



**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD APLICANDO SIX SIGMA EN  
EL SERVICIO DE REPARACIÓN DE CILINDROS HIDRÁULICOS  
EN UNA EMPRESA METAL-MECÁNICA**

**PRESENTADA POR  
CHRISTIAN ABDUL INGAR MEDINA**

**TESIS**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO INDUSTRIAL**

**LIMA – PERÚ**

**2016**



**Reconocimiento - No comercial - Compartir igual  
CC BY-NC-SA**

El autor permite transformar (traducir, adaptar o compilar) a partir de esta obra con fines no comerciales, siempre y cuando se reconozca la autoría y las nuevas creaciones estén bajo una licencia con los mismos términos.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>



**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD APLICANDO SIX SIGMA EN  
EL SERVICIO DE REPARACIÓN DE CILINDROS HIDRÁULICOS  
EN UNA EMPRESA METAL-MECÁNICA**

**TESIS**

**PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO INDUSTRIAL**

**PRESENTADO POR:**

**INGAR MEDINA, Christian Abdul**

**LIMA-PERÚ**

**2016**

**TEMA: “MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD APLICANDO SIX SIGMA EN EL SERVICIO DE REPARACIÓN DE CILINDROS HIDRÁULICOS EN UNA EMPRESA METAL-MECÁNICA”**

La tesis la dedico a mi señora madre que me ha apoyado en todo momento de mi carrera, a mi padre que me exigió a su manera hasta el límite y al resto de mi familia. También a la familia de RECOLSA donde estoy trabajando más de cinco años lo cual me siento agradecido por ellos

# ÍNDICE

	Pág.
RESUMEN	XV
SUMMARY	XVI
INTRODUCCIÓN	XVII
CAPÍTULO I: OBJETIVOS	1
OBJETIVOS:	1
OBJETIVO GENERAL:	1
OBJETIVOS ESPECÍFICOS:	1
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	3
2. SISTEMAS HIDRÁULICOS	3
2.1. CÁLCULO DE LA FUERZA DE EMPUJE.	4
2.2. VELOCIDAD DE UN CILINDRO.	5
2.3. MANTENIMIENTO DE LOS CILINDROS HIDRÁULICOS	6
OTROS CONCEPTOS DE LOS CILINDROS HIDRÁULICOS	7
2.4 TIPOS DE CILINDROS	9
2.4.1 CILINDRO DE SIMPLE EFECTO:	9
2.4.2 CILINDRO DE DOBLE EFECTO:	10
2.4.3 CILINDROS TELESCÓPICOS:	10
2.4.4 CILINDROS DE DOS PASOS:	12
2.4.5 CILINDROS OSCILANTES:	12

2.4.6 APLICACIONES DE LOS CILINDROS HIDRÁULICOS DE LOS CLIENTES POTENCIALES	13
2.4.7 PRINCIPALES METODOLOGÍAS DE LA CALIDAD	16
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	33
3. JUSTIFICACIÓN DE LA METODOLOGÍA	33
3.1 ESTRUCTURA SIX SIGMA	35
3.2 METODOLOGÍA SIX-SIGMA	38
3.2.1 DEFINIR	38
3.2.1.1 DEFINIR EL PRODUCTO Y SERVICIO:	38
3.2.1.2 IDENTIFICAR LOS REQUISITOS DEL CLIENTE	43
3.2.1.3 COMPARAR LOS REQUISITOS CON LOS PRODUCTOS	44
3.2.1.4 DESCRIBIR EL PROCESO.	46
3.2.1.5 MEDIR DATA	54
CAPÍTULO IV: PRUEBAS Y RESULTADOS	74
4. MEJORAR EL PROCESO:	74
4.1 PRUEBA DE HIPÓTESIS	74
EJECUTANDO EL MÉTODO DE TAGUCHI:	104
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN Y APLICACIONES	109
5. APLICAR LA MEJORA:	109
5.1 APLICACIÓN DE LAS VARIABLES RECOMENDADAS	109
5.2 CONTROLAR LA MEJORA	114
5.2.1 CONTROL DE LA VARIABLE TIEMPO DE MAQUINADO DE ALOJAMIENTO DE CILINDRO	114

### 5.2.3 CONTROL DE VARIABLE DE ALIENADO DE DIÁMETRO DE VÁSTAGO126

CONCLUSIONES	135
RECOMENDACIONES	137
BIBLIOGRAFÍA	155

# TABLA DE ILUSTRACIONES

---

FIGURA 1: PARTES DE UN CILINDRO HIDRÁULICO

FIGURA 2A Y 2B: CARRERA DE EXTENSIÓN Y RETRACCIÓN DE JUEGO DE VÁSTAGO-EMBOLO

FIGURA 3: CÁLCULO DE EMPUJE POR PRESIÓN MANOMÉTRICA

FIGURA 4: CÁLCULOS PARA DISEÑO DE CILINDRO HIDRÁULICO Y SU VELOCIDAD

FOTO1: CILINDRO DUMP EX 5500 (CILINDRO DE VACIADO DE EXCAVADORA EX 5500)

IMAGEN A Y B: TRABAJO DE CILINDRO HIDRÁULICO DE SIMPLE EFECTO

FOTO 2: CILINDRO BOOM EX 5500 (CILINDRO DE AGUILÓN DE EXCAVADORA EX 5500)

IMAGEN 1: FUNCIONAMIENTO DE UN CILINDRO TELESCÓPICO

IMAGEN 2: CILINDRO DE GIRO

FOTO 3: UBICACIÓN DE LOS CILINDROS HIDRÁULICOS BOOM, ARM Y BUCKET EX 5500

IMAGEN 3: UBICACIÓN DE LOS CILINDROS HIDRÁULICOS BOOM, ARM Y BUCKET EX 2500

FOTO 4: UBICACIÓN DE CILINDRO DE INCLINACIÓN D10R EN BULLDOZER

FOTO 5: UBICACIÓN DE CILINDRO DE INCLINACIÓN CAT 844 EN BULLDOZER

FOTO 6: UBICACIÓN DE CILINDRO DE INCLINACIÓN CAT D10R EN UN TRACTOR DE RUEDAS

IMAGEN 4: MODELO PDCA/PHVA DE AUTOCONTROL APLICABLE A LOS PROCESOS DE LA EMPRESA

CUADRO 1: APLICACIÓN DE CÍRCULO DE DEMING

IMAGEN 5: ESTRUCTURA DE LA METODOLOGÍA KAIZEN

IMAGEN 6: ESQUEMA DEL PROCESO DE LA METODOLOGÍA POKA YOKE

IMAGEN 7: DIAGRAMA DE FLUJO

IMAGEN 8: DIAGRAMA CAUSA-EFECTO

IMAGEN 9: DIAGRAMA DE PARETO

IMAGEN 10: HISTOGRAMA

IMAGEN 11: GRÁFICA DE CORRIDA

IMAGEN 12: GRÁFICA DE CONTROL

IMAGEN 13: DIAGRAMA DE DISPERSIÓN

IMAGEN 14: MODELO DE REGRESIÓN

IMAGEN 15: GRÁFICA DE SIX SIGMA

GRÁFICO 1: NIVEL DE UTILIZACIÓN DE LA METODOLOGÍA SIX SIGMA EN  
DIFERENTES SECTORES DE LAS EMPRESAS

GRÁFICO 2: COMPARACIÓN DE LAS METODOLOGÍAS DE CALIDAD

GRÁFICO 3: GRÁFICO DE COMPARACIÓN DE LAS METODOLOGÍAS DE  
CALIDAD

ESTRUCTURA 1: ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL DEL EQUIPO SIX  
SIGMA

GRÁFICO 4: COSTOS DE RE-PROCESO DE LOS CILINDROS  
HIDRÁULICOS

GRÁFICO 4A: EFICIENCIA DE MAQUINADO EN LA REPARACIÓN DE LOS  
CILINDROS HIDRÁULICOS

GRÁFICO 4B: EFICIENCIA DE SOLDADURA EN LA REPARACIÓN DE LOS  
CILINDROS HIDRÁULICOS

GRÁFICO 4C: EFICIENCIA DE RECTIFICADO EN LA REPARACIÓN DE LOS CILINDROS HIDRÁULICOS

GRÁFICO 4D: EFICIENCIA DE CROMO EN LA REPARACIÓN DE LOS CILINDROS HIDRÁULICOS

TABLA 1: CÁLCULO SIX- SIGMA EN LA EMPRESA EN ESTUDIO

GRÁFICO 5: CARTA DE PARETO DE LOS REQUERIMIENTOS DEL CLIENTE

CUADRO 2: CLASIFICACIONES CRÍTICAS DE LA CALIDAD

IMAGEN 16: RESULTADO DE LOS COSTOS DE LA MALA CALIDAD DE LA EMPRESA

IMAGEN 17: DIAGRAMA SIPOC

CUADRO 3: MATRIZ AMEF DE LAS ACTIVIDADES DE PROCESOS DE REPARACIÓN

GRÁFICO 6: FRECUENCIA DE ÓRDENES RETRASADAS POR CLIENTE EN EL AÑO 2013

GRÁFICO 7: FRECUENCIA DE ÓRDENES RETRASADAS POR MODELO DE EQUIPO EN EL AÑO 2013

CUADRO 4: DATA DE CUMPLIMIENTO CON EL CLIENTE EN LA REPARACIÓN DE LOS CILINDROS HIDRÁULICOS DE DIRECCIÓN LETOURNEAU

GRÁFICO 8: TEST DE NORMALIDAD DE LOS DATOS DE TIEMPO DE REPARACIÓN DE LOS CILINDRO DE DIRECCIÓN DE LETOURNEAU

GRÁFICO 9: ANÁLISIS DE CAPACIDAD DEL CUMPLIMIENTO DE REPARACIÓN DE LOS CILINDRO DE DIRECCIÓN DE LETOURNEAU

CUADRO 5: FRECUENCIA DE DEFECTOS REALIZADOS EN LOS AÑOS 2012 AL 2014 DE LOS CILINDROS DE DIRECCIÓN DE LETOURNEAU

GRÁFICO 10: DIAGRAMA DE PARETO DE LOS DEFECTOS EN EL PROCESO DE REPARACIÓN DE LOS EQUIPOS CRÍTICOS

DIAGRAMA 1: ESQUEMA DE ISHIKAWA

GRÁFICO 10-1: DATOS DE LA COMPETENCIA Y DE LA EMPRESA EN ESTUDIO

GRÁFICO 10-2: ELABORACIÓN PROPIA CON LOS DATOS DE LA COMPETENCIA Y DE LA EMPRESA EN ESTUDIO

CUADRO 5-A: ÍNDICES DE LA SEGUNDA CASA DE LA CALIDAD

GRÁFICO 10-3: RESULTADOS DE LA ENCUESTA DE LA SEGUNDA CASA DADO POR EL ÁREA DE HIDRÁULICA

CUADRO 5-B: ÍNDICES DE LA TERCERA CASA

GRÁFICO 10-4: RESULTADOS DE LA ENCUESTA EN LA TERCERA CASA DADO POR EL ÁREA DE HIDRÁULICA

CUADRO 5-C: ÍNDICES DE LA CUARTA CASA

GRAFICO 10-5: RESULTADOS DE LA ENCUESTA DE LA CUARTA CASA DADO POR EL ÁREA DE HIDRÁULICA

CUADRO 6: DATA DE TIEMPO DE MAQUINADO DE ALOJAMIENTO DE HORQUILLA DE CILINDRO DE LOS DIFERENTES OPERARIOS

CUADRO 6-A: DATA DE TIEMPO DE MAQUINADO DE ALOJAMIENTO DE HORQUILLA DE VÁSTAGO DE LOS DIFERENTES OPERAIOS

DIAGRAMA 2: DATA DE TIEMPO DE MAQUINADO DE HORQUILLA DE CILINDRO Y VÁSTAGO

CUADRO 7: DATA DE TIEMPO DE MAQUINADO DE DEMORA DE MATERIAL EN LOS DIFERENTES LOTES

DIAGRAMA 3: FLUJO DE LLEGADA DE MATERIAL

CUADRO 8: DATA DE TIEMPO DE SOLICITUD DE PLANO EN LOS DIFERENTES LOTES

CUADRO 9: DATA DE TEMPERATURA (°C) DE RELLENADO DE ALOJAMIENTO DE HORQUILLA DE VÁSTAGO Y CILINDRO EN LAS DIFERENTES MÁQUINAS SOLDADORAS

CUADRO 10: DATA DE ALINEAMIENTO DE VÁSTAGO

GRÁFICO 10: PRUEBA DE NORMALIDAD DEL TIEMPO DE MAQUINADO DE ALOJAMIENTO DE CILINDRO.

CUADRO 11: CUADRO DE INTERVALOS DE DESVIACIONES STANDARD

GRÁFICO 11: HOMOGENEIDAD DE VARIANZAS DE TIEMPO DE MAQUINADO DE ALOJAMIENTO DE HORQUILLA DE CILINDRO

GRÁFICO 10-A: PRUEBA DE NORMALIDAD DEL TIEMPO DE MAQUINADO DE ALOJAMIENTO DE VÁSTAGO.

CUADRO 11-A: CUADRO DE INTERVALOS DE DESVIACIONES STANDARD

GRÁFICO 11-B: HOMOGENEIDAD DE VARIANZAS DE TIEMPO DE MAQUINADO DE ALOJAMIENTO DE HORQUILLA DE VÁSTAGO

GRÁFICO 12: PRUEBA DE NORMALIDAD DEL TIEMPO EN QUE DEMORA DE MATERIAL

CUADRO 12: CUADRO DE INTERVALOS DE DESVIACIONES STANDARD

GRÁFICO 13: HOMOGENEIDAD DE VARIANZAS DE TIEMPO EN QUE DEMORA DE MATERIAL

GRÁFICO 14: PRUEBA DE NORMALIDAD DEL TIEMPO DE SOLICITUD DEL PLANO

CUADRO 13: CUADRO DE INTERVALOS DE DESVIACIONES STANDARD DEL TIEMPO DE SOLICITUD DEL PLANO

GRÁFICO 15: HOMOGENEIDAD DE VARIANZAS DE TIEMPO DE SOLICITUD DE PLANO

GRÁFICO 16: PRUEBA DE NORMALIDAD DE TEMPERATURA DE PROCESO DE RELLENADO DE ALOJAMIENTO DE CILINDRO Y VÁSTAGO

CUADRO 14: CUADRO DE INTERVALOS DE DESVIACIONES STANDARD DE LA TEMPERATURA PARA EL PROCESO DE RELLENADO

GRÁFICO 17: HOMOGENEIDAD DE VARIANZAS DE TEMPERATURA PARA EL PROCESO DE RELLENADO

GRÁFICO 18: PRUEBA DE NORMALIDAD DE ALINEAMIENTO DE VÁSTAGO

CUADRO 15: CUADRO DE INTERVALOS DE DESVIACIONES STANDARD DE ALINEAMIENTO DE VÁSTAGO

GRÁFICO 19: IGUALDAD U HOMOGENEIDAD DE VARIANZAS DE ALINEAMIENTO DE VÁSTAGO

GRÁFICO 20: DIAGRAMA DE CAJAS DE TIEMPO PROMEDIO ENTRE TRES OPERARIOS (OP) DE LA PLANTA

GRÁFICO 20-A: DIAGRAMA DE CAJAS DE TIEMPO PROMEDIO ENTRE TRES OPERARIOS (OP) DE LA PLANTA

GRÁFICO 21: CAJAS DE TIEMPO EN QUE DEMORA DEL MATERIAL EN LOS ÚLTIMOS CUATRO MESES

GRÁFICO 22: CAJAS DE TIEMPO DE SOLICITUD DE PLANO EN LOS DIFERENTES TIPOS DE NIVELES

GRÁFICO 23: CAJAS DE TIEMPO DE TEMPERATURA DE RELLENADO DE ALOJAMIENTO DE HORQUILLA DE CILINDRO Y VÁSTAGO

GRÁFICO 24: CAJAS DE ALINEAMIENTO DE VÁSTAGO

IMAGEN DP: ESQUEMA DE METODOLOGÍA Y TÉCNICAS

CUADRO MT1: DATA DE LA EMPRESA APLICANDO MINITAB 15

CUADRO MT2: RESULTADOS DE LA DATA DE LA EMPRESA APLICANDO MINITAB 15

CUADRO MT3: RESULTADOS DE LA DATA DE LA EMPRESA APLICANDO MINITAB 15

GRÁFICO MT4: NIVELES RECOMENDADOS LA DATA DE LA EMPRESA APLICANDO MINITAB 15

CUADRO MT4: NIVELES DE CUMPLIMIENTO PARA LA SIMULACIÓN DE LA MEJORA

GRÁFICA MT2: PRUEBA DE NORMALIDAD DE CUMPLIMIENTO MEJORADO

GRÁFICA MT3: FUENTE ELABORACIÓN PROPIA CON LOS DATOS DE LA EMPRESA APLICANDO MINITAB 15

TABLA 2: CÁLCULO SIX- SIGMA CON LA MEJORA ESTABLECIDA

IMAGEN 18: MEJORA EN LOS COSTOS DE LA MALA CALIDAD APLICANDO LA MEJORA

GRÁFICO R: SIMULACIÓN DE DATOS DE COSTOS DE RE-PROCESOS APLICANDO LA MEJORA

CUADRO MT5: SIMULACIÓN DE DATOS APLICANDO LA MEJORA

GRÁFICO MT4: SIMULACIÓN DE DATOS DEL PROCESO DE MAQUINADO DE ALOJAMIENTO DE HORQUILLA DE CILINDRO

GRÁFICO MT5: SIMULACIÓN DE DATOS DEL PROCESO DE MAQUINADO DE ALOJAMIENTO DE HORQUILLA DE CILINDRO EN GRAFICOS DE CONTROL

GRÁFICO MT6: SIMULACIÓN DE DATOS DEL PROCESO DE MAQUINADO DE ALOJAMIENTO DE HORQUILLA DE CILINDRO (CAPACIDAD DEL PROCESO)

CUADRO MT6: SIMULACIÓN DE DATOS APLICANDO LA MEJORA

GRÁFICO MT7: TEST DE NORMALIDAD EN LA SIMULACIÓN DE DATOS DEL PROCESO DE MAQUINADO DE ALOJAMIENTO DE HORQUILLA DE VÁSTAGO

GRÁFICO MT8: SIMULACIÓN DE DATOS DEL PROCESO DE MAQUINADO DE ALOJAMIENTO DE HORQUILLA DE VÁSTAGO

GRÁFICO MT9: SIMULACIÓN DE DATOS DEL PROCESO DE MAQUINADO DE ALOJAMIENTO DE HORQUILLA DE VÁSTAGO (CAPACIDAD DE PROCESO)

CUADRO MT7: SIMULACIÓN DE DATOS APLICANDO LA MEJORA EN EL AÑO 2015

GRÁFICO MT10: TEST DE NORMALIDAD EN LA SIMULACIÓN DE DATOS DE TIEMPO DE LLEGADA DE MATERIAL

GRÁFICO MT11: SIMULACIÓN DE DATOS DE TIEMPO DE DEMORA EN QUE MATERIAL

GRÁFICO MT12: CAPACIDAD DE PROCESOS DE LA SIMULACIÓN DE DATOS DE TIEMPO DE LLEGADA DE MATERIAL

CUADRO MT8: SIMULACIÓN DE DATOS APLICANDO LA MEJORA EN EL AÑO 2015

GRÁFICO MT13: TEST DE NORMALIDAD EN LA SIMULACIÓN DE DATOS TEMPERATURA DE RELLENADO

GRÁFICO MT14: SIMULACIÓN EN CARTAS DE CONTROL DE DATOS DE TEMPERATURA DE RELLENADO EN LOS MESES DE MARZO A OCTUBRE 2015

GRÁFICO MT15: SIMULACIÓN DE CAPACIDAD DE PROCESO DE DATOS DE TEMPERATURA DE RELLENADO EN LOS MESES DE MARZO A OCTUBRE 2015

CUADRO MT9: SIMULACIÓN DE DATOS APLICANDO LA MEJORA EN LA VARIABLE DE ALINEAMIENTO DE VÁSTAGO EN EL AÑO 2015

GRÁFICO MT16: SIMULACIÓN DE NORMALIDAD DE DATOS DE ALINEAMIENTO EN LOS MESES DE MARZO A OCTUBRE 2015

GRÁFICO MT17: SIMULACIÓN DE NORMALIDAD DE DATOS DE ALINEAMIENTO EN LOS MESES DE MARZO A OCTUBRE 2015

GRÁFICO MT18: SIMULACIÓN DE NORMALIDAD DE DATOS DE ALINEAMIENTO EN LOS MESES DE MARZO A OCTUBRE 2015

GRÁFICO HM1: SIMULACIÓN DE MEJORA EN LA EFICIENCIA DE TORNO MAQUINADO EN LOS SIGUIENTES 4 AÑOS

GRÁFICO HM2: SIMULACIÓN DE MEJORA EN LA EFICIENCIA DE TORNO MAQUINADO EN LOS SIGUIENTES 4 AÑOS

GRÁFICO HM3: SIMULACIÓN DE MEJORA EN LA EFICIENCIA DEL ÁREA DE SOLDADURA EN LOS SIGUIENTES 4 AÑOS

GRAFICO HM4: SIMULACION DE MEJORA EN LA EFICIENCIA DEL ÁREA DE RECTIFICADO EN LOS SIGUIENTES 4 AÑOS

INFORME 2: FLUJO ECONÓMICO DE LA INVERSIÓN DESPUÉS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA MEJORA

TABLA DE ANX 1: ESTUDIO DE TIEMPOS DEL PROCESO DE MAQUINADO DE ALOJAMIENTO DE CILINDRO

TABLA ANX2: RESUMEN DE TIEMPOS STANDAR

## RESUMEN

---

La empresa RECOLSA tiene entre sus servicios la reparación de cilindros hidráulicos, en este rubro se está presentando un grave problema en el cumplimiento con el cliente lo cual genera como consecuencia la insatisfacción y reclamo del mismo.

El objetivo de este proyecto es mejorar el cumplimiento con el cliente con la finalidad de mantener al cliente en nuestros servicios y aumentar la cartera de los mismos.

RECOLSA es una empresa de manufactura, por lo tanto se optó por utilizar la metodología SIX SIGMA, con el fin de mejorar determinadas etapas en el proceso de reparación de los cilindros hidráulicos. También se midió el índice actual del cumplimiento en donde su capacidad de reparación era baja según la condición de capacidad de los procesos.

Luego se realizó un análisis de causas (variables) que afectaban al índice de cumplimiento con el cliente. Se determinó las variables significativas aplicando ANOVA, después se optó por realizar un diseño de experimentos empleando el método de TAGUCHI con el cual se determinó los niveles de mejoras en los procesos de reparación. Una vez establecido dichos niveles; la capacidad de proceso con respecto a la reparación de los cilindros hidráulicos ha mejorado notablemente teniendo como consecuencia la reducción de los costos en la mala calidad del producto o servicio.

# SUMMARY

---

RECOLSA company has among its services the repair of hydraulic cylinders in this category is presenting a serious problem in complying with the customer which generates dissatisfaction in customer complaints.

The goal this project is improves the grade customer satisfaction for keep in our services and expands the customer case.

RECOLSA is a manufacturing company, so it was decided to implement the SIX SIGMA methodology for improve some stages in the repair process of hydraulic cylinders. Then measured the actual grade complying this resulted that the repair ability is low according with the process ability rules.

Then a cause analysis was conducted to variables affecting index performed complying with the customer. Then the significant variables were determined using ANAVA also made an experiments design using TAGUCHI method this determined the levels improve in the repair process. Once established levels so the ability process about the hydraulic cylinders repair has improved significantly and results in the reduction in the bad quality cost in the product or service.

# INTRODUCCIÓN

---

RECOLSA una empresa dedicada a la reparación de cilindros hidráulicos de maquinaria pesada para el rubro minero, petrolero y otras industrias.

El título de “Mejoramiento de la calidad en la reparación de los cilindros hidráulicos” se eligió debido a los problemas suscitados con el bajo índice en el cumplimiento que tenemos con nuestros clientes en la reparación de estos equipos el cual se debe a los re-procesos que se han suscitado durante las etapas en la reparación de estos.

.Estos re-procesos se han debido a las diversas ineficiencias del personal de determinadas áreas.

El objetivo de la tesis es reducir el índice de re-procesos mejorando la eficiencia en los sectores más críticos de la planta que se encargan de la reparación de los cilindros hidráulicos debido a la cual está afectando la calidad de dicho trabajo, así como también en el cumplimiento en los tiempos de reparación acordada con el cliente, dando como resultado el incremento en la insatisfacción de este(os).

En este proyecto no se tomará en cuenta el estado de ánimo de los operarios ya que ellos están con una adecuada capacitación como también las especificaciones técnicas ya que contamos con una data.

# CAPÍTULO I: OBJETIVOS

---

## **Objetivos:**

### **Objetivo general:**

Reducir el índice de re-procesos con respecto a la calidad de reparación de los cilindros hidráulicos.

### **Objetivos específicos:**

- Analizar y Establecer una metodología adecuada para la solución del problema (re-procesos).
  
- Analizar los procedimientos actuales en las diferentes secciones (maquinado, soldadura, cromo y rectificado) de la planta en la reparación de los cilindros hidráulicos para detectar la falla.
  
- Mejorar los niveles de las variables en los procesos de la reparación de los cilindros hidráulicos.
  
- Mejorar el actual procedimiento (procesos de reparación de cada área de la planta) de reparación y el armado de los equipos para reducir al mínimo los defectos.

- Organizar un sistema de control de mejoras de los procesos de reparación, para evitar los re-trabajos.
  
- Comparar los resultados actuales con los resultados de la mejora.
  
- Comparar los resultados financieros.
  
- Adiestrar y concientizar al personal de producción acerca de los beneficios del uso y manejo de los sistemas de ruteo (hoja de ruta).

# CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

---

## 2. Sistemas Hidráulicos

En los sistemas hidráulicos la energía es transmitida a través de tuberías. Esta energía es función del caudal del aceite que circula en el sistema.

El cilindro es el dispositivo frecuentemente utilizado para conversión de la energía antes mencionada en energía mecánica.

La presión del fluido determina la fuerza de empuje de un cilindro, el caudal del aceite es quien establece la velocidad de desplazamiento del mismo. La combinación de fuerza y recorrido produce trabajo, y cuando este trabajo es realizado en un determinado tiempo produce potencia. Ocasionalmente a los cilindros se los llama "motores lineales".

En la figura 1, vemos un corte esquemático de un cilindro típico. Este es denominado de doble efecto por que realiza ambas carreras por la acción del fluido (extiende y retrae el vástago por acción del embolo).

Las partes esenciales del trabajo del cilindro son:

- 1) La camisa cilíndrica encerrada entre dos cabezales,
- 2) El pistón con sus guarniciones, y
- 3) El vástago con su buje y guarnición.

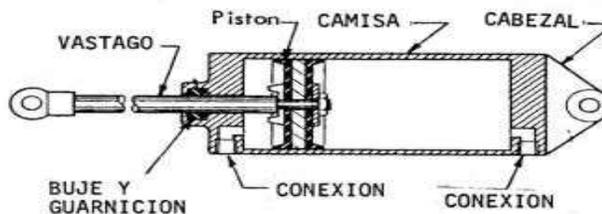


FIGURA 1: PARTES DE UN CILINDRO HIDRÁULICO

## 2.1. Cálculo de la fuerza de empuje.

Las figuras 2A y 2B son vistas en corte de un pistón y vástago trabajando dentro de la camisa de un cilindro. El fluido actuando sobre la cara anterior o posterior del pistón provoca el desplazamiento de este a largo de la camisa y transmite su movimiento hacia afuera a través del vástago.

El desplazamiento hacia adelante y atrás del cilindro se llama "**carrera**". La carrera de empuje se observa en la, Figura 2A y la de tracción o retracción en la Figura 2B.

La presión ejercida por el aire comprimido o el fluido hidráulico sobre el pistón se manifiesta sobre cada unidad de superficie del mismo como se ilustra en la figura 3.

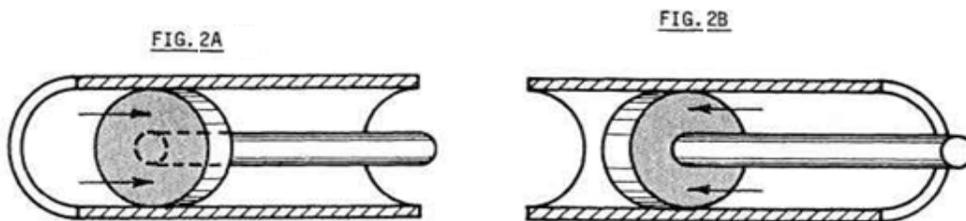


FIGURA 2A Y 2B: CARRERA DE EXTENSIÓN Y RETRACCIÓN DE JUEGO DE VÁSTAGO-EMBOLO

Si nuestro manómetro indica en Kg./cm<sup>2</sup>, la regla para hallar la fuerza total de empuje de un determinado cilindro es: "**El empuje es igual a la presión manométrica multiplicada por la superficie total del pistón**".

$$F \text{ (Kg.)} = P \text{ (Kg./cm}^2\text{)} \times A \text{ (cm}^2\text{)}$$

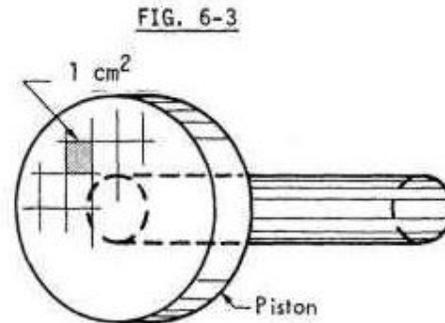


FIGURA 3: CÁLCULO DE EMPUJE POR PRESIÓN MANOMÉTRICA

Importante: La fuerza de retracción del pistón de la figura 6-2B está dada por la presión multiplicada por el área "neta" del pistón. El área neta es el área total del pistón menos el área del vástago.

## 2.2. Velocidad de un cilindro.

La velocidad de desplazamiento de un cilindro hidráulico es fácil de calcular si se emplea una bomba de desplazamiento positivo (bomba que administra aceite).

En la figura 4 mostramos un ejemplo típico, con un caudal de 40 litros por minuto ingresando al cilindro.

El área del pistón es de 78 cm<sup>2</sup>, para encontrar la velocidad de desplazamiento primero convertiremos los litros en cm<sup>3</sup> por minuto es decir: 40 x 1000 = 40.000 cm<sup>3</sup>/min.

Luego dividimos este valor por el área del pistón obteniendo la velocidad:

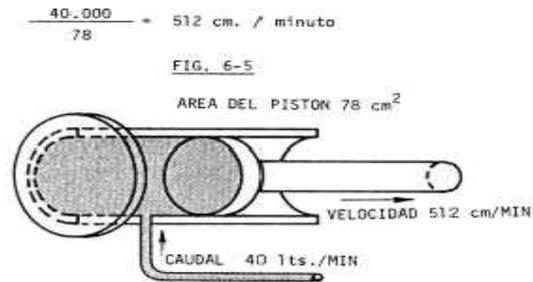


FIGURA 4: CÁLCULOS PARA DISEÑO DE CILINDRO HIDRÁULICO Y SU VELOCIDAD

### 2.3. Mantenimiento de los cilindros hidráulicos

Principios básicos para el mantenimiento de un cilindro hidráulico y así evitar incidencias y averías:

- Lubricar con aceite hidráulico limpio las juntas, conectores y racores antes de usarlos.
- Comprobar la presión de funcionamiento del circuito hidráulico para evitar sobre presiones.
- Comprobar el apriete de los conectores hidráulicos del cilindro para evitar fugas.
- Comprobar los soportes de los cilindros, tanto en holgura como en alineación.
- Limpiar la suciedad del vástago, usando fuelles en instalaciones en zonas de polvo o suciedad alta.
- Mantener el aceite hidráulico en perfectas condiciones ayuda en gran medida a la conservación de todos los elementos de una Instalación hidráulica.
- Comprobar que la superficie cromada del vástago esté en buenas condiciones.

- Realizar un bruñido adecuado del tubo del cilindro (adecuado acabado superficial).
- Inspeccionar y evaluar la metrología de los componentes del cilindro hidráulico.
- Comprobar que el material, el estado y adecuada calibración de los sellos y guías del embolo, tapa y vástago sea los indicados.

#### Otros conceptos de los cilindros hidráulicos

Son aquellos dispositivos que funcionan por medio de la interacción de líquidos o fluidos como el aceite hidráulico generando energía mecánica. Estos tipos de cilindros trabajan con una presión de 2500 PSI a más dependiendo del modelo de dicho dispositivo.

Estos cilindros sirven para realizar esfuerzos importantes y hacen movimientos lineales y lentos dependiendo el trabajo a realizar como por ejemplo excavar, romper, perforar, levantar, inclinar, etc.

Un cilindro hidráulico está compuesto por:

- Tubo (camisa cilíndrica)
- Horquilla del tubo (cumple la función de deslizarse en forma angular).
- Émbolo (pistón permite la extensión del vástago).
- Vástago (actúa por medio del embolo).
- Guías para embolo.

- Sellos de embolo (permite el fácil deslizamiento del embolo generalmente se monta en los canales de este componente).
- Tuerca de émbolo (Es un elemento de sujeción es decir que sujeta el vástago y embolo depende del modelo del equipo).
- Horquilla de vástago.
- Tapa de salida de vástago.
- Rascador de tapa (es hecho de material de poliuretano).

Los componentes mencionados anteriormente se pueden apreciar en la siguiente imagen:



FOTO1: CILINDRO DUMP<sup>1</sup> EX 5500 (CILINDRO DE VACIADO DE EXCAVADORA EX 5500)

---

<sup>1</sup> Cilindro de vaciado de excavadora

## 2.4 Tipos de cilindros

### 2.4.1 Cilindro de simple efecto:

Son aquellos cilindros que trabajan en un sólo sentido, es decir que reciben aceite en un sólo lado. Tienen una sola conexión de aceite hidráulico donde el vástago se expande y se retrae por medio de un muelle o fuerzas externas.

La forma de trabajo de este tipo de cilindro se puede apreciar en la siguiente imagen a y b:

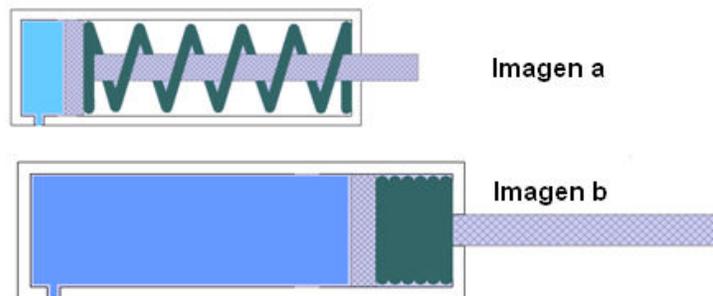


IMAGEN A Y B: TRABAJO DE CILINDRO HIDRÁULICO DE SIMPLE EFECTO

### **2.4.2 Cilindro de doble efecto:**

Es aquel dispositivo que trabaja en ambos sentidos, es decir que recibe aceite en ambos lados. Consta de dos conexiones para la alimentación de aceite; donde una sirve para extender el vástago a través del émbolo y el otro conector sirve para empujar al embolo para que el vástago se retraiga (ver foto 2: cilindro BOOM).



FOTO 2: CILINDRO BOOM<sup>2</sup> EX 5500 (CILINDRO DE AGUILÓN DE EXCAVADORA EX 5500)

### **2.4.3 Cilindros telescópicos:**

Son aquellos cilindros que están compuestos por varios cilindros ensamblados uno de tras de otro; es ideal para carreras largas. Se utiliza necesariamente en procesos de carreras largas en construcciones muy compactas (imagen 1).

---

<sup>2</sup> Cilindro de aguilón de excavadora

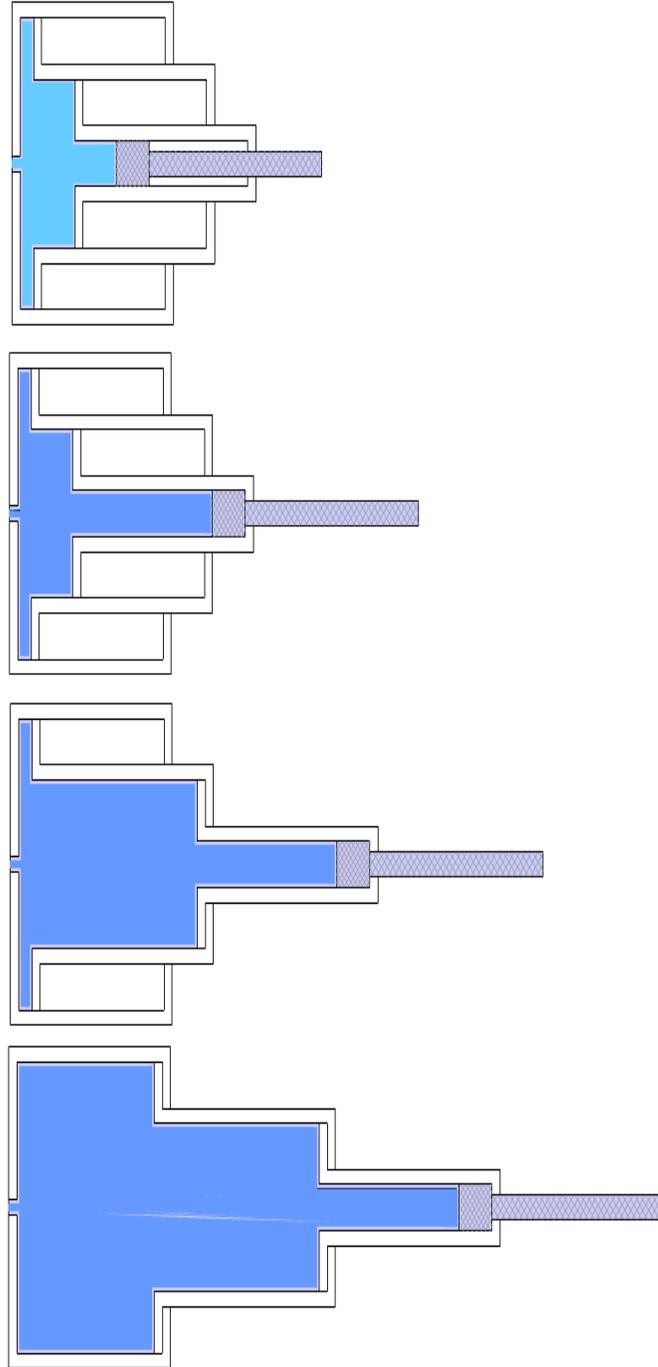


IMAGEN 1: FUNCIONAMIENTO DE UN CILINDRO TELESCÓPICO

#### **2.4.4 Cilindros de dos pasos:**

Son cilindros que se emplean cuando se requiere obtener dos velocidades:

- Una rápida.
- La otra lenta.

#### **2.4.5 Cilindros oscilantes:**

Es aquel dispositivo cuyo movimiento horizontal del embolo se transforma en movimiento giratorio. El pistón lleva cremalleras. Transmitiendo el movimiento a un piñón, el cual debe ampliar el recorrido. Se aplica en:

- Volquetes.
- Plataformas giratorias



IMAGEN 2: CILINDRO DE GIRO

## 2.4.6 Aplicaciones de los cilindros hidráulicos de los clientes potenciales

Los cilindros que repara dicha empresa metal-mecánica son:

- **ZAMINE PERU S.A.C**

**A- Cilindro hidráulico ARM EX5500:** Es un cilindro para elevar el brazo de la excavadora modelo 5500; generalmente se ubica en la parte superior del chasis del brazo. La presión de dicho cilindro es de 5000psi.

**B- Cilindro hidráulico de BOOM EX5500:** Es un dispositivo que sirve para darle articulación y fuerza de excavación con respecto a la cuchara para otro tipo de modelo de excavadora. Consta de dos rotulas una en la horquilla del vástago y la otra en la horquilla del cilindro la presión de dicho cilindro es de 5000psi.

**C- Cilindro hidráulico de BUCKET EX5500:** Es un cilindro que tiene la función de sostener el chasis del brazo mecánico de una máquina excavadora.

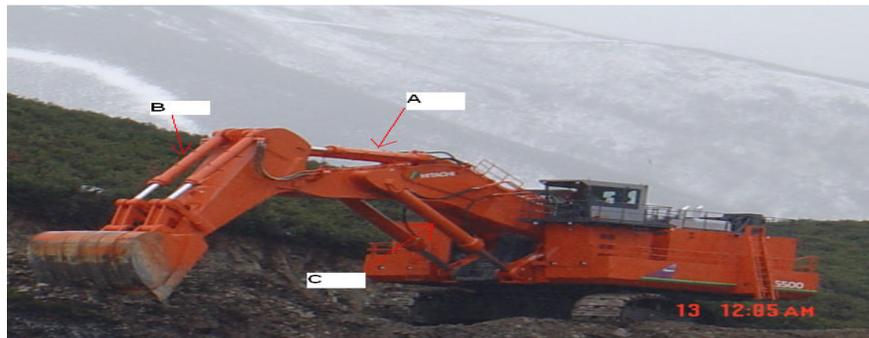


FOTO 3: UBICACIÓN DE LOS CILINDROS HIDRÁULICOS BOOM, ARM Y BUCKET EX 5500

Fuente: fotos de la empresa

**D- Cilindro hidráulico de LEVEL EX5500:** Es un cilindro con movimiento vertical- lineal su función es elevar el nivel del chasis del brazo de otro modelo de excavadora.

**E- Cilindro hidráulico de DUMP EX5500:** Es un cilindro que se encarga de darle movimiento y esfuerzo a la cuchara.

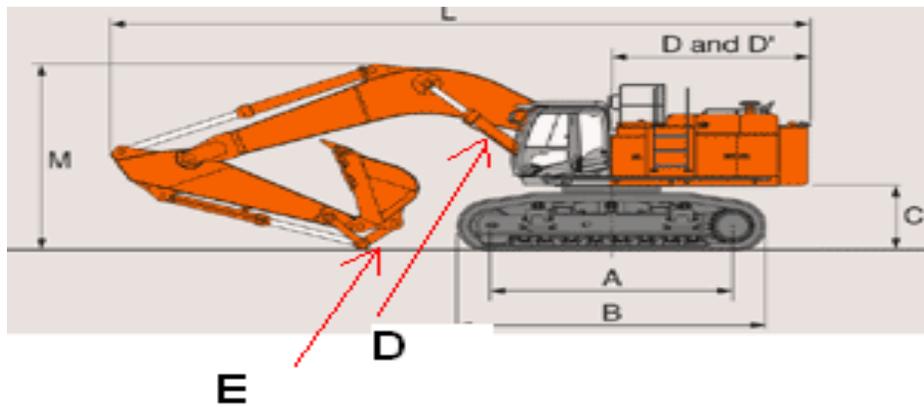


IMAGEN 3: UBICACIÓN DE LOS CILINDROS HIDRÁULICOS BOOM, ARM Y BUCKET EX 2500

**Fuente: fotos de la empresa**

- **YANACOCHA**

**A- Cilindro hidráulico inclinación D10R:** Este dispositivo se encarga de inclinar el cucharón al momento de levantar la tierra.

Trabaja a una presión máxima de 3000psi.

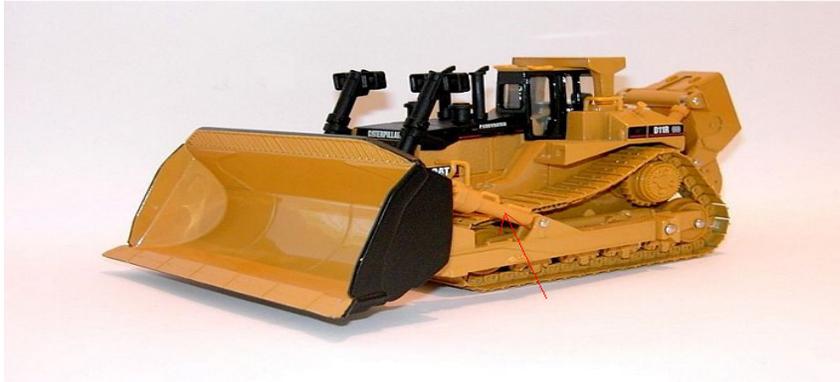


FOTO 4: UBICACIÓN DE CILINDRO DE INCLINACIÓN D10R EN BULLDOZER

**B- Cilindro hidráulico inclinación dozer CAT 844:** se encarga de inclinar la hoja para aplanar el terreno. Trabaja una presión máxima de 3150 psi.



FOTO 5: UBICACIÓN DE CILINDRO DE INCLINACIÓN CAT 844 EN BULLDOZER

**C- Cilindro hidráulico de dirección D10R:** Se encarga de direccionar la parte delantera del tractor. Trabaja a una presión máxima de 2900 psi.



FOTO 6: UBICACIÓN DE CILINDRO DE INCLINACIÓN CAT D10R EN UN TRACTOR DE RUEDAS

#### **2.4.7 Principales metodologías de la calidad**

Hay muchas maneras de definir calidad. El concepto de calidad que tiene la mayoría de las personas se relaciona con una o más de las características deseables que debería poseer un producto o servicio. Aun cuando esta comprensión conceptual es ciertamente un buen punto de partida.

La calidad se ha convertido en unos de los factores de decisión más importantes de los consumidores para elegir entre productos y servicio que compiten. El fenómeno es generalizado, sin importar si el consumidor es un individuo, una organización industrial, una tienda minorista o un programa de defensa militar .Por consiguiente, entender y mejorar la calidad es un factor clave que lleva al éxito de los negocios, al crecimiento y a una competitividad fortalecida.

La calidad mejorada y la utilización exitosa de la calidad como una parte integral de la estrategia de negocios global redundan en un retorno sobre la inversión sustancial.

En la elaboración de los productos en el área industrial involucra principalmente tres etapas: la entrada (personal, material, equipo, políticas, procedimientos, métodos y el medio ambiente), realización del producto o servicio (proceso) y la salida (brindar un servicio y/o elaboración de un producto). En dichas etapas se cometen errores que afectan la calidad del producto y/o servicio. Todos los días un defecto es creado durante un proceso (etapa), esto toma un tiempo adicional para la prueba, análisis y reparación. Estas actividades no-adicionales requieren espacio, equipo, materiales y gente.

En los procesos industriales se presenta el costo de baja calidad, ocasionado por:

- a) **Fallas internas**, de los productos defectuosos; re-trabajo y problemas en el control de materiales.
- b) **Fallas externas**, de productos regresados; garantías y penalizaciones.
- c) **Evaluaciones del producto**, debido a inspección del proceso y producto; utilización, mantenimiento y calibración de equipos de medición de los procesos y productos; auditorias de calidad y soporte de laboratorios.
- d) **Prevención de fallas**, debido al diseño del producto, pruebas de campo, capacitación a trabajadores y mejora de la calidad.

- **METODOLOGÍAS PARA EL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD**

- **CÍRCULO DE DEMING**

La filosofía de la norma también se sustenta en la plena aplicación del círculo de Deming, ver la imagen 4. Toda persona que forme parte o no de una organización debe cumplir con las tareas que le correspondan, de los cuatro cuadrantes.

Por este motivo, las organizaciones deben difundir la importancia sobre el uso de tan famoso círculo. Las tareas que contempla son:



IMAGEN 4: MODELO PDCA/PHVA DE AUTOCONTROL APLICABLE A LOS PROCESOS DE LA EMPRESA

Un ejemplo clarificador de la aplicación del círculo de Deming, se da cuando se comparan la ponderación de las tareas de los cuatro cuadrantes para dos puestos de un proyecto u obras, muy diferentes. Por ejemplo: el gerente de obra y el operario gasfitero. El cuadro N° 01, muestra las diferencias de las ponderaciones citadas:

TAREA	GERENTE DE OBRA	OPE. GASFITERO
Planificar	65 %	15 %
Hacer	15 %	60 %
Controlar	10 %	15 %
Actuar	10 %	10 %
<b>TOTAL</b>	<b>100 %</b>	<b>100 %</b>

CUADRO 1: APLICACIÓN DE CÍRCULO DE DEMING

Aun cuando el gerente de obra debe planificar más que el operario, no significa que este último no planifica, todos también deben controlar su trabajo, todos deben actuar según los resultados del mismo. Esto da más

autonomía en el trabajo, pero evidentemente requiere una mayor toma de conciencia del personal, y una cultura de calidad mucho más amplia. Es decir, se requiere una mayor formación y entrenamiento.

- METODOLOGÍA KAIZEN

Termino de origen japonés que significa KAI cambio, ZEN mejora, que aplicado a la filosofía de la calidad de occidente podemos definirlo como mejora continua y que implica a todas las estructuras de la empresa en las labores de mantenimiento e innovación, solapando estas para obtener el progreso sin necesidad de grandes inversiones.

El objetivo fundamental de esta herramienta es involucrar a toda la planilla en esa cultura de mejora continua pero especialmente a los operarios por ser los verdaderos conocedores del puesto de trabajo.

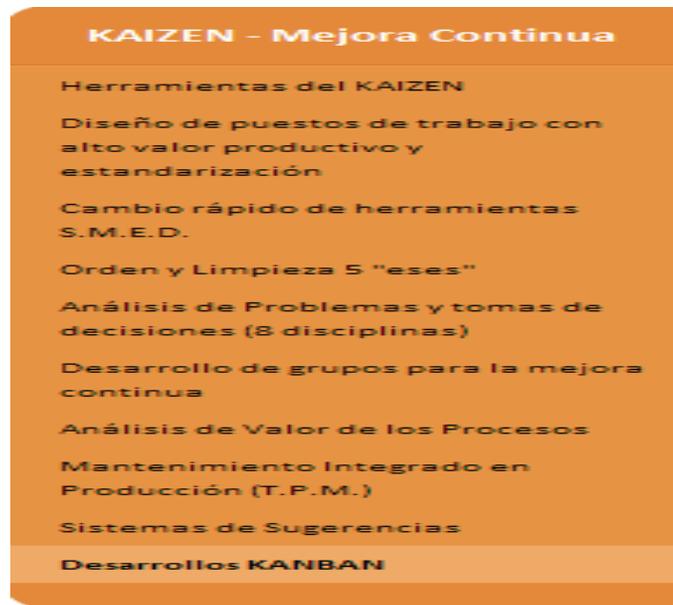


IMAGEN 5: ESTRUCTURA DE LA METODOLOGÍA KAIZEN

○ METODOLOGÍA LEAN MANUFACTURING

El Lean Manufacturing o “fabricación lean” es una metodología de trabajo cuyo objetivo es implantar la eficacia en todos los procesos del negocio, eliminando las actividades que no aportan valor añadido (denominadas “waste”), con el fin de generar beneficios tangibles para el cliente final.

La búsqueda de rentabilidad en las empresas está impulsando la implantación de esta metodología, basada en el sistema japonés del fabricante automovilístico Toyota, y cuyos principios básicos se están convirtiendo en un estándar de procedimientos operativos en muchas empresas debido a los beneficios que aporta.

Considerado por los expertos como el sistema de fabricación del siglo XXI, al igual que el de producción en masa fue el del siglo XX, e implementado junto con un buen sistema de mejora de la gestión, los principios del Lean Manufacturing han probado un historial récord de éxitos en las áreas de estrategia y gestión, que finalmente revierten en el objetivo de incrementar el valor para el usuario final.

Así, un sondeo realizado entre 40 empresas que han adoptado los principios de esta metodología destaca importantes beneficios en las áreas de operación, administración y gestión, con mejoras de hasta el 90 por ciento de reducción de tiempos en el ciclo de trabajo e incrementos del 80 por ciento en la calidad final del producto. Estas ventajas competitivas permiten no sólo reducir costes sino también ganar cuota de mercado a la competencia, que produce con tiempos más lentos, costes más altos o menor calidad.

### CINCO PRINCIPIOS DEL LEAN MANUFACTURING PARA LA FABRICACIÓN EFICAZ

**"Understanding Consumer Value"** o comprensión de lo que es valor para el cliente; el foco se externaliza desplazándose hasta el consumidor final, que es quien decide lo que es importante y le aporta valor.

**"Value Stream Analysis"** o estudio de todas las fases del proceso de producción, para determinar las que añaden valor y las que se deben cambiar o eliminar.

**"Flow"** o unificación de las fases de trabajo en un espacio único.

**"Pull"** o fase final, en la que el producto no se termina hasta que los clientes no hacen el pedido.

**"Perfection"** u objetivo final. En la medida en que se eliminan los pasos innecesarios y los flujos de trabajo se adaptan a los pedidos de los clientes, se comprueban las reducciones de costes, esfuerzo y tiempos de trabajo en todas las áreas de la empresa.

De esta forma y mediante la revisión continua de los procesos, se centra en una espiral de mejora continua, ya que los cambios introducidos en una fase repercuten necesariamente en las demás.

## ○ **METODOLOGÍA POKE YOKE**

POKE-YOKE es una técnica de calidad desarrollada por el ingeniero japonés Shigeo Shingo en los años 1960 que significa a prueba de errores. La idea principal es la de crear un proceso donde los errores sean imposible de realizar.

La finalidad del POKA YOKE es cualquier mecanismo que ayuda a prevenir los errores antes de sucedan, o los hace que sean muy obvios para que el trabajador se dé cuenta y lo corrija a tiempo.

Si los errores no se permite que se presenten en la línea de producción, entonces la calidad será alta y el re-trabajo poco. Esto aumenta la satisfacción del cliente y disminuye los costos al mismo tiempo. El resultado, es de alto valor para el cliente. No solamente es el simple concepto, pero normalmente las herramientas y/o dispositivos son también simples. Los sistemas Poka-yoke implican el llevar a cabo el 100% de inspección, así como, retroalimentación y acción inmediata cuando los defectos o errores ocurren. Este enfoque resuelve los problemas de la vieja creencia que el 100% de la inspección toma mucho tiempo y trabajo, por lo que tiene un costo muy alto. La práctica del sistema Poka-yoke se realiza más frecuentemente en la comunidad manufacturera para enriquecer la calidad de sus productos previniendo errores en la línea de producción. Un sistema Poka-Yoke posee dos funciones: una es la de hacer la inspección del 100% de las partes producidas, y la segunda es si ocurren anomalías puede dar retroalimentación y acción correctiva. Los efectos del método Poka-Yoke en reducir defectos va a depender en el tipo de inspección que se esté llevando a cabo, ya sea: en el inicio de la línea, auto-chequeo, o chequeo continuo. Los efectos de un sistema poka-yoke en la reducción de defectos varían dependiendo del tipo de inspección.

Lo ideal es que los POKA-YOKE se incluyan desde la etapa de diseño. De lo contrario, si se quieren introducir una vez diseñados el Producto/Servicio o el Proceso, no se cumplirá con un axioma básico de

la Calidad moderna que es “hacer las cosas bien a la primera”, con los costos adicionales que ello significa.

Con el fin de potenciar la utilidad del POKA-YOKE, y paralelamente no caer en la trampa tan común de colocar POKA-YOKES en forma indiscriminada (tener presente que el POKA-YOKE tiene un costo, como veremos más adelante en los ejemplos), los mismos se combinan con el uso de otras herramientas de calidad, fundamentalmente con el AMFE.

(Análisis de Modos de Falla y sus Efectos). Así tendríamos:

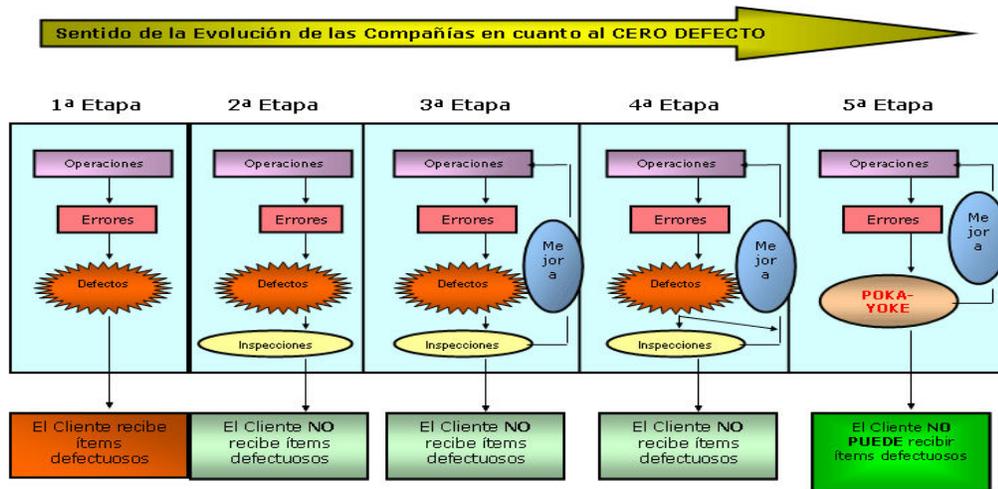
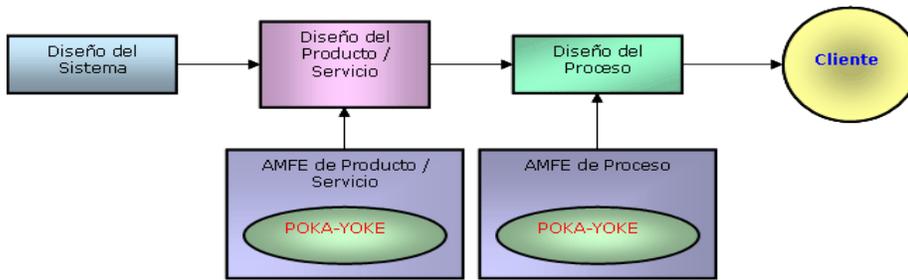


IMAGEN 6: ESQUEMA DEL PROCESO DE LA METODOLOGÍA POKA YOKE

- **SIX SIGMA**

Es una metodología que ayuda a la prevención de errores en los procesos industriales, es una metodología de calidad de clase mundial (iniciada por Motorola en 1986) aplicada para ofrecer un mejor producto o servicio, más rápido y al costo más bajo. La metodología  $6\sigma$  se basa en la curva de la distribución normal (para conocer el nivel de variación de cualquier actividad), que consiste en elaborar una serie de pasos para el control de calidad y optimización de procesos industriales.

Al aplicar la Six-Sigma en el análisis de procesos industriales se pueden detectar rápidamente problemas en producción como cuellos de botella, productos defectuosos, pérdidas de tiempo y etapas críticas, es por esto que es de gran importancia esta metodología. A nivel mundial, la mayoría de los países industrializados aplican la metodología Six-Sigma.

La misión del  $6\sigma$  es proporcionar la información adecuada para ayudar a la implementación de la máxima calidad del producto o servicio en cualquier actividad, así como crear la confianza y comunicación entre todos los participantes, debido a que la actividad del negocio parte de la información, las ideas y la experiencia, y esto ayuda a elevar la calidad y el manejo administrativo. El Six-Sigma es un programa que se define en dos niveles: operacional y gerencial. En el nivel operacional se utilizan herramientas estadísticas para elaborar la medición de variables de los procesos industriales con el fin de detectar los defectos (el  $6\sigma$  tiene un rango de 3.4 defectos por cada millón. El nivel gerencial analiza los procesos utilizados por los empleados para aumentar la calidad de los productos, procesos y servicios.

Es una metodología que se basa en una curva de distribución normal, que consiste en elaborar una serie de pasos para el control de calidad y la optimización de procesos industriales. En los procesos industriales se presentan los costos de baja calidad ocasionado por:

- Fallas internas de los productos defectuosos como re-procesos y el inadecuado control de la calidad en este caso el servicio de reparación de cilindros hidráulicos.
- Fallas externas como garantías de reparación no cumplidas, reclamos de los clientes y por consiguiente su insatisfacción y posteriormente perdida de la confianza de este ante el trabajo ejecutado.
- Evaluaciones del producto, debido a inspección del proceso y producto; utilización, mantenimiento y calibración de equipos de medición de los procesos y productos; auditorias de calidad y soporte de laboratorio.
- Prevención de fallas, debido al diseño del producto en el proyecto el inadecuado funcionamiento del cilindro hidráulico.

Se utiliza SIX-SIGMA con el fin de evitar el alto costo de la mala calidad, y con ello para obtener procesos, productos o servicios eficientes. Al aplicar Six Sigma en los procesos industriales puede detectar rápidamente problemas como:

- Cuellos de botella.
- Productos defectuosos.
- Tiempos muertos.
- Etapas críticas.

Esta metodología me permite hacer comparaciones entre negocios, productos y servicios. Proporciona herramientas para conocer:

- El nivel de calidad de las empresas.
- Prevenir la dirección con respecto a los objetivos de la empresa.

La misión del  $6\sigma$  es proporcionar la información adecuada para ayudar a la implementación de la máxima calidad del producto o servicio en cualquier actividad, así como crear la confianza y comunicación entre todos los participantes, debido a que la actividad del negocio parte de la información, las ideas y la experiencia, y esto ayuda a elevar la calidad y el manejo administrativo.

El Six-Sigma es un programa que se define en dos niveles: operacional y gerencial. En el nivel operacional se utilizan herramientas estadísticas para elaborar la medición de variables de los procesos industriales con el fin de detectar los defectos (el  $6\sigma$  tiene un rango de 3.4 defectos por cada millón). El nivel gerencial analiza los procesos utilizados por los empleados para aumentar la calidad de los productos, procesos y servicios.

### **¿Dónde se debe aplicar SIX SIGMA?**

Sistema Seis Sigma es aplicable a los procesos técnicos y no técnicos. Un proceso de fabricación es visto como técnico. En el proceso, tenemos entradas como: partes de piezas, montajes, sub-montajes, productos, partes, materias primas que físicamente fluyen a través del proceso. Otras entradas son temperatura, humedad, velocidad, presión, etc. Existen innumerables variables de entrada que afectan un proceso. Un proceso también está compuesto por equipos, calibradores, máquinas y herramientas - entre otras cosas - que producen la transformación de la entrada en una salida. Finalmente, a la salida es normalmente un producto final, un montaje o un sub-montaje. En un proceso técnico el flujo de productos es visible y tangible y por eso existen muchas oportunidades para recolectar datos y tomar mediciones en muchas instancias de las variables.

Un proceso no técnico se refiere a los procesos administrativos de servicios de transacciones es más difícil visualizarlo.

## Herramientas de mejora de calidad

La metodología  $6\sigma$  Utiliza herramientas estadísticas para mejorar la calidad. Estas herramientas son para conocer los problemas en el área de producción y saber el porqué de los defectos. Las principales herramientas que se utilizan en el Six-Sigma son:

- a) Diagrama de **Flujo de Procesos**; con el cual se conocen las etapas del proceso por medio de una secuencia de pasos, así como las etapas críticas (Imagen 6).

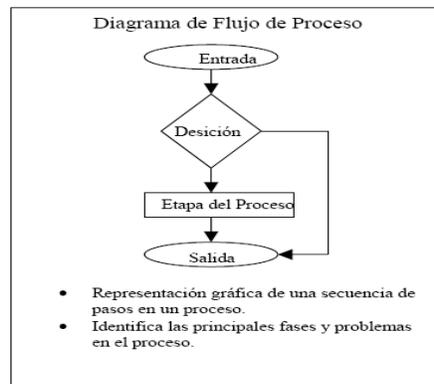


IMAGEN 7: DIAGRAMA DE FLUJO

- b) Diagrama de **Causa-Efecto**; es utilizado como lluvia de ideas para detectar las causas y consecuencias de los problemas en el proceso (Imagen 8).

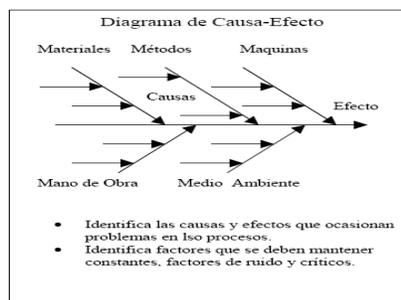


IMAGEN 8: DIAGRAMA CAUSA-EFECTO

c) Diagrama de **Pareto**; se aplica para identificar las causas principales de los problemas en proceso de mayor a menor y con ello reducir o eliminar de una en una (empezando con la mayor y después con las posteriores o con la que sea más accesible) (imagen 9).

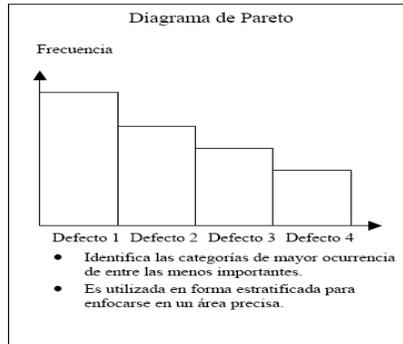


IMAGEN 9: DIAGRAMA DE PARETO

d) **Histograma**; con el cual se observan los datos (defectos y fallas) y se agrupan en forma Gaussiana conteniendo los límites inferior y superior y una tendencia central (imagen 10).

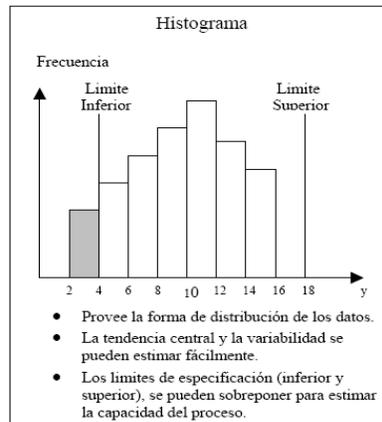


IMAGEN 10: HISTOGRAMA

e) **Gráfica de Corrida**; es utilizada para representar datos gráficamente con respecto a un tiempo, para detectar cambios significativos en el proceso (imagen 11).

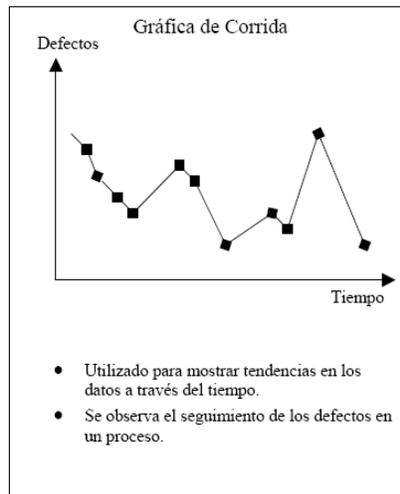


IMAGEN 11: GRÁFICA DE CORRIDA

**f) Gráfica de Control;** se aplica para mantener el proceso de acuerdo a un valor medio y los límites superior e inferior (imagen 12).

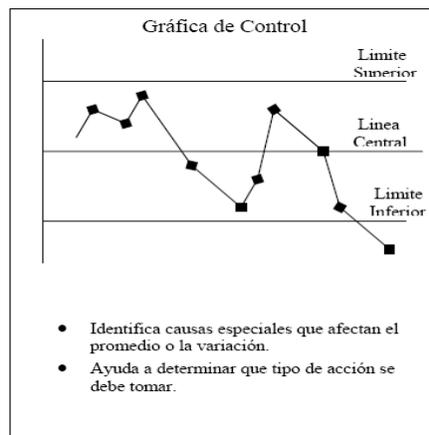


IMAGEN 12: GRÁFICA DE CONTROL

**g) Diagrama de Dispersión;** con el cual se pueden relacionar dos variables y obtener un estimado usual del coeficiente de correlación (imagen 13).

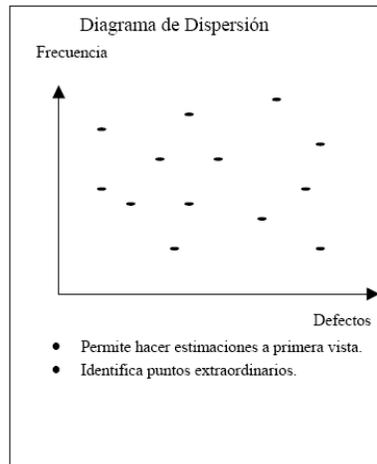


IMAGEN 13: DIAGRAMA DE DISPERSIÓN

**h) Modelo de Regresión;** es utilizado para generar un modelo de relación entre una respuesta y una variable de entrada (imagen 14).

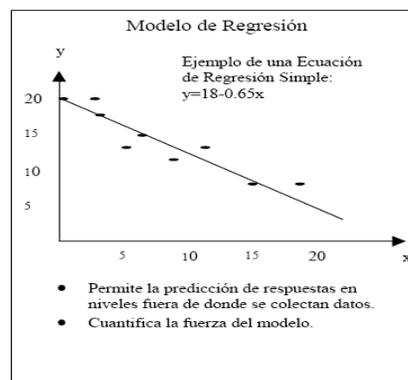


IMAGEN 14: MODELO DE REGRESIÓN

- **Gráfica de SIX SIGMA**

La gráfica de Six-Sigma (imagen 15) es utilizada para demostrar el nivel de defectos registrados durante el proceso de variación y la media que se obtiene. En la gráfica se muestra que el proceso de variación está situado en el lugar de la media, siendo el lugar donde el proceso estará cambiando en pequeña escala. El objetivo del  $6\sigma$  es obtener la menor cantidad de defectos (3.4 partes por millón), esto es, casi es cero defectos. La media es el indicador que permite conocer el punto central del proceso de variación, que indica que en cero variaciones no se presenta alguna

alteración del proceso. Este es el proceso que representa la calidad de cualquier actividad a realizar.

Los niveles de mejora del Six-Sigma, indican el porcentaje de error de un proceso. Los procesos son evaluados en base a criterios que se representan en niveles (Six-Sigma: desde el nivel  $1\sigma$  al nivel  $6\sigma$ ), obteniéndose la distribución de datos y los porcentajes de error en la gráfica (figura 9). La mayor parte de los criterios de evaluación están estandarizados internacionalmente, sólo algunos se pueden modificar de acuerdo a la relación proveedor-cliente. El área bajo la curva indica los niveles y valores, con porcentajes de confiabilidad diferentes, que van desde 68.27 % (nivel 1) hasta 99.999943% (nivel 6). El área bajo la curva comprende el valor de la media de los datos y las desviaciones hacia la izquierda y derecha que dependen del nivel de confiabilidad (procesos de variación), donde están distribuidos los datos. Los niveles Six-Sigma están ubicados en la parte derecha e izquierda de la media, indicando el rango de distribución de los datos y se analizan ambos lados de la gráfica.

La representación gráfica de la distribución normal de los datos es analizada y en base a ella se obtienen los resultados del proceso y tomar las decisiones adecuadas para las mejoras y contra mejoras de dichos procesos.

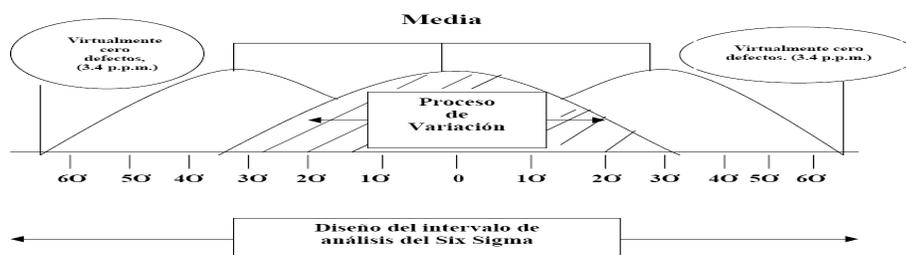


IMAGEN 15: GRÁFICA DE SIX SIGMA

Fuente: CIMAT

# CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

---

## 3. Justificación de la metodología

Realizando un análisis del marco teórico se llegó a la conclusión de aplicar la metodología del SIX SIGMA en el presente proyecto debido a las siguientes razones:

- Integra el factor humano y las herramientas de mejora
- Crea una infraestructura humana que lideran, despliegan y llevan a cabo las propuestas. También ordenan y relacionan las herramientas principalmente las estadísticas.
- Es una metodología del trabajo eficaz: No es simplemente “hazlo mejor” sino “hacerlo mejor”.
- Utiliza los recursos con que cuenta la empresa.
- Es adecuada para proyectos destinados a la manufactura y operaciones como se puede apreciar en el siguiente gráfico.

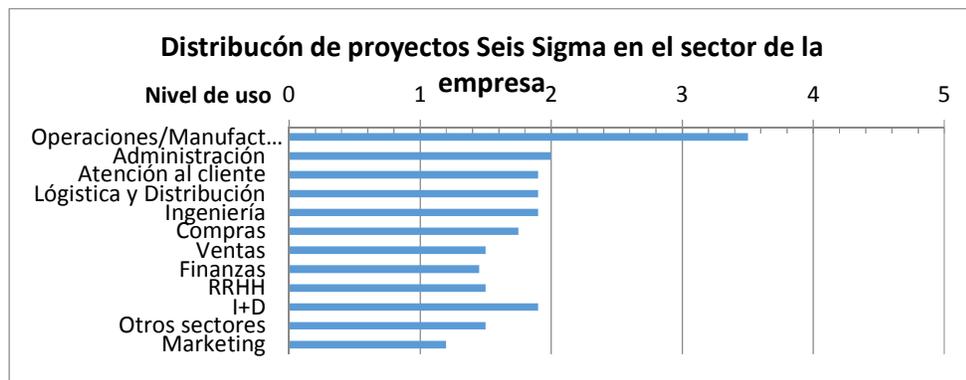


GRÁFICO 1: NIVEL DE UTILIZACIÓN DE LA METODOLOGÍA SIX SIGMA EN DIFERENTES SECTORES DE LAS EMPRESAS

Fuente: Thomas Goesby SIX-SIGMA LOGISTIC

Forma una estructura que concadena los niveles estratégicos, tácticos y operacionales.

Resumiendo mostramos unos cuadros de comparación de las siguientes metodologías; donde demostramos que la mejor opción es aplicar SIX SIGMA.

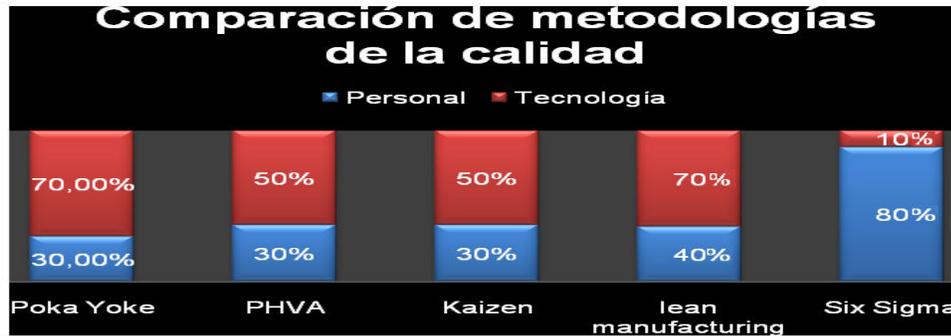


GRÁFICO 2: COMPARACIÓN DE LAS METODOLOGÍAS DE CALIDAD

EXPOSITOR: MBA Alejandro Gallegos Chocce

Fuente: SIX- SIGMA: APLICACIONES EN LA EMPRESA

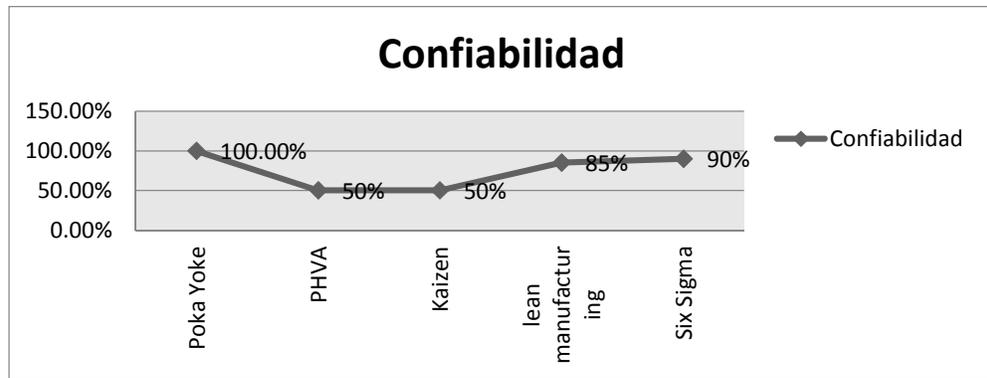


GRÁFICO 3: GRÁFICO DE COMPARACIÓN DE LAS METODOLOGÍAS DE CALIDAD

EXPOSITOR: MBA Alejandro Gallegos Chocce

Fuente: SIX- SIGMA: APLICACIONES EN LA EMPRESA

El gráfico anterior se observa la confiabilidad de las metodologías. Podemos observar que las metodologías POKA YOKE y SIX SIGMA son las más confiables pero se diferencia en la inversión de la tecnología.

Se eligió la metodología SIX SIGMA porque tiene un comportamiento de producción intermitente. Es decir que la demanda en el servicio de reparación es variable con respecto a los requerimientos de los clientes en el tiempo. También nos ayuda a disponer y mejorar los recursos que tiene la empresa en estudio (RECOLSA)

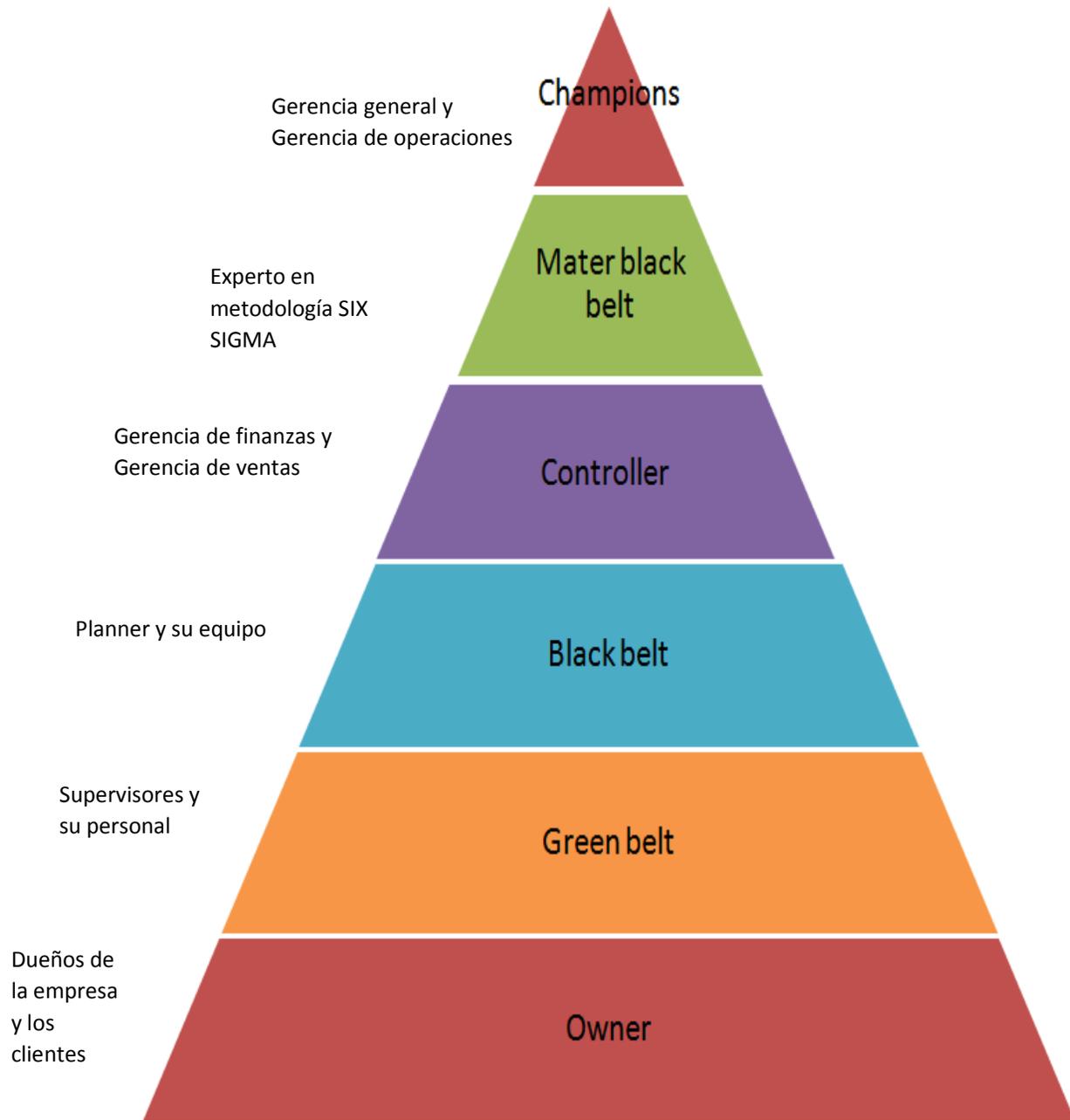
### 3.1 Estructura SIX SIGMA

Antes de proceder con la metodología se procedió a seleccionar al personal adecuado para ejecutar dicho proyecto con una evaluación.

El equipo está conformado se la siguiente forma:

- **Champions:** Está conformado por la gerencia general y operaciones que son los que aprobaron y supervisaron el avance de las actividades del proyecto.
- **Master black belt:** Estuvo conformado por un experto en la metodología SIX SIGMA su rol era entrenar y capacitar al black belt y green belt.
- **Controller:** Este cargo estuvo conformado por dos integrantes como el gerente de finanzas que da el visto bueno en el proyecto así como también el gerente de ventas que tuvo la responsabilidad de analizar el costo beneficio al implementar la metodología.

- **Black belt:** Estaba conformado por el planner y su equipo cuyo rol era guiarlos durante las fases del proyecto. Sinergizan los conocimientos y esfuerzos del equipo. También dan soporte a los green belt.
- **Green belt:** Estuvo conformado por los supervisores ya que conocen las capacidades de su personal, máquinas y herramientas de las diferentes áreas de la planta.
- **Owner:** Es el socio estratégico de los black belt que su misión es alcanzar la meta y también es el beneficiario con el proyecto en ese caso son los dueños de la empresa y también los clientes.



ESTURCTURA 1: ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL DEL EQUIPO SIX SIGMA

**EXPOSITOR: MBA Alejandro Gallegos Chocce**

## 3.2 Metodología SIX-SIGMA

En este caso metodología se desarrolla en cinco etapas de acuerdo con el rubro que desempeña la empresa (servicio de reparación de cilindros hidráulicos) estas seis etapas consisten en:

### 3.2.1 Definir

#### 3.2.1.1 Definir el producto y servicio:

El producto que recibe la empresa son los cilindros hidráulicos de los clientes de los diferentes sectores industriales del país y el servicio consiste en la reparación integral de estos cilindros hidráulicos.

#### a) Definir problema:

En esta etapa se identificó las oportunidades de mejora del proyecto con la finalidad de detectar el problema y establecer el objetivo general.

Utilizando la carta de equipo (TEAM CHARTER) se ha descargado la información mencionada en la parte de **planteamiento del problema del proyecto**; poniendo al descubierto los síntomas del problema que tiene la empresa en estudio.

**TEAM/PROJECT CHARTER**

<b>Project Name:</b>	Mejora de la calidad en el servicio de reparación de cilindros hidráulicos
<b>Date (LastRevision):</b>	15 de Noviembre de 2013
<b>PreparedBy:</b>	Christian Ingar Medina
<b>ApprovedBy:</b>	

<b>Business Case:</b>	<b>Opportunity Statement (High Level Problem Statement):</b>
La reparación de cilindros hidráulicos es un hito clave para la empresa. Estos reclamos e insatisfacción del cliente (cumplimiento) se debe al proceso deficiente de la reparación de dichos equipos que suponen unos costos de casi S/. 15000 al mes (ver gráfico).	<p><b>Los re-procesos de la reparación de los cilindros hidráulicos han ido aumentando de un 10 al 17%. Dichos re-procesos de la reparación de los elementos de estos dispositivos comienzan a notarse <u>en el momento de empezar el siguiente proceso de reparación.</u> Dichos componentes no cumplen con las especificaciones acordadas con el cliente; teniendo como consecuencia la insatisfacción (en el tiempo de entrega del equipo reparado) y reclamo de este.</b></p> <p>Defect Definition: Altos índices de insatisfacción de parte de los clientes en el servicio de reparación de cilindros hidráulicos. En el tiempo acordado con el cliente.</p>
<b>GoalStatement:</b>	<b>Project Scope:</b>
Aumentar el índice de cumplimiento en un 90% con respecto a la calidad de la reparación de cilindro hidráulicos	<p>Process Start Point: Evaluación actual de la empresa, analizar los puntos críticos del cliente, definir los requisitos críticos del cliente, desarrollar una metodología de mejora.</p> <p>ProcessEnd Point: Simular el mejoramiento de los procesos, Controlar las variables del proceso de reparación de los cilindros.</p>
Expected Savings/Benefits: Todos los clientes de la empresa RECOLSA y el aumento de la cartera de clientes.	<p>In Scope: índice de defectos en el proceso de reparación de cilindros hidráulicos, reclamos del cliente, requisitos del cliente.</p> <p>Out of Scope: Incremento del índice de satisfacción de los clientes implementando la metodología six sigma.</p>

En esta parte damos respuesta a las siguientes preguntas:

- ¿Qué es lo que va mal?
- ¿Dónde aparece el problema?
- ¿De qué magnitud es?



GRÁFICO 4: COSTOS DE RE-PROCESO DE LOS CILINDROS HIDRÁULICOS

Fuente: Data 2013 de RECOLSA

- **Estado actual de eficiencia:**

A continuación se presentan los siguientes gráficos de las diferentes áreas de la planta:

Como se puede apreciar en el grafico 4A se puede apreciar que la sección maquinado-torno oscila entre 78% a 80% lo cual es un índice aceptable. Pero en la sección maquinado-máquinas y

herramientas estaba con una eficiencia del 65% aproximadamente lo cual se consideró un índice muy bajo.

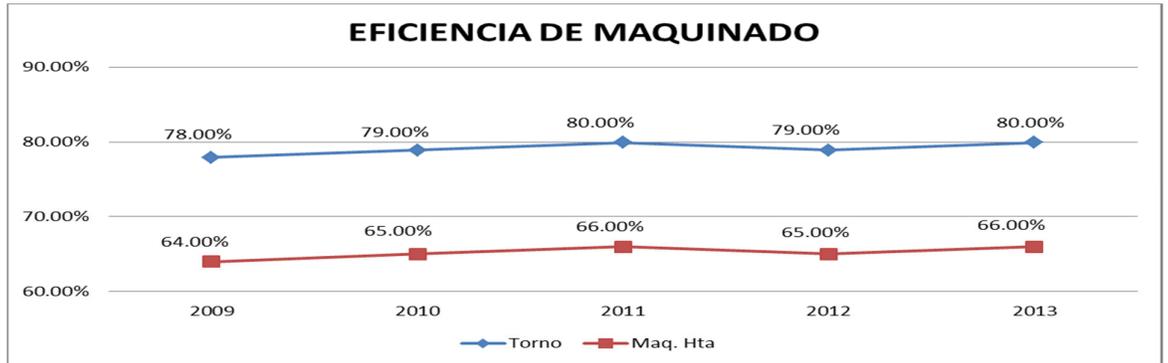


GRÁFICO 4A: EFICIENCIA DE MAQUINADO EN LA REPARACIÓN DE LOS CILINDROS HIDRÁULICOS

Fuente: Data 2013 de RECOLSA

En cuanto al área de soldadura el índice de eficiencia está en un 84% lo cual es aceptable dicho comportamiento se puede apreciar en el grafico 4B.

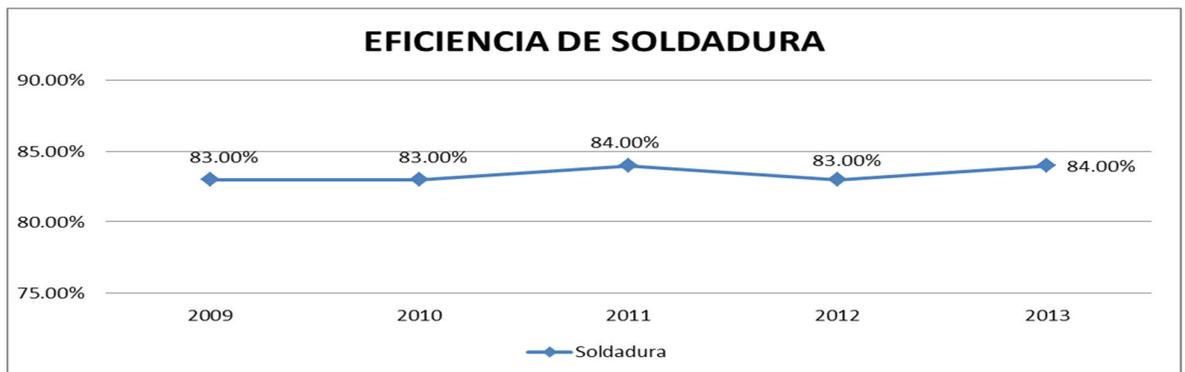


GRÁFICO 4B: EFICIENCIA DE SOLDADURA EN LA REPARACIÓN DE LOS CILINDROS HIDRÁULICOS

Fuente: Data 2013 de RECOLSA

En el área de rectificado el índice de eficiencia tiende en una orientación descendente. Tal como se muestra en el grafico 4C.

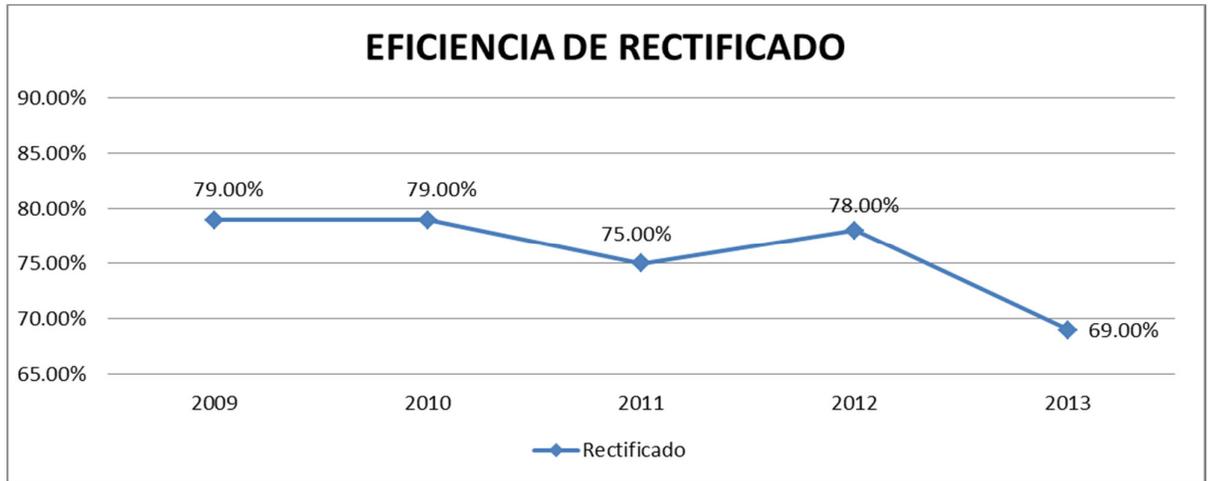


GRÁFICO 4C: EFICIENCIA DE RECTIFICADO EN LA REPARACIÓN DE LOS CILINDROS HIDRÁULICOS

Fuente: Data 2013 de RECOLSA

En el área de cromo su índice es aceptable ya que oscila entre el 79% y 87%. Ver gráfico 4D

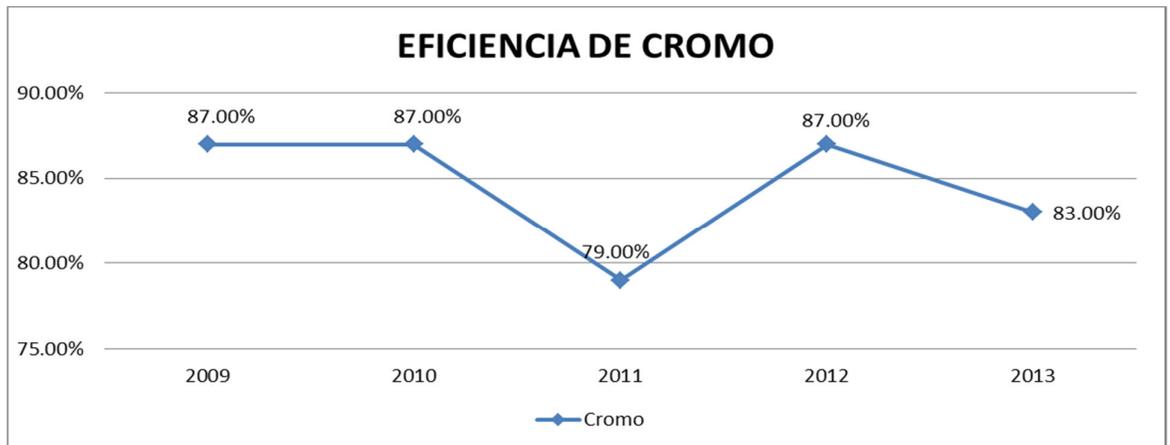


GRÁFICO 4D: EFICIENCIA DE CROMO EN LA REPARACIÓN DE LOS CILINDROS HIDRÁULICOS

Fuente: Data 2013 de RECOLSA

**b) Cálculo SIX SIMA en la empresa.**

Basándonos en los defectos que ocasionaron los re-procesos se ha llegado al siguiente resultado expuesto en la tabla.

<b>CALCULADORA SIGMA</b>	
<b>Característica en estudio:</b>	<b>DECÍMETROS CÚBICOS</b>
# de unidades	32834
Oportunidades de defectos por unidad	4
Defectos	1200
<b>DPU</b>	<b>0.036547481</b>
<b>DPMO</b>	<b>9,137</b>
<b>SIGMA</b>	<b>3.86</b>

TABLA 1: CÁLCULO SIX- SIGMA EN LA EMPRESA EN ESTUDIO

**FUENTE:** Aplicación del curso de SIX SIGMA. Aplicación en la empresa

En la siguiente calculadora SIGMA se han ingresado los siguientes datos como: El número de unidades que ha producido la empresa fue de 32,834 decímetros cúbicos reparados por año con 1200 decímetros cúbicos en cilindro defectuosos por año dando como resultado en defectos por unidad 0.03 decímetros cúbicos. En defectos por millón de oportunidad 9.137 decímetros cúbicos. Por lo tanto se dio como resultado de 3.86 sigmas el cual está a una diferencia de 2.2 sigmas aproximadamente del objetivo.

### 3.2.1.2 Identificar los requisitos del cliente

Realizando una encuesta a los clientes con el fin de mejorar nuestro servicio de reparación de cilindros hidráulicos los cuales se representan en el siguiente gráfico de carta de Pareto:

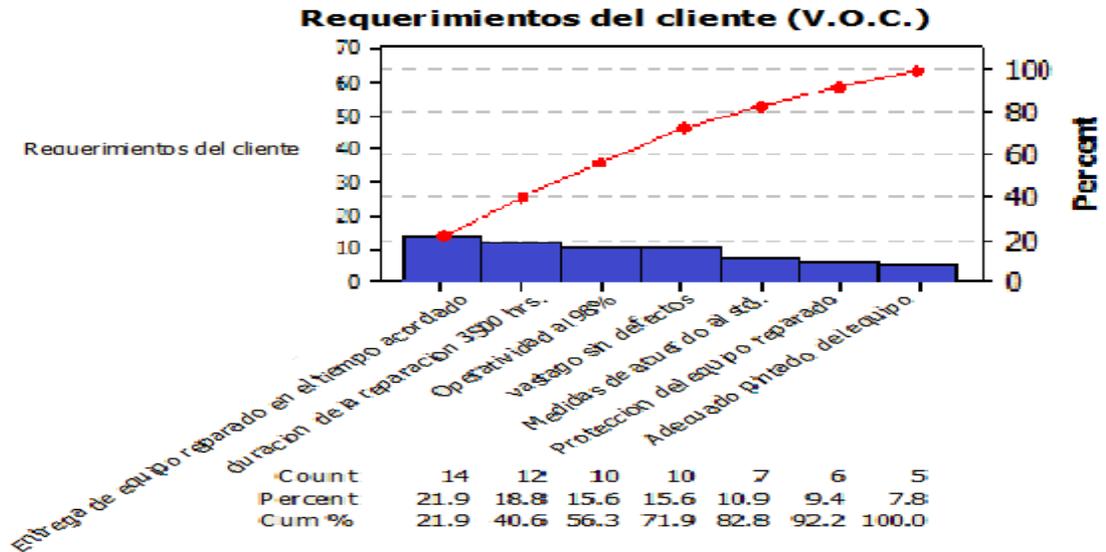


GRÁFICO 5: CARTA DE PARETO DE LOS REQUERIMIENTOS DEL CLIENTE

Fuente: Data octubre-diciembre 2013 y enero-marzo 2014 de RECOLSA

El gráfico mostrado nos sugiere que debemos tomar como prioridades las siguientes inferencias:

- Entrega del equipo reparado en el tiempo acordado con el cliente.
- Duración de la reparación en 3500 horas.
- Operatividad del equipo reparado en 98%.
- Que la reparación del vástago no tenga defectos.
- Medidas de acuerdo con el estándar.

### 3.2.1.3 Comparar los requisitos con los productos

Una vez tomada como prioridad los requisitos de los clientes, se procedió a clasificar las inferencias críticas. A la vez se realizó un muestreo de nuestros clientes según la frecuencia de atención de estos. Los clientes con mayor atención son:

- Zamine Service S.A.C.
- Compañía Minera Antamina.
- Minera Barrick Misquichilca.
- Minera Chinalco (Proyecto TOROMOCHO).

Los clientes elegidos dieron la importancia sobre el servicio de reparación de sus equipos las cuales se representan en el siguiente cuadro.

CRITICAS DE LA CALIDAD	Importancia escala (1-10)	Importancia %	Insatisfcción escala (1-100)%	Índice de importancia
Entrega del equipo reparado en el tiempo acordado con el cliente.	10	25.64%	80%	0.21
Medidas de acuerdo con el estándar	9	23.08%	70%	0.17
Duración de la reparación en 3500 horas.	10	25.64%	60%	0.16
Operatividad del equipo reparado en 98%	6	15.38%	90%	0.14
Reparación del vástago sin defectos	4	10.26%	50%	0.06

CUADRO 2: CLASIFICACIONES CRÍTICAS DE LA CALIDAD

**Fuente: Data de RECOLSA-CLIENTOMANIA**

Del cuadro anterior se muestra la comparación en el servicio de reparación de los cilindros hidráulicos (producto) con los requisitos lo cual dio resultó lo siguiente:

Para mejorar la calidad de la reparación de los cilindros hidráulicos debemos tomar importancia las siguientes críticas:

- Entrega del equipo en el tiempo acordado con el cliente.
- Medidas de acuerdo con el estándar.
- Duración de la reparación en 3500hrs.

Se ha realizado costos de la mala calidad con el objetivo de ver en qué estado se encuentra la empresa en cuanto a la calidad de los servicios de reparación de los cilindros hidráulicos.

<b>VENTAS BRUTAS</b>	<b>190,000.00</b>
<b>PORCENTAJE</b>	<b>10.62%</b>
<b>COSTO DE LA CALIDAD</b>	<b>20,185.32</b>

IMAGEN 16: RESULTADO DE LOS COSTOS DE LA MALA CALIDAD DE LA EMPRESA

En el resultado que se puede apreciar en la imagen 16 nos muestra que en promedio nos proyectamos en entregar \$190,000 por mes, pero se mantienen en promedio \$20,185 por mes, por lo tanto la empresa en estudio tiene un porcentaje de 10.62% lo cual está en estado moderada orientada a la evaluación.

#### **3.2.1.4 Describir el proceso.**

La reparación de los cilindros hidráulicos pasa por diferentes áreas de la planta dependiendo de los resultados de la evaluación. La reparación de los cilindros es muy variable, por lo tanto se eligió los procesos más frecuentes de la reparación de dichos componentes.

Para describir el proceso se realizó el SIPOC con la finalidad de ver como se realiza la reparación de los cilindros hidráulicos. Dicha herramienta no permite ver el comportamiento de las siguientes secciones:

- Proveedores.
- Entradas.
- Flujo del proceso.
- Salidas.
- Clientes.

SIPOC DIAGRAM

Process/Project Name:	MEJORMIETO DE LA CALIDAD EN LA REPARACION DE CILINDROS HIDRAULICOS UTILINZANDO SIX SIGMA
Date:	04/10/2013
Prepared By:	Equipo del area de planeamiento

Suppliers	Inputs	Process	Outputs	Customers
Provider	Input Description		Output Description	Recipient of Output
PART COMPANI S.A	BARRAS CROMADAS	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: auto;">                     See High Level Process Steps Below                 </div>	CILINDROS HIDRAULICOS REPARADOS	ZAMINE SERVICE S.A.C.
ACEROS BOLLER	BARRAS VCN Y OTROS		COMPANIA MINERA ANTIMINA S.A.	
SOLDEXO	SOLDADURA DE TODO TI		MINERA BARRIC MISQUICHILCA	
ACEROS DEL PERU	BARRAS VCN Y OTROS		MINERA BARRIC MISQUICHILCA	
FERREYROS S.A.	REPUESTOS		MINERA CHINALCO	
MARCE S.A	ROTULAS			
KOMATSU MITSUI S.A.	REPUESTOS			
MACHEN PERU S.A.C	SELLOS PARA CILINDRO HIDRAULICO			

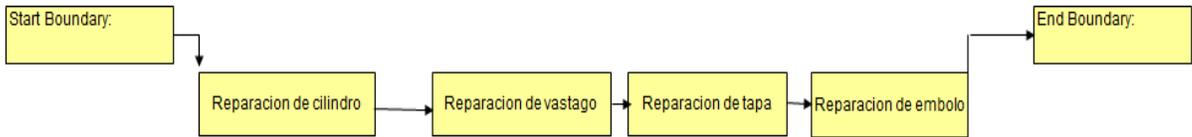
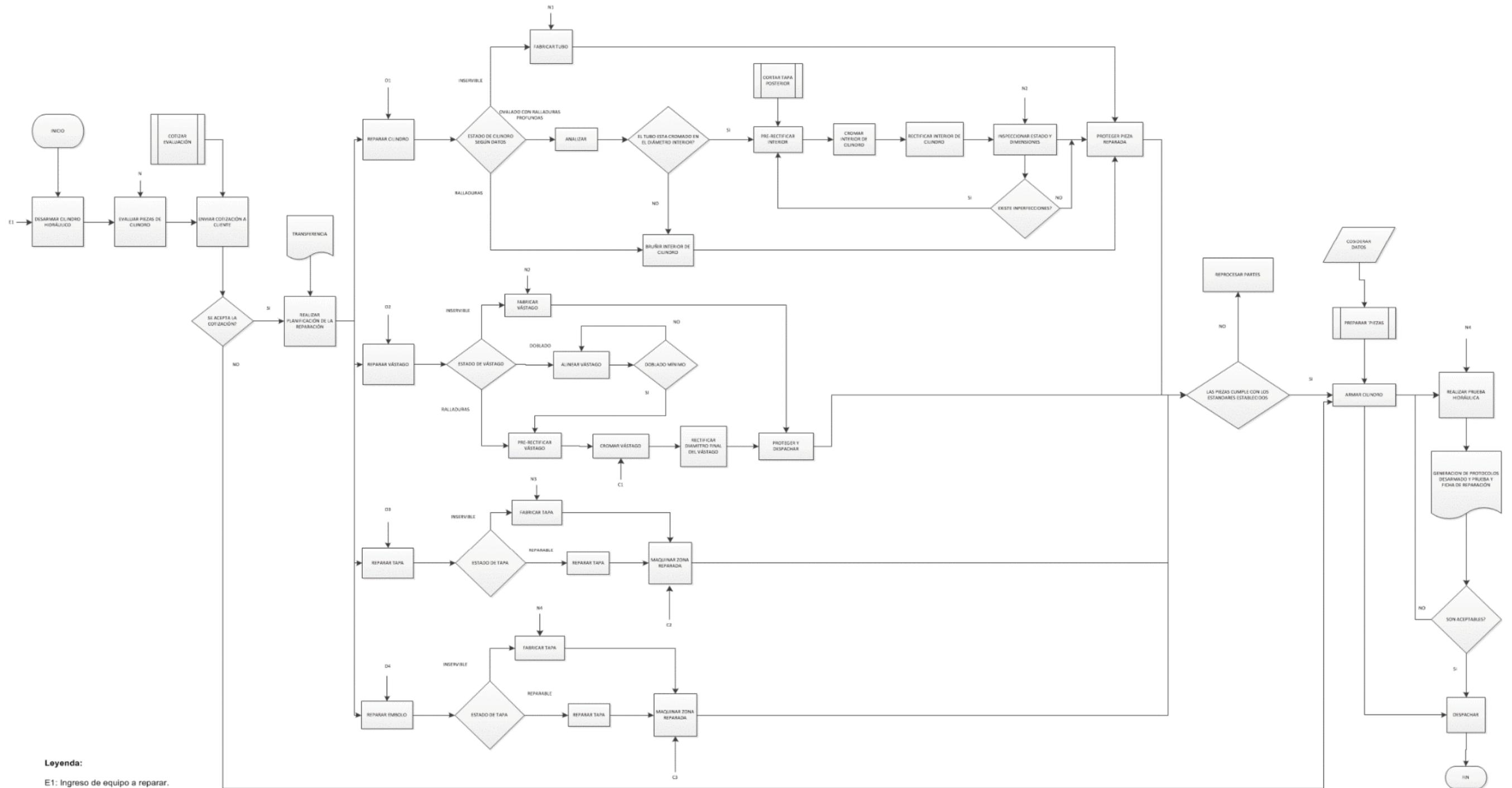


IMAGEN 17: DIAGRAMA SIPOC

En la imagen anterior se indica, que para realizar la reparación dependemos mucho de la puntualidad de nuestros proveedores, ya que de ella depende el tiempo en que la empresa sujeta a estudio (RECOLSA) se ha comprometido en entregar dichos insumos cuyo tiempo máximo es de tres días.

Los procesos de reparación de los componentes de los cilindros hidráulicos se pueden apreciar en los siguientes diagramas de flujo en forma resumida ya que dichos procesos son variados dependiendo de la evaluación de los trabajos por ejecutar.

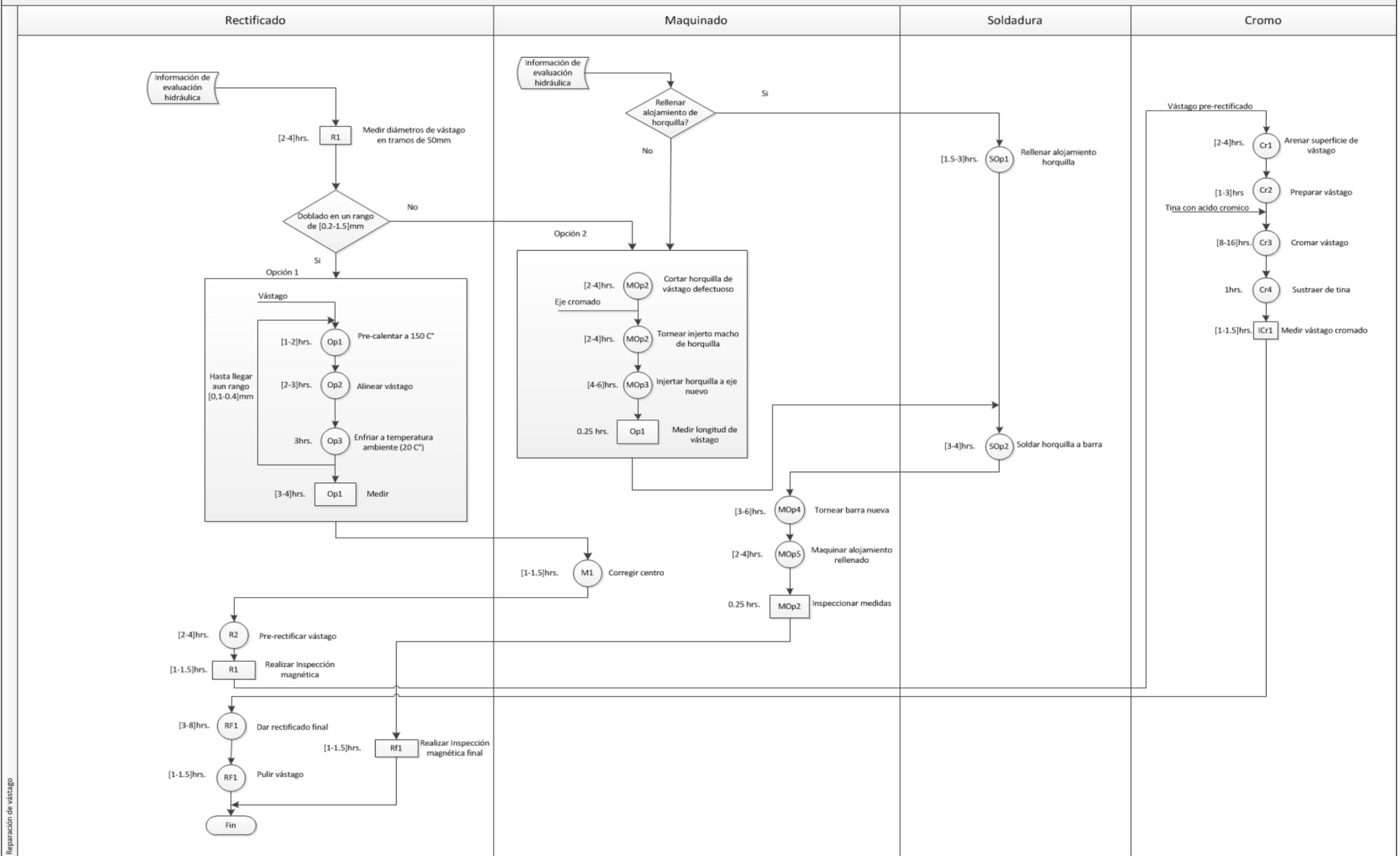
DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE REPARACIÓN DE LOS CILINDROS HIDRÁULICOS



**Leyenda:**

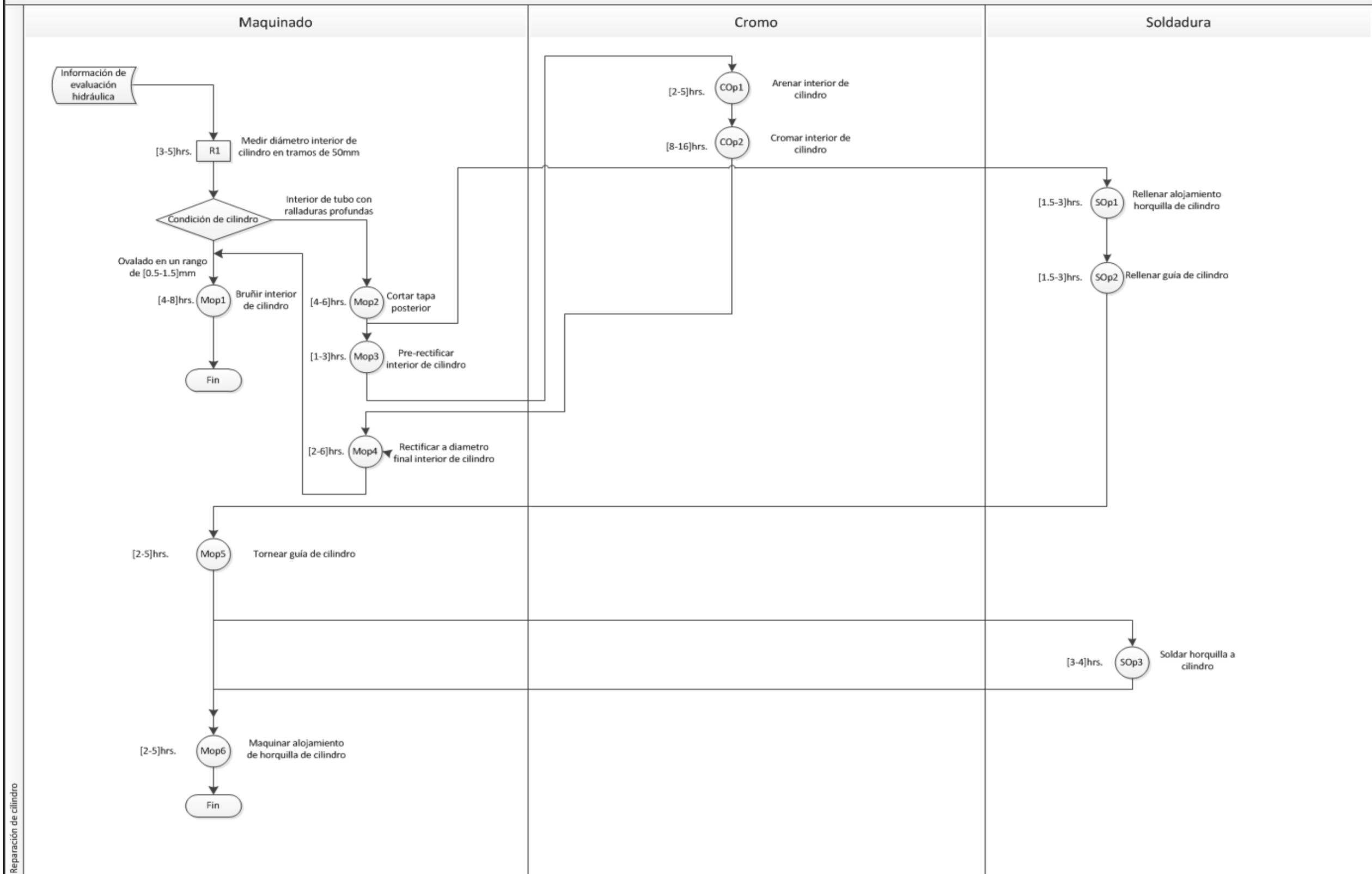
- E1: Ingreso de equipo a reparar.
- N: Ingreso al proceso de evaluación del equipo.
- D1, D2, D3 Y D4: Ingreso de aceptación de cliente para la reparación del cilindro.
- N1, N2, N3 Y N4: Ingreso se procesos de maquinado.
- C1: Ingreso de proceso de cromado.
- C2 y C3: Ingreso de procesos de soldadura.
- N4: Ingreso de procesos de prueba hidráulica.

Proceso de reparación de vástago según Orden de Reparación



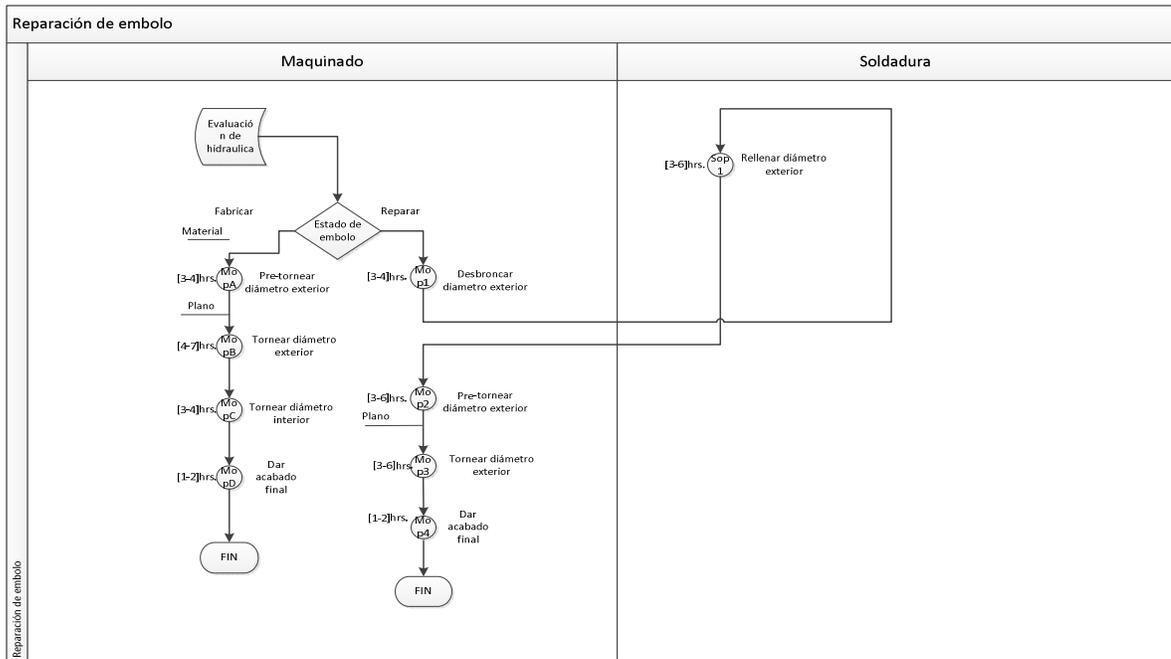
Reparación de vástago

Proceso de reparación de cilindro

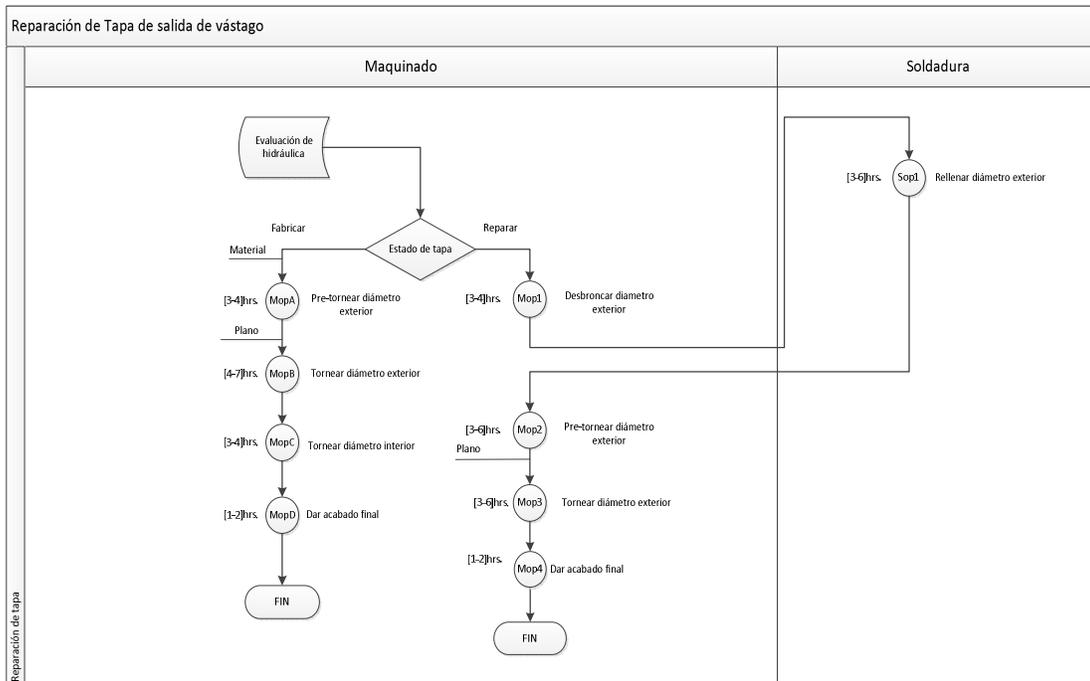


Reparación de cilindro

- Diagrama de flujo de reparación de embolo



- Diagrama de flujo de reparación de tapa de salida de vástago.



Una vez descrito la forma del proceso de reparación de cada uno de los componentes, se procedió a priorizar las actividades que probablemente impacten en la calidad del producto.

La herramienta que se utilizó para la clasificación de las actividades impactantes es el AMEF. El cual se muestra en la siguiente página (Cuadro N°2); en dicho cuadro se indica las actividades que debemos tratar según el peso indicado y son:

- Alineamiento de vástago.
- Pre-rectificado de los vástagos.
- Maquinado de alojamiento de vástago.
- Bruñido de cilindro.
- Rellenado de alojamiento de horquilla de cilindro.
- Maquinado de alojamiento de horquilla de vástago.
- Maquinado de tapa rellena.
- Maquinado de embolo relleno.

Estas actividades impactantes son las que afectan la calidad del producto generando retrasos en la programación de las actividades de reparación, causando el incumplimiento en la entrega a los clientes y generando también la insatisfacción de los mismos.

Process Steps or Product Functions	Potential Failure Mode	Potential Effects of Failure	Severity (1-10)	Potential Cause(s) of Failure	Occurrence (1-10)	Current Controls	Detection (1-10)	Risk Priority Number (RPN)
ALINEAMIENTO DE VÁSTAGO	Alineamiento de vástago fuera del rango establecido	Tiempo de reparación extenso	9	Alineado de vástago	8	Metrología en tramos de 50 cm. y centrado.	10	720
	Fisuras en zona pre-recificada de vástago	Cambio de proceso de reparación	10	Efecto de trabajo térmico	7	Inspección por partículas magnéticas	8	560
PRE-RECTIFICADO DE VÁSTAGO	Fisura pasante en horquilla de vástago	Re-proceso de rellenado de alojamiento de horquilla de vástago	7	Falta de inspección	6	Inspección por tintes penetrantes	5	210
MAQUINADO DE HORQUILLA DE VÁSTAGO RELLENADO	Falta de aporte de material	Defecto de rellenado	8	Falta de información técnica	9	Metrología después del maquinado (ver secciones inconsistentes)	9	648
SOLDAR HORQUILLA A VÁSTAGO	Horquilla desfasada	Re-proceso de cortado y maquinado.	9	Horquilla desfasada de espiga de horquilla para soldar	4	Verificación de alineamiento al injertar horquilla a barra nueva	4	144
TORNEADO DE VÁSTAGO SOLDADO	Dimensiones fuera de medida	Re-proceso de cambio de barra	5	Pasada de cuchilla al tornear	4	Metrología del vástago	4	80
CROMADO DE VÁSTAGO	Porosidades en cuerpo de vástago	Re-proceso de cromado	5	Inadecuado contacto al realizar el proceso químico	5	Metrología de capa de cromo y medición de amperaje	6	150
	Desprendimiento de cromo	Re-proceso de cromado	5	Impurezas en cuerpo de vástago	5	Inspección visual	5	125
	Ovalamiento de cilindro	Demoras en el proceso	9	Ralladuras profundas en interior de cilindro	6	Metrología en el interior del cilindro en 2 puntos	7	378
RELLENADO DE ALOJAMIENTO DE HORQUILLA DE CILINDRO	Porosidades en interior de cilindro	Demoras en el proceso	8	Inadecuado contacto al realizar el proceso químico	6	Inspección visual y metrología	6	288
	Falta de aporte de material	Defecto de rellenado	8	Falta de información técnica	9	Metrología después del maquinado (ver secciones inconsistentes)	9	648
	Falta de aporte de material	Defecto de rellenado	8	Falta de información técnica	9	Metrología después del maquinado (ver secciones inconsistentes)	9	648
REPARACION DE EMBOLO	Porosidades al maquinar	Fuera del tiempo programado	9	Por efectos de soldadura en el rellenado del diametro exterior	5	Proceso de maquinado	9	405
	Dimensiones fuera de medida	Cambio de material	6	Por pasada de cuchilla en torno o maquinado incompleto del componente	8	Metrología e inspeccion de medidas según el plano	9	432
	Porosidades al maquinar	Fuera del tiempo programado	9	Por efectos de soldadura en el rellenado del diametro exterior	5	Proceso de maquinado	9	405
ARMADO DE COMPONENTES DE CILINDRO	Dimensiones fuera de medida	Cambio de material	6	Por pasada de cuchilla en torno o maquinado incompleto del componente	8	Metrología e inspeccion de medidas según el plano	9	432
	Fugas interna	Tiempos de desamado y evaluación	5	Inadecuada inspección de las piezas	5	Metrología	5	125
	Fuga por vástago	Tiempos de desamado y evaluación	5	Inadecuada calibración de los sellos	5	Metrología	5	125
Espera de repuestos	Fuera del tiempo acordado con el cliente	Fuera del tiempo acordado con el cliente	6	Requerimiento a destiempo de los repuestos	4	Cuadro de requerimientos	4	96

CUADRO 3: MATRIZ AMEF DE LAS ACTIVIDADES DE PROCESOS DE REPARACIÓN.

Fuente: Data de RECOLSA.

### 3.2.1.5 Medir data

La empresa en estudio (RECOLSA) atiende a una gran variedad de clientes los cuales se apreciaron en la página 47 (imagen 17 sección Customers). Luego se procedió en seleccionar a los clientes más críticos en referencia a los días de retraso con respecto al tiempo de reparación comprometida con el cliente. En el grafico 6 se puede apreciar que el cliente más crítico para la empresa es la Compañía Minera Antamina ya que dio como resultado a 26 órdenes retrasadas en el año.

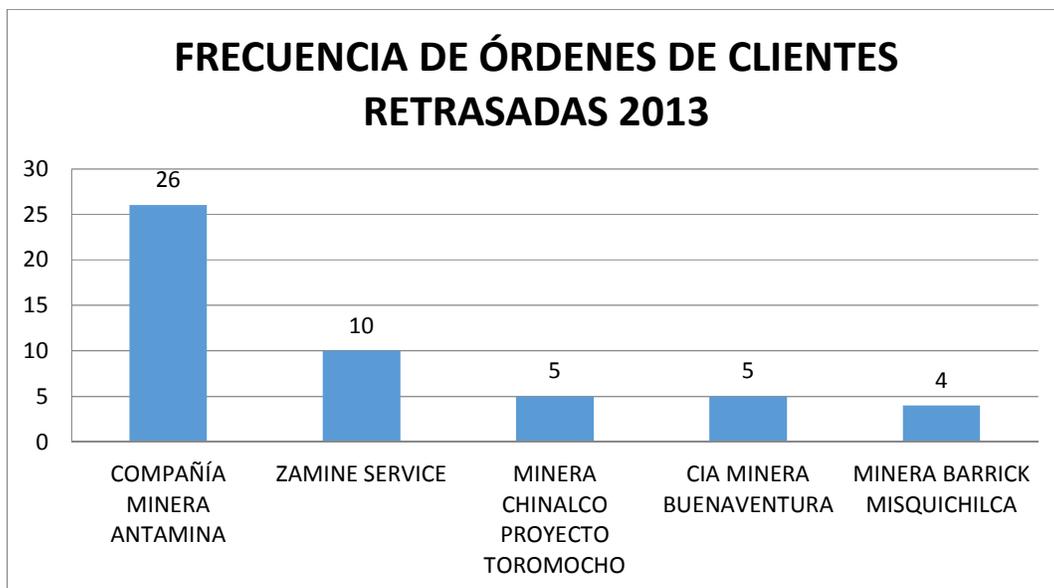


GRÁFICO 6: FRECUENCIA DE ÓRDENES RETRASADAS POR CLIENTE EN EL AÑO 2013

Fuente: Data octubre-diciembre 2013 y enero-marzo 2014 de RECOLSA

Una vez captado el cliente más crítico de nuestra diversidad, se procedió con la clasificación de sus diversos equipos que maneja dicho cliente. Esta técnica se realiza con el fin de aplicarlo en los otros diversos equipos en un futuro con el fin de mejorar la calidad de la reparación y como consecuencia generar un incremento en la satisfacción de nuestros clientes.

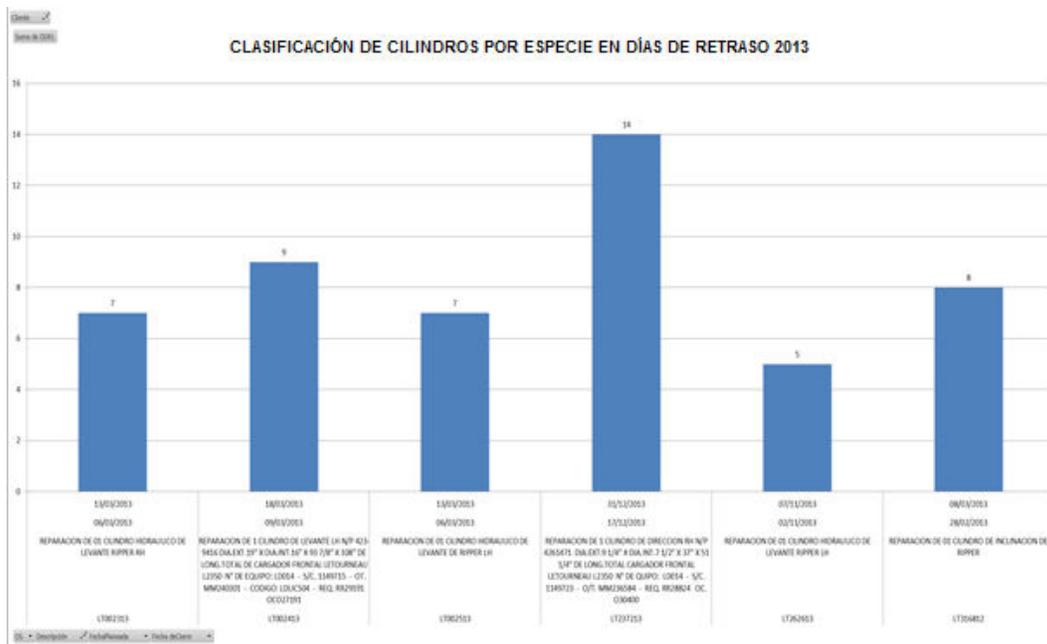


GRÁFICO 7: FRECUENCIA DE ÓRDENES RETRASADAS POR MODELO DE EQUIPO EN EL AÑO 2013

Fuente: Data octubre-diciembre 2013 y enero-marzo 2014 de RECOLSA

En el grafico 7 se aprecia que el equipo más crítico con respecto a tiempo de entrega comprometida al cliente (cumplimiento) es el cilindro de dirección de la marca LETOURNEAU ya que durante el año tuvo como retraso en promedio en 14 días por mes lo cual el cliente resulto insatisfecho, por lo tanto dicho equipo será tratado en nuestro estudio.

Una vez detectado el equipo crítico se procedió a la generación de datos en cuanto a los tiempos totales (proceso de maquinado, cromo, rectificado, soldadura) de la reparación general de dichos equipos críticos con el fin de medir la capacidad de los procesos.

Lo primero que se realizó la medición la capacidad total (índice de satisfacción del cliente). Antes de medir la capacidad de la reparación en general de los cilindros hidráulicos se procedió a recolectar la siguiente data de tiempo de reparación total. Ver cuadro 3.

LOTE 1	LOTE 2	LOTE 3	LOTE 4	LOTE 5
0.75	0.83	0.74	0.84	0.68
0.77	0.88	0.81	0.8	0.56
0.72	0.85	0.76	0.83	0.85
0.64	0.94	0.71	0.85	0.91
0.81	0.87	0.9	0.77	0.72
0.89	0.87	0.72	0.76	0.87
0.73	0.75	0.73	0.82	0.76
0.64	0.76	0.81	0.75	0.71
0.71	0.82	0.77	0.74	0.71
0.88	0.71	0.79	0.77	0.84

CUADRO 4: DATA DE CUMPLIMIENTO CON EL CLIENTE EN LA REPARACIÓN DE LOS CILINDROS HIDRÁULICOS DE DIRECCIÓN LETOURNEAU

**Fuente: Data Octubre-Diciembre 2013 y Enero-Marzo 2014 de RECOLSA**

En el cuadro mostrado podemos se puede apreciar que en promedio se reparan seis cilindros hidráulicos por mes.

Previo a medir la capacidad del proceso se procedió a formular la hipótesis si los datos tienen distribución normal. Por lo tanto se formula la siguiente hipótesis:

- Ho: Los datos de cumplimiento con el cliente en general tienen una distribución normal.
- H1: Los datos de cumplimiento con cliente en general no tienen una distribución normal.

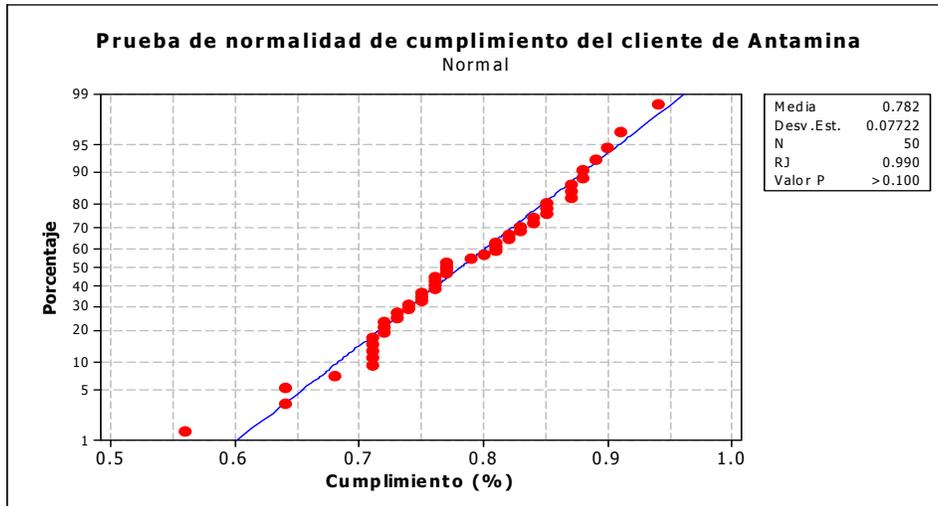


GRÁFICO 8: TEST DE NORMALIDAD DE LOS DATOS DE TIEMPO DE REPARACIÓN DE LOS CILINDRO DE DIRECCIÓN DE LETOURNEAU

Fuente: Realizada por el autor con datos de la empresa

Como el requisito del test de normalidad es que el p-valor debe ser mayor a 0.05, los datos de tiempo de reparación general de los equipos tienen distribución normal.

Luego se procedió con analizar la capacidad del proceso como se puede apreciar en el siguiente gráfico.

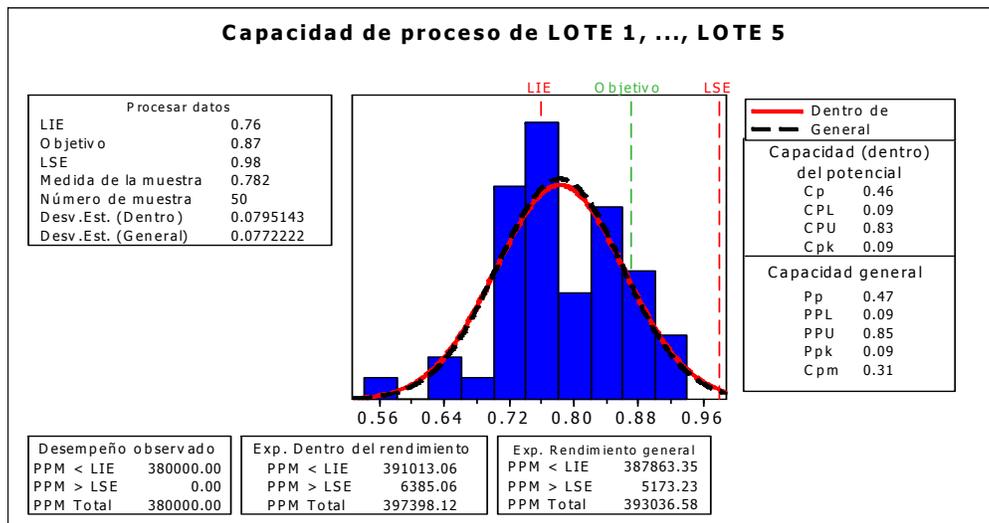


GRÁFICO 9: ANÁLISIS DE CAPACIDAD DEL CUMPLIMIENTO DE REPARACIÓN DE LOS CILINDRO DE DIRECCIÓN DE LETOURNEAU

Fuente: Realizada por el autor con datos de la empresa

Como se puede apreciar en el gráfico 9 como el índice Cp es menor que 1. Se concluyó el proceso de la reparación general de los cilindros hidráulicos no es capaz por lo tanto los datos de índice de cumplimiento está desfasado al lado izquierdo. Donde se recomienda centrar el proceso dentro los límites de especificación. Se concluye que el incumplimiento con el cliente de ANTAMINA con respecto a la reparación de cilindro hidráulico de dirección LETOURNEAU. Esto se debe a los re-procesos generados en las etapas de la reparación.

### 3.2.1. Analizar

Una vez realizada la medición de la capacidad del proceso de reparación general de la reparación general de los cilindros de dirección de LETOURNEAU, se analizó cuáles son las causas que influyeron en el retraso de la reparación de dichos equipos, luego se clasificó las variables significativas.

Primero se realizó un Pareto indicando las causas muy resaltantes que ocurrieron durante el proceso, las inferencias se pueden apreciar en el siguiente cuadro dichas causas concuerdan con el estudio realizado (AMEF).

CATEGORÍA	INFERENCIAS	FRECUENCIA
A	Alineamiento de vástago fuera de rango	14
B	Desface de alojamiento de horquilla de cilindro	13
C	Desface de alojamiento de horquilla de vástago	13
D	Porosidades en tapa rellena	6
E	Dimensiones de tapa fuera de medida	3
F	Dimensiones de embolo fuera de medida	8
G	Inadecuado montaje	4
H	Fuga interna de aceite	5
I	Fuga por tapa de salida de vástago	5
J	Ralladuras en vástago	3
K	Proceso de reparación incompleto	2

CUADRO 5: FRECUENCIA DE DEFECTOS REALIZADOS EN LOS AÑOS 2012 AL 2014 DE LOS CILINDROS DE DIRECCIÓN DE LETOURNEAU

Fuente: Data Octubre-Diciembre 2013 y Enero-Marzo 2014 de RECOLSA

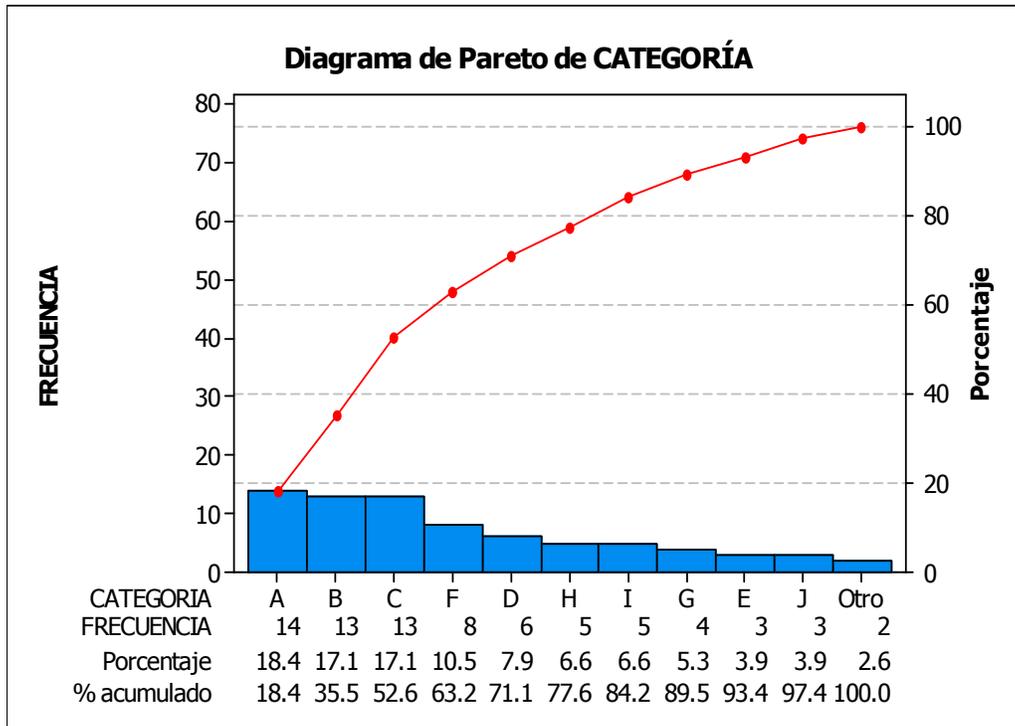


GRÁFICO 10: DIAGRAMA DE PARETO DE LOS DEFECTOS EN EL PROCESO DE REPARACIÓN DE LOS EQUIPOS CRÍTICOS

Fuente: Data Octubre-Diciembre 2013 y Enero-Marzo 2014 de RECOLSA

Para profundizar en el análisis realizado en el Pareto se optó por realizar la el diagrama de Ishikawa.

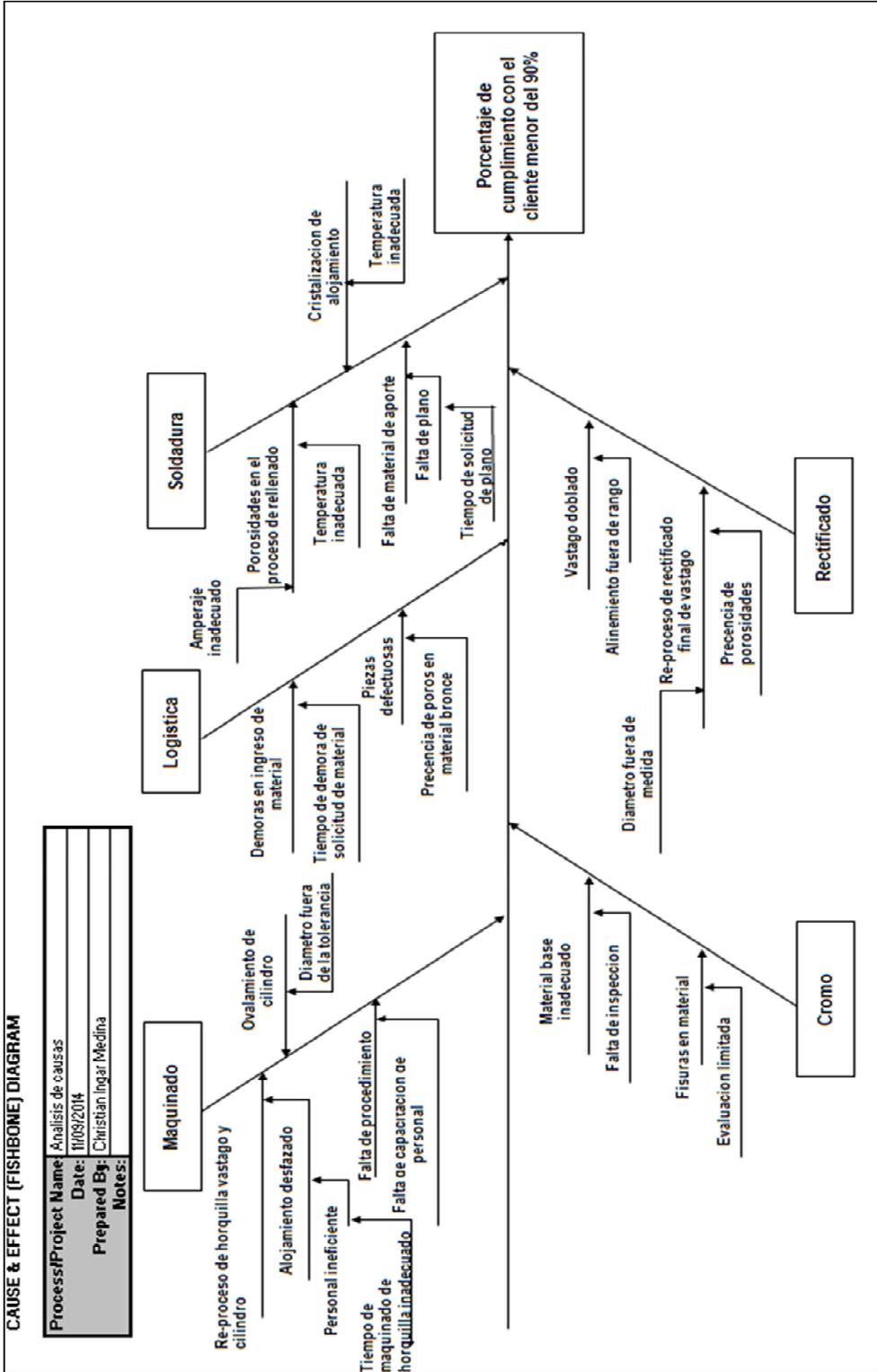


DIAGRAMA 1 : ESQUEMA DE ISHIKAWA

- **QFD<sup>3</sup>**

Para poder reducir estos defectos que recaen directamente en el adecuado funcionamiento del equipo; se procedió a realizar una reunión con los operarios, supervisores y clientes con el fin de discutir los problemas potenciales o pocos vitales que afectan el servicio de reparación de dicho cilindro hidráulico.

En primer lugar se realizó una encuesta para la elaboración de las cuatro casas de la calidad (QFD) con el fin de saber cuáles son los requerimientos de nuestros clientes con el fin de lograr incrementar su índice de satisfacción con nuestro servicio de reparación de los cilindros hidráulicos que le interesa a los ingenieros de producción de las empresas (nuestros clientes en especial Compañía Minera Antamina). (Ver anexo 5)

Para la elaboración de la primera casa se tuvo que realizar una reunión para determinar el planeamiento de mejora del servicio de reparación de los cilindros hidráulicos.

Previa a esta actividad se procedió en la elaboración de los benchmarking lo cual se realizó una visita a las empresas de la competencia las cuales son:

- Hydraulic System S.A.C
- FAMA S.A.
- Ingeniería hidráulica y filtración S.A.C.
- Our Company S.A.C.

---

<sup>3</sup> Quality Funcional Deployment: Despliegue de la función de calidad.

Donde se puede representar en el siguiente gráfico (10-1). En este gráfico se puede apreciar que el mejor servicio de reparación lo tiene la empresa HIDRULIC SYSTEM, implica que nuestra empresa debe realizar mejoras como:

- **Mayor resistencia a las vibraciones:** Para el cliente se requiere que sus equipos reparados cumpla con los estándares respectivos al momento del trabajo en mina u otro rubro industrial
- **Adecuada longitud de trabajo:** Este punto es fundamental para el cliente cada clase de equipo debe tener la longitud adecuada para un determinado proceso de trabajo ya sea en cargadores, excavadoras, etc.
- **Que no haya ruidos extraños:** Los ruidos son las anomalías que no se deben presenciar en un equipo reparado; dichas anomalías son la fricción entre los componentes esto trae como consecuencia el rápido deterioro de las piezas y por ende la parada de la producción.
- **Adecuada hermeticidad:** El cliente requiere su equipo reparado no tenga fugas de cualquier tipo (interna o externa).
- **Respeto de las medidas estándar:** Para el cliente todas las medidas del cilindro se deben respetar ya que dichas medidas dependen del trabajo del equipo industrial.
- **Libre de contaminación:** El equipo debe estar cerrado para no permitir el ingreso de cuerpos extraños del medio ambiente que perjudique el funcionamiento adecuado del equipo hidráulico reparado.
- **Presión adecuada:** Para el cliente la presión del cilindro hidráulico debe ser correcta para un determinado trabajo en el campo industrial.

- **Soportes a exposiciones del medio ambiente:** Los equipos reparados deben tener resistencia a cualquier tipo fenómeno climático en el trabajo de campo. Para ello deben requerir de una protección adecuada.
- **Adecuada capacidad de trabajo:** Se refiere que la vida útil de la reparación debe cubrir las expectativas del cliente al momento de un determinado trabajo en el campo industrial respectivo.
- **Fuerza de empuje:** El cilindro hidráulico reparado debe tener la fuerza adecuada para realizar un determinado proceso.
- **Color adecuado:** Para el cliente el color del equipo debe ser el adecuado según la estructura de la máquina para que trabaja.
- **Adecuada protección del medio ambiente:** Una vez que el cilindro este reparado debe estar cubierto en forma adecuada para que no ingrese cuerpos extraños producidos por el calor, vientos, etc.
- **Embalaje adecuado:** El equipo debe estar embalado en forma adecuada para evitar ingreso de partículas de polvo que perjudique la reparación.
- **Compromiso en la fecha de entrega:** Para el cliente es fundamental la fecha de entrega para que su producción en el campo del mismo sea fluida.
- **Funcionamiento óptimo:** La reparación del equipo debe estar en óptimas condiciones para el trabajo en un determinado campo.

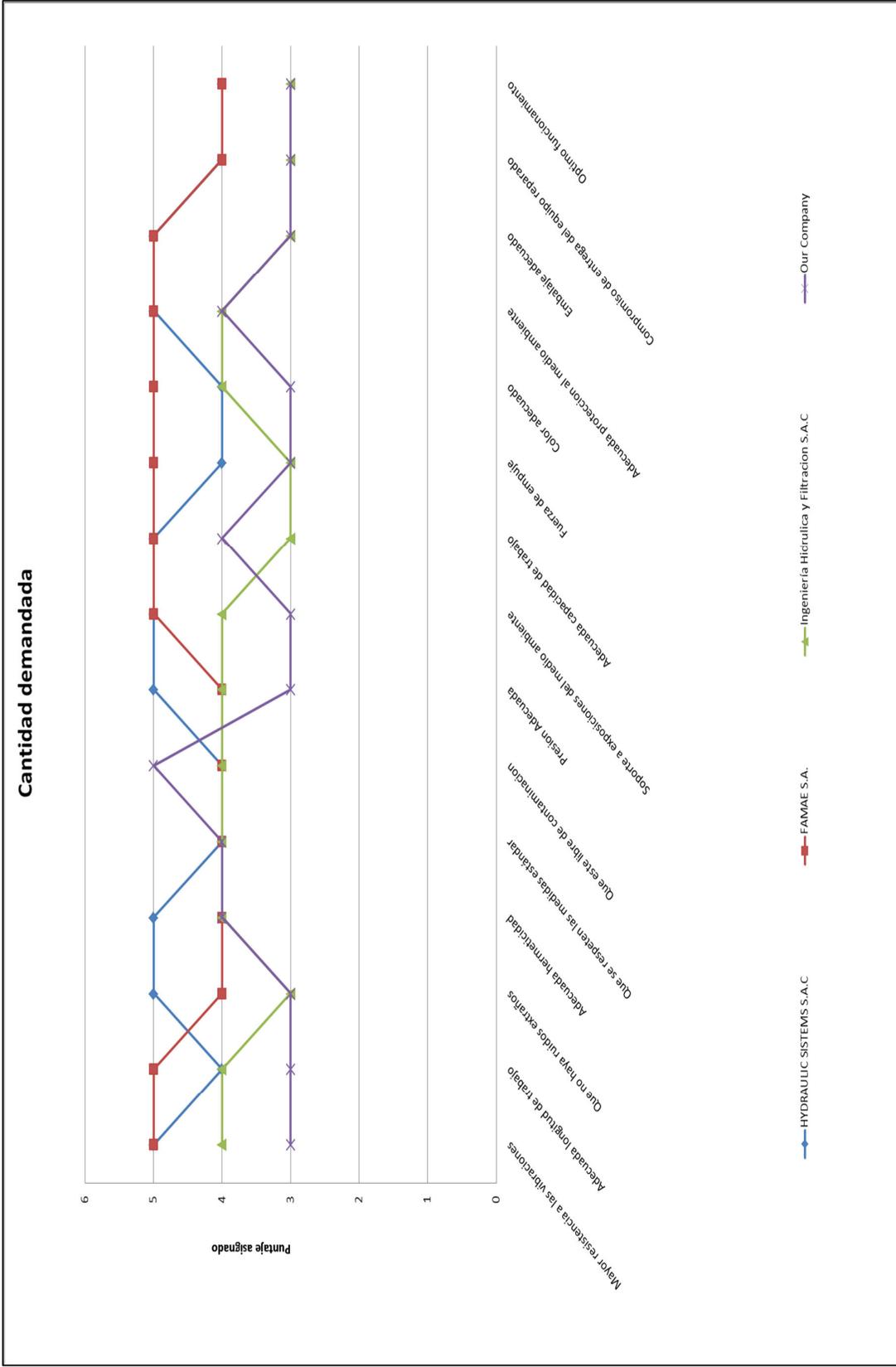


GRÁFICO 10-1: DATOS DE LA COMPETENCIA Y DE LA EMPRESA EN ESTUDIO

Fuente: Elaborada por el autor

En cuanto a las características de la calidad se toma las prioridades a mejorar las cuales resultaron tener el mayor peso de las características de la calidad; como se puede apreciar en el siguiente grafico (10-2).

Las prioridades a mejorar son:

- Luces adecuadas entre las piezas.
- Láminas de protección de PVC.
- Grado de dureza de material de vástago.
- Fluidez en el proceso de reparación de las piezas.

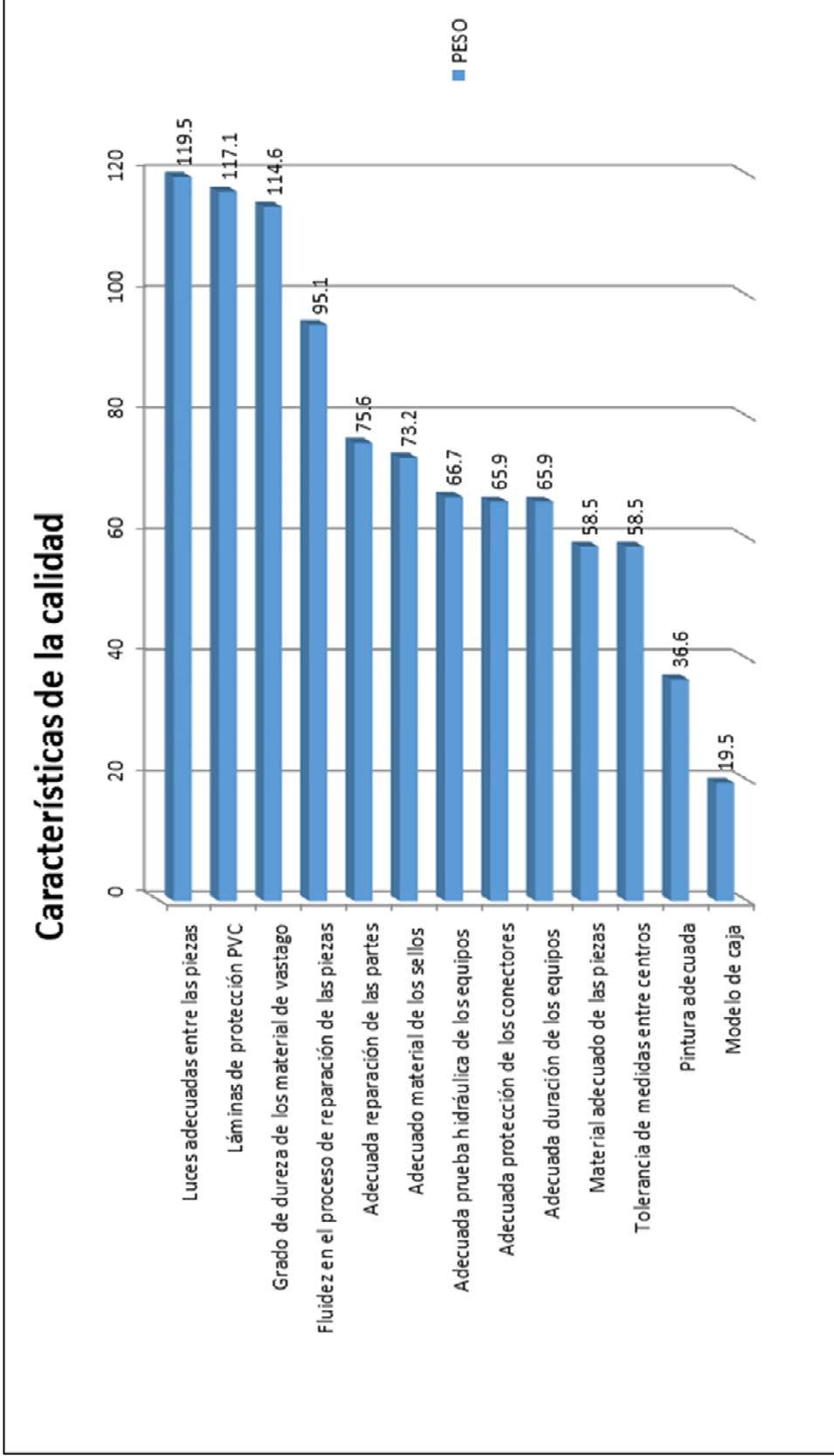


GRÁFICO 10-2: ELABORACIÓN PROPIA CON LOS DATOS DE LA COMPETENCIA Y DE LA EMPRESA EN ESTUDIO

Fuente: Elaborada por el autor

Luego se elaboró la segunda casa de la calidad que consiste en realizar el atributo de las partes, se realiza esta casa con el fin de llegar a las especificaciones que requiere el cliente con respecto a las partes de los cilindros hidráulicos después de la reparación.

Para la elaboración de los benchmarking el área de hidráulica realizó una encuesta a su personal de que cuales son las los atributos importantes de las partes de cada cilindro en general ya sea de clientes potenciales y no potenciales; ya que el objetivo es brindar un adecuado servicio de reparación de los cilindros de otros clientes.

Como consecuencia resulto el siguiente cuadro:

<b>Cantidad demandada</b>	<b>PESO</b>
Adecuado alineamiento del vástago	265.7
Diámetro interior adecuado de horquillas de cilindro y vástago	236.2
Tiempo adecuado de entrega de planos	236.2
Ajustes adecuados de las horquillas de cilindro y vástago	165.8
Adecuado acabado de embolo	130.2
Correcta longitud de vástago	124.9
Adecuado tiempo de reparación de las piezas a reparar	109
Presión hidráulica	106
Adecuada dureza de vástago	90.1
Diámetro adecuado de interior de cilindro	81
Adecuada capa de cromo	60.6
Adecuada temperatura de embalaje	36.3
Adecuada mezcla	11.4

CUADRO 5-A: ÍNDICES DE LA SEGUNDA CASA DE LA CALIDAD

Fuente: Elaborada por el autor

### Calidad demandada por los operarios de la planta-RECOLSA (Segunda casa de la calidad)

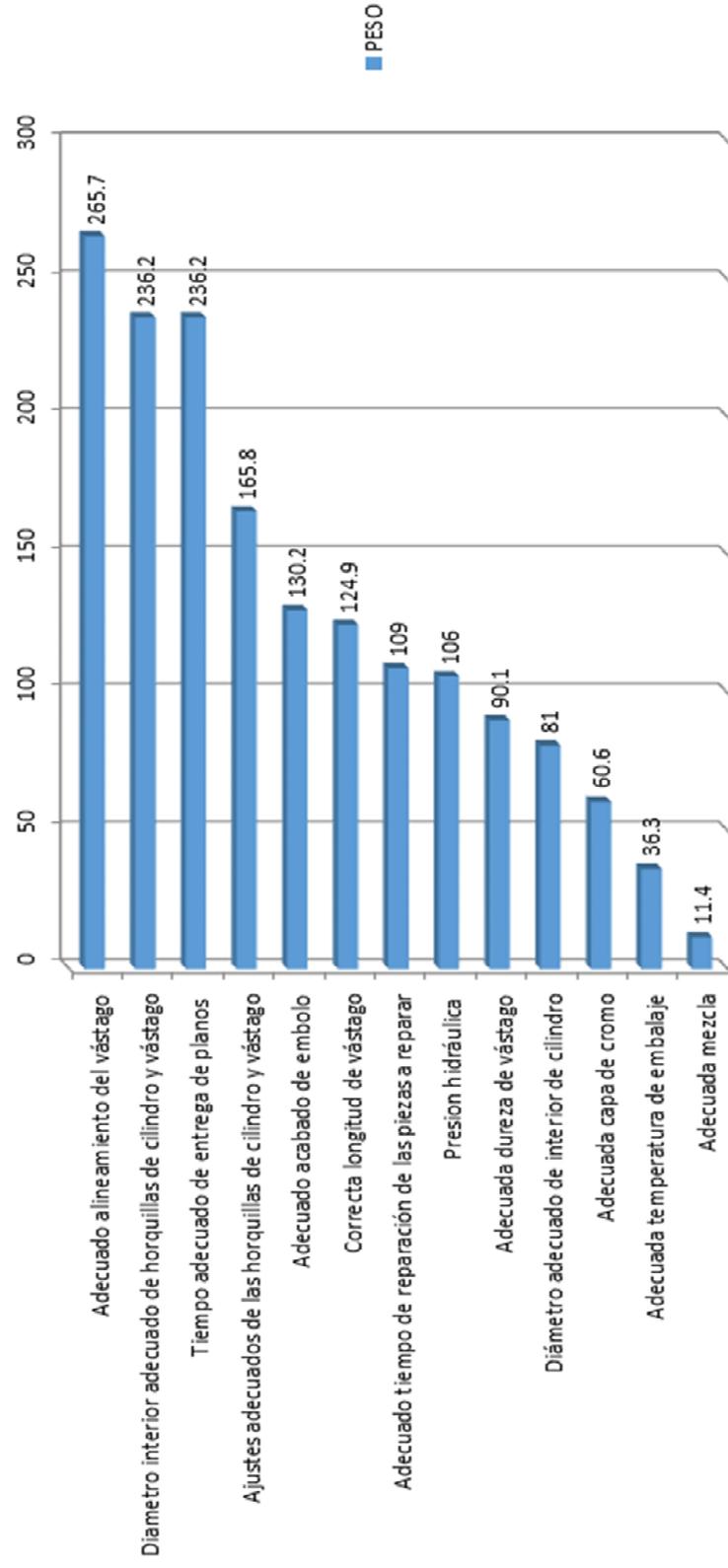


GRÁFICO 10-3: RESULTADOS DE LA ENCUESTA DE LA SEGUNDA CASA DADO POR EL ÁREA DE HIDRÁULICA

Fuente: Elaborada por el autor

Las prioridades que se tomaran en cuenta en la casa de los atributos de las partes son:

- Diámetro interior de horquillas de cilindro y vástago.
- Adecuada capa de cromo.
- Presión hidráulica.
- Adecuado tiempo de reparación de piezas a reparar.
- Adecuada dureza de vástago.

Es decir que debemos mejorar las prioridades antes mencionadas para poder realizar un servicio de reparación adecuado de los cilindros hidráulicos.

Para mejorar el proceso de reparación se procedió a la elaboración de la tercera casa de la calidad (procesos) con el fin de corroborar lo expuesto anteriormente. Lo cual se llegó al siguiente cuadro.

<b>Cantidad demandada</b>	<b>PESO</b>
Adecuada temperatura para el relleno de alojamientos de cilindro y vástago	225.3
Adecuada intensidad del proceso de cromado	191.9
Eficiencia en el tiempo de maquinado de alojamientos de horquillas de cilindro y vástago	178
Montaje adecuado	159.9
Tiempo de alineamiento	156.1
Tiempo adecuado de cromado	149.5
Bruñido adecuado interior de cilindro	106.9
Tiempo de torneado y acanalado	65.8
Adecuado acabado de alojamiento interior de cilindro y vástago	63.8
Adecuado torneado de vástago	38.5
Adecuado flameado de plástico	8.6
Proporción de componentes adecuados	2.7

CUADRO 5-B: ÍNDICES DE LA TERCERA CASA

Fuente: Elaborada por el autor

Este cuadro fue elaborado con los datos el proceso de reparación de los cilindros hidráulicos, los resultados de los benchmarking se puede apreciar en la siguiente gráfica:

### Calidad demandada (Tercera casa de la calidad)

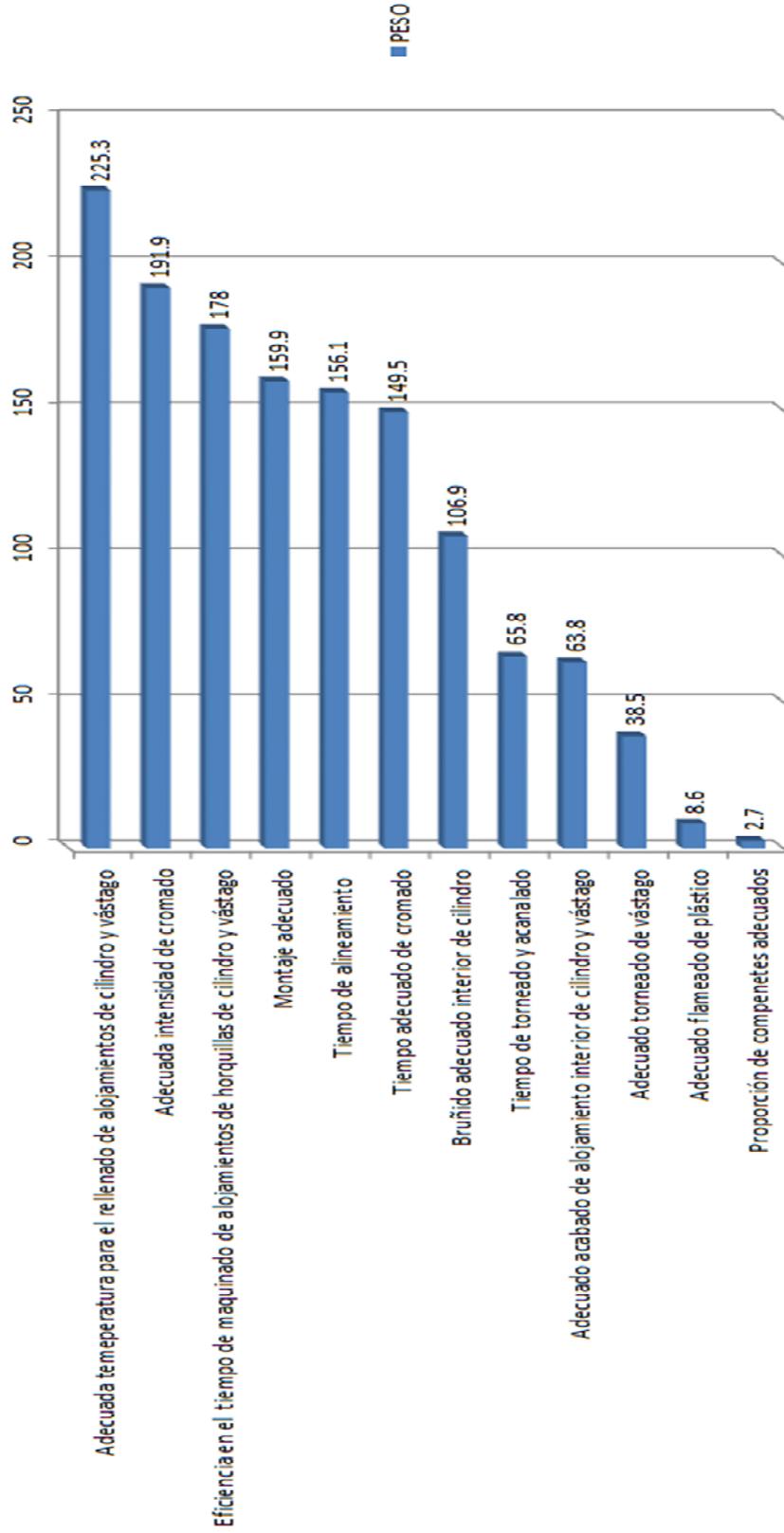


GRÁFICO 10-4: RESULTADOS DE LA ENCUESTA EN LA TERCERA CASA DADO POR EL ÁREA DE HIDRÁULICA

Fuente: Elaborada por el autor

De los resultados obtenidos de la gráfica anterior se puede apreciar que debemos tomar como prioridad los siguientes factores:

- Adecuada temperatura para relleno de alojamiento de horquillas de cilindro y vástago.
- Adecuada intensidad de cromado.
- Eficiencia en el maquinado de los alojamientos de horquillas de vástago y cilindro.
- Montaje adecuado.
- Tiempo de alineamiento de vástago.
- Tiempo adecuado de cromado.

Una vez elaborada la casa anterior se procede a la elaboración de la última casa que en el de la producción en esta cuarta casa podemos establecer y corroborar los objetivos antes mencionado en la primera parte del proyecto de los datos históricos de área de producción se elaboró el siguiente cuadro.

<b>Cantidad demandada</b>	<b>PESO</b>
Requerimiento de capacitación	750.8
Costo de la reparación	701.3
Diagrama de flujos de procesos	698.4
Programación de trabajos	678.3
Asignación de recursos	595.2
Instrumentos de medición	547.3
Tiempo Standart de entrega	534
Cotización de reparación	513.9
Distribución y programación de trabajos	430
Control de producción	404.4
Fecha de entrega	401.5
Pronósticos	327.6
Plan de producción	241.4
Control de stock de material para vástago	61.4

CUADRO 5-C: ÍNDICES DE LA CUARTA CASA

Fuente: Elaborada por el autor

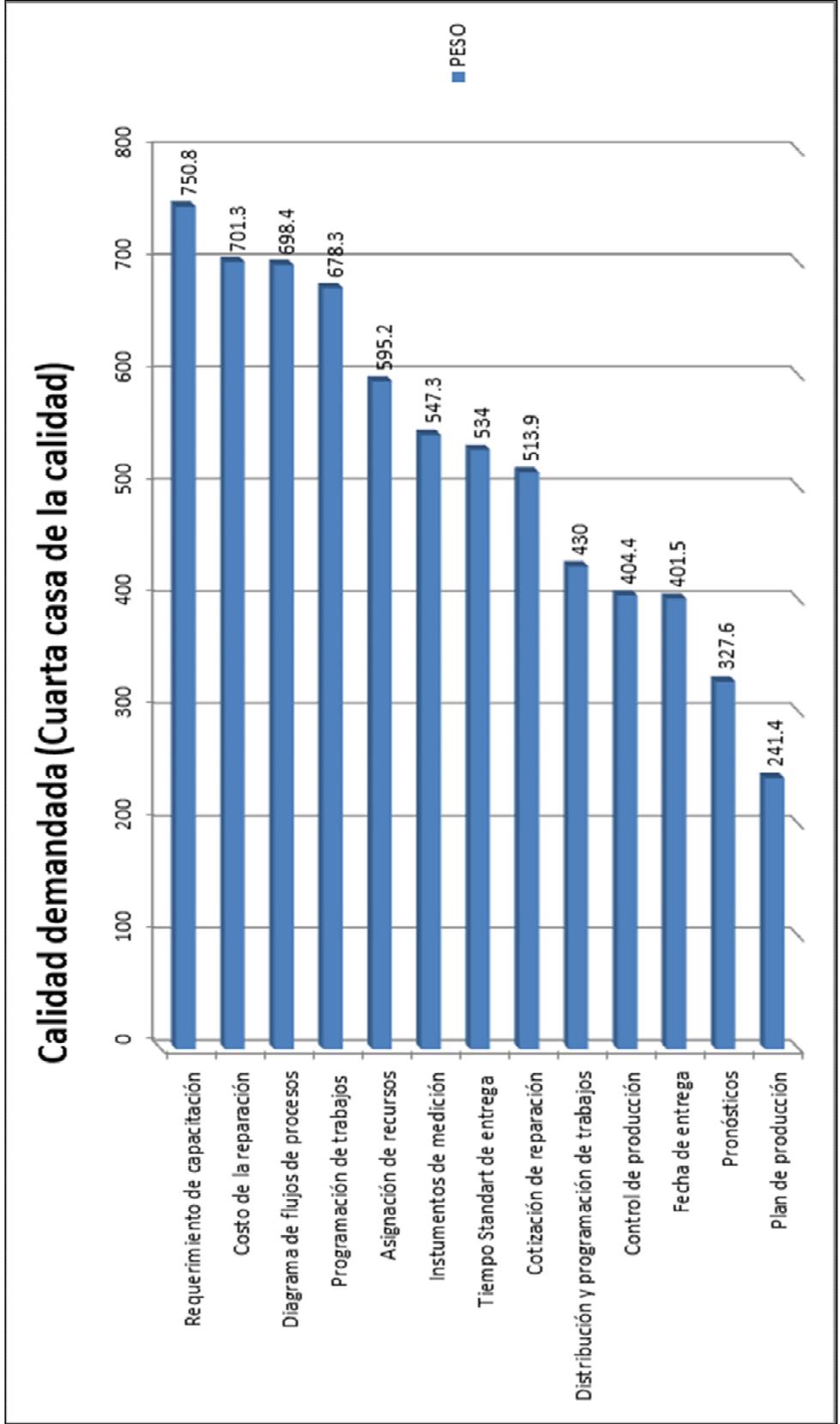


GRAFICO 10-5: RESULTADOS DE LA ENCUESTA DE LA CUARTA CASA DADO POR EL ÁREA DE HIDRÁULICA

Fuente: Elaborada por el autor

# CAPÍTULO IV: PRUEBAS Y RESULTADOS

---

## 4. Mejorar el proceso:

### 4.1 Prueba de Hipótesis

De lo analizado anteriormente en el QFD se concluyó que las variables que más afectan al índice de cumplimiento del cliente son:

- Tiempo de maquinado de alojamiento de horquilla de cilindro y vástago (tienen la misma medida).
- Tiempo en que demora el material.
- Tiempo de solicitud del plano.
- Temperatura de relleno de alojamiento de horquilla de vástago y cilindro.
- Alineamiento de vástago.

Son las que afectan el índice (porcentaje) de cumplimiento del cliente(s). Se procedió a clasificar las variables significativas; es decir las variables más resaltantes que generan mayor impacto en el resultado final (el porcentaje de satisfacción del cliente).

Para saber dicha significancia se realizó la prueba de hipótesis de cada una de las variables implicadas en el proceso.

Para ello se recolecto los siguientes datos de cada una de las variables implicadas.

- Tiempo de maquinado de alojamiento de horquilla de cilindro.

<b>2013</b>	<b>OP1</b>	<b>OP2</b>	<b>OP3</b>
Enero	5.002	7.318	6.279
Febrero	5.002	7.318	6.279
Marzo	5.002	7.319	6.279
Abril	5.602	5.892	6.284
Mayo	5.603	5.892	6.284
Junio	5.602	6.955	6.285
Julio	6.212	6.955	4.875
Agosto	5.072	7.932	6.279
Septiembre	5.072	7.932	4.876
Octubre	5.072	7.932	4.876

CUADRO 6: DATA DE TIEMPO DE MAQUINADO DE ALOJAMIENTO DE HORQUILLA DE CILINDRO DE LOS DIFERENTES OPERARIOS

Fuente: Data de recolección de datos RECOLSA 2013

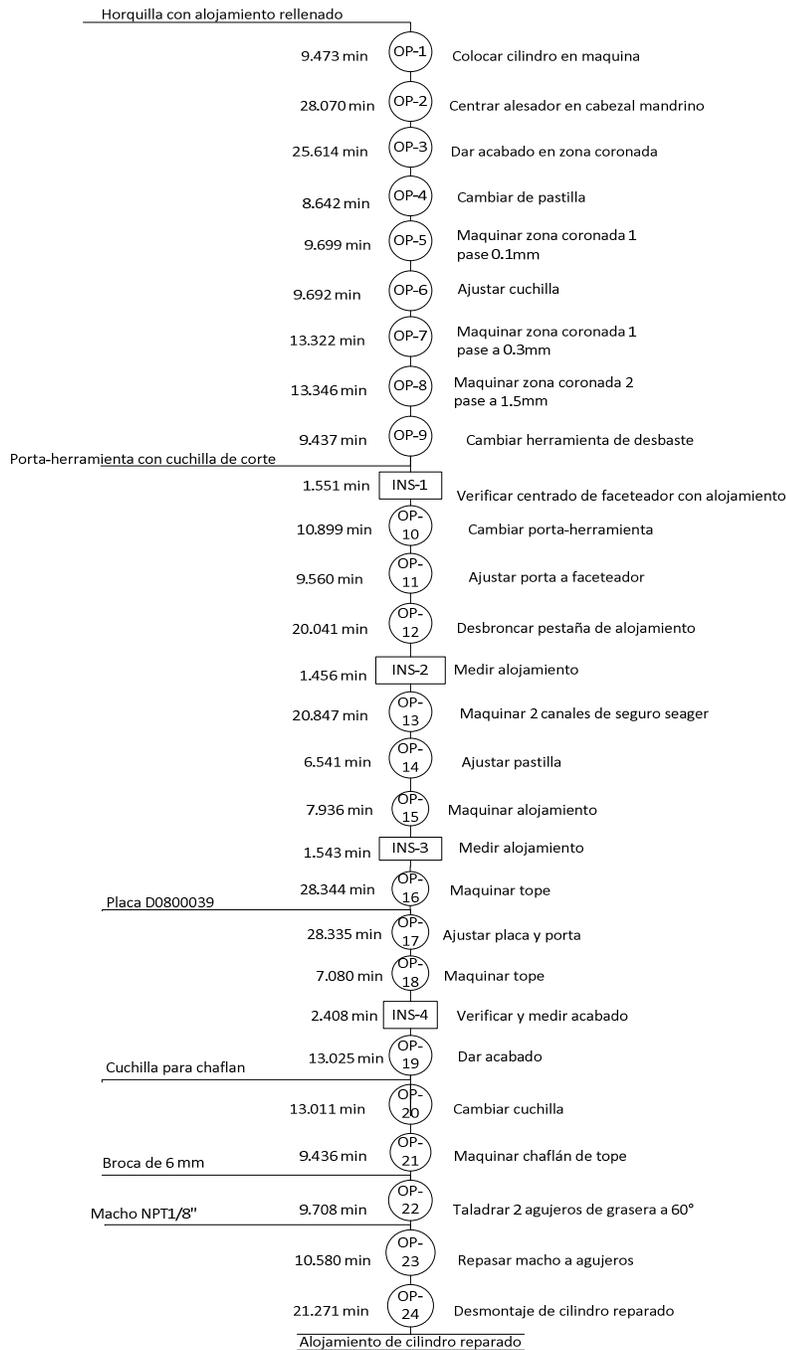
- Tiempo de maquinado de alojamiento de horquilla de vástago.

<b>2013</b>	<b>OP1</b>	<b>OP2</b>	<b>OP3</b>
Enero	5	7.317	6.278
Febrero	5.002	7.317	6.278
Marzo	5.603	7.32	6.278
Abril	5.603	5.893	6.285
Mayo	5.603	5.893	6.285
Junio	6.211	6.954	6.286
Julio	6.21	6.954	4.875
Agosto	5.071	7.931	6.379
Septiembre	5.071	7.831	4.479
Octubre	5.071	7.831	4.479

CUADRO 6-A: DATA DE TIEMPO DE MAQUINADO DE ALOJAMIENTO DE HORQUILLA DE VÁSTAGO DE LOS DIFERENTES OPERARIOS

Fuente: Data de recolección de datos RECOLSA 2013

## DIAGRAMA DE OPERACIONES DE PROCESO DEL MAQUINADO DE ALOJAMIENTO DE HORQUILLA LETOURNEAU



Items	Cantidad	Tiempo(min)	Tiempo(hrs)
Operaciones	24	350.9	5.849
Inspecciones	4	-----	-----

**DIAGRAMA 2: DATA DE TIEMPO DE MAQUINADO DE HORQUILLA DE CILINDRO Y VÁSTAGO**

**Fuente: Data de recolección de datos RECOLSA 2013 (estudio de tiempos en Anexo 6)**

- Tiempo en que demora el material: En el siguiente cuadro se presentan la data correspondiente al año 2013 tomados como referencia en los diferentes lotes.

2013	REQ1	REQ2	REQ3	REQ4
Enero	2.01	3.81	4.17	2.01
Febrero	2.01	3.81	4.17	2.31
Marzo	2.37	4.17	4.22	2.31
Abril	2.37	4.17	4.22	2.61
Mayo	2.73	4.22	3.81	2.61
Junio	2.73	4.22	3.81	3.21
Julio	3.09	3.09	2.37	3.51
Agosto	3.09	3.09	2.37	3.51
Septiembre	3.45	3.45	2.73	3.81
Octubre	3.45	3.45	2.73	3.81

CUADRO 7: DATA DE TIEMPO DE DEMORA DE MATERIAL EN LOS DIFERENTES LOTES

Fuente: Data de recolección de datos RECOLSA 2013

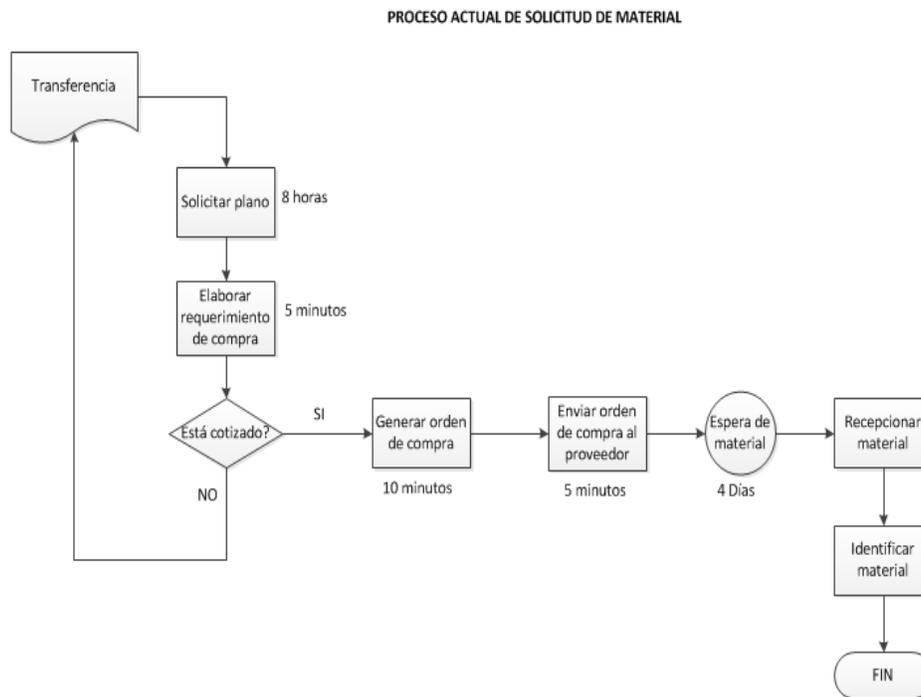


DIAGRAMA 3: FLUJO DE LLEGADA DE MATERIAL

Fuente: Data de recolección de datos RECOLSA 2013

- Tiempo de solicitud de plano: En el siguiente cuadro se presenta los tiempos de solicitudes correspondientes al año 2013 en los diferentes lotes.

2013	Req plno1	Req plno2	Req plno3	Req plno4
Enero	1.33	1.08	1.39	1.25
Febrero	3.34	1.07	2.69	2.98
Marzo	2.41	1.07	2.79	3.05
Abril	2.43	2.01	2.46	2.76
Mayo	1.3	2.07	1.34	1.74
Junio	1.35	4.1	3.31	2.65
Julio	3.32	4.1	2.45	2.29
Agosto	3.3	2.9	1.3	2.58
Septiembre	3.32	2.93	2.77	3.52
Octubre	3.34	1.08	3.33	2.95

CUADRO 8: DATA DE TIEMPO DE SOLICITUD DE PLANO EN LOS DIFERENTES LOTES

Fuente: Data de recolección de datos RECOLSA 2013

- Temperatura de proceso de rellenado de alojamiento de horquilla de cilindro y vástago.

2013	MAQ 100	MAQ102	MAQ176
Enero	300.75	432.24	532.18
Febrero	300.95	432.52	532.18
Marzo	350.8	504.41	404.12
Abril	350.8	504.41	404.12
Mayo	300.17	340.31	438.63
Junio	432.86	410.66	438.63
Julio	432.95	410.43	438.64
Agosto	432.95	326.91	520.24
Septiembre	400.17	328.02	520.28
Octubre	400.95	328.55	520.28

CUADRO 9: DATA DE TEMPERATURA (°C) DE RELLENADO DE ALOJAMIENTO DE HORQUILLA DE VÁSTAGO Y CILINDRO EN LAS DIFERENTES MÁQUINAS SOLDADORAS

Fuente: Data de recolección de datos RECOLSA 2013

- Alineamiento de vástago en milímetros (mm).

2013	Vástago 1	Vástago 2	Vástago 3
tramo 1	0.05	0.3	0.4
tramo 2	0.06	0.35	0.4
tramo 3	0.05	0.35	0.05
tramo 4	0.1	0.15	0.3
tramo 5	0.15	0.2	0.35
tramo 6	0.15	0.25	0.35
tramo 7	0.2	0.25	0.13
tramo 8	0.25	0.15	0.25
tramo 9	0.3	0.25	0.35
tramo 10	0.35	0.3	0.4

CUADRO 10: DATA DE ALINEAMIENTO DE VÁSTAGO

Fuente: Data de recolección de datos RECOLSA 2013

Para la variable tiempo de maquinado de alojamiento de cilindro

Paso 1: Prueba de normalidad del tiempo de maquinado de alojamiento de horquilla de cilindro.

Ho: Los datos de tiempo de maquinado de alojamiento de horquilla de cilindro tienen distribución normal.

H1: Los datos de tiempo de maquinado de alojamiento de horquilla de cilindro **no** tienen distribución normal.

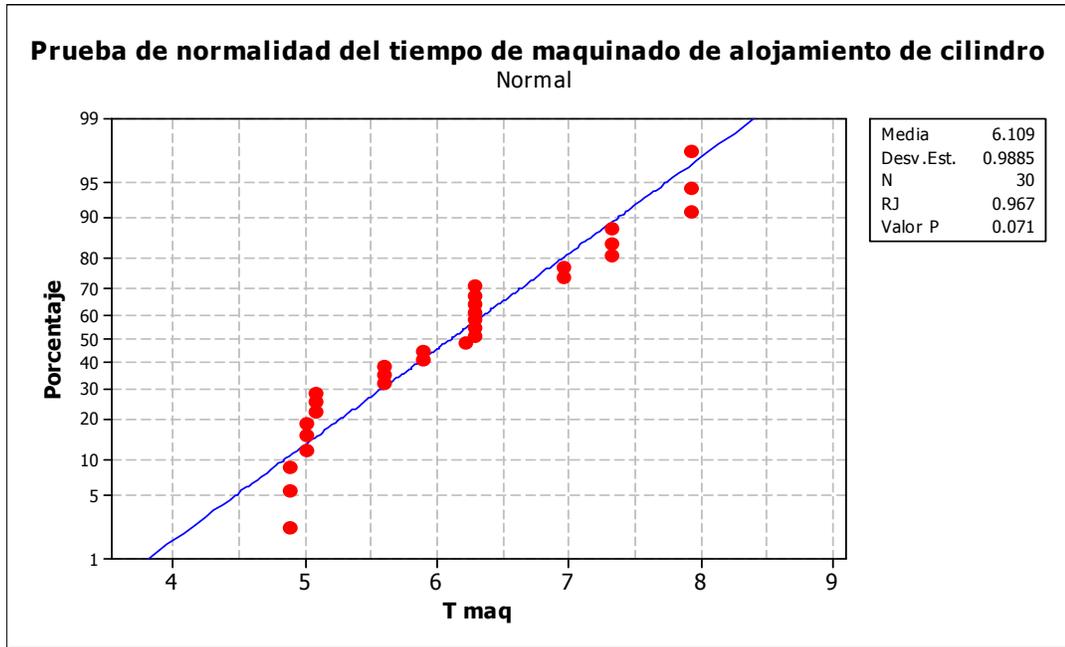


GRÁFICO 10: PRUEBA DE NORMALIDAD DEL TIEMPO DE MAQUINADO DE ALOJAMIENTO DE CILINDRO.

Fuente: Elaborada por el autor

Como se puede apreciar en el grafico el “Valor P” es igual a 0.071 y como es mayor que el alfa (0.05), por lo tanto se concluye que dichos datos tienen distribución normal.

Paso 2: Homogeneidad de varianzas.

$$H_0: \sigma_{op1} = \sigma_{op2} = \sigma_{op3}$$

H1: Al menos una es diferente

OPERARIO	N	Inferior	Desv.Est.	Superior
OP1	10	0.262015	0.411301	0.87528
OP2	10	0.482379	0.757221	1.61143
OP3	10	0.432538	0.678983	1.44493

CUADRO 11: CUADRO DE INTERVALOS DE DESVIACIONES STANDARD

Fuente: Elaborada por el autor

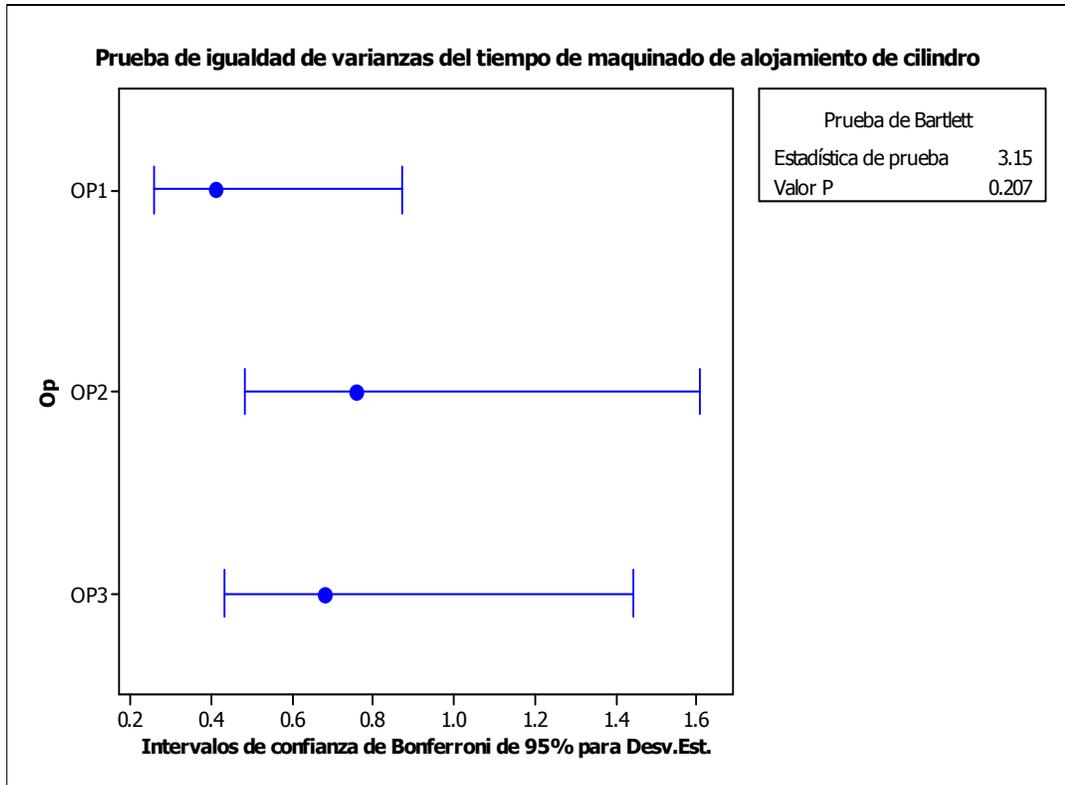


GRÁFICO 11: HOMOGENEIDAD DE VARIANZAS DE TIEMPO DE MAQUINADO DE ALOJAMIENTO DE HORQUILLA DE CILINDRO

Fuente: Elaborada por el autor

Como se puede apreciar el Valor de P es 0.207 y es mayor que 0.05, por lo tanto las varianzas entre los operarios en el proceso de maquinado de alojamientos de cilindro y vástago son iguales, el  $H_0$  no se rechaza.

- Para la variable tiempo de maquinado de alojamiento de vástago

Paso 1: Prueba de normalidad del tiempo de maquinado de alojamiento de horquilla de vástago.

Ho: Los datos de tiempo de maquinado de alojamiento de horquilla de vástago tienen distribución normal.

H1: Los datos de tiempo de maquinado de alojamiento de horquilla de vástago **no** tienen distribución normal.

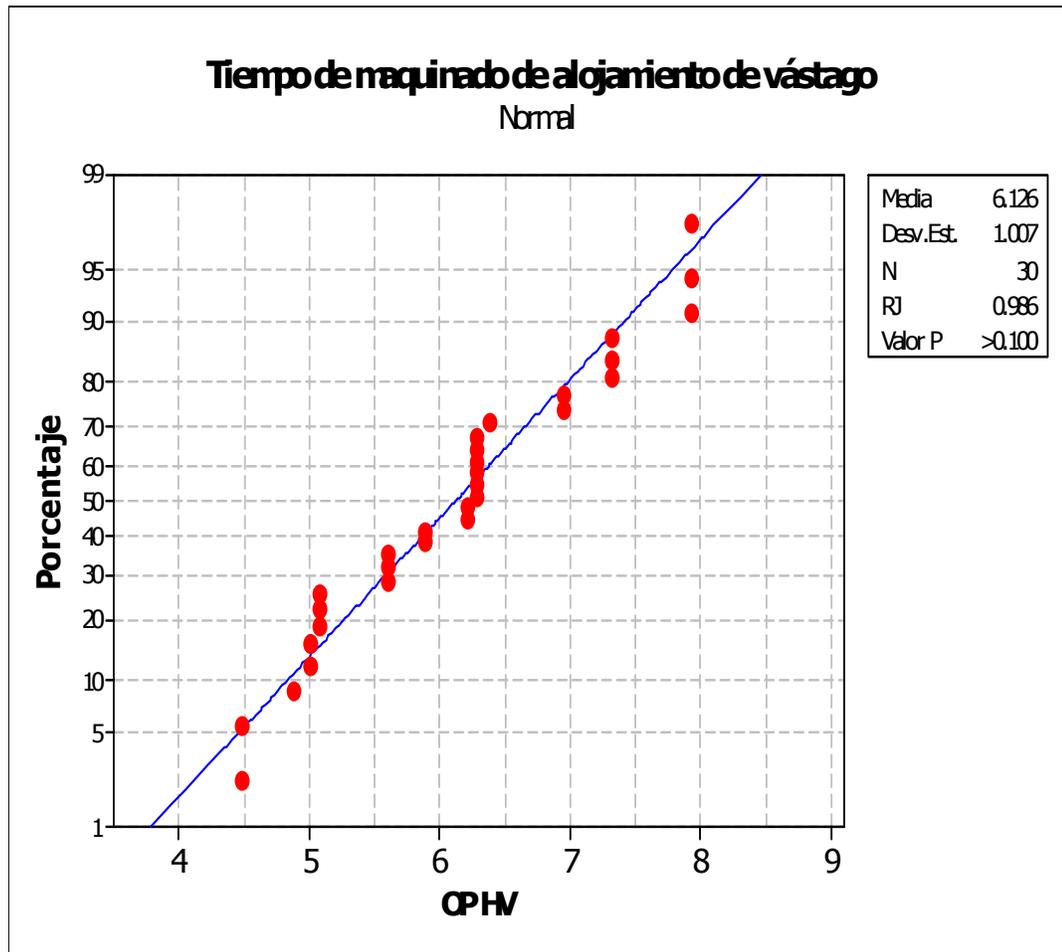


GRÁFICO 10-A: PRUEBA DE NORMALIDAD DEL TIEMPO DE MAQUINADO DE ALOJAMIENTO DE VÁSTAGO.

Fuente: Elaborada por el autor

Como se puede apreciar en el grafico el “Valor P” es igual a 0.10 y como es mayor que el alfa (0.05), por lo tanto se concluye que dichos datos tienen distribución normal.

Paso 2: Homogeneidad de varianzas.

$$H_0: \sigma_{op1} = \sigma_{op2} = \sigma_{op3}$$

H1: Al menos una es diferente

Operario	Inferior	Desv. Est	Superior
OP1	0.304831	0.478513	1.01831
OP2	0.481944	0.756538	1.60997
OP3	0.523212	0.82132	1.74784

CUADRO 11-A: CUADRO DE INTERVALOS DE DESVIACIONES STANDARD

Fuente: Elaborada por el autor

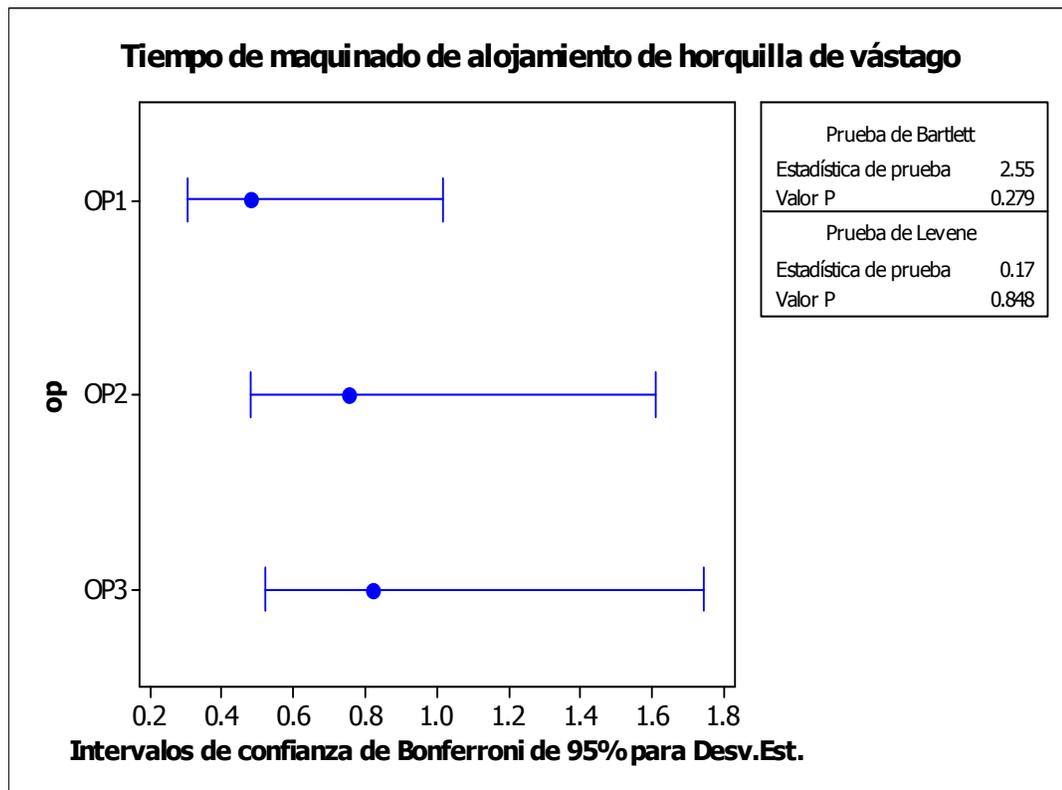


GRÁFICO 11-B: HOMOGENEIDAD DE VARIANZAS DE TIEMPO DE MAQUINADO DE ALOJAMIENTO DE HORQUILLA DE VÁSTAGO

Fuente: Elaborada por el autor

Como se puede apreciar el Valor de P es 0.848 y es mayor que 0.05, por lo tanto las varianzas entre los operarios en el proceso de maquinado de alojamientos de cilindro y vástago son iguales, el  $H_0$  no se rechaza.

- Para la variable de tiempo en que demora el material.

Paso 1: Prueba de normalidad del tiempo en que demora de material

$H_0^4$ : Los datos de tiempo en que demora de material tienen distribución normal.

$H_1^5$ : Los datos de tiempo en que demora de material **no** tienen distribución normal.

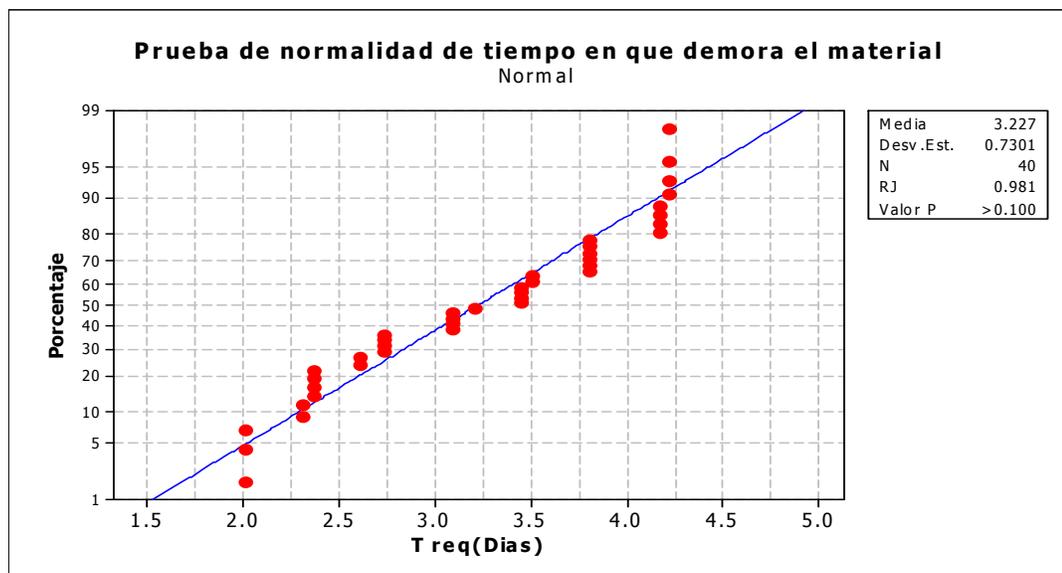


GRÁFICO 12: PRUEBA DE NORMALIDAD DEL TIEMPO EN QUE DEMORA DE MATERIAL

Fuente: Elaborada por el autor

<sup>4</sup>  $H_0$ : Hipótesis nula.

<sup>5</sup>  $H_1$ : Hipótesis afirmativa.

Como se puede apreciar en el grafico el “Valor P” es igual a 0.1 y como es mayor que el alfa (0.05), por lo tanto se concluye que el tiempo de demora del material tiene distribución normal.

Paso 2: Homogeneidad de varianzas.

$$H_0: \sigma_{REQ1} = \sigma_{REQ2} = \sigma_{REQ3} = \sigma_{REQ4}$$

H1: Al menos una es diferente

REQUERIMIENTO	N	Inferior	Desv.Est.	Superior
REQ1	10	0.335876	0.536656	1.18682
REQ2	10	0.283984	0.453745	1.00346
REQ3	10	0.504608	0.806253	1.78304
REQ4	10	0.422634	0.675278	1.49339

CUADRO 12: CUADRO DE INTERVALOS DE DESVIACIONES STANDARD

Fuente: Elaborada por el autor

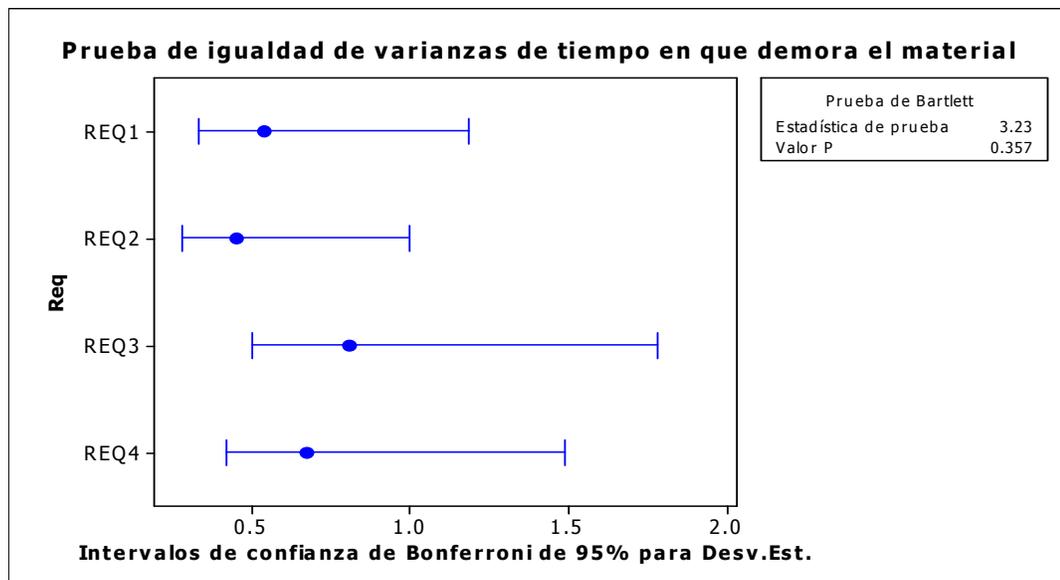


GRÁFICO 13: HOMOGENEIDAD DE VARIANZAS DE TIEMPO EN QUE DEMORA DE MATERIAL

Fuente: Elaborada por el autor

Como se puede apreciar el Valor de P es 0.357 y es mayor que 0.05, por lo tanto las varianzas de tiempo en que demora el material en los diferentes lotes son iguales, el  $H_0$  no se rechaza.

- Para la variable tiempo de solicitud del plano

Paso 1: Prueba de normalidad del tiempo de solicitud del plano

$H_0$ : Los datos de tiempo de solicitud del plano tienen distribución normal.

$H_1$ : Los datos de tiempo de solicitud del plano **no** tienen distribución normal.

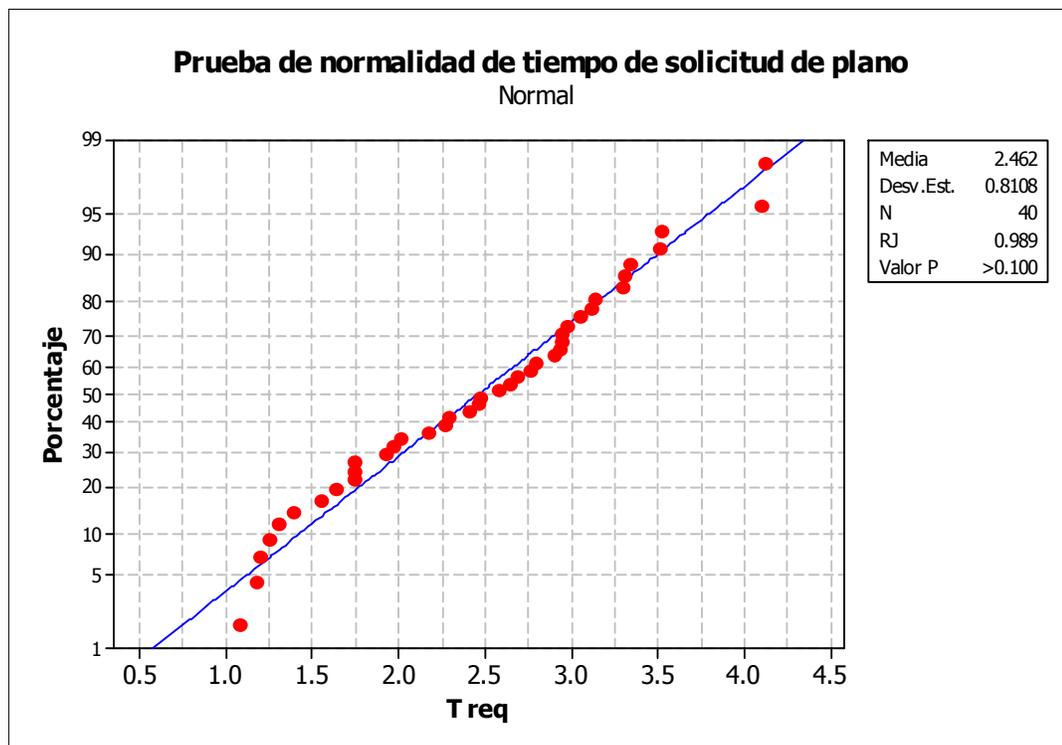


GRÁFICO 14: PRUEBA DE NORMALIDAD DEL TIEMPO DE SOLICITUD DEL PLANO

Fuente: Elaborada por el autor

Como se puede apreciar en el grafico el “Valor P” es igual a 0.1 y como es mayor que el alfa (0.05), por lo tanto se concluye que el tiempo de solicitud de plano tiene distribución normal.

Paso 2: Homogeneidad de varianzas.

$$H_0: \sigma_{\text{Req plno1}} = \sigma_{\text{Req plno2}} = \sigma_{\text{Req plno3}} = \sigma_{\text{Req plno4}}$$

H1: Al menos una es diferente.

PLANO	N	Inferior	Desv.Est.	Superior
Req plno1	10	0.499022	0.79733	1.76331
Req plno2	10	0.572993	0.915518	2.02468
Req plno3	10	0.561462	0.897095	1.98394
Req plno4	10	0.417099	0.666434	1.47383

CUADRO 13: CUADRO DE INTERVALOS DE DESVIACIONES STANDARD DEL TIEMPO DE SOLICITUD DEL PLANO

Fuente: Elaborada por el autor

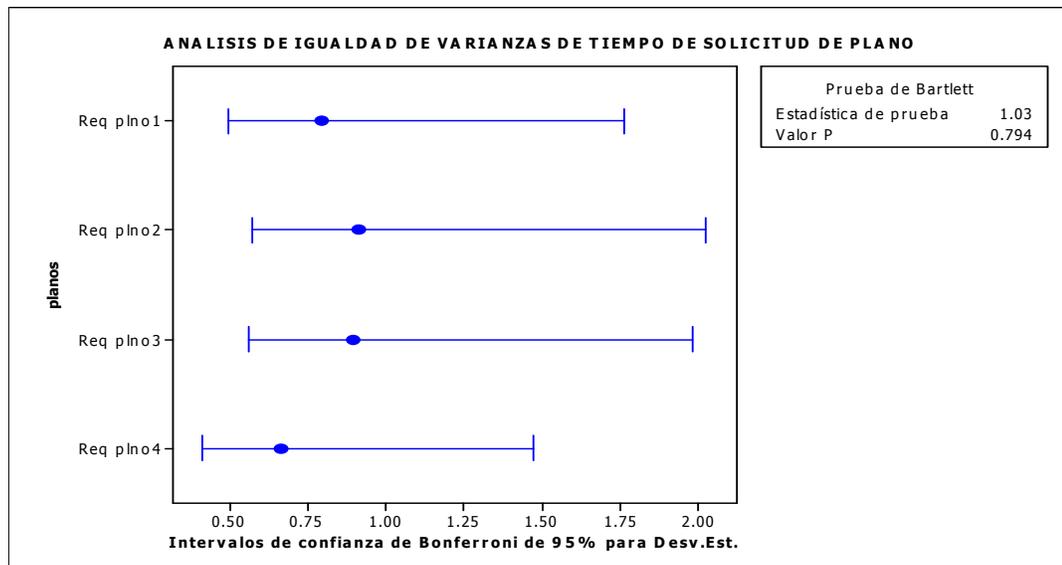


GRÁFICO 15: HOMOGENEIDAD DE VARIANZAS DE TIEMPO DE SOLICITUD DE PLANO

Fuente: Elaborada por el autor

Como se puede apreciar el Valor de P es 0.794 y es mayor que 0.05, por lo tanto las varianzas solicitados en los diferentes lotes son iguales, el  $H_0$  no se rechaza.

- Para la variable temperatura.

Paso 1: Prueba de normalidad del temperatura.

$H_0$ : Los datos de temperatura para el relleno tienen distribución normal.

$H_1$ : Los datos de temperatura para el relleno **no** tienen distribución normal.

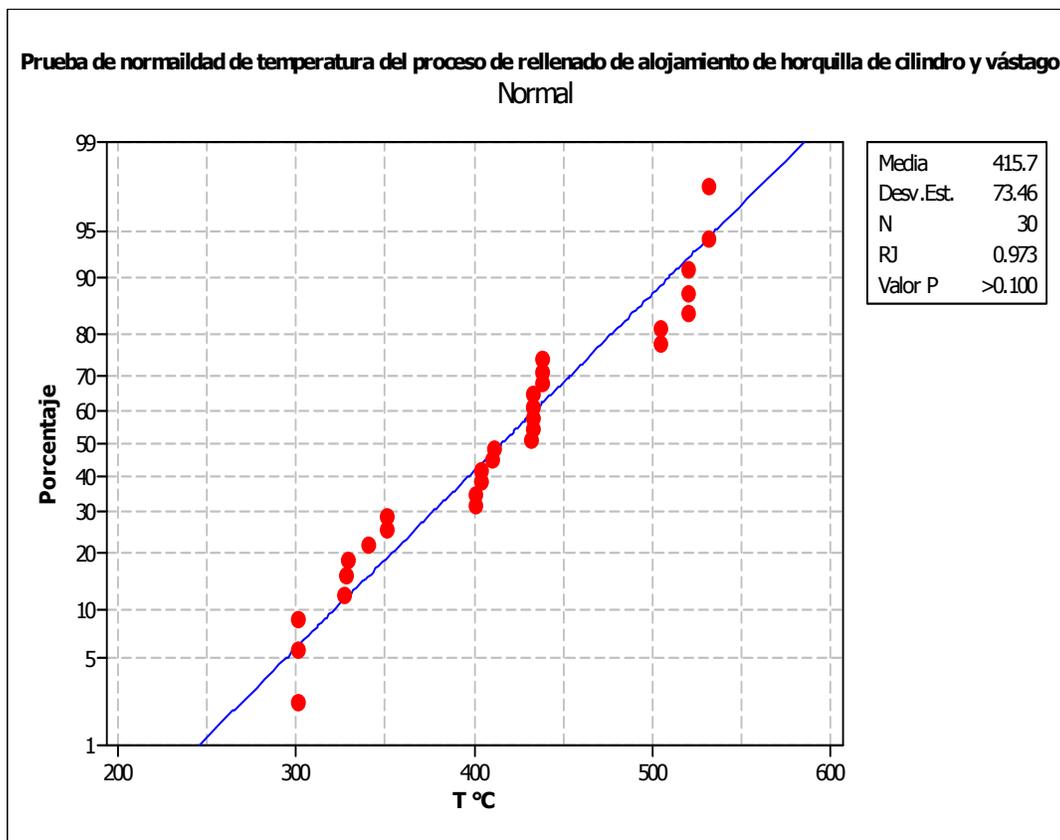


GRÁFICO 16: PRUEBA DE NORMALIDAD DE TEMPERATURA DE PROCESO DE RELLENADO DE ALOJAMIENTO DE CILINDRO Y VÁSTAGO

Fuente: Elaborada por el autor

Como se puede apreciar en el grafico el “Valor P” es igual a 0.1 y como es mayor que el alfa (0.05), por lo tanto se concluye que la temperatura para el proceso de rellenado tiene distribución normal.

Paso 2: Homogeneidad de varianzas.

$$H_0: \sigma_{\text{MAQ 100}} = \sigma_{\text{MAQ 102}} = \sigma_{\text{MAQ 176}}$$

H1: Al menos una es diferente.

MAQUINA	N	Inferior	Desv.Est.	Superior
MAQ100	10	36.1118	56.687	120.635
MAQ102	10	44.1759	69.3457	147.573
MAQ176	10	34.6988	54.469	115.914

CUADRO 14: CUADRO DE INTERVALOS DE DESVIACIONES STANDARD DE LA TEMPERATURA PARA EL PROCESO DE RELLENADO

Fuente: Elaborada por el autor

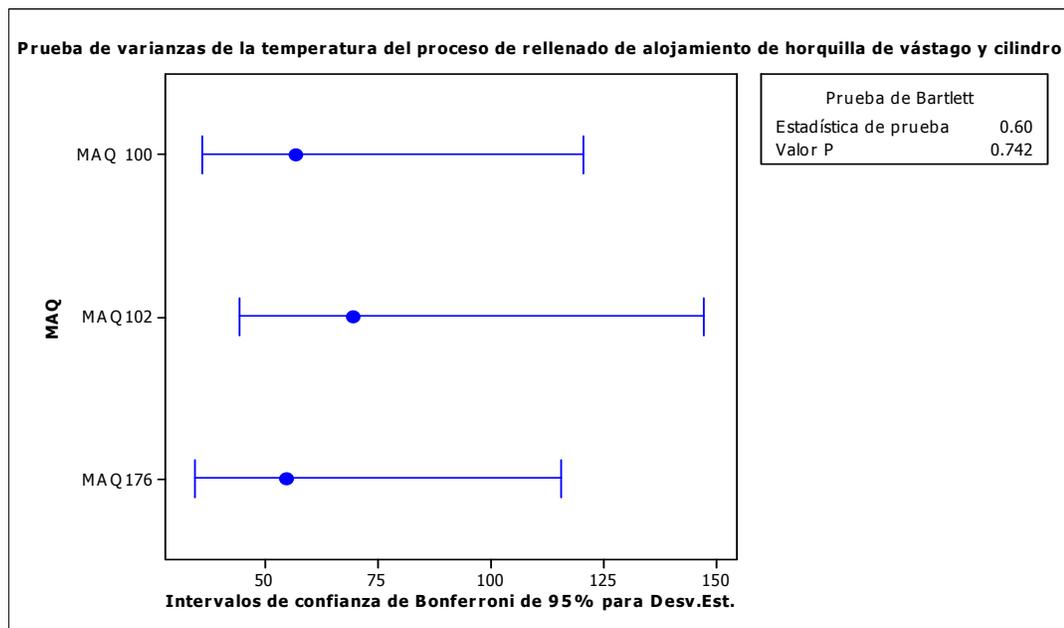


GRÁFICO 17: HOMOGENEIDAD DE VARIANZAS DE TEMPERATURA PARA EL PROCESO DE RELLENADO

Fuente: Elaborada por el autor

Como se puede apreciar el Valor de P es 0.742 y es mayor que 0.05, por lo tanto las varianzas las temperaturas para el proceso de rellenado entre las máquinas de soldar son iguales, el  $H_0$  no se rechaza.

- Para la variable tiempo de alineamiento de vástago

Paso 1: Prueba de normalidad del tiempo de maquinado

$H_0$ : Los datos de alineamiento de vástago tienen distribución normal.

$H_1$ : Los datos de alineamiento de vástago **no** tienen distribución normal.

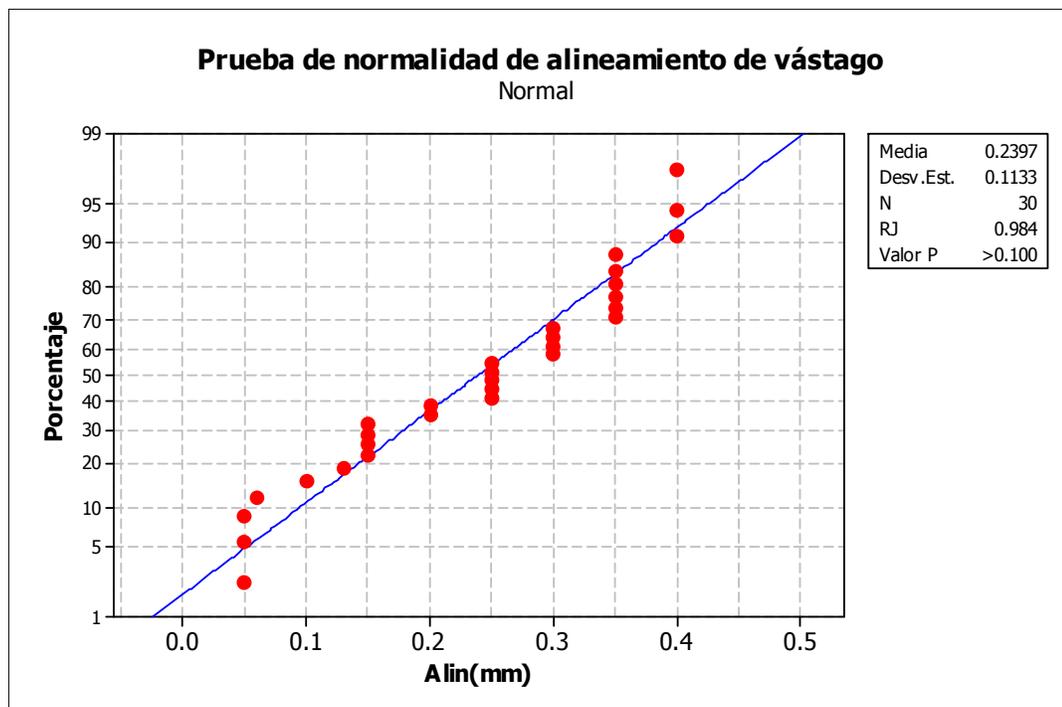


GRÁFICO 18: PRUEBA DE NORMALIDAD DE ALINEAMIENTO DE VÁSTAGO

Fuente: Elaborada por el autor

Como se puede apreciar en el gráfico anterior los datos de alineamiento de vástago tienen distribución normal ya que el valor-P es mayor que el 0.1, lo cual significa que es mayor que el alfa (0.05). Entonces la hipótesis nula no se rechaza.

Paso 2: Homogeneidad de varianzas.

$$H_0: \sigma_{\text{vástago 1}} = \sigma_{\text{vástago 2}} = \sigma_{\text{vástago 3}}$$

H1: Al menos una es diferente.

VASTAGO	N	Inferior	Desv.Est.	Superior
Vástago 1	10	0.0681628	0.106999	0.227704
Vástago 2	10	0.0461578	0.072457	0.154194
Vástago 3	10	0.0769619	0.120812	0.257098

CUADRO 15: CUADRO DE INTERVALOS DE DESVIACIONES STANDARD DE ALINEAMIENTO DE VÁSTAGO

Fuente: Elaborada por el autor

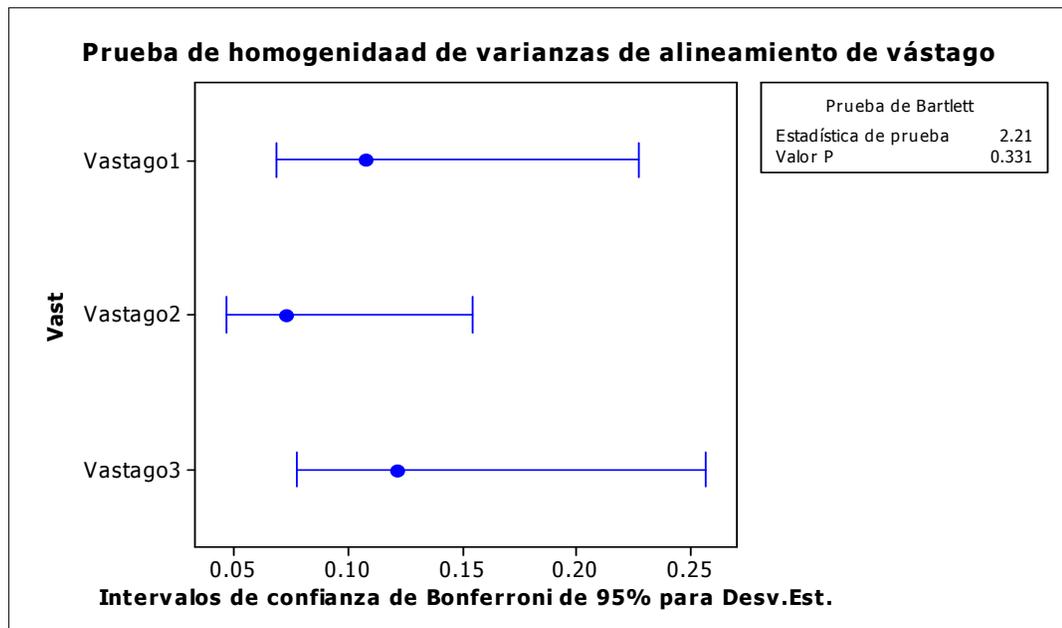


GRÁFICO 19: IGUALDAD U HOMOGENEIDAD DE VARIANZAS DE ALINEAMIENTO DE VÁSTAGO

Fuente: Elaborada por el autor

Como se muestra en el gráfico las varianzas entre los tres vástagos son iguales ya que el valor-P es 0.331 lo cual es mayor que el alfa (0.05). Por lo tanto se acepta la hipótesis nula.

- **Prueba ANOVA de las variables.**

Una vez comprobado la normalidad y la homogeneidad de varianzas, se procedió a la realización de análisis de significancia de las variables; es decir cuál de las cuatro variables afectan el resultado (porcentaje de satisfacción de los clientes). Las cuales dieron los siguientes resultados

**ANOVA unidireccional: Tiempo de maquinado vs. Operario**

Se plantea la siguiente hipótesis:

Ho:  $\mu_{op1} = \mu_{op2} = \mu_{op3}$

H1: Al menos una es diferente.

Fuente	GL <sup>6</sup>	SC	MC	F	P
OP <sup>7</sup>	2	17.505	8.753	21.82	0.000
Error	27	10.832	0.401		
Total	29	28.337			

S = 0.6334 R-cuad. = 61.77% R-cuad.(ajustado) = 58.94%

ICs<sup>8</sup> de 95% individuales para la media basados en Desviación

Estándar agrupada

Nivel	N	Media	Desv.Est.	+-----+-----+-----+-----
OP1	10	5.3241	0.4113	(-----*-----)
OP2	10	7.1445	0.7572	(-----*-----)
OP3	10	5.8596	0.6790	(-----*-----)
				+-----+-----+-----+-----
				4.90    5.60    6.30    7.00

Desv. Est. agrupada = 0.6334

<sup>6</sup> GL: Grados de libertad.

<sup>7</sup> OP: Operario.

<sup>8</sup> ICs: Intervalos de confianza.

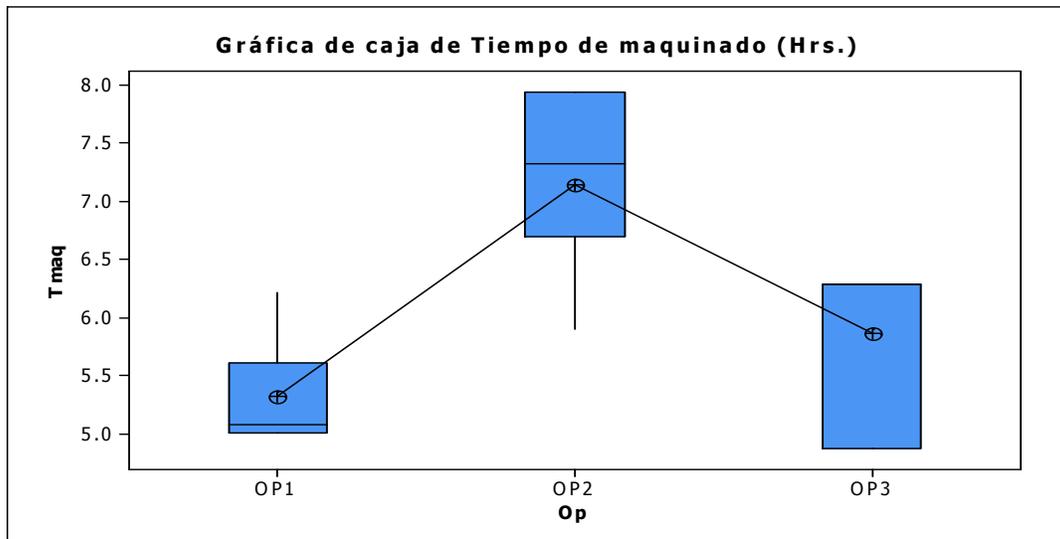


GRÁFICO 20: DIAGRAMA DE CAJAS DE TIEMPO PROMEDIO ENTRE TRES OPERARIOS (OP) DE LA PLANTA

Fuente: Elaborada por el autor

De los resultados anteriores nos indica que como el Valor-P es menor que el alfa (0.05), se rechaza la hipótesis de que las medias de tiempo de proceso de maquinado de alojamiento de horquilla de cilindro y vástago entre los operarios son iguales. Por lo tanto la variable de tiempo de maquinado **es significativa**. Además dicha variable representa el 58.94% del problema.

Además del grafico anterior representa que la media del tiempo del operario número 2 es muy variable.

### **ANOVA unidireccional: Tiempo de maquinado de alojamiento de vástago vs. Operario**

Se plantea la siguiente hipótesis:

$$H_0: \mu_{op1} = \mu_{op2} = \mu_{op3}$$

H1: Al menos una es diferente.

<sup>9</sup>  $\mu_{op1}$ : Tiempo medio del operario 1.

**ANOVA unidireccional: Operario Horquilla de vástago vs.**

**Operario**

Fuente	GL	SC <sup>10</sup>	MC <sup>11</sup>	F <sup>12</sup>	P
Operario	2	16.138	8.069	16.40	0.000
Error	27	13.283	0.492		
Total	29	29.421			

S = 0.7014 R-cuad. = 54.85% R-cuad.(ajustado) = 51.51%

ICs de 95% individuales para la media  
basados en Desv.Est. agrupada

Nivel	N	Media	Desv.Est.	-----+-----+-----+-----+
OP1	10	5.4445	0.4785	(-----*-----)
OP2	10	7.1441	0.7565	(-----*-----)
OP3	10	5.7901	0.8213	(-----*-----)
				-----+-----+-----+-----+
				5.60 6.30 7.00 7.70

Desv.Est. agrupada = 0.7014

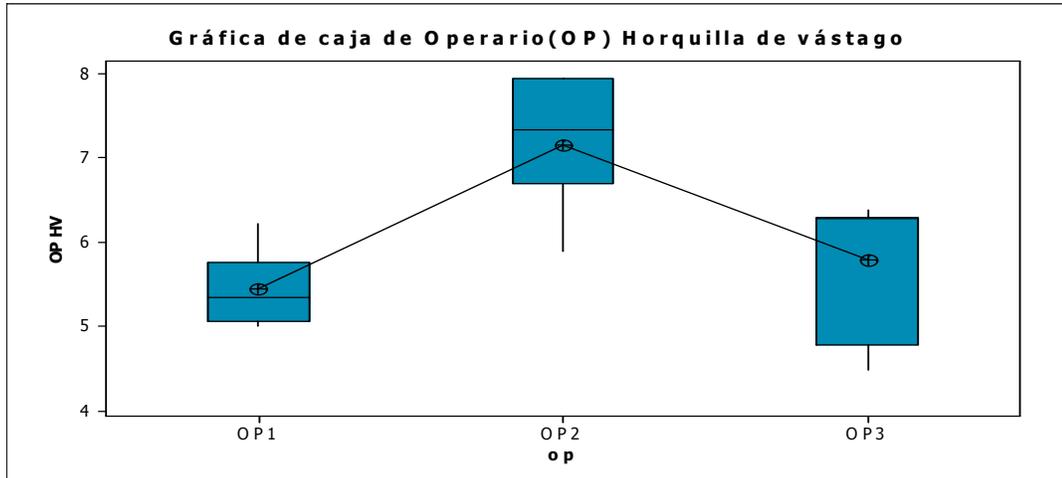


GRÁFICO 20-A: DIAGRAMA DE CAJAS DE TIEMPO PROMEDIO ENTRE TRES OPERARIOS (OP) DE LA PLANTA

Fuente: Elaborada por el autor

<sup>10</sup> SC: Suma de cuadrados.

<sup>11</sup> MC: Media de cuadrados.

<sup>12</sup> F: Distribución F de Snedecor.

De los resultados anteriores nos indica que como el Valor-P es menor que el alfa (0.05). Por lo tanto se rechaza la hipótesis de que las medias de tiempo de proceso de maquinado de alojamiento de horquilla de vástago entre los operarios son iguales. Por lo tanto la variable de tiempo de maquinado **es significativa**. Además dicha variable representa el 51.51% del problema.

Además del grafico anterior representa que la media del tiempo del operario número 3 es muy variable.

**ANOVA unidireccional: Tiempo en que demora del material (Días) vs. Tipo de Requerimiento.**

Se plantea la siguiente hipótesis:

Ho:  $\mu_{Req1} = \mu_{Req2} = \mu_{Req3} = \mu_{Req4}$

H1: Al menos una es diferente.

Fuente	GL	SC	MC	F	P <sup>13</sup>
REQ <sup>14</sup>	3	6.388	2.129	5.32	0.004
Error	36	14.399	0.400		
Total	39	20.787			

S<sup>15</sup> = 0.6324 R-cuad. = 30.73% R-cuad.(ajustado) = 24.96%

ICs de 95% individuales para la media basados en Desviación Estándar agrupada

Nivel	N	Media	Desv.Est.	ICs
REQ1	10	2.7300	0.5367	(-----*-----)
REQ2	10	3.7480	0.4537	(-----*-----)
REQ3	10	3.4600	0.8063	(-----*-----)
REQ4	10	2.9700	0.6753	(-----*-----)

-----+-----+-----+-----+-----  
2.50    3.00    3.50    4.00

<sup>13</sup> P: Valor de P o P valor.

<sup>14</sup> REQ: Requerimiento.

<sup>15</sup> S: Desviación Estándar (símbolo estadístico).

Desv.Est<sup>16</sup>. agrupada = 0.6324

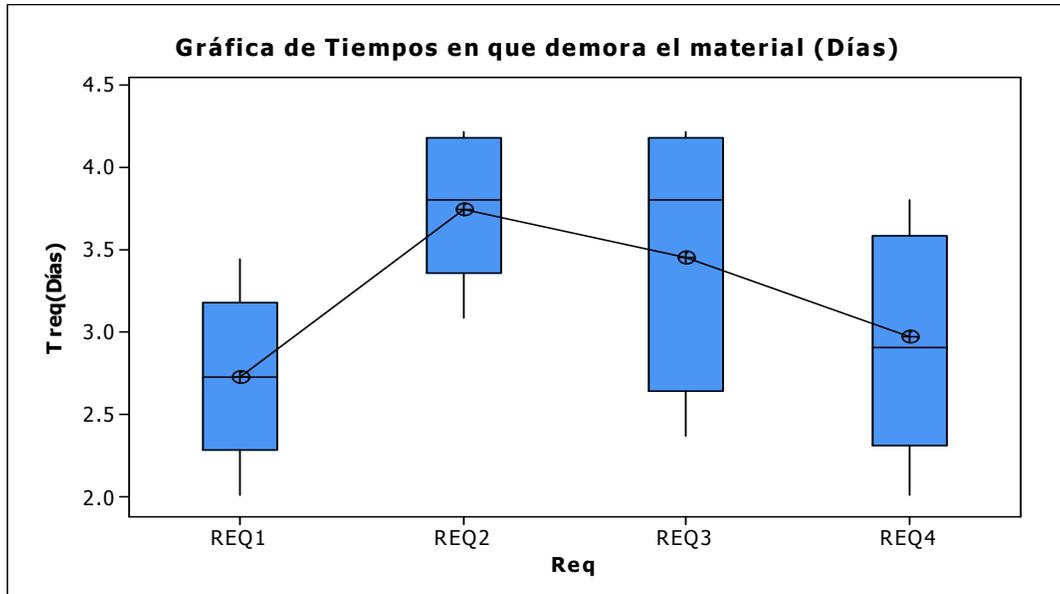


GRÁFICO 21: CAJAS DE TIEMPO EN QUE DEMORA DEL MATERIAL EN LOS ÚLTIMOS CUATRO MESES

Fuente: Elaborada por el autor

De los cálculos anteriores indicó que el valor-P (resultó 0.004) es menor que el alfa (0.05), la hipótesis nula se rechaza ya que hay diferencia entre los tiempos promedios de demora del material en los últimos cuatro meses. Por lo tanto la variable de tiempo de requerimiento de material es significativa.

Además está representando el aproximadamente el 25% del problema.

El grafico anterior nos indica que los promedios de los requerimientos en el mes 2 y mes 3 son muy variables.

<sup>16</sup> Desv. Est: Desviación Estándar.

**ANOVA unidireccional: Tiempo de Solicitud de Plano (Días) vs. Tipo de plano**

Se plantea la siguiente hipótesis:

Ho:  $\mu_{\text{Req plno1}} = \mu_{\text{Req plno2}} = \mu_{\text{Req plno3}} = \mu_{\text{Req plno4}}$

H1: Al menos una es diferente.

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Plano	3	1.131	0.377	0.55	0.649
Error	36	24.505	0.681		
Total	39	25.636			

S = 0.8250 R-cuad<sup>17</sup>. = 4.41% R-cuad.(ajustado) = 0.00%

ICs de 95% individuales para la media basados en Desviación Estándar agrupada

Nivel	N <sup>18</sup>	Media	Desv.Est.	-----+-----+-----+-----+
Req plno1 <sup>19</sup>	10	2.6070	0.7973	(-----*-----)
Req plno2	10	2.1820	0.9155	(-----*-----)
Req plno3	10	2.4830	0.8971	(-----*-----)
Req plno4	10	2.5770	0.6664	(-----*-----)
				-----+-----+-----+-----+
				2.00 2.40 2.80 3.20

Desv.Est. agrupada = 0.8250

<sup>17</sup> R-cuad: Ratio cuadrático.

<sup>18</sup> N: Muestra poblacional.

<sup>19</sup> Req plno: Requerimiento de plano nivel 1.

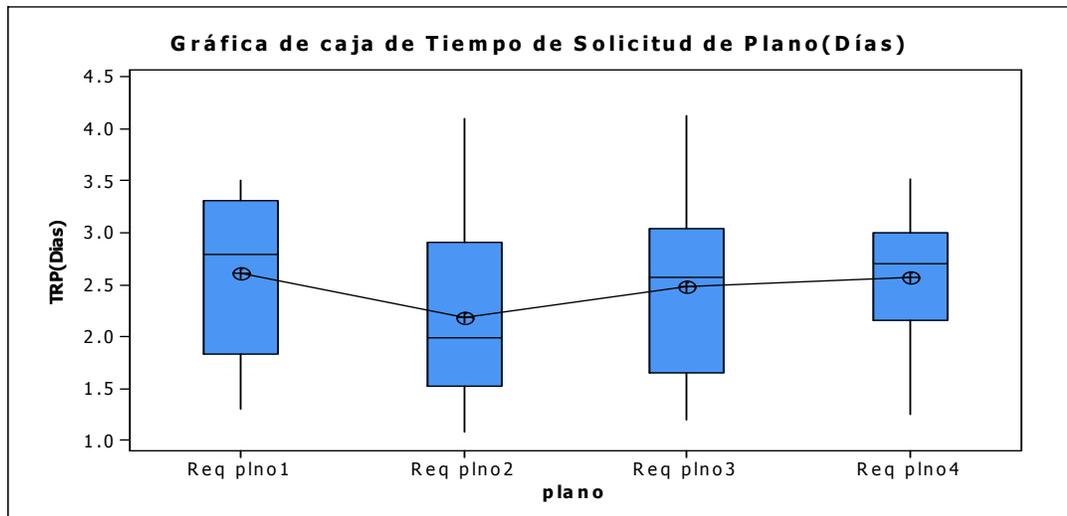


GRÁFICO 22: CAJAS DE TIEMPO DE SOLICITUD DE PLANO EN LOS DIFERENTES TIPOS DE NIVELES

Fuente: Elaborada por el autor

Dados los resultados nos indica que la variable de tiempo de requerimiento de plano no es significativa ya que el Valor-P (0.649) es mayor que el alfa (0.05), la hipótesis de que las medias son iguales no se rechaza. Por lo tanto dicha la variable no significativa se descarta no afecta al resultado.

En el grafico anterior se puede apreciar que la variabilidad es mínima en los últimos cuatro meses en la solicitud de requerimiento de plano.

### **ANOVA<sup>20</sup> unidireccional: T °C (temperatura de relleno de alojamiento de horquilla y cilindro) vs. Maquina soldadoras**

Se plantea la siguiente hipótesis:

$$H_0: \mu_{maq100} = \mu_{maq102} = \mu_{maq176}$$

H1: Al menos una es diferente.

<sup>20</sup> ANOVA: Analysis of variance (Análisis de varianzas)

Fuente	GL	SC	MC	F	P
MAQ	2	57581	28791	7.86	0.002
Error	27	98902	3663		
Total	29	156483			

S = 60.52 R-cuad. = 36.80% R-cuad.(ajustado) = 32.12%

ICs de 95% individuales para la media basados en Desviación Estándar agrupada

Nivel	N	Media	Desv.Est.	-----+-----+-----+-----+-----
MAQ 100 <sup>21</sup>	10	370.33	56.69	(-----*-----)
MAQ102	10	401.85	69.35	(-----*-----)
MAQ176	10	474.93	54.47	(-----*-----)
				-----+-----+-----+-----+-----
				350 400 450 500

Desv.Est. agrupada = 60.52

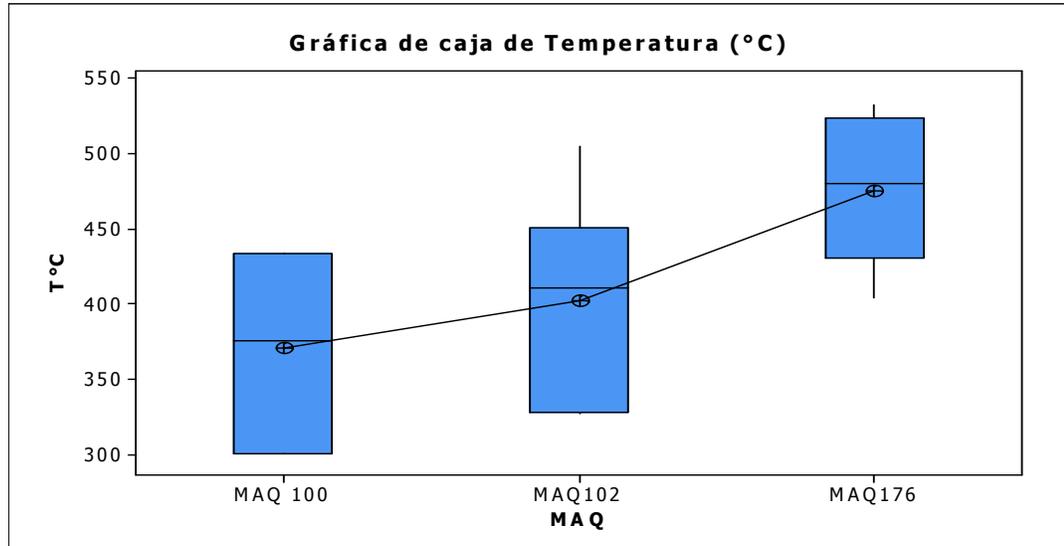


GRÁFICO 23: CAJAS DE TIEMPO DE TEMPERATURA DE RELLENADO DE ALOJAMIENTO DE HORQUILLA DE CILINDRO Y VÁSTAGO

Fuente: Elaborada por el autor

<sup>21</sup> MAQ 100: Maquina número 100.

Como el valor-P es 0.002 y es menor que alfa (0.05), entonces las temperatura del proceso de rellenado en las maquinas soldadoras son diferentes, la hipótesis nula se rechaza. Por lo tanto la variable de temperatura del proceso de rellenado de alojamiento de cilindro y vástago **es significativa**.

Además indica que la variable de temperatura para el proceso de rellenado representa el 32.12% del problema.

También en el grafico anterior indica que hay una cierta variabilidad en la máquina de soldar MA176.

**ANOVA unidireccional: Alineamiento de vástago vs. Tipo de vástago**

Se plantea la siguiente hipótesis:

Ho:  $\mu_{\text{Vástago 1}} = \mu_{\text{Vástago 2}} = \mu_{\text{Vástago 3}}$

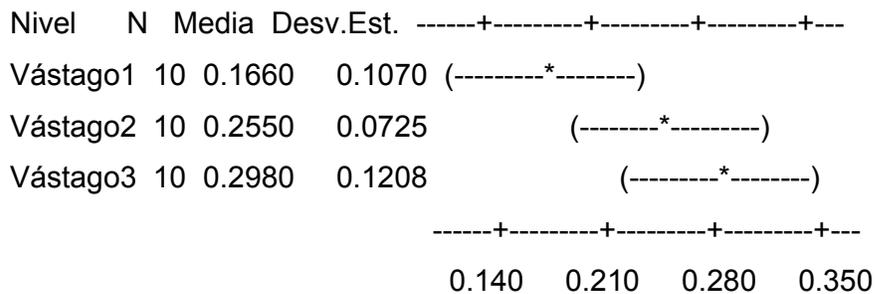
H1: Al menos una es diferente.

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Vástago	2	0.0906	0.0453	4.34	0.023
Error	27	0.2817	0.0104		
Total	29	0.3723			

S = 0.1021 R-cuad. = 24.35% R-cuad.(ajustado) = 18.74%.

ICs de 95% individuales para la media basados en Desviación

Estándar agrupada



Desv.Est. agrupada = 0.1021.

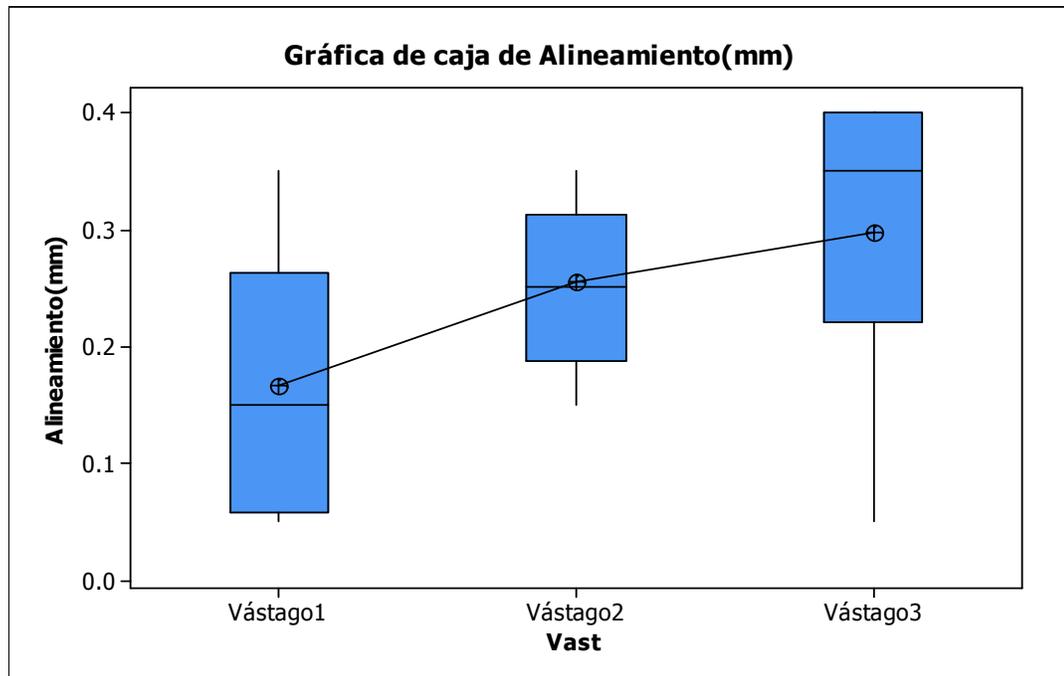


GRÁFICO 24: CAJAS DE ALINEAMIENTO DE VÁSTAGO

Fuente: Elaborada por el autor

Como el valor-P es 0.023 y es menor que alfa (0.05), por lo tanto las medias son diferentes, la hipótesis nula se rechaza. Entonces la variable de alineamiento de vástago **es significativa**.

Además indica que la variable de alineamiento de vástago representa el 18.74% del problema.

También en el grafico anterior indica que hay una cierta variabilidad en el vástago número 3.

- **Optimizar y Robustecer el proceso**

Para poder ejecutar la mejora del proceso de cumplimiento con el cliente en la reparación de los cilindros hidráulicos, se procedió a realizar un diseño de experimentos con el fin de hallar que parámetros de las variables significativas se debe mejorar para el índice de cumplimiento con el cliente mejore con respecto a la reparación de dichos equipos.

Para ello se tomó en cuenta dos métodos de diseño de experimentos los cuales son:

- Diseño factorial  $2^k$  donde k es el número de factores.
- Método de Taguchi.

Se tomó uno de ellos: Método de TAGUCHI ya que realizar experimentos de manera factorial es tedioso y costoso a la vez.

- **Diseño de experimentos por el método de TAGUCHI**

Consiste en robustecer el índice de cumplimiento con el cliente(s) con respecto a la reparación de los cilindros hidráulicos que consiste en realizar un diseño de nueve o veintisiete experimentos.

En primer lugar se realizó un diagrama p con el fin de poder identificar los factores de señal, los factores de ruidos, los factores de control y los resultados.

❖ **Los factores de ruidos:** Son las variables que no se pueden controlar es decir los cilindros reparados que pasan a trabajar en mina u otro campo de producción en este caso interviene variables como:

- Efectividad en el funcionamiento de los cilindros hidráulicos (%).
- Presión adecuada de los cilindros (PSI).

❖ **Los factores de control:** Son las variables que se pueden controlar es decir los cilindros a ser reparados miden las dimensiones e dichos dispositivos, tales dimensiones deben estar de acuerdo con los requerimientos de los clientes estas variables son:

- Tiempo en el maquinado de alojamiento de horquillas de cilindro y vástago (mm)
- Tiempo de demora en el que demora el material (días)
- Temperatura en el proceso de rellenado (°C)
- Alineamiento de vástago (mm)

❖ **Los factores de señal:** Son las variables empleadas por el operador del producto para obtener las características deseadas.

- Entrega del equipo reparado en el tiempo acordado.
- Vástago sin defectos.
- Vida útil de los cilindros reparados.
- Medidas estándar.

Todo lo mencionado anteriormente se traduce en el siguiente diagrama P:

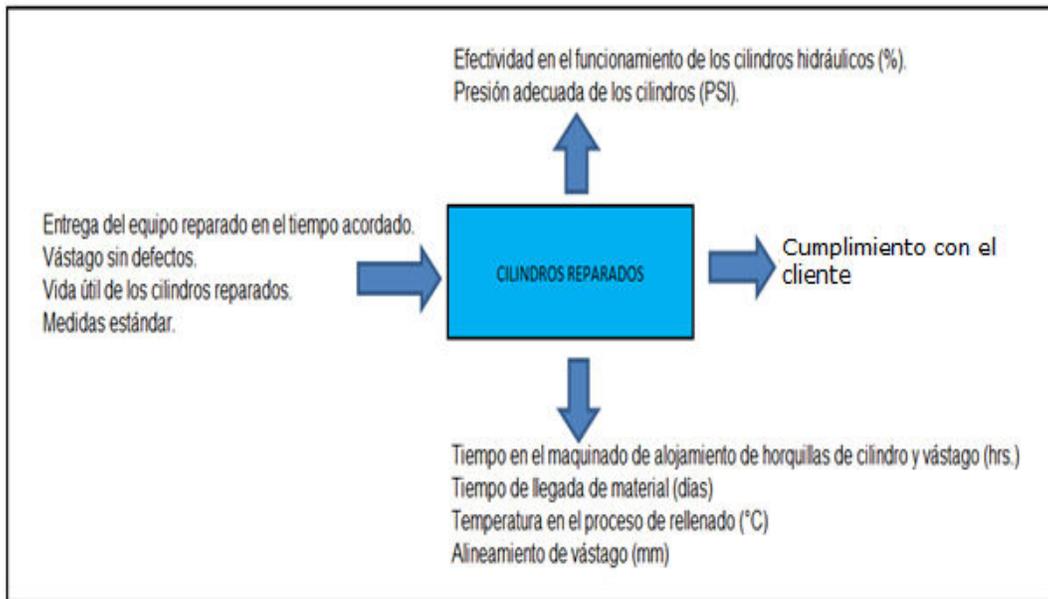


IMAGEN DP: ESQUEMA DE METODOLOGÍA Y TÉCNICAS

Fuente: Elaborada por el autor

### Ejecutando el método de TAGUCHI:

**Primero:** Elaborar el diseño el cual está compuesto por tres niveles y cuatro factores con nueve corridas como se puede apreciar en el siguiente esquema:

#### Diseño de Taguchi

Diseño Taguchi de arreglo ortogonal

L27<sup>22</sup> (3<sup>\*\*4</sup>)

Factores: 4

Corridas: 27

Columnas de L27 (3<sup>\*\*13</sup>) Arregl

**Análisis de Taguchi: efectividad de los cilindros hidráulicos, presión adecuada de los cilindros vs. Tiempo de maquinado, Tiempo de llegada de material, Temperatura de proceso de rellenado, Alineamiento de vástago.**

<sup>22</sup> L27: Arreglo de 27 réplicas.

**Segundo:** Establecer las variables o factores controlables con sus respectivos niveles (cada factor controlable debe tener tres niveles).

- Tiempo de maquinado de horquillas de vástago y cilindro (3.33, 5.00 6.50 hrs.)
- Tiempo de llegada de material (1.7, 3.0, 3.5 días).
- Temperatura de relleno (300, 350, 410 °C)
- Alineamiento de vástago (0.05, 0.10, 0.15 mm)

Formando el siguiente modelo en la siguiente tabla:

Tiempo de maquinado de horq's	Tiempo de llegada de material	Temperatura de relleno	Alineamiento de vástago	Efectividad	Presión
3.33	1.7	300	0.05	0.86	4454
3.33	1.7	300	0.05	0.75	4470
3.33	1.7	300	0.05	0.64	4350
3.33	3	350	0.1	0.84	4420
3.33	3	350	0.1	0.69	4574
3.33	3	350	0.1	0.66	4457
3.33	3.5	410	0.15	0.62	4500
3.33	3.5	410	0.15	0.45	4500
3.33	3.5	410	0.15	0.51	4443
5	1.7	350	0.15	0.55	4500
5	1.7	350	0.15	0.71	4443
5	1.7	350	0.15	0.76	4350
5	3	410	0.05	0.44	4420
5	3	410	0.05	0.44	4574
5	3	410	0.05	0.54	4457
5	3.5	300	0.1	0.65	4500
5	3.5	300	0.1	0.63	4600
5	3.5	300	0.1	0.65	4425
6.5	1.7	410	0.1	0.65	4300
6.5	1.7	410	0.1	0.61	4123
6.5	1.7	410	0.1	0.6	4578
6.5	3	300	0.15	0.61	4570
6.5	3	300	0.15	0.42	4575
6.5	3	300	0.15	0.6	4500
6.5	3.5	350	0.05	0.71	4321
6.5	3.5	350	0.05	0.68	4567
6.5	3.5	350	0.05	0.61	4567

CUADRO MT1: DATA DE LA EMPRESA APLICANDO MINITAB 15

Fuente: Elaborada por el autor

**Tercero:** Establecer la prioridad de los factores de control para mejorar el proceso de nivel de horas útil de los cilindros reparados analizando los siguientes cuadros.

Tabla de respuesta para relaciones de señal a ruido

Nominal es lo mejor ( $10 \cdot \log_{10}(\bar{Y}^2/s^2)$ )

Nivel	Tiempo de maquinado de horquillas	Tiempo de llegada de material	Temperatura de relleno	Alineamiento de vástago
1	-0.7904	-0.7955	-0.7906	-0.7923
2	-0.7914	-0.791	-0.7922	-0.796
3	-0.7969	-0.7922	-0.7958	-0.7904
Delta	0.0066	0.0045	0.0052	0.0056
Clasificar	1	4	3	2

CUADRO MT2: RESULTADOS DE LA DATA DE LA EMPRESA APLICANDO MINITAB 15

Fuente: Elaborada por el autor

Nivel	Tiempo de maquinado de horquillas	Tiempo de llegada de material	Temperatura de relleno	Alineamiento de vástago
1	2232	2199	2247	2233
2	2237	2253	2234	2221
3	2228	2246	2217	2244
Delta	9	54	31	22
Clasificar	4	1	2	3

CUADRO MT3: RESULTADOS DE LA DATA DE LA EMPRESA APLICANDO MINITAB 15

Fuente: Elaborada por el autor

Los cuadros anteriores son representados por la siguiente graficas:

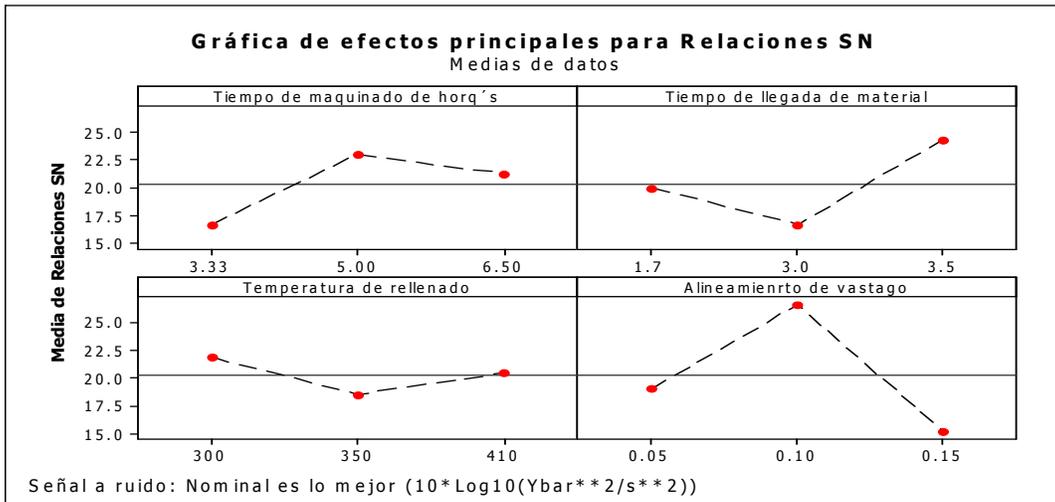


GRÁFICO MT4: NIVELES RECOMENDADOS LA DATA DE LA EMPRESA  
APLICANDO MINITAB 15

Fuente: Elaborada por el autor

De los gráficos interiores se interpreta lo siguiente:

Para maximizar el índice de cumplimiento con el cliente en la reparación de los cilindros hidráulico de dirección LETOURNEAU; se recomienda **a la planta de la empresa RECOLSA** lo siguiente:

- El tiempo de maquinado de la horquillas del cilindro y vástago duren de **3.33 a 5 horas**.
- El tiempo de llegada de material para la fabricación de componentes debe ser dentro de **3 días**.
- La temperatura de rellenado de alojamientos de horquillas de cilindro y vástago para evitar su cristalización debe ser de **350 °C**.
- El alineamiento de vástago reparado debe ser **0.10 milímetros (mm)**

Con estas recomendaciones aumentará la efectividad de los cilindros de dirección de LETOURNEAU.

# CAPÍTULO V: DISCUSIÓN Y APLICACIONES

---

## 5. Aplicar la mejora:

### 5.1 Aplicación de las variables recomendadas

Tomando en cuenta las recomendaciones dadas por el método de TAGUCHI que consistía optimizar:

- El tiempo de maquinado de las horquillas de cilindro y vástago (3.33 a 5 horas); Con el rango establecido se ha mejorado el proceso de maquinado al disminuir la cantidad de desplazamientos del taller hasta el almacén principal. Ver anexo 1
- El tiempo de llegada de material para la fabricación de componentes debe ser dentro de (3 días); para cumplir con dicho nivel establecido se procedió al empleo de data de las dimensiones de los componentes de los cilindros hidráulicos. en caso que dicho material se retrase se procedió a implementar focos de alerta. Ver anexo 2
- La temperatura de rellenado de alojamientos de horquillas de cilindro (350 °C). ver anexo 3
- Alineamiento de vástago (0.10mm<sup>23</sup>). Ver anexo 4

Siguiendo dichas recomendaciones se confirma la mejora en el proceso de índice de cumplimiento con el cliente en la reparación de los cilindros hidráulicos de dirección de LETOURNEAU, por lo tanto se procede a realizar la medición de los índices obtenidos (Data siguiendo las recomendaciones de la mejora) y evaluar la capacidad de proceso con el fin de saber si se llegó al objetivo.

En primer lugar se obtuvo la siguiente data:

---

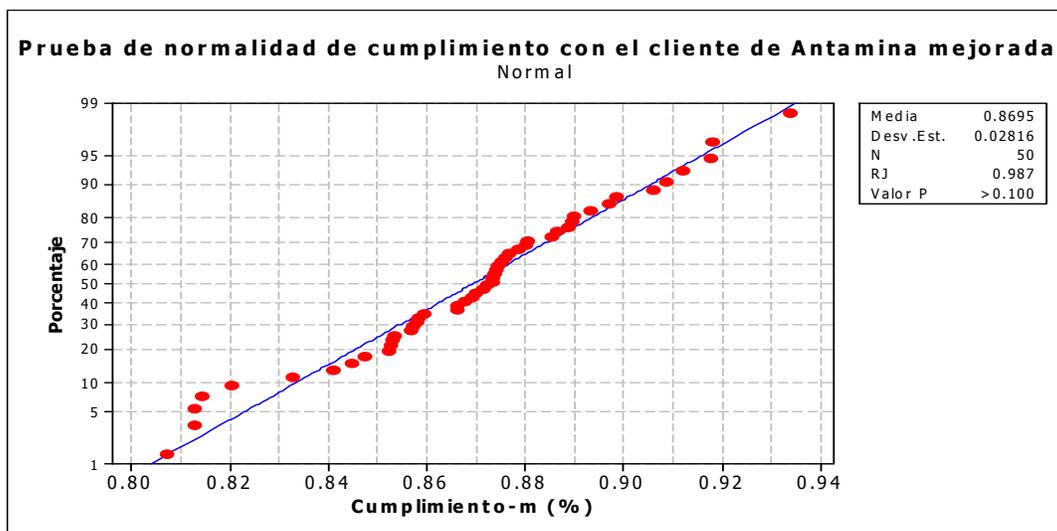
<sup>23</sup> mm: Milímetros.

NOV-DIC14	DIC14-ENE15	ENE-FEB15	FEB-MAR15	MAR-ABR15
0.88	0.88	0.85	0.89	0.81
0.87	0.84	0.87	0.85	0.88
0.81	0.93	0.87	0.91	0.81
0.85	0.89	0.88	0.87	0.91
0.92	0.9	0.87	0.87	0.81
0.87	0.86	0.89	0.85	0.89
0.87	0.86	0.87	0.87	0.84
0.86	0.92	0.87	0.88	0.89
0.85	0.86	0.88	0.87	0.83
0.89	0.9	0.82	0.86	0.91

CUADRO MT4: NIVELES DE CUMPLIMIENTO PARA LA SIMULACIÓN DE LA MEJORA

Fuente: Elaborada por el autor

Luego se realizó el test de normalidad para comprobar si los datos siguen una distribución normal. Por lo tanto se ejecutó dicha prueba resultando la siguiente gráfica.

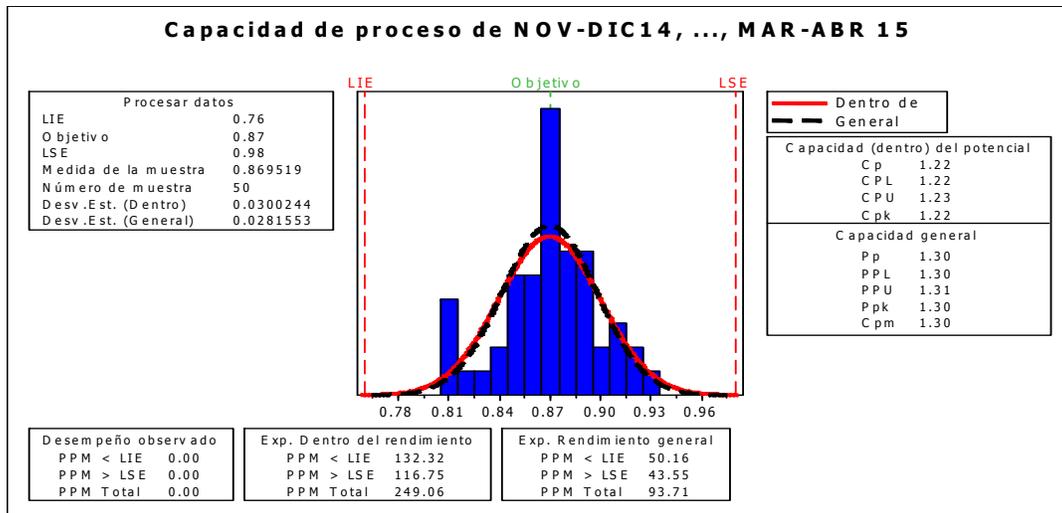


GRÁFICA MT2: PRUEBA DE NORMALIDAD DE CUMPLIMIENTO MEJORADO

Fuente: Elaborada por el autor

La grafica anterior indica que los datos del nivel de cumplimiento con el cliente con respecto a la reparación de los cilindros de dirección LETOURNEAU siguen una distribución normal tomando en cuenta que el P-valor es mayor que 0.05.

Una vez comprobada la normalidad de los datos, se procede al análisis de capacidad de proceso de la reparación de dichos cilindros.



GRÁFICA MT3: FUENTE ELABORACIÓN PROPIA CON LOS DATOS DE LA EMPRESA APLICANDO MINITAB 15

Fuente: Elaborada por el autor

Gráfico indica que el proceso de índice de cumplimiento con el cliente de la reparación de los equipos hidráulicos de dirección de LETOURNEAU es capaz ya que el índice de capacidad Cp es mayor que 1, por tanto dicho proceso está centrado.

- **Mejora en el nivel sigma**

Aplicando las mejoras establecidas expuestas anteriormente se llegó a mejorar el nivel sigma en la reparación de los cilindros hidráulicos. Como se puede apreciar en la siguiente tabla de cálculo Seis sigma.

En el primer cálculo se apreció un nivel de 3.86 sigma referente a los decímetros cúbicos que se producen en el año. Por lo tanto con la mejora establecida en las variables que se analizaron se llegó al siguiente resultado.

<b>CALCULADORA SIGMA</b>	
<b>Característica en estudio:</b>	<b>DECÍMETROS CÚBICOS</b>
# de unidades	<b>32834</b>
Oportunidades de defectos por unidad	<b>4</b>
Defectos	<b>110</b>
<b>DPU</b>	<b>0.003350186</b>
<b>DPMO</b>	<b>838</b>
<b>SIGMA</b>	<b>4.64</b>

TABLA 2: CÁLCULO SIX- SIGMA CON LA MEJORA ESTABLECIDA

**FUENTE:** Aplicación del curso de SIX SIGMA. Aplicación en la empresa

- **Mejora en el costo de la mala calidad.**

En los costos de la mala calidad se llegó a disminuir a 18,616.51 soles disminuyendo en un porcentaje de defectos del 9.80%.

TOTAL CUESTIONARIO	CATEGORÍA	% DE VENTAS BRUTAS
55 - 110	BAJO	2 a 5
111 - 220	MODERADO	6 a 15
221 - 275	ALTO	16 a 20
276 - 330	MUY ALTO	21 a 25

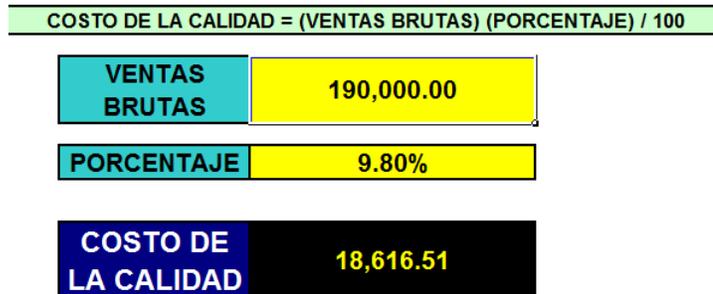


IMAGEN 18: MEJORA EN LOS COSTOS DE LA MALA CALIDAD APLICANDO LA MEJORA

Fuente: Elaborada por el autor

Conforme vamos mejorando el costo de la mala calidad va a tender a la disminución hasta llegar a cero defectos.

También se redujo los costos de los re-procesos como se puede apreciar en el siguiente gráfico R. Donde se puede apreciar que hubo una mejora con respecto al comportamiento de costos de reproceso actual.

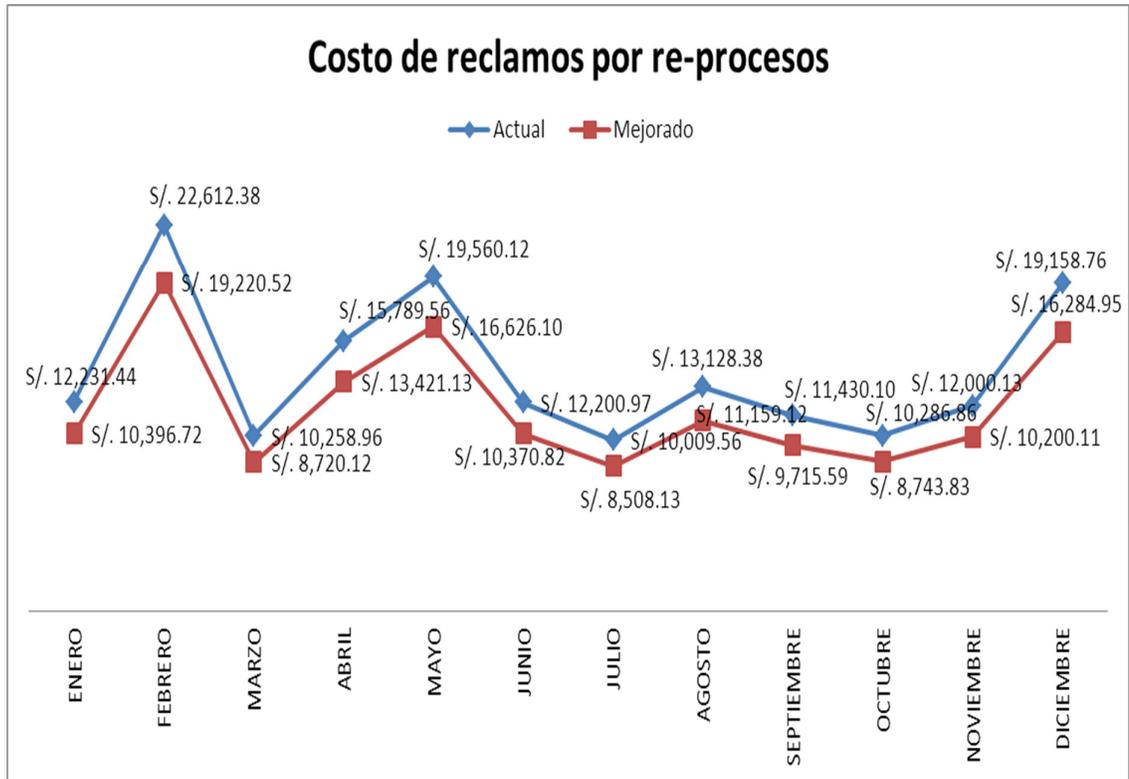


GRÁFICO R: SIMULACIÓN DE DATOS DE COSTOS DE RE-PROCESOS  
APLICANDO LA MEJORA

Fuente: Elaborada por el autor

## 5.2 Controlar la mejora

Una vez aplicada las variables propuestas por el estudio se procedió a controlarlas.

### 5.2.1 Control de la variable tiempo de maquinado de alojamiento de cilindro

En el variable tiempo se procedió a tomar muestras de los elementos principales de los cilindros hidráulicos (vástago y tubo) que consiste en el maquinado de los alojamientos de sus respectivas horquillas.

- Alojamiento de horquilla de cilindro

TIEM Abr-May	TIEM Jun-Jul	TIEM Ago-Set	TIEM Oct-Nov	TIEM Dic-Ene
4.295	4.281	4.429	4.048	4.566
4.355	4.655	4.237	4.263	3.985
3.942	4.025	4.105	4.369	4.352
4.149	4.635	3.93	4.091	4.081
4.245	4.126	4.132	3.893	4.227
4.123	4.201	3.808	4.139	3.989

CUADRO MT5: SIMULACIÓN DE DATOS APLICANDO LA MEJORA

Fuente: Elaborada por el autor

En primer lugar se realizó una prueba de hipótesis para ver si los datos siguen una distribución normal. Lo cual se estableció la siguiente hipótesis:

Ho: Si los datos de tiempo de proceso de maquinado de alojamiento de horquilla de cilindro siguen una distribución normal.

Ha: Si los datos de tiempo de proceso de maquinado de alojamiento de horquilla de cilindro **NO** sigue una distribución normal.

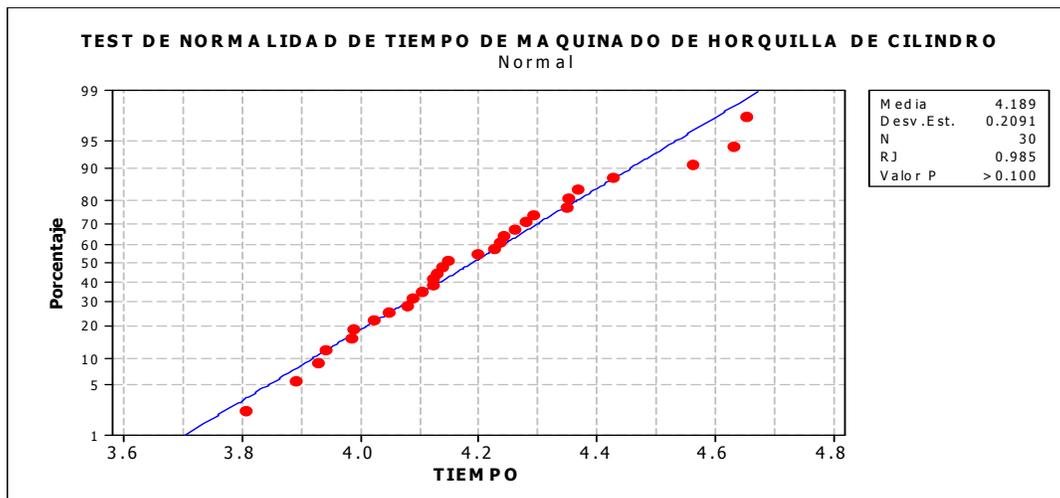


GRÁFICO MT4: SIMULACIÓN DE DATOS DEL PROCESO DE MAQUINADO DE ALOJAMIENTO DE HORQUILLA DE CILINDRO

Fuente: Elaborada por el autor

Según el gráfico se puede apreciar que los datos siguen una distribución normal. Por lo tanto la hipótesis nula se acepta según el P- Valor que es mayor que 0.05.

Luego se procedió a realizar los gráficos de control estadísticos con el fin si el tiempo de maquinado de alojamiento de la horquilla de cilindro está bajo control.

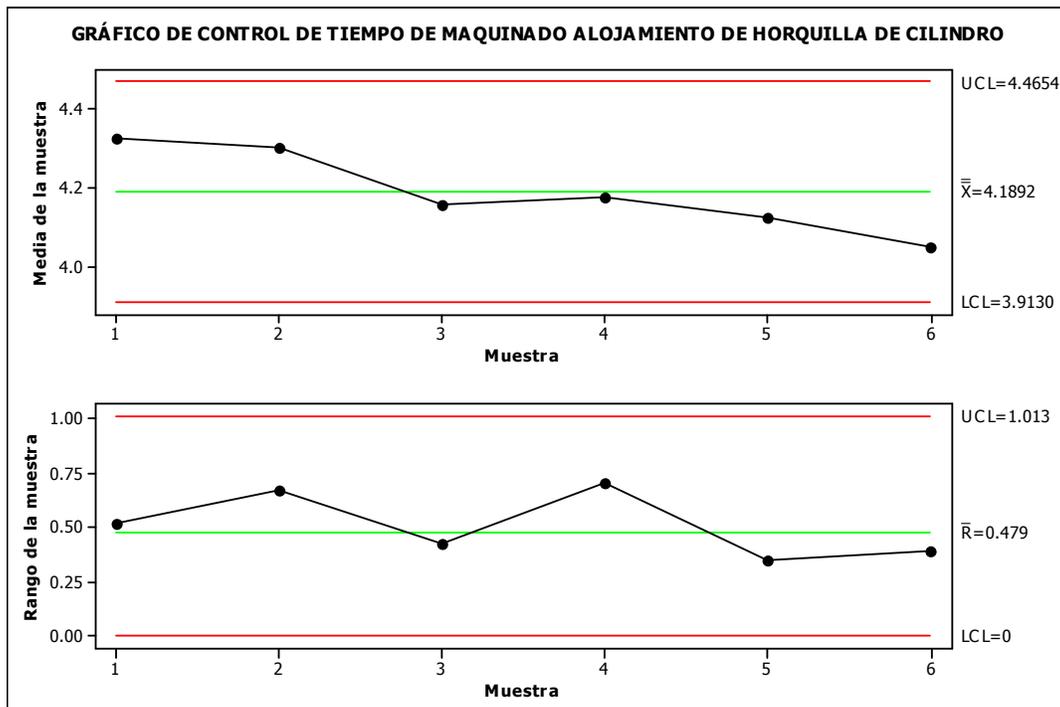


GRÁFICO MT5: SIMULACIÓN DE DATOS DEL PROCESO DE MAQUINADO DE ALOJAMIENTO DE HORQUILLA DE CILINDRO EN GRAFICOS DE CONTROL

Fuente: Elaborada por el autor

Del gráfico muestra que el proceso de maquinado de alojamiento de horquilla de cilindro de dirección LETOURNEAU está bajo control estadístico y dicho proceso es estable.

Una vez comprobado la normalidad, la estabilidad y el control del proceso, se procede a realizar el análisis de la capacidad del proceso del

tiempo de maquinado de alojamiento de horquilla de cilindro de dirección de LETOURNEAU como se puede mostrar en la siguiente representación.

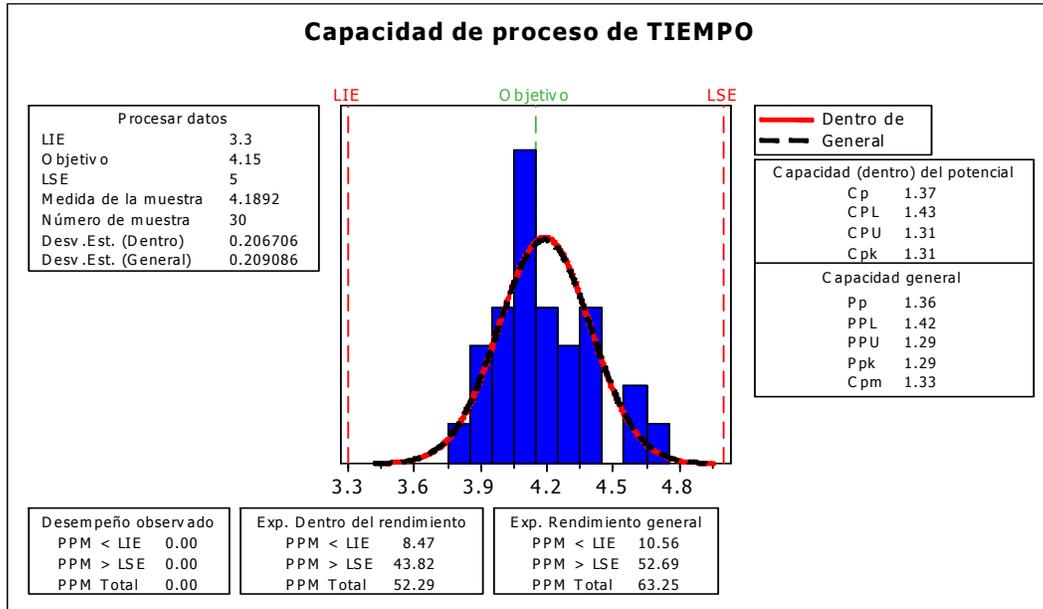


GRÁFICO MT6: SIMULACIÓN DE DATOS DEL PROCESO DE MAQUINADO DE ALOJAMIENTO DE HORQUILLA DE CILINDRO (CAPACIDAD DEL PROCESO)

Fuente: Elaborada por el autor

El gráfico indica que el proceso de tiempo de maquinado de alojamiento de horquilla de cilindro es capaz, por tanto dicho proceso está centrado ya que el índice de Cp es mayor que 1.

- Alojamiento de horquilla de vástago

TIEM Abr-May	TIEM Jun-Jul	TIEM Ago-Set	TIEM Oct-Nov	TIEM Dic-Ene
4.069	3.971	4.298	4.555	3.8
4.67	4.063	3.938	4.636	4.457
4.161	4.577	4.034	4.278	4.077
3.765	4.611	4.095	4.322	4.127
4.422	4.166	4.195	4.183	3.833
3.743	4.105	4.243	3.869	4.381

CUADRO MT6: SIMULACIÓN DE DATOS APLICANDO LA MEJORA

Fuente: Elaborada por el autor

Prueba de hipótesis de normalidad:

Ho: Si los datos de tiempo de proceso de maquinado de alojamiento de horquilla de vástago siguen una distribución normal.

Ha: Si los datos de tiempo de proceso de maquinado de alojamiento de horquilla de vástago **NO** sigue una distribución normal.

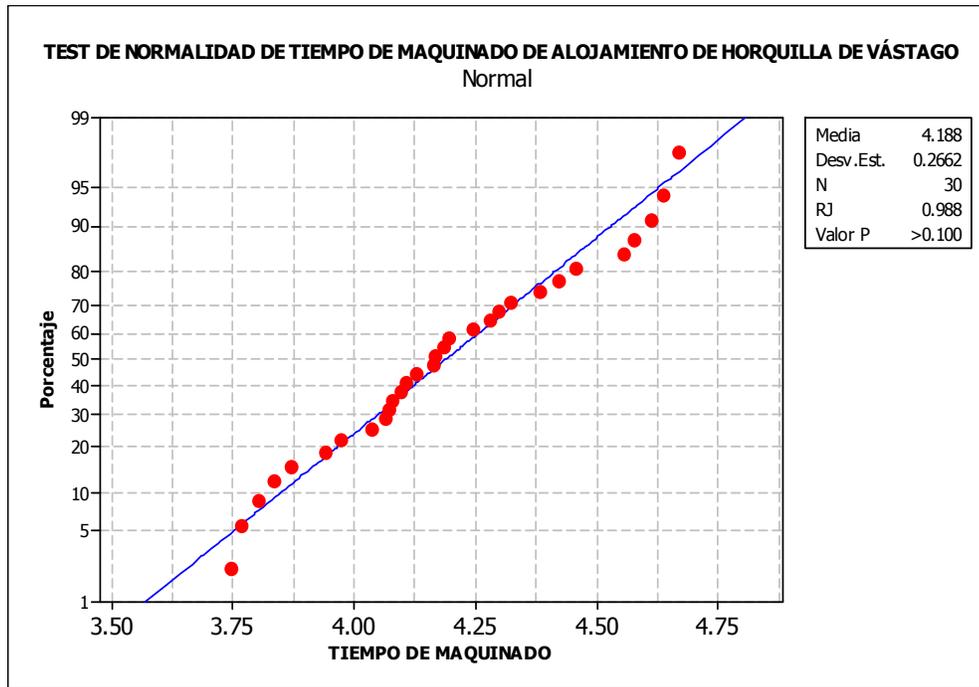


GRÁFICO MT7: TEST DE NORMALIDAD EN LA SIMULACIÓN DE DATOS DEL PROCESO DE MAQUINADO DE ALOJAMIENTO DE HORQUILLA DE VÁSTAGO

Fuente: Elaborada por el autor

De la representación gráfica como el P- valor es mayor que 0.05, los datos siguen una distribución normal entonces se acepta la hipótesis nula.

Se realizó los gráficos de control como se puede apreciar:

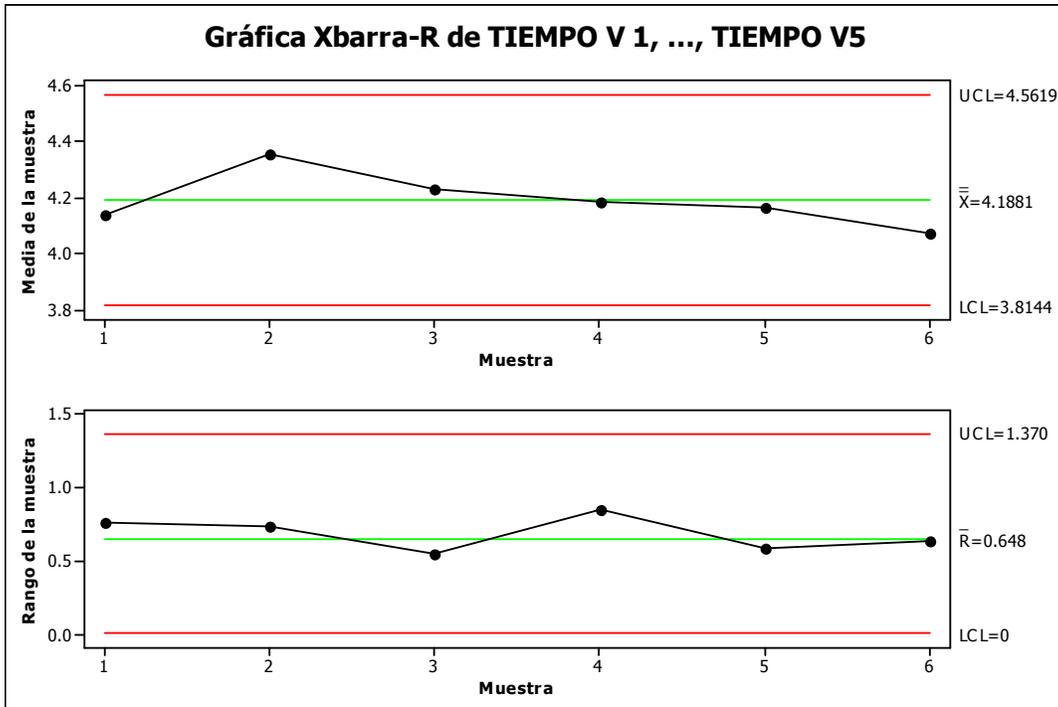


GRÁFICO MT8: SIMULACIÓN DE DATOS DEL PROCESO DE MAQUINADO DE ALOJAMIENTO DE HORQUILLA DE VÁSTAGO

Fuente: Elaborada por el autor

Del gráfico muestra que el proceso de maquinado de alojamiento de horquilla de vástago de dirección LETOURNEAU está bajo control estadístico y dicho proceso es estable.

Una vez que los datos están bajo control, se procede a realizar el análisis de capacidad de proceso como se muestra en el siguiente gráfico.

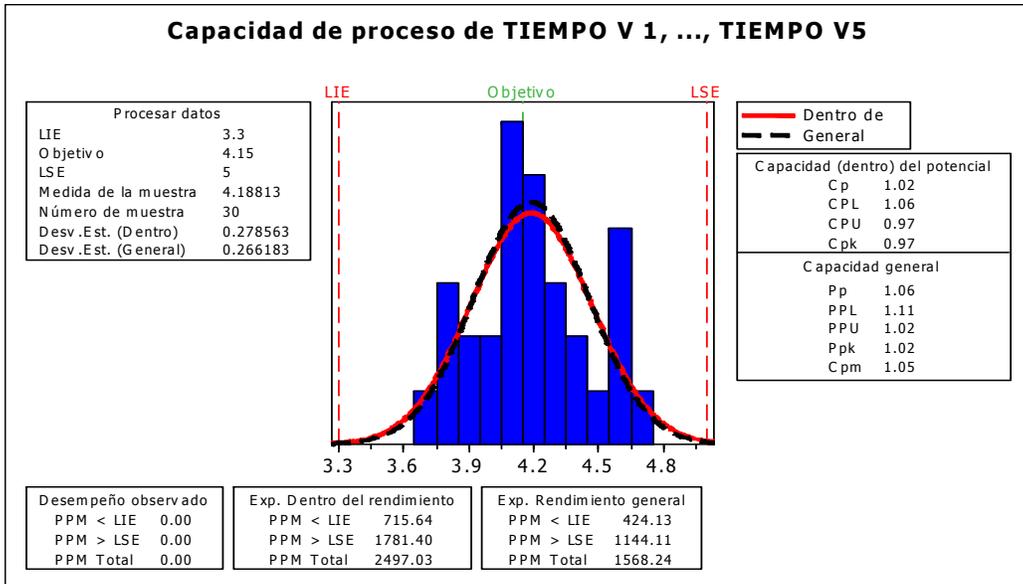


GRÁFICO MT9: SIMULACIÓN DE DATOS DEL PROCESO DE MAQUINADO DE ALOJAMIENTO DE HORQUILLA DE VÁSTAGO (CAPACIDAD DE PROCESO)

Fuente: Elaborada por el autor

Si el Cp (**capacidad del proceso**) es mayor que 1 entonces el proceso de tiempo de maquinado de alojamiento de vástago es capaz, por lo tanto el proceso está centrado.

### 5.2.2 Control de la variable tiempo de llegada de material

En la variable de tiempo de llegada de material se levantó la siguiente data después de aplicar la mejora.

REQ Abr-May	REQ Jun-Jul	REQ Ago-Set	REQ Oct-Nov
2.8	2.85	2.91	3.02
2.8	3.04	2.91	3.02
2.85	2.8	2.97	3.15
2.9	2.8	2.98	3.15
2.95	3.04	2.98	3.13

CUADRO MT7: SIMULACIÓN DE DATOS APLICANDO LA MEJORA EN EL AÑO 2015

Fuente: Elaborada por el autor

Prueba de hipótesis de normalidad:

Ho: Si los datos de tiempo en que demora el material siguen una distribución normal.

Ha: Si los datos de tiempo en que demora el material **NO** sigue una distribución normal.

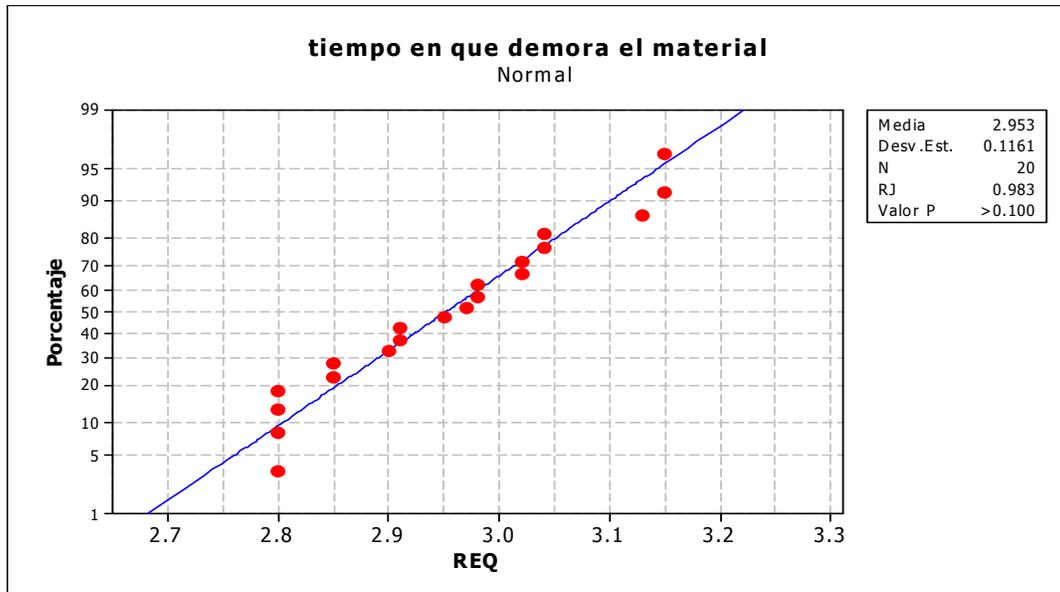


GRÁFICO MT10: TEST DE NORMALIDAD EN LA SIMULACIÓN DE DATOS DE TIEMPO DE LLEGADA DE MATERIAL

Fuente: Elaborada por el autor

De la representación gráfica como el P- valor es mayor que 0.05, los datos de tiempo de llegada de material siguen una distribución normal entonces se acepta la hipótesis nula.

Se procedió a realizar los gráficos de control como se puede apreciar:

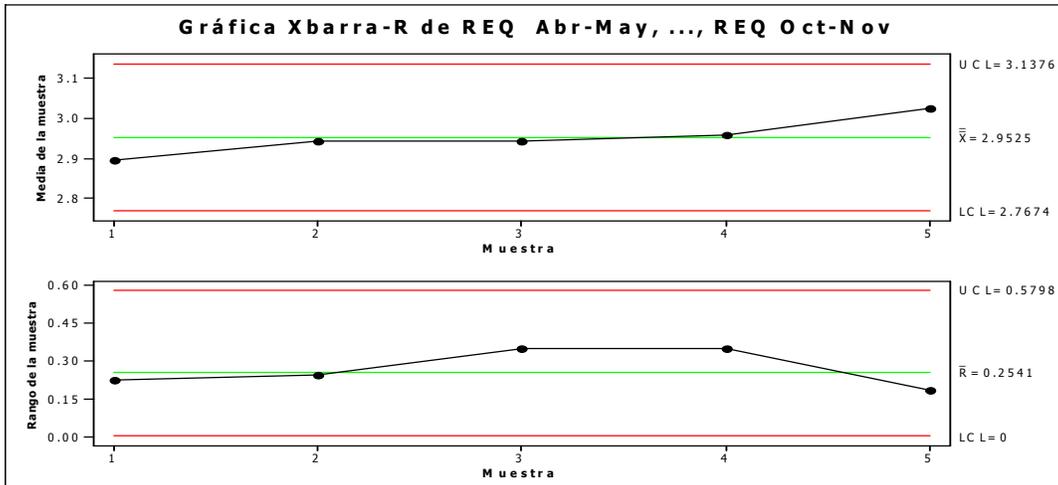


GRÁFICO MT11: SIMULACIÓN DE DATOS DE TIEMPO DE DEMORA EN QUE MATERIAL

Fuente: Elaborada por el autor

En las cartas de control demuestra que el tiempo en que demora el material está bajo control estadístico y los tiempos en los diferentes meses está estable.

Una vez que los tiempos de llegada de material están bajo control, se procede a medir la capacidad de proceso.

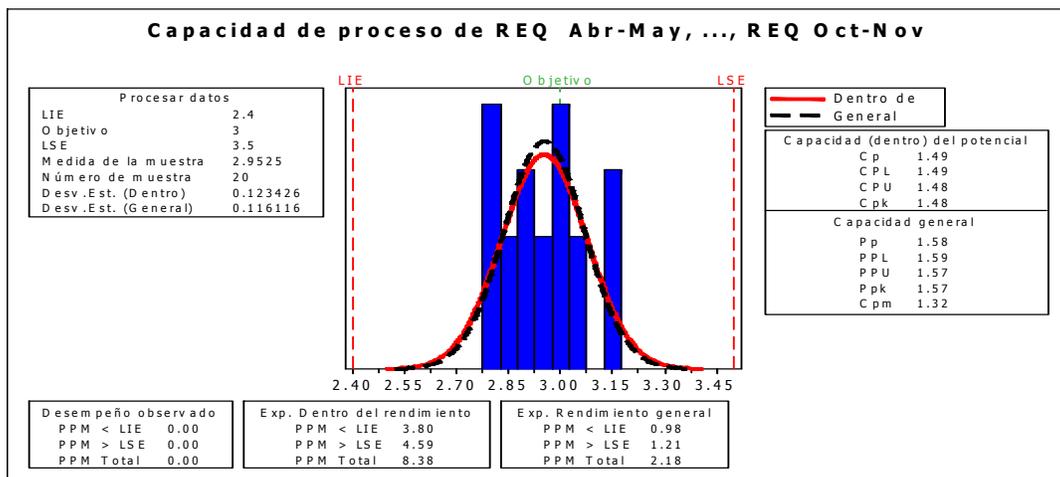


GRÁFICO MT12: CAPACIDAD DE PROCESOS DE LA SIMULACIÓN DE DATOS DE TIEMPO DE LLEGADA DE MATERIAL

Fuente: Elaborada por el autor

El proceso de tiempo de llegada de material es capaz ya que el índice Cp es mayor 1 pero el proceso está centrado existe una brecha entre las curvas pero conforme se mejora el tiempo de llegada de material el proceso se centrará.

### 5.2.2 Control de variable de temperatura para el proceso de rellenado

En la simulación en la implementación de la mejora se tomó los siguientes datos:

Marz-Abr	May-Jun	Jul-Ago	Set-Otc
343.79	348.99	344.82	350
351.88	336.79	343.89	340.34
339.21	347.57	344.82	354
342.23	348.72	350	340.65
343.79	353.32	351.77	353
350.12	356.26	350	359.99

CUADRO MT8: SIMULACIÓN DE DATOS APLICANDO LA MEJORA EN EL AÑO 2015

Fuente: Elaborada por el autor

Para ello se realizó la siguiente prueba de normalidad:

Ho: Si los datos de temperatura para rellenado siguen una distribución normal.

Ha: Si los datos de temperatura de rellenado **NO** sigue una distribución normal.

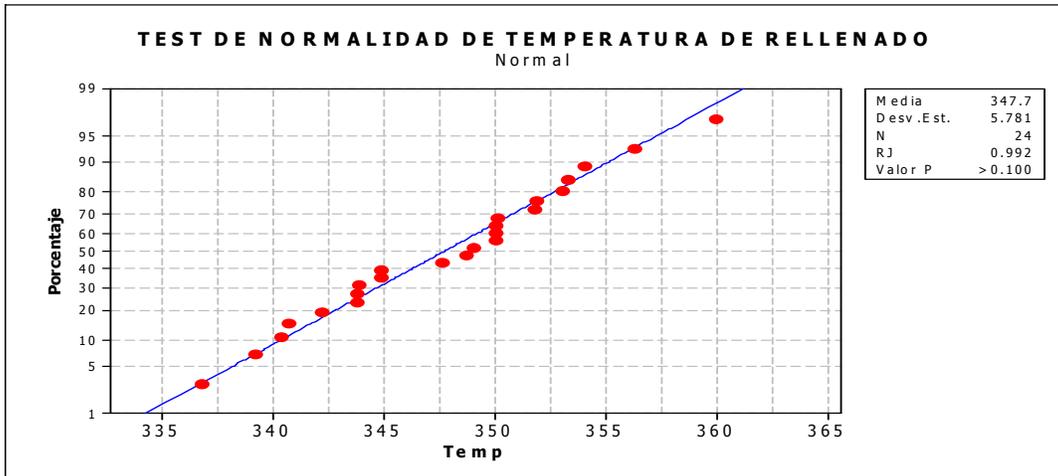


GRÁFICO MT13: TEST DE NORMALIDAD EN LA SIMULACIÓN DE DATOS  
TEMPERATURA DE RELLENADO

Fuente: Elaborada por el autor

Según el gráfico anterior la distribución de los datos de temperatura de relleno siguen una distribución normal ya que el P-valor es mayor que 0.05.

Luego se procedió a realizar el siguiente paso; ver si los datos están bajo control. Para ello se realizó las siguientes graficas de control.

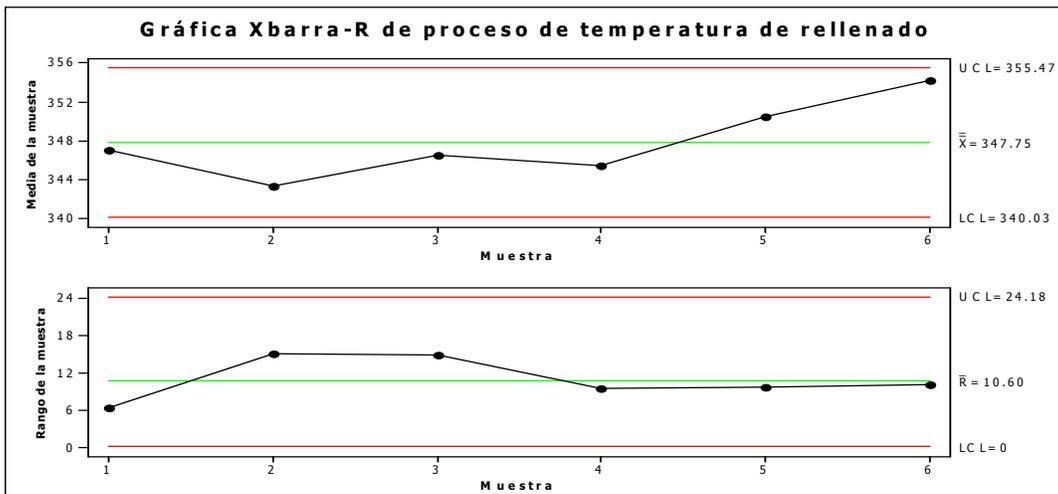


GRÁFICO MT14: SIMULACIÓN EN CARTAS DE CONTROL DE DATOS DE  
TEMPERATURA DE RELLENADO EN LOS MESES DE MARZO A OCTUBRE 2015

Fuente: Elaborada por el autor

Según los gráficos adjuntas muestran que los datos de temperatura de relleno están bajo control estadístico por lo tanto el proceso es estable.

Una vez que el proceso está bajo control, se procedió a realizar el análisis de capacidad como se puede mostrar en el siguiente gráfico.

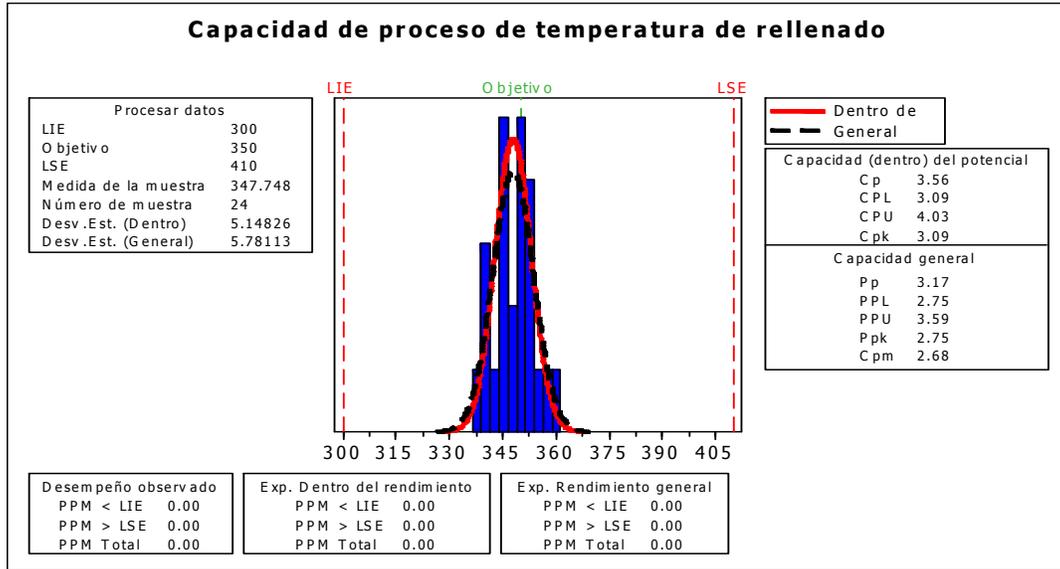


GRÁFICO MT15: SIMULACIÓN DE CAPACIDAD DE PROCESO DE DATOS DE TEMPERATURA DE RELLENADO EN LOS MESES DE MARZO A OCTUBRE 2015

Fuente: Elaborada por el autor

Como se puede apreciar la capacidad de proceso de calentado (temperatura de relleno) es capaz ya que el índice de capacidad de proceso ( $C_p$ ) es mayor o igual que 1. Por lo tanto se puede concluir que dicho proceso está estable.

### 5.2.3 Control de variable de alienado de diámetro de vástago

En la variable de alineamiento de diámetro se estableció la siguiente data:

Marz-Abr	May-Jun	Jul-Ago	Set-Oct	Nov-Dic
0.095	0.094	0.105	0.1	0.093
0.122	0.081	0.098	0.13	0.089
0.125	0.1	0.088	0.123	0.124
0.102	0.092	0.128	0.095	0.08
0.12	0.095	0.114	0.087	0.113
0.084	0.086	0.107	0.082	0.13

CUADRO MT9: SIMULACIÓN DE DATOS APLICANDO LA MEJORA EN LA VARIABLE DE ALINEAMIENTO DE VÁSTAGO EN EL AÑO 2015

Fuente: Elaborada por el autor

Se planteó la siguiente hipótesis:

Ho: Los datos de alineamiento de vástago siguen una distribución normal.

Ha: Los datos de alineamiento de vástago NO siguen una distribución normal.

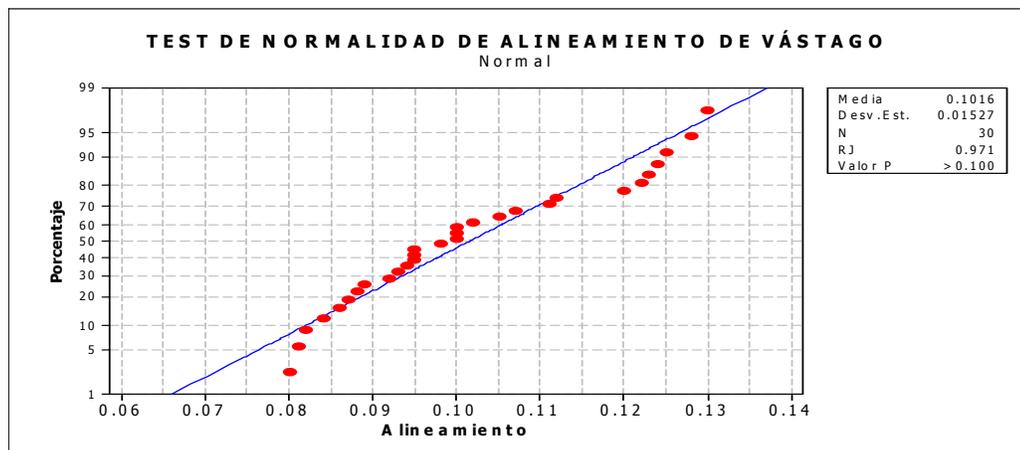


GRÁFICO MT16: SIMULACIÓN DE NORMALIDAD DE DATOS DE ALINEAMIENTO EN LOS MESES DE MARZO A OCTUBRE 2015

Fuente: Elaborada por el autor

Como se puede apreciar en el grafico anterior se concluye que los datos de alineamiento de diámetro de vástago siguen una distribución normal debido a que el índice Valor-P es mayor que 0.05.

La siguiente fase es ver si los datos obtenidos de la mejora están bajo control para ello se obtuvo las siguientes cartas de control.

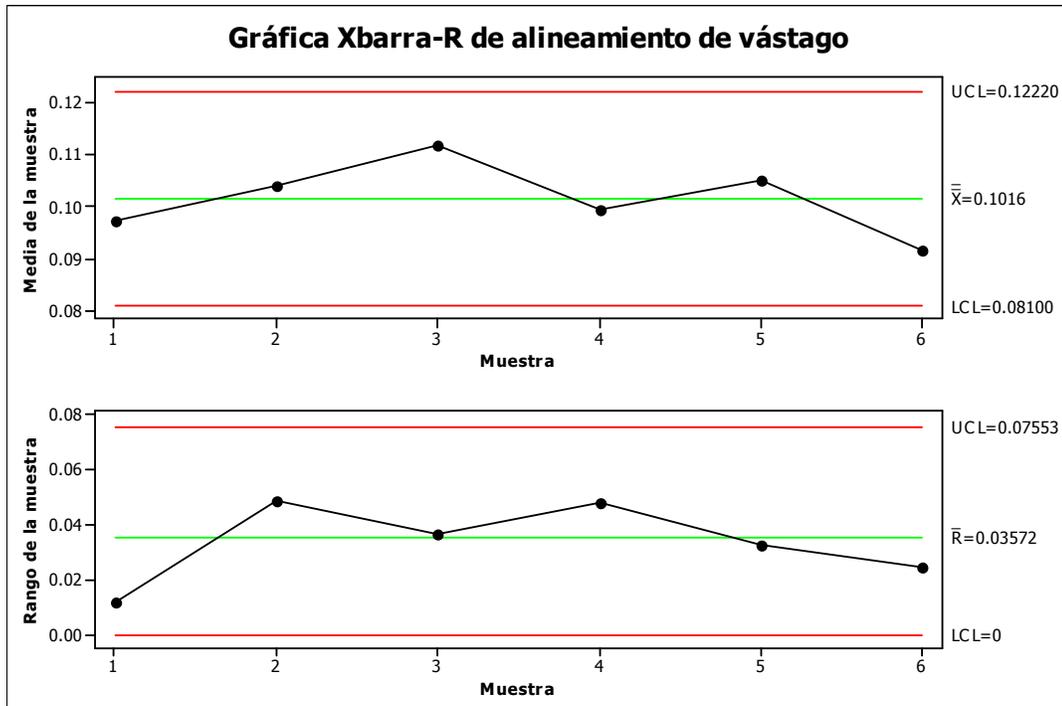


GRÁFICO MT17: SIMULACIÓN DE NORMALIDAD DE DATOS DE ALINEAMIENTO EN LOS MESES DE MARZO A OCTUBRE 2015

Fuente: Elaborada por el autor

El grafico anterior se puede apreciar que los datos está bajo control estadístico el proceso de alineado es estable.

Una vez que los datos del proceso de alineado están bajo control, se procedió a realizar el análisis de capacidad de dicho proceso resultando la siguiente gráfica:

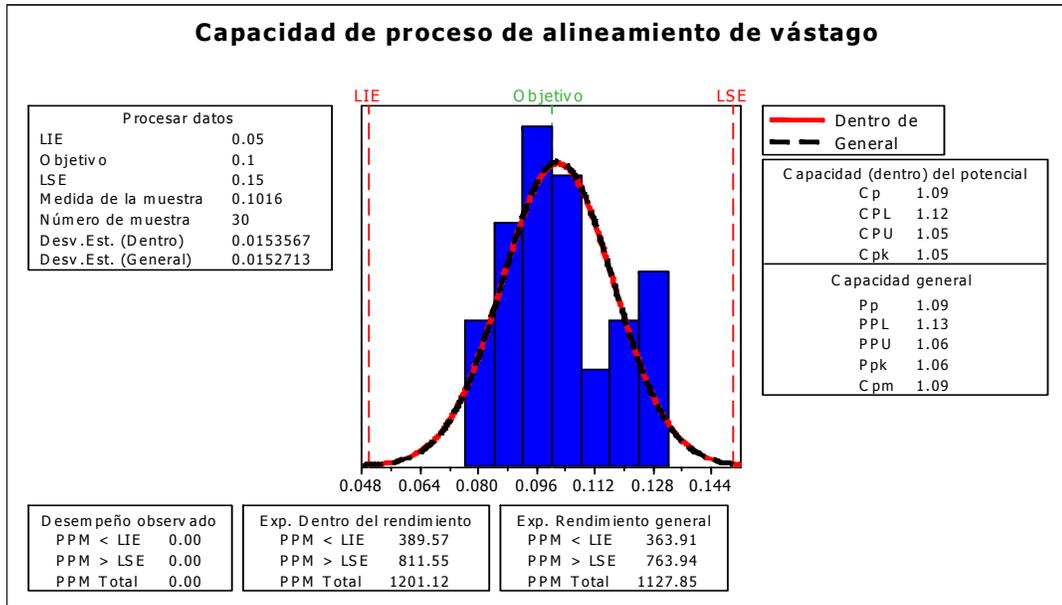


GRÁFICO MT18: SIMULACIÓN DE NORMALIDAD DE DATOS DE  
ALINEAMIENTO EN LOS MESES DE MARZO A OCTUBRE 2015

Fuente: Elaborada por el autor

Según el gráfico el proceso de alineamiento de vástago es capaz ya que el índice de capacidad ( $C_p$ ) es mayor que 1. Por lo tanto el proceso está centrado.

- Mejora de la eficiencia en las áreas críticas de la planta

Una vez realizada las pruebas y los resultados de las áreas críticas de la planta que involucra a la reparación de los cilindros hidráulicos mejoraron en lo siguiente:

En el área de maquinado-máquinas y herramientas se ha proyectado una mejora en la eficiencia con respecto al proceso de reparación.

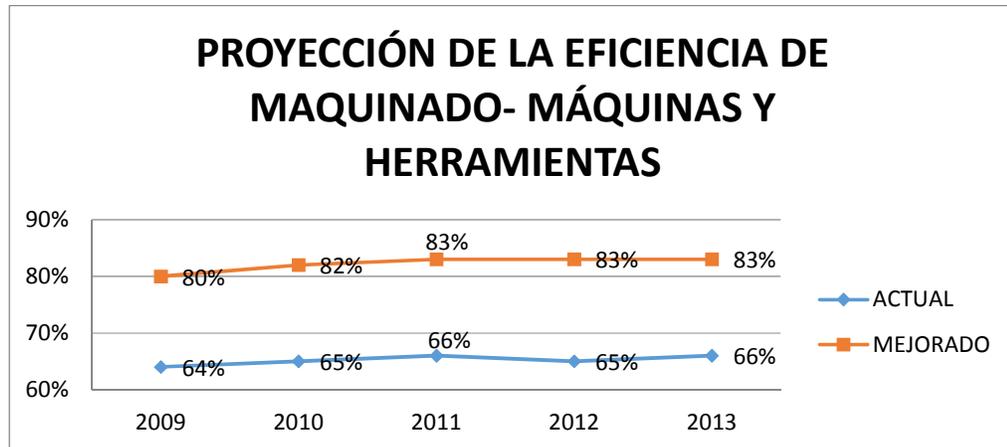
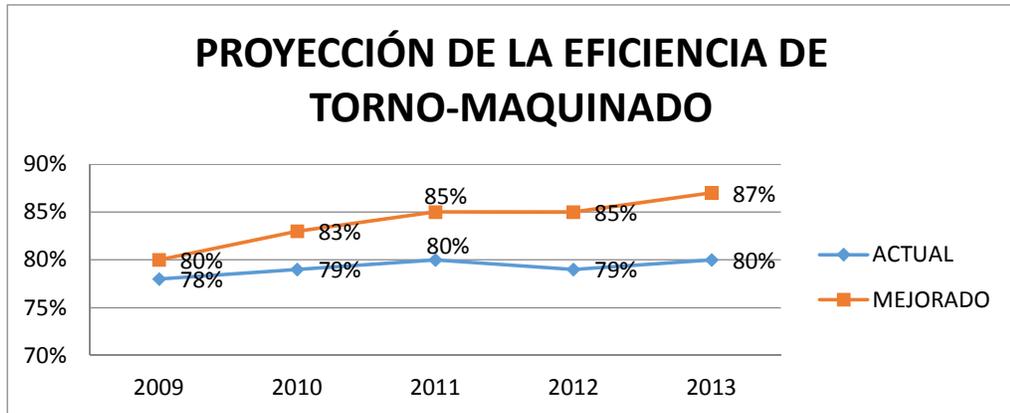


GRÁFICO HM1: SIMULACIÓN DE MEJORA EN LA EFICIENCIA DE TORNO MAQUINADO EN LOS SIGUIENTES 4 AÑOS

Fuente: Elaborada por el autor

En el gráfico anterior se muestra que el área de maquinado-máquinas y herramientas (la más crítica) se ha proyectado una mejora en la eficiencia que oscila entre 80% a 83%. Es decir que al mejorar el proceso de maquinado los indicadores se incrementan.

En cuanto a la sección maquinado-torno la proyección mejorada se estimó entre un 80% a 87% como se muestra en el siguiente gráfico.

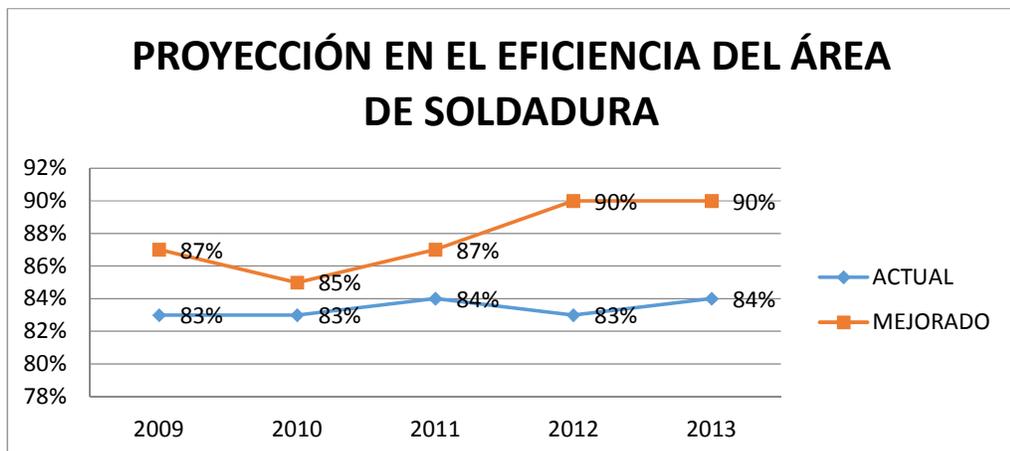


**GRÁFICO HM2: SIMULACIÓN DE MEJORA EN LA EFICIENCIA DE TORNO MAQUINADO EN LOS SIGUIENTES 4 AÑOS**

Fuente: Elaborada por el autor

En este caso que es la no crítica con ello se demuestra la eficiencia tiende a mejorar a un nivel óptimo.

En el área de soldadura se puede apreciar (en el grafico HM3) que los índices de eficiencia han mejorado debido al manejo de los niveles de temperatura establecidos anteriormente; se pudo proyectar dicha eficiencia entre 87% a 90%.



**GRÁFICO HM3: SIMULACIÓN DE MEJORA EN LA EFICIENCIA DEL ÁREA DE SOLDADURA EN LOS SIGUIENTES 4 AÑOS**

Fuente: Elaborada por el autor

En el área de rectificando (la más crítica) hubo problemas con uno de sus procesos (alineamiento de vástago) aplicando los niveles mejorados en las pruebas y resultados se obtuvo una proyección de la eficiencia en un 82% a 85% como se puede apreciar en el siguiente gráfico.

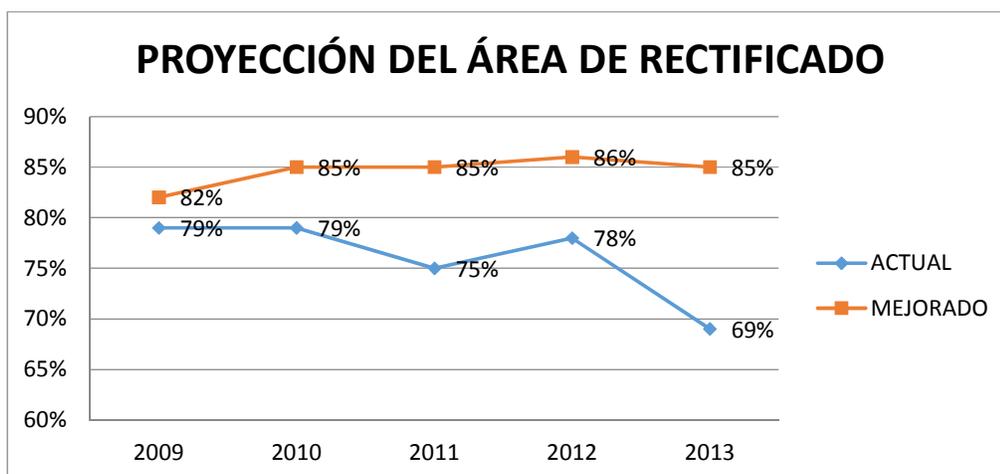


GRÁFICO HM4: SIMULACIÓN DE MEJORA EN LA EFICIENCIA DEL ÁREA DE RECTIFICADO EN LOS SIGUIENTES 4 AÑOS

Fuente: Elaborada por el autor

- **Efecto económico**

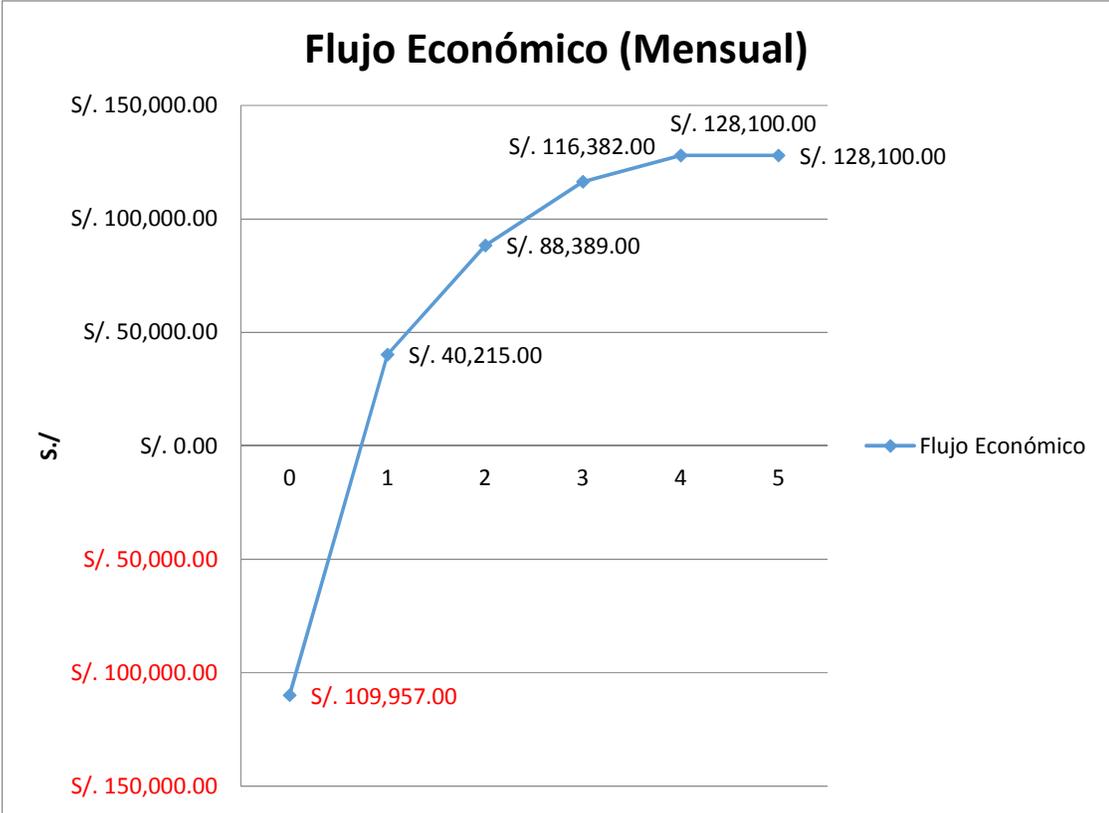
Se utiliza con el fin de demostrar que el proyecto de aplicar una metodología es viable. Como es un proyecto de mejora de los procesos que comprende la reparación de los cilindros hidráulicos. En el cuadro informe 1 se puede apreciar la inversión total de para ejecutar el proyecto de mejora; cuyo costo a invertir es de \$35,470.00 (S/. 109,957.00)

<b>Implementación de SIX-SIGMA</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo</b>	<b>Total</b>
<b>Recursos humanos</b>			
Charlas de inducción (Semanal)	10	\$ 300.00	\$ 3,000.00
Capacitación externa de personal	5	\$ 200.00	\$ 1,000.00
Sección de evaluadores	4	\$ 500.00	\$ 2,000.00
<b>Total de recursos humanos</b>			<b>\$ 6,000.00</b>
<b>Activos para la mejora</b>			
Kit de herramientas para maquinado	3	\$ 2,000.00	\$ 6,000.00
Stock de cuchillas	4	\$ 100.00	\$ 400.00
Relojes de avisos de termino de trabajo	5	\$ 1,000.00	\$ 5,000.00
Juego de micrómetros exteriores	3	\$ 100.00	\$ 300.00
Juego de micrómetros interiores	3	\$ 90.00	\$ 270.00
Fabricación de carrito porta-herramientas	1	\$ 4,000.00	\$ 4,000.00
Sistema de rieles para transporte (metros)	15	\$ 900.00	\$ 13,500.00
<b>Total de activos para la mejora</b>			<b>\$ 29,470.00</b>
<b>Total invertido de la mejora (\$)</b>			<b>\$ 35,470.00</b>
<b>Total invertido de la mejora (S./)</b>			<b>S/. 109,957.00</b>

<b>Re-procesos</b>	5	\$ 2,500.00	\$ 12,500.00
<b>Cortesías</b>	3	\$ 900.00	\$ 2,700.00
<b>Total de inconformidades</b>			<b>\$ 15,200.00</b>

En el proyecto de mejora referente a la implementación de la metodología SIX SIGMA es viable. En el flujo económico se muestra una recuperación de aproximadamente de S/. 116,382 en el tercer mes (utilizando un coeficiente de costo oportunidad de capital de 13%), se incrementa según la demanda del cliente. Al implementar dicho proyecto de mejora se obtiene un retorno de 65% de lo que se invirtió teniendo un costo-beneficio de 1.8 lo cual confirma la viabilidad en la implementación de la metodología SIX-SIGMA.

FLUJO DE CAJA	0	1	2	3	4	5
Demanda		25	35	40	40	40
Defectos		10	6	3	0	0
Precio de la reparación		S/. 10,850.00	S/. 10,850.00	S/. 10,850.00	S/. 10,850.00	S/. 10,850.00
Ingresos		S/. 271,250.00	S/. 379,750.00	S/. 434,000.00	S/. 434,000.00	S/. 434,000.00
Costos fijos						
transporte		S/. 5,000.00	S/. 5,000.00	S/. 5,000.00	S/. 5,000.00	S/. 5,000.00
Costos administrativos en comunicaciones		S/. 2,000.00	S/. 2,000.00	S/. 2,000.00	S/. 2,000.00	S/. 2,000.00
total de costos fijos		S/. 7,000.00	S/. 7,000.00	S/. 7,000.00	S/. 7,000.00	S/. 7,000.00
Costos variables						
Re-procesos		S/. 108,500.00	S/. 65,100.00	S/. 32,550.00	S/. 0.00	S/. 0.00
Cortesías		S/. 21,700.00	S/. 13,020.00	S/. 6,510.00	S/. 0.00	S/. 0.00
Total de costos variables		S/. 130,200.00	S/. 78,120.00	S/. 39,060.00	S/. 0.00	S/. 0.00
Utilidad antes de impuestos		S/. 134,050.00	S/. 294,630.00	S/. 387,940.00	S/. 427,000.00	S/. 427,000.00
IR (Impuesto a la renta)		S/. 40,215.00	S/. 88,389.00	S/. 116,382.00	S/. 128,100.00	S/. 128,100.00
Utilidades netas		S/. 40,215.00	S/. 88,389.00	S/. 116,382.00	S/. 128,100.00	S/. 128,100.00
<b>flujo OPERATIVO</b>	<b>S/. 109,957.00</b>	<b>S/. 40,215.00</b>	<b>S/. 88,389.00</b>	<b>S/. 116,382.00</b>	<b>S/. 128,100.00</b>	<b>S/. 128,100.00</b>
<b>Flujo Económico</b>	<b>S/. 109,957.00</b>	<b>S/. 40,215.00</b>	<b>S/. 88,389.00</b>	<b>S/. 116,382.00</b>	<b>S/. 128,100.00</b>	<b>S/. 128,100.00</b>



VAN	S/. 197,880.79
TIR	65%
B/C	1.80

**INFORME 2: FLUJO ECONÓMICO DE LA INVERSIÓN DESPUÉS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA MEJORA**

# CONCLUSIONES

---

Al ejecutar las propuestas se logró lo siguiente:

- Se redujo el índice de reproceso en un 15% aproximadamente y como consecuencia aumentó el índice de cumplimiento de entrega con el cliente.
- La metodología SIX-SIGMA se adecua a la empresa en estudio debido al comportamiento de su producción.
- Al implementar la metodología SIX SIGMA aumentamos el índice de cumplimiento en un 90%.
- Los procedimientos de las áreas de maquinado, soldadura y rectificado se han detectado defectos en los procesos de maquinado de horquillas de alojamientos de los cilindros y vastagosa si como también en proceso de calentamiento para el procesos de rellenado y el alineamiento inadecuado de los vástagos.
- Utilizando los niveles óptimos de las variables significativas, aumentará el rendimiento de estos equipos hidráulicos.
- La metodología SIX SIGMA se mejoró los procedimientos actuales en las áreas significativas de la planta. Dando como consecuencia la reducción de los defectos al mínimo aplicando una adecuada capacitación al personal con el fin de realizar una adecuada reparación.

- Se consideró el DMAIC como un sistema de control de mejoras con el fin de evitar los re-procesos.
- Se ha mejorado el centrado del proceso de 3.86 a 4.64 sigmas.
- La implementación de la metodología SIX SIGMA ayudó a incrementar la eficiencia del área de maquinado (la más crítica) de 65% a 82% promedio.
- La puesta en práctica de la metodología SIX SIGMA trajo como consecuencia las mejoras de la eficiencia en las áreas de rectificado (69% a un 90% en el proceso de alineamiento), y también en el área de soldadura (84% a un 94%).
- Al implementar (SIX SIGMA) se mejoró el tiempo de llegada del material requerido para las reparaciones de 4.5 a 3 días.
- La aplicación de la metodología SIX SIGMA permite reducir los costos de garantías y cortesías de reparación de los cilindros por parte de la empresa.
- La metodología SIX SIGMA nos ayudó a la implementación de hojas de ruta con el fin de respetar la secuencia de los procesos de reparación.
- Con el adiestramiento adecuado del personal en el manejo de sistemas de ruteo los procesos tienden a mejorar hasta llegar al objetivo.

## RECOMENDACIONES

---

- Para aplicar la metodología se debe realizar un mapeo de los procesos en la planta para detectar el problema o los problemas.
- Recolectar la adecuada información de las áreas involucradas con el proceso de reparación de estos equipos.
- Elegir la aplicación adecuada (en este caso ANOVA) según la data levantada.
- Se debe tomar como referencia los procedimientos con el fin de analizar los elementos que conforma el sistema.
- Se debe identificar los parámetros de las causas y efectos para la aplicación de las técnicas estadísticas.
- En caso de que sobrecargue la capacidad instalada en la empresa, se debe recurrir al apoyo de terceros especializados en los determinados procesos.
- Retomar el uso adecuado de las hojas de ruta para el seguimiento de los procesos de reparación.

# Anexo 1

## DATOS DE TIEMPOS ACTUALES

Proceso : Reparación de cilindro de levante letourneau

Historial de tiempos de reparación de proceso de maquinado de horquilla de cilindro (mejorado)

Nop	Operaciones	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	su ma	t prom
1	Colocar cilindro en maquina	6.440	6.463	6.446	6.189	6.479	6.463	6.480	6.419	6.457	6.473	64.3	10.976
2	Centrar alesador en cabezal de mandrino	19.034	19.004	19.065	18.951	19.023	19.040	19.198	19.074	19.063	19.108	190.562	32.528
3	Dar acabado en zona coronada	17.366	17.442	17.383	17.334	17.418	17.390	17.380	17.296	17.538	17.316	173.864	29.678
4	Cambiar de pastilla	5.876	5.904	5.862	5.857	5.847	5.834	5.905	5.838	5.858	5.882	58.683	10.014
5	Maquinar zona coronada 1 pase a 0.1mm	6.634	6.489	6.611	6.541	6.562	6.649	6.601	6.511	6.630	6.607	65.835	11.238
6	Maquinar zona coronada 1 pase a 0.3mm	6.541	6.562	6.649	6.596	6.576	6.575	6.578	6.489	6.611	6.607	65.784	11.23
7	Maquinar zona coronada 2 pase a 1.5mm	9.070	9.064	8.974	9.067	9.088	9.025	9.044	9.058	9.070	8.990	90.429	15.438
8	Cambiar herramienta de desbaste	8.991	8.986	9.083	9.058	9.013	9.062	9.062	9.062	9.086	9.184	90.588	15.463
9	Verificar centrado de faceteador con alojamiento	1.330	1.350	1.230	1.220	1.200	1.000	1.020	1.340	1.200	1.250	12.14	2.073
10	Cambiar porta-herramienta	6.012	6.035	6.009	5.989	6.011	6.011	6.039	6.013	6.012	5.978	60.109	10.261
11	Ajustar porta a faceteador	5.273	5.275	5.268	5.270	5.270	5.265	5.277	5.275	5.275	5.276	52.725	9
12	Desbrincar pestaña de alojamiento	11.051	11.056	11.051	11.053	11.053	11.053	11.051	11.055	11.056	11.051	110.53	18.867
13	Medir alojamiento	0.845	0.845	0.813	0.845	0.865	0.865	0.865	0.858	0.845	0.866	8.511	1.453
14	Maquinar 2 canales de seguro seager	4.761	4.782	0.911	4.771	4.770	4.755	4.750	4.760	4.753	4.755	43.768	7.471
15	Ajustar pastilla	3.625	3.651	3.628	3.554	3.601	3.609	3.606	3.609	3.566	3.626	36.075	6.168
16	Maquinar alojamiento	4.761	4.782	0.911	4.771	4.770	4.755	4.750	4.760	4.753	4.755	43.768	7.471
17	Medir alojamiento	0.845	0.845	0.813	0.845	0.865	0.865	0.865	0.858	0.845	0.866	8.511	1.453
18	Maquinar tope pase 1	3.901	3.905	3.901	3.902	3.904	3.906	3.902	3.905	3.924	3.899	39.049	6.666
19	Maquinar tope pase 2	2.535	2.538	2.536	2.536	2.538	2.539	2.536	2.538	2.551	2.535	25.382	4.333
20	Verificar y medir acabado	1.359	1.346	1.346	1.339	1.326	1.320	1.326	1.313	1.305	1.300	13.278	2.267
21	Dar acabado	7.162	7.160	7.229	7.191	7.219	7.181	7.190	7.168	7.174	7.160	71.834	12.262
22	Cambiar cuchilla	7.179	7.196	7.178	7.174	7.175	7.171	7.173	7.173	7.175	7.162	71.755	12.249
23	Maquinar chafán de tope	6.317	6.332	6.317	6.313	6.314	6.311	6.312	6.312	6.314	6.302	63.145	10.779
24	Taladrar 2 agujeros de grasera a 60°	5.345	5.343	5.362	5.353	5.353	5.368	5.352	5.355	5.362	5.349	53.543	9.14
25	Repasar macho a agujeros	5.836	5.844	5.836	5.831	5.836	5.831	5.835	5.832	5.833	5.835	58.352	9.961
26	Desmontaje de cilindro reparado	11.725	11.725	11.723	11.721	11.762	11.734	11.736	11.725	11.727	11.730	117.309	20.025
27	Verificar medida final	1.120	1.100	1.150	1.140	1.000	1.100	1.111	0.500	1.220	1.123	10.564	1.804
												1514.148	258.458

TABLA DE ANX 1: ESTUDIO DE TIEMPOS DEL PROCESO DE MAQUINADO DE ALOJAMIENTO DE CILINDRO

## Hipótesis

H<sub>0</sub> Si los datos de los tiempos del proceso de reparación de cilindro letourneau son confiables

H<sub>1</sub> Si los datos de los tiempos del proceso de reparación de cilindro letourneau no son confiables

## Definir intervalo de confianza

Datos

c	99%	
n	10	
gl	9	
T <sub>c</sub>	2.821	según tabla de la t de student

Aplicando la formula

$$S(\text{desv. Std.}) \quad S = \sqrt{\frac{\sum(T - T_{prom})^2}{(n-1)}} \quad 4.44611501 \text{ min}$$

$$\text{Tiemp. Prom. (T}_{prom}\text{)} \quad 258.458 \text{ min}$$

Definiendo intervalo

$$\text{Limite superior} \quad T_{prom} + \left(\frac{T_c \times S}{\sqrt{n}}\right)$$

$$\text{Limite inferior} \quad T_{prom} - \left(\frac{T_c \times S}{\sqrt{n}}\right)$$

$$\text{Limite superior} \quad 262.4242837 \text{ min}$$

$$\text{Limite inferior} \quad 254.4917163 \text{ min}$$

I=Lim. Sup-Lim. Inf.

$$I = \quad \mathbf{7.932567466 \text{ min}}$$

Calculando el intervalo muestral (I<sub>m</sub>)

$$I_m = \frac{2 \times S \times T_c}{\sqrt{n}} \quad I_m = \quad \mathbf{7.932567466 \text{ min}}$$

Como I ≤ I<sub>m</sub> por lo tanto la hipótesis nula se acepta por lo tanto los datos de los tiempos de proceso de reparación del cilindro son confiables

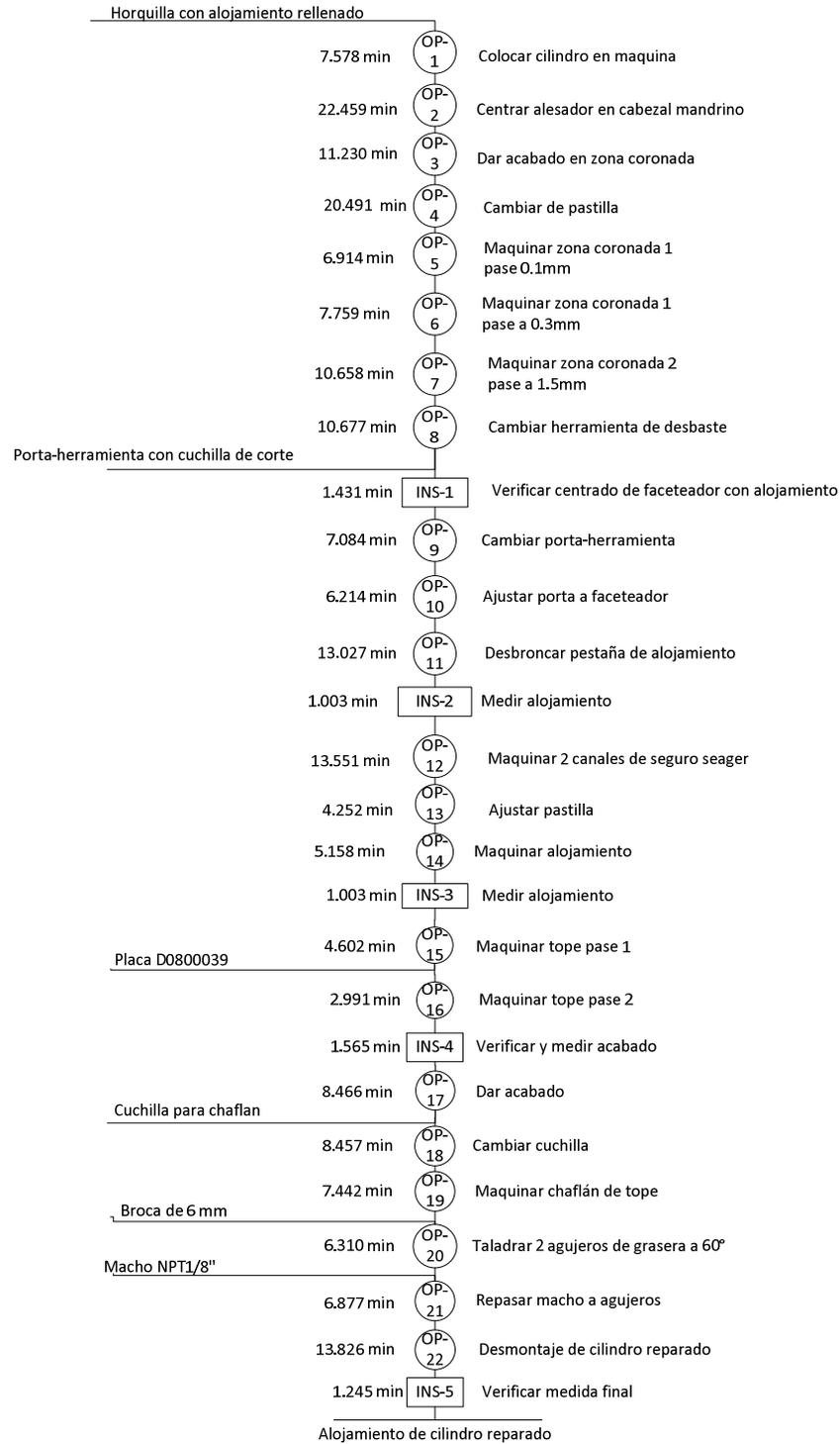


Utilizando la tabla del sistema Westinghouse de la imagen anx1

<b>Factor</b>	<b>Clase</b>	<b>Categoría</b>	<b>Indice</b>
<b>Habilidad</b>	C1	Buena	0.06
<b>Esfuerzo</b>	C1	Buena	0.05
<b>Condiciones</b>	C	Buena	0.02
<b>Consistencia</b>	C	Buena	0.01
		<b>C=</b>	<b>0.14</b>

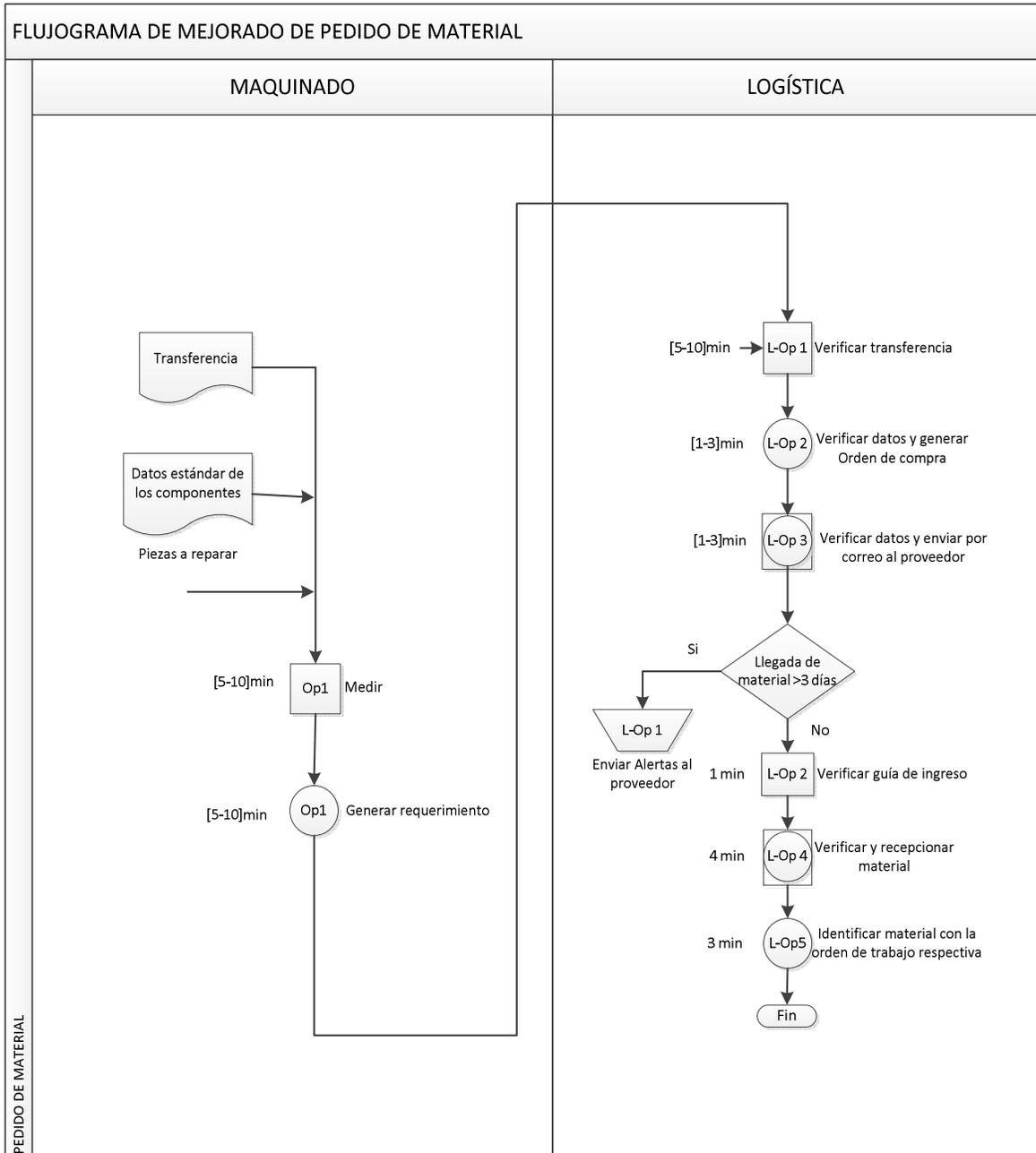
De los resultados se procedió a realizar el siguiente diagrama de operaciones mejorado.

## DIAGRAMA DE OPERACIONES DE PROCESO MEJORADO DEL MAQUINADO DE ALOJAMIENTO DE HORQUILLA LETOURNEAU



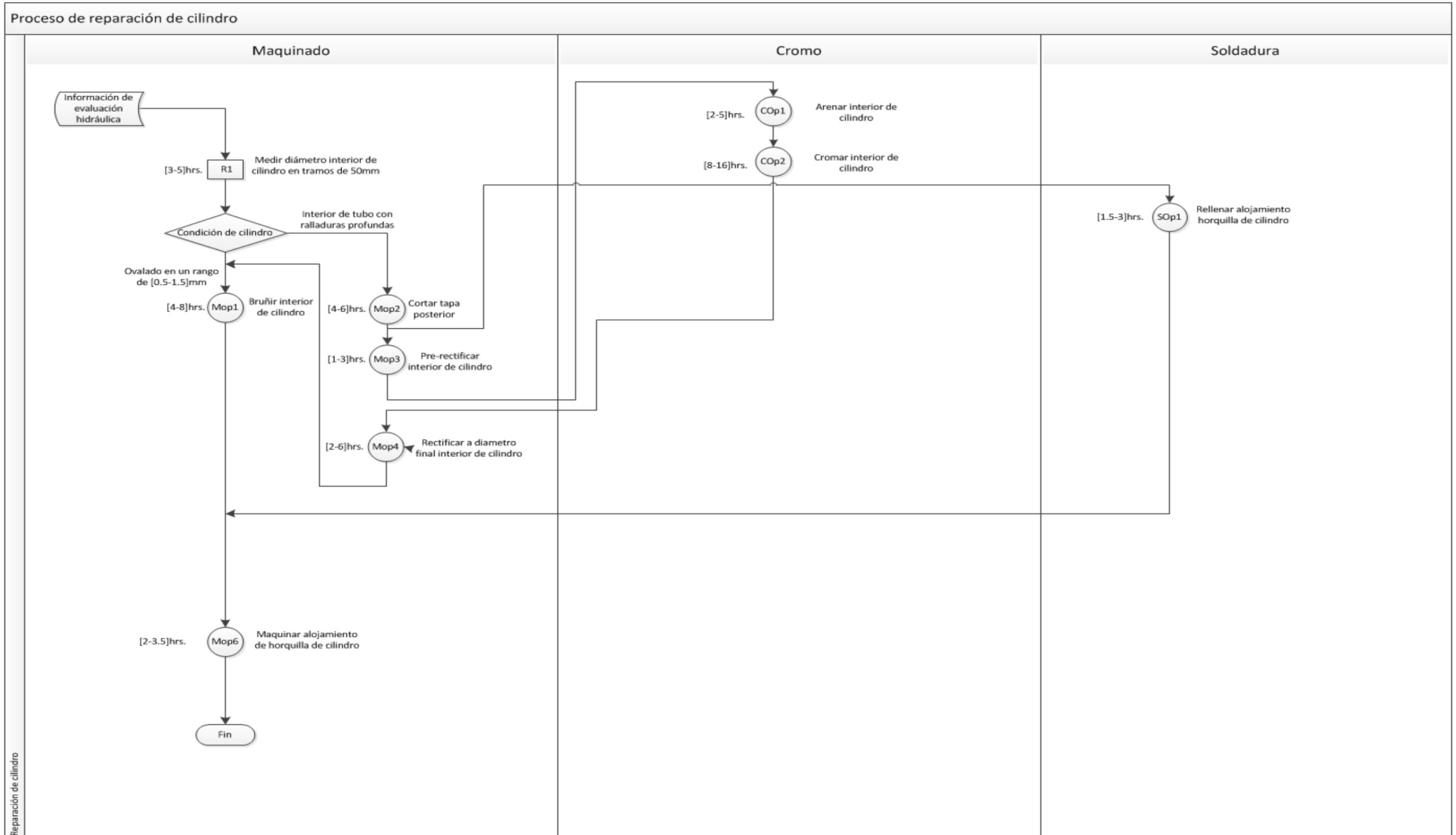
Items	Cantidad	Tiempo(min)	Tiempo(hrs)
Operaciones	22	208.793	3.48
Inspecciones	5	-----	-----

# Anexo 2





# Anexo 4





Title: Servicio de reparación de cilindros hidráulicos

Author: Cristian Ingar Medina

Date: 15/09/2009

Notes: Matriz de las partes

Legend	
⊖	Strong Relationship 9
○	Moderate Relationship 3
▲	Weak Relationship 1
++	Strong Positive Correlation
+	Positive Correlation
-	Negative Correlation
▼	Strong Negative Correlation
▲	Objective Is To Minimize
▲	Objective Is To Maximize
X	Objective Is To Hit Target

Powered by GFD Online (<http://www.GFDOnline.com>)

Row #	Max Relationship Value in Row	Relative Weight	Weight / Importance	Quality Characteristics (a.k.a. "Functional Requirements" or "Views")	Quality Characteristics (a.k.a. "Functional Requirements" or "Views")	Direction of Improvement: Minimize (▼), Maximize (▲), or Target (X)	Column #
1				CARACTERISTICAS DE FUNCIONAMIENTO			1
2	9	6.1	58.5	Material adecuado de las piezas			2
3	9	6.1	58.5	Tolerancia de medidas entre centros			3
4	9	12.4	119.5	Luces adecuadas entre las piezas			4
5	9	7.6	73.2	Adecuado material de los sellos			5
6	3	6.8	65.9	Adecuada protección de los conectores			6
7	9	6.9	66.7	Adecuada prueba hidráulica de los equipos			7
8	9	11.9	114.6	Grado de dureza de los material de vástago			8
9				CARACTERISTICAS FISICAS			9
10	9	7.8	75.6	Adecuada reparación de las partes			10
11				CARACTERISTICAS EXTERNAS			11
12	3	3.8	36.6	Pinura adecuada			12
13	3	12.1	117.1	Laminado protección PVC			13
14		2.0	19.5	Modelo de caja			14
15				GARANTIAS DE SERVICIO			15
16	9	9.8	95.1	Fluidez en el proceso de reparación de las piezas			16
17	3	6.8	65.9	Adecuada duración de los equipos			17
18							18
19							19
20							20
21							21
22							22
23							23
24							24
25							25
				Target or Limit Value			
				Difficulty (0=Easy to Accomplish, 10=Extremely Difficult)			
				Max Relationship Value in Column			
				Weight / Importance			
				Relative Weight			





## Anexo 6

### DATOS DE TIEMPOS ACTUALES

Proceso : Reparación de cilindro de levante letourneau

Historial de tiempos de reparación de proceso de maquinado de horquilla de cilindro

Nop	OPERACIONES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total	Promedio
1	Colocar cilindro en maquina	8.05	8.066	8.058	7.736	8.099	8.079	8.1	8.024	8.071	8.091	80.374	8.0374
2	Centrar alesador en cabezal mandrino	23.793	23.755	23.831	23.689	23.779	23.800	23.998	23.843	23.829	23.885	238.2025	23.820246
3	Dar acabado a zona coronada	21.707	21.803	21.729	21.667	21.773	21.738	21.725	21.62	21.923	21.645	217.33	21.733
4	Cambiar pastilla	7.345	7.380	7.327	7.321	7.309	7.292	7.381	7.298	7.323	7.352	73.328	7.3328
5	Maquinar zona coronada 1 pase 0.1mm	8.292	8.111	8.264	8.176	8.203	8.311	8.251	8.139	8.287	8.259	82.293	8.2293
6	Ajustar cuchilla	8.176	8.203	8.311	8.245	8.22	8.219	8.222	8.111	8.264	8.259	82.23	8.223
7	Maquinar zona coronada 1 pase 0.3mm	11.338	11.33	11.217	11.334	11.335	11.281	11.305	11.322	11.337	11.237	113.036	11.3036
8	Maquinar zona coronada 2 pase 1.5mm	11.239	11.232	11.354	11.323	11.266	11.327	11.328	11.327	11.358	11.48	113.234	11.3234
9	Cambiar de herramienta de desbaste	8.01	8.006	8.007	8.006	8.006	8.002	8.008	8.008	8.007	8.008	80.068	8.0068
10	Verificar centrado de faceteador con alojamiento	1.3	1.26	1.32	1.32	1.35	1.33	1.32	1.32	1.32	1.32	13.16	1.316
11	Cambiar porta herramienta	9.249	9.284	9.245	9.214	9.247	9.248	9.290	9.251	9.249	9.197	92.47433	9.2474325
12	Ajustar porta a faceteador	8.113	8.115	8.104	8.108	8.108	8.1	8.118	8.116	8.116	8.117	81.115	8.1115
13	Desbrincar pestaña de alojamiento	17.002	17.009	17.002	17.004	17.005	17.004	17.001	17.007	17.009	17.002	170.045	17.0045
14	Medir alojamiento	1.21	1.24	1.19	1.22	1.24	1.24	1.27	1.23	1.26	1.25	12.35	1.235
15	Maquinar 2 canales de seguro seager	17.698	17.698	17.681	17.688	17.689	17.689	17.676	17.683	17.689	17.689	176.88	17.688
16	Ajustar pastilla	5.577	5.617	5.581	5.468	5.54	5.552	5.547	5.553	5.486	5.579	55.5	5.55
17	Maquinar alojamiento	7.325	7.357	1.401	7.34	7.338	7.316	7.308	7.323	7.312	7.315	67.335	6.7335
18	Medir alojamiento	1.3	1.3	1.25	1.3	1.33	1.33	1.33	1.32	1.3	1.333	13.093	1.3093
19	Maquinar tope	24.049	24.102	24.023	24.058	24.049	24.009	24.053	24.06	24.046	24.045	240.494	24.0494
20	Ajustar placa y porta	24.037	24.019	24.08	24.026	24.045	24.045	24.041	24.042	24.043	24.039	240.417	24.0417
21	Maquinar tope	6.001	6.008	6.002	6.003	6.006	6.009	6.003	6.007	6.037	5.999	60.075	6.0075
22	Verificar y medir acabado	2.09	2.07	2.07	2.06	2.04	2.03	2.04	2.02	2.007	2	20.427	2.0427
23	Dar acabado	11.018	11.016	11.121	11.063	11.106	11.048	11.062	11.027	11.037	11.015	110.513	11.0513
24	Cambiar de cuchilla para chaflán	11.044	11.07	11.043	11.037	11.039	11.033	11.035	11.035	11.038	11.018	110.392	11.0392
25	Maquinar chaflán de tope	8.004	8.007	8	8.007	8.009	8.006	8.005	8.016	8.008	8	80.062	8.0062
26	Taladrar 2 agujeros en angulo 60°	8.223	8.22	8.249	8.236	8.235	8.259	8.234	8.239	8.249	8.229	82.373	8.2373
27	Repasar macho a agujeros	8.982	8.99	8.979	8.971	8.979	8.971	8.977	8.972	8.974	8.977	89.772	8.9772
28	Desmontaje de cilindro reparado	18.038	18.039	18.036	18.033	18.095	18.052	18.056	18.038	18.042	18.046	180.475	18.0475
												<b>2977.048</b>	<b>297.70478</b>

TABLA ANX 3: ESTUDIO DE TIEMPOS NEJORADO DEL PROCESO DE MAQUINADO DE ALOJAMIENTO DE CILINDRO

## Hipótesis

Ho Si los datos de los tiempos del proceso de reparación de cilindro letourneau son confiables

H1 Si los datos de los tiempos del proceso de reparación de cilindro letourneau no son confiables

## Definir intervalo de confianza

Datos

c	99%
n	10
gl	9
Tc	2.821 según tabla de la t de student

Aplicando la formula

$$S = \sqrt{\frac{\sum(T - T_{prom})^2}{(n - 1)}}$$

S(desv. Std.) 6.73296 min

Tiemp. Prom. (T<sub>prom</sub>) 297.705 min

Definiendo intervalo

$$\text{Limite superior} = T_{prom} + \left(\frac{T_c \times S}{\sqrt{n}}\right)$$

$$\text{Limite inferior} = T_{prom} - \left(\frac{T_c \times S}{\sqrt{n}}\right)$$

Limite superior 303.711 min

Limite inferior 291.698 min

≠Lim. Sup-Lim. Inf.

$$\mathbf{= 12.0127 \text{ min}}$$

Calculando el intervalo muestral (Im)

$$Im = \frac{2 \times S \times T_c}{\sqrt{n}}$$

$$\mathbf{Im = 12.0127 \text{ min}}$$

Como k=Im por lo tanto la hipotesis nula se acepta por lo tanto los datos de los tiempos de proceso de reparación del cilindro son confiables

Utilizando el cuadro del sistema Westinghouse se llegó a la siguiente calificación de velocidad de trabajo.

<b>CALIFICACIÓN DE VELOCIDAD</b>					
<b><i>SISTEMA WESTINGHOUSE</i></b>					
<b><u>HABILIDAD</u></b>			<b><u>ESFUERZO</u></b>		
+ 0.15	A1	Extrema	+ 0.13	A1	Excesivo
+ 0.13	A2	Extrema	+ 0.12	A2	Excesivo
+ 0.11	B1	Excelente	+ 0.10	B1	Excelente
+ 0.08	B2	Excelente	+ 0.08	B2	Excelente
+ 0.06	C1	Buena	+ 0.05	C1	Bueno
+ 0.03	C2	Buena	+ 0.02	C2	Bueno
0.00	D	Regular	0.00	D	Regular
- 0.05	E1	Aceptable	- 0.04	E1	Aceptable
- 0.10	E2	Aceptable	- 0.08	E2	Aceptable
- 0.16	F1	Deficiente	- 0.12	F1	Deficiente
- 0.22	F2	Deficiente	- 0.17	F2	Deficiente
<b><u>CONDICIONES</u></b>			<b><u>CONSISTENCIA</u></b>		
+ 0.06	A	Ideales	+ 0.04	A	Perfecta
+ 0.04	B	Excelentes	+ 0.03	B	Excelente
+ 0.02	C	Buenas	+ 0.01	C	Buena
0.00	D	Regulares	0.00	D	Regular
- 0.03	E	Aceptables	- 0.02	E	Aceptable
- 0.07	F	Deficientes	- 0.04	F	Deficiente

IMAGEN ANX1: TABLA DEL SISTEMA WESTINGHOUSE

De la tabla se dio el siguiente resultado:

Factor	Clase	Categoría	Indice
Habilidad	C1	Buena	0.06
Esfuerzo	C1	Buena	0.05
Condiciones	C	Buena	0.02
Consistencia	C	Buena	0.01
<b>C=</b>			<b>0.14</b>

$$Cv = 1 + C$$

$$Cv^{24}=1+0.14=1.14$$

Luego se utilizando las siguientes formulas:

$$R = T_{MAX} - T_{MIN}$$

$$\bar{R} = \frac{R}{\bar{X}}$$

### Tolerancias

concesión(%) ( c )	1%
Jornada Total(min) (JT)	960 min
Necesidades Personales (NP)	18 min

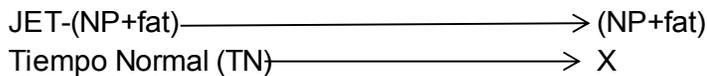
$$fat = \frac{c \times JT}{(1 + c)}$$

Fatiga (fat)	9.505 min
--------------	-----------

Tiempo de preparacion (tp)	60 min
Tiempo de preparacion final (tpf)	60 min

$$JET = JT - (tp + tpf)$$

Jornada Efectiva Total (JET):	840 min
-------------------------------	---------



812.495	27.505
---------	--------

### Suplementos

$$SUPL = TN \times \left( \frac{(NP + fat)}{(JET - (NP + fat))} \right)$$

$$Tstd = TN + SUPL$$

Resultó la siguiente tabla de los tiempos estándar iniciales

---

<sup>24</sup> Cv: Constante de velocidad.



## Bibliografía

- Carlos Carballo, S. M. (noviembre de 2011). Six Sigma. Aplicación de seis sigma en empresas de servicios. Guadalajara, Mexico.
- Chocce, A. G. (11 de Enero de 2011). Seis sigma. Aplicaciones en la empresa. Lima, Lima, Perú: San Marcos.
- CIMAT. (05 de Mayo de 2009). CIMAT. Obtenido de Capacitación y educación continua para la industria: [www.cimat.mx](http://www.cimat.mx)
- Escalante. (2013). Seis Sigma Metodología y técnicas. En E. J. Escalante. Mexico: Noriega.
- Goldsby, T. (2009). Lean Six-Sigma Logistic. En R. Martichenko. E.E.U.U.: J. Ross Publishing.
- HCMA. (2009). Especificaciones de excavadoras EX5500. HITACHI, 50-62.
- Mazur, G. (2006). Voice of customers analysis. Colorado: AQC.
- Membrado, J. (2009). Proyecto Seis Sigma. Quito: Gestipolis.
- Pulido, G. (2009). Control estadístico de la calidad y seis sigma. En H. G. Pulido, & R. d. Salazar. Mexico: Mc Graw Hill.
- RECOLSA. (2011-2014). Índices de eficiencia y rentabilidad en la empresa. Lima-Callao: RECOLSA.
- RECOLSA. (2011-2014). Re-procesos . Lima-Callao: RECOLSA.
- RECOLSA. (2013-2014). Clientemanía. Lima-Callao: RECOLSA.
- Sacristán, F. R. (2009). Manual de mantenimiento integral en la empresa. Madrid: Fundación Confemetal.
- sigma, S., & calidad, f. d. (2005). Estudio teórico y posible aplicación en el Perú. Piura: PIHURA.

SigmaXL. (12 de Setiembre de 2009). SigmaXL. Obtenido de Aplicaciones de herramientas estadísticas: [www.sigmaXL.com](http://www.sigmaXL.com)