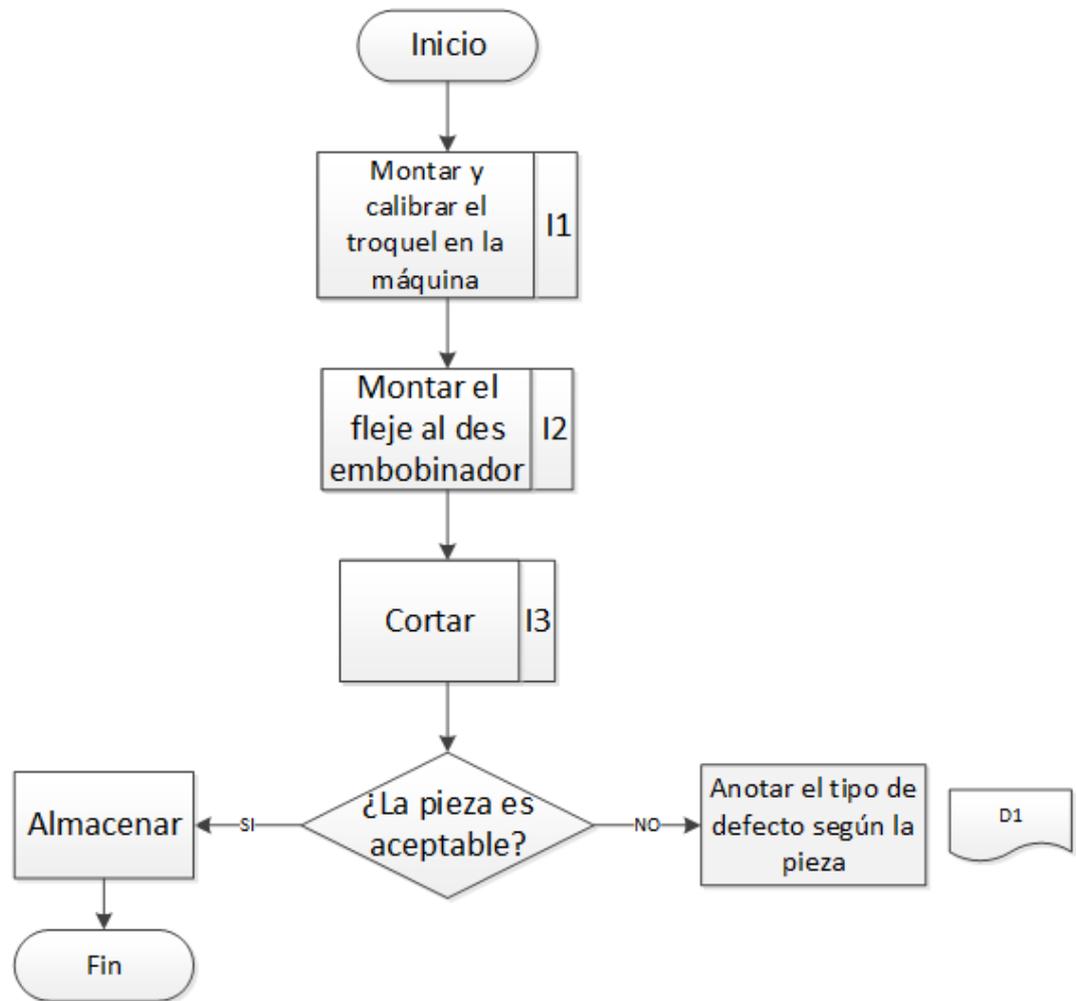


Procedimiento Corte
 Inicio: Montar y calibrar troquel
 Fin: Almacenar
 Actores: Obreros

Empresa: VYM S.A.
 Realizado por: Jaqueline Martínez
 Revisado por: Diego Guilcapi

Fecha: Enero de 2013

Procedimiento Corte



- 1: De acuerdo a la parte del BPH que se desee realizar
- 2: De acuerdo a la parte del BPH que se desee realizar
- 3:

Pieza del BPH	Espesor (mm)	Ancho (mm)
Porta Resorte	1.4	97.4
Seguro del Gatillo	0.9	58
Cuerpo	1.4	158

Pieza del BPH	Espesor (mm)	Peso (mm)
Palanca	2.5	0.98
Gatillo	2.5	0.37

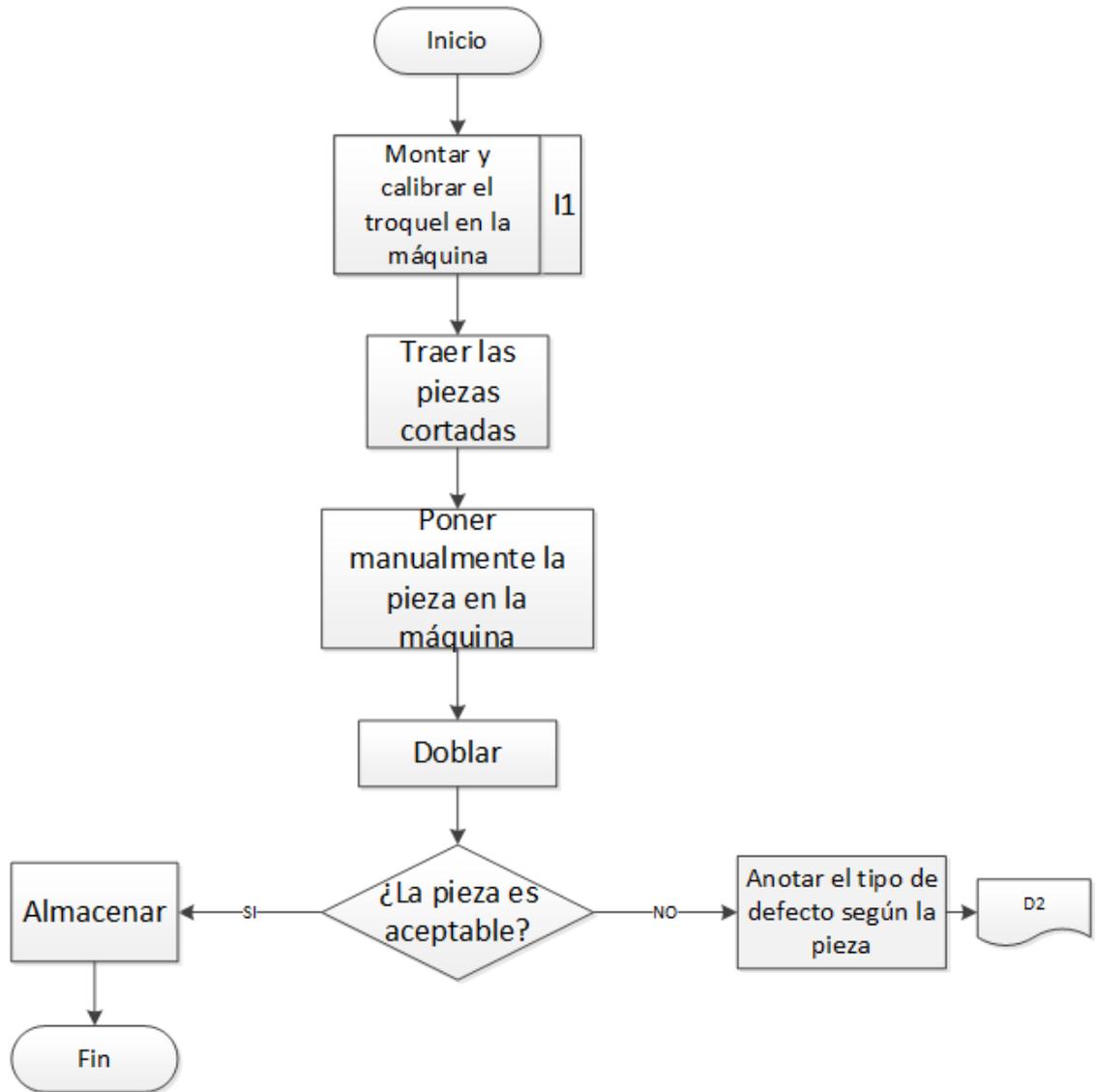
D1: Control de Producción Troquelado del corte según la pieza

Procedimiento Doblado
 Inicio: Montar y calibrar troquel
 Fin: Almacenar
 Actores: Obreros

Empresa: VYM S.A.
 Realizado por: Jaqueline Martínez
 Revisado por: Diego Guilcapi

Fecha: Enero de 2013

Procedimiento Doblado



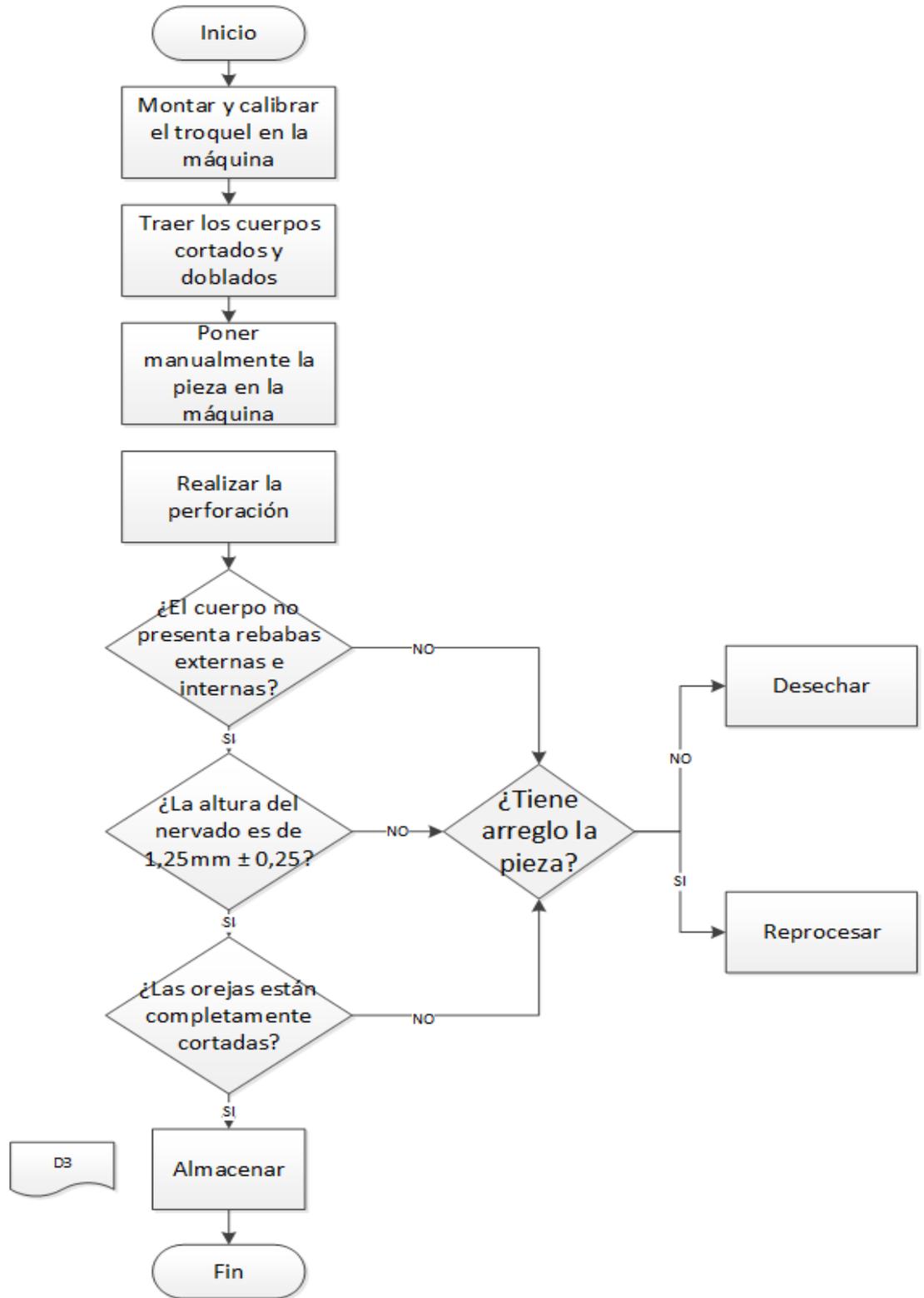
I1: De acuerdo a la parte del BPH que se desee realizar (Porta Resorte, Seguro, Cuerpo)
 D2: Control de Producción Troquelado del doblado según la pieza

Procedimiento Nervado y Orejado
 Inicio: Montar y calibrar troquel
 Fin: Almacenar
 Actores: Obreros

Empresa: VYM S.A.
 Realizado por: Jaqueline Martínez
 Revisado por: Diego Guilcapi

Fecha: Enero de 2013

Procedimiento Nervado y Orejado



D3

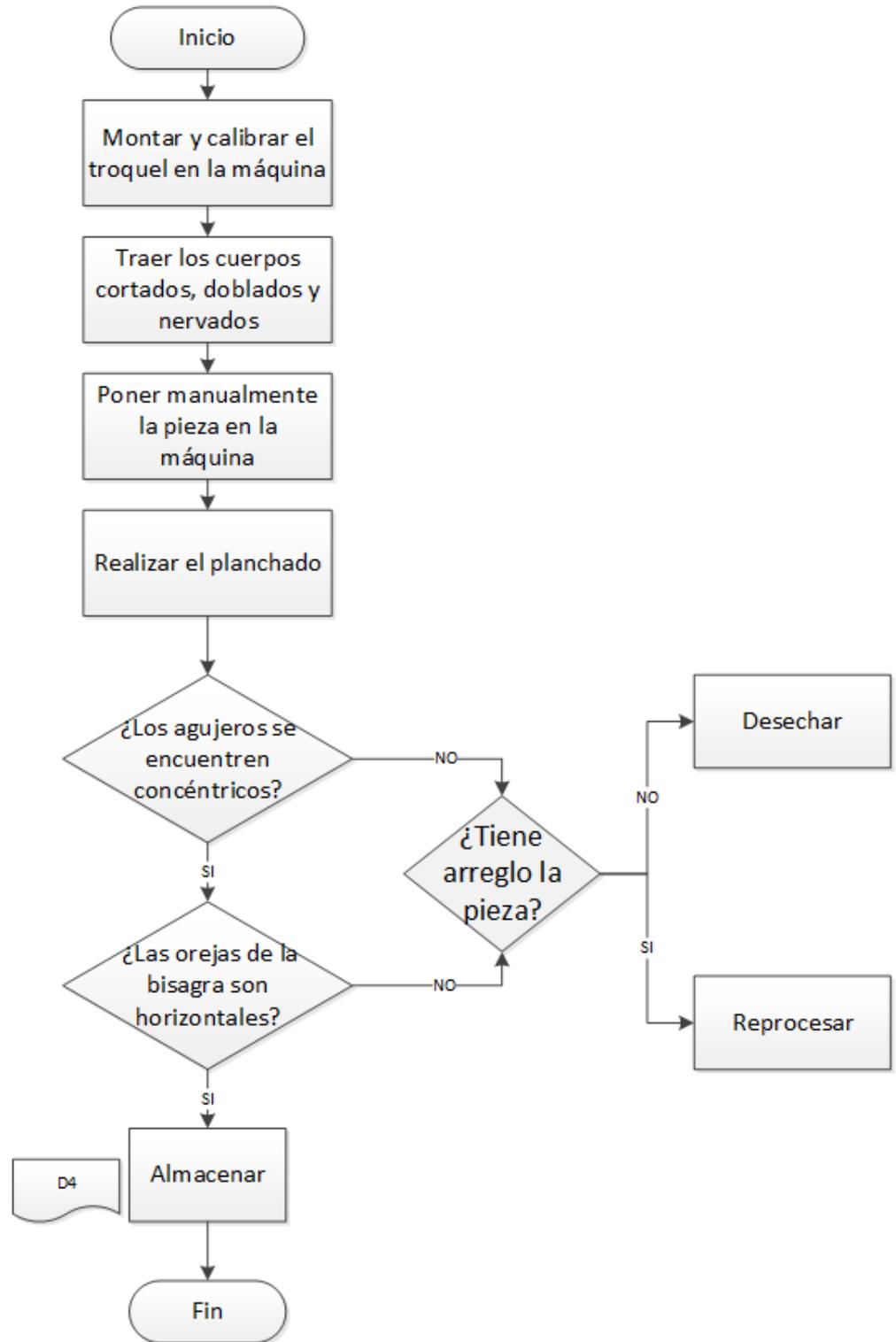
D3: Control de Producción Troquelado del nervado y orejado

Procedimiento Planchado
 Inicio: Montar y calibrar troquel
 Fin: Almacenar
 Actores: Obreros

Empresa: VYM S.A.
 Realizado por: Jaqueline Martínez
 Revisado por: Diego Guilcapi

Fecha: Enero de 2013

Procedimiento Planchado



D4: Control de Producción Troquelado del planchado

Procedimiento Galvanizado

Inicio: Ingresar el material

Fin: Almacenar

Actores: Obreros

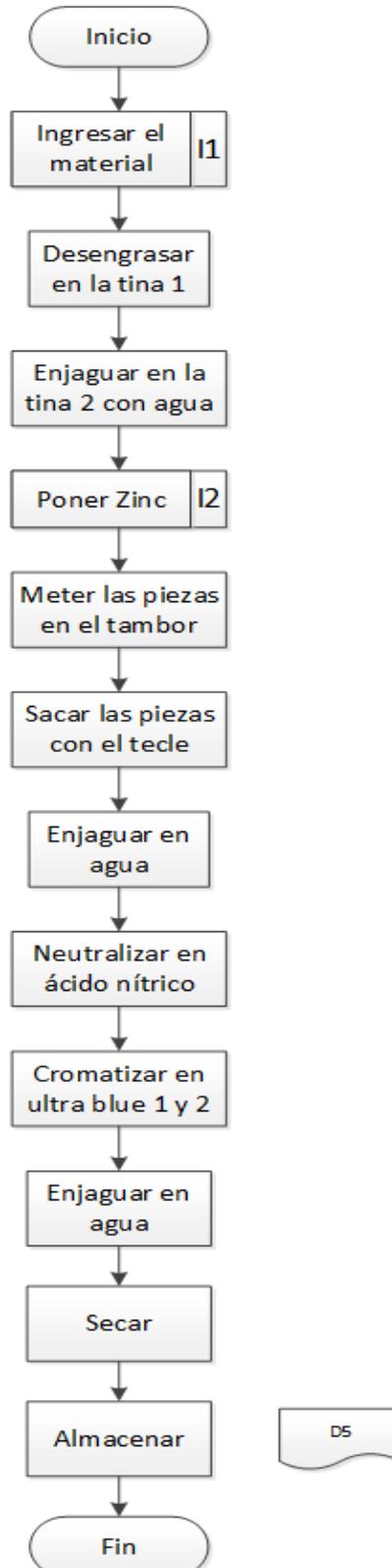
Empresa: VYM S.A.

Realizado por: Jaqueline Martínez

Revisado por: Diego Guilcapi

Fecha: Enero de 2013

Procedimiento Galvanizado



I1: Gatillos, Palanca, Cuerpo, Porta Resorte, Seguro
 I2: Mezclar 3 químicos: Hidróxido de Sodio, Cianuro, Sosa Caustica
 D5: Control de Producción Galvanizado según la pieza

Procedimiento Roscado

Inicio: Montar y calibrar troquel

Fin: Almacenar

Actores: Obreros

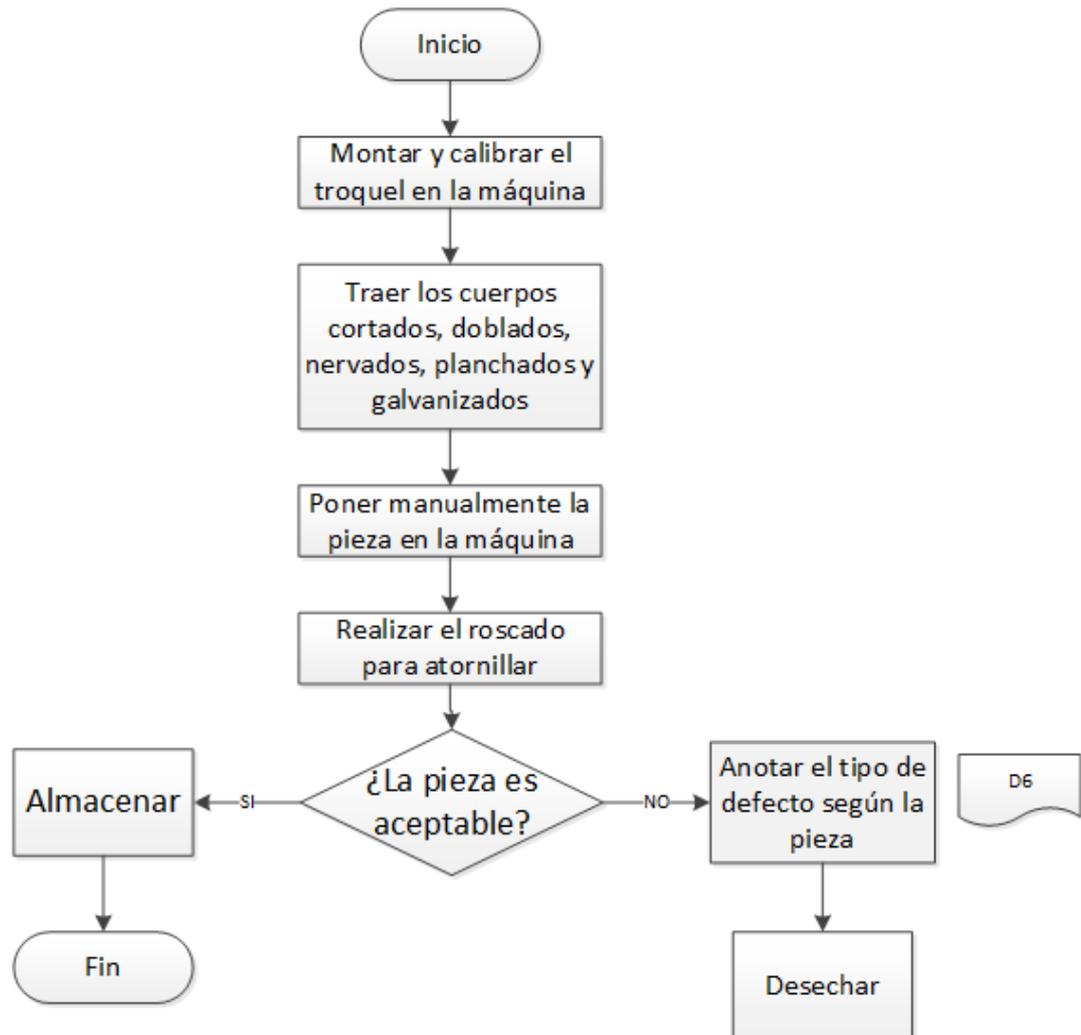
Empresa: VYM S.A.

Realizado por: Jaqueline Martínez

Revisado por: Diego Guilcapi

Fecha: Enero de 2013

Procedimiento Roscado



D6: Control de Producción Roscado BPH

Proceso Bocín

Inicio: Ingresar materia prima

Fin: Almacenar

Actores: Obreros

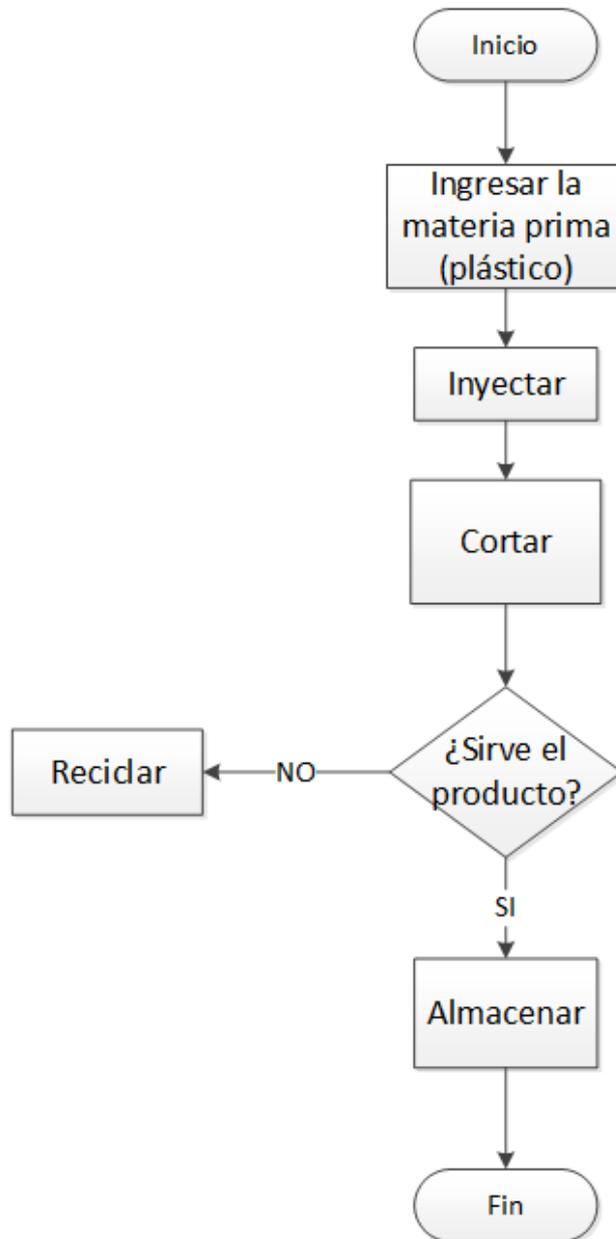
Empresa: VYM S.A.

Realizado por: Jaqueline Martínez

Revisado por: Diego Guilcapi

Fecha: Enero de 2013

Proceso Bocín



Procedimiento Embocinado

Inicio: Traer material

Fin: Almacenar

Actores: Obreros

Empresa: VYM S.A.

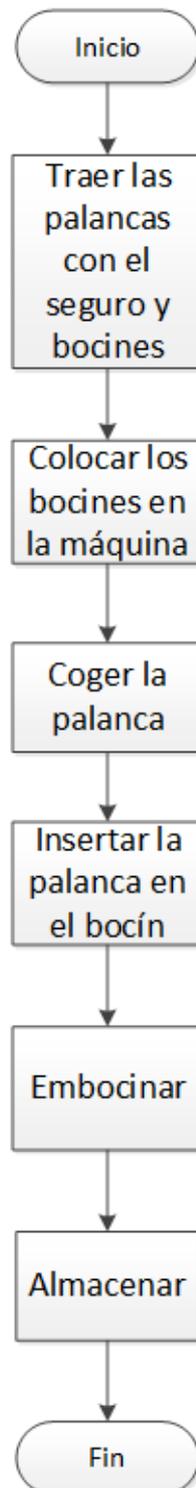
Realizado por: Jaqueline Martínez

Revisado por: Diego Guilcapi

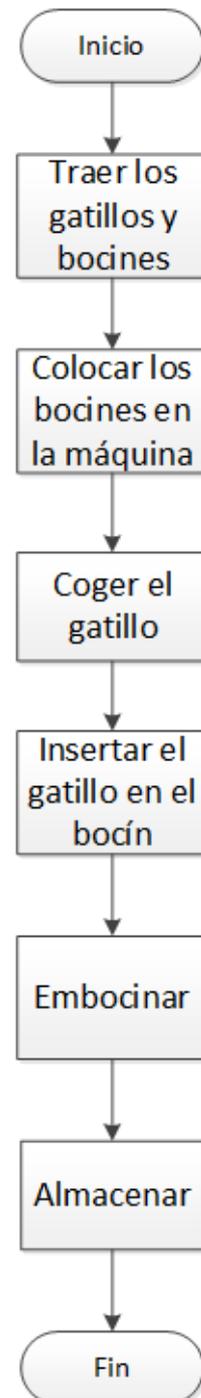
Fecha: Enero de 2013

Procedimiento Embocinado

Palanca



Gatillo



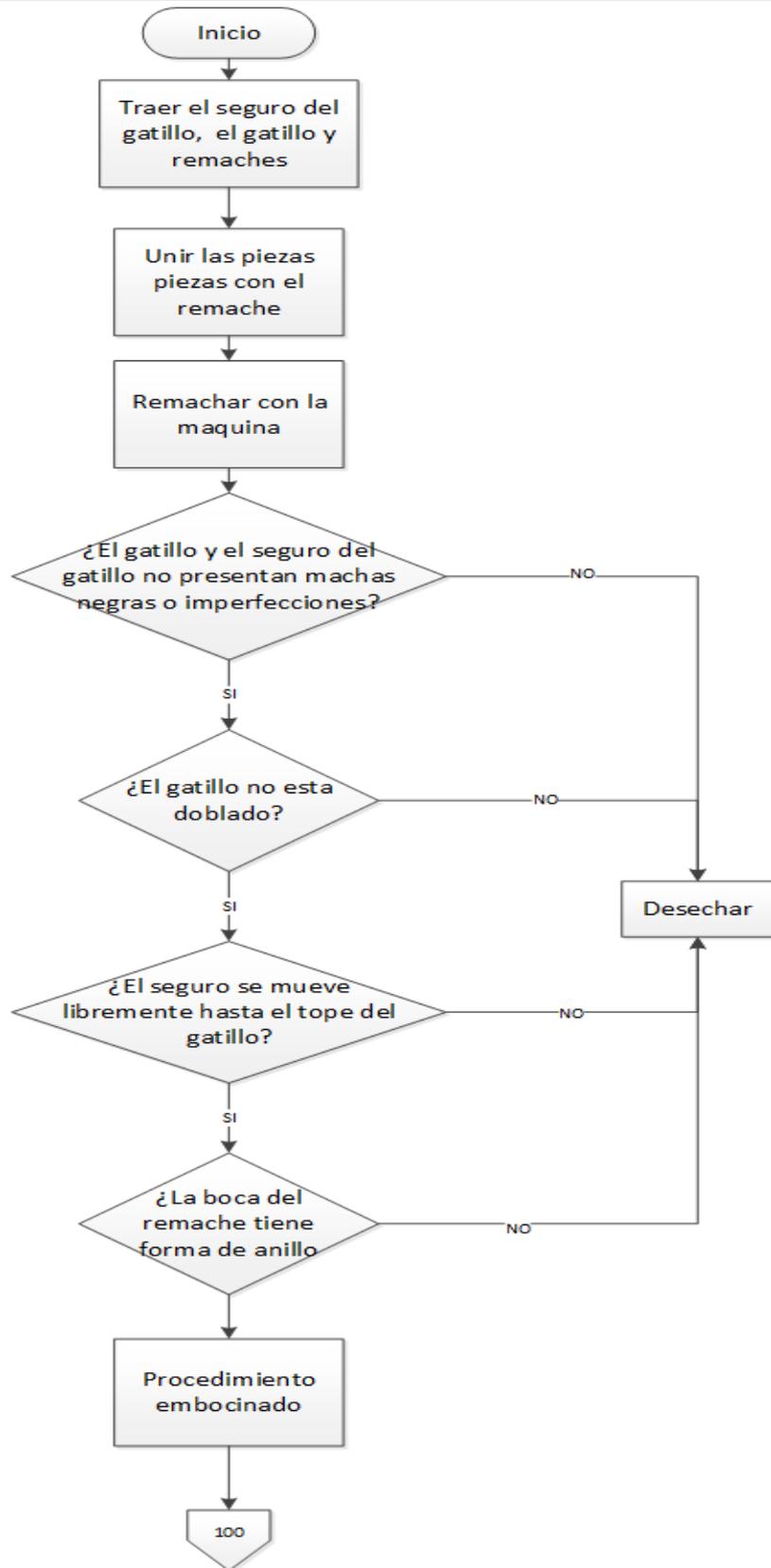
Procedimiento Ensamble 1

Inicio: Traer material
 Fin: Pasar a ensamble 2
 Actores: Obreros

Empresa: VYM S.A.
 Realizado por: Jaqueline Martínez
 Revisado por: Diego Guilcapi

Fecha: Enero de 2013

Procedimiento Ensamble 1



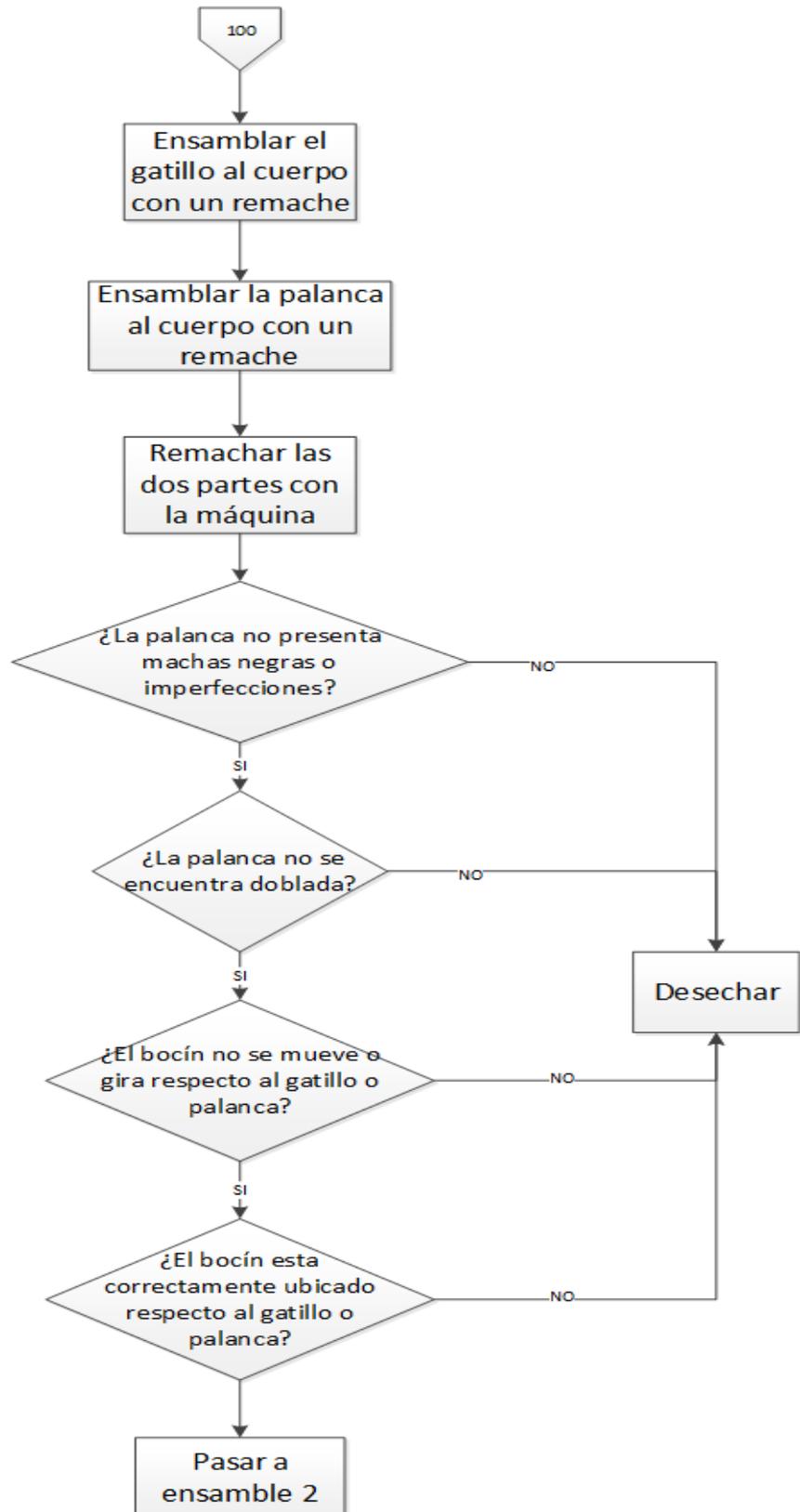
Procedimiento Ensamble 1

Inicio: Traer material
Fin: Pasar a ensamble 2
Actores: Obreros

Empresa: VYM S.A.
Realizado por: Jaqueline Martínez
Revisado por: Diego Guilcapi

Fecha: Enero de 2013

Procedimiento Ensamble 1

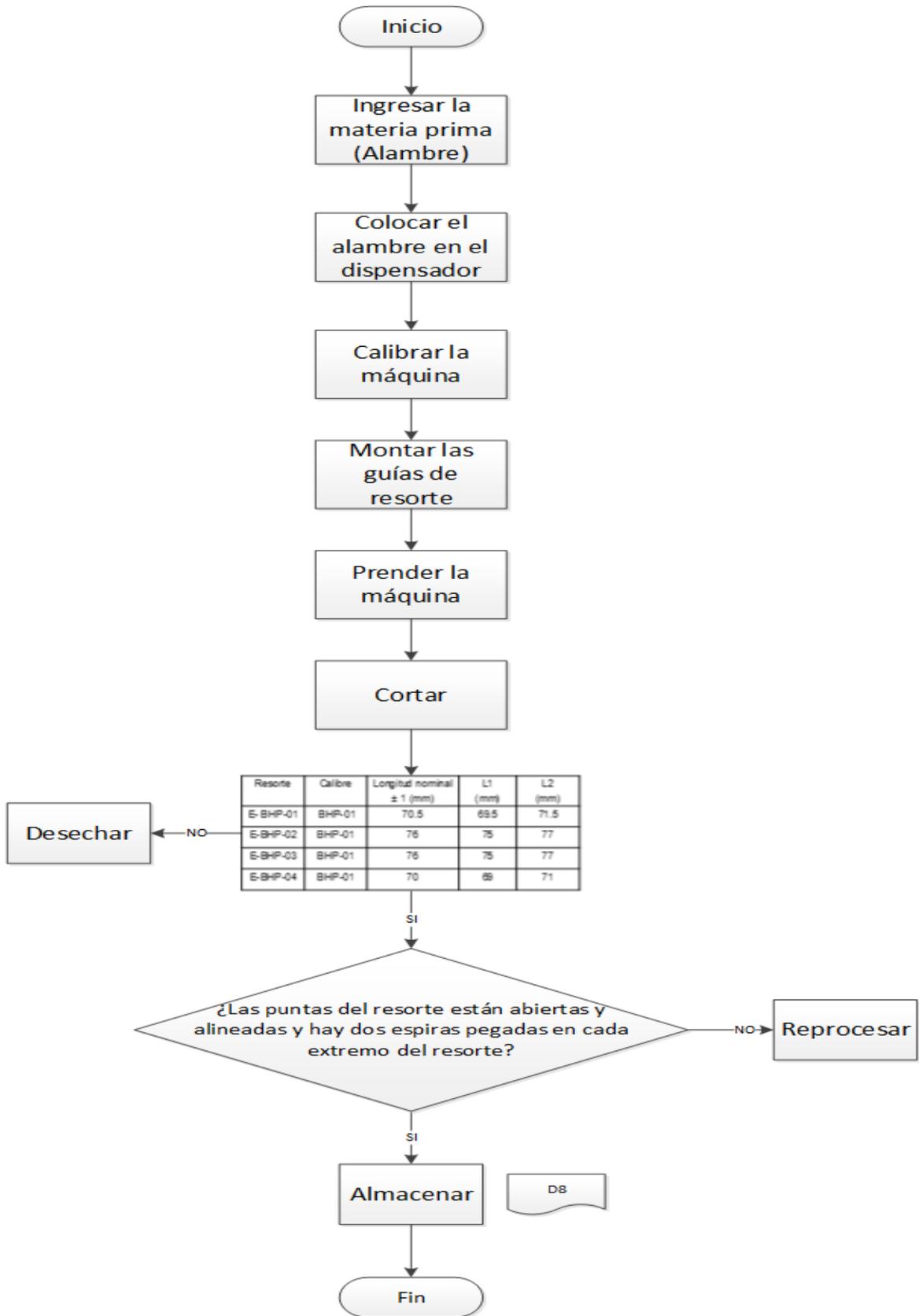


Procedimiento Conformado
 Inicio: Ingresar materia prima
 Fin: Almacenar
 Actores: Obreros

Empresa: VYM S.A.
 Realizado por: Jaqueline Martínez
 Revisado por: Diego Guilcapi

Fecha: Enero de 2013

Procedimiento Conformado y Corte



Procedimiento Esmerilado

Inicio: Ingresar resortes

Fin: Almacenar

Actores: Obreros

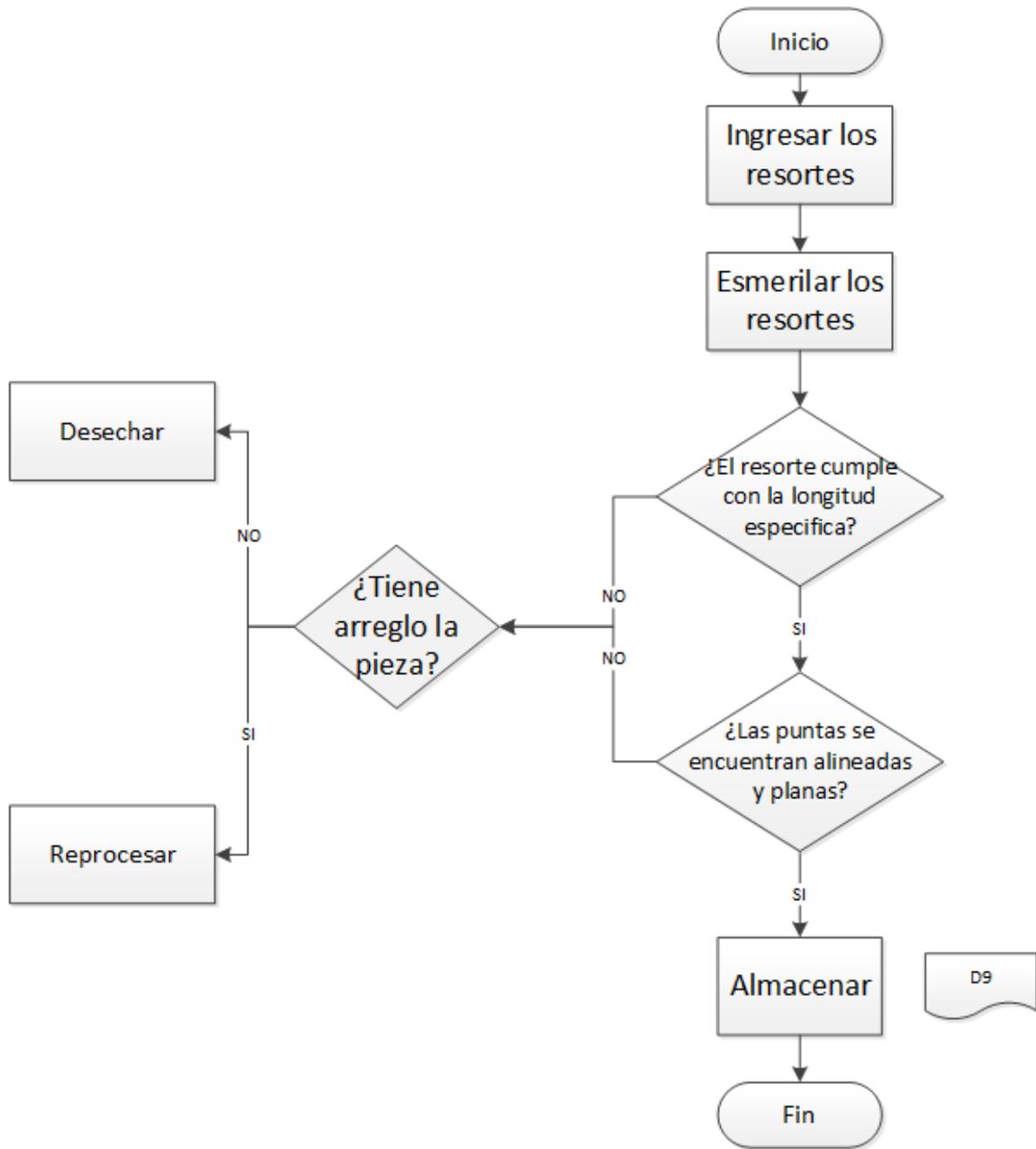
Empresa: VYM S.A.

Realizado por: Jaqueline Martínez

Revisado por: Diego Guilcapi

Fecha: Enero de 2013

Procedimiento Esmerilado



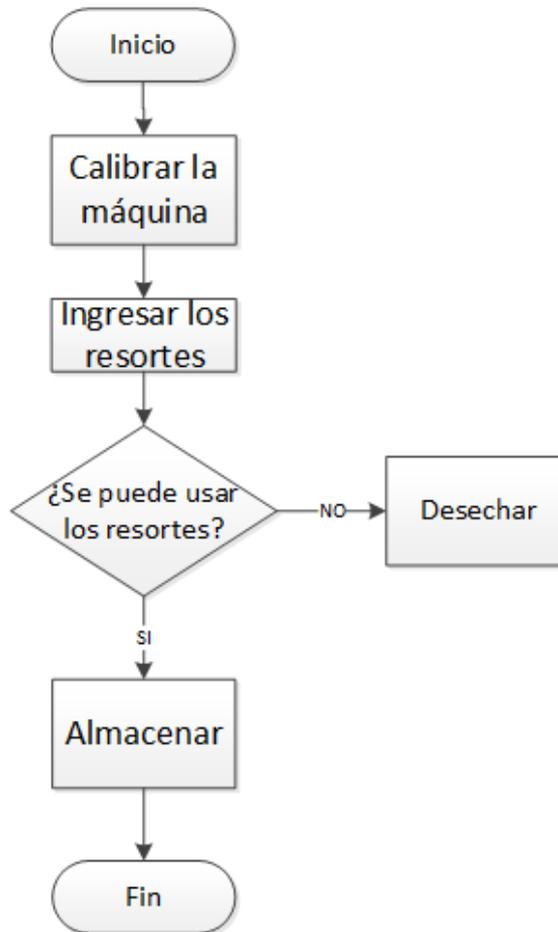
D9: Hoja de Control de Producción Fabricación de Resortes para el esmerilado

Procedimiento Templado
Inicio: Calibrar máquina
Fin: Almacenar
Actores: Obreros

Empresa: VYM S.A.
Realizado por: Jaqueline Martínez
Revisado por: Diego Guilcapi

Fecha: Enero de 2013

Procedimiento Templado

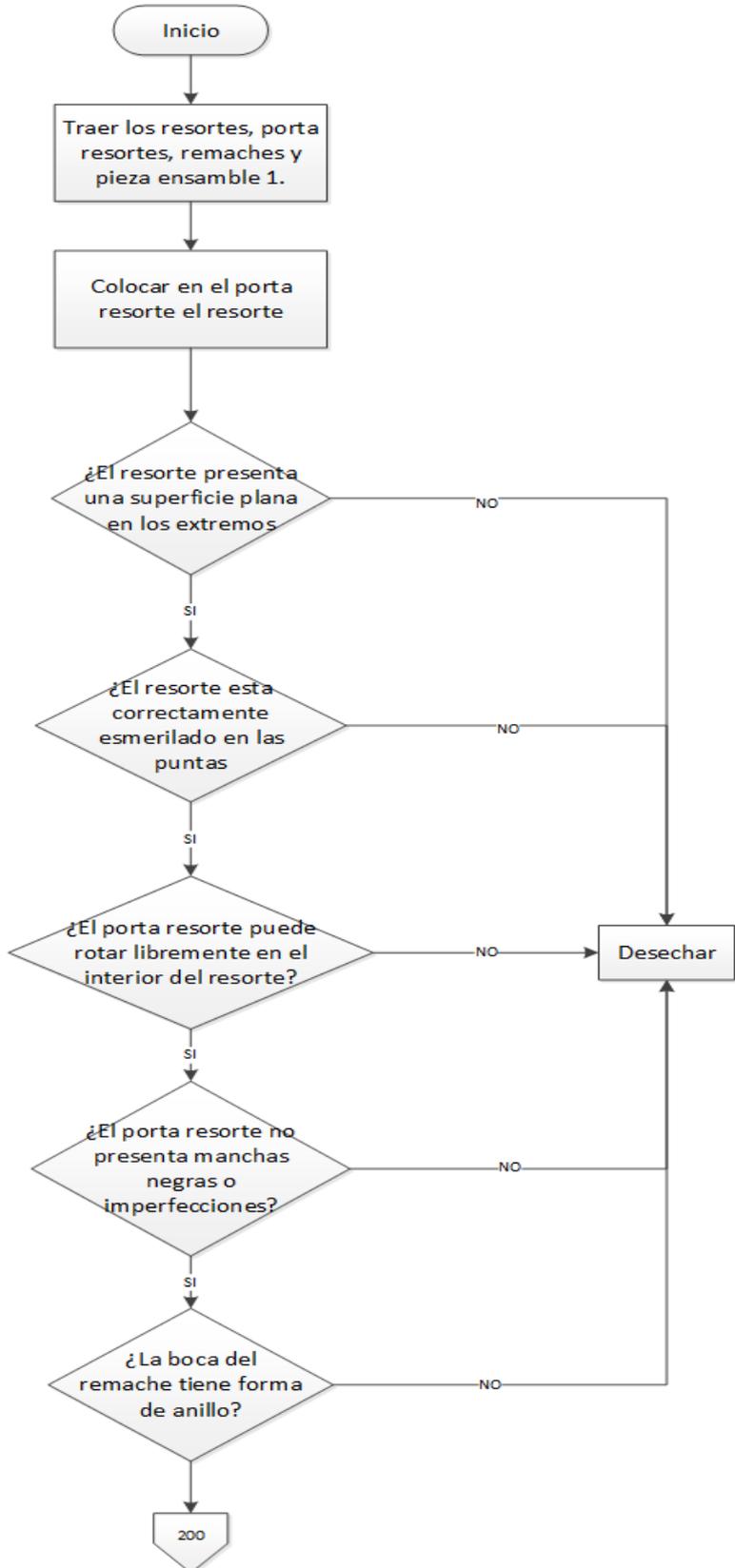


Procedimiento Ensamble 2
 Inicio: Traer materiales
 Fin: Empacar
 Actores: Obreros

Empresa: VYM S.A.
 Realizado por: Jaqueline Martínez
 Revisado por: Diego Guilcapi

Fecha: Enero de 2013

Procedimiento Ensamble 2



Procedimiento Ensamble 2

Inicio: Traer materiales

Fin: Empacar

Actores: Obreros

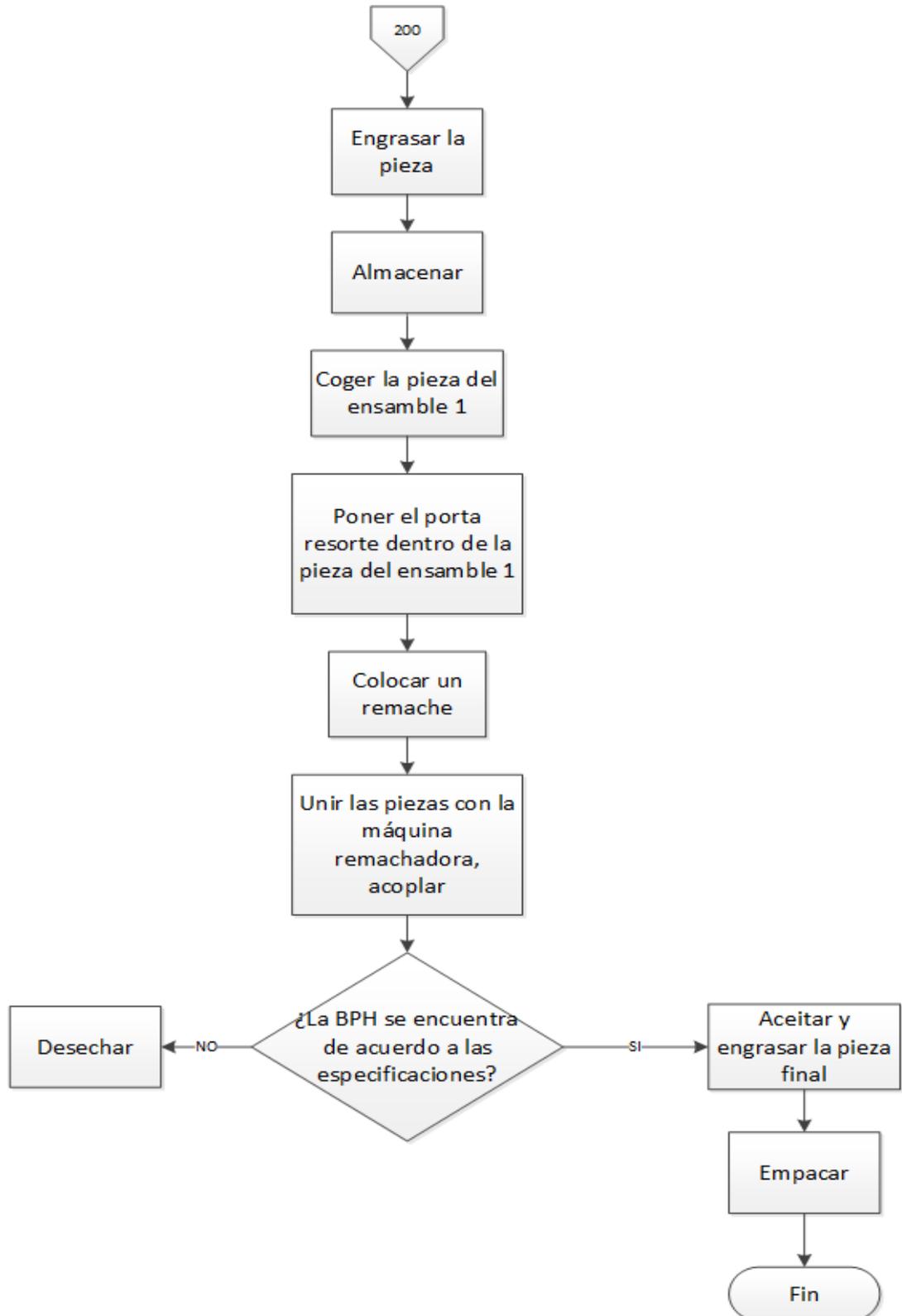
Empresa: VYM S.A.

Realizado por: Jaqueline Martínez

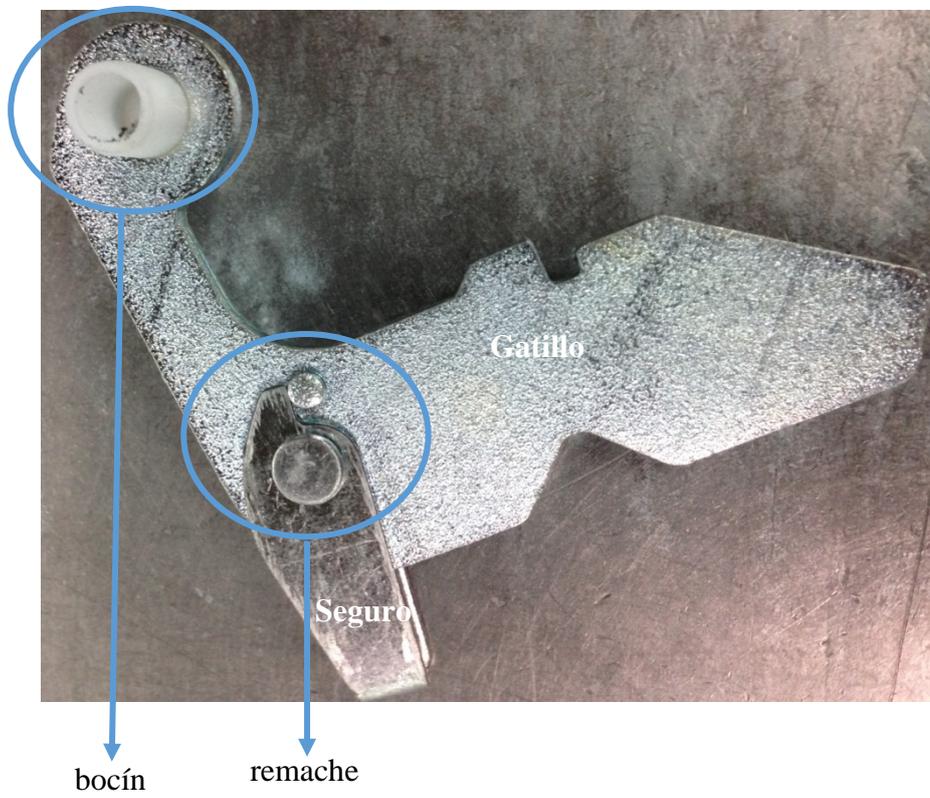
Revisado por: Diego Guilcapi

Fecha: Enero de 2013

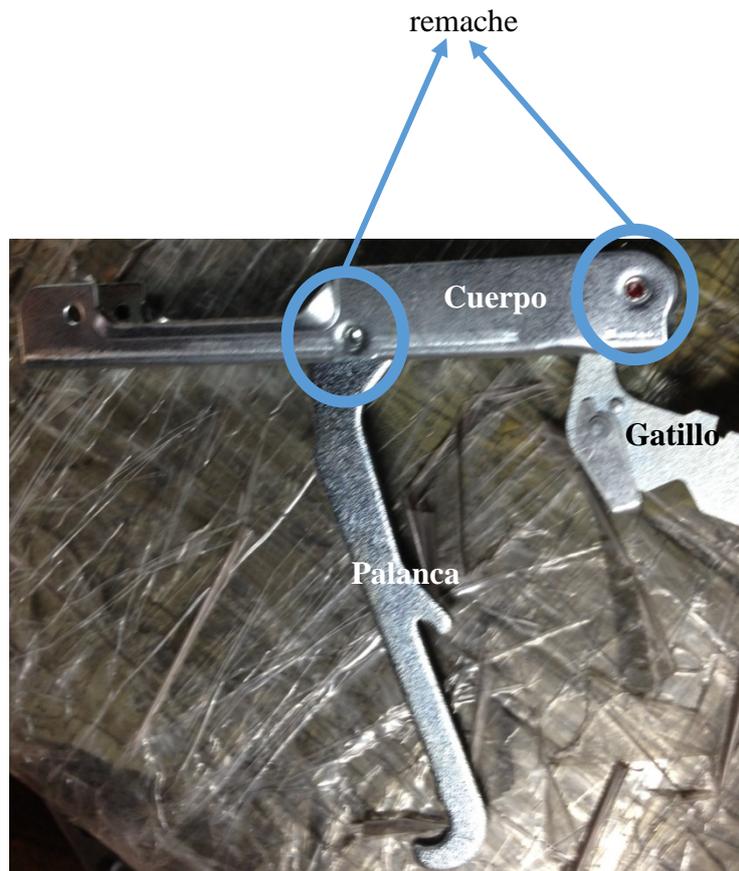
Procedimiento Ensamble 2



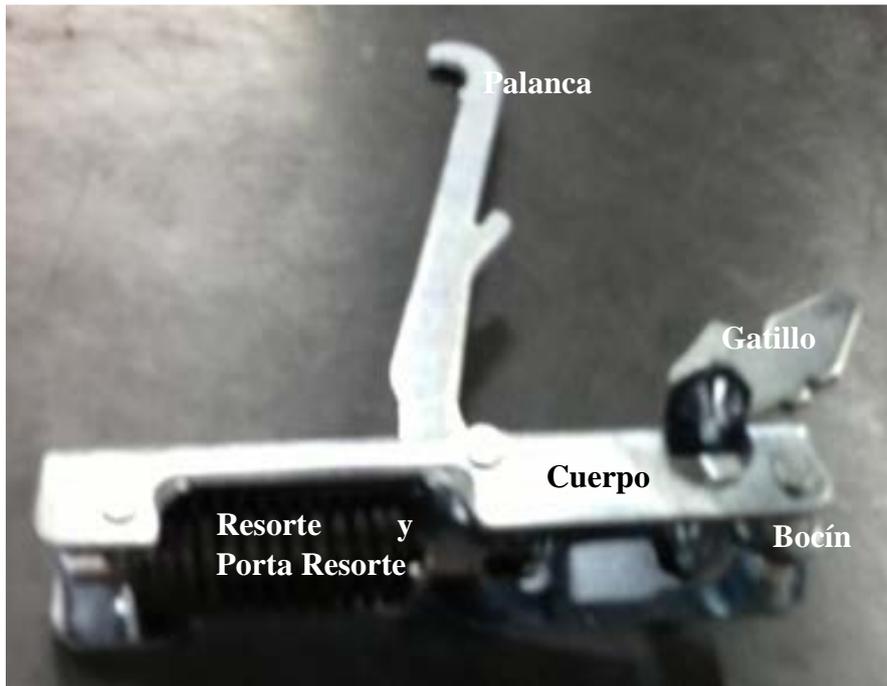
ANEXO 2.10 Procedimiento de ensamble de gatillo embocinado y el remache



ANEXO 2.11 Ensamblaje con remaches (gatillo y palanca al cuerpo de la pieza)



ANEXO 2.12 Producto final (BPH)



ANEXO 3.1 Matrices de valor agregado del proceso de la BPH

MATRIZ DE VALOR AGREGADO CUERPO DE LA BPH										
		Actividades	VAC	VAN						t / min
1	Slitter	Entrada de la materia prima (lámina de acero, 1,4 de espesor)				x				0
2		Calibrar el Slitter con las especificaciones para el cuerpo			x					180
3		Desembobinar los flejes			x					20
4		Colocar en el Slitter			x					15
5		Enganchar en embobinador			x					5
6		Templar			x					3
7		Bajar los flejes con el teclé			x					5
8		Pesar			x			x		5
9		Almacenar							x	2
10		Documentar la producción			x				x	1
11	Corte	Montar y Calibrar el troquel del cuerpo			x					20
12		Traer los flejes				x				1
13		Montar los flejes al desembobinador			x					2
14		Estirar el fleje y colocarlo en la máquina			x					1
15		Ver si esta bien colocado el fleje			x					0,03
16		Cortar			x		x			0,09
17		Ver si es aceptable o no la pieza						x		0,03
18		Almacenar el cuerpo cortado							x	0,03
19		Documentar la producción			x				x	1
20	Doblado	Montar y Calibrar el troquel del cuerpo			x					15
21		Traer las piezas cortadas				x				0,50
22		Poner manualmente las piezas en la máquina			x					0,05
23		Doblar			x					0,03
24		Ver si es aceptable o no la pieza			x			x		0,03
25		Almacenar la pieza							x	0,03
26	Documentar la producción			x				x	1	
27	Orejado y Nervado	Montar y Calibrar el troquel del cuerpo			x					15
28		Traer las piezas dobladas				x				0,50
29		Poner manualmente las piezas en la máquina			x					0,03
30		Realiza la perforación			x					0,05
31		Ver si es aceptable o no la pieza			x			x		0,03
32		Almacenar la pieza							x	0,03
33		Documentar la producción			x				x	1
34	Planchado	Montar y Calibrar el troquel del cuerpo			x					20
35		Traer las piezas nervadas				x				0,50
36		Poner manualmente las piezas en la máquina			x					0,03
37		Realiza la perforación			x					0,05
38		Ver si es aceptable o no la pieza			x			x		0,03
39		Almacenar la pieza							x	0,03
40	Documentar la producción			x				x	1	
41	Galvanizado	Taer el los cuerpos				x				1
42		Desengrasar en la tina 1			x					25
43		Enjaguar en la tina 2			x					1
44		Poner en Zinc y Meter las piezas en el tambor			x					60
46		Sacar las piezas con el teclé			x					0,08
47		Enjaguar en agua			x					0,05
48		Neutralizar en ácido nítrico	x		x					0,33
49		Cromatizar	x		x					0,33
50		Enjaguar en agua			x					0,05
51		Secar			x					0,05
52		Almacenar							x	0,03
53		Documentar la producción			x				x	1
54	Roscado	Montar y Calibrar el troquel del cuerpo			x					15
55		Traer los cuerpos				x				3
56		Poner manualmente las piezas en la máquina			x					0,03
57		Realiza el roscado			x					0,25
58		Ver si es aceptable o no la pieza			x			x		0,03
59		Secar								25
60		Almacenar la pieza							x	0,5
		Documentar la producción			x			x	1	
Totales			2	13	32	7	1	6	14	450

	VAC	VAN	Actividades que no generan valor agregado
cantidad actividades	2	13	45
tiempos	0,67	12,17	437,06

$$\text{IVA actividades} = \frac{\sum \text{act} (VAC+VAN)}{\text{total actividades}} \times 100 = 25\%$$

$$\text{IVA tiempo} = \frac{\sum \text{tiempo} (VAC+VAN)}{\text{total tiempo}} \times 100 = 3\%$$

		Actividades	VAC	VAN						t/min
1	Corte	Montar y Calibrar el troquel de la palanca			x					10
2		Traer los flejes				x				1
3		Montar los flejes al desembobinador			x					2
4		Estirar el fleje y colocarlo en la maquina			x					1
5		Ver si esta bien colocado el fleje						x		0,03
6		Cortar			x					0,04
7		Ver si es aceptable o no la pieza de acuerdo a las esp.							x	0,03
8		Almacenar la palanca cortada							x	0,03
9		Documentar la producción		x					x	1
10	Galvanizado	Taer las palancas				x				1
11		Desengrasar en la tina 1			x					20
12		Enjaguar en la tina 2			x					1
13		Poner en Zinc y meter las piezas en el tambor			x					50
14		Sacar las piezas con el tecele			x					0,08
15		Enjaguar en agua			x					0,05
16		Neutralizar en ácido nítrico	x		x					0,33
17		Cromatizar	x		x					0,33
18		Enjaguar en agua			x					0,05
19		Secar			x					0,05
20		Almacenar							x	0,03
21	Documentar la producción		x					x	1	
Totales			2	2	13	2	1	1	4	89,0733333

	VAC	VAN	Actividades que no generan valor agregado
cantidad actividades	2	2	17
tiempos	0,67	2,00	86,41

$$\text{IVA actividades} = \frac{\sum \text{act} (VAC+VAN)}{\text{total actividades}} \times 100 = 19\%$$

$$\text{IVA tiempo} = \frac{\sum \text{tiempo} (VAC+VAN)}{\text{total tiempo}} \times 100 = 3\%$$

MATRIZ DE VALOR AGREGADO SEGURO DE LA BPH										
		Actividades	VAC	VAN						t/min
1	Slitter	Entrada de la materia prima (lámina de acero, 0,9 de espesor)								0
2		Calibrar el Slitter con las especificaciones para el seguro			x					180
3		Desembobinar los flejes			x					20
4		Colocar en el Slitter			x					15
5		Enganchar en embobinador			x					5
6		Templar			x					3
7		Bajar los flejes con el tecl			x					5
8		Pesar		x						5
9		Almacenar							x	2
10		Documentar la producción		x					x	1
11	Corte	Montar y Calibrar el troquel del seguro			x					15
12		Traer los flejes				x				1
13		Montar los flejes al desembobinador			x					2
14		Estirar el fleje y colocarlo en la maquina			x					1
15		Ver si esta bien colocado el fleje		x						0,03
16		Cortar			x					0,06
17		Ver si es aceptable o no la pieza						x		0,03
18		Almacenar el seguro cortado							x	0,03
19		Documentar la producción		x					x	1
20	Doblado	Montar y Calibrar el troquel el seguro			x					10
21		Traer las piezas cortadas				x				0,50
22		Poner manualmente las piezas en la máquina			x					0,05
23		Doblar			x					0,09
24		Ver si es aceptable o no la pieza		x				x		0,03
25		Almacenar la pieza							x	1
26		Documentar la producción		x					x	1
27	Galvanizado	Taer los seguros				x				1
28		Desengrasar en la tina 1			x					20
29		Enjaguar en la tina 2			x					1
30		Poner en Zinc			x					30
31		Sacar las piezas con el tecl			x					0,08
32		Enjaguar en agua			x					0,05
33		Neutralizar en ácido nítrico	x		x					0,33
34		Cromatizar	x		x					0,33
35		Enjaguar en agua			x					0,05
36		Secar			x					0,05
37		Almacenar							x	0,03
38	Documentar la producción			x				x	1	
Totales			2	7	22	4	1	3	8	323

	VAC	VAN	Actividades que no generan valor agregado
cantidad actividades	2	7	29
tiempos	0,67	9,07	313,03

$$\text{IVA actividades} = \frac{\sum_{act} (VAC+VAN)}{\text{total actividades}} \times 100 = 24\%$$

$$\text{IVA tiempo} = \frac{\sum_{tiempo} (VAC+VAN)}{\text{total tiempo}} \times 100 = 3\%$$

MATRIZ DE VALOR AGREGADO GATILLO DE LA BPH										
		Actividades	VAC	VAN						t / min
1	Corte	Montar y Calibrar el troquel del gatillo			x					10
2		Traer los flejes				x				1
3		Montar los flejes al desembobinador			x					2
4		Estirar el fleje y colocarlo en la maquina			x					1
5		Ver si esta bien colocado el fleje		x			x			0,03
6		Cortar			x					0,06
7		Ver si es aceptable o no la pieza						x		0,03
8		Almacenar el gatillo cortado							x	0,03
9		Documentar la producción		x					x	1
10	Galvanizado	Taer el los cuerpos				x				1
11		Desengrasar en la tina 1			x					25
12		Enjaguar en la tina 2			x					1
13		Poner en Zinc y meter las piezas en el tambor			x					40
14		Sacar las piezas con el tecele			x					0,08
15		Enjaguar en agua			x					0,05
16		Neutralizar en ácido nítrico	x		x					0,33
17		Cromatizar	x		x					0,33
18		Enjaguar en agua			x					0,05
19		Secar			x					0,05
20		Almacenar							x	0,03
21		Documentar la producción			x				x	1
Totales			2	3	13	2	1	1	4	84,09

	VAC	VAN	Actividades que no generan valor agregado
cantidad actividades	2	3	16
tiempos	0,67	2,03	81,39

$$\text{IVA actividades} = \frac{\sum \text{act} (VAC+VAN)}{\text{total actividades}} \times 100 = 24\%$$

$$\text{IVA tiempo} = \frac{\sum \text{tiempo} (VAC+VAN)}{\text{total tiempo}} \times 100 = 3\%$$

MATRIZ DE VALOR AGREGADO PORTA RESORTE DE LA BPH											
		Actividades	VAC	VAN						t / min	
1	Slitter	Entrada de la materia prima (lámina de acero, 1,4 de espesor)								0	
2		Calibrar el Slitter con las especificaciones para el porta resorte			x					180	
3		Desembobinar los flejes			x					20	
4		Colocar en el Slitter			x					15	
5		Enganchar en embobinador			x					5	
6		Templar			x					3	
7		Bajar los flejes con el tecla			x					5	
8		Pesar		x					x	5	
9		Almacenar								x	2
10		Documentar la producción		x						x	1
11	Corte	Montar y Calibrar el troquel del porta resorte			x					15	
12		Traer los flejes				x				1	
13		Montar los flejes al desembobinador			x					2	
14		Estirar el fleje y colocarlo en la maquina			x					1	
15		Ver si esta bien colocado el fleje		x					x	0,03	
16		Cortar			x					0,02	
17		Ver si es aceptable o no la pieza							x	0,03	
18		Almacenar el porta resorte								x	0,03
19		Documentar la producción		x						x	1
20	Doblado	Montar y Calibrar el troquel del porta resorte			x					20	
21		Traer las piezas cortadas				x				0,50	
22		Poner manualmente las piezas en la máquina			x					0,05	
23		Doblar			x					0,07	
24		Ver si es aceptable o no la pieza		x					x	0,03	
25		Almacenar la pieza								x	0,03
26	Documentar la producción		x						x	1	
27	Galvanizado	Taer el porta resorte				x				1	
28		Desengrasar en la tina 1			x					20	
29		Enjaguar en la tina 2			x					1	
30		Poner en Zinc y meter las piezas en el tambor			x					30	
31		Sacar las piezas con el tecla			x					0,08	
32		Enjaguar en agua			x					0,05	
33		Neutralizar en ácido nítrico	x		x					0,33	
34		Cromatizar	x		x					0,33	
35		Enjaguar en agua			x					0,05	
36		Secar			x					0,05	
37		Almacenar								x	0,03
38	Documentar la producción		x						x	1	
Totales			2	7	22	4	1	3	8	332	

	VAC	VAN	Actividades que no generan valor agregado
cantidad actividades	2	7	29
tiempos	0,67	9,07	322,00

$$\text{IVA actividades} = \frac{\sum_{act} (VAC+VAN)}{\text{total actividades}} \times 100 = 24\%$$

$$\text{IVA tiempo} = \frac{\sum_{tiempo} (VAC+VAN)}{\text{total tiempo}} \times 100 = 3\%$$

MATRIZ DE VALOR AGREGADO RESORTE DE LA BPH										
		Actividades	VAC	VAN						t /min
1	Conformado y corte	Ingreso de la materia prima (Alambre)								0
2		Colocar el alambre en el dispensador			x					5
3		Calibrar la máquina			x					30
4		Montar las guías de resorte			x					7
5		Prender la máquina			x					0,42
6		Se conforma el alambre			x					0,01
7		Verificar las medidas y forma						x		0,04
8		Almacenar							x	0,02
9		Documentar la producción		x						1
10	Esmerilado	Calibrar la máquina			x					15
11		Ingresar los resortes en la máquina				x				0,02
12		Prender la máquina			x					0,42
13		Esmerilar los resortes	x		x					0,12
14		Verificar la longitud						x		0,02
15		Almacenar el resorte							x	0,02
16	Documentar la producción		x						1	
17	Templado	Calibrar la máquina			x					35
18		Ingresar los resortes				x				0,03
19		Ver si es aceptable o no el resorte						x		0,02
20		Almacenar la pieza							x	0,02
Totales			1	2	9	3	0	3	5	95,1566667

	VAC	VAN	Actividades que no generan valor agregado
cantidad actividades	1	2	17
tiempos	0,12	2,00	93,04

$$\text{IVA actividades} = \frac{\sum act (VAC+VAN)}{\text{total actividades}} \times 100 = 15\%$$

$$\text{IVA tiempo} = \frac{\sum tiempo (VAC+VAN)}{\text{total tiempo}} \times 100 = 2\%$$

MATRIZ DE VALOR AGREGADO ENSAMBLE DE LA BPH									
	Actividades	VAC	VAN	 Preparación	 Movimiento	 Espera	 Inpección	 Archivo	t / min
1	Traer el gatillo, seguro y remache				x				2,01
2	Unir el seguro al gatillo			x					0,05
3	Unir las piezas con un remache (pieza 1)			x					0,08
4	Traer las palancas y los bocines			x					0,05
5	Colocar los bocines en la máquina y tomar la palanca			x					0,05
6	Insertar la palanca en el bocín			x					0,03
7	Embocinar			x					0,07
8	Traer la pieza 1 y los bocines				x				0,05
9	Colocar los bocines en la máquina y tomar la pieza 1			x					0,05
10	Insertar en la pieza 1 el bocín			x					0,03
11	Embocinar			x					0,07
12	Traer las palancas embocinadas, gatillos embocinados, seguros, cuerpos y remaches				x				0,07
13	Ensamblar la pieza 1 con el cuerpo usando un remache (pieza 2)			x					0,10
14	Ensamblar la palanca al cuerpo usando un remache (pieza 3)			x					0,12
15	Tomar la pieza 3 y remachar con la máquina			x					0,07
16	Verificar imperfecciones		x				x		0,08
17	Traer los resortes, porta resortes, remaches				x				1,00
18	Verificar imperfecciones anteriores al proceso de producción		x				x		0,08
19	Colocar un remache en el porta resorte y remachar con la máquina			x					0,05
20	Meter en el porta resorte el resorte pieza 4			x					0,03
21	Engrasar la pieza 4	x		x					0,03
22	Traer la pieza 3 y la 4				x				0,03
23	Poner la pieza 3 dentro de la pieza 4 y colocar un remache			x					0,10
24	Remachar con la máquina			x					0,03
25	Verificación final de la pieza						x		0,03
26	Aceitar y engrasar	x		x					0,06
27	Empacar			x					0,05
28	Documento de empaque		x					x	0,08
Totales		2	3	19	5	0	3	1	4,57

	VAC	VAN	Actividades que no generan valor agregado
cantidad actividades	2	3	23
tiempos	0,09	0,25	4,23

$$\text{IVA actividades} = \frac{\sum \text{act} (VAC+VAN)}{\text{total actividades}} \times 100 = 18\%$$

$$\text{IVA tiempo} = \frac{\sum \text{tiempo} (VAC+VAN)}{\text{total tiempo}} \times 100 = 7\%$$

ANEXO 3.2 Resumen estudio de tiempos cuerpo BPH

ELEMENTOS NÚM Y DESCRIPCIÓN	1 Slitter	2 Corte	3 Doblado	4 Orejado y Nervado	5 Planchado	6 Galvanizado	7 Roscado
Resumen							
TO total	0,82	0,37	0,56	0,62	0,55	1,22	1,34
Calificación	-	-	-	-	-	-	-
TN total	0,96	0,43	0,65	0,73	0,65	1,43	1,61
Núm. de observ.	5	5	5	5	5	5	5
TN promedio	0,192	0,086	0,131	0,145	0,130	0,287	0,322
% de suplementos	33	33	33	33	33	33	33
Tiempo est. element. (TS)	0,26	0,11	0,17	0,19	0,17	0,38	0,43
Núm. Ocurrencias	1	1	1	1	1	1	1
Tiempo estándar	0,26	0,11	0,17	0,19	0,17	0,38	0,43
Tiempo estándar total							1,72

Elementos extraños		Verificación de tiempos		Resumen de suplementos			
		Tiempo terminación		10:08.48	Necesidades Personales	5	
		Tiempo inicio		10:03.00	Fatiga básica	4	
		Tiempo transcurrido		5,80	Fatiga variable	24	
		TTAS	0,12	Especial		-	
		TTAS	0,10		% de suplemento total	33	
		Tiempo total		0,00		Observaciones	
		Tiempo efectivo		5,47			
Tiempo inefectivo							
Verificación de calificación		Tiempo total registrado		5,47			
Tiempo sintético	%	Tiempo no contado		0,33			
Tiempo observado		% de error de registro		5,6%			

ANEXO 3.3 Resumen estudio de tiempos palanca

		Fecha:	03/01/2014
		Operación:	Palanca BPH
ELEMENTOS NÚM Y DESCRIPCIÓN	1	2	
	Corte	Galvanizado	
Resumen			
TO total	3,73	9,00	
Calificación	-	-	
TN total	4,14	10,44	
Núm. de observ.	48	48	
TN promedio	0,086	0,217	
% de suplementos	32	32	
Tiempo est. element. (TS)	0,11	0,29	
Núm. Ocurrencias	1	1	
Tiempo estándar	0,11	0,29	
Tiempo estándar total		0,40	
Verificación de tiempos		Resumen de suplementos	
Tiempo terminación	10:28.21	Necesidades Personales	5
Tiempo inicio	10:15.00	Fatiga básica	4
Tiempo transcurrido	13,35	Fatiga variable	23
TTAS	0,1	Especial	-
TTDS	0,3	% de suplemento total	32
Tiempo total	0,4	Observaciones	
Tiempo efectivo	12,73		
Tiempo inefectivo			
Tiempo total registrado	13,13		
Tiempo no contado	0,22		
% de error de registro	1,6%		

ANEXO 3.4 Resumen estudio de tiempos gatillo

ELEMENTOS NÚM Y DESCRIPCIÓN		1		2					
		Corte		Galvanizado					
Nota	Ciclo	C	TC	TO	TN	C	TC	TO	TN
Resumen									
TO total		7,05				11,97			
Calificación		-				-			
TN total		8,23				13,99			
Núm. de observ.		98				98			
TN promedio		0,084				0,143			
% de suplementos		31				31			
Tiempo est. element. (TS)		0,11				0,19			
Núm. Ocurrencias		1				1			
Tiempo estándar		0,11				0,19			
Tiempo estándar total						0,30			
Verificación de tiempos					Resumen de suplementos				
Tiempo terminación		10:54.41			Necesidades Personales		5		
Tiempo inicio		10:35.00			Fatiga básica		4		
Tiempo transcurrido		19,68			Fatiga variable		22		
TTAS	0,2				Especial		-		
TTDS	0,2				% de suplemento total		31		
Tiempo total		0,4			Observaciones				
Tiempo efectivo		19,02							
Tiempo inefectivo									
Tiempo total registrado		19,42							
Tiempo no contado		0,26							
% de error de registro		1,3%							

ANEXO 3.5 Resumen estudio de tiempos seguro

		Fecha: 03/01/2014			
		Operación: Seguro BPH			
ELEMENTOS NÚM Y DESCRIPCIÓN	1	2	3	4	
	Slitter	Corte	Doblado	Galvanizado	
Resumen					
TO total	3,10	3,77	6,58	3,06	
Calificación	-	-	-	-	
TN total	3,63	4,35	7,57	3,56	
Núm. de observ.	59	59	59	59	
TN promedio	0,062	0,074	0,128	0,060	
% de suplementos	30	30	30	30	
Tiempo est. element. (TS)	0,08	0,10	0,17	0,08	
Núm. Ocurrencias	1	1	1	1	
Tiempo estándar	0,08	0,10	0,17	0,08	
Tiempo estándar total				0,42	
Elementos extraños		Verificación de tiempos		Resumen de suplementos	
		Tiempo terminación		Necesidades Personales	
		11:17.20		5	
		Tiempo inicio		Fatiga básica	
		11:00.0		4	
		Tiempo transcurrido		Fatiga variable	
		17,33		21	
		TTAS		Especial	
		0,3		-	
		TTDS		% de suplemento total	
		0,2		30	
		Tiempo total		Observaciones	
		0,5			
		Tiempo efectivo			
		16,51			
		Tiempo inefectivo			
Verificación de calificación		Tiempo total registrado		17,01	
Tiempo sintético		Tiempo no contado		0,32	
Tiempo observado		% de error de registro		1,8%	

ANEXO 3.6 Resumen estudio de tiempos porta resorte

			Fecha:	03/01/2014	
			Operación:	Porta Resorte BPH	
ELEMENTOS NÚM Y DESCRIPCIÓN	1	2	3	4	
	Slitter	Corte	Doblado	Galvanizado	
Resumen					
TO total	2,72	2,21	3,89	2,46	
Calificación	-	-	-	-	
TN total	3,10	2,52	4,48	2,83	
Núm. de observ.	36	36	36	36	
TN promedio	0,086	0,070	0,124	0,079	
% de suplementos	32	32	32	32	
Tiempo est. element. (TS)	0,11	0,09	0,16	0,10	
Núm. Ocurrencias	1	1	1	1	
Tiempo estándar	0,11	0,09	0,16	0,10	
Tiempo estándar total				0,47	
Elementos extraños	Verificación de tiempos		Resumen de suplementos		
	Tiempo terminación		14:58.22	Necesidades Personales	5
	Tiempo inicio		14:45.00	Fatiga básica	4
	Tiempo transcurrido		14,36	Fatiga variable	23
	TTAS	0,1		Especial	-
	TTAS	0,2		% de suplemento total	32
	Tiempo total		0,3	Observaciones	
	Tiempo efectivo		11,28		
	Tiempo inefectivo				
Verificación de calificación	Tiempo total registrado		11,58		
Tiempo sintético	%	Tiempo no contado		2,78	
Tiempo observado		% de error de registro		0,19	

ANEXO 3.7 Resumen estudio de tiempos resorte

		Fecha: 03/01/2014		
		Operación: Resorte BPH		
ELEMENTOS NÚM Y DESCRIPCIÓN	1	2	3	
	Conformado y corte	Esmerilado	Templado	
Resumen				
TO total	5,84	2,68	2,86	
Calificación	-	-	-	
TN total	6,79	3,14	3,32	
Núm. de observ.	33	33	33	
TN promedio	0,206	0,095	0,101	
% de suplementos	23	23	23	
Tiempo est. element. (TS)	0,25	0,12	0,12	
Núm. Ocurrencias	1	1	1	
Tiempo estándar	0,25	0,12	0,12	
Tiempo estándar total			0,49	
Elementos extraños	Verificación de tiempos		Resumen de suplementos	
	Tiempo terminación	14:43.03	Necesidades Personales	5
	Tiempo inicio	14:31.00	Fatiga básica	4
	Tiempo transcurrido	12,05	Fatiga variable	14
	TTAS	0,3	Especial	-
	TTDS	0,2	% de suplemento total	23
	Tiempo total	0,5	Observaciones	
	Tiempo efectivo	11,38		
Tiempo inefectivo				
Verificación de calificación	Tiempo total registrado	11,88		
Tiempo sintético	Tiempo no contado	0,17		
Tiempo observado	% de error de registro	1,4%		

ANEXO 3.8 Resumen estudio de tiempos ensamble

ELEMENTOS NÚM Y DESCRIPCIÓN		1				2				3				4				5				5				6				7				8				9					
		Unir el gatillo al seguro				Embocinado gatillo				Embocinado palanca				Unir la palanca y gatillo al cuerpo				Remache				Unir porta resorte al resorte				Unir el porta resorte al cuerpo				Remache				Revisar				Engrasar y Empacar					
Nota	Ciclo	C	TC	TO	TN	C	TC	TO	TN	C	TC	TO	TN	C	TC	TO	TN	C	TC	TO	TN	C	TC	TO	TN	C	TC	TO	TN	C	TC	TO	TN	C	TC	TO	TN						
	1	116		27	313	116		28	325	116		25	290	116		27	313	113		30	339	116		23	267	113		30	339	113		73	825	113		24	271	113		24	271		
Resumen																																											
TO total		0,27				0,28				0,25				0,27				0,30				0,23				0,30				0,73				0,24				0,24					
Calificación		-				-				-				-				-				-				-				-				-									
TN total		0,31				0,32				0,29				0,31				0,34				0,27				0,34				0,82				0,27				0,27					
Núm. de observ.		1				1				1				1				2				1				1				1				1				1					
TN promedio		0,313				0,325				0,290				0,313				0,170				0,267				0,339				0,825				0,271				0,271					
% de suplementos		33				33				33				33				34				33				33				33				33				33					
Tiempo est. element. (TS)		0,42				0,43				0,39				0,42				0,23				0,35				0,45				1,10				0,36				0,36					
Núm. Ocurrencias		1				1				1				1				2				1				1				1				1				1					
Tiempo estándar		0,42				0,43				0,39				0,42				0,23				0,35				0,45				1,10				0,36				0,36					
																																					Tiempo estándar total	4,50					
Elementos extraños																		Verificación de tiempos												Resumen de suplementos													
																		Tiempo terminación						10:06.04						Necesidades Personales				5									
																		Tiempo inicio						10:03.00						Fatiga básica				4									
																		Tiempo transcurrido						3,07						Fatiga variable				24									
																		TTAS						0,12						Especial				-									
																		TTAS						0,10						% de suplemento total				33									
																		Tiempo total						0,22						Observaciones													
																		Tiempo efectivo						3,11																			
																		Tiempo inefectivo																									
Verificación de calificación																		Tiempo total registrado						3,33																			
Tiempo sintético																								Tiempo no contado						-0,26													
Tiempo observado																								% de error de registro						-8,5%													

ANEXO 3.9 Error e intervalo de confianza para la proporción de defectuosos

Doblado cuerpo

n	200	
defectuosas	7	E 0,025
confianza	0,95	intervalo $0,010 \leq p \leq 0,060$
z	1,96	
p	0,035	

Nervado cuerpo

n	200	
defectuosas	30	E 0,049
confianza	0,95	intervalo $0,101 \leq p \leq 0,199$
z	1,96	
p	0,15	

Planchado cuerpo

n	200	
defectuosas	38	E 0,054
confianza	0,95	intervalo $0,136 \leq p \leq 0,244$
z	1,96	
p	0,19	

Corte seguro

n	200	
defectuosas	93	E 0,069
confianza	0,95	intervalo $0,396 \leq p \leq 0,534$
z	1,96	
p	0,47	

Corte palanca

n	200	
defectuosas	40	E 0,055
confianza	0,95	intervalo $0,145 \leq p \leq 0,255$
z	1,96	
p	0,2	

Corte gatillo

n	200	
defectuosas	30	E 0,069
confianza	0,95	intervalo $0,391 \leq p \leq 0,529$
z	1,96	
p	0,15	

Corte porta resorte

n	200	
defectuosas	28	E 0,048
confianza	0,95	intervalo $0,092 \leq p \leq 0,188$
z	1,96	
p	0,14	

Doblado porta resorte

n	200	
defectuosas	27	E 0,047
confianza	0,95	intervalo $0,088 \leq p \leq 0,182$
z	1,96	
p	0,14	

Conformado resorte

n	200	
defectuosas	68	E 0,025
confianza	0,95	intervalo $0,010 \leq p \leq 0,060$
z	1,96	
p	0,34	

Esmerilado Resorte

n	200	
defectuosas	56	E 0,062
confianza	0,95	intervalo $0,218 \leq p \leq 0,342$
z	1,96	
p	0,34	

ANEXO 3.10 Combinaciones de datos defectuosos

Seguro				
Combinación N°	Turno	Maquina N°	Operador	Defectos
1	1	1	1	6436
2	2	1	1	5030
3	1	1	2	51912
4	2	1	2	32978
5	1	1	3	6213
6	2	1	3	2236
7	1	1	4	80076
8	2	1	4	41716
9	1	1	5	5358
10	2	1	5	731
11	1	2	1	5254
12	2	2	1	955
13	1	2	2	7783
14	2	2	2	2891
15	1	2	3	2752
16	2	2	3	645
17	1	2	4	19999
18	2	2	4	15871
19	1	2	5	6516
20	2	2	5	3870
21	1	4	1	1268
22	2	4	1	1185
23	2	4	2	1462
24	1	4	2	404
25	2	4	3	3501
26	1	4	3	1935
27	2	4	4	3771
28	1	4	4	2952
29	1	4	5	2365
30	2	4	5	344

Gatillo				
Combinación N°	Turno	Maquina N°	Operador	Defectos
1	2	8	1	5966
2	1	8	1	280
3	2	8	2	4548
4	1	8	2	1832
5	2	8	3	6812
6	1	8	3	1786
7	2	9	1	15563
8	1	9	1	8846
9	2	9	2	7588
10	1	9	2	6417
11	1	9	3	4848
12	2	9	3	2651
13	1	10	1	2465
14	2	10	1	1938
15	2	10	2	654
16	1	10	2	300
17	1	10	3	2453
18	2	10	3	2383
19	2	12	1	5276
20	1	12	1	300
21	1	12	2	5388
22	2	12	2	1267
23	2	12	3	14590
24	1	12	3	12504

Cuerpo				
Combinación N°	Turno	Maquina N°	Operador	Defectos
1	1	2	1	4298
2	2	2	1	2022
3	2	2	2	21108
4	1	2	2	4468
5	1	2	3	4000
6	2	2	3	804
7	2	2	4	4439
8	1	2	4	2643
9	2	2	5	5845
10	1	2	5	3309
11	1	8	1	20593
12	2	8	1	11047
13	1	8	2	16512
14	2	8	2	5427
15	1	8	3	15080
16	2	8	3	12363
17	2	8	4	5166
18	1	8	4	1158
19	1	8	5	10893
20	2	8	5	9487
21	1	12	1	1497
22	2	12	1	676
23	2	12	2	11215
24	1	12	2	3966
25	1	12	3	8914
26	2	12	3	6546
27	2	12	4	1737
28	1	12	4	1320
29	1	12	5	1907
30	2	12	5	305

ANEXO 3.11 Variables indicadoras codificadas

SEGURO

Turno	
1	2
A	-1

Máquina		
1	2	4
B[1]	1	-1
B[2]	0	-1

Operador				
1	2	3	4	5
C[1]	1	0	0	-1
C[2]	0	1	0	-1
C[3]	0	0	1	-1
C[4]	0	0	1	-1

GATILLO

Máquina			
8	9	10	12
B[2]	0	0	-1
B[3]	0	1	-1

Operador		
1	2	3
C[1]	1	-1

CUERPO

Máquina		
2	8	12
B[1]	1	-1
B[2]	0	-1

Operador				
1	2	3	4	5
C[2]	0	1	0	-1
C[3]	0	0	1	-1
C[4]	0	0	1	-1

