

MEJORAMIENTO DE LOS PROCESOS DE FORJA,
MECANIZADO Y ENSAMBLE DE TUBOS PARA EJES
DIFERENCIALES MEDIANTE LOS LINEAMIENTOS DE LA
HERRAMIENTA SEIS SIGMA EN FORCOL LTDA

SERGIO DUARTE GONZALEZ

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECANICAS
ESCUELA DE ESTUDIOS INDUSTRIALES Y EMPRESARIALES
BUCARAMANGA

2008

MEJORAMIENTO DE LOS PROCESOS DE FORJA,
MECANIZADO Y ENSAMBLE DE TUBOS PARA EJES
DIFERENCIALES MEDIANTE LOS LINEAMIENTOS DE LA
HERRAMIENTA SEIS SIGMA EN FORCOL LTDA

SERGIO DUARTE GONZALEZ

Trabajo de grado para optar por el título de
Ingeniero Industrial

Director:

EDWIN ALBERTO GARAVITO HERNANDEZ
Ingeniero Industrial

Codirector

LUIS ALBERTO SANTOS CASTAÑEDA

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECHANICAS
ESCUELA DE ESTUDIOS INDUSTRIALES Y EMPRESARIALES
BUCARAMANGA

2008

Agradezco enormemente

A Dios por la oportunidad de vivir rodeado de gente tan especial.

A mis padres, Humberto y Omaíra; hermanos y familia por tanto amor
recibido.

A mi abuela Oliva por confiar en mí incondicionalmente.

A Luz Adriana, por hacer tuyas mis ilusiones.

Al Ingeniero Edwin A. Garavito Hernández, por darme su mano y
conocimientos.

A mis maestros, fuentes de enseñanza.

A mi tío Juan Benjamín, por acompañarme en la carrera y facilitarme el
entendimiento de la profesión

Al grupo de compañeros de Forcol Ltda., por hacerme parte de ellos.

Finalmente, a todos aquellos seres que han llegado a mí en este camino,
seguramente tengo algo en mi corazón que les pertenece.

Dedico este trabajo

A Díos, conductor de mi vida

A mis Padres, motivación constante durante los últimos 25 años

A mi abuela Oliva, quien ha sido base fundamental en mi desarrollo
profesional

A todos mis amigos, por las experiencias vividas.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
1. GENERALIDADES DEL PROYECTO	3
1.1. OBJETIVOS	3
1.1.1. Objetivo General	3
1.1.2. Objetivos Específicos	3
1.2. JUSTIFICACION DE LA PRACTICA	4
2. DESCRIPCION DE LA EMPRESA	5
2. NATURALEZA DEL NEGOCIO	5
3. RESEÑA HISTORICA	5
4. PORTAFOLIO DE PRODUCTOS	6
2.3.1. Componentes para Ejes Homocinéticos	7
2.3.2. Componentes para Ejes Cardánicos	8
2.3.3. Componentes para Ejes Diferenciales	10
2.3.4. Otras piezas producidas	11
5. CULTURA ORGANIZACIONAL	12
5.1.1. Descripción General de las Áreas Funcionales	12
5.1.2. Organigrama	13
6. PROCESO DE FORJA, MECANIZADO Y ENSAMBLE DE EJES DIFERENCIALES	13
6.1.1. Proceso de Forja de Tubo	14
6.1.2. Proceso de Mecanizado de Tubo y Brida	15
6.1.3. Proceso de Ensamble	17
3. ESTADO DEL ARTE SEIS SIGMA	18
3.1. SEIS SIGMA COMO APOYO EN LA OPTIMIZACION DE PROCESOS	18
3.2. ENFOQUE DE LA HERRAMIENTA SEIS SIGMA	19
3.3. METODOLOGÍA SEIS SIGMA	20
3.3.1. Definir	21
3.3.2. Medir	22
3.3.3. Analizar	23
3.3.4. Mejorar	24
3.3.5. Controlar	24

3.4.	PARAMETRO ESTADISTICO SEIS SIGMA	25
3.4.1.	Niveles de desempeño en Sigma	27
3.5.	HERRAMIENTAS ESTADISTICAS EN EL SEIS SIGMA	28
3.5.1.	Hoja de control	28
3.5.2.	Histograma	29
3.5.3.	Diagrama de Pareto	29
3.5.4.	Diagrama de Causa – Efecto	30
3.5.5.	Estratificación	30
3.5.6.	Diagrama de Dispersión	31
3.5.7.	Gráfica de control	31
3.6.	CAPACIDAD DE PROCESO	33
4.	DEFINIR	36
4.1.	VALIDAR OPORTUNIDAD DEL NEGOCIO	36
4.1.1.	Team Charter	36
4.2.	DOCUMENTAR Y ANALIZAR LOS PROCESOS	37
4.2.1.	Identificación de Elementos en los Procesos	37
4.2.2.	Análisis del Valor de Operaciones y Actividades	39
4.3.	REQUERIMIENTOS CRÍTICOS DEL CLIENTE	41
4.4.	ANÁLISIS PARETO DE LAS NO CONFORMIDADES EN LOS PROCESOS DE FORJA, MECANIZADO Y ENSAMBLE.	45
5.	MEDIR	46
5.1.	TAMAÑO DE LA MUESTRA	47
5.2.	PLAN DE MEDICION DE DATOS	48
5.3.	ESTUDIO DE CAPACIDAD	49
6.	ANALIZAR	53
6.1.	ANALISIS DE ESTUDIO DE CAPACIDAD PARA LOS PROCESOS DE FORJA, MECANIZADO Y ENSAMBLE	53
6.1.1.	Análisis Estadístico Inspección De Recibo	54
6.1.2.	Análisis Estadístico Proceso De Forja	55
6.1.3.	Análisis Estadístico Proceso De Mecanizado	58
6.1.4.	Análisis Estadístico Proceso De Ensamble	59
6.2.	DETERMINACION DEL NIVEL SIGMA DE LOS PROCESOS DE FORJA, MECANIZADO Y ENSAMBLE	61
6.3.	DETERMINACION DE LAS CAUSAS RAIZ	62
6.3.1.	Temperatura de Horno	64
6.3.2.	Diámetro Interno Recalcado (Forja)	65
6.3.3.	Run Out (Forja)	66
6.3.4.	Diámetro de Ensamble (Mecanizado)	67
6.3.5.	Diámetro Interno de Brida (Mecanizado)	67

6.3.6.	Run Out (Ensamble)	68
6.4.	LISTADO DE CAUSAS RAZ DE PROBLEMAS DE PRODUCCION EN LOS PROCESOS DE FORJA, MECANIZADO Y ENSAMBLE.	69
7.	MEJORAR	71
7.1.	SOLUCION 1 - MEJORAR OPERACIONES ACTUALES.	71
7.1.1.	"PAYBACK " Y VENTAJAS DE LA SOLUCION 1.	73
7.2.	SOLUCION 2 – CAMBIO DE DISEÑO DE PRODUCTO Y PROCESO.	75
7.2.1.	"PAYBACK" Y VENTAJAS DE LA SOLUCION 2.	77
7.2.2.	CAMBIO DE PROCESO DE PRODUCCION CON LA SOLUCION 2.	79
7.3.	SELECCIÓN DE ALTERNATIVA DE SOLUCION MÁS ATRACTIVA.	80
7.4.	VALIDACION DE LAS MEJORAS	81
8.	CONTROLAR	83
8.1.	IMPLEMENTACION CEP	84
8.1.1.	ALCANCE DEL PROYECTO DE IMPLEMENTACION CEP	86
8.1.2.	OBJETIVOS DE PROYECTO IMPLEMENTACION CEP	87
8.1.3.	CRONOGRAMA DE IMPLEMENTACION PROYECTO CEP	88
9.	CONCLUSIONES	89
10.	RECOMENDACIONES	92
	BIBLIOGRAFIA	94
	ANEXOS	95

LISTA DE TABLAS

		Pág.
Tabla 1	Relación entre Nivel Sigma y DPMO	27
Tabla 2	Oportunidad del negocio	36
Tabla 3	Análisis del Valor Proceso Forja de Tubo	40
Tabla 4	Análisis del Valor Proceso Mecanizado de Brida	40
Tabla 5	Análisis del Valor Proceso Mecanizado de Tubo	41
Tabla 6	Análisis del Valor Proceso de Ensamble de Tubo – Brida	41
Tabla 7	Requerimientos Críticos del Cliente	42
Tabla 8	Especificaciones Requerimientos Críticos del Cliente	44
Tabla 9	Plan de Medición Proyecto Seis Sigma Tubo Mazda B – 2200 N/P 2012257T – 3	48
Tabla 10	Nivel Sigma de los Procesos de Producción de Tubos para Ejes Diferenciales.	62
Tabla 11	Listado de causas raíz de problemas de producción para cada proceso de producción.	69
Tabla 12	Costo de implementación de Solución 1.	71
Tabla 13	Síntesis de “Payback” de la Solución 1	73
Tabla 14	Costos de Implementación de la Solución 2.	76

LISTA DE FIGURAS

		Pág.
Figura 1	Planta FORCOL Ltda.	6
Figura 2	Ubicación de Eje Homocinético	7
Figura 3	Ubicación Eje Cardán	8
Figura 4	Ubicación Eje Diferencial	10
Figura 5	Organigrama FORCOL Ltda.	13
Figura 6	Diagrama de Flujo de Operación Forja de Tubo	14
Figura 7	Diagrama de Flujo Operación de Mecanizado de Brida y Tubo.	16
Figura 8	Diagrama de Flujo de Operación de Ensamble.	17
Figura 9	Etapas Metodología SEIS SIGMA	20
Figura 10	Grafica Distribución Normal de Datos	26
Figura 11	Resultados de capacidad de proceso mostrados por el software Minitab 15	35
Figura 12	Nombres de las partes del tubo para Eje Diferencial	42
Figura 13	Diagrama Pareto de no conformidades en los procesos de forja, mecanizado y ensamble	45
Figura 14	Gráfico Resumen de Capacidad de Proceso de la Temperatura del Horno	50
Figura 15	Análisis de Tendencia de Temperatura de Horno de Forja	51
Figura 16	Diagrama Causa – Efecto Temperatura de horno por debajo de especificaciones.	64
Figura 17	Nuevo Diseño Propuesto de Tubo Ensamblado	75
Figura 18	Comparación entre Proceso Actual y Proceso Propuesto	79
Figura 19	Inventario de producto no conforme	85
Figura 20	Cronograma de Implementación de CEP	88

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A	Seis Sigma “Team Charter”
ANEXO B	Mapa de Dispersión Funcional del Proceso de Forja
ANEXO C	Mapa de Dispersión Funcional del Proceso de Mecanizado de Brida
ANEXO D	Mapa de Dispersión Funcional del Proceso de Mecanizado de Tubo
ANEXO E	Mapa de Dispersión Funcional del Proceso de Ensamble de Tubo
ANEXO F	Planes de Control de Proceso de Forja, Mecanizado y Ensamble
ANEXO G	Reporte de Laboratorio Datos del Estudio de Capacidad.
ANEXO H	Análisis de Capacidad y Series de Tiempo
ANEXO I	Diagramas Causa – Efecto para las características críticas de los procesos de producción
ANEXO J	Diagramas de Flujo de Proceso Actual y Propuesto
ANEXO K	Carta de Validación de las Mejoras hechas en los Procesos
ANEXO L	Carta de la Empresa
ANEXO M	Planos de Nuevo Diseño de Producto

RESUMEN

TITULO: MEJORAMIENTO DE LOS PROCESOS DE FORJA, MECANIZADO Y ENSAMBLE DE TUBOS PARA EJES DIFERENCIALES MEDIANTE LOS LINEAMIENTOS DE LA HERRAMIENTA SEIS SIGMA EN FORCOL LTDA.*

AUTOR: Sergio Duarte González**

PALABRAS CLAVES: Mejoramiento de Procesos, Seis Sigma, Forja, Mecanizado, Ensamble, Capacidad de Proceso, Indicadores de Capacidad, Ejes Diferenciales.

DESCRIPCIÓN:

Proyecto mediante el cual se mejoran los procesos de producción de tubos para ejes diferenciales, buscando recuperar el negocio de fabricación de los mismos debido a la no aceptación de despachos por parte del cliente ocasionado por mala calidad.

La metodología usada para hacer el análisis de los procesos productivos fue SEIS SIGMA, la cual plantea cinco etapas para el mejoramiento; éstas son Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar.

En la primera etapa, Definir, se presentan los objetivos del proyecto, el equipo de trabajo y se muestran las condiciones actuales de los procesos y de esta forma, se evidencia el estado actual desde el punto de vista del proceso.

La etapa Medir, se orienta a tomar datos para validar y cuantificar el problema o la oportunidad. Esta es una información crítica para refinar y completar el desarrollo del plan de mejora. De igual forma, permite facilitar la identificación de las causas reales del problema.

La tercera etapa, conocida como Analizar, permite descubrir las causas raíz de los problemas, para esto es importante hacer análisis internos y externos. Para ello se usan distintas herramientas de control estadístico de la calidad.

En la etapa Mejorar, se puede considerar como la de mayor cuidado, basados en las relaciones existentes entre los factores o causas de fallo que afectan las entradas y salidas del proceso, se realizarán análisis y pruebas que permitan tomar decisiones e implementar acciones de mejoramiento.

Finalmente, en Controlar, es la etapa donde se plantean los indicadores de gestión del proceso. Los indicadores son necesarios pues no se pueden tomar decisiones por simple intuición. Los indicadores mostrarán los puntos problemáticos del proceso y ayudarán a caracterizar, comprender y confirmar los procedimientos.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Estudios Industriales y Empresariales. Ing. Edwin A. Garavito Hernández

SUMMARY

TITLE: IMPROVEMENT OF THE PROCESSES OF FORGE, AUTOMATED AND ASSEMBLE OF TUBES FOR DIFFERENTIAL AXES BY MEANS OF THE LIMITS OF THE SIX SIGMA TOOL IN FORCOL LTDA.*

AUTHOR: Sergio Duarte González**

KEY WORDS: Improvement of Processes, Six Sigma, Forges, Automated, Assemble, Process Capacity, Indicators of Capacity, Differential Axes.

DESCRIPTION:

Project by means of which improve the processes of production of tubes for differential axes, looking for to not recover the business of production of the same ones due to the acceptance of offices on the part of the client caused by bad quality.

The methodology used to make the analysis of the productive processes was SIX SIGMA, which outlines five stages for the improvement; these are to Define, to Measure, to Analyze, to Improve and to Control.

In the first stage, to Define, it shows up the objectives of the project, the work team and the current conditions of the processes are shown and this way, the current state is evidenced from the point of view of the process.

The stage to Measure, it is guided to take data to validate and to quantify the problem or the opportunity. This is a critical information to refine and to complete the development of the plan of improvement. Of equal it forms, it allows to facilitate the identification of the real causes of the problem.

The third stage, well-known as Analyzing, it allows to discover the causes root of the problems, for this it is important to make internal and external analysis. For they are used it different tools of statistical control of the quality.

In the stage to Improve, you can consider as that of more care, based on the existent relationships among the factors or failure causes that affect the entrances and exits of the process, they will be carried out analysis and tests that allow to make decisions and to implement actions of improvement.

Finally, in Controlling, it is the stage where they think about the indicators of management of the process. The indicators are necessary because without them cannot take decisions for simple intuition. The indicators will show the problematic points of the process and they will help to characterize, to understand and to confirm the procedures.

* Grade Work

** Ability of Engineerings Physique Mechanics. School of Industrial and Managerial Studies. Engineer Edwin A. Garavito Hernández

TABLA DE CUMPLIMIENTO DE OBJETIVOS

Objetivo Específico	Numeral de Cumplimiento
Identificar y definir los requisitos críticos del cliente para trabajar sobre estos y priorizar esfuerzos de mejora.	4.3. Requerimientos Críticos del Cliente. Tabla 7
Diseñar e implementar un plan de medición que ayude a identificar causas raíces de las no conformidades percibidas por el cliente.	5.2. Plan de Medición de Datos Tabla 9
Determinar el nivel sigma actual de los procesos de forja, mecanizado y ensamble.	6.2. Determinación del Nivel Sigma de los Procesos de Forja, Mecanizado y Ensamble Tabla 10
Determinar las principales causas raíces del problema mediante el análisis de los datos recopilados en el plan de medición.	6.3. Determinación de las Causas Raíz Tabla 11
Plantear las mejoras necesarias para corregir las fallas de calidad presentes en el proceso y así aumentar la satisfacción del cliente.	7. Mejorar
Validar las mejoras implementadas en el proceso.	7.4 Validación de las Mejoras Anexo K

INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo de grado, el lector encontrará plasmado en sus capítulos el desarrollo sistemático de mejoramiento de los procesos de Forja, Mecanizado y Ensamble de la línea de producción de tubos para ejes diferenciales en la Planta de Forjas de Colombia Ltda. (Forcol), localizada en la segunda etapa del parque industrial de Bucaramanga. Esta línea productiva representa estabilidad importante para el funcionamiento de la empresa ya que constituye un significativo margen de utilidad (cercano al 15%) y con su buen funcionamiento brinda una importante contribución para la disminución de costos fijos, permitiendo a la empresa ser más competitiva en un mercado globalizado, con economías de escala fuertes y procesos productivos avanzados que ofrecen precios de venta muy bajos, teniendo en cuenta los costos de transporte y la logística requerida para ello.

La iniciativa de desarrollo de este proyecto de mejoramiento, surge de las directivas de la empresa, basados en los altos costos externos de la no calidad en la línea de producción de tubos para ejes diferenciales, los cuales representaron en el año 2007 un valor de \$ 35'695.000¹.

Por esto y basándose en el asesoramiento del cliente Transejes S.A. en la implementación de la Metodología Seis Sigma, importante técnica apoyada en el conocimiento de la voz del cliente y herramientas estadísticas para el análisis del comportamiento de las operaciones, se plantea el Mejoramiento de los Procesos de Forja, Mecanizado y Ensamble de Tubos para Ejes Diferenciales.

¹ Dato obtenido del RMD (Reporte de Material Discrepante) de tubos para ejes diferenciales, el cual es un informe entregado por el cliente Transejes S.A. cada vez que se detectan productos con discrepancias de calidad.

Con este proyecto se busca reformar y mejorar los procesos productivos de la línea de producción mencionada, haciendo uso de las mediciones obtenidas y del comportamiento que presentan las operaciones necesarias para la fabricación del producto y, además analizándolas estadísticamente con un software especializado en proyectos Seis Sigma que realiza análisis gráficos y de parámetros propios de la capacidad de proceso de las máquinas y recursos usados en el desarrollo de las actividades productivas.

1.GENERALIDADES DEL PROYECTO

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo General

- Evaluar y mejorar los procesos de forja, mecanizado y ensamble de tubos para ejes diferenciales siguiendo los lineamientos de la herramienta seis sigma.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Identificar y definir los requisitos críticos del cliente para trabajar sobre estos y priorizar esfuerzos de mejora.
- Diseñar e implementar un plan de medición que ayude a identificar causas raíces de las no conformidades percibidas por el cliente.
- Determinar el nivel sigma actual de los procesos de forja, mecanizado y ensamble.
- Determinar las principales causas raíces del problema mediante el análisis de los datos recopilados en el plan de medición.
- Plantear las mejoras necesarias para corregir las fallas de calidad presentes en el proceso y así aumentar la satisfacción del cliente.
- Validar las mejoras implementadas en el proceso.

1.2. JUSTIFICACIÓN DE LA PRACTICA

Los directivos de FORCOL LTDA, planta de forjas naciente, y deseosa de ser cada vez más competitiva, son consientes de las falencias que se presentan en el proceso de forja, mecanizado y ensamble de tubos para ejes diferenciales, el cual representa a la empresa una facturación de aproximadamente \$356'000.000 anuales, y un margen de utilidad del 15% (\$53'400.000 anuales), por ello se ven en la necesidad de implementar un plan de mejora en los procesos; entre otras cosas porque de no resolverse los problemas existentes causará la pérdida definitiva del negocio, lo cual se reflejaría en una disminución considerable en la facturación mensual y anual.

2.DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

2.1.NATURALEZA DEL NEGOCIO

FORCOL LTDA es una empresa santandereana de carácter privado, dedicada principalmente a la producción de piezas forjadas para la industria automotriz, comprometida con la comunidad en el desarrollo de productos de alta calidad cuyos procesos son llevados a cabo mediante la modalidad de forja cerrada en caliente.

Actualmente es uno de los proveedores de TRANSEJES S.A., dedicando la mayor parte de su infraestructura y capacidad instalada para la producción de componentes usados en la producción de Ejes Homocinéticos, Ejes Cardánicos y Ejes Diferenciales para el parque automotor de Colombia, Venezuela y Ecuador.

Además de Transejes S.A., Forcol Ltda. tiene como clientes a empresas venezolanas tales como Forjacentro y Vetusil a las cuales produce piezas para la industria petrolera y automotriz respectivamente, siendo estos clientes ocasionales.

2.2.RESEÑA HISTÓRICA

De la confluencia de tres factores claves tales como la necesidad de Dana – Transejes Colombia de desarrollar una fuente local de forja para su producción, la existencia de la planta de Forjados de los Andes cerrada desde el año de 1998 y la disposición de un recurso humano con experiencia en la industria automotriz y fabricación de productos forjados, nace la oportunidad de reactivar la planta de

forja situada en la Segunda etapa del Parque Industrial de la Zona Industrial de Bucaramanga.



Figura 1 **Planta FORCOL Ltda.**

Forcol Ltda. se conforma en febrero de 2003 con el objeto de administrar y desarrollar el proyecto. Su nombre recuerda la sociedad Forjas de Colombia S.A. fundada en 1961 por industriales de la región quienes concibieron el proyecto de forja, construyeron sus instalaciones y compraron los equipos.

Actualmente se encuentra en proceso de implementación de un Sistema de Gestión de Calidad según la Norma ISO 9001:2000 con el fin de asegurar la calidad de sus procesos y garantizar a sus clientes la satisfacción en sus productos.

2.3. PORTAFOLIO DE PRODUCTOS

Actualmente la Planta de Producción de Forcol Ltda. fabrica mayoritariamente piezas forjadas para aplicaciones en la industria automotriz en acero regido principalmente por la norma SAE, entre las cuales tenemos:

2.3.1. Componentes para Ejes Homocinéticos

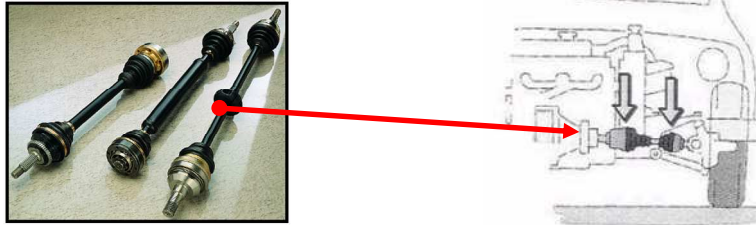


Figura 2

Ubicación de Eje Homocinético

El eje homocinético esta compuesto por un conjunto de piezas que sirven para transmitir la potencia y la velocidad generada en el motor del vehículo hasta las ruedas transmitiendo velocidades angulares constantes sin vibraciones ni ruidos, sin importar la velocidad de desplazamiento del vehículo ni las variaciones del terreno. ²

Las piezas forjadas para ejes homocinéticos son:

- **Junta Fija**



Componente de los ejes homocinéticos, está ubicada en el extremo de la la rueda y permite movimiento angular con el fin de compensar cambios de angulo violentos a traves de una traccion suave, sin fluctuaciones. Su peso es de 2 Kg.

Se fabrican 10 Números de Parte en Acero SAE 1050.

² DANA TRANSEJES COLOMBIA, "Página oficial" [sitio en Internet], *diseño y desarrollo LGS INGENIERIA LTDA*, junio 13 de 2002, disponible en: <http://www.transejes.com/prohomo.php>, acceso el 20 de junio de 2007.

- **Tulipa**



Conocida también como junta móvil, sirve para compensar los cambios de ángulos y las variaciones de los ejes (extensión y compresión) del conjunto, causados por los movimientos irregulares de la carretera. Su peso es de 2 Kg. Se fabrican 3 Números de Parte en Acero SAE 1045.

- **Trípode**



Componente ubicado dentro de la tulipa y su función es transmitir el movimiento a las ruedas sin importar que estas cambien de posición ya sea por irregularidades del camino ó por giro de la dirección. Su peso es de 0,33 Kg.

Se fabrican 2 Números de Parte en Acero AFNOR 18CD4 (similar a la Norma SAE 5118).

- **Cubo Rueda**



El cubo rueda es el soporte del disco o del tambor de freno, en él están fijados los tornillos de rueda y también el rodamiento de la rueda, este cumple la función de transmitir el torque de la junta fija homocinética hacia las ruedas del vehículo, dando así movimiento al mismo. Su peso es de 2,9 Kg.

Se fabrican 2 Números de Parte en Acero SAE 1045.

2.3.2. Componentes para Ejes Cardánicos



Figura 3



Ubicación Eje Cardán

Un cardán transmite potencia desde un punto a otro de una forma suave y continua, en equipos automotores e industriales.

En los automotores el cardan une la caja de cambios con el eje diferencial, el cual no está unido directamente a la estructura, si no que funciona suspendido por resortes en un movimiento irregular y flotante, así mismo, el vehículo está sujeto a cambios de altura, esto significa que el cardan debe tener la capacidad de cambiar su longitud (contraerse y expandirse) mientras transmite la velocidad y la fuerza generada por el motor.³

Las piezas forjadas para los ejes cardánicos son:

- **Espigo**



Pieza usada en el extremo del eje cardánico y permite la interconexión de los cardanes dobles.

Se fabrican 3 Números de Parte en Acero SAE 1045.

- **Yugo**



Acople del eje cardánico con el sistema de transmisión, transmite potencia del motor al eje diferencial.

Se fabrica 1 Número de Parte en Acero SAE 1045.

³ Ibid., DANA TRANSEJES COLOMBIA.

2.3.3. Componentes para Ejes Diferenciales

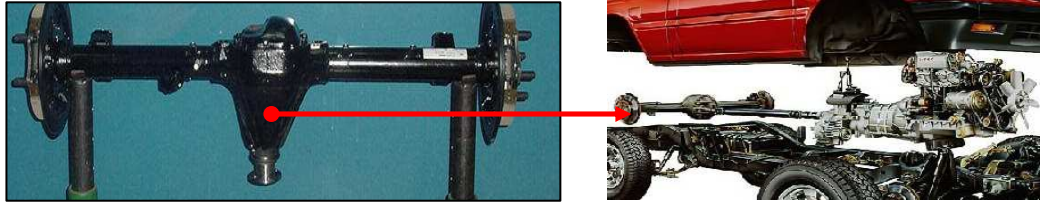


Figura 4 **Ubicación Eje Diferencial**

Un eje diferencial transmite la potencia a las ruedas de un vehículo de tracción trasera, aumentando el torque del tren de mando y en caso de un giro del vehículo se hace necesario que la rueda exterior recorra una distancia mayor que la interior. Si no hubiera un diferencial, la rueda exterior patinaría, al intentar guardar el paso con la interior. Por lo tanto, el diferencial tiene una gran importancia: Permite que las ruedas giren a velocidades diferentes al efectuar el giro.⁴

Se procesan dos piezas para este tipo de eje, estas son:

- **Brida para Tubo**



Brida usada en un extremo del tubo del eje diferencial, sirve para permitir el acople entre el eje y la llanta.

A diferencia de las demás piezas fabricadas en la planta que son forjadas, la brida para tubo es troquelada y mecanizada.

Se mecanizan 3 Números de Parte en Acero SAE 1020.

- **Tubo**



Hace parte de las dos alas del eje diferencial. Este tubo está conformado por la brida troquelada anteriormente mencionada y un tubing forjado.

⁴ Ibid., DANA TRANSEJES COLOMBIA.

Se fabrican 3 Números de Parte en Acero SAE 1020.

2.3.4. Otras piezas producidas

- **Yoke de 3 puntas**



Pieza usada en la industria de la fundición eléctrica como porta electrodo, es la pieza forjada más grande, su peso final es de 230 Kg.

Se fabrica 1 Número de Parte en Acero ASTM 105.

- **Bridas para exsosto**



Brida usada para interconectar tubería de los exsostos de automóviles marca Hyundai.

Pieza fabricada mediante proceso de troquelado, se fabrican 4 Números de Parte en Acero SAE 5160.

- **Carcasas**



Pieza usada en el sistema de dirección de los vehículos automotrices, permite flexibilidad de movimientos angulares y axiales presentes en los sistemas de dirección y suspensión delanteros.

Se fabrica 1 Número de Parte en Acero SAE 1045.

2.4. CULTURA ORGANIZACIONAL

2.4.1. Descripción General De Las Áreas Funcionales⁵

- **COORDINACIÓN ADMINISTRATIVA**

Planea, coordina y controla las estrategias y gestión de mercadeo y las expectativas del mercado para garantizar el cumplimiento de los objetivos de ventas en cuanto a volumen y rentabilidad.

- **COORDINACIÓN DE INGENIERÍA**

Dirige el proceso integrado (factibilidad, diseño, producto y proceso, pruebas de ingeniería de preproducción, producción y soporte técnico) del desarrollo y fabricación de nuevos productos.

- **COORDINACIÓN DE PRODUCCIÓN Y MATERIALES**

Dirige y controla la producción en la planta para garantizar seguridad, calidad y oportunidad en la fabricación de sus productos, así como eficiencia en los procesos para mejorar productividad, reducir costos y garantizar la mejora continua.

- **COORDINACIÓN DE PROCESOS Y ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD**

Encargada de definir, dirigir y controlar los procesos de fabricación, garantizando el buen desempeño y la calidad de los productos.

- **COORDINACIÓN DE MANTENIMIENTO**

Planea, controla y garantiza el cumplimiento de los programas de mantenimiento planeado (inspección, lubricación, preventivo y predictivo) para maximizar la

⁵ FORCOL Ltda., Manual de Calidad. Bucaramanga 2007, Descripción de las Áreas Funcionales.

eficiencia de los equipos y garantizar el cumplimiento de los programas de producción.

- **COORDINACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE CALIDAD**

Encargado de Diseñar, Implementar, mantener y verificar el funcionamiento del sistema de gestión de la calidad.

2.4.2. Organigrama

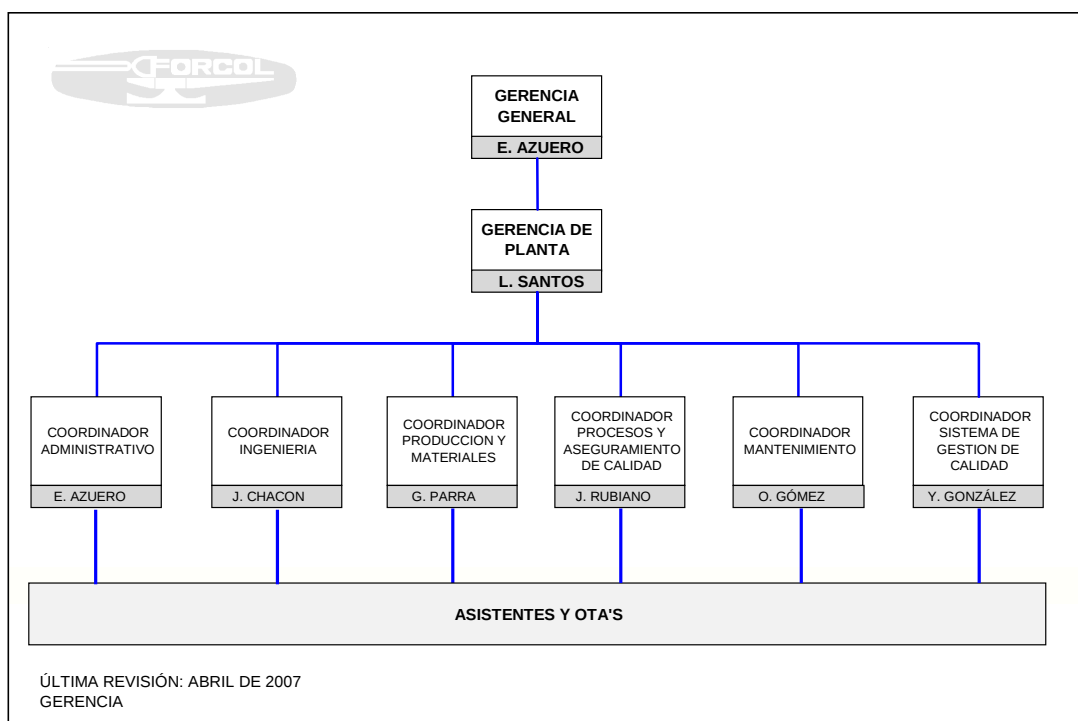


Figura 5 Organigrama FORCOL Ltda.
Fuente: Manual de Calidad Forcol Ltda.

2.5.PROCESO DE FORJA, MECANIZADO Y ENSAMBLE DE EJES DIFERENCIALES

El proceso de fabricación de tubos para ejes diferenciales esta compuesto por tres subprocesos, estos son en su respectivo orden:

- Proceso de Forja de Tubo

- Procesos de Mecanizado de Tubo y Brida
- Proceso de Ensamble Tubo - Brida

Cada uno de estos subprocesos tiene características muy particulares, las cuales tienen variables de control diferentes.

2.5.1. Proceso de Forja de Tubo:

En este proceso la entrada es tubing de acero SAE 1020 de 70 mm de diámetro exterior, un grosor de pared de 6,25 mm y longitudes que van desde 466 a 720 mm, el cual va a estar sometido a temperaturas de trabajo cercanas a los 1.200 grados centígrados, y lo que se hace es darle forma a la pieza. Ésta forma está regulada por características dimensionales críticas definidas por los requisitos del cliente.

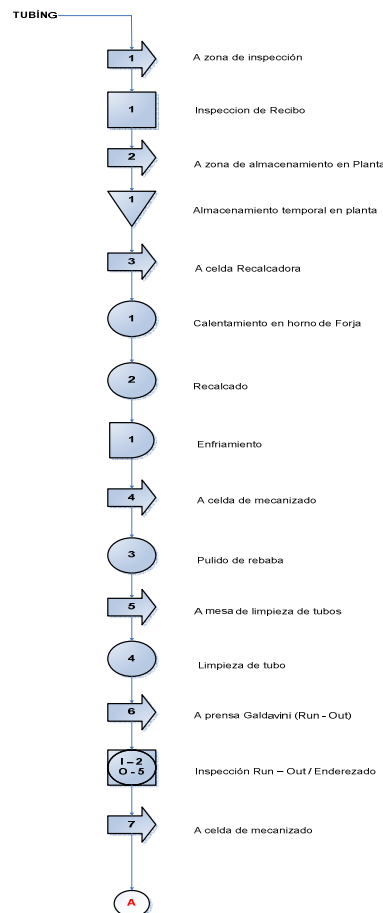


Figura 6 Diagrama de Flujo de Operación Forja de Tubo

Fuente: El autor

- **Calentamiento en Horno de Forja:**

Este calentamiento es requerido para el proceso de forja, consiste en calentar la pieza a una temperatura de 1.200 grados centígrados aproximadamente para que este alcance un comportamiento plástico y conserve la forma requerida por el diseño. Se usa horno de forja convencional.

- **Recalcado:**

En esta operación se aplica una carga a la pieza, que está puesta en una matriz que le dará la forma y dimensiones requeridas. Esta operación es realizada en Recalcadora de 400 Ton.

- **Pulido de rebabas:**

Operación hecha para eliminar exceso de material en el eje central de la pieza, ya que la matriz tiene simetría central y con esta operación se facilita el mecanizado; es hecho con pulidora manual de disco.

- **Limpieza de tubo:**

Permite obtener un tubo libre de cascarilla; ésta cuenta con una dureza muy alta y es altamente abrasiva, lo cual es perjudicial para el posterior mecanizado, se realiza manualmente con una grata o cepillo de cerdas metálicas.

- **Enderezado de “Run – Out”**

El tubo, debido a que es sometido a altas cargas en el recalcado sufre una deformación axial produciendo un bote o curvatura que impide un mecanizado regular de toda la superficie del tubo, este enderezado es hecho en una prensa hidráulica.

2.5.2. Proceso de Mecanizado de Tubo y Brida:

Después de obtener características dimensionales importantes para el cliente, tanto el tubo como la brida se someten a operaciones de mecanizado que le darán un acabado aceptable y tolerancias requeridas en el proceso de ensamble.

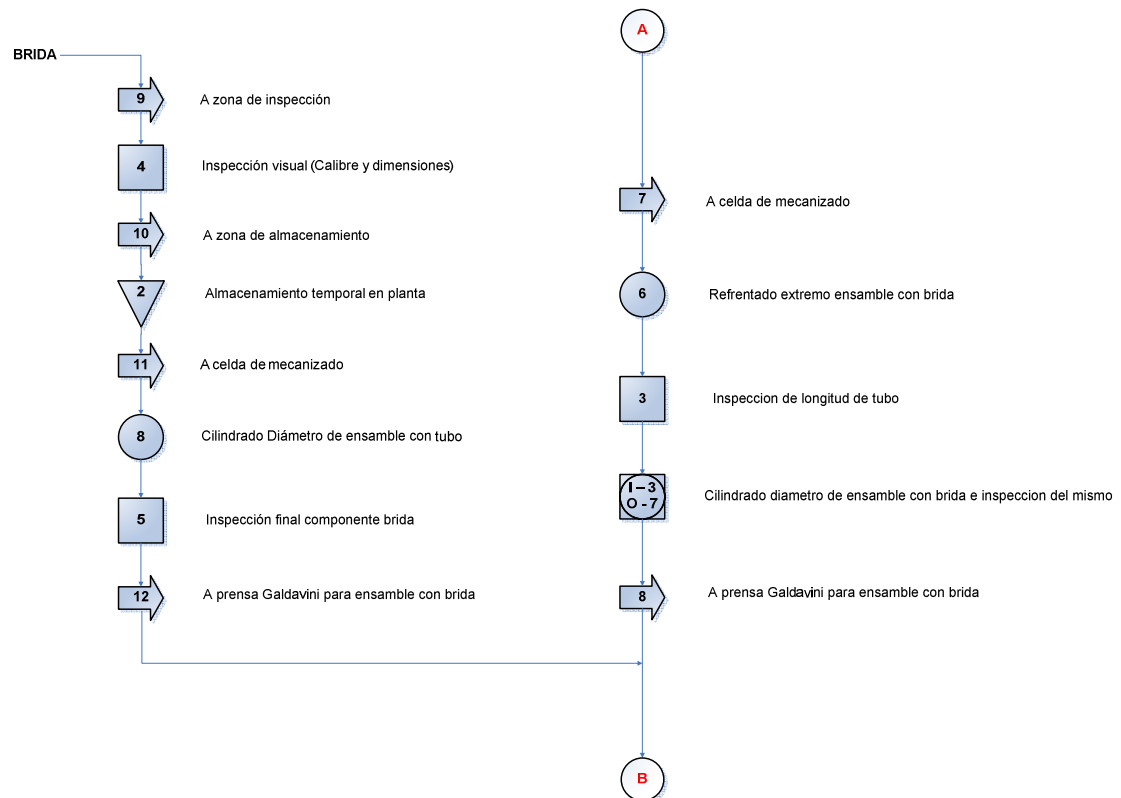


Figura 7 Diagrama de Flujo Operación de Mecanizado de Brida y Tubo.
Fuente: El autor

- **Refrentado de tubo en extremo de ensamble con brida:**

Mecanizado de extremo de ensamble de tubo, permite dar la longitud final del mismo; cilindrado en torno paralelo.

- **Cilindrado diámetro exterior de tubo en extremo de ensamble con brida:**

Mediante este cilindrado se obtiene el diámetro de ajuste de ensamble con la brida, hecho en torno paralelo.

- **Cilindrado diámetro interior de brida:**

Operación complementaria a la anterior, busca dar ajuste en el ensamble de tubo y brida; es hecho en torno para interiores.

2.5.3. Proceso de Ensamble:

Ya teniendo los dos componentes con las medidas requeridas, se procede a realizar el ensamble de Tubo – Brida, siendo éste el proceso con menor número de operaciones. Finalmente el producto es inspeccionado para posteriormente ser despachado al cliente.

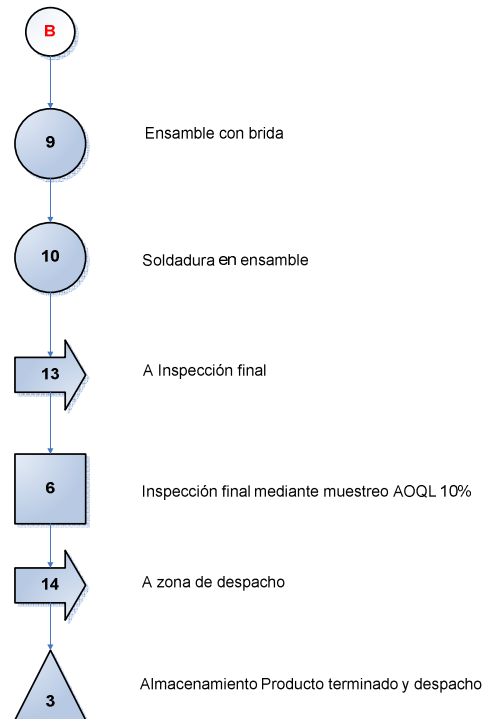


Figura 8 Diagrama de Flujo de Operación de Ensamble.
Fuente: El autor

- **Ensamble de Tubo – Brida:**

Ajuste entre tubo y brida, se realiza con una prensa hidráulica.

- **Soldadura en ensamble:**

Se aplican dos puntos de soldadura diametralmente opuestos para evitar un desajuste en el ensamble, realizado con equipo de soldadura de arco eléctrico.

3. ESTADO DEL ARTE SEIS SIGMA

3.1. SEIS SIGMA COMO APOYO EN LA OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS

Seis Sigma es un modelo de administración de procesos y procedimientos para empresas fabricantes de productos terminados, pero que al final se ha difundido para ser aplicable también en empresas de servicios, ya que el espíritu del modelo parte de la organización sistemática de la empresa y de sus procesos como base para optimizar el consumo de recursos disponibles, evitando desperdicios y maximizando el rendimiento de sus activos.

Este método se centra en los procesos y en la optimización de los mismos para mejorar los rendimientos, ahorrar tiempos y disminuir desperdicios no solo de materiales sino también el valioso factor tiempo.

El Seis Sigma se enfoca en vincular entre si todas las partes de los procesos para generar un flujo lógico y continuo. La información va pasando de un componente a otro creando una integración de los diferentes procesos de la operación con la sinergia requerida que permita incrementar la probabilidad de resolución de los problemas que se van presentando en el camino.

De esta manera el mejoramiento busca tener los suficientes argumentos para encontrar mejoramiento de procesos enmarcados dentro del contexto integral de las operaciones y demás actividades de la empresa.

Una vez observado el comportamiento del proceso, se procede a reducir al mínimo de los defectos en los productos o servicios, y lograr la plena satisfacción del cliente.

Finalmente, la implementación del modelo se orienta a generar una cultura de mejoramiento continuo, evaluando, planeando nuevos procesos mejorados, verificando y volviendo a cerrar el círculo del proceso.

3.2. ENFOQUE DE LA HERRAMIENTA SEIS SIGMA

Seis Sigma es una forma más inteligente de dirigir un negocio o un departamento. Seis Sigma pone primero al cliente y usa hechos y datos para impulsar mejores resultados. Los esfuerzos de Seis Sigma se dirigen a tres ejes temáticos principales:

- Mejorar la satisfacción del cliente
- Reducir el tiempo del ciclo
- Reducir los defectos

Las mejoras en esta área representan importantes ahorros de costos, oportunidades para retener a los clientes, capturar nuevos mercados y construirse una reputación de la empresa de excelencia.

Se puede definir Seis Sigma como:

1. Una medida estadística del nivel de desempeño de un proceso o producto.
2. Un objetivo de lograr casi la perfección mediante la mejora del desempeño.
3. Un sistema de dirección para lograr un liderazgo duradero en el negocio y un desempeño del primer nivel en un ámbito global.⁶

La letra griega minúscula sigma (σ) se usa como símbolo de la desviación estándar, siendo ésta una forma estadística de describir cuánta variación existe en un conjunto de datos.

⁶ LAS CLAVES DE SEIS SIGMA – Peter S. Pande, Robert P. Neuman, Roland R. Cavanagh - Pág. 57.

El primer paso para calcular el nivel de sigma o comprender su significado es entender qué esperan los clientes. En esta terminología de Seis Sigma, los requerimientos y expectativas de los clientes se llaman Requerimientos Críticos para la Calidad.

Se usa la medida en sigma para observar el desempeño de los procesos y darles a todos una manera común de expresar dicha medida.

3.3. METODOLOGÍA SEIS SIGMA⁷

Con la implementación de esta metodología se logra que el equipo se comprometa con la calidad en un período que sería factible sin que se pierda la continuidad y con una meta en común. Por otro lado, una de las ventajas que ofrece esta metodología es la eliminación de defectos al concentrarse en las causas raíz de los problemas en un tiempo adecuado.

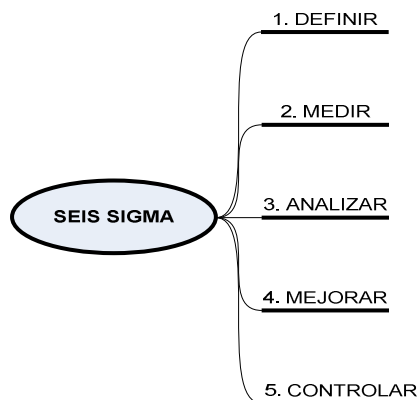


Figura 9 Etapas Metodología SEIS SIGMA
Fuente: El Autor.

Estas cinco etapas se verán conceptualizadas en los siguientes pasos que se aplican en el desarrollo de un proyecto Seis Sigma.

⁷ Manual de “Capacitación Seis Sigma Green Belt.” Dana University. PRICEWATERHOUSECOOPERS. Año 2.000.

3.3.1. Definir

En esta etapa se definen los objetivos del proyecto, el equipo de trabajo y se determinan las condiciones del problema desde el punto de vista de un proceso.

- **Validar oportunidades de negocio**
 - Identificar las oportunidades donde la mejora puede tener impacto significativo sobre los clientes y objetivo de negocio.
 - Crear un “*Team Charter*”⁸ que defina y establezca el ámbito de los objetivos y metas específicas de mejoría para el equipo.
- **Documentar y analizar los procesos**
 - Identificar y mapear los principales elementos del proceso.
 - Desarrollar mapas de diseminaciones funcionales y detallados de arriba hacia abajo.
 - Realizar una revisión cualitativa del proceso, identificar e implantar oportunidades de ganancia rápida para la mejora.
- **Definir los requisitos del cliente**
 - Identificar los requisitos del cliente relacionados con el proceso y elaborar planes para validar y traducir la voz del cliente.
 - Identificar los requisitos críticos del cliente asociados al proceso.
- **Montar equipos eficaces**
 - Entender el papel del equipo en la mejoría del proceso
 - Aplicar las herramientas de evaluación del equipo para identificar oportunidades para mejorar la eficacia del equipo.

⁸ Team Charter es un término del inglés que traduce ‘acuerdo del equipo’ o ‘carta del equipo’

3.3.2. Medir

La etapa medir se orienta a tomar datos para validar y cuantificar el problema o la oportunidad. Esta es una información crítica para refinar y completar el desarrollo del plan de mejora. De igual forma, permite facilitar la identificación de las causas reales del problema.

- **Determinar que medir**
 - Entender el papel de los datos en la mejora.
 - Entender las relaciones de causa-efecto que ocurren dentro del proceso.
 - Determinar los indicadores necesarios para evaluar el desempeño del proceso.
- **Gerenciar la medición**
 - Entender diferentes tipos de datos y como cada tipo puede dar diferentes comprensiones y conocimientos del proceso.
 - Desarrollar definiciones operacionales y elaborar planes de recolección de datos que den validez y consistencia a los datos recolectados.
- **Entender la variación**
 - Entender el concepto de variación y como un proceso puede ser evaluado analizándose su variación en el tiempo.
 - Graficar y calcular la variación del proceso.
- **Determinar el nivel sigma**
 - Entender los diversos cálculos asociados a la determinación del nivel sigma del proceso.
 - Calcular el nivel sigma del proceso.
 - Calcular los índices de capacidad del proceso.

3.3.3. Analizar

El análisis permite descubrir la causa raíz del problema, es importante hacer un análisis interno (las principales causas internas del problema) y un análisis externo. Para ello se hará uso de las distintas herramientas de control de la calidad como Diagrama de Pareto, Diagramas Causa efecto, Histogramas entre otros.

- **Análisis y estratificación del proceso**

- Aplicar herramientas estadísticas para la interpretación y exposición de los datos recopilados.
- Desarrollar una definición del problema que describa y cuantifique con precisión el mismo basándose en datos.

- **Determine las causas potenciales**

- Usar las herramientas para definir la relación causa-efecto asociada con la definición del problema.

- **Valide las causas raíz**

- Utilizar los datos existentes y los nuevos para validar y cuantificar la causa raíz.
- Jerarquizar y seleccione las causas raíz con mayor prioridad a ser eliminadas.

- **Creatividad**

- Comprender el valor de la creatividad en la resolución de problemas y conocer las barreras potenciales y las maneras de desarrollar el pensamiento creativo.

3.3.4. Mejorar

Esta etapa se considera como la de mayor cuidado, basados en las relaciones existentes entre los factores o causas de fallo que afectan las entradas y salidas del proceso, se realizan pruebas que permitan tomar decisiones e implementar acciones de mejoramiento.

- **Genere ideas de mejora**
 - Plantear alternativas de mejora basadas en el análisis de los datos.
- **Evalué y elija las soluciones**
 - Escoger la(s) alternativa(s) que se ajuste(n) al presupuesto existente y brinde la confiabilidad necesaria.
- **Presente las recomendaciones**
 - Socializar la(s) mejora(s) ante la organización, de tal manera que se conozcan ampliamente las modificaciones al proceso.
- **Elabore y ejecute el plan piloto**
 - Debe definirse dónde, cuándo, cómo, quiénes y qué están involucrados en la mejora.
- **Implemente el cambio**
 - Implantar los nuevos procesos de trabajo eficaces.

3.3.5. Controlar

Es necesario confirmar los resultados de las mejoras realizadas. En esta etapa son importantes los indicadores de gestión del proceso que se definen al inicio del proyecto. Los indicadores son necesarios pues no se pueden tomar decisiones por

simple intuición. Los indicadores mostrarán los puntos problemáticos del proceso y ayudarán a caracterizar, comprender y confirmar los procedimientos.

- **Planificación e implementación de la solución**

- Ampliar el plan piloto para el despliegue de la solución a gran escala.
- Incorporar principios de gestión para preparar a la organización para el éxito.
- Desarrollar un sistema de control del proceso para mantener los beneficios de la mejora.
- Medir/validar la eficacia de la solución y su aceptación en la empresa
- Planificar para los próximos pasos según los resultados y hallazgos de la implementación.

- **Integración del proceso**

- Identificar y planificar para las ganancias adicionales de la mejora.
- Explorar la gestión de proceso como estrategia para la mejora continua.
- Control estadístico de procesos.

- **Cierre y reconocimiento**

- Incorporar a la empresa las lecciones aprendidas.
- Recompensar y reconocer los comportamientos de mejora continua.

3.4. PARÁMETRO ESTADÍSTICO SEIS SIGMA

Sigma (σ) es un parámetro estadístico de dispersión que expresa la variabilidad de un conjunto de valores respecto a su valor medio, de modo que cuanto menor sea sigma, menos será el número de defectos. Sigma cuantifica la dispersión de esos valores respecto al valor medio y, por tanto, fijados unos límites de especificación por el cliente, superior e inferior, respecto al valor central objetivo; cuanto menor

sea sigma, menor será el número de valores fuera de especificaciones y, por tanto, el número de defectos.

El seis sigma se basa en la estadística, por lo tanto es de vital importancia que los datos sean confiables y los análisis estadísticos recobran gran importancia a la hora de realizar un plan de acción. De esta manera la recopilación, el ordenamiento y la evaluación de la información es una de las labores más arduas e importantes del modelo.

Siempre que la medición esté dentro del intervalo de la Tolerancia Superior (LSL) y la Tolerancia Inferior (USL) (véase Figura 10.) se dice que el producto o servicio es conforme o de calidad. En este caso se siguen las ideas de Crosby⁹, quien considera la calidad como sinónimo de cumplimiento de las especificaciones.

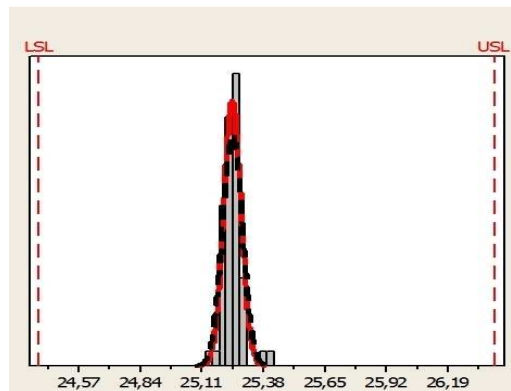


Figura 10 **Grafica Distribución Normal de Datos**

La grafica de Seis Sigma es utilizada para demostrar el nivel real y potencial 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 de 6σ es obtener la menor cantidad de defectos. La media es el indicador

⁹ Philip Crosby (1926-2001) elaboró una serie de consejos para mejorar la calidad de los productos estadounidenses. Este gurú es autor de célebres frases como "cero defecto" y "hacerlo bien la primera vez".

que permite conocer el punto central del proceso de variación, que indica que en cero variación no se presenta alguna alteración del proceso.

Los procesos son evaluados con base a criterios que se representan en niveles (Seis Sigma: desde el nivel 1σ al nivel 6σ), obteniéndose la distribución de datos y los porcentajes de error en la gráfica.

El área bajo la curva indica los niveles y valores, con porcentajes de confiabilidad diferentes, que van desde 68.27 % (nivel 1σ) hasta 99.999943% (nivel 6σ). 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 Seis 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 con base en ella, se obtienen los resultados del proceso y se toman las decisiones adecuadas para las mejoras respectivas.

3.4.1. Niveles de desempeño en Sigma

Si bien Seis Sigma reconoce que hay lugar para los defectos pues estos son atinentes a los procesos mismos, un nivel de funcionamiento correcto del 99,9997 por 100 implica un objetivo donde los defectos en muchos procesos y productos son prácticamente inexistentes.

Tabla 1 Relación entre Nivel Sigma y DPMO

Nivel en Sigma	Defectos por millón de oportunidades
6	3,40
5	233
4	6.210
3	66.807
2	308.537
1	690.000

Fuente: Seis Sigma [on line] www.novactiva.com

Como sistema de dirección, Seis Sigma no es propiedad de la alta dirección más allá del papel crítico que ésta desempeña, ni impulsado por los mandos intermedios. Las ideas, soluciones, descubrimientos en procesos y mejoras que surgen de Seis Sigma están poniendo más responsabilidad a través del “*empowerment*”¹⁰ y la participación, en las manos de la gente que está en las líneas de producción y/o que trabajan directamente con los clientes.

3.5. HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS EN EL SEIS SIGMA¹¹

Los procesos de producción requieren vencer una serie de dificultades en el trabajo que se realiza día a día.

Existen Siete Herramientas Básicas que han sido ampliamente adoptadas en las actividades de mejora de la Calidad y utilizadas como soporte para el análisis y solución de problemas operativos en los distintos contextos de una organización.

3.5.1. Hoja de control

La Hoja de Control u hoja de recolección de datos, también llamada Hoja de Registro, sirve para reunir y clasificar la información según determinadas categorías, mediante la anotación y registro de sus frecuencias bajo la forma de datos. Una vez que se ha establecido el fenómeno que se requiere estudiar e identificadas las categorías que los caracterizan, se registran estas en una hoja, indicando la frecuencia de observación.

¹⁰ Empowerment significa potenciación o empoderamiento que es el hecho de delegar poder y autoridad a los subordinados y de conferirles el sentimiento de que son dueños de su propio trabajo. [en línea] En: <http://www.queb.org/liderazgo/empowerment>. Consultado 15 de Julio de 2008

¹¹ MONTGOMERY, Douglas. “Control Estadístico de la Calidad.” Tercera Edición. Limusa Wiley. Año 2.006. p 156 – 183.

3.5.2. Histograma

El Histograma de Frecuencia, es una herramienta estadística que se utiliza para representar la distribución de variables. En este gráfico las bases de cada barra indican los intervalos de valores de la variable que se estudia. La altura de cada barra es la frecuencia de ocurrencia de intervalo de valores de dicha variable.

Las variaciones observadas en los resultados de un proceso de trabajo influyen en la calidad del producto o en el servicio que se presta, variaciones que a su vez son determinantes en el nivel de satisfacción del cliente.

3.5.3. Diagrama de Pareto

Es una herramienta que se utiliza para priorizar los problemas o las causas que los genera.

Según el concepto de Pareto, si se tiene un problema con muchas causas, podemos decir que el 20% de las causas resuelven el 80 % del problema y el 80 % de las causas solo resuelven el 20 % del problema.

Está basada en el conocido principio de Pareto, esta es una herramienta en la que es posible identificar lo poco vital dentro de lo mucho que podría ser trivial.

Para determinar las causas de mayor incidencia en un problema se traza una línea horizontal a partir del eje vertical derecho, desde el punto donde se indica el 80% hasta su intersección con la curva acumulada. De ese punto trazar una línea vertical hacia el eje horizontal. Los ítems comprendidos entre esta línea vertical y el eje izquierdo constituyen las causas cuya eliminación resuelve el 80 % del problema.

3.5.4. Diagrama de Causa – Efecto

El diagrama de causa - efecto o Gráfico de Ishikawa, también llamado comúnmente “espina de pescado”, tiene como propósito representar gráficamente las relaciones entre un “efecto” (problema), y todas las posibles “causas” (factores) que la producen. Se elabora para elevar el nivel de comprensión de un problema u oportunidad.

El diagrama de Causa - Efecto, proporciona una descripción de las causas probables de un problema, lo cual facilita su análisis y discusión. También puede utilizarse como herramienta para representar propuestas de resolución de problemas.

Para la elaboración del diagrama previamente se debe:

- Identificar el problema específico a ser resuelto.
- Desarrollar un claro entendimiento del proceso.
- Descomponer el problema en sus posibles partes.

3.5.5. Estratificación

La estratificación es una herramienta que facilita la disposición de la información según su afinidad de características buscando mediante la agrupación de datos facilitar su tratamiento, también es ampliamente utilizada cuando lo que interesa conocer es el comportamiento de grupos de datos y no de valores individuales; esta inmersa en casi todas las demás herramientas, desde las hojas de registro hasta los gráficos de control.

3.5.6. Diagrama de Dispersión

Esta es una herramienta que permite estudiar la relación de correspondencia entre dos variables. Para elaborarlos se sigue el siguiente procedimiento:

- Hay que reunir pares de datos (x, y) cuyas relaciones se desee estudiar y organizar, esta información se registra en una tabla. Es aconsejable por lo menos tener 30 pares de datos.
- Encontrar los valores máximo y mínimo para x y y, delimitar y definir las escalas que va a usar en los ejes horizontal y vertical de manera que ambas longitudes sean aproximadamente iguales, lo cual hará que el diagrama sea mas fácil de leer. Colocar en el eje x la variable que corresponde al factor y en el eje Y la característica de calidad.
- Registrar los datos en la grafica.
- Registrar todos los elementos que ayudan a darle mayor claridad al diagrama: títulos, periodo de tiempo, número de pares de datos, rótulos, etc.
- Calcular los coeficientes de correlación y ecuación de la curva.

3.5.7. Gráfica de control

Para que un producto cumpla con los requerimientos del cliente generalmente deberá fabricarse con un proceso que sea estable. Para ser más específicos, es necesario que el proceso opere con poca variabilidad en las dimensiones nominales de las características de calidad. Las técnicas y herramientas usadas se agrupan dentro de lo que se conoce como Control Estadístico de Procesos (CEP).

Una de esas herramientas es el grafico de control, y se define como una representación gráfica acotada del comportamiento de las características representativas del desarrollo de un proceso en el tiempo. En los casos que los

valores de la característica excedan los valores de las cotas se procede a determinar las causas asignables a este comportamiento y atacarlas, y de esta manera mantener el proceso bajo control estadístico.

Existen dos grandes tipos de graficas de control en función a la naturaleza de la característica a controlar:

- **Gráficos por variable**

Se aplican cuando la característica de calidad puede ser expresada mediante una variable cuantitativa continua. (Longitud, volumen, masa, etc.) Son conocidas por graficas X - R y X - S dependiendo si se utiliza el rango de dispersión o la desviación típica.

- **Gráficos por atributos**

Se utilizan para controlar el porcentaje de unidades defectuosas, o el número de defectos por unidad; dentro de los límites naturales del proceso y detectar a tiempo cualquier incremento significativo de cualquiera de ellos. Son conocidas como graficas p (proporción de unidades defectuosas en lotes) y c (cantidad de defectos por unidad).

En la práctica estas herramientas requieren ser complementadas con otras técnicas cualitativas y no cuantitativas como son:

- La lluvia de ideas (Brainstorming)
- La Encuesta
- La Entrevista
- Diagrama de Flujo
- Matriz de Solución de Problemas

Hay personas que se inclinan por técnicas sofisticadas y tienden a menospreciar estas siete herramientas debido a que parecen simples y fáciles, pero la realidad es que es posible resolver la mayor parte de problemas de calidad, con el uso combinado de estas herramientas en cualquier proceso de manufactura industrial.

Las siete herramientas sirven para:

- Detectar problemas
- Delimitar el área o proceso problemático
- Validar la veracidad de las causas raíces
- Confirmar los efectos de mejora

3.6. CAPACIDAD DE PROCESO¹²

De acuerdo con el Manual de Herramientas Básicas para el Análisis de Datos (1990), la capacidad del proceso es la determinación de si dicho proceso es capaz de satisfacer las especificaciones que generalmente se establecen con el cliente, dada la variación natural.

El índice de capacidad simple o potencial del proceso (C_p), relaciona la diferencia entre los límites de especificación permitidos ($LSE - LIE$), con la diferencia algebraica de tres veces la desviación estándar a la izquierda y a la derecha de la media, lo que resulta en 6σ (Seis Sigma).

En términos de estimaciones, esto es:

$$C_p = \frac{(LSE - LIE)}{6\sigma}$$

¹² **Revista Tendencias Tecnológicas.** Artículo “Seis Sigma y la capacidad del proceso en proyectos.” Rubén Cariño Garay. Boletín Julio – Agosto 2002. Pág. 164 - 173

Se puede observar que C_p no indica qué tanto se centra o acerca el promedio del proceso al valor deseado, por lo que se tiene el C_{pk} definido como la capacidad real del proceso que está dada por:

$$C_{pk} = \min \{ C_{pl}, C_{pu} \}$$

En donde:

$$C_{pl} = \frac{\bar{X} - LIE}{3\sigma} \quad y \quad C_{pu} = \frac{LSE - \bar{X}}{3\sigma}$$

C_{pl} y C_{pu} son los índices de capacidad correspondientes a los límites de especificación inferior y superior respectivamente, el C_{pk} hace referencia al menor índice (mínimo entre C_{pl} y C_{pu}) y con este se percibe el descentramiento hacia uno de los límites, mostrando la falla potencial en el proceso productivo. De esta manera, no solo se mide la variación del proceso con respecto al rango permitido, sino que también se evidencia la ubicación de la media del proceso.

No obstante, el C_{pk} no nos permite tener una medida de centrado del proceso, este índice de capacidad puede mostrar valores aceptables pero no estar centrado entre los límites de las especificaciones.

Una manera de abordar esta dificultad es usando un índice de la capacidad del proceso que sea mejor indicador de centrado.

Un índice así es:

$$CPM = \frac{LSE - LIE}{6t}$$

Donde t es la raíz cuadrada de la desviación cuadrada esperada del objetivo:

$$t^2 = \sigma^2 + (\mu - T)^2; \quad \text{donde } T = \frac{1}{2} (LSE - LIE)$$

Estas fórmulas matemáticas cobran sentido cuando C_{pk} y C_{pm} coinciden con C_p cuando $\mu = T$ y disminuye cuando se aparta de T . Un C_{pm} de uno o mayor implica que la media μ esta dentro de la tercera parte de en medio de la banda de las especificaciones.

Por lo tanto:

$$C_{pkm} = \frac{C_{PK}}{\sqrt{1 + \left(\frac{\mu - T}{\sigma}\right)^2}}$$

Este índice de capacidad de proceso se conoce como de 'tercera generación' ya que se construye a partir de los índices de 'segunda generación' C_{pk} y C_{pm} de la misma manera que estos se generaron a su vez de los índices de 'primera generación' C_p . La motivación de este nuevo índice es incrementar la sensibilidad a las desviaciones de la media del proceso μ del objetivo deseado T .

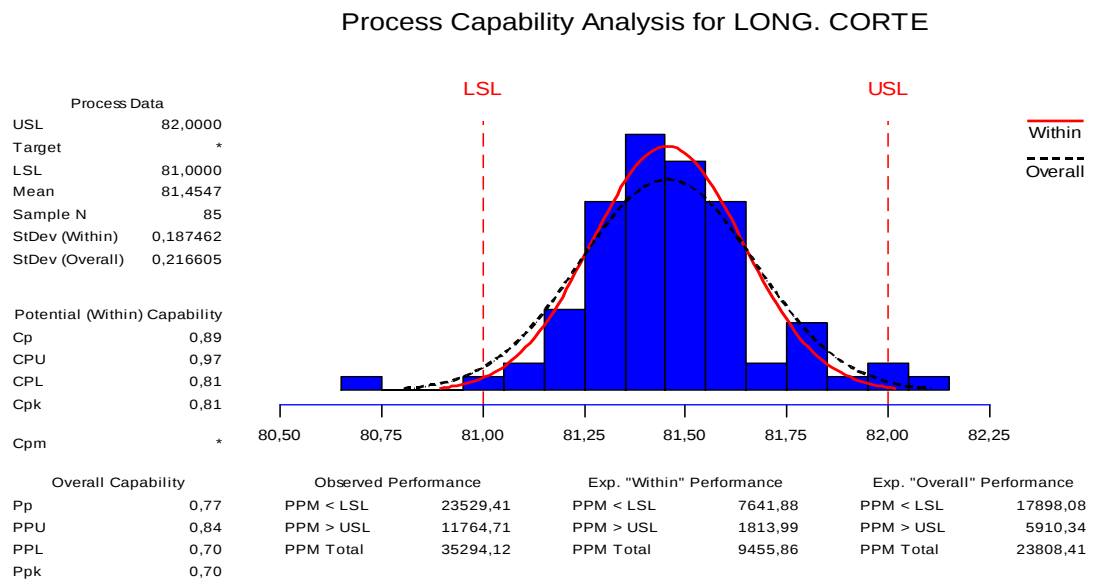


Figura 11 Resultados de capacidad de proceso mostrados por el software Minitab 15¹³.

¹³ El Software de estadística Minitab 15 es un paquete ideal para enseñar estadística e implementar Seis Sigma y otros proyectos de mejoramiento de la calidad.

4.DEFINIR

En esta etapa se definen los objetivos del proyecto, el equipo de trabajo y se presentan las condiciones actuales de los procesos, y de esta forma se evidencia el estado actual desde el punto de vista del proceso.

4.1.VALIDAR OPORTUNIDAD DEL NEGOCIO

Tabla 2 Oportunidad del negocio

Impacto de la oportunidad sobre el cliente	Impacto de la oportunidad sobre el negocio	Beneficios intangibles
• Cumplir con los requerimientos en calidad y tiempo. • Lograr credibilidad con el cliente.	• Recuperar el negocio de fabricación de tubos. • Incrementar nuestra participación con el cliente. • Reducir el costo de producción por pieza.	• Mejorar la relación con nuestro cliente. • Mejorar el clima laboral.

Fuente: Autor

4.1.1. Team Charter

Con el “*Team Charter*” podemos identificar el problema y los objetivos del proyecto, e identifica los motivos por los cuales el desarrollo de dicho proyecto es importante desde el punto de vista financiero. En el, también se plantea un plan con las actividades necesarias para alcanzar los objetivos planteados.

(El “Team Charter” definido se puede ver en el **ANEXO A.**)

Dentro de los acuerdos del grupo se establecen reuniones durante todo el periodo de estudio cada lunes y se hace seguimiento a la metodología a seguir, es muy importante recalcar que cada uno de los participantes estuvo de acuerdo en formar parte del equipo de Seis Sigma.

4.2. DOCUMENTAR Y ANALIZAR LOS PROCESOS

Teniendo en cuenta que en Forcol Ltda. se fabrican 4 referencias de tubo para eje diferencial, se trabajará con el Tubo para Mazda B – 2200 con Número de Parte **N/P¹⁴**: 2012257T - 3, con el fin de llevar a cabo el estudio estadístico y así obtener las causas raíz.

4.2.1. Identificación De Elementos En Los Procesos

En los diferentes procesos de producción se deben tener claros conceptos tales como entradas, proveedor, proceso productivo, salidas y clientes.

- **PROCESO DE FORJA DE TUBO**

ENTRADAS	PROVEEDOR	INTERNO / EXTERNO
Tubing	TUBOAUTOS S.A.	Externo
Medidas de Especificación	Auditor de Calidad	Interno

(VER MAPA DE DISPERSIÓN FUNCIONAL DEL PROCESO FORJA DE TUBO EN **ANEXO B.**)

SALIDAS	CLIENTE	INTERNO / EXTERNO
Tubo Forjado	Celda de Mecanizado	Interno

¹⁴ N/P hace referencia a Número de Parte, lo que es igual a referencias de producto.

- **PROCESO DE MECANIZADO DE TUBO Y BRIDA**

ENTRADAS	PROVEEDOR	INTERNO / EXTERNO
Tubo Forjado	Proceso Forja	Interno
Brida	Forjados S.A.	Externo
Medidas de Especificación	Auditor de Calidad	Interno

(VER MAPA DE DISPERSIÓN FUNCIONAL DE LOS PROCESOS DE MECANIZADO DE TUBO Y BRIDA EN **ANEXO C Y D.**)

SALIDAS	CLIENTE	INTERNO / EXTERNO
Tubo Mecanizado a especificaciones	Celda de Ensamble	Interno
Brida Mecanizada a especificaciones	Celda de Ensamble	Interno

- **PROCESO DE ENSAMBLE**

ENTRADAS	PROVEEDOR	INTERNO / EXTERNO
Tubo Mecanizado a especificaciones	Celda de Mecanizado	Interno
Brida Mecanizada a especificaciones	Celda de Mecanizado	Interno

(VER MAPA DE DISPERSIÓN FUNCIONAL DEL PROCESO DE ENSAMBLE EN **ANEXO E.**)

SALIDAS	CLIENTE	INTERNO / EXTERNO
Tubo para Eje Diferencial	Transejes S.A.	Externo

4.2.2. Análisis Del Valor De Operaciones Y Actividades

Para cada uno de los procesos se realiza un Análisis del Valor en el cual se evalúa cada una de las actividades necesarias para la producción y se cuestiona la existencia de estas preguntándonos si generan Valor Agregado al Cliente, Valor Agregado Operacional o definitivamente No Agregan Valor.

Una actividad puede ser catalogada como de Valor Agregado Al Cliente sí:

- El cliente percibe el valor y siente que paga por eso.
- Cambia el producto para algo que el cliente espera.
- Es necesario para que las cosas se realicen de forma correcta desde la primera vez.

De forma complementaria una actividad puede ser catalogada como de Valor Agregado Operacional sí no es catalogada como una actividad de Valor Agregado al Cliente y sea necesaria para:

- Atender contratos, leyes u otros reglamentos.
- Alcanzar objetivos de salud ocupacional, seguridad industrial, medio ambiente y/o de desarrollo personal.
- Actividad que apoya o es necesaria para llevar a cabo las actividades de valor agregado para el cliente.

Y finalmente una actividad Sin Valor Agregado es aquella que no genera Valor Agregado al Cliente ni a la Operación.

En los diagramas de dispersión funcional se realizó este análisis consultando con la revisión por parte del coordinador de producción, quien es el responsable del proceso, y los resultados que arrojó fueron; para cada uno de los procesos, los siguientes:

- **PROCESO DE FORJA DE TUBO**

Tabla 3 Análisis del Valor Proceso Forja de Tubo

OPERACION	ANALISIS DEL VALOR		
	VALOR AGREGADO AL CLIENTE	VALOR AGREGADO OPERACIONAL	SIN VALOR AGREGADO
Inspeccion de Recibo			X
Transporte a Zona de Almacenamiento Temporal en Planta			X
Almacenamiento Temporal en Planta			X
Transporte a Celda de Recalcadora			X
Calentamiento en Horno de Forja		X	
Recalcado	X		
Enfriamiento			X
Transporte a Celda de Pulido y Limpieza			X
Pulido de Rebaba			X
Limpieza de Tubo		X	
Transporte a Prensa Galdavini			X
Aprueba Inspeccion Run - Out			X
Enderezado			X
Transporte a Celda de Mecanizado			X

Fuente: Autor

- **PROCESO DE MECANIZADO DE TUBO Y BRIDA**

Tabla 4 Análisis del Valor Proceso Mecanizado de Brida

OPERACION	ANALISIS DEL VALOR		
	VALOR AGREGADO AL CLIENTE	VALOR AGREGADO OPERACIONAL	SIN VALOR AGREGADO
Inspeccion de Recibo			X
Transporte a Zona de Almacenamiento Temporal en planta			X
Almacenamiento Temporal en planta			X
Transporte a Celda de Mecanizado			X
Cilindrado Interior de Brida (Diámetro de Ensamble)		X	
Aprueba Inspeccion Componente Brida			X
Transporte a Celda a Prensa Galdabini para Ensamble con Tubo			X

Fuente: Autor

Tabla 5 Análisis del Valor Proceso Mecanizado de Tubo

OPERACIÓN	ANÁLISIS DEL VALOR		
	VALOR AGREGADO AL CLIENTE	VALOR AGREGADO OPERACIONAL	SIN VALOR AGREGADO
Refrentado Extremo Diámetro de ensamble del tubo	X		
Cilindrado de Tubo en Extremo de Ensamble		X	
Cumple Tolerancias de Ensamble			X
Transporte a Prensa Galdabini para Ensamble con Brida			X

Fuente: Autor

- PROCESO DE ENSAMBLE**

Tabla 6 Análisis del Valor Proceso de Ensamble de Tubo – Brida

OPERACION	ANÁLISIS DEL VALOR		
	VALOR AGREGADO AL CLIENTE	VALOR AGREGADO OPERACIONAL	SIN VALOR AGREGADO
Ensamble con Brida		X	
Soldadura de Ensamble		X	
Transporte a Inspeccion Final			X
Cumple Inspeccion Final			X
Determinar Característica(s) de Calidad que no se cumple(n)			X
Transporte a zona de despacho			X
Almacenamiento en zona de Producto Terminado			X

Fuente: Autor

4.3. REQUERIMIENTOS CRÍTICOS DEL CLIENTE

Es indispensable para el posterior análisis de las no conformidades del producto, se conozcan los nombres de las partes del mismo, estos se presentan a continuación en la Figura 12.

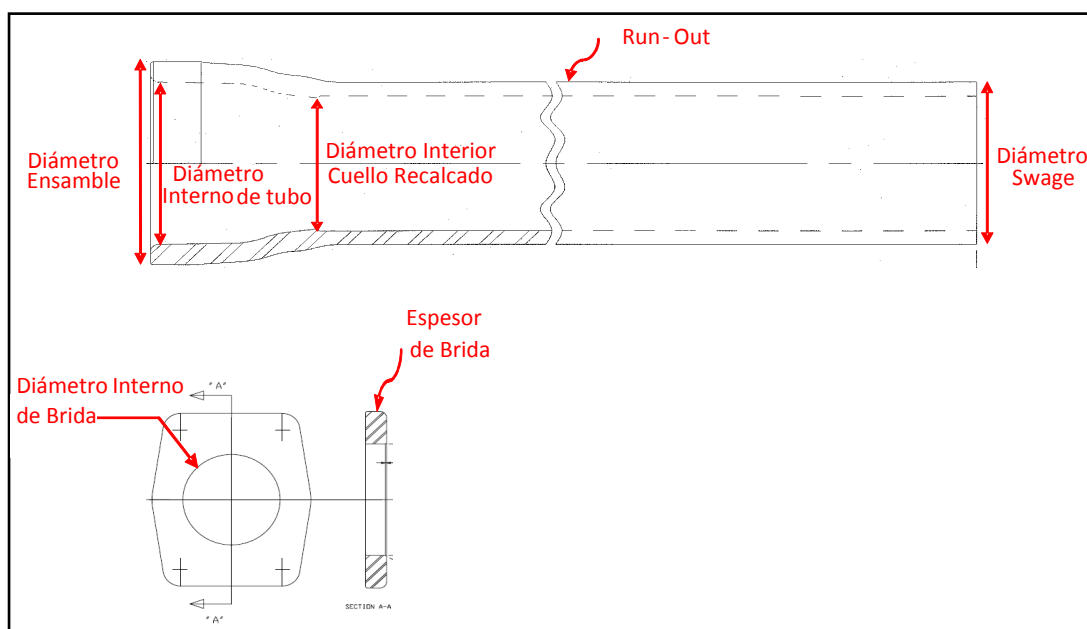


Figura 12 Nombres de las partes del tubo para Eje Diferencial.

A continuación se presenta en la tabla 7 los requerimientos críticos para el cliente, la cual se obtiene a partir de una entrevista con el coordinador de producción responsable de la línea de producción de ejes diferenciales de Transejes S.A.

Tabla 7 Requerimientos Críticos del Cliente

REQUERIMIENTOS CRÍTICOS DEL CLIENTE	
CALIDAD DE PRODUCTO	ENTREGA
Dimensiones dentro de especificaciones e identificación correcta de material.	El cliente manifiesta la necesidad de que se cumpla con las fechas de entrega pactadas, buscando con esto dar flujo continuo del proceso de producción.
• "Run – Out"¹⁵ • Diámetro Interno recalcado • Orientación adecuada del tubo • Espesor de brida • Correcta relación de N/P Tubo – Brida.	• Cumplimiento en fecha de entrega.

Fuente: El Autor

¹⁵ Run – Out es un término que hace referencia a que un cuerpo con simetría radial no conserva uniformidad en el giro.

En ella se le indaga a esta persona sobre las características de calidad y Entregas que son críticas dentro de su operación. Se encontraron 6 ítems, y las razones por las cuales son tan importantes para el cliente son respectivamente las siguientes.

- **“Run – Out”:**

Es crítico por cuanto es una pieza que hace parte de un eje y por ello requiere linealidad y homogeneidad en el giro.

- **Diámetro Interno recalcado:**

De no encontrarse dentro de especificaciones se tendrá interferencia en el giro del semieje interno que atraviesa el tubo.

- **Orientación adecuada del tubo:**

En el diseño del tubo existen de dos diámetros, el diámetro de recalcado y el diámetro “swage”; siendo este ultimo 1,45 % menor que el de recalcado y es necesario para la operación de estriado realizada en la línea de producción de ejes diferenciales.

- **Espesor de brida:**

Esta medida es muy importante debido a las ajustadas medidas usadas en el ensamble del eje diferencial. Un exceso en la medida no permitiría el ensamble y una deficiencia en la misma provocaría un mal mecanizado lo cual estéticamente no esta permitido.

- **Correcta relación de N/P Tubo – Brida:**

Ya que existen 4 referencias o Números de Parte (N/P) de tubo y brida, es posible que se confundan y ensambles N/P de brida con N/P de tubo que no coinciden, lo cual provocaría un indeseado inconveniente en la fabricación del eje diferencial.

- **Cumplimiento en fecha de entrega:**

Ya que en la actual industria es muy importante el manejo del concepto de producción Justo a Tiempo, se requieren tiempos de suministro oportunos.

De acuerdo al **ANEXO F**, con el cual el cliente manifiesta los requerimientos de calidad como los son dimensiones y características físicas específicas, se puede identificar claramente cuales son las variables de control para identificar las causas raíz de las no conformidades.

En la siguiente tabla obtenemos finalmente las especificaciones que son de mayor importancia para el cliente y que van a ser objeto de estudio en el capítulo siguiente.

Tabla 8 Especificaciones Requerimientos Críticos del Cliente

Requerimiento Crítico	Descripción	Proceso al que hace parte	Especificación¹⁶
Espesor de brida	Grosor o calibre de brida	Recepción de material	15,24 mm +/- 1,52 mm
Diámetro Interno Recalcado	Diámetro interno de recalcado corresponde a especificaciones	Forja	66,68 mm – 69,09 mm
Orientación del tubo	Diámetro “swage” sin forjado	Forja	Diámetro “swage” sin proceso de forjado
“Run – Out”	Uniformidad en el giro axial del tubo	Ensamble	0,040 mm – 1,02 mm Al centro del tubo
Correcta relación N/P de tubo y brida	N/P de tubo corresponde a N/P de brida	Ensamble	N/P de tubo y brida correspondientes
Cumplimiento en fecha de entrega	Cumplir fecha y hora de entrega	Despacho	Fecha Pactada con el cliente

Fuente: El autor.

¹⁶ Información obtenida de Planes de Control de Proceso, referenciados en el ANEXO F.

4.4. ANÁLISIS PARETO DE LAS NO CONFORMIDADES EN LOS PROCESOS DE FORJA, MECANIZADO Y ENSAMBLE.

Con datos obtenidos del resumen de RMD's¹⁷ de tubos del año 2007, se evidencia que 423 tubos de la producción anual que fue de 2.633 tubos resultaron con no conformidades; estas cifras se traducen en que el 16,07% de la producción anual de tubos presentó problemas de calidad.

De este documento, se clasificó y organizó la información para obtener un análisis estadístico mediante el Diagrama de Pareto para particularizar aun más las variables a estudiar y así atacar los problemas más representativos de las fallas en calidad.

Los datos obtenidos se sintetizan en la Figura 13, observándose que de 7 no conformidades en el producto obtenidas del resumen de RMD's, 4 de ellas son las causantes del 80% de los problemas.

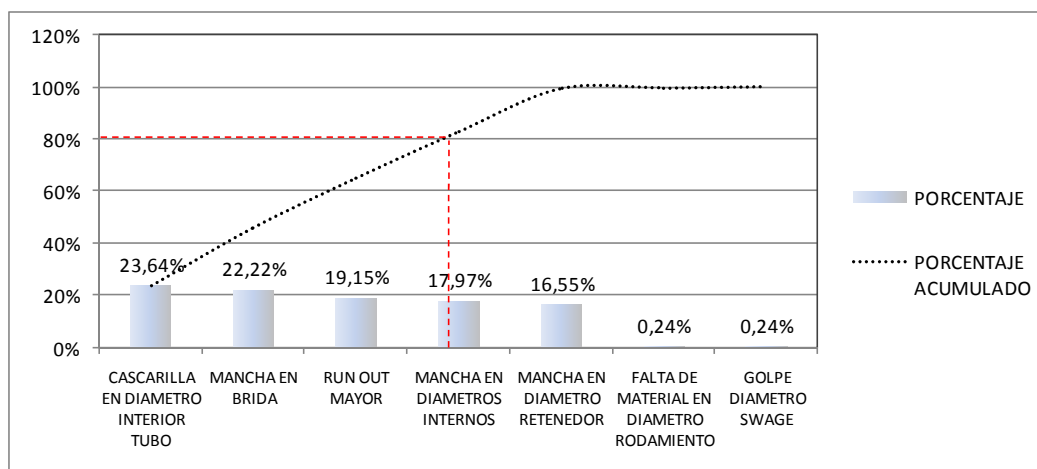


Figura 13 Diagrama Pareto de no conformidades en los procesos de forja, mecanizado y ensamble
Fuente: Resumen de RMD's 2007 de tubos.

Los análisis hechos con estos datos permiten hacer estudios más objetivos y mejor orientados a las variables a controlar.

¹⁷ Reporte de Material Discrepante, este es el documento por medio el cual el cliente manifiesta las no conformidades encontradas en el producto; en el se relacionan N/P, cantidades de producto despachado, cantidades de producto no conforme y costos involucrados.

5.MEDIR

En este capítulo, se presentan los resultados de las mediciones necesarias para hacer el análisis de las causas raíz de los problemas de producción. Para ello se necesita definir cuales son las variables de control dentro de los diferentes procesos de producción, así como las consideraciones tales como especificaciones de medida, instrumentos de medición, tamaño de la muestra, responsable de la recolección de datos, etc.

Para esto, mediante reunión programada el día 3 de septiembre, entre el equipo de trabajo conformado en el “Team Charter” se discutió, cuales eran las variables de control en los procesos de forja, mecanizado y ensamble basados en el conocimiento de los responsables del proceso, y de las conclusiones obtenidas de la etapa DEFINIR (del anterior capítulo), y de esta manera, ser objetivos al momento de la tomar los datos significativamente importantes para los estudios estadísticos.

De esta reunión se obtuvo como resultado la tabla denominada ‘**PLAN DE MEDICION PROYECTO SEIS SIGMA TUBO MAZDA B – 2200 NP 2012257T – 3**’ y con ella se tiene la definición operacional de las mediciones necesarias para el desarrollo del proyecto.

Este Plan de Medición está compuesto por 12 ítems o características de producto que después de un estricto análisis en el grupo del “Team Charter” resultaron ser los que mas se relacionan con los Requerimientos Críticos de Calidad del Cliente y las No Conformidades en el producto.

Este plan de medición se realiza buscando tener claros los conceptos involucrados en la prueba de recolección de datos necesaria para realizar los estudios de Capacidad que nos permitirán determinar dos importantes cosas:

- Establecer el indicador Nivel Sigma del estado actual de los procesos.
- Obtención de datos para usarlos en análisis estadísticos y con ellos determinar las causas raíz de los problemas de producción.

5.1. TAMAÑO DE LA MUESTRA

Para esta prueba se requiere determinar el tamaño de muestra óptimo para que las estimaciones obtenidas correspondan a la realidad.

Para ello existen unos lineamientos que asume el cliente (Transejes S.A.). Estos lineamientos son dados por el “PPAP¹⁸ Fourth Edition - DaimlerChrysler Corporation, Ford Motor Company, General Motors Corporation - 2006” en el que en el numeral 2.2.11.1 Initial Process Studies – General – Nota 5; pág. 7, establecen que en los estudios de capacidad deben realizarse por lo menos **100 muestras** consecutivas de una misma corrida de producción.

Este tamaño de muestra es el indicado según el PPAP, pero en la realidad, esta cantidad de piezas son bastante costosas, por esto, el equipo “Team Charter” asesorado por el gerente general y el gerente de planta de la empresa definieron como tamaño de muestra 60 piezas, un valor 40% menor, el cual se va a ver reflejado en una disminución sustancial de costos de \$ 772.000 por concepto de costos de producción de esos 40 tubos que no hicieron parte del estudio.

¹⁸ PPAP son las siglas para Production Part Approval Process, lo que traduce ‘Aprobación de Proceso de Producción de Parte’

5.2.. PLAN DE MEDICIÓN DE DATOS

Teniendo en cuenta las anteriores apreciaciones, a continuación se presenta en la Tabla 9 el Plan de Medición Proyecto Seis Sigma Tubo Mazda B -2200.

Tabla 9 Plan de Medición Proyecto Seis Sigma Tubo Mazda B – 2200 N/P 2012257T - 3

PLAN DE MEDICION										
PROYECTO SEIS SIGMA TUBO MAZDA B - 2200										
NP 2012257T - 3										
OPERACION	ITEM	MEDIDA	DEFINICION OPERACIONAL	INSTRUMENTO DE MEDIDA	TAMANO DE LA MUESTRA	QUIEN RECOLECTA	PROCESO DE PRODUCCION	COMO SE RECOLECTAN	OTROS DATOS RECOLECTADOS A LA VEZ	COMO SERAN EXHIBIDOS LOS DATOS
INSPECCION DE RECIBO	1	DIAMETRO SWAGE	69,16 mm - 69,24 mm	CALIBRADOR	60	AUDITOR DE CALIDAD	-	MANUALMENTE-FORMATO DE REGISTRO	RAYAS	ESTUDIO DE CAPACIDAD
	2	RUN OUT CENTRO DE TUBO	0,00 mm - 0,89 mm	ROLOS Y COMPARADOR	60	AUDITOR DE CALIDAD	-	MANUALMENTE-FORMATO DE REGISTRO	-	ESTUDIO DE CAPACIDAD
	3	ESPESOR DE BRIDA	13,72 mm - 16,76 mm	CALIBRADOR	60	AUDITOR DE CALIDAD	-	MANUALMENTE-FORMATO DE REGISTRO	RAYAS - CASCARILLA	ESTUDIO DE CAPACIDAD
CALENTAMIENTO	4	TEMPERATURA DE HORNO	1100°C - 1200 °C	PIROMETRO	60	ESTUDIANTE EN PRACTICA	FORJA	MANUALMENTE-FORMATO DE REGISTRO	-	ESTUDIO DE CAPACIDAD
FORJA	5	DIAMETRO ENSAMBLE	87,94 mm - 89,89 mm	CALIBRADOR	60	OPERARIO DE FORJA	FORJA	MANUALMENTE-FORMATO DE REGISTRO	-	ESTUDIO DE CAPACIDAD
	6	DIAM. INTERNO DE TUBO	66.68 mm - 69.06 mm	CALIBRADOR	60	OPERARIO DE FORJA	FORJA	MANUALMENTE-FORMATO DE REGISTRO	-	ESTUDIO DE CAPACIDAD
	7	DIAMETRO INTERIOR CUELLO RECALCADO	55,09 mm - 57,09 mm	TELESCOPICAS	60	OPERARIO DE FORJA	FORJA	MANUALMENTE-FORMATO DE REGISTRO	-	ESTUDIO DE CAPACIDAD
	8	RUN OUT TUBO FORJADO	0,00 mm - 1,02 mm	ROLOS	60	OPERARIO DE FORJA	FORJA	MANUALMENTE-FORMATO DE REGISTRO	-	ESTUDIO DE CAPACIDAD
MECANIZADO	9	DIAMETRO DE ENSAMBLE	86,95 mm - 87,05 mm	CALIBRADOR	60	OPERARIO DE FORJA	MECANIZADO	MANUALMENTE-FORMATO DE REGISTRO	-	ESTUDIO DE CAPACIDAD
	10	DIAMETRO INTERIOR DE BRIDA	86,85 mm - 86,92 mm	CALIBRADOR	60	OPERARIO DE FORJA	MECANIZADO	MANUALMENTE-FORMATO DE REGISTRO	CASCARILLA	ESTUDIO DE CAPACIDAD
ENSAMBLE	11	RUN OUT TUBO ENSAMBLADO	0 mm - 1,02 mm	ROLOS	60	OPERARIO DE FORJA	ENSAMBLE	MANUALMENTE-FORMATO DE REGISTRO	-	ESTUDIO DE CAPACIDAD
	12	LONGITUD TOTAL DE TUBO ENSAMBLADO	566,44 mm - 568,44 mm	CALIBRADOR	60	OPERARIO DE FORJA	ENSAMBLE	MANUALMENTE-FORMATO DE REGISTRO	RELACION N/P TUBO - N/P BRIDA	ESTUDIO DE CAPACIDAD

Fuente: El Autor

Es evidente que el proceso de forja es el que más características a medir tiene, ya que es el proceso que más valor agregado le dá al producto y por ello debe ser estudiado más profundamente.

El proceso de inspección de recibo se contempló para descartar que las materias primas ingresen al proceso de Forcol Ltda. con no conformidades.

Finalmente se realiza el estudio de capacidad de proceso y como resultado de esos estudios, se obtienen los 60 datos para cada una de las características mencionadas en el plan de medición. Con estos datos se realizaron los análisis de capacidad y nivel sigma que van a ser de suma importancia para identificar las causas raíz de los problemas de producción. Los datos se pueden observar en el **ANEXO G**.

5.3. ESTUDIO DE CAPACIDAD

Este estudio se llevó a cabo en cuatro etapas, estas fueron en su orden: Inspección de Recibo, Forja, Mecanizado y Ensamble. Estas etapas se relacionan directamente con los procesos de producción presentes en la fabricación de tubos para ejes diferenciales, salvo la inspección de recibo.

Antes de que las mediciones fueran tomadas, se les asignó un número de identificación a cada uno de los tubos y bridas para que en este mismo orden se procesen en todas las operaciones, de esta forma garantizamos que los datos tomados conserven el mismo orden en todos los procesos y las mediciones sean consistentes. Esta marca se impuso en el tubo en la parte interna del extremo del diámetro swage (en este lugar no hay posibilidades de que se borre la marca) y en la brida se puso sobre una de las caras de la misma. Cabe mencionar que este orden se conserva en la relación de ensamble de bridas y tubos.

Con las mediciones obtenidas y con la ayuda del software estadístico **Minitab 15** se realizó la estimación de los indicadores de capacidad de proceso, Cp_K , Pp_K , Nivel Sigma, PPM¹⁹ y el histograma, que permiten ver el panorama actual de las variables a estudiar. Además de estos parámetros, también se hizo el análisis de tendencia en series de tiempo que aporta información analítica y gráfica del comportamiento secuencial de las operaciones.

A continuación se presentará el análisis realizado para una de las características estudiadas y sus respectivas observaciones.

¹⁹ PPM son las siglas del indicador de cantidad de defectos Partes por Millón

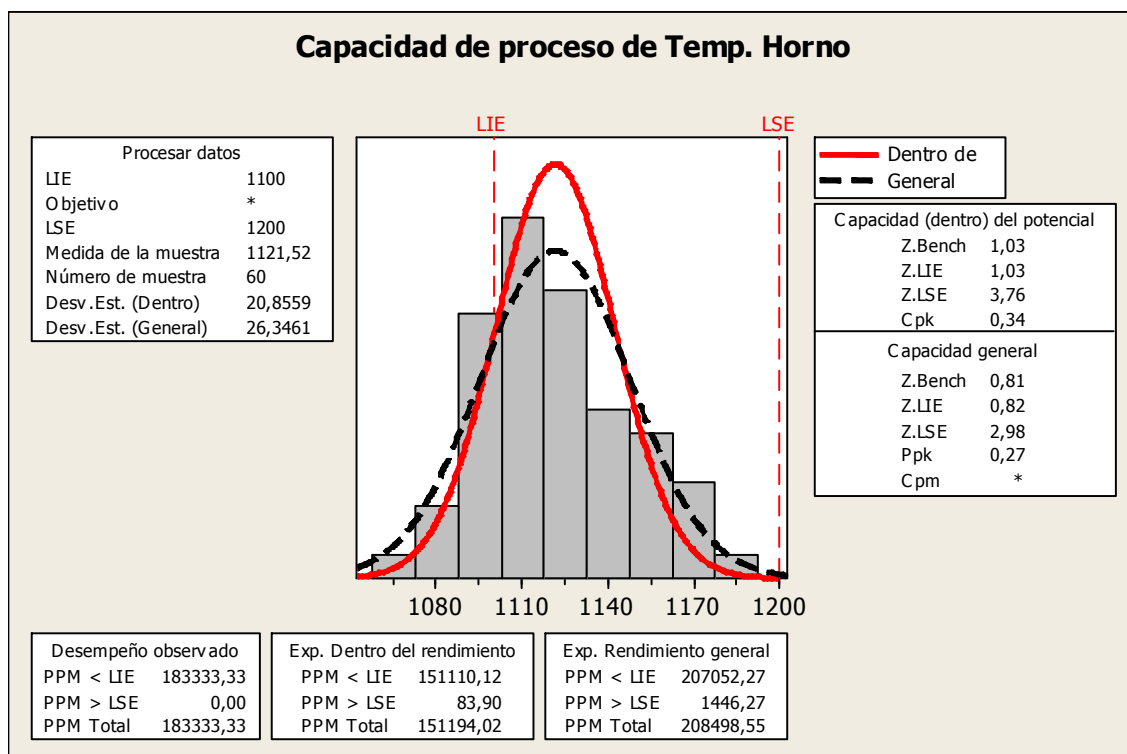


Figura 14 Gráfico Resumen de Capacidad de Proceso de la Temperatura del Horno

Tal como se puede apreciar en la figura 14, el comportamiento de los datos de temperatura obtenidos de la medición del horno de forja presentan una distribución normal con media 1121,52 °C y una desviación estándar general de 26,3461°C.

Evidentemente el proceso está descentrado, se observa una tendencia a que la media de las temperaturas estén muy cerca del LIE²⁰ o límite de especificación inferior 1100°C y esto hace que una gran proporción de datos esté por debajo de las especificaciones.

Lo anterior genera que los índices de capacidad $Cp_K = 0,34$ y $Pp_K = 0,27$ sean tan bajos (menores de 1,33 que es el estándar), y por esto se concluye que esta operación “no es capaz”, que no es otra cosa mas que los resultados de dicha

²⁰ LIE son las siglas para límite inferior de especificación.

operación presentan bastante variación (26,35 °C) y no garantiza que el producto cumpla con las especificaciones.

Otro indicador importante es la medida del Nivel Sigma, la cual está en Z Bench = 1,03; esto obviamente es bastante bajo considerando que el objetivo es que sea 6.

De igual forma se presenta el análisis de tendencia que muestra el comportamiento de los datos en el tiempo. En la figura 15 es claro que la tendencia de las mediciones de temperatura disminuye conforme pasa el tiempo, lo que puede explicar el comportamiento de los datos en el histograma de la figura 14.

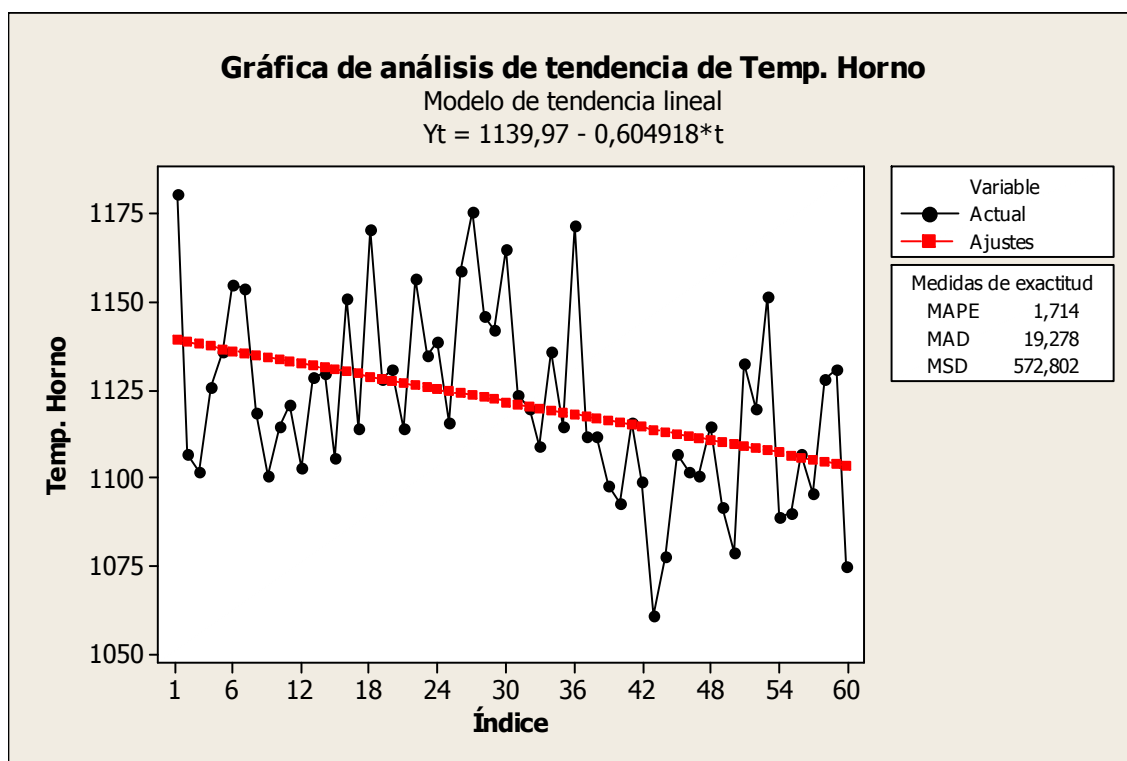


Figura 15 Análisis de Tendencia de Temperatura de Horno de Forja

Una explicación para este fenómeno es que a medida que se van sacando los tubos del horno, éste, por tener la compuerta abierta hace que se pierda temperatura de la cámara del horno en el ambiente. Y es de esta forma como se puede apreciar lo útil que es realizar estas confrontaciones de los elementos propios de un proceso.

En el siguiente capítulo se harán los análisis y explicaciones de la información obtenida de los gráficos de capacidad de proceso y el análisis de tendencias de las variables de control restantes.

Las gráficas podrán ser observadas en el **ANEXO H**.

6. ANALIZAR

Después de recopilar los datos y tener evidencia objetiva del comportamiento de los procesos, es la hora de interpretar las tendencias y parámetros que los estudios estadísticos nos ofrecen.

Para esto se hará el análisis detallado de las graficas del **ANEXO H** por cada uno de los procesos y cada una de las variables.

6.1. ANÁLISIS DE ESTUDIO DE CAPACIDAD PARA LOS PROCESOS DE FORJA, MECANIZADO Y ENSAMBLE

En este análisis de los estudios de capacidad hechos para los diferentes procesos de producción de tubos para ejes diferenciales, se valoraron dos reportes gráficos arrojados por el software estadístico **MINITAB 15** los cuales fueron el 'Resumen de Indicadores de Capacidad' y La 'Gráfica de Análisis de Tendencia'.

Se escogieron estos reportes por ser objetivos en la medición del desempeño general de la operación y en el comportamiento de las mediciones en el tiempo, respectivamente.

A este análisis de estudio de capacidad se le sumó el análisis de las medidas que se relacionan con los requerimientos críticos del cliente en la inspección de recibo, por considerarse importante, siendo esta inspección la que mide el cumplimiento de especificaciones de la materia prima, además de los tres procesos definidos para la fabricación de tubos para ejes diferenciales.

6.1.1. Análisis Estadístico Inspección De Recibo

Este análisis se hizo para poder comprobar la calidad de las características de las materias primas más relacionadas con la satisfacción del cliente.

6.1.1.1. Diámetro Swage Tubing

$\bar{X}$ = 69,20 mm
 σ = 0,0059 mm
 Cp_K = 2,11
 Pp_K = 2,15
 Z_{Bench} = 6,32

Presenta un comportamiento estable en el tiempo, centrado y con poca variación en el intervalo de tolerancia (σ = 0,0059 mm). Los indicadores de capacidad demuestran un comportamiento muy bueno (superiores al estándar de 1,33), lo que demuestra que la empresa esta recibiendo una materia prima con buenas especificaciones en diámetro Swage.

Los indicadores de capacidad muestran un excelente desempeño del proceso de producción origen y cumple completamente con las expectativas.

No se observan tendencias irregulares en las mediciones, lo que nos demuestra que los tubing vienen de un proceso de producción estable.

6.1.1.2. Run Out Tubing

$\bar{X}$ = 0,3454 mm
 σ = 0,1049 mm
 Cp_K = 1,11
 Pp_K = 1,10
 Z_{Bench} = 3,32

Comportamiento estable con variación considerable (10,28% de la tolerancia total) y con tendencia de centramiento en los valores cercanos a cero. Lo anterior es benéfico para los procesos de la empresa ya que eso demuestra que la materia prima llega a la empresa con poco "Run Out".

El desempeño del proceso de producción del cual viene esta materia prima para esta característica en particular es medianamente bueno, se puede percibir que requiere de un poco más de control, ya que se observan valores de 0,5 mm y la tolerancia de proceso no debe exceder 1,02 mm.

Al igual que la variable anterior, su comportamiento en la serie de tiempo demuestra variaciones naturales de proceso, aislando la posibilidad de que en el proceso del proveedor existan causas especiales de variación.

6.1.1.3. Espesor De Brida

$\bar{X} = 15,39 \text{ mm}$
 $\sigma = 0,5784 \text{ mm}$
 $Cp_K = 0,85$
 $Pp_K = 0,79$
 $Z_{\text{Bench}} = 2,49$

Es notoria la gran variación existente en esta característica (0,5784 mm o 20% de la tolerancia total), y aunque la distribución de los datos este centrada, debido a esa variación existe el riesgo potencial de tener medidas por fuera de las especificaciones.

Esto lo reafirman los indicadores de capacidad, que son menores a 1 y este hecho es realmente preocupante debido a que esta característica es un requisito crítico del cliente.

La serie de tiempo evidencia un comportamiento periódico en los datos, aunque si un patrón fácilmente identificable. Las anteriores apreciaciones exigen que se deba ver como critica esta variable de control.

6.1.2. Análisis Estadístico Proceso De Forja

Ya teniendo la seguridad de cómo llega la materia prima y cuales son los puntos críticos de la recepción de material podemos entrar a evaluar los procesos de la empresa, y según el orden de flujo de producto, el proceso de forja es el primero en ser analizado.

Aquí se evalúan las variables temperatura de horno de forja, diámetro de ensamble recalcado, diámetro interno de tubo recalcado, diámetro interno de cuello recalcado y “Run Out” de tubo forjado.

6.1.2.1. Temperatura De Horno

$\bar{X} = 1121,52 \text{ }^{\circ}\text{C}$
 $\sigma = 26,35 \text{ }^{\circ}\text{C}$
 $Cp_K = 0,34$
 $Pp_K = 0,27$
 $Z_{\text{Bench}} = 1,03$

La gráfica muestra descentramiento de los datos y la alta tendencia a agruparse muy cerca al Límite de Especificación Inferior y evidentemente el desempeño de esta operación es muy malo (índices Cp_K y Pp_K menores a 1,33), lo anterior confirmado por el bajo nivel sigma.

En la gráfica de tendencia, se ve el mal desempeño en el tiempo, aproximadamente desde la pieza 40, la operación está calentando a temperaturas por debajo de especificaciones.

6.1.2.2. Diámetro De Ensamble

$\bar{X} = 88,93 \text{ mm}$
 $\sigma = 0,4377 \text{ mm}$
 $Cp_K = 0,74$
 $Pp_K = 0,73$
 $Z_{\text{Bench}} = 1,98$

El histograma muestra la gran tendencia de la operación a tener sus valores en el centro de los límites de especificación, pero los datos en general tienen variación alta ($\sigma = 0,4377 \text{ mm}$), y muestra datos por fuera de especificaciones, tanto por defecto como por exceso.

Considerando que esta parte del tubo va a ser mecanizada mas adelante hace que no sea tan preocupante, aunque si de cuidado, ya que tener un tubo de mayor diámetro implica mayor gasto de herramientas de corte en el torneado y el caso contrario, traería problemas con diámetros que no van a ser mecanizables o que resultarán manchados.

Observando la grafica de tendencia, se observa un fuerte incremento de los valores en el tiempo, lo que predice que este diámetro va a ser mayor a medida que se avanza en la producción. Y la ecuación del modelo de tendencia predice que en promedio, la operación producirá piezas buenas hasta la pieza número 24, aquí juega un papel muy importante la alta variación presente.

6.1.2.3. Diámetro Interno De Tubo Recalcado

$\bar{X} = 67,68 \text{ mm}$
 $\sigma = 0,5037 \text{ mm}$
 $Cp_K = 0,65$
 $Pp_K = 0,66$
 $Z_{\text{Bench}} = 1,88$

Esta variable muestra un histograma con mucha variación (21,6% de la tolerancia total), no hay una media fuerte y por esto no se hace notable el centramiento de los datos, esto se confirma con los bajos índices de capacidad obtenidos (menores a 1,33).

La gráfica de tendencia muestra un comportamiento estable, con una pequeña tendencia a arrojar medidas menores, aunque muy leve, lo que hace suponer que es por el desgaste normal del punzón. De acuerdo a la ecuación de modelo de tendencia lineal, en promedio, esta operación producirá piezas dentro de especificaciones con el mismo punzón hasta la pieza 476, aunque la variación no nos permite asegurar esto.

6.1.2.4. Diámetro Interior Cuello De Tubo Recalcado

$\bar{X}$ = 56,14 mm
 σ = 0,5593 mm
 Cp_K = 0,53
 Pp_K = 0,57
 Z_{Bench} = 1,3

La gráfica de esta característica muestra un comportamiento muy irregular, con alta variación (27,96% del intervalo de tolerancia) y con un potencial de medidas por fuera de especificaciones muy probable. De hecho, el estudio de capacidad arrojó mediciones tanto por encima como por debajo del LSE (límite superior de especificación) y el LIE (límite inferior de especificación). De igual forma, los indicadores de capacidad demuestran el pobre desempeño (por debajo del estándar).

En el gráfico de tendencia, se puede ver que no hay causas especiales de variación, pero si se ven dos picos muy extremos al inicio del estudio, y al parecer esos son los dos puntos que aparecen por fuera de los límites de especificación.

A pesar de lo anterior, la pendiente de la línea de tendencia es muy leve, esto predice que la operación, de acuerdo a la ecuación de modelo de tendencia, predice que en promedio la operación tendrá piezas dentro de especificaciones hasta la pieza 470 aproximadamente. Es obvio que la gran varianza no garantiza esto.

6.1.2.5. Run Out

$\bar{X}$ = 0.5243 mm
 σ = 0,2157 mm
 Cp_K = 0,78
 Pp_K = 0,77
 Z_{Bench} = 2,13

La operación esta centrada en el intervalo de especificación, pero para la empresa, seria mucho mejor que esta característica tuviera valores cercanos a cero, es decir los tubos no presentaran variación en su "Run Out".

Es evidente que la variación de las medidas esta casi que al limite, incluso ya se pueden apreciar datos por encima del LSE, lo que perjudica la calidad del producto en los procesos posteriores.

Existe un comportamiento descendente en la gráfica de tendencia, lo que sugiere que el operario adquiere gradualmente más destreza en el montaje del tubo en la máquina a medida que avanza la producción.

6.1.3. Análisis Estadístico Proceso De Mecanizado

El siguiente paso en el análisis es valorar el desempeño del proceso de mecanizado de tubo y brida, siendo éste importante para el posterior ensamble de estos dos componentes.

En esta parte del estudio se evalúan dos variables, el mecanizado del diámetro de ensamble del tubo y del diámetro interior de la brida.

6.1.3.1. Diámetro De Ensamble

$\bar{X} = 86,99 \text{ mm}$
 $\sigma = 0,0306 \text{ mm}$
 $Cp_K = 0,50$
 $Pp_K = 0,50$
 $Z_{\text{Bench}} = 1,23$

En el histograma se observa la fuerte tendencia a que los datos se ubiquen en el centro del intervalo de tolerancia, pero presentan alta variación (30% de la tolerancia total) en la distribución de los mismos.

Además de esto, es notorio que de los datos que están por fuera de especificación, predominan los datos inferiores al LIE, observación que es apoyada por el hecho de que en la gráfica de tendencia se percibe un leve descenso en la ecuación de modelo de tendencia, es decir, con el tiempo las mediciones empiezan a tener valores cada vez menores.

Es obvio que el desempeño de la operación es muy pobre, teniendo en cuenta los indicadores Cp_K y Pp_K , que están en el por el orden de 0,5; muy por debajo del estándar.

6.1.3.2. Diámetro Interno De Brida

$\bar{X} = 86,73 \text{ mm}$
 $\sigma = 0,0652 \text{ mm}$
 $Cp_K = -0,67$
 $Pp_K = -0,62$
 $Z_{\text{Bench}} = -2,03$

Para esta característica de calidad, a pesar de que no es una variable de control que directamente se relacione con los requerimientos críticos del cliente, se convierte en objeto de estudio crítico por cuanto se desajusta totalmente del intervalo de tolerancia, donde solo se ubica un dato de los 60 tomados en el estudio (detallando la grafica de tendencia).

Los datos ni siquiera presentan disposición a ubicarse en un valor medio, están bastante dispersos y demuestran que la

operación no esta controlada, y mucho menos tiene capacidad de cumplir con las especificaciones (los valores de Cp_K y Pp_K son negativos).

Este es un gran hallazgo teniendo en cuenta que la interferencia que se presenta entre el diámetro de ensamble del tubo y el diámetro interior de la brida, son superiores a los tolerables de acuerdo con los cálculos mecánicos para esta.

A lo anterior se le suma, los cambios en los valores de las medidas en el tiempo, donde se evidencia que conforme avanza la producción este diámetro va disminuyendo considerablemente, según la ecuación de tendencia, casi dos milésimas de mm (0,002 mm), bastante alta considerando que la tolerancia en este caso es de mas o menos treinta y cinco milésimas (+/- 0,035 mm).

6.1.4. Análisis Estadístico Proceso De Ensamble

Para este proceso se evalúan las operaciones de ensamble de tubo y brida por medio de la longitud total del tubo ensamblado y por tercera vez, la característica "Run Out".

6.1.4.1. Longitud Total De Tubo Ensamblado

$$\bar{X} = 567,47 \text{ mm}$$

$$\sigma = 0,3147 \text{ mm}$$

$$Cp_K = 1,06$$

$$Pp_K = 1,02$$

$$Z_{\text{Bench}} = 3,08$$

Para esta característica se observa un bajo desempeño (indicadores de capacidad menores a 1,33), pero es apreciable la inclinación de los datos por ubicarse en un valor promedio centrado en el intervalo de tolerancia.

El desempeño general de la operación es pobre, considerando que el Cp_K es de 1,06, lo que demuestra que la distribución normal de datos cabe una vez en el intervalo de tolerancia.

La serie de tendencia muestra que al inicio de la producción y al final se obtienen valores muy distantes entre si. Como aspecto favorable, se menciona que la ecuación de modelo de tendencia es bastante estable, demostrando que el promedio de la medida se conserva a lo largo del tiempo.

6.1.4.2. Run Out

$$\bar{X} = 0,6182 \text{ mm}$$

$$\sigma = 0,3058 \text{ mm}$$

$$Cp_K = 0,41$$

$$Pp_K = 0,44$$

$$Z_{\text{Bench}} = 1,09$$

Esta característica es motivo de preocupación, puesto que es notorio el aumento significativo en los valores de “Run Out” en donde a medida que los procesos van transformando al producto, los indicadores de capacidad y desempeño de esta característica van disminuyendo considerablemente (los índices CpK son en el orden de los procesos 1,11; 0,78 y 0,41 respectivamente).

Es lógico pensar que en el proceso anterior (mecanizado), sucedió algo que afectó a esta característica, y sin ser muy críticos en este análisis podemos predecir que algo tiene que ver el problema de tolerancia tan reducida que hay entre los dos componentes del producto.

La gráfica de tendencia muestra una vez mas, la alta dispersión de los datos (aproximadamente 30,6% de la tolerancia total) y su tendencia a disminuir conforme aumentan en la producción.

6.2.DETERMINACIÓN DEL NIVEL SIGMA DE LOS PROCESOS DE FORJA, MECANIZADO Y ENSAMBLE

Para poder conocer el estado actual de los procesos que hacen parte de la producción, se plantea dar a conocer el Nivel Sigma de los tres principales procesos.

Para realizar esta tarea, se debe aclarar que la medición del Nivel Sigma es de dos tipos, la primera es para datos de distribuciones continuas (Z_{Bench}) y la segunda, para datos de distribuciones discretas (DPMO²¹).

En el **ANEXO G** se presentan los 720 datos tomados de las 12 variables de control (60 datos para cada variable de control), y como es lógico, se trata de datos de distribuciones continuas.

Para definir cual de las variables de control se escoge para dar el Nivel Sigma de cada proceso, como criterio de escogencia, hacemos uso de los Requerimientos Críticos del Cliente, listados en el numeral 4.3. (Tablas 7 y 8).

Por ejemplo, en el Proceso de Forja se escoge el Diámetro Interno recalcado por ser crítico para el cliente y que no requiere de un posterior mecanizado por parte de Forcol. Para el Proceso de Mecanizado debido a que este proceso no genera valor agregado al cliente y no hay un requisito critico para el, se escoge el que menor desempeño tiene, que del **ANEXO H** es evidente que es el Diámetro Interno de la Brida. Y en el proceso de ensamble, se escoge el Run Out por ser crítico para el cliente y porque su resultado depende directamente del proceso de ensamble.

²¹ DPMO son las siglas para nombrar Defecto por Millón de Oportunidades

Teniendo claro estos conceptos, y apoyados con los resultados de los Reportes de Capacidad de Proceso del **ANEXO H**, se presentan en la Tabla 10 el Nivel Sigma de los procesos de producción de tubos para ejes diferenciales.

Tabla 10 Nivel Sigma de los Procesos de Producción de Tubos para Ejes Diferenciales.

PROCESO DE PRODUCCION	NIVEL SIGMA (Z _{Bench})	VARIABLE DE CONTROL
FORJA	1,88	Diámetro Interno Recalcado
MECANIZADO	(-) 2,03	Diámetro Interno de Brida
ENSAMBLE	1,09	Run Out

Fuente: El autor

6.3.DETERMINACIÓN DE LAS CAUSAS RAÍZ

Después de hacer los análisis de resultados de los estudios de capacidad, y tener una apreciación del comportamiento de los procesos, se pasa a determinar cuales son las causas de los problemas de capacidad de proceso y variabilidad de las características de calidad analizadas.

Para esto se utiliza una herramienta muy efectiva para llegar a la raíz de los problemas, el Diagrama Causa - Efecto, la cual es una herramienta visual para organizar la información y establecer las relaciones entre un efecto y sus causas principales.

Pero para llegar al Diagrama Causa - Efecto se deben tener ideas de que es lo que puede estar pasando, la dinámica para encontrar esas causas de problemas de producción fue, reunidos los integrantes del equipo “Team Charter” en la sala de capacitación de la empresa, recurrir a una lluvia de ideas registrándolas en un tablero; después de tener causas puntuales, se organizaron y se valoraron adecuadamente para darle forma al diagrama. Para esta parte fue muy importante la opinión del personal de planta, por ser éstos los que están mas directamente involucrados con las operaciones.

Como criterio de selección, se toman las variables de control que mostraron desempeños en capacidad más pobres (índices Cp_K y Pp_K menores al estándar) y se elabora el Diagrama Causa Efecto para cada una de ellas, y al finalizar, se estratifican y se toman aquellas que mayor incidencia tengan sobre los Requerimientos Críticos del Cliente y/o que mayor costo genere para la empresa.

Las variables a evaluar que se definieron fueron temperatura de horno, diámetro interno recalcado, Run Out en forja, diámetro de ensamble, diámetro interno de brida y Run Out de ensamble.

A continuación se muestran las valoraciones hechas para determinar las causas raíz de los problemas. Tan solo se muestra el diagrama causa – efecto de la primera variable a estudiar, los demás diagramas se muestran en el **ANEXO I**.

6.3.1. Temperatura de Horno

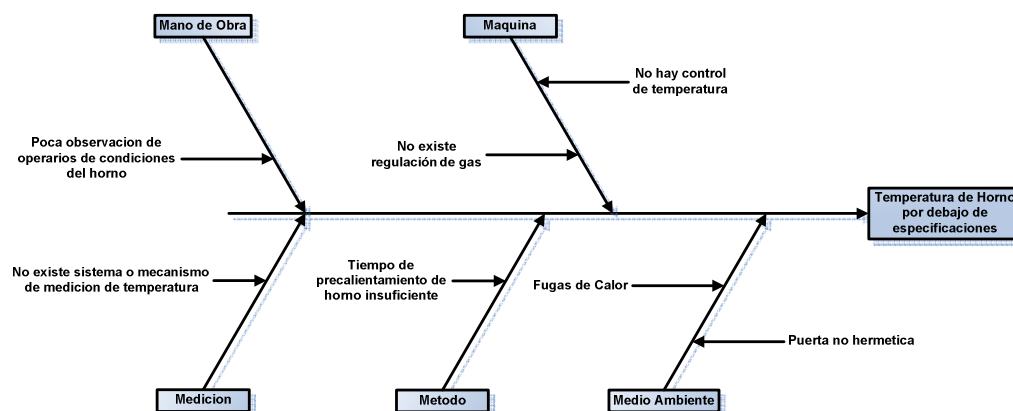


Figura 96 Diagrama Causa – Efecto Temperatura de horno por debajo de especificaciones.

En el análisis hecho para las causas de variación y baja temperatura del horno de forja, determinó que la temperatura del horno no tiene un mecanismo mecánico ni electrónico para visualizar la temperatura dentro del horno y tener control sobre ésta; para esto solo se tiene como referencia el color de la llama y de la cámara interna, método bastante subjetivo y obsoleto. Otro factor que incide en esta variable es el hecho de no existir regulación en el flujo de gas, ya que con esto no se esta garantizando que el flujo de gas que recibe el horno es siempre el mismo.

Por otra parte, el diseño del horno y de su puerta no tiene condiciones de hermeticidad suficientes para evitar que se presenten fugas indeseadas en el horno. Como evidencia de esto, los operarios frecuentemente se quejan de tener un ambiente de trabajo muy caliente, término que fácilmente puede referenciar temperaturas de 45°C a 50°C.

Las otras causas que se presentan en cuanto a mano de obra y método, son producto de faltas de control en la maquina y el diseño de la misma.

El anterior análisis fue hecho basados en la asesoría del coordinador de mantenimiento de la planta, quien explico la importancia de estos mecanismos en un horno de forja.

6.3.2. Diámetro Interno Recalcado (Forja)

Para el caso del diámetro interno de recalcado, el coordinador de producción evaluó los datos arrojados por el estudio de capacidad y determinó, junto con el coordinador de ingeniería, que las causas mas factibles para que se presenten medidas en esta característica por debajo de especificaciones y con variación considerable para este caso (0,5037 mm equivalente a 21,16% de la tolerancia total), son los punzones de recalcado (1º y 2º paso) en cuanto a medidas y material, ante ello, el coordinador de ingeniería, precisa que las especificaciones que están plasmadas en los planos de fabricación de los punzones son muy reducidas y, teniendo en cuenta que el punzón está sometido a desgaste y fricción a altas temperaturas, es muy fácil que se desgaste y origine este tipo de problemas. Como solución paliativa en este caso se propone someter los punzones a tratamiento térmico de temple, el cual les dará más dureza y propiedades mecánicas mas adecuadas para la operación que desarrollan, o como mejora radical, escoger otro acero de mejor desempeño para esta operación, que aunque implique un mayor costo, sirva para eliminar por completo los inconvenientes que producen materiales mas económicos.

Con la anterior información se deduce que debido a ese desgaste de los punzones se esté dejando mas material para recalcar en los pasos de recalcado y produzca que en pasos siguientes se tenga que desplazar mas material y este no fluya de manera adecuada, provocando defectos en las medidas.

A esto se le suma la alta capacidad de funcionamiento de la máquina, la cual trabaja con fuerza excesiva (300 Toneladas - Fuerza) donde tan solo se requiere

de 120 Toneladas – Fuerza, lo que produce que en el trabajo de la recaladora se presente uso ocioso de potencia de funcionamiento, siendo nocivo para la producción y para la vida útil de la máquina.

6.3.3. Run Out (Forja)

En el proceso de forja, el Run Out se convierte en una variable a controlar de bastante cuidado debido a que el material va a ser calentado a temperaturas que permiten su deformación plástica, y cualquier malformación del tubo dañaría el producto casi que definitivamente. Por eso al hacer este estudio entre el coordinador de ingeniería, el coordinador de producción y los operarios de forja, se pregunta a estos últimos la experiencia en el proceso, y no dudaron en mencionar que el tubo no estaba recibiendo calentamiento homogéneo en toda la superficie a recalcar. Mencionaron que para ellos es muy difícil, debido a la rapidez de la operación, verificar que todos los tubos presenten el calentamiento adecuado sobre la superficie requerida.

Por esto, y sumando la deficiencia de temperatura que tiene el horno, se determinó como de gran incidencia esta observación.

Los operarios también mencionaron la dificultad para hacer coincidir exactamente los punzones y las matrices en la puesta a punto, comentan que por el desgaste de las matrices se debe empezar a hacer coincidir los dos componentes de herramental con mucha dificultad, utilizando pequeñas láminas para compensar las perdidas en el tamaño de las matrices, y además del trabajo extra que esto requiere, implica un mayor tiempo de alistamiento de máquina.

Entre el equipo conformado para evaluar las características de forja, se determinó que estas son las causas de mayor repercusión para el proceso.

6.3.4. Diámetro de Ensamble (Mecanizado)

Esta operación se desarrolla en un torno paralelo Heinemann del año 1.974, y es fácilmente identificable la falla existente en el carro transversal. Éste presenta juego en su ajuste, que no se debe a otra cosa más que al desgaste del tornillo patrón transversal del torno. De allí es que se deriva la variación de la medida del diámetro de ensamble del tubo.

A partir de esta falla en la maquina, y consultando con los operarios, se dedujo que ellos debían compensar con destreza manual dicho desajuste, es decir, compensar y realizar ajustes netamente manuales de la profundidad a cilindrar.

Otra falla en el proceso encontrada fue la resolución del instrumento de medición, para tomar las medidas se usa un calibrador pie de rey con una resolución de decimas de milímetro (0,1 mm) y la exigencia de las especificaciones es que se tomen medidas del orden de centésimas de milímetro (0,01 mm), esta observación explica la alta variación de los datos (0,0359 mm en una tolerancia total de 0,1 mm) considerando que se estaban tomando medidas en la operación, por parte del operario que no son exactas.

6.3.5. Diámetro Interno de Brida (Mecanizado)

Para el diámetro de brida sucede un fenómeno parecido al de la característica anterior, el ajuste en el tornillo patrón del avance de profundidad presenta juego, y no garantiza la precisión de una medida objetivo. Este caso es mas crítico, ya que la desviación estándar de los datos es de $\sigma = 0,0652$ mm y la tolerancia total de especificaciones es de 0,07 mm, lo que nos obliga a plantear que la máquina usada para esta operación no es capaz y no cumple con las necesidades de producto.

Al igual que en la característica anterior, el instrumento de medición no es el requerido para las tolerancias exigidas, las cuales son del orden de las centésimas de milímetro y los calibradores solo ofrecen resoluciones de decimas de milímetro, por lo tanto son insuficientes.

En cuanto al descentramiento, los datos son claros al mostrar un comportamiento por fuera de especificaciones, lo que se traduce en fallas al momento de hacer puesta a punto de la máquina, es decir, el personal no cuenta con herramientas requeridas y con la competencia necesaria para manejar medidas tan reducidas.

6.3.6. Run Out (Ensamble)

En esta operación se encontró una causa que nunca se llegó a evaluar, en la cual, se exceden las necesidades de capacidad de proceso. De lo que se habla es de la presión aplicada en la prensa usada para el ensamble de tubo y brida, la cual es de 100 Toneladas. De acuerdo a cálculos mecánicos realizados para considerar en el diagrama causa efecto la categoría “Máquina” como causa probable, se halló la necesidad de presión para el ensamble no excede las 5 toneladas, teniendo en cuenta las tolerancias presentadas en los planos. Se está hablando de un exceso de capacidad de 2.000%. Considerando este valioso dato, es fácil darse cuenta por qué nunca se presentó el problema de interferencia entre tubo y brida, ya que no representaba ningún problema en el ensamble. Aquel exceso de capacidad de máquina junto con las tolerancias tan reducidas ocasiona que el tubo presente flexión, y con ello aumente su Run Out.

Después de esto, se hizo una inspección en la prensa junto con el coordinador de mantenimiento de la empresa y se concluyó que el recorrido del pistón de la prensa es muy largo y puede presentar un pandeo potencial al momento de hacer el esfuerzo para el ensamble de tubo y brida.

6.4. LISTADO DE CAUSAS RAÍZ DE PROBLEMAS DE PRODUCCIÓN EN LOS PROCESOS DE FORJA, MECANIZADO Y ENSAMBLE.

Hasta este momento, se ha presentado la información necesaria para conocer los problemas de producción de tubos para ejes diferenciales y sus principales causas. Gracias a esto, la empresa por medio del grupo “Team Charter” tiene herramientas basadas en datos reales y concretos de cómo se desarrollan sus operaciones y como éstas ayudan o no a satisfacer las necesidades del cliente.

Para el posterior análisis y escogencia de las mejoras necesarias de los procesos de producción, se nombran y puntualizan las causas para cada proceso en particular en la tabla 11.

Tabla 11 Listado de causas raíz de problemas de producción para cada proceso de producción.

LISTADO DE CAUSAS RAIZ DE PROBLEMAS DE PRODUCCION PARA CADA PROCESO		
FORJA	MECANIZADO	ENSAMBLE
Ausencia de mecanismo de control de temperatura en horno.	Sistema de avance transversal en el torno de mecanizado de tubos averiado.	Prensa hidráulica con capacidad excesiva de fuerza.
Ausencia de regulación de flujo de gas.	Torno de cilindrado interno de brida no cuenta con capacidad de producción.	Pistón de avance muy largo
Fugas de calor por puerta de horno.	Instrumentos de medición inadecuados para las especificaciones de mecanizado.	-
Material de punzones inadecuado para la operación de recalcado.	Personal no capacitado en operación de cilindrado interno de brida.	-
Ausencia de control de longitud de calentamiento de tubo.	-	-
Desgaste de superficies de apoyo de matrices.	-	-

Fuente: El autor

Cabe resaltar que las causas anteriormente descritas hacen referencia principalmente a la necesidad de cambios estructurales y mejoras en las máquinas usadas para la producción, lo que representa inversión en recursos, a los cuales se les debe evaluar su retorno sobre la inversión.

7.MEJORAR

Para iniciar con esta fase, se requiere retomar la anterior tabla (Tabla 11) y cuantificar el costo que implica corregir las deficiencias en los procesos de forja, mecanizado y ensamble de tubos, y de esta manera, presentar la primer solución, la cual se denominará “Solución 1”.

7.1. SOLUCIÓN 1 - MEJORAR OPERACIONES ACTUALES.

Con la solución 1, se pretende mejorar y tener control de proceso de las operaciones que actualmente existen. Los costos mostrados en la Tabla 12 fueron dados por el coordinador de mantenimiento de Forcol Ltda. teniendo en cuenta cotizaciones para compra de componentes necesarios, mano de obra e ingeniería requerida para implementar la solución.

Tabla 12 Costo de implementación de Solución 1.

ITEM	CAUSA DE PROBLEMA	DESCRIPCION CAUSA DE PROBLEMA	SOLUCION	COSTO SOLUCION
1	Ausencia de mecanismo de control de temperatura en horno de forja.	No existe en el horno un dispositivo que registre la temperatura del horno de forja en tiempo real.	Adecuación de sistema de medición de temperatura en el horno de forja.	\$ 2'529.000
2	Ausencia de sistema regulación de flujo de gas.	No existe sistema de regulación de flujo de gas en el horno de forja.	Instalación de sistema de regulación de gas.	\$ 23'000.000
3	Fugas de calor por puerta de horno. Ausencia de control de longitud de calentamiento de tubo.	No existe sistema de obstrucción para la fuga de calor del horno.	Construcción de rejilla en forma de “colmena” que reduzca a 10,18% el área de la puerta del horno y con ella la fuga de calor y que sirva como soporte para el calentamiento de los tubos.	\$1'700.000

4	Material de punzones inadecuado para la operación de recalado.	El material de los punzones se desgasta prematuramente ocasionando que pierdan sus dimensiones.	Cambiar el acero de los punzones de recalado de acero H13 nacional a acero tuf die importado.	\$ 500.000
5	Desgaste de superficies de apoyo de las matrices	Las bases de las matrices se desgastan y disminuyen en dimensiones, esto requiere que se introduzcan pequeñas láminas para compensar esas medidas.	Cambio de acero H13 nacional a acero tuf die y eliminar el uso de láminas compensadoras.	\$ 2'000.000
6	Sistema de avance transversal en el torno de mecanizado de tubos averiado.	El carro de avance transversal del torno de mecanizado de tubos presenta juego en su ajuste, y produce alta variación en la operación.	Hacer mantenimiento del sistema de avance del carro transversal del torno de mecanizado de tubos.	\$ 450.000
7	Torno de cilindrado interno de brida no cuenta con capacidad de proceso.	El torno de cilindrado interno de brida no tiene capacidad de producción ya que la distribución normal de los datos excede dos veces el tamaño de la tolerancia total de especificaciones.	Cambiar esta operación de la actual máquina y adecuarla en otro torno que si tenga capacidad de proceso.	\$ 200.000* *Este valor representa la fabricación de dispositivos para adecuar la máquina.
8	Instrumentos de medición inadecuados para las especificaciones de mecanizado.	Los calibradores de las operaciones de mecanizado de tubo y brida no son los requeridos de acuerdo a las tolerancias exigidas por los planos.	Compra de 2 calibradores de resolución de centésimas de milímetro a las operaciones de mecanizado de tubo y brida.	\$ 600.000
9	Prensa hidráulica con capacidad excesiva de fuerza.	La prensa usada para el ensamble de tubo y brida trabaja con una presión 2.000% mayor a la necesitada por la operación, ocasionado flexión en el tubo, y por ende, alto Run Out.	Cambiar prensa usada para el ensamble de tubo y brida por una con presión mas adecuada para las necesidades de la operación.	\$ 350.000* *Este valor representa la fabricación de dispositivos para adecuar la máquina.

Fuente: El Autor

7.1.1. “Payback”²² y Ventajas de la Solución 1.

Tomando en cuenta los costos generados por devoluciones por parte del cliente de los productos con no conformidades, se presenta la siguiente tabla como comparación de cuanto cuesta realizar la mejora y cuanto se esta ahorrando la empresa con implementar dicha mejora, y de esta manera saber en cuanto tiempo esa inversión es recuperada (“payback”).

Tabla 13 Síntesis de “Payback” de la Solución 1

I T E M	CAUSA DE PROBLEMA	COSTO SOLUCION ²³	GASTOS POR PROBLEMAS EN LA PRODUCCION ²⁴	IMPACTO
1	Ausencia de mecanismo de control de temperatura en horno de forja.	\$ 2'529.000	\$ 4'573.200 ²⁵	Tubos con temperatura y propiedades adecuadas para forjar.
2	Ausencia de sistema regulación de flujo de gas.	\$ 23'000.000	\$ 4'573.200	Tubos con temperatura y propiedades adecuadas para forjar.
3	Fugas de calor por puerta de horno. Ausencia de control de longitud de calentamiento de tubo.	\$1'700.000	\$ 3'856.762	Longitud de calentamiento de tubo adecuada y reducción del 89,82 % de fuga de calentamiento.
4	Material de punzones inadecuado para la operación de recalcado.	\$ 500.000	\$ 8'180.431	Punzones de recalcado con 2,5 veces mas de vida útil a la mitad de precio y mejorando el desempeño en el proceso de forjado de diámetro interior de tubo.
5	Desgaste de superficies de apoyo de las matrices	\$ 2'000.000	\$ 12'037.193	Matrices con 2,5 veces mas de vida útil a la mitad de precio y mejorando el desempeño en el proceso de forja.

²² Payback es una técnica que tienen las empresas para hacerse una idea aproximada de lo que tardarán en recuperar el desembolso inicial en una inversión.

²³ Valores obtenidos de cotizaciones de los proveedores de la empresa durante el mes de enero de 2008 y validados por el Coordinador de Mantenimiento de Forcol Ltda.

²⁴ Los valores que se presentan en esta columna son anuales y obtenidos del resumen de RMD's de 2007.

²⁵ Las cifras repetidas corresponden a los mismos valores y en el total son tenidos en cuenta tan solo una vez.

6	Sistema de avance transversal en el torno de mecanizado de tubos averiado.	\$ 450.000	Esta es una operación interna y no cuenta con un método para cuantificar el impacto financiero causado.	Eliminación de variación en el avance transversal del torno de mecanizado de tubos mejorando el desempeño en el proceso de mecanizado de tubo.
7	Torno de cilindrado interno de brida no cuenta con capacidad de proceso.	\$ 200.000* *Este valor representa la fabricación de dispositivos para adecuar la nueva máquina.	Esta es una operación interna y no cuenta con un método para cuantificar el impacto financiero causado.	Uso de torno con capacidad de mecanizado de acuerdo a especificaciones de cilindrado interno de brida.
8	Instrumentos de medición inadecuados para las especificaciones de mecanizado.	\$ 600.000	No hay método de medición del impacto financiero de esta mejora.	Instrumentos de medición adecuados para obtener medidas exigidas por los planos.
9	Prensa hidráulica con capacidad excesiva de fuerza.	\$ 350.000* *Este valor representa la fabricación de dispositivos para adecuar la nueva máquina.	\$ 3'856.762	Prensa hidráulica de 10 toneladas adecuada para la operación de ensamble.
TOTALES		\$31'329.000	\$ 28'647.586 anuales Aproximadamente	

Fuente: El autor

Como se puede apreciar en el total del costo de la solución (\$ 31'329.000) y de gastos por problemas de producción (\$ 28'647.586 anuales), se puede deducir que la inversión hecha en las mejoras se puede recuperar aproximadamente en un año (12 meses), ya que el valor correspondiente a gastos por problemas de producción es está calculado con el acumulado reclamaciones del cliente en el año 2.007.

Cabe resaltar que este valor no tiene cuantificado los gastos correspondientes a los ítems 6, 7 y 8 de la Tabla 13, con lo que el valor correspondiente a los gastos anuales por la mala calidad son por lo menos iguales al costo de la solución y así reafirmamos que la inversión en la mejora de los procesos es recuperable en un año.

7.2. SOLUCIÓN 2 – CAMBIO DE DISEÑO DE PRODUCTO Y PROCESO.

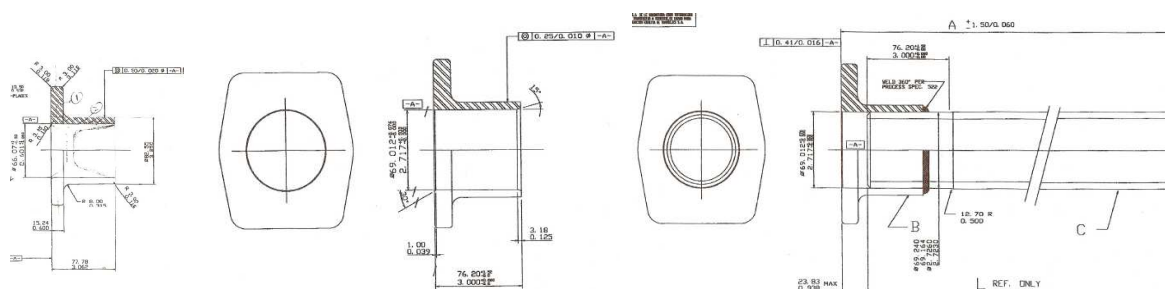


Figura 107 Nuevo Diseño Propuesto de Tubo Ensamblado

La otra solución propuesta para eliminar las dificultades existentes en la producción de tubos para ejes diferenciales es cambiar el diseño de producto actual por un nuevo diseño (Figura 17). La propuesta nace a raíz de la visita del gerente de planta y el coordinador de mantenimiento de la empresa a una planta de DANA CORPORATION de Tlaxcala (México), en donde para un producto similar se tenía un diseño diferente al existente en la planta de Forcol Ltda. y presentaba un buen comportamiento en la producción. Ésta diferencia consiste en que aquel diseño está compuesto por una “brida – bocín”²⁶ forjada y un “tubing”²⁷ sin forjar, de esta forma se eliminaría el riesgo a que el tubo sufra torceduras en el proceso de forja y afecte su “Run Out” limitándose el control de esta característica tan solo al proceso de ensamble.

Los costos relacionados con el cambio de diseño de producto y proceso de producción de tubos se plasman en la Tabla 14 propuesta a continuación.

²⁶ Pieza redonda que consta de un cuello cónico y una brida externa.

²⁷ Materia prima, tubo hueco completamente cilíndrico.

Tabla 14 Costos de Implementación de la Solución 2.

ITEM	CONCEPTO	DESCRIPCIÓN DE LA INVERSIÓN	DETALLE	COSTO
1	Ingeniería de Diseño	Cálculos ingenieriles.	Calculo de dimensiones, tolerancias, tipo de acero y características especiales de producto.	\$ 5'000.000 ²⁸
2	Diseño de Producto	Elaboración de planos del producto en software CAD.	Obtención de planos de: • Brida – bocín forjada • Brida – bocín mecanizada • Ensamble de brida – bocín y tubing	\$ 150.000 ⁷
3	Nuevas maquinas	Compra de nuevas máquinas para proceso propuesto.	No se requiere comprar nuevas maquinas.	\$ 0
4	Mano de obra calificada y/o Método	Capacitación de personal en nuevo proceso.	El nuevo diseño de producto es afín con el proceso de producción de otro producto (Cubo Rueda) y por eso no requiere de capacitaciones especiales, simplemente se debe presentar formalmente a los operarios.	\$ 0
5	Herramientas o Dispositivos ²⁹	Matrices de forja de Brida – Bocín fabricadas en Acero Tuf Die importado.	• Acero para matrices (4 bloques) \$ 3'250.000 • Mecanizado de matrices (4 bloques) \$ 700.000	\$ 3'950.000
		Mecanismo de control de la temperatura del horno.	Adecuación de sistema de medición de temperatura en el horno de forja.	\$ 2'529.000
		Sistema de regulación de gas en horno.	Instalación de sistema de regulación de gas en horno.	\$ 23'000.000
		Sistema de avance transversal en el torno de mecanizado averiado.	Hacer mantenimiento del sistema de avance del carro transversal del torno de mecanizado.	\$ 450.000
		Instrumentos de medición inadecuados para las especificaciones de mecanizado.	Compra de 1 calibrador de resolución de centésimas de milímetro para la operación de mecanizado de brida - bocín.	\$ 300.000
		Prensa hidráulica con capacidad excesiva de fuerza.	Cambiar prensa usada para el ensamble de tubo y brida con presión mas adecuada para las necesidades de la operación.	\$ 350.000
			TOTAL	\$ 35'729.000

²⁸ Cifras dadas por el Coordinador de Ingeniería de Forcol Ltda.

²⁹ Información obtenida de los ítems 1, 2, 6, 8 y 9 de la Tabla 12.

Dentro de las inversiones necesarias para poner en marcha la Solución 2 se contemplan aquellas que se presentaron en la Solución 1 y que aun en el nuevo proceso se necesitan, como lo es el control de temperatura del horno de forja, la regulación de flujo de gas, el mantenimiento del sistema de avance transversal del torno de mecanizado, el cambio de prensa para la operación de ensamble y dotación de calibrador con resolución de centésimas de milímetro.

Todo esto conlleva a que se invierta en la Solución 2 una suma de \$ 35'729.000, cifra muy cercana a la de la Solución 1.

7.2.1. “Payback” y Ventajas de la Solución 2.

Dentro de las ventajas obtenidas con este nuevo diseño, está el costo de producción, el cual comparado con el anterior diseño, se reduce en \$ 7.435 que es una reducción equivalente al 17,44% (el costo unitario disminuye de \$ 42.635 a \$ 35.200³⁰). Tomando como punto de referencia una producción mensual de 2.500 tubos, que es la demanda promedio mensual de Transejes³¹, se tendría una reducción en la estructura de costos de \$ 18'587.500 mensuales o su equivalente anual sería \$ 223'050.000, una cifra muy atractiva para los directivos de Forcol, ofreciendo esta alternativa de solución un ahorro representativo anual que puede aprovecharse como capital de trabajo. Como ventaja de la implementación de la presente alternativa de solución se presentan también los ahorros de gastos por problemas de producción totales presentados en la Tabla 13, que como ya se mencionó en el análisis de esta tabla, son referenciados a partir del resumen de RMD's de 2.007 y suman \$ 28'647.586 anuales.

³⁰ Información obtenida de la estructura de costos de Forcol Ltda. y suministrada por el Gerente de Planta.

³¹ Demanda de pedidos promedio mensual por parte de Transejes S.A., ésta información fue suministrada por el Gerente de Planta de Forcol.

Haciendo el cálculo con el valor mensual ahorrado en los costos de producción y el ahorro en gastos por problemas de producción, se estima que el “payback” sobre la inversión de la Solución 2 es de:

$$\begin{aligned} \text{Payback}_{\text{Solucion 2}} &= \frac{\text{Costo Total de la Inversion}}{\text{Ahorros Mensuales}} \\ &= \frac{\$ 35'729.000}{\$ 18'587.500 \text{ mensuales} + \frac{\$ 28'647.586 \text{ anuales}}{12 \text{ meses}}} = 1,7 \text{ meses} \end{aligned}$$

La recuperación de la inversión según criterio Payback, requiere 1,7 meses o lo que es igual, 1 mes 21 días.

Otra ventaja obtenida es, como ya se mencionó en el numeral 7.2, la eliminación de operaciones que presentan bajo desempeño en procesos de producción, entre ellas, el cambio de tipo de proceso de forja y a su vez, de máquina, pasando de Recalcadora Horizontal al Martillo Vertical de 6.300 Kg - Fuerza. Este cambio da confiabilidad a la empresa gracias al excelente desempeño histórico de esta máquina y sus operaciones, y a que es un Martillo que cuenta con una capacidad de producción mensual instalada de aproximadamente 45.825 piezas/mes y donde el tope máximo de producción real para este Martillo ha sido de 12.000 piezas/mes, alcanzado en el mes de septiembre de 2007 (dicha producción equivale al 26,19% de la capacidad instalada).

Si consideramos la información mencionada en el párrafo anterior, se estaría aprovechando capacidad ociosa dentro de las instalaciones de la planta en 5,46%³² para dicho Martillo, y con esto, se contribuiría a disminuir los costos fijos unitarios.

³² Tomando como referencia la producción mensual de 2.500 tubos y la capacidad instalada de dicha máquina, la cual es de 45.825 piezas / mes.

7.2.2. Cambio de Proceso de Producción con la Solución 2.

El cambio de diseño de producto está atado al cambio de proceso de producción, aunque se conserva la estructura de Forja, Mecanizado y Ensamble, cambian las operaciones y la forma de los componentes. En la Figura 18 mostrada a continuación, se presenta el paralelo entre los procesos y sus principales diferencias.

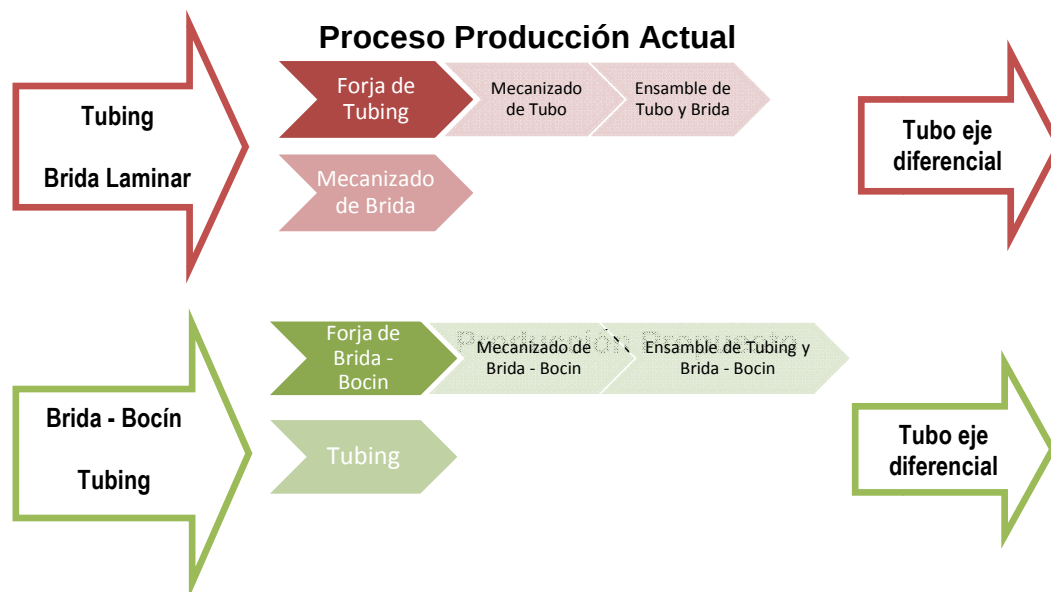


Figura 18 Comparación entre Proceso Actual y Proceso Propuesto
Fuente: El Autor

Es apreciable la diferencia en el diseño de producto, donde actualmente se forja el tubing y a éste se ensambla la brida previamente mecanizada que es de tipo lámina. En el diseño propuesto, se forja la brida que es tipo bocín y a esta se ensambla el tubing sin recibir operación alguna.

Este cambio de proceso impone el cambio casi que total en las operaciones necesarias para obtener un tubo, comparado con las operaciones que actualmente

se manejan para este producto. Afortunadamente la empresa cuenta con la ventaja de tener el “*Know – How*”³³ necesario para desarrollar el nuevo proceso.

Éste, básicamente es similar al proceso de producción de Cubo Rueda, uno de los productos de suma importancia para Forcol gracias a su constante demanda y buena rentabilidad.

Como se puede apreciar en el **ANEXO J**, en el cual se muestran los diagramas de flujo de proceso actual y propuesto, con el nuevo proceso se reduce el número de inspecciones de 6 a 4, las operaciones se redujeron de 10 a 8 y los transportes se mantuvieron igual, en 14. Aunque en el nuevo proceso existen una demora y un almacenamiento más, el impacto negativo de éstos no es representativo frente al impacto positivo generado por la reducción de las inspecciones y operaciones, donde se requiere de personal, maquinaria, energía y tiempo, recursos que representan un alto costo para la empresa.

7.3. SELECCIÓN DE ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN MÁS ATRACTIVA.

Siendo consecuente con la información consultada, los datos recopilados y los análisis hechos por el personal integrante del “Team Charter”, y siempre asesorados tanto por el Gerente General como por el Gerente de Planta de Forcol Ltda. y utilizando criterios de selección basados en el tiempo de recuperación de la inversión, reducción en costos, mejorías en calidad del producto y control sobre los procesos productivos, se elige como mejor alternativa la Solución 2, teniendo como criterio de selección que la inversión necesaria para las dos alternativas es casi la misma y que el periodo de tiempo hallado en el ‘payback’ es bastante atractivo para esta segunda alternativa, esto sin contar el gran valor generado por la satisfacción del cliente con la reducción del costo de producción y eliminación de la gran mayoría de fallas externas de calidad.

³³ Know How se deriva de un término inglés que hace referencia al ‘saber hacer’ o ‘saber como hacer’.

Teniendo esto claro, se expone ésta alternativa de solución al Gerente de Ingeniería de Transejes S.A., el Ingeniero Carlos Amorocho, para contar con su aprobación de dicha alternativa. Es necesario resaltar que el cliente (Transejes S.A.) por intermedio del Ing. Amorocho desde el comienzo del proyecto conoce de los esfuerzos hechos en Forcol para mejorar su proceso de producción y siempre ha estado al tanto del proyecto de mejora.

Finalmente, Transejes S.A. aprueba³⁴ y apoya³⁵ a Forcol en la solución planteada para el mejoramiento de los procesos de forja, mecanizado y ensamble de tubos para ejes diferenciales, exigiendo que se formalice el cambio presentando el correspondiente PPAP de cambio de proceso, con el fin de tener información de proceso actualizada.

7.4. VALIDACIÓN DE LAS MEJORAS

Para la validación de las mejoras fue necesario realizar pruebas de producción en las cuales se confrontaron los datos obtenidos en la etapa Medir con datos tomados después de las mejoras hechas al proceso y al producto. Estas pruebas fueron realizadas el 5 y 6 de agosto de 2008, bajo el compromiso de la empresa.

Las razones por las cuales se programaron estas pruebas para esta fecha son en su estricto orden:

- Necesidad de tiempo para el montaje de las mejoras propuestas en las diferentes máquinas y procesos.
- Seguimiento y ajuste del programa de producción anual de la empresa para destinar los recursos necesarios para este lote, ya que se requiere de máquinas y personal para realizar dicha manufactura.

³⁴ Sustentado con la elaboración de los planos de nuevo diseño de producto.

³⁵ Mediante la capacitación en Seis Sigma al personal de planta de Forcol Ltda.

- Trámites comerciales con el cliente (Transejes S.A.) para retomar la producción del producto en cuestión, que había sido suspendida a raíz de la crisis político y diplomática con el vecino país del Ecuador, en el que se encuentra el cliente final, MARESA (Manufacturas, Armadurías y Repuestos Ecuatorianos S.A.)

Es importante destacar que en los últimos cuatro meses las exportaciones de productos colombianos hacia el Ecuador se vieron afectadas a raíz de la crisis mencionada.

La prueba de producción en la cual se tomaron los datos obtenidos en el cambio de diseño y de proceso se certifica con la carta presentada en el **ANEXO K**.

8.CONTROLAR.

Después de haber realizado las mejoras de los procesos de producción, el siguiente paso dentro de la metodología es formular una técnica para monitorear el desempeño de las operaciones y de esta manera controlar los parámetros de proceso. Para esto, la técnica mas apropiada para ejercer control de proceso es el CEP (Control Estadístico de Procesos). El CEP es una herramienta objetiva que ayuda en la toma de decisiones y facilita el proceso de constante mejora en una empresa, esto es una prioridad si una empresa desea ser más competitiva.

La idea de implementar esta técnica, es generar la cultura organizacional de monitoreo en tiempo real y poder detectar la causa de los problemas desde su fuente.

Este trabajo requiere que un grupo de personas lideren esta iniciativa de control de proceso y se realizará bajo la responsabilidad del Gerente de Planta de Forcol. Para ello, se incorporaron dos estudiantes en práctica de la Escuela de Estudios Industriales y Empresariales de la Universidad Industrial de Santander, quienes liderarán la incorporación de este sistema de monitoreo en los procesos productivos de la empresa, dentro de ellos, el de producción de tubos para ejes diferenciales. Estos dos estudiantes actualmente ya están vinculados con la empresa como practicantes y adelantan desde el pasado mes de mayo, la implementación de este proyecto CEP.

El planteamiento del proyecto se extrae del plan de trabajo de grado de los dos estudiantes en práctica, y se expone a continuación.

8.1. IMPLEMENTACIÓN CEP³⁶

Con la implementación de esta técnica de control de proceso se desea trabajar específicamente en el área de operaciones, donde puede no solo generar impacto positivo en indicadores propios del área, como la productividad y los rechazos externos, sino que también influencia positivamente en otros procesos e indicadores de la organización, como el de volumen de ventas o de reducción de inventarios.

La importancia de realizar esfuerzos por mejorar la calidad de los procesos clave de la empresa (como lo son los procesos de manufactura), está en que una mejora en este aspecto puede indirectamente reducir los reclamos de los clientes al aumentar la calidad y cantidad de productos entregados dentro de especificaciones, aumentar la facturación de la empresa al entregar todos los pedidos completos o sin contratiempos y aumentar la motivación del personal, y por ende, los ingresos de estos al aumentar el componente variable de la remuneración.

Este problema de calidad se puede demostrar visualmente en la planta, al observar que existen lotes completos de productos terminados que se acumulan como inventario de producto no conforme, bien sea porque su salida no ha sido aprobada en la inspección final, o porque simplemente son devueltos por el cliente. Esto implica que exista un problema de despilfarro importante, ya que la inversión en tiempo, capital de trabajo y recurso humano se está desperdiciando (excediéndose sin necesidad) a medida que aumentan los esfuerzos en retrabajos

³⁶ÁLVAREZ CÁRDENAS, Lilián Andrea. SERRANO GUERRA, Iván Darío. "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL ESTADISTICO DE PROCESOS EN LA EMPRESA FORCOL LTDA." Bucaramanga, 2008, p 28. Plan de Proyecto de Grado de Ingeniería Industrial. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico - Mecánicas. Escuela de Estudios Industriales y Empresariales.

para recuperar los productos defectuosos o, en el peor de los casos, a medida que las piezas se convierten en chatarra.



Figura 19 Inventario de producto no conforme

Ahora, si bien se conoce de la existencia de este problema de calidad, lo cual es un buen comienzo, no se cuenta con una acción correctiva lo suficientemente efectiva para resolverlo. En primera instancia, no basta con simplemente detectar los productos defectuosos, ya que el despilfarro, se identifique o no, la no conformidad se continúa presentando mientras se siga procesando todo el lote. Lo que realmente es valioso para la organización es contar con información confiable que le permita a quien monitorea el proceso actuar de manera correcta y oportuna para prevenir que se presenten los defectos.

En segundo lugar, cuando del proceso se obtienen no conformidades, no se sabe a ciencia cierta cuáles fueron las causas (errores) que desataron esas consecuencias (defectos), sino que se opta por tomar acciones correctivas basadas en los síntomas observados y en la experiencia adquirida gracias al

conocimiento de casos que ya se habían presentado con anterioridad. Esto conlleva a que en el momento de decidir cuáles de las diferentes alternativas de acción se pueden poner en marcha para acabar con el problema, no exista una clara relación entre la causa específica y el efecto esperado que permita identificar un correctivo bien sustentado.

Por lo tanto, y debido a que para ninguna organización es saludable mantener en el tiempo diferentes tipos de desperdicio, se hace necesaria la implementación en la planta de un sistema de control estadístico de la calidad, el cual entregue información acerca del desempeño del proceso a su responsable, y que le permita tomar decisiones (basadas en datos procesados y validados estadísticamente) sobre las variables de proceso cuyo impacto en las variables de producto se conozca con certeza, dándole a la empresa la posibilidad de tener sus procesos de manufactura bajo control, y así poder predecir si las piezas serán entregados dentro de las especificaciones de sus clientes, es decir, asegurarles que allí se fabrican productos de calidad.

8.1.1. Alcance Del Proyecto De Implementación CEP

Diseñar e implementar un sistema de control estadístico en el proceso de fabricación de las líneas de juntas fijas, espigos, trípodes, tubo de eje diferencial y cubo rueda con al menos un mes de seguimiento, en un trabajo mancomunado con los responsables del área de operaciones de la empresa. Esto implica capacitar a los operarios en el manejo e importancia de apoyarse en el uso de herramientas estadísticas como los gráficos de control, para monitorear las características críticas de calidad y alimentar con datos confiables al sistema, el cual, a su vez, pueda generar información clara y veraz acerca del desempeño y la capacidad del proceso.

8.1.2. Objetivos De Proyecto Implementación CEP

Se establecen como objetivos del proyecto de implementación de CEP los mencionados a continuación³⁷.

OBJETIVO GENERAL

- Diseñar e implementar un sistema de control estadístico de proceso, que le permita a FORCOL Ltda. contar con información clara, veraz y oportuna acerca del desempeño y la capacidad de los procesos de fabricación de las líneas de juntas fijas, espigos, trípodes, tubo de eje diferencial y cubo rueda.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar las características más importantes para los clientes y los problemas de calidad actuales mediante un diagnóstico de la empresa
- Determinar las características críticas de calidad
- Seleccionar los gráficos de control para hacer seguimiento a las variables de producto según las condiciones propias de cada proceso
- Capacitar el área de operaciones de la empresa (ingenieros, supervisores, operarios) durante el transcurso del proyecto.
- Determinar los índices de capacidad de los procesos

³⁷ Ibid., p 30.

8.1.3. Cronograma de Implementación Proyecto CEP.

El tiempo necesario para el diseño de la implementación de CEP en Forcol está regulado por el cronograma presentado en la Figura 20, en él, se plantea un horizonte temporal de 24 semanas (aproximadamente 6 meses), tiempo en el cual se debe hacer el diseño de gráficos de control y parámetros a controlar en los procesos productivos, entre ellos el de producción de tubos para ejes diferenciales.

ETAPAS	TIEMPO (Semanas)	CRONOGRAMA DE TRABAJO																							
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Conocimiento del proceso productivo		■																							
Descripción del proceso			■																						
Diagnóstico inicial de la empresa				■																					
Definición de variables de proceso y de producto					■																				
Análisis de criticidad y AMFE						■																			
Identificación de las características críticas de calidad							■																		
Medición y procedimiento de muestreo								■																	
Toma y análisis de datos									■																
Caracterización del proceso										■															
Entrenamiento del personal											■														
Control del proceso												■													
Análisis de los resultados obtenidos en la etapa de control													■												
Determinación de los índices de capacidad y del nivel sigma														■											
Elaboración del plan de acción																■									
Montaje del sistema																		■							
Seguimiento del sistema																						■	■	■	■

Figura 2110 Cronograma de Implementación de CEP

Fuente: *Ibíd.*, p 33.

Hasta la fecha, sobre en este proyecto se han adelantado las fases de conocimiento de proceso productivo, descripción de procesos, diagnostico inicial de la empresa y definición de variables de proceso y producto.

9. CONCLUSIONES

- Las mejoras hechas en el presente trabajo de grado son ajustables a las tres referencias de producto restantes que se fabrican en la empresa, ya que los procesos son exactamente iguales para todas las referencias. Además dentro de las inversiones hechas hay controles de temperatura y flujo de gas establecidos en un horno de calentamiento del proceso de forja que puede ser utilizado en la fabricación de cualquier producto.
- Los estudios de capacidad hechos para las diferentes operaciones de los tres procesos principales de fabricación, arrojan valiosa información acerca del comportamiento y desempeño de los elementos usados en dichas operaciones. Los niveles sigma hallados para cada uno de los procesos de forja, mecanizado y ensamble son respectivamente 1.88, (- 2.03) y 1.09. Estos valores comparados con el valor objetivo seis (6) son muy bajos lo que confirma la necesidad de los cambios hechos en los procesos de fabricación.
- Las principales no conformidades encontradas dentro de los RMD's de 2007 fueron cascarilla en diámetro interior de tubo, mancha en brida, Run Out mayor y manchas en diámetro interno de tubo, representando el 80% de las no conformidades, y de este 80%, el 75% corresponden al proceso de forja, información obtenida de la figura 13 que presenta el Diagrama Pareto del resumen de las no conformidades del año 2007.
- Los requerimientos críticos del cliente junto con las características reportadas en los RMD'S de 2007 suministraron a la empresa las variables

a controlar dentro de los procesos de forja, mecanizado y ensamble. Con éstas se determinaron las causas raíz de los principales problemas de producción, dentro de las cuales se tienen como las más significativas la falta de control en la operación de calentamiento, desgaste prematuro de las matrices y punzones, máquinas de mecanizado con desajustes y prensa de ensamble con excesiva fuerza.

- Las materias primas tubing y brida entraron a los procesos de producción de Forcol con características y especificaciones de acuerdo a las exigencias hechas por la empresa. El nivel optimo de nivel sigma es seis (6) y los niveles correspondientes a las tres características estudiadas fueron 6.32, 3.32 y 2.49 siendo este último, el único con bajo desempeño y corresponde a la característica espesor de brida.
- Teniendo en cuenta todas las variables estudiadas, la que tuvo el desempeño de proceso mas pobre fue la variable 'mecanizado de diámetro interior de brida', donde su nivel sigma fue de $(- 2,03)$ e indica que la máquina usada para realizar este mecanizado no cuenta con capacidad para realizar esta operación.
- El cambio de diseño de producto aparte de ser la alternativa de mejora más rentable para la empresa, ofrece también la opción de aprovechar capacidad instalada y recursos ociosos. Se aprovecharía el 5,46% de capacidad ociosa en el Martillo de 6300 Kg – Fuerza.
- Con este trabajo de grado la empresa entendió la importancia de tener un método para escuchar la voz del cliente, y mediante ésta, conocer las necesidades exactas de lo que este quiere. Es necesario para los involucrados tener una retroalimentación en cuanto a la satisfacción del cliente y lo que el desea encontrar en los productos.

- El software **MINITAB 15** ® ofrece herramientas estadísticas y analíticas muy valiosas para el estudio y conocimiento de las operaciones. En él, la empresa encontró la forma de analizar los datos de manera exacta y orientada a la medición Seis Sigma.

10. RECOMENDACIONES

- Es conveniente que después de establecer el nuevo proceso de producción para la fabricación de tubos para ejes diferenciales se realice el correspondiente análisis del valor para cada uno de los procesos y de esta forma identificar las operaciones que no representan valor agregado al cliente, buscando con esto, se incorpore la filosofía de mejoramiento continuo en este proceso de producción.
- Después de implementar el nuevo diseño de producto, es apropiado posterior a la primera entrega de producto, se busque el mecanismo para escuchar la voz del cliente y replantear los requerimientos críticos del mismo, de acuerdo al nuevo desempeño del producto y así, tener como primer punto de referencia de mejora, la necesidad del cliente.
- Esta metodología de mejoramiento demuestra ser bastante objetiva en el análisis de procesos; brinda datos e indicadores que son fácilmente manejables y entendibles, por eso se plantea que se emplee la metodología Seis Sigma para el mejoramiento de las demás líneas de producción de la empresa.
- Es conveniente desarrollar planes de mantenimiento preventivo de las máquinas de forja, mecanizado y ensamble, ya que muchas variaciones en las operaciones son Causadas por desgaste y desajustes en las partes y piezas de la maquinaria.

- Se debe establecer un método o sistema para monitorear los indicadores obtenidos en cada proceso de fabricación de tubos para ejes diferenciales, ésto orientado a tener voz del proceso, por medio de la cual, la empresa está en capacidad de detectar a tiempo comportamientos con varianzas especiales.

BIBLIOGRAFÍA

- ÁLVAREZ CÁRDENAS, Lilián Andrea. SERRANO GUERRA, Iván Darío. "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL ESTADISTICO DE PROCESOS EN LA EMPRESA FORCOL LTDA." Bucaramanga, 2008, 38 h. Plan de Proyecto de Grado de Ingeniería Industrial. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico - Mecánicas. Escuela de Estudios Industriales y Empresariales.
- CARIÑO GARAY, Rubén. Artículo "Seis Sigma y la capacidad del proceso en proyectos." En: Revista Tendencias Tecnológicas. Boletín Julio – Agosto 2002. Pág. 164 – 173.
- DAIMLERCHRYSLER CORPORATION, FORD MOTOR COMPANY, GENERAL MOTORS CORPORATION. "Production Part Approval Process" Fourth Edition. 2006. 68 h.
- DANA TRASEJES COLOMBIA, "Página oficial" [en línea]. <<http://www.transejes.com/prohomo.php> > [acceso el 20 de junio de 2007]
- LOWENTHAL, Jeffrey N. "Guía para la aplicación de un proyecto Seis Sigma." Fundación Confemetal. Año 2.002.
- Manual de "Capacitación Seis Sigma Green Belt." Dana University. PRICEWATERHOUSECOOPERS. Año 2.000.
- Manual de Calidad FORCOL Ltda. Descripción de las Áreas Funcionales. Bucaramanga: FORCOL LTDA. 2007.
- MONTGOMERY, Douglas. "Control Estadístico de la Calidad." Tercera Edición. Limusa Wiley. Año 2.006.
- PANDE, Meter S. "Las Claves de Seis Sigma." McGraw–Hill/Interamericana de España. Año 2.002.

ANEXOS

SEIS SIGMA TEAM CHARTER

NOMBRE DEL PROYECTO:

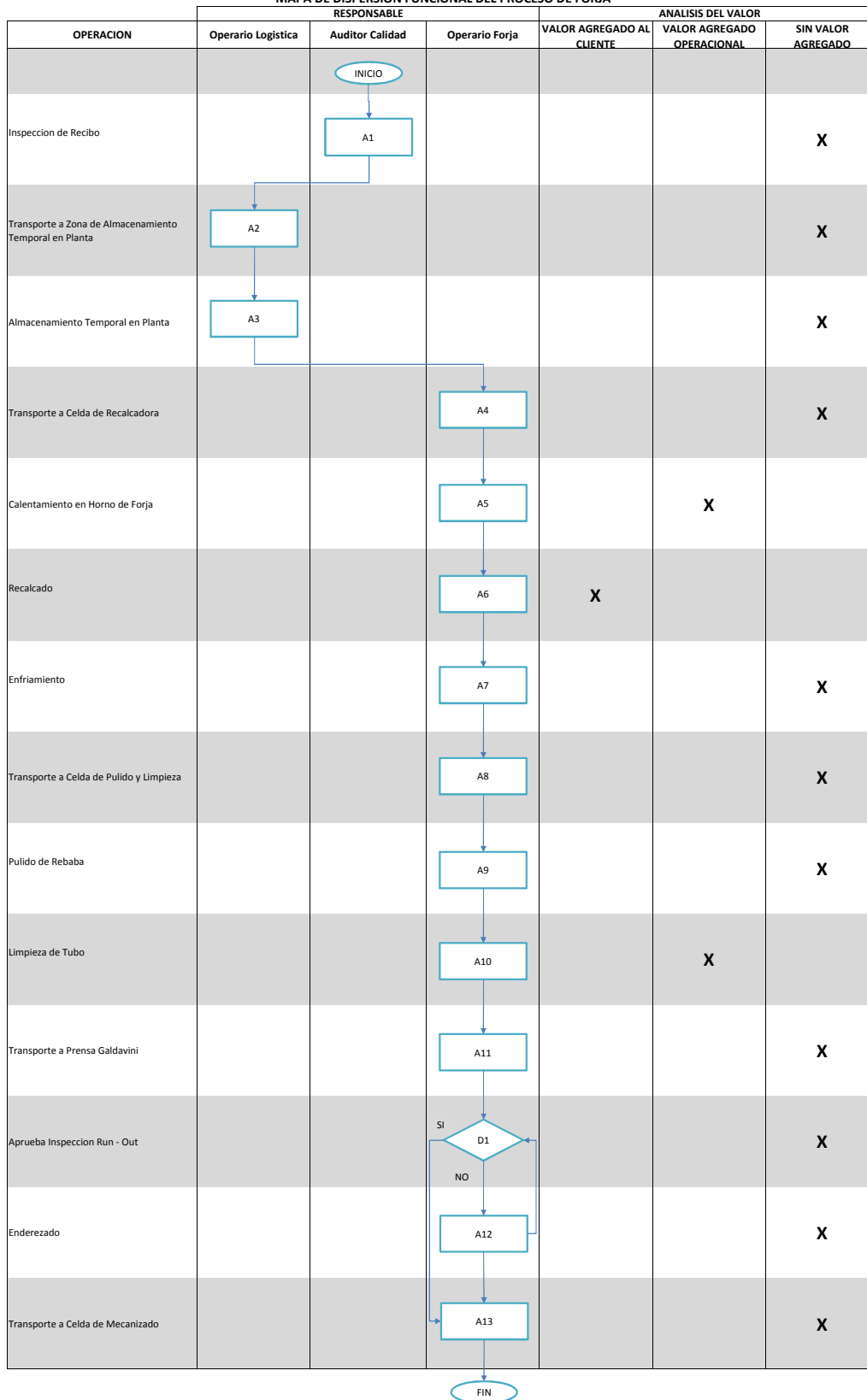
Mejoramiento de los Procesos de Forja, Mecanizado y Ensamble
de Tubos para Ejes Diferenciales

mediante los Lineamientos de la Herramienta Seis Sigma en Forcol Ltda.

IMPACTO EN LOS NEGOCIOS	DECLARACION DE OPORTUNIDAD																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
DEBIDO A COSTOS DE NO CALIDAD (Costos Externos) ESTIMADOS EN \$80 MILLONES DE PESOS, FORCOL ABANDONO EL NEGOCIO DEJANDO DE FACTURAR \$422 MILLONES EN EL AÑO 2008 Y DEJANDO DE RECIBIR UNA UTILIDAD DE \$63,4 MILLONES Y AUMENTANDO EL COSTO DE KILO FORJADO UN 7%. NECESITAMOS RECUPERAR EL NEGOCIO ELIMINANDO LOS COSTOS DE NO CALIDAD EXTERNOS.	RECUPERAR EL NEGOCIO REPRESENTA UNA UTILIDAD DE \$63.4 MILLONES ANUALES Y UNA DISMINUCION DEL COSTO DEL KILO FORJADO EN 7%, Y AL ELIMINAR LOS COSTOS DE NO CALIDAD SE EVITA LA PERDIDA DE \$80 MILLONES ANUALES																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
DECLARACION DEL OBJETIVO	AMBITO DEL PROYECTO																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
- Reducir los PPM's externos de 50.000 a 500. - Reducir el SCRAP interno a 5.000 PPM's. - Reducir el LEAD TIME a maximo 8 dias. - Definir estandares de produccion.	Inicio: Recepción de materia prima Final: Inspeccion final en Guatiguara.																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
PLAN DEL PROYECTO	EQUIPO																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
<table><tr><th colspan="21">CRONOGRAMA DE DESARROLLO DE PROYECTO SEIS SIGMA</th></tr><tr><th rowspan="2">No</th><th rowspan="2">ACTIVIDAD</th><th colspan="4">Noviembre</th><th colspan="4">Diciembre</th><th colspan="4">Enero</th><th colspan="4">Febrero</th><th colspan="4">Marzo</th></tr><tr><th>1</th><th>2</th><th>3</th><th>4</th><th>1</th><th>2</th><th>3</th><th>4</th><th>1</th><th>2</th><th>3</th><th>4</th><th>1</th><th>2</th><th>3</th><th>4</th><th>1</th><th>2</th><th>3</th><th>4</th></tr><tr><td>1</td><td>Crear "team" Charter</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>2</td><td>Definición de requisitos críticos del cliente</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>3</td><td>Análisis de la situación Actual</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>4</td><td>Caracterización del proceso</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>5</td><td>Análisis del valor en las operaciones</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>6</td><td>Elaborar Plan de medición</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>7</td><td>Ejecución de Plan de medición</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>8</td><td>Análisis estadístico de la medición</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>9</td><td>Determinar causas raíces reales.</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>10</td><td>Proponer Alternativas de mejora</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>11</td><td>Validación de las mejoras</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>	CRONOGRAMA DE DESARROLLO DE PROYECTO SEIS SIGMA																					No	ACTIVIDAD	Noviembre				Diciembre				Enero				Febrero				Marzo				1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	Crear "team" Charter																					2	Definición de requisitos críticos del cliente																					3	Análisis de la situación Actual																					4	Caracterización del proceso																					5	Análisis del valor en las operaciones																					6	Elaborar Plan de medición																					7	Ejecución de Plan de medición																					8	Análisis estadístico de la medición																					9	Determinar causas raíces reales.																					10	Proponer Alternativas de mejora																					11	Validación de las mejoras																					Patrocinador: Luis Alberto Santos Coordinador: Giovani Arturo Parra (GB) Logistica: Leonardo Valencia Calidad: Carlos Pimiento Ingenieria: Jesus Alberto Chacón Procesos: Johana Marcela Rubiano Produccion: Carlos Rivera y José Celis Ing. Industrial: Sergio Duarte Mantenimiento: Omar Fdo Gomez Guatiguara: Cesar Nocua y Gabriel Cadena Transejes: Miguel A Pimiento SGC: Paola Gonzalez Perez
CRONOGRAMA DE DESARROLLO DE PROYECTO SEIS SIGMA																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
No	ACTIVIDAD	Noviembre				Diciembre				Enero				Febrero				Marzo																																																																																																																																																																																																																																																																																																
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4																																																																																																																																																																																																																																																																																													
1	Crear "team" Charter																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
2	Definición de requisitos críticos del cliente																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
3	Análisis de la situación Actual																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
4	Caracterización del proceso																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
5	Análisis del valor en las operaciones																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
6	Elaborar Plan de medición																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
7	Ejecución de Plan de medición																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
8	Análisis estadístico de la medición																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
9	Determinar causas raíces reales.																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
10	Proponer Alternativas de mejora																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
11	Validación de las mejoras																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	

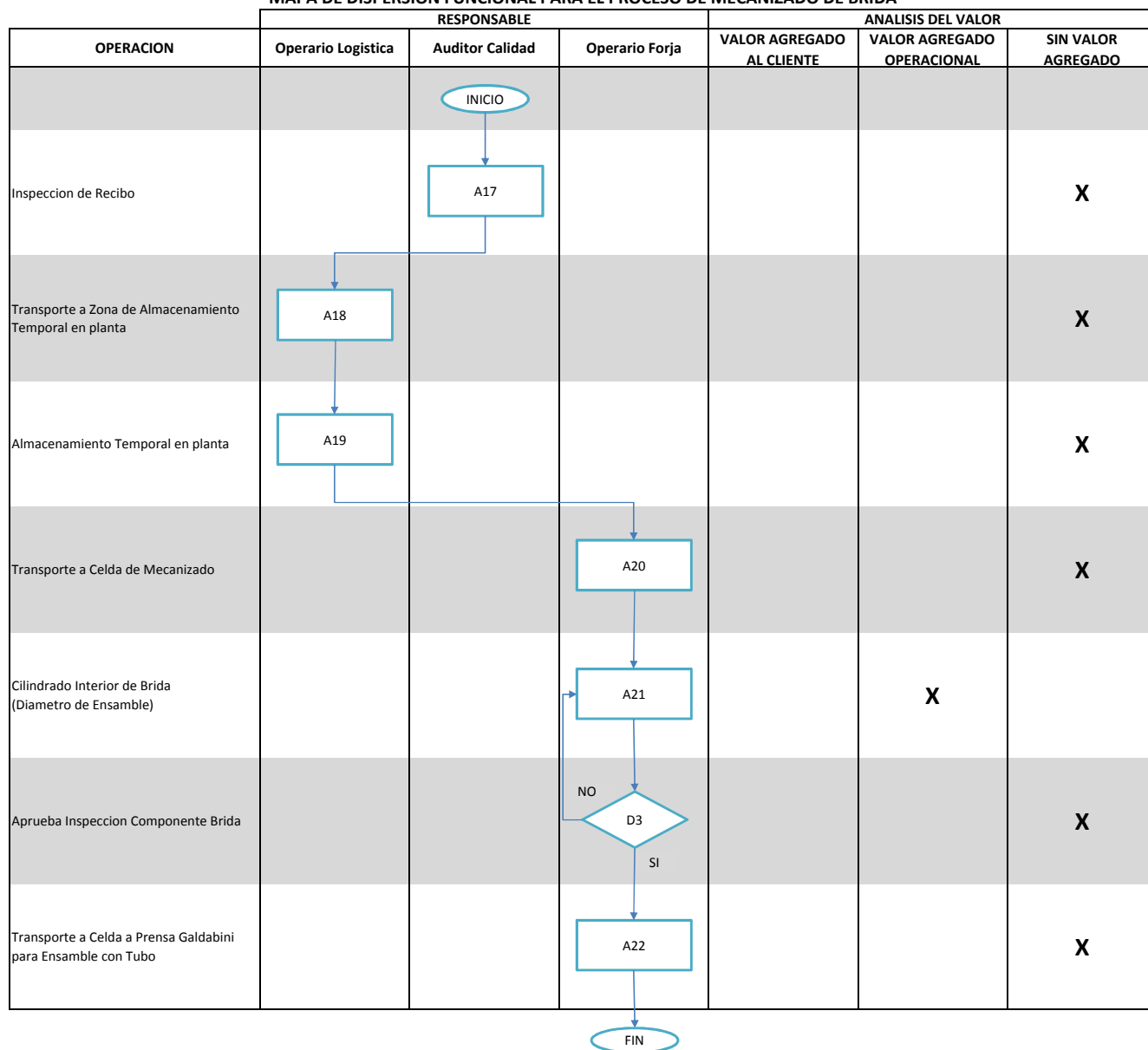
ANEXO B

MAPA DE DISPERSION FUNCIONAL DEL PROCESO DE FORJA



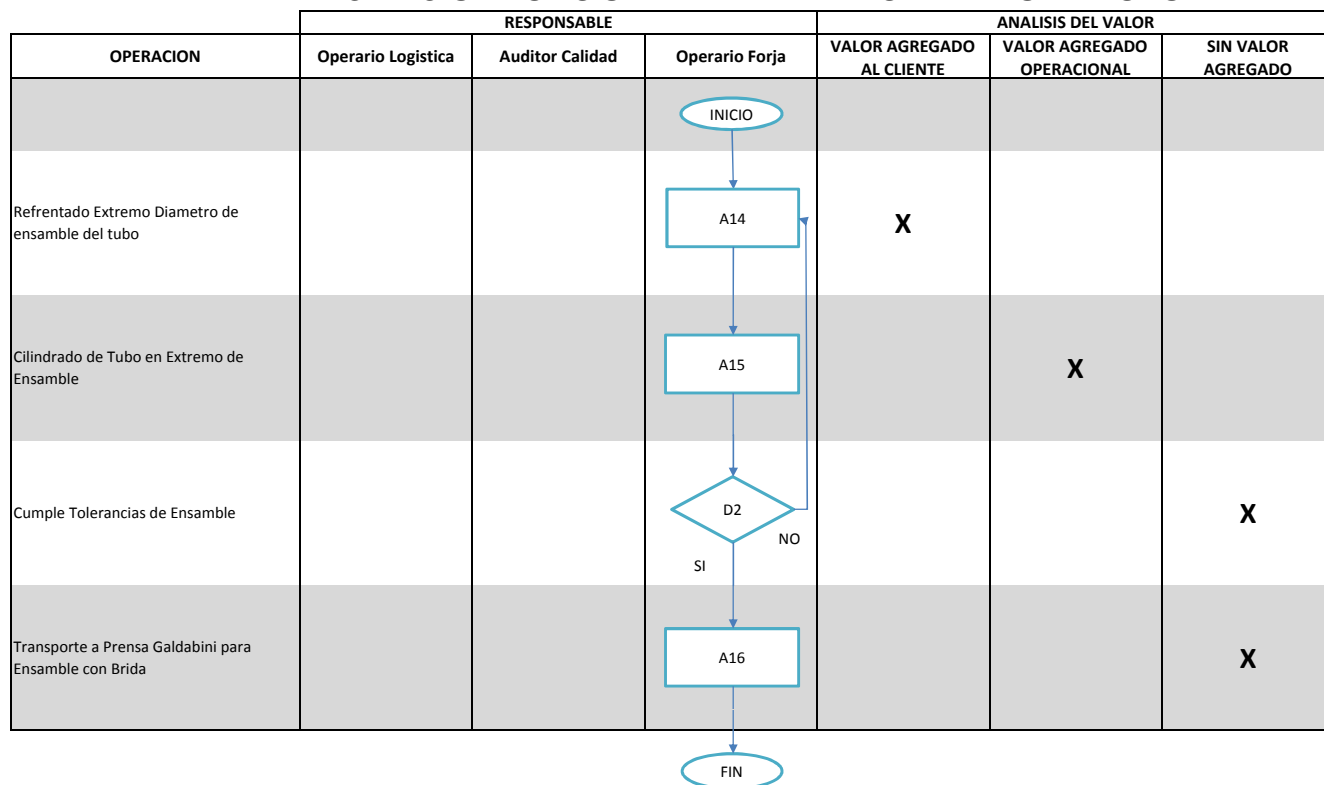
ANEXO C

MAPA DE DISPERSION FUNCIONAL PARA EL PROCESO DE MECANIZADO DE BRIDA



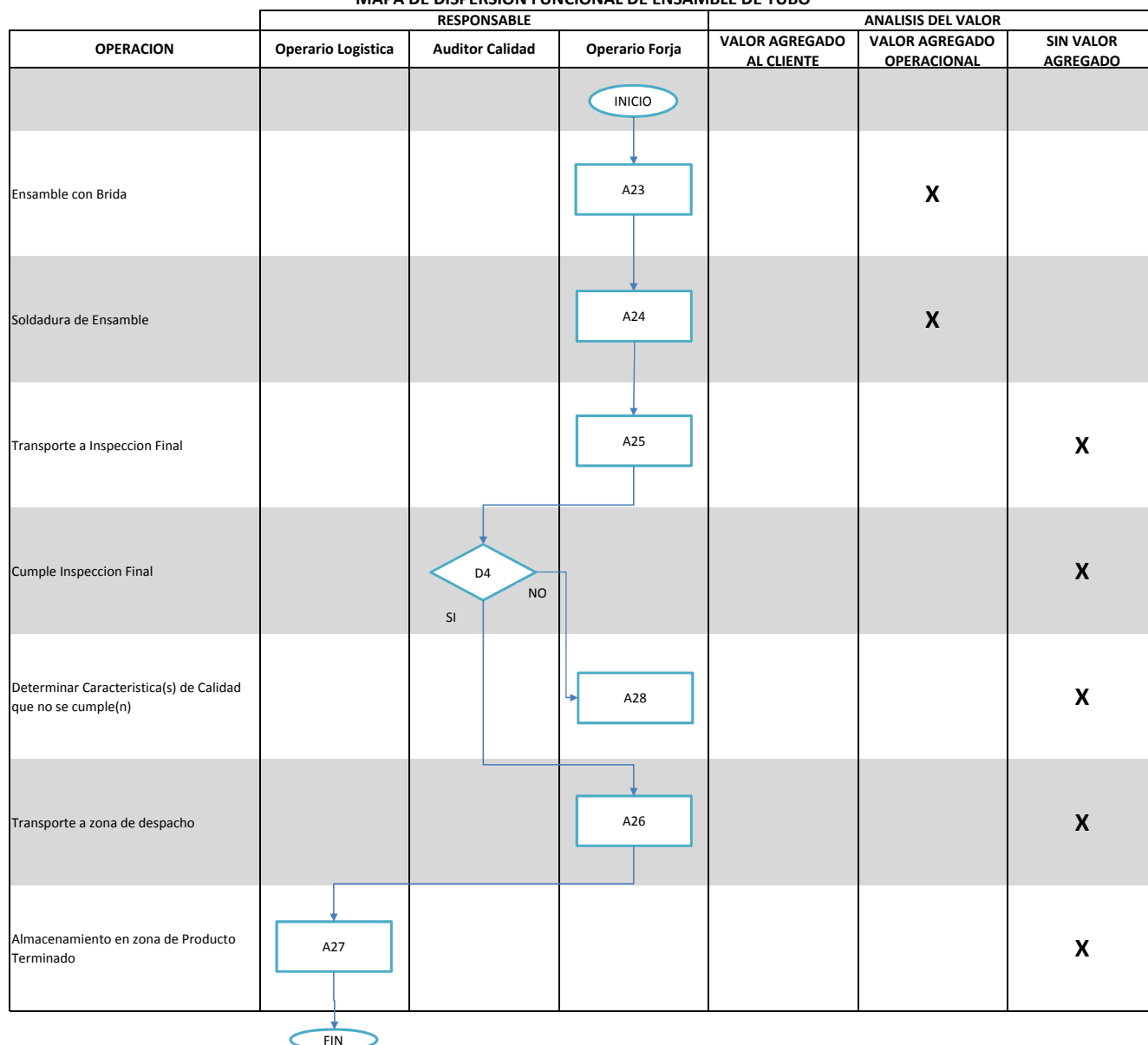
ANEXO D

MAPA DE DISPERSION FUNCIONAL PARA EL MECANIZADO DE TUBO



ANEXO E

MAPA DE DISPERSION FUNCIONAL DE ENSAMBLE DE TUBO



ANEXO F - 1



PLAN DE CONTROL DE PROCESO TUBO FORJADO Y MECANIZADO

Customer Name DANA TRANSEJES		Part No. (Customer) 2012257T-3	Latest Change 18/11/2004	Part Name TUBO FORJADO Y MECANIZADO		Supplier Name FORCOL		Type Prelanzamiento				
Control Plan No. UPC-001		Date (Orig.) 25/11/2004	Core Team COORD. PRODUCCION / COORD. PROCESOS / COORD. MTTO / ING. PRODUCTO				Part No. (Supplier) 2012257T-3		Date (Rev.) 03/12/2004			
Customer Approval (If Required)				Other Approval (If Required)								
Engineering		Date	Quality		Date			Date			Date	
Part Process Number	Process Name / Operation Description	Machine, Device, Jig, Tools For MFG	Characteristics			Special Char. Class	Methods					Reaction Plan
			No.	Product	Process		Spec./Tol. Prod./Proc.	Evaluation Meas. Tech.	Sample size	Sample Frequency	Control Method	
	INSPECCIÓN DE RECIBO		1	Número de parte y cantidades			° De acuerdo al Instructivo recepción de material I7-001-0597	° Por conteo	° Todo el lote	° 100%	° Ficho de embarque	° Realizar informe para enviarle al proveedor,
			2	Inspección del material (acero)			° Según PPAP Proveedor	Según Información del Proveedor	° NA	° NA	° Según PPAP Proveedor	° Realizar informe para enviarle al proveedor,
			3	Inspección dimensional			° Plan de control para la inspección de recibo por cada componente	° Microdurometro, ° Gramil ° Calibrador ° Torre master	° Según % AOQL 5,00%	° Cada lote y de acuerdo a la evaluación del proveedor I7-026-0797	° Registro de inspección de recibo F7-050-0597	° Realizar informe para enviarle al proveedor, rechazar
	CALENTAMIENTO	HORNO MHF 07	5	Pieza libre de cascarilla			° Libre de cascarilla	° Visual	° Todas	° 100 %	° Visual	° Reajustar puesta a punto
			6	Longitud de calentamiento			° 160 ± 10	° Flexometro	° 1 Pieza	° Cada puesta a punto	° Carta puesta a punto	° Reajustar puesta a punto
				Temperatura			° 1100 -1300°C	° Pirómetro	° 1 Pieza	° Cada puesta a punto	° Carta puesta a punto	° Reajustar puesta a punto
				Tiempo			° 30 Min. Ref.	° Cronómetro	° 1 Pieza	° Cada puesta a punto	° Carta puesta a punto	° Reajustar puesta a punto
				Lote carga inicial			° 12 Piezas	° Visual	° 1 Pieza	° Cada puesta a punto	° Carta puesta a punto	° Reajustar puesta a punto
				Chequeo limpieza del piso			° Libre de cascarilla	° Visual	° 1 Pieza	° Cada puesta a punto	° Carta puesta a punto	° Reajustar puesta a punto
				Mezcla aire / gas			° Según tabla ° Ayuda visual	° Visual	° 1 Pieza	° Cada puesta a punto	° Carta puesta a punto	° Reajustar puesta a punto
	RECALCADO	RECALCADORA MMP 01	7	Diámetro Swage			° 69.85 - 70.26	° Galga Go-NoGo ° Calibrador	° 2 Piezas ° Cada puesta a punto	° Cada 80 piezas ° Carta Control	° Reajustar puesta a punto	
			8	Diámetro exterior recalcado			° 87.94 - 89.89	° Galga Go-NoGo ° Calibrador	° 2 Piezas ° Cada puesta a punto	° Cada 80 piezas ° Carta Control	° Reajustar puesta a punto	
									° 1 Pieza ° Cada 80 piezas			
			9	Diámetro interior recalcado			° 66.68 - 69.09	° Calibrador	° 2 Piezas ° Cada puesta a punto	° Cada 80 piezas ° Carta Control	° Reajustar puesta a punto	
			° 1 Pieza ° Cada 80 piezas									
			10	Longitud total			° 570.44 ± 1.52	° Flexómetro	° 2 Piezas ° Cada puesta a punto	° Cada 80 piezas ° Carta Control	° Reajustar puesta a punto	
									° 1 Pieza ° Cada 80 piezas			
			11	Longitud recalcada			° 60.32 ± 1.52	° Calibrador	° 2 Piezas ° Cada puesta a punto	° Carta puesta a punto	° Reajustar puesta a punto	
									° 1 Pieza ° Cada 80 piezas			

ANEXO F - 1



PLAN DE CONTROL DE PROCESO TUBO FORJADO Y MECANIZADO

Customer Name DANA TRANSEJES			Part No. (Customer) 2012257T-3		Latest Change 18/11/2004		Part Name TUBO FORJADO Y MECANIZADO		Supplier Name FORCOL		Type Prelanzamiento	
Control Plan No. UPC-001		Date (Orig.) 25/11/2004	Core Team COORD. PRODUCCION / COORD. PROCESOS / COORD. MTTO / ING. PRODUCTO		Part No. (Supplier) 2012257T-3				Date (Rev.) 03/12/2004			
Customer Approval (If Required)					Other Approval (If Required)							
Engineering		Date	Quality		Date					Date		
Part Process Number	Process Name / Operation Description	Machine, Device, Jig, Tools For MFG	Characteristics			Special Char. Class	Methods					Reaction Plan
			No.	Product	Process		Spec./Tol. Prod./Proc.	Evaluation Meas. Tech.	Sample size	Sample Frequency	Control Method	
			12	Cascarilla		° Sin cascarilla	° Visual	° 1 Pieza	° Cada puesta a punto	° Carta puesta a punto	° Reajustar puesta a punto	
			13	Deformaciones		° Uniformidad	° Visual	° 1 Piezas	° Cada puesta a punto	° Carta puesta a punto	° Reajustar puesta a punto	
			14	Forja incompleta		° Uniformidad	° Visual	° 1 Pieza	° Cada puesta a punto	° Carta puesta a punto	° Reajustar puesta a punto	
			15	Porosidades		° Sin poros	° Visual	° 1 Pieza	° Cada puesta a punto	° Carta puesta a punto	° Reajustar puesta a punto	
					Presión de la maquina	° 4 / 6 BAR	° Manómetro	° 1 Pieza	° Cada puesta a punto	° Carta puesta a punto	° Reajustar puesta a punto	
	LIMPIEZA Y ESMERILADO	ESMERIL MANUAL	16	Remoción de rebabas y cascarilla		° Libre de escorias	° Visual	° Todos	° 100 %	° Visual	° Volver a limpiar y/o esmerilar	
	TORNEADO Y REFRENTADO	TORNO CARDIF	17	Diámetro exterior zona recalcada		° 86.95 - 87.05	° Galga Go-NoGo ° Calibrador	° 2 Piezas ° 1 Pieza	° Cada puesta a punto ° Cada 80 piezas	° Carta puesta a punto ° Carta Control	° Reajustar puesta a punto	
			18	Longitud total		° 567.44 ± 1.52	° Flexómetro	° 2 Piezas ° 1 Pieza	° Cada puesta a punto ° Cada 80 piezas	° Carta puesta a punto ° Carta Control	° Reajustar puesta a punto	
				Revoluciones		° 500 Ref.	° Tacómetro	° 1 Pieza	° Cada puesta a punto	° Carta puesta a punto	° Reajustar puesta a punto	
	INSPECCION FINAL	ZONA DE INSPECCION FINAL	19	De acuerdo plan de control de inspección final		° Según Plan de Control de Inspección Final	° Micrómetro, ° Gramil, ° Calibrador ° Gage variable	° Según % AOQL 5.00%	° Cada lote	° Registros de plan de control de inspección final	° Rechazar / seleccionar ° Determinación de ingeniería	
	PROTECCIÓN	RECUBRIDORA	20	Recubrir 100 % la superficie		° Recubrir 100%	° Inspección visual	° Todos	° 100 %	° Visual	° Volver a recubrir	
				Referencia del protector		° Aceite antioxidante	° Proveedor	° N.A.	° 1 vez por Semana	° Visual	° Cambio del protector	
				Tiempo de inmersión		° 3 / 5 Seg.	° Temporizador	° N. A.	° 1 vez por Semana	° Hoja de registro	° Reajustar tiempo	
	EMPAQUE	ZONA DE INSPECCIÓN FINAL	21	Protección		° Según Plan de Control de Inspección Final	° Visual	° N.A.	° N.A.	° Visual	° Volver a empacar	
			22	Identificación del material		° Según Plan de Control de Inspección Final	° Visual	° Todos	° 100 %	° Visual	° Volver a identificar	

ANEXO F - 2



PLAN DE CONTROL DE PROCESO DE MECANIZADO DE BRIDA

Customer Name DANA TRANSEJES		Part No. (Customer) 41040T	Latest Change 18/11/2004	Part Name BRIDA TUBO		Supplier Name FORCOL			Type Prelanzamiento	
Control Plan No. VPC-002	Date (Orig.) 25/11/2004	Core Team COORD. PRODUCCION / COORD. PROCESOS / COORD. MTTO / ING. PRODUCTO				Part No. (Supplier) 41040T		Date (Rev.) 03/12/2004		
Customer Approval (If Required)				Other Approval (If Required)						
Engineering		Date	Quality	Date			Date			Date

Part Process Number	Process Name / Operation Description	Machine, Device, Jig, Tools For MFG	Characteristics			Special Char. Class	Methods					Reaction Plan
			No.	Product	Process		Spec./Tol. Prod./Proc.	Evaluation Meas. Tech.	Sample size	Sample Frequency	Control Method	
	INSPECCION DE RECIBO		10	Altura brida		° 135.76 ± 0.76	° Calibrador	° 1 Pieza	° Cada puesta a punto	° Carta puesta a punto	° Reajustar puesta a punto	
			11	Ancho de la brida		° 118.76 ± 0.76	° Calibrador	° 1 Pieza	° Cada puesta a punto	° Carta puesta a punto	° Reajustar puesta a punto	
			12	Espesor de la brida		° 15.24 + 1.52	° Snap-gage ° Calibrador	° 1 Pieza	° Cada puesta a punto	° Carta puesta a punto	° Reajustar puesta a punto	
			13	Diámetro interior brida		° 83.50 - 85.10	° Calibrador	° 1 Pieza	° Cada puesta a punto	° Carta puesta a punto	° Reajustar puesta a punto	
			14	Distancia extremo superior, inferior a centro del Ø interno		° 67.50 + 1.52	° N. D.	° 1 Pieza	° Cada puesta a punto	° Carta puesta a punto	° Reajustar puesta a punto	
			15	Distancia extremo izquierdo, derecho a centro del Ø interno		° 59.0 + 1.52	° N. D.	° 1 Pieza	° Cada puesta a punto	° Carta puesta a punto	° Reajustar puesta a punto	
			16	Radio de la brida		° 13.50 + 1.52	° Galga	° 1 Pieza	° Cada puesta a punto	° Carta puesta a punto	° Reajustar puesta a punto	
			17	Perpendicularidad Ø interno Vs. -A-		° 89° - 91°	° Goniometro	° 1 Pieza	° Cada puesta a punto	° Carta puesta a punto	° Reajustar puesta a punto	
			18	Grietas o pliegues		° Sin grietas	° Visual	° 1 Pieza	° Cada puesta a punto	° Carta puesta a punto	° Reajustar puesta a punto	
			19	Cascarilla		° Sin cascarilla	° Visual	° 1 Pieza	° Cada puesta a punto	° Carta puesta a punto	° Reajustar puesta a punto	

ANEXO F - 2



PLAN DE CONTROL DE PROCESO DE MECANIZADO DE BRIDA

Customer Name DANA TRANSEJES		Part No. (Customer) 41040T	Latest Change 18/11/2004	Part Name BRIDA TUBO		Supplier Name FORCOL			Type Prelanzamiento			
Control Plan No. VPC-002	Date (Orig.) 25/11/2004	Core Team COORD. PRODUCCION / COORD. PROCESOS / COORD. MTTO / ING. PRODUCTO						Part No. (Supplier) 41040T		Date (Rev.) 03/12/2004		
Customer Approval (If Required)					Other Approval (If Required)							
Engineering		Date	Quality		Date					Date		Date
Part Process Number	Process Name / Operation Description	Machine, Device, Jig, Tools For MFG	Characteristics			Special Char. Class	Methods					Reaction Plan
			No.	Product	Process		Spec./Tol. Prod./Proc.	Evaluation Meas. Tech.	Sample size	Sample Frequency	Control Method	
			20	Deformaciones			° Uniformidad	° Visual	° 1 Piezas	° Cada puesta a punto	° Carta puesta a punto	° Reajustar puesta a punto
			21	Forja incompleta			° Uniformidad	° Visual	° 1 Pieza	° Cada puesta a punto	° Carta puesta a punto	° Reajustar puesta a punto
			22	Porosidades			° Sin poros	° Visual	° 1 Pieza	° Cada puesta a punto	° Carta puesta a punto	° Reajustar puesta a punto
					Presión de la maquina		° 4 / 6 BAR	° Manómetro	° 1 Pieza	° Cada puesta a punto	° Carta puesta a punto	° Reajustar puesta a punto
	TORNEADO DIAMETRO INTERIOR	TORNO	24	Diametro interior			° 86.92 - 86.85	° Calibrador	° 2 Piezas	° Cada puesta a punto	° Carta puesta a punto	° Carta puesta a punto
					Revoluciones		° 500 Ref.	° Tanómetro	° 1 Pieza	° Cada puesta a punto	° Carta puesta a punto	° Reajustar puesta a punto
	INSPECCION FINAL	ZONA DE INSPECCIÓN FINAL	25	De acuerdo plan de control de inspección final			° Según Plan de Control de Inspección Final	° Micrómetro, ° Gramil, ° Calibrador ° Gage variable	° Según % AOQL 5,00%	° Cada lote	° Registros de plan de control de inspección final	° Rechazar / seleccionar ° Determinación de ingeniería
	PROTECCIÓN	RECUBRIDORA	26	Recubrir 100 % la superficie			° Recubrir 100%	° Inspección visual	° Todos	° 100 %	° Visual	° Volver a recubrir
					Referencia del protector		° Mobilama	° Proveedor	° N.A.	° 1 vez por Semana	° Visual	° Cambio del protector
					Tiempo de inmersión		° 3 / 5 Seg.	° Temporizador	° N. A.	° 1 vez por Semana	° Hoja de registro	° Reajustar tiempo
	EMPAQUE	ZONA DE INSPECCIÓN FINAL	27	Protección			° Según Plan de Contro de Inspección Final	° Visual	° N.A.	° N.A.	° Visual	° Volver a empacar
			28	Identificación del material			° Según Plan de Contro de Inspección Final	° Visual	° Todos	° 100 %	° Visual	° Volver a identificar

ANEXO F - 3



PLAN DE CONTROL DE PROCESO DE ENSAMBLE DE TUBO - BRIDA

Customer Name DANA TRANSEJES		Part No. (Customer) 2012256T-3X	Latest Change 21/11/2001	Part Name TUBO ENSAMBLADO	Supplier Name FORCOL		Type Prelanzamiento	
Control Plan No. UPC-002	Date (Orig.) 25/11/2004	Core Team COORD. PROCESOS / COORD. MTTO / ING. PRODUCTO				Part No. (Supplier) 2012256T-3X		Date (Rev.) 03/12/2004
Customer Approval (If Required)				Other Approval (If Required)				
Engineering	Date	Quality	Date		Date		Date	

Part Process Number	Process Name / Operation Description	Machine, Device, Jig, Tools For MFG	Characteristics			Special Char. Class	Methods					Reaction Plan
			No.	Product	Process		Spec./Tol. Prod./Proc.	Evaluation Meas. Tech.	Sample size	Sample Frequency	Control Method	
	INSPECCIÓN DE RECIBO		1	Número de parte y cantidades			° De acuerdo al Instructivo recepción de material I7-001-0597	° Por conteo	° Todo el lote	° 100%	° Ficho de embarque	° Realizar informe para enviarle al proveedor,
			2	Inspección de material (componentes a ensamblar)			° Según PPAP Proveedor	° Según Información del Proveedor	° NA	° NA	° Según PPAP Proveedor	° Realizar informe para enviarle al proveedor,
			3	Inspección dimensional			° Plan de control para la inspección de recibo por cada componente	° Microdurometro, ° Gramil ° Calibrador ° Torre master	° Según % AOQL 2.50%	° Cada lote y de acuerdo a la evaluación del proveedor	° Registro de inspección de recibo F7-050-0597	° Realizar informe para enviarle al proveedor, rechazar
	ENSAMBLE BRIDA TUBO	PRENSA MPE-01	4	Longitud total			° 567.44 ± 1.0	° Gramil / flexometro	° 2 Piezas	° Cada puesta a punto	° Carta puesta a punto	° Reajustar puesta a punto
								° 1 Pieza	° Cada 80 piezas	° Carta Control		
			5	Numero de parte tubo			° 2012256T-3	° Visual	° 1 Pieza	° Cada puesta a punto	° Carta puesta a punto	° Reajustar puesta a punto
			6	Numero de parte brida			° 41040T	° Visual	° 1 Pieza	° Cada puesta a punto	° Carta puesta a punto	° Reajustar puesta a punto
			7	Verificación puntos de soldadura			° 2 puntos de soldadura a 180°	° Visual	° 1 Pieza	° Cada puesta a punto	° Carta puesta a punto	° Reajustar puesta a punto
				Presion de la maquina			° 100 Ton.	° Manometro	° 1 Pieza	° Cada puesta a punto	° Carta puesta a punto	° Reajustar puesta a punto
	INSPECCION FINAL	ZONA DE INSPECCION FINAL	8	De acuerdo plan de control de inspección final			° Sgún Plan de Control de Inspección Final	° Micrómetro, ° Gramil, ° Calibrador	° Según % AOQL 5,00%	° Cada lote	° Registros de plan de control de inspección final	° Rechazar / seleccionar ° Determinación de ingeniería
	PROTECCIÓN	RECUBRIDORA	9	Recubrir 100 % la superficie			° Recubrir 100%	° Inspección visual	° Todos	° 100 %	° Visual	° Volver a recubrir
	EMPAQUE	ZONA DE INSPECCION FINAL	10	Protección			° Según Plan de Control de Inspección Final	° Visual	° N.A.	° N.A.	° Visual	° Volver a empaclar
			11	Identificación del material			° Según Plan de Control de Inspección Final	° Visual	° Todos	° 100 %	° Visual	° Volver a identificar

ANEXO G



REPORTE DE LABORATORIO LABORATORY REPORT

Solicitante

Soliciting: Johana Rubiano; Coord Procesos

Nombre de la parte

Part name: Tubing Mazda

Fecha del plano o dibujo

B/P Date: 03/06/91

Descripción de la solicitud

Description of the solicitude: Estudio de Capacidad

Fecha:

Date: 31/01/08

N° de la parte:

Part. N°: 2012223T

Cantidad o N° de piezas

N° of PCS: 60

Aprobado

☐

Rechazado

☐

Aprobación condicional

☐

Approved

☐

Rejectec

☐

Cond. Approval:

☐

DIAMETRO SWAGE TUBING						RUN OUT TUBING						ESPESOR DE BRIDA					
ITEM	MEDIDA	ITEM	MEDIDA	ITEM	MEDIDA	ITEM	MEDIDA	ITEM	MEDIDA	ITEM	MEDIDA	ITEM	MEDIDA	ITEM	MEDIDA	ITEM	MEDIDA
1	69,19	21	69,20	41	69,20	1	0,28	21	0,45	41	0,46	1	16,24	21	14,77	41	15,71
2	69,20	22	69,21	42	69,20	2	0,23	22	0,27	42	0,35	2	15,52	22	15,88	42	16,01
3	69,20	23	69,21	43	69,20	3	0,33	23	0,42	43	0,26	3	14,42	23	15,30	43	15,96
4	69,21	24	69,21	44	69,21	4	0,32	24	0,36	44	0,51	4	15,08	24	15,14	44	14,80
5	69,19	25	69,20	45	69,20	5	0,39	25	0,35	45	0,29	5	15,43	25	15,33	45	15,38
6	69,21	26	69,20	46	69,20	6	0,19	26	0,44	46	0,24	6	15,45	26	15,07	46	16,46
7	69,19	27	69,20	47	69,19	7	0,51	27	0,33	47	0,32	7	15,80	27	15,43	47	15,32
8	69,20	28	69,21	48	69,20	8	0,22	28	0,33	48	0,43	8	15,53	28	14,95	48	15,50
9	69,21	29	69,19	49	69,20	9	0,41	29	0,48	49	0,43	9	16,01	29	14,56	49	16,16
10	69,20	30	69,21	50	69,21	10	0,23	30	0,39	50	0,33	10	15,41	30	15,63	50	14,44
11	69,20	31	69,20	51	69,20	11	0,64	31	0,35	51	0,24	11	16,23	31	15,71	51	15,61
12	69,21	32	69,19	52	69,20	12	0,57	32	0,46	52	0,15	12	15,00	32	14,28	52	15,09
13	69,20	33	69,21	53	69,19	13	0,16	33	0,32	53	0,29	13	15,28	33	15,07	53	14,53
14	69,20	34	69,21	54	69,21	14	0,32	34	0,54	54	0,26	14	14,86	34	14,49	54	15,54
15	69,21	35	69,19	55	69,21	15	0,32	35	0,36	55	0,25	15	14,66	35	15,17	55	14,96
16	69,20	36	69,21	56	69,21	16	0,27	36	0,42	56	0,49	16	14,81	36	14,88	56	15,02
17	69,19	37	69,20	57	69,20	17	0,25	37	0,44	57	0,36	17	15,49	37	14,73	57	16,13
18	69,20	38	69,20	58	69,21	18	0,38	38	0,40	58	0,22	18	16,04	38	16,22	58	15,65
19	69,20	39	69,20	59	69,21	19	0,33	39	0,41	59	0,28	19	16,22	39	15,89	59	15,83
20	69,19	40	69,21	60	69,20	20	0,28	40	0,27	60	0,16	20	14,63	40	16,80	60	15,74

Observaciones:

Medicion en materia prima

Observaciones:

Medido en el centro del tubo

Observaciones:

Medicion en materia prima

Observaciones:

observations: Mediciones respectivas de materia prima, INSPECCION DE RECIBO

UBICACIÓN PROBETAS

CAJONERA:

Reportado por:

Report by: Carlos Pimiento; Auditor de calidad

Fecha:

Date: 31/01/2008

Firma aprovacion del solicitante, fecha

Signature of soliciting, Date

Hoja

Sheet

 1 de 1
 of



REPORTE DE LABORATORIO LABORATORY REPORT

Solicitante**Soliciting:** Johana Rubiano; Coord de Procesos**Nombre de la parte****Part name:** Tubo Mazda**Fecha del plano o dibujo****B/P Date:** 05/03/99**Descripción de la solicitud****Descripción of the solicitude:** Estudio Capacidad FORJA**Fecha:****Date:** 04/02/08**N° de la parte:****Part. N°:** 2012257T - 3**Cantidad o N° de piezas****N° of PCS:** 60**Aprobado**☐**Rechazado**☐**Aprobación condicional**☐**Approved**☐**Rejectec**☐**Cond. Approval:**☐

TEMPERATURA HORNO DE FORJA						DIAMETRO DE ENSAMBLE FORJA						DIAMETRO INTERNO FORJA					
ITEM	MEDIDA	ITEM	MEDIDA	ITEM	MEDIDA	ITEM	MEDIDA	ITEM	MEDIDA	ITEM	MEDIDA	ITEM	MEDIDA	ITEM	MEDIDA	ITEM	MEDIDA
1	1181	21	1114	41	1116	1	89,04	21	88,66	41	88,72	1	67,97	21	68,79	41	67,19
2	1107	22	1157	42	1099	2	88,39	22	88,44	42	88,68	2	67,38	22	67,64	42	67,48
3	1102	23	1135	43	1061	3	88,99	23	89,28	43	88,92	3	68,57	23	67,83	43	67,52
4	1126	24	1139	44	1078	4	87,97	24	88,87	44	89,99	4	67,16	24	67,10	44	68,11
5	1136	25	1116	45	1107	5	88,24	25	88,84	45	89,57	5	67,92	25	67,77	45	67,71
6	1155	26	1159	46	1102	6	89,02	26	88,90	46	88,82	6	67,86	26	67,37	46	68,30
7	1154	27	1176	47	1101	7	88,84	27	89,02	47	88,81	7	67,72	27	67,75	47	69,01
8	1119	28	1146	48	1115	8	88,89	28	89,18	48	88,41	8	67,53	28	68,18	48	67,07
9	1101	29	1142	49	1092	9	88,47	29	88,86	49	88,83	9	68,27	29	67,27	49	68,11
10	1115	30	1165	50	1079	10	88,52	30	89,06	50	88,69	10	68,33	30	67,07	50	68,23
11	1121	31	1124	51	1133	11	88,14	31	88,83	51	89,30	11	67,30	31	67,61	51	67,71
12	1103	32	1120	52	1120	12	89,73	32	89,42	52	88,59	12	66,98	32	68,02	52	68,47
13	1129	33	1109	53	1152	13	89,17	33	87,84	53	89,32	13	67,38	33	68,44	53	67,00
14	1130	34	1136	54	1089	14	89,83	34	89,33	54	88,89	14	67,28	34	67,34	54	67,26
15	1106	35	1115	55	1090	15	88,76	35	89,20	55	88,98	15	67,82	35	67,73	55	67,37
16	1151	36	1172	56	1107	16	89,22	36	88,64	56	89,76	16	67,32	36	68,02	56	67,22
17	1114	37	1112	57	1096	17	88,61	37	89,32	57	88,75	17	67,68	37	67,63	57	67,44
18	1171	38	1112	58	1128	18	88,66	38	88,95	58	88,97	18	67,46	38	68,04	58	68,48
19	1128	39	1098	59	1131	19	88,93	39	89,84	59	88,91	19	68,35	39	67,12	59	67,21
20	1131	40	1093	60	1075	20	88,47	40	89,27	60	89,21	20	67,25	40	67,32	60	66,59

Observaciones:

Observaciones:

Observaciones:

Observaciones:

observations: Datos mediciones Estudio de Capacidad de proceso de Forja

UBICACIÓN PROBETAS

CAJONERA:

Reportado por:

Report by: Carlos Pimiento; Auditor de Calidad

Fecha:

Date: 04/02/2008

Firma aprovision del solicitante, fecha

Signature of soliciting, Date

Johana Rubiano; Coord. Procesos

Hoja

Sheet

1 de 2
of



REPORTE DE LABORATORIO LABORATORY REPORT

Solicitante**Soliciting:** Johana Rubiano; Coord. Procesos**Nombre de la parte****Part name:** Tubo Mazda**Fecha del plano o dibujo****B/P Date:** 05/03/99**Descripción de la solicitud****Descripción of the solicitude:** Estudio Capacidad MECANIZADO**Fecha:****Date:** 07/02/08**N° de la parte:****Part. N°:** 2012257T - 3**Cantidad o N° de piezas****N° of PCS:** 60**Aprobado**☐**Rechazado**☐**Aprobación condicional**☐**Approved**☐**Rejectec**☐**Cond. Approval:**☐

DIAMETRO DE ENSAMBLE						DIAMETRO INTERIOR DE BRIDA						-					
ITEM	MEDIDA	ITEM	MEDIDA	ITEM	MEDIDA	ITEM	MEDIDA	ITEM	MEDIDA	ITEM	MEDIDA	ITEM	MEDIDA	ITEM	MEDIDA	ITEM	MEDIDA
1	87,04	21	87,01	41	86,99	1	86,74	21	86,66	41	86,68	1	-	21	-	41	-
2	87,01	22	86,98	42	86,99	2	86,88	22	86,81	42	86,67	2	-	22	-	42	-
3	86,92	23	87,00	43	87,02	3	86,84	23	86,80	43	86,71	3	-	23	-	43	-
4	86,96	24	86,91	44	87,00	4	86,77	24	86,76	44	86,84	4	-	24	-	44	-
5	87,02	25	87,01	45	87,00	5	86,76	25	86,81	45	86,78	5	-	25	-	45	-
6	87,03	26	86,99	46	86,99	6	86,77	26	86,78	46	86,66	6	-	26	-	46	-
7	86,98	27	87,01	47	86,99	7	86,73	27	86,66	47	86,77	7	-	27	-	47	-
8	87,00	28	87,02	48	87,04	8	86,80	28	86,75	48	86,74	8	-	28	-	48	-
9	86,99	29	86,97	49	87,01	9	86,72	29	86,64	49	86,67	9	-	29	-	49	-
10	87,06	30	86,99	50	87,00	10	86,76	30	86,76	50	86,61	10	-	30	-	50	-
11	86,98	31	87,01	51	86,96	11	86,70	31	86,65	51	86,69	11	-	31	-	51	-
12	87,04	32	87,00	52	86,99	12	86,65	32	86,64	52	86,70	12	-	32	-	52	-
13	86,99	33	86,99	53	87,01	13	86,67	33	86,65	53	86,69	13	-	33	-	53	-
14	86,95	34	86,99	54	87,00	14	86,81	34	86,72	54	86,57	14	-	34	-	54	-
15	87,06	35	86,98	55	86,96	15	86,73	35	86,77	55	86,76	15	-	35	-	55	-
16	87,03	36	87,03	56	87,01	16	86,78	36	86,76	56	86,65	16	-	36	-	56	-
17	87,05	37	87,00	57	86,98	17	86,68	37	86,75	57	86,62	17	-	37	-	57	-
18	86,98	38	87,00	58	86,99	18	86,81	38	86,65	58	86,70	18	-	38	-	58	-
19	86,96	39	87,01	59	86,93	19	86,75	39	86,79	59	86,71	19	-	39	-	59	-
20	87,02	40	86,94	60	87,00	20	86,79	40	86,78	60	86,76	20	-	40	-	60	-

Observaciones:

Observaciones:

Observaciones:

Observaciones:

observations: Datos mediciones de estudio de capacidad proceso de mecanizado

UBICACIÓN PROBETAS

CAJONERA:

Reportado por:

Report by: Carlos Pimiento; Auditor de Calidad

Fecha:

Date: 07/02/2008

Firma aprovision del solicitante, fecha

Signature of soliciting, Date Johana Rubiano; Coord. Procesos

Hoja

Sheet

1

de

of

1



REPORTE DE LABORATORIO LABORATORY REPORT

Solicitante**Soliciting:** Johana Rubiano; Coord de Procesos**Nombre de la parte****Part name:** Tubo Mazda**Fecha del plano o dibujo****B/P Date:** 05/03/99**Descripción de la solicitud****Descripción of the solicitude:** Estudio Capacidad ENSAMBLE**Fecha:****Date:** 11/02/08**N° de la parte:****Part. N°:** 2012257T - 3**Cantidad o N° de piezas****N° of PCS:** 60**Aprobado**☐**Rechazado**☐**Aprobación condicional**☐**Approved**☐**Rejectec**☐**Cond. Approval:**☐

LONGITUD TOTAL DE TUBO						RUN OUT						-					
ITEM	MEDIDA	ITEM	MEDIDA	ITEM	MEDIDA	ITEM	MEDIDA	ITEM	MEDIDA	ITEM	MEDIDA	ITEM	MEDIDA	ITEM	MEDIDA	ITEM	MEDIDA
1	567,61	21	567,32	41	567,54	1	0,73	21	0,53	41	0,15	1	-	21	-	41	-
2	567,90	22	566,73	42	567,20	2	0,64	22	1,00	42	1,17	2	-	22	-	42	-
3	567,86	23	567,32	43	567,15	3	0,97	23	0,52	43	0,52	3	-	23	-	43	-
4	567,23	24	567,30	44	567,97	4	1,02	24	1,17	44	0,69	4	-	24	-	44	-
5	566,82	25	567,39	45	567,76	5	0,53	25	0,39	45	0,21	5	-	25	-	45	-
6	567,49	26	567,52	46	567,24	6	0,60	26	0,71	46	0,42	6	-	26	-	46	-
7	567,42	27	567,17	47	567,41	7	1,37	27	0,48	47	0,77	7	-	27	-	47	-
8	566,97	28	567,68	48	567,37	8	0,41	28	0,44	48	1,25	8	-	28	-	48	-
9	567,95	29	567,63	49	567,20	9	0,91	29	0,72	49	0,73	9	-	29	-	49	-
10	567,54	30	567,15	50	567,34	10	0,88	30	0,55	50	0,23	10	-	30	-	50	-
11	567,16	31	567,68	51	567,22	11	1,33	31	0,14	51	0,65	11	-	31	-	51	-
12	567,82	32	567,77	52	567,59	12	0,44	32	0,41	52	0,08	12	-	32	-	52	-
13	567,56	33	567,43	53	567,66	13	0,63	33	0,45	53	0,45	13	-	33	-	53	-
14	567,23	34	567,48	54	567,03	14	0,21	34	0,34	54	0,90	14	-	34	-	54	-
15	567,42	35	567,71	55	567,91	15	0,44	35	0,49	55	0,41	15	-	35	-	55	-
16	567,76	36	567,09	56	567,65	16	0,69	36	0,75	56	0,96	16	-	36	-	56	-
17	567,67	37	566,92	57	567,92	17	0,83	37	0,49	57	0,58	17	-	37	-	57	-
18	568,09	38	567,88	58	568,00	18	0,48	38	0,94	58	1,00	18	-	38	-	58	-
19	567,88	39	567,31	59	567,45	19	0,56	39	0,59	59	0,47	19	-	39	-	59	-
20	567,22	40	567,54	60	567,19	20	0,33	40	0,16	60	0,21	20	-	40	-	60	-

Observaciones:

Observaciones:

Medido en el centro del tubo

Observaciones:

Observaciones:

observations: Datos mediciones estudio de capacidad proceso de Ensamble

UBICACIÓN PROBETAS

CAJONERA:

Reportado por:

Report by: Carlos Pimiento; Auditor de Calidad

Fecha:

Date: 11/02/2008

Firma aprovision del solicitante, fecha

Signature of soliciting, Date

Johana Rubiano; Coord. Procesos

Hoja

Sheet

1

de

of

1

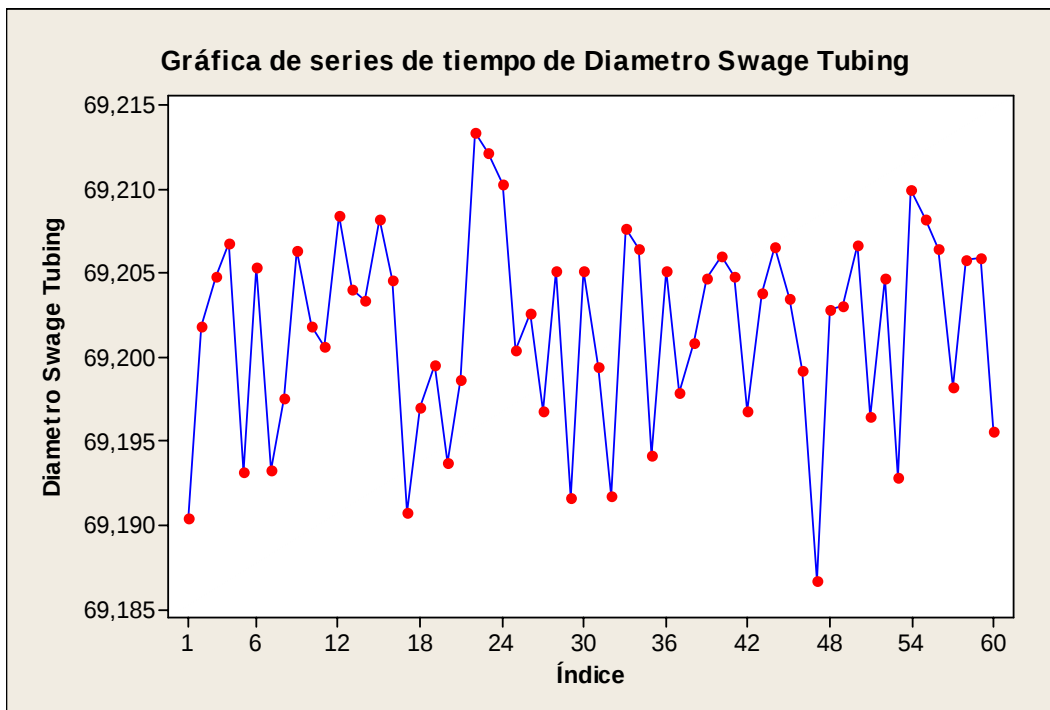
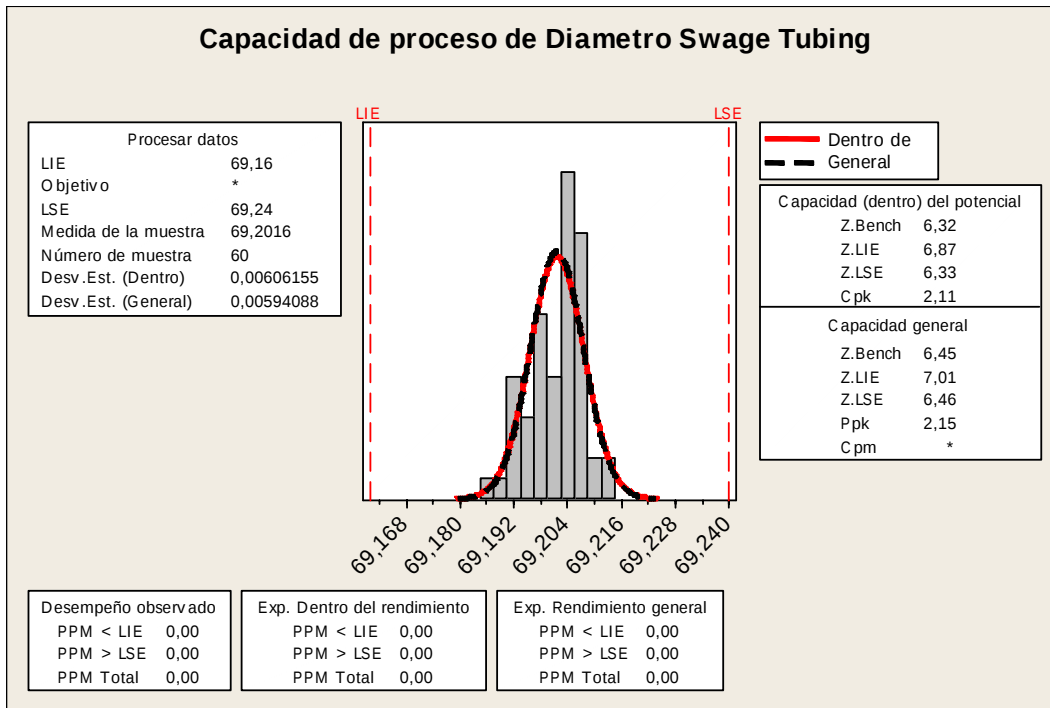
ANEXO H

Análisis de Capacidad y Series de Tiempo de variables

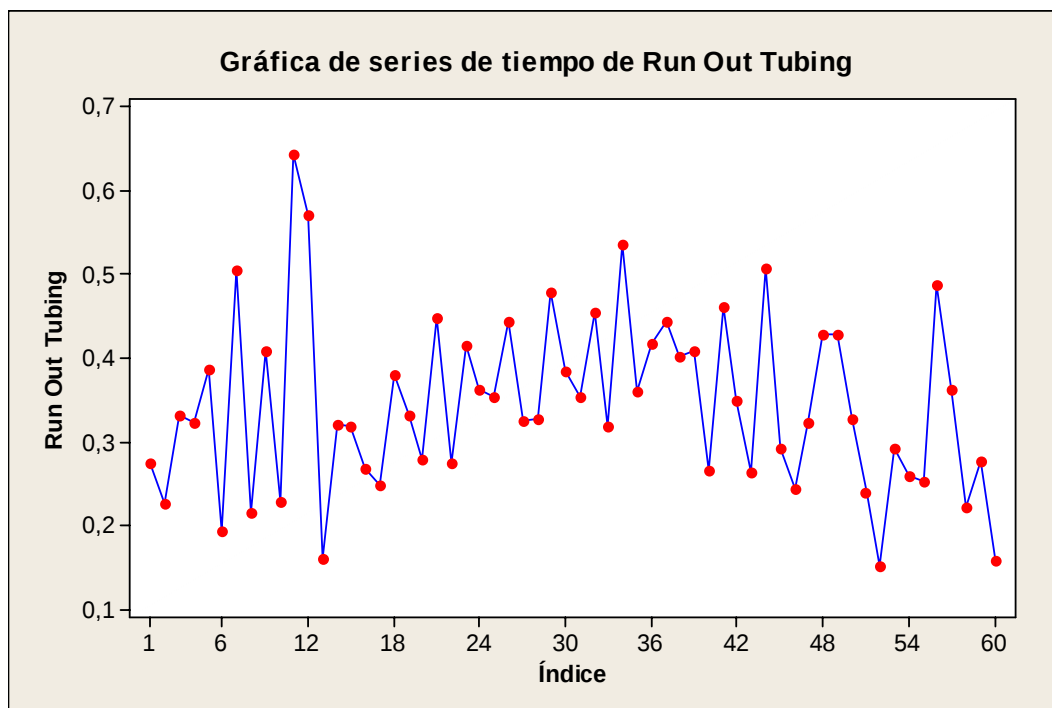
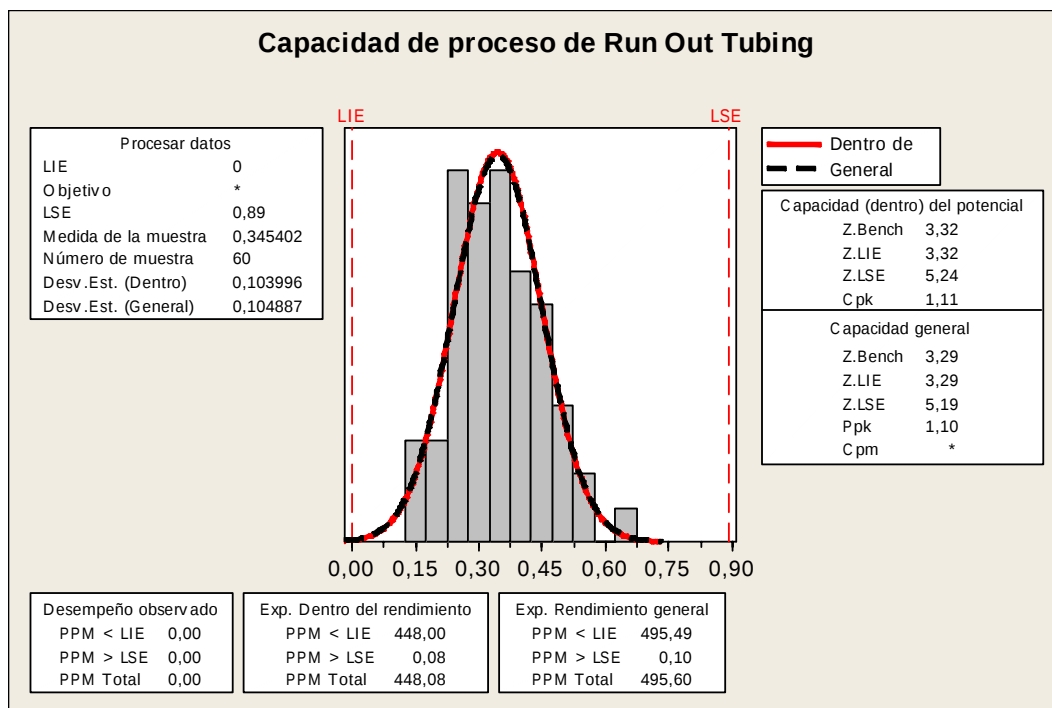


1. ANALISIS DE CAPACIDAD DIAMETRO SWAGE TUBING

(Inspección de Recibo)

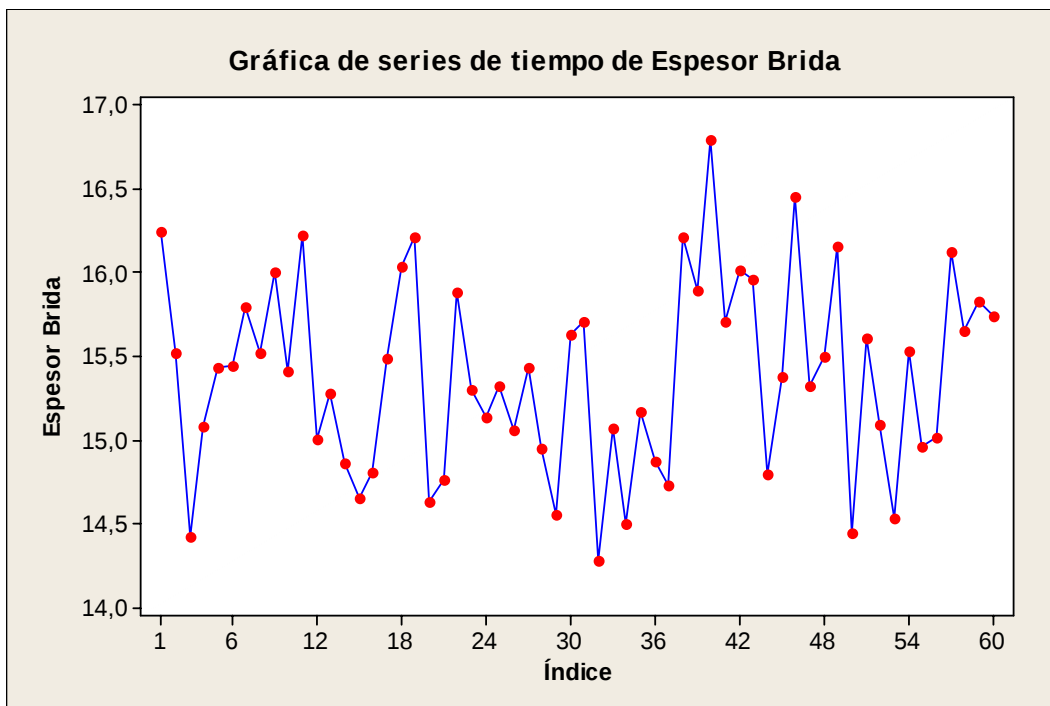
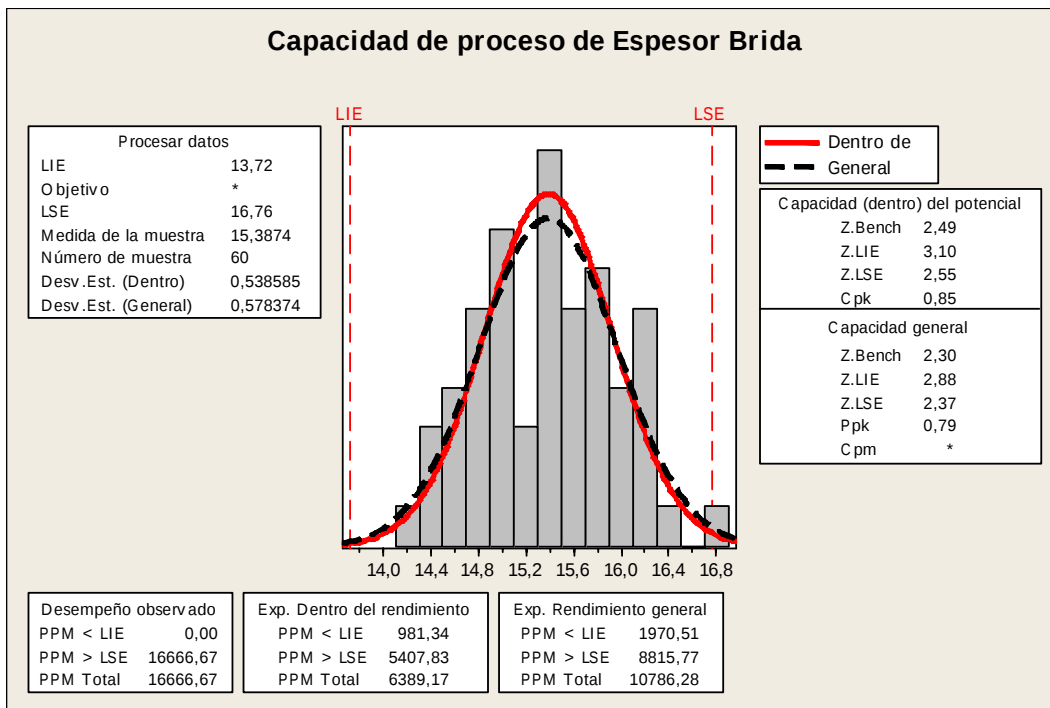


2. ANALISIS DE CAPACIDAD RUN OUT TUBING (Inspección de Recibo)

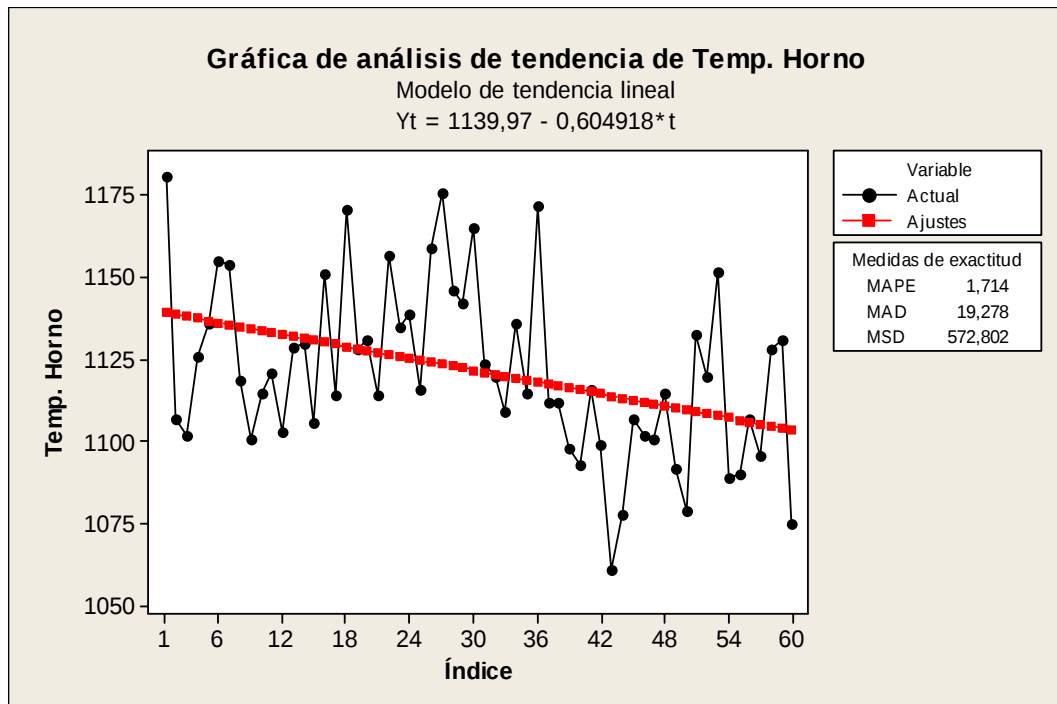
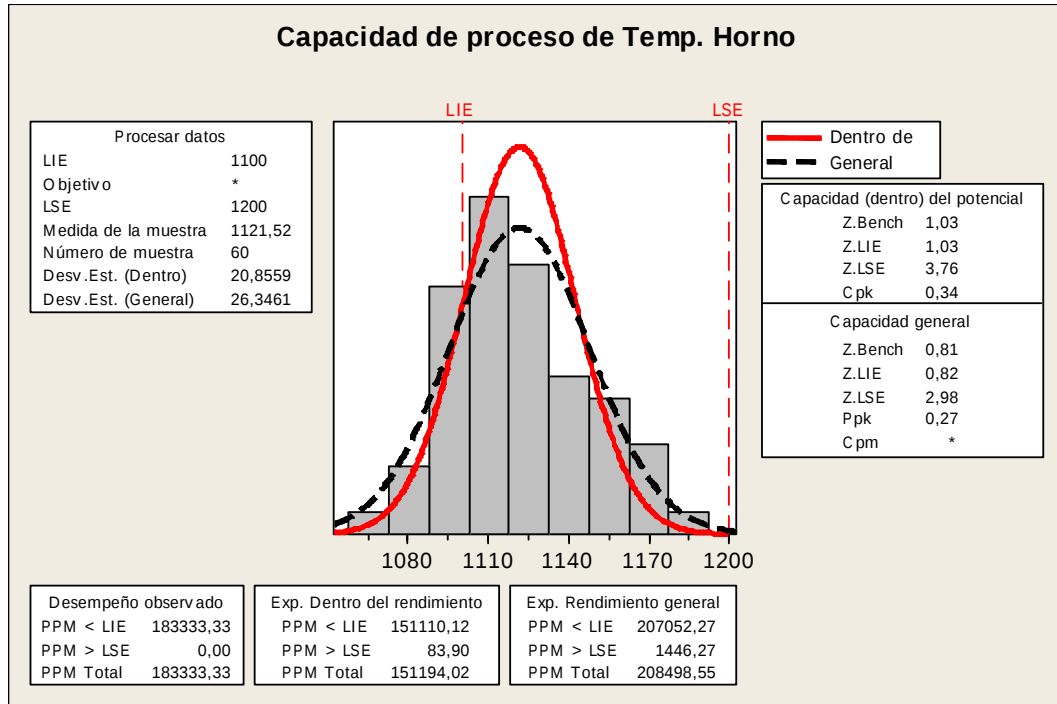


3. ANALISIS DE CAPACIDAD ESPESOR DE BRIDA

(Inspección de Recibo)

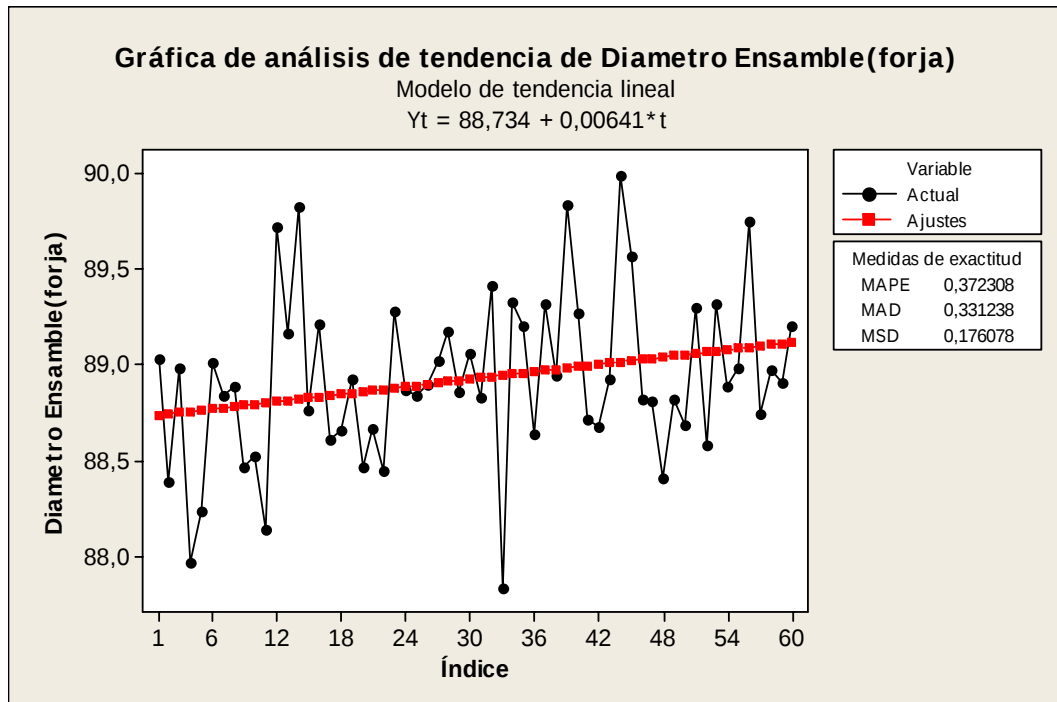
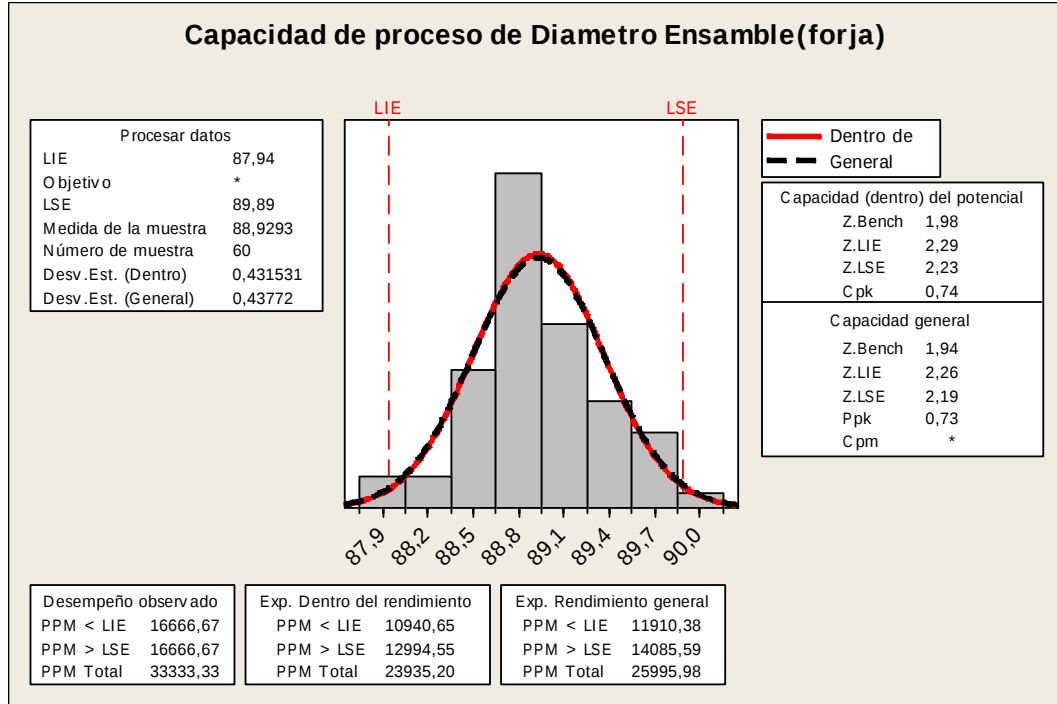


4. ANALISIS DE CAPACIDAD TEMPERATURA DE HORNO (Proceso de Forja)

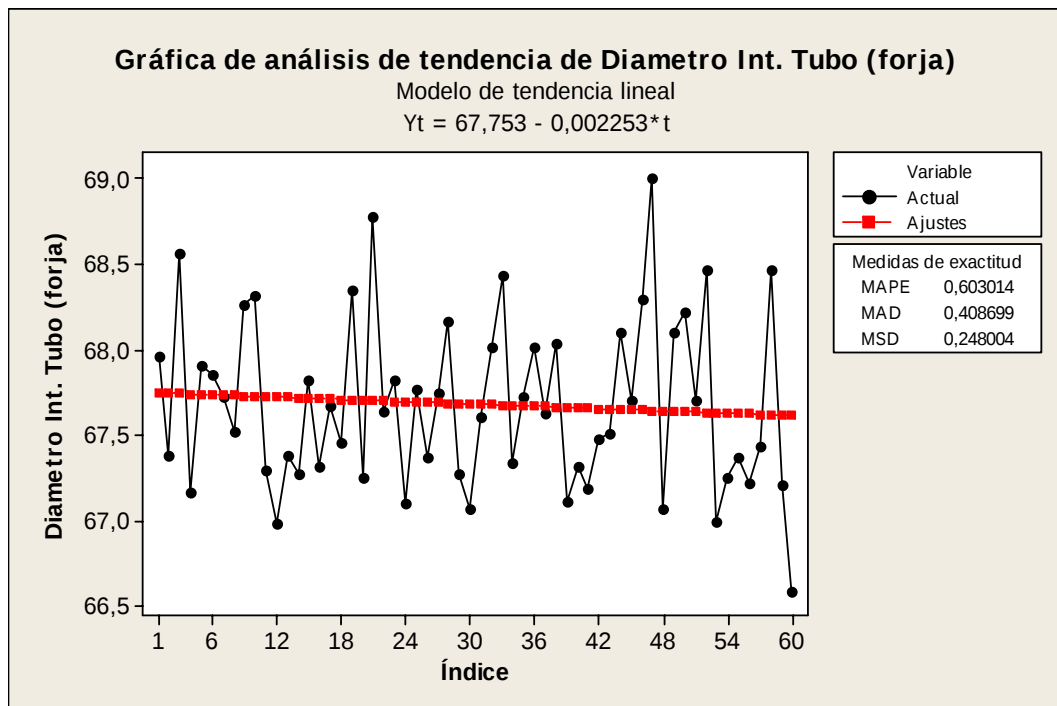
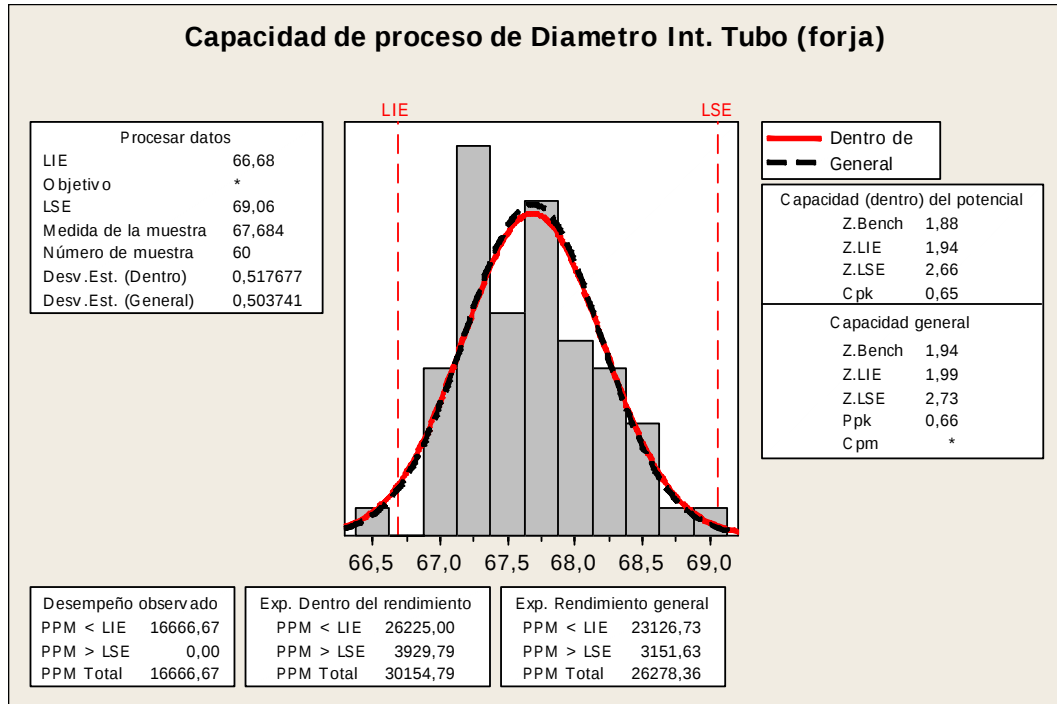


5. ANALISIS DE CAPACIDAD DIAMETRO DE ENSAMBLE (FORJA)

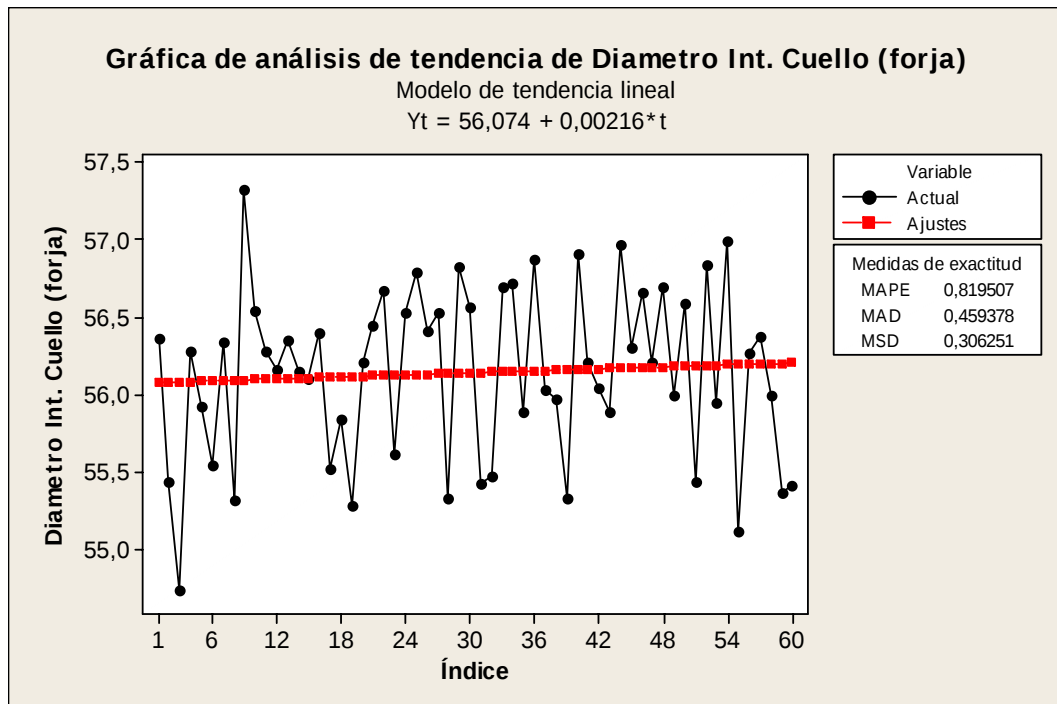
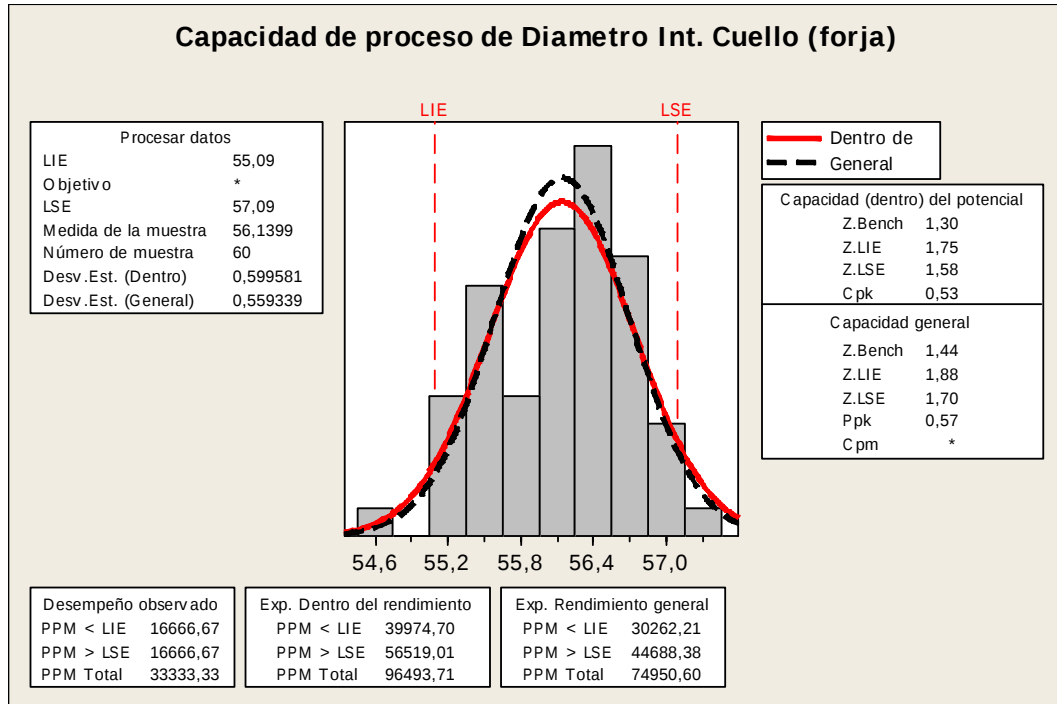
(Proceso de Forja)



6. ANALISIS DE CAPACIDAD DIAMETRO INTERNO TUBO (FORJA) (Proceso de Forja)

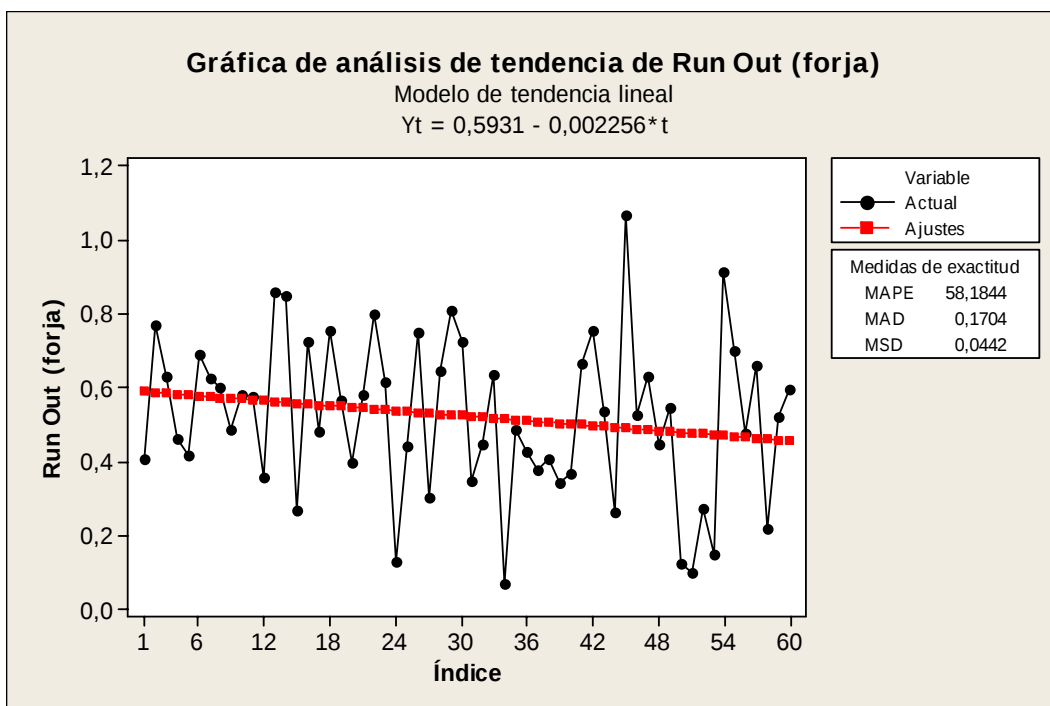
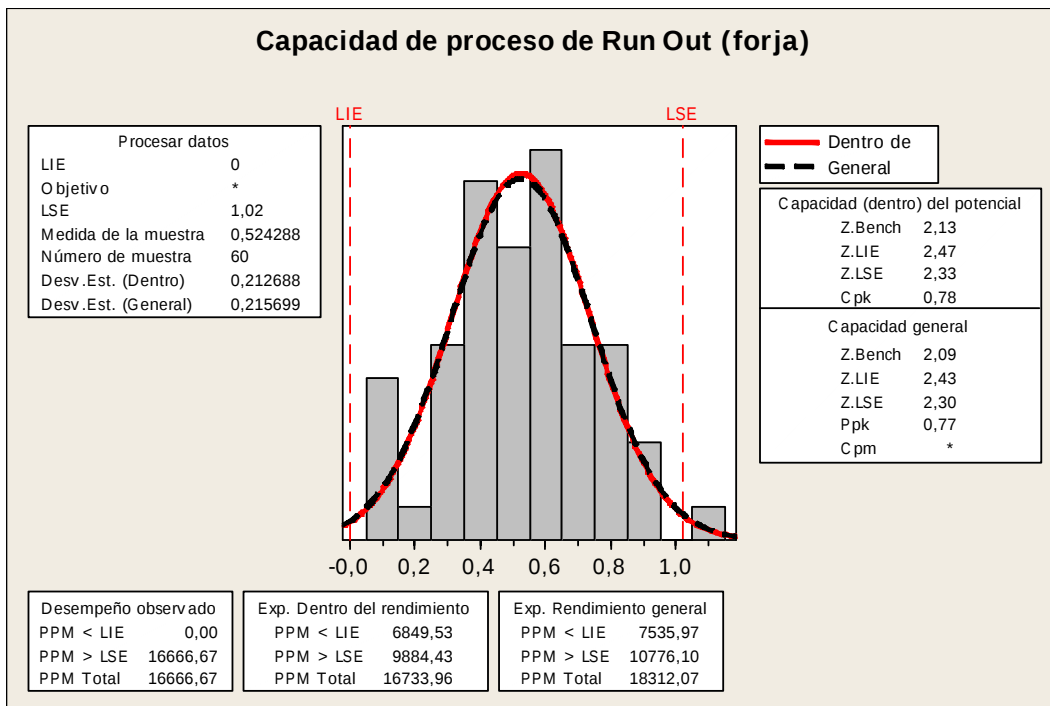


7. ANALISIS DE CAPACIDAD DIAMETRO INTERIOR CUELLO TUBO (Proceso de Forja)

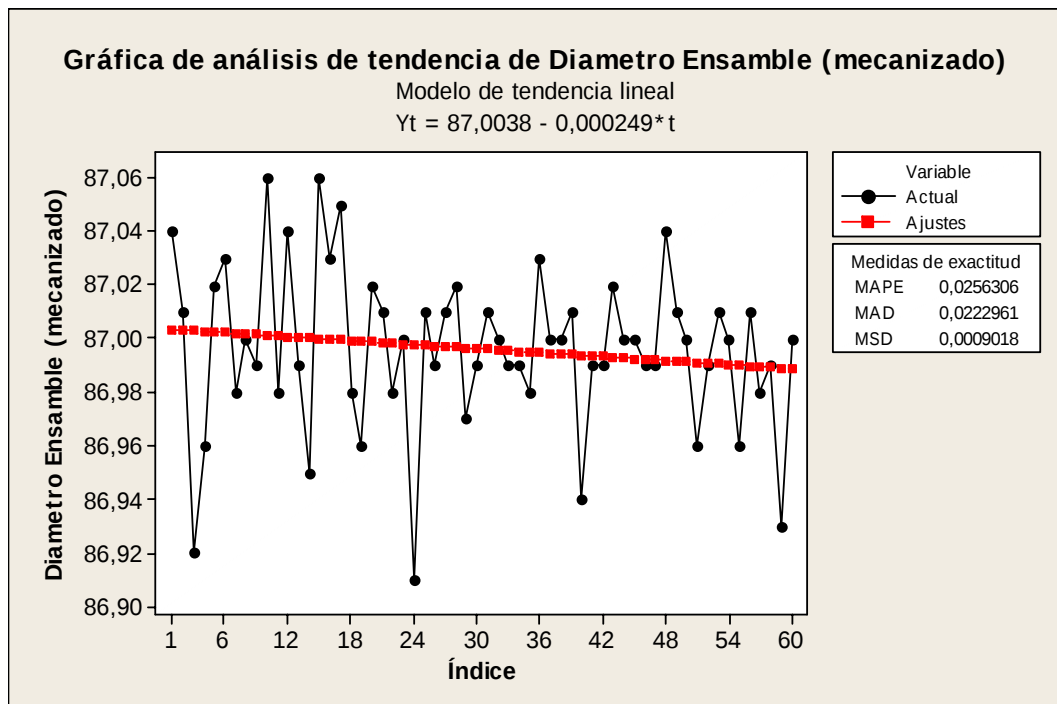
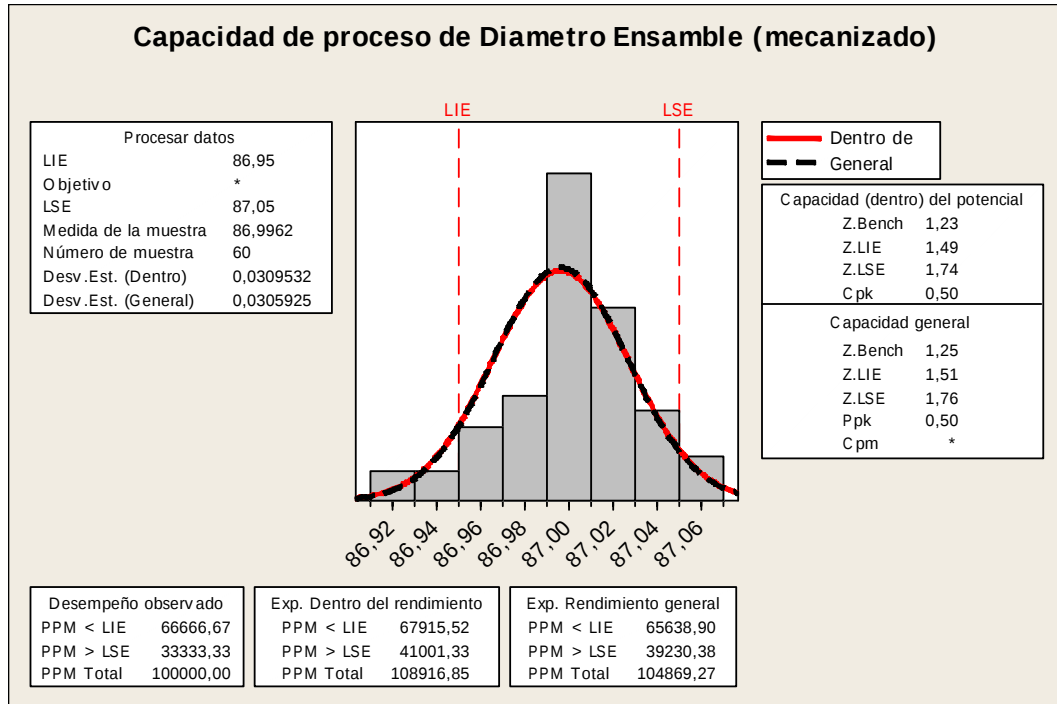


8. ANALISIS DE CAPACIDAD RUN OUT (FORJA)

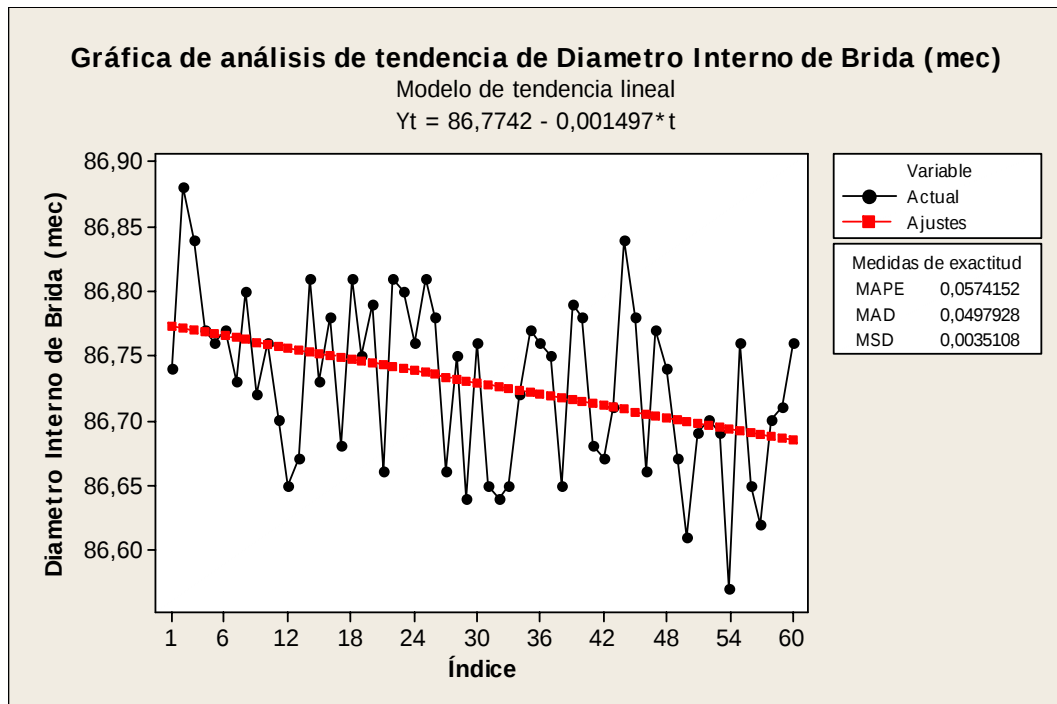
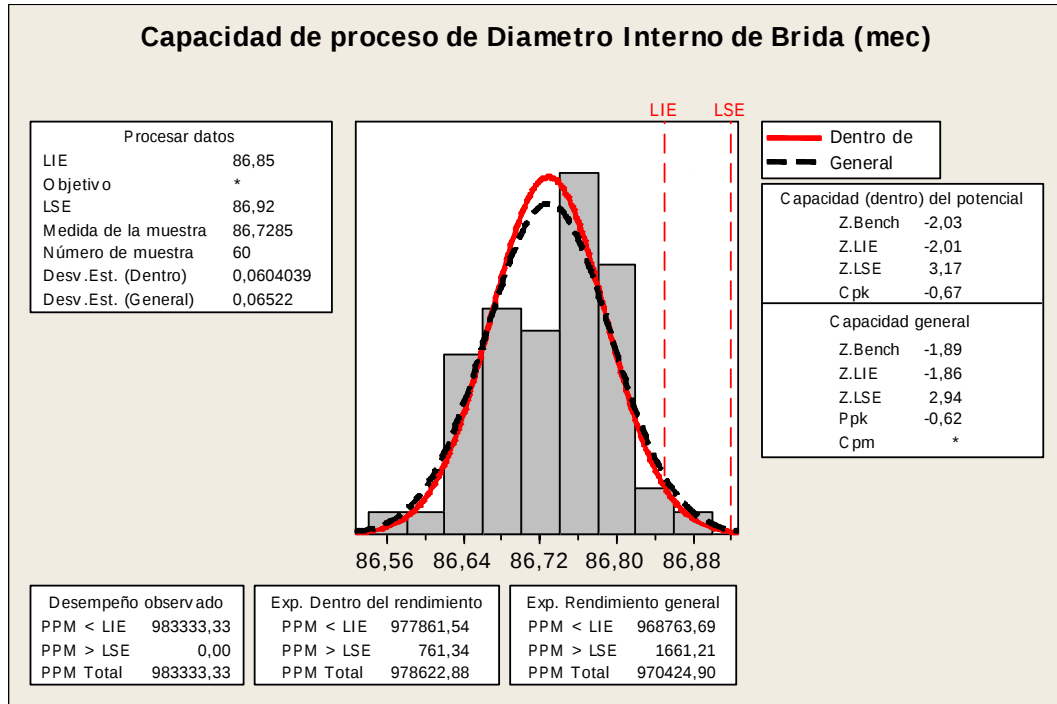
(Proceso de Forja)



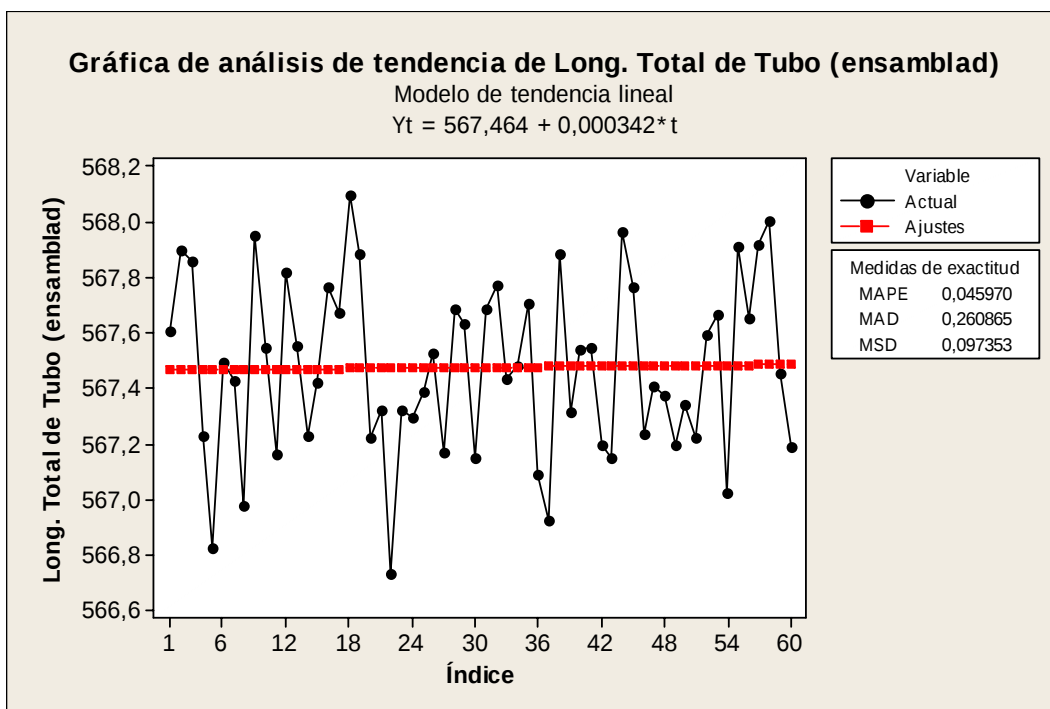
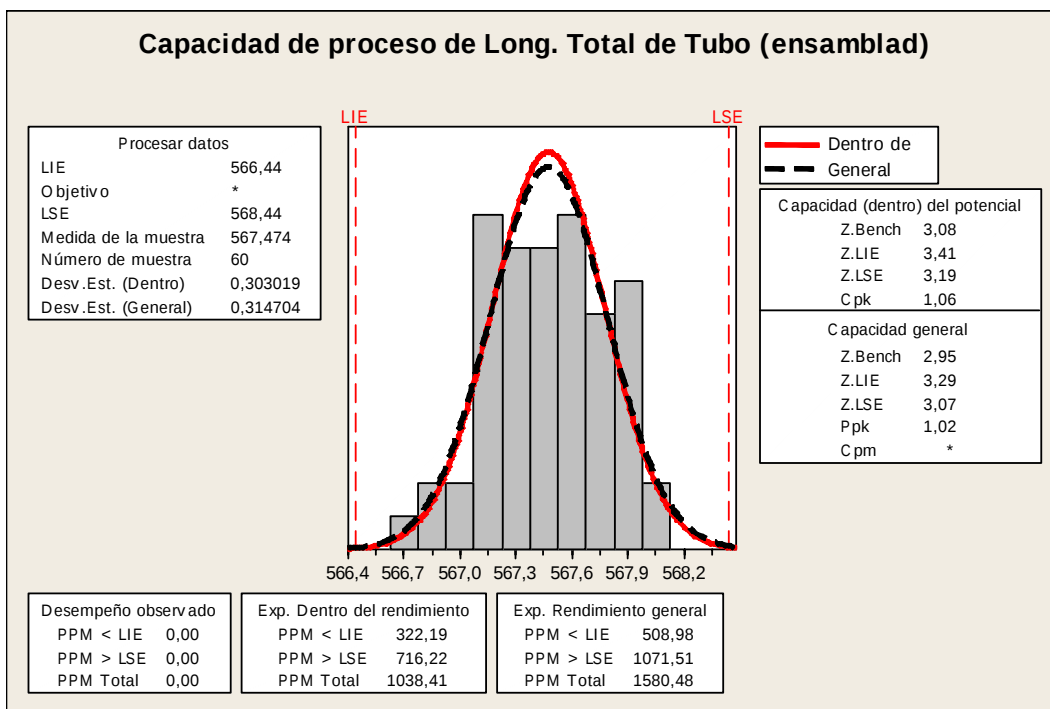
9. ANALISIS DE CAPACIDAD DIAMETRO DE ENSAMBLE (Proceso de Mecanizado)



10. ANALISIS DE CAPACIDAD DIAMETRO INTERNO DE BRIDA (Proceso de Mecanizado)

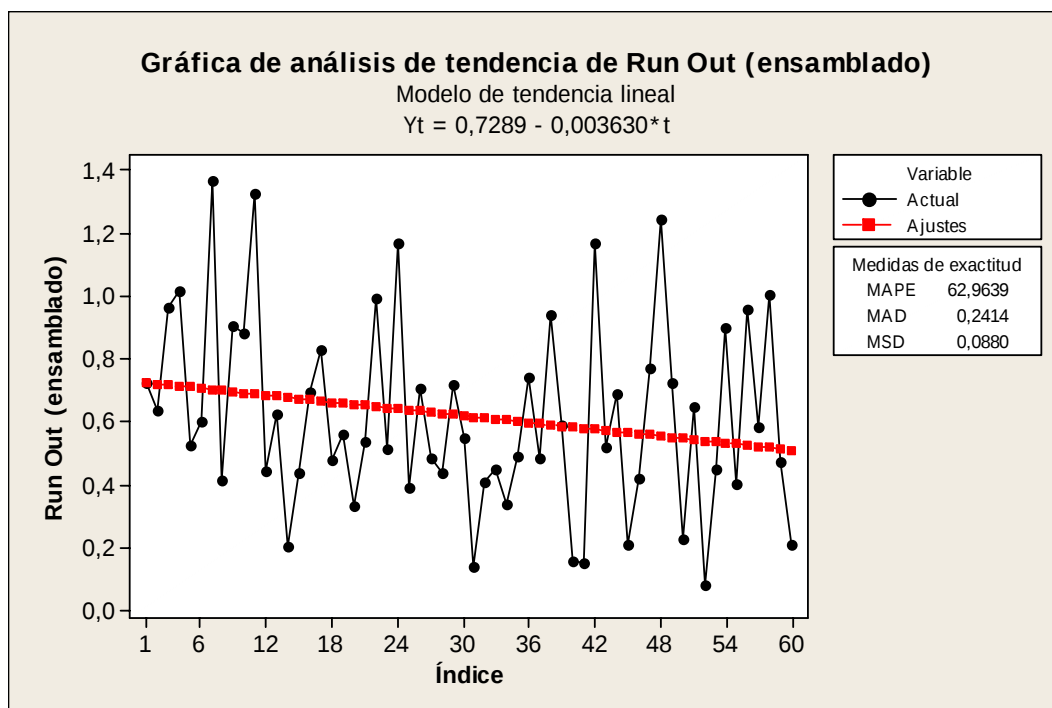
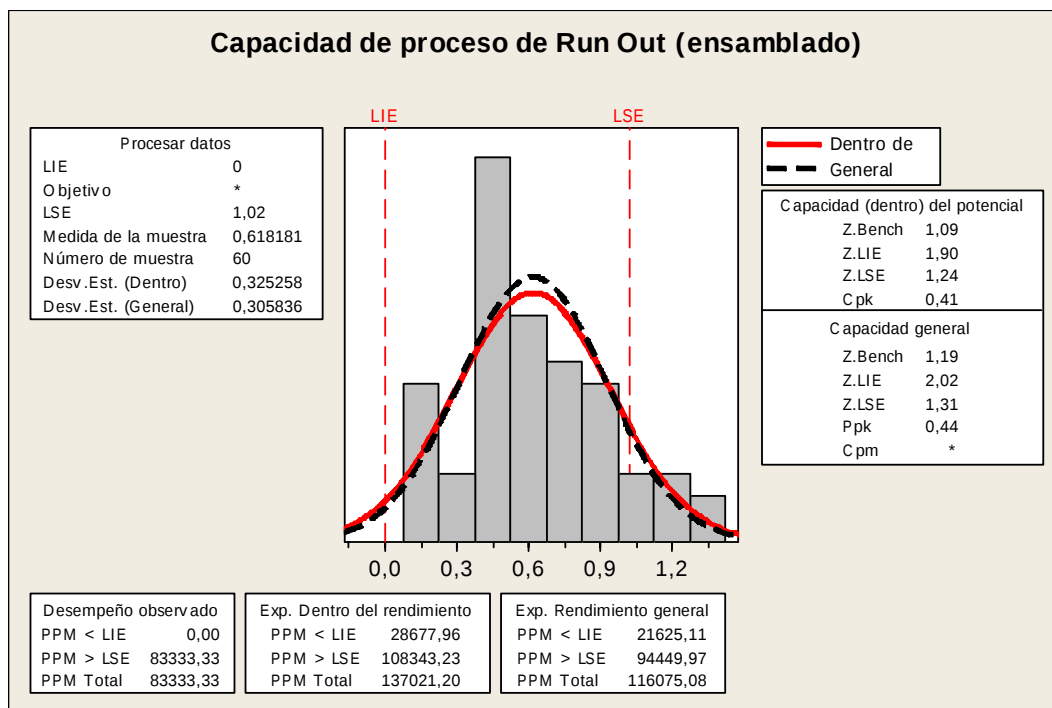


11. ANALISIS DE CAPACIDAD LONGITUD TOTAL DE TUBO ENSAMBLADO (Proceso de Ensamble)



12. ANALISIS DE CAPACIDAD RUN OUT

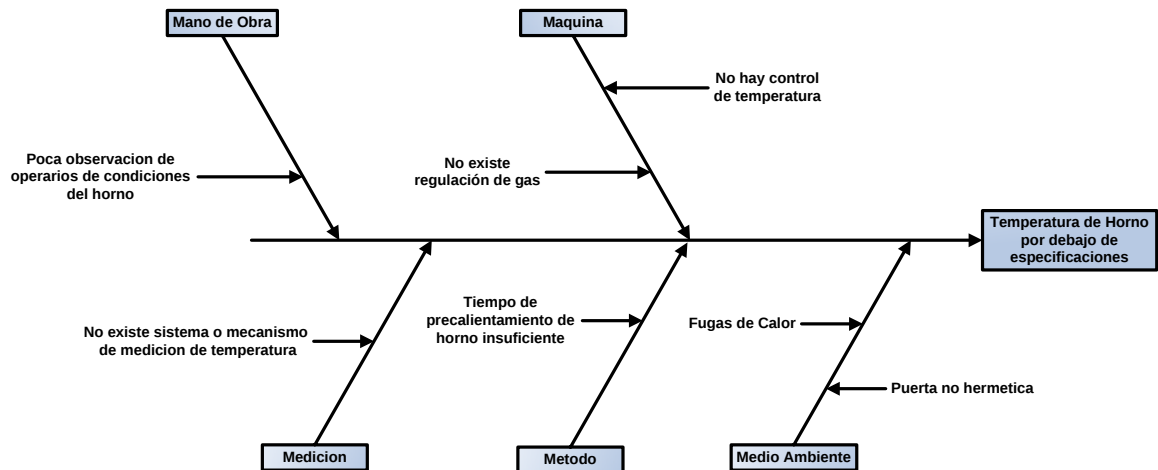
(Proceso de Ensamble)



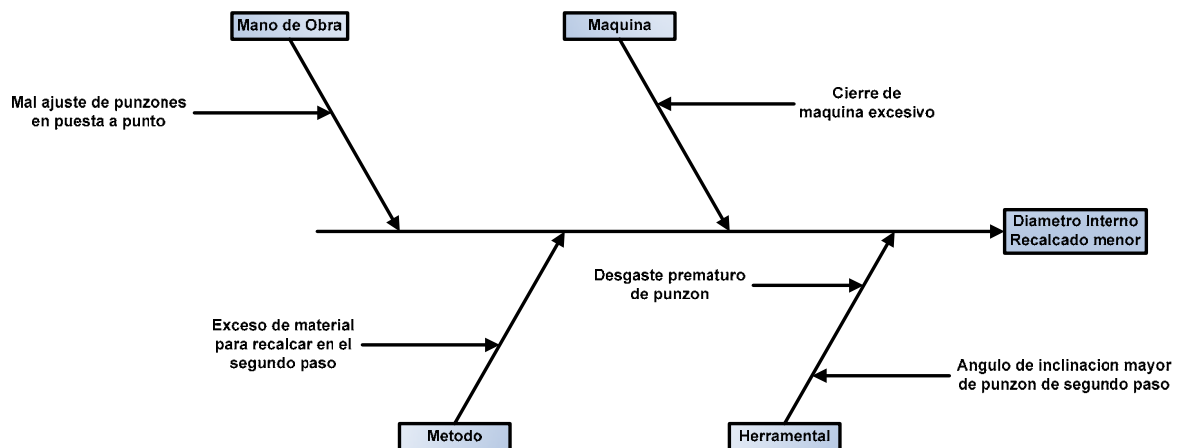
ANEXO I

Diagramas Causa – Efecto para las características críticas de los procesos de producción

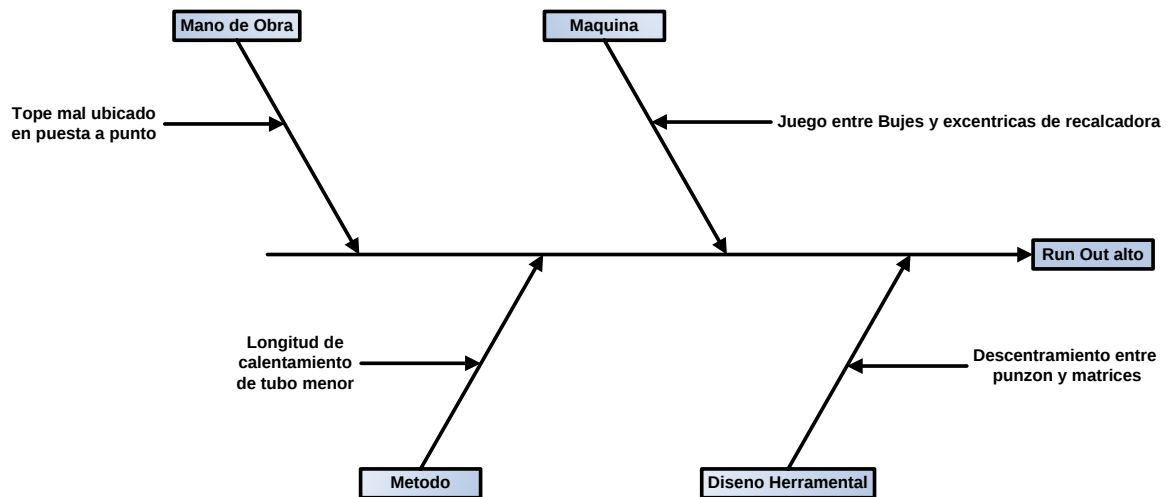
TEMPERATURA DE HORNO



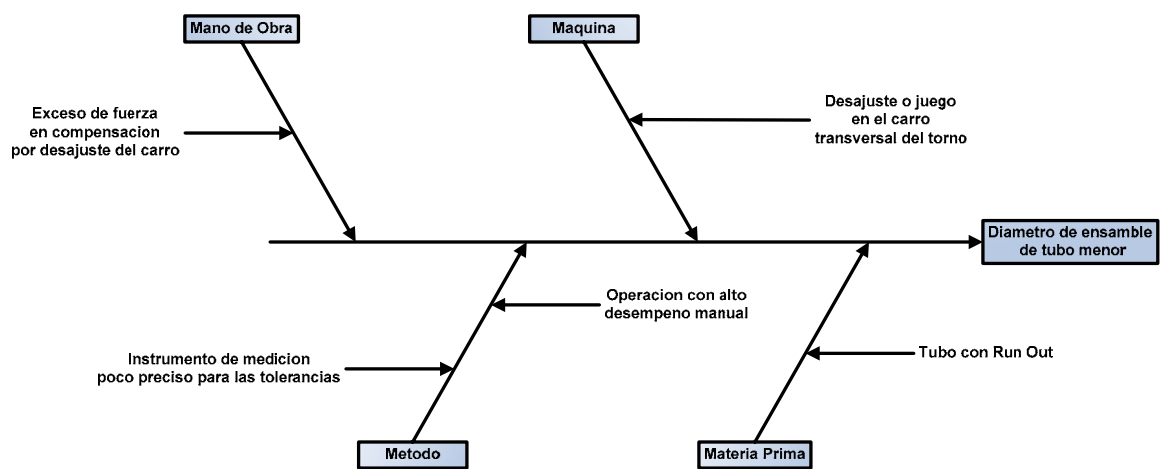
DIAMETRO INTERNO RECALCADO (Forja)



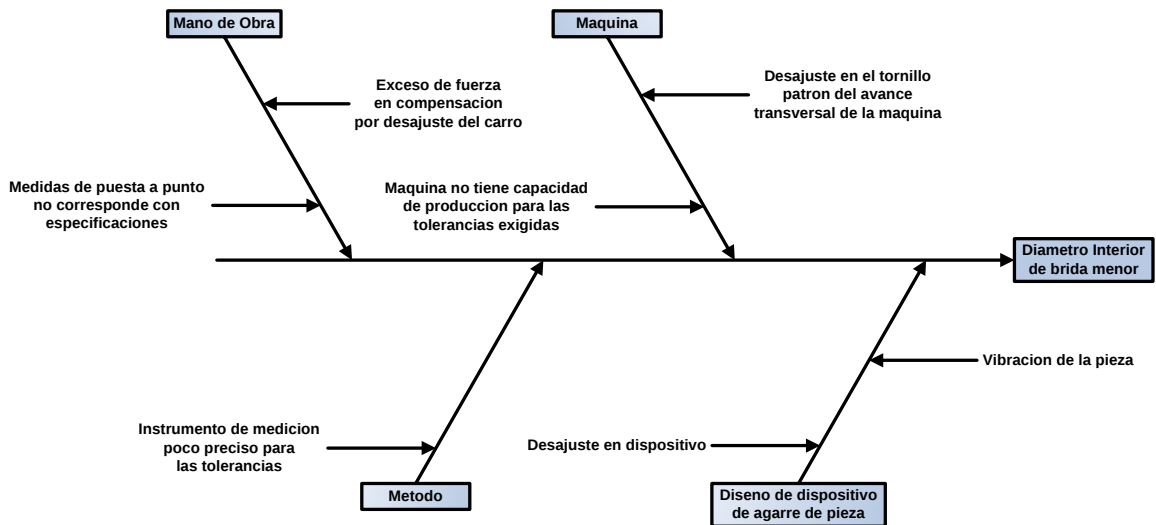
RUN OUT (Forja)



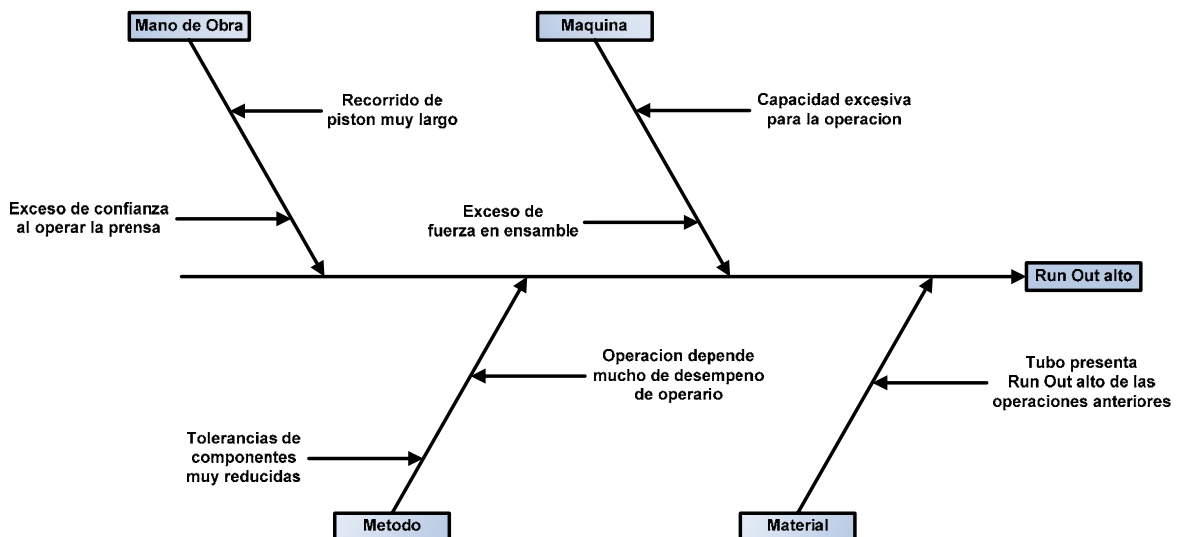
DIAMETRO DE ENSAMBLE DE TUBO MENOR



DIAMETRO INTERIOR DE BRIDA



RUN OUT (ENSAMBLE)



ANEXO J

FORCOL LTDA

Diagrama de Flujo de Proceso de Tubo para Eje Diferencial

Fecha de elaboración: 10 de marzo de 2007

Método: ACTUAL



DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO TUBO (Metodo Actual)



CONVENCIONES Y RESUMEN:



Elaborado por: Sergio Duarte González



ANEXO K

FORCOL LTDA

Forjas de Colombia Ltda.



Bucaramanga, 8 de Julio de 2.008

Señores

ESCUELA DE ESTUDIOS INDUSTRIALES Y EMPRESARIALES

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

Distinguidos señores:

Mediante el presente documento deseo dar a conocer que las propuestas de mejora del proyecto ***"MEJORAMIENTO DE LOS PROCESOS DE FORJA, MECANIZADO Y ENSAMBLE DE TUBOS PARA EJES DIFERENCIALES MEDIANTE LOS LINEAMIENTOS DE LA HERRAMIENTA SEIS SIGMA EN FORCOL LTDA"*** desarrollado por el estudiante Sergio Duarte González, han sido muy beneficiosas para la empresa y éstas van a ser validadas mediante una prueba de producción programada para los días 14 o 15 del mes de agosto del año en curso.

Estas pruebas se realizaran en dicha fecha ya que el cronograma de ventas y el programa de producción así lo establecen.

Es importante destacar que las mejoras planteadas por el proyecto han sido estudiadas por el grupo "Team Charter" llegando a la conclusión de que sus beneficios son indiscutibles.

Cordialmente,

LUIS ALBERTO SANTOS CASTANEDA
Gerente de Planta

GIOVANI ARTURO PARRA ORTIZ
Coordinador de Producción
Coordinador "Team Charter"

ANEXO L

FORCOL LTDA
Forjas de Colombia Ltda.



Bucaramanga, 8 de Julio de 2.008

Señores

ESCUELA DE ESTUDIOS INDUSTRIALES Y EMPRESARIALES
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

Distinguidos señores:

Me permito manifestar que el estudiante en práctica de la Escuela de Estudios Industriales y Empresariales de la UIS, Sergio Duarte González, identificado con la cédula de ciudadanía No 91'513.399 de Bucaramanga, y código de estudiante 2010663, culminó con éxito e hizo entrega de las evidencias de la practica empresarial titulada: ***"MEJORAMIENTO DE LOS PROCESOS DE FORJA, MECANIZADO Y ENSAMBLE DE TUBOS PARA EJES DIFERENCIALES MEDIANTE LOS LINEAMIENTOS DE LA HERRAMIENTA SEIS SIGMA EN FORCOL LTDA"***.

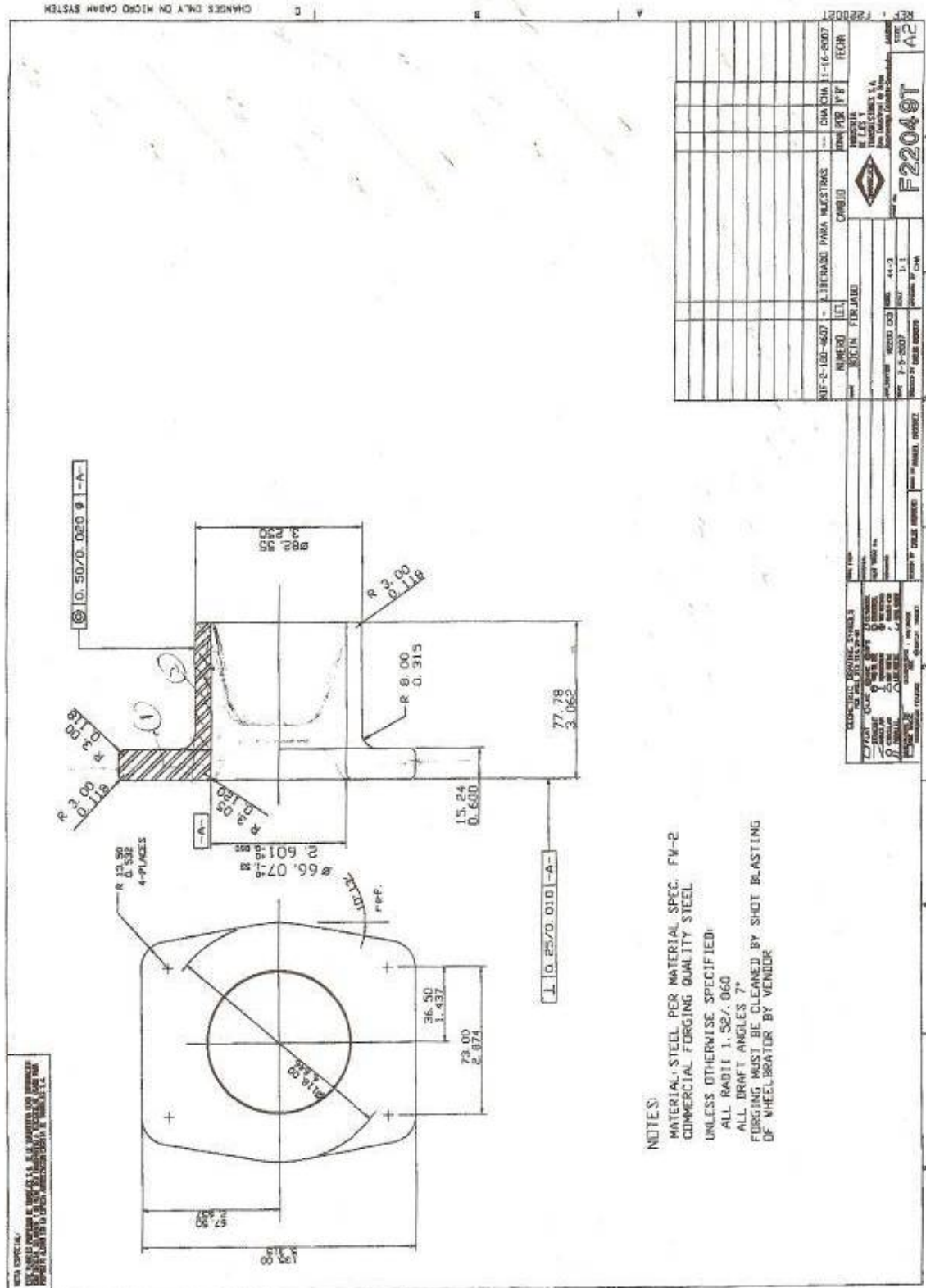
Así mismo, solicito la confidencialidad del proyecto.

Cordialmente,

LUIS ALBERTO SANTOS CASTANEDA
Gerente de Planta

ANEXO M

Plano de Nuevo Diseño de Proceso – FORJA -



[illegible]

Plano de Nuevo Diseño de Proceso – ENSAMBLE -