



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**APLICACIÓN DE LA MANUFACTURA LEAN A UN  
PROCESO DE TROQUELADO.**

**T E S I S**

**PARA OBTENER EL TITULO DE:**

**INGENIERO MECATRÓNICO**

**P R E S E N T A N:**

**CHÁVEZ LUNA CARLOS ARTURO**

**MÉNDEZ CRUZ JUAN DANIEL**

**DIRECTORA:**

**M.I SILVINA HERNÁNDEZ GARCIA**



**MÉXICO D.F, OCTUBRE 2014**

## DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mi mama Alejandra Luna, a mi esposa Blanca Guzmán que siempre estuvieron a mi lado para apoyarme incondicionalmente en los buenos y malos momentos.

A mi hermana Diana y mi hija Karla que espero que este logro las motive para no solo igualarme si no superarme y esforzarse cada día más tanto en su vida personal como profesional.

Y por último a Arnulfo Cruz y Horacio Santiago quienes confiaron incondicionalmente en un servidor, y gracias a su apoyo pudo ser este éxito posible.

Sin más palabras a las personas enunciadas anteriormente y aquellas que estuvieron presentes durante este largo tiempo, solamente les quiero dar las gracias por confiar en mí.

*Carlos Arturo Chávez Luna*

## DEDICATORIA

"A Dios por siempre mostrarme el camino que debía seguir, por darme la fortaleza y el coraje necesario para combatir cada una de las adversidades presentadas en mi vida. A mi madre Soyla Cruz por ser la mujer más valiente, amorosa y más aguerrida que jamás conoceré, a mi padre Juan Méndez por ser siempre un hombre recto y valeroso que jamás conoceré, a ellos dos por ser los pilares en mi vida, por haberme educado, por cada uno de sus palabras de aliento, por enseñarme a nunca darme por vencido, a mis hermanos Augusto, Eddy, Omar, a mi sobrino Mateo, por brindarme siempre su cariño, por cada momento a su lado, esperando que este logro sea una motivación más para que sigan siempre adelante a pesar de todas las cosas. En general a todos mis familiares por haber siempre creído en mí, a mis amigos por compartir siempre agradables momentos, sin ustedes esto no hubiese sido posible."

*"Mira que te mando que te esfuerces y seas valiente; no temas ni desmayes, porque Jehová tu Dios estará contigo en dondequiera que vayas."  
Josué 1:9*

Juan Daniel Méndez Cruz

## AGRADECIMIENTOS

*Damos un agradecimiento muy especial a nuestra directora de tesis M.I. Silvina Hernández García, que confió en nosotros al brindarnos su apoyo, orientación e interés, además de toda su experiencia, de una manera que ha sido sobresaliente ya que sin ella no hubiese sido posible esto.*

*Así mismo agradecemos a la empresa Rodamex S.A de C.V, especialmente al Ing. Javier Borja y al señor Maximiliano por todo el apoyo brindado durante la elaboración de este documento.*

## ***RESUMEN***

El presente trabajo realiza un análisis con base a las metodologías de Manufactura Lean y Seis Sigma, para el mejoramiento de la calidad en las piezas manufacturadas de un proceso de producción de troquelado en una empresa mexicana dedicada a la manufactura de llantas para equipos caseros e industriales, tratándose de Nuevas Industrias Rodamex S.A de C.V.

Con base a estas metodologías se pueden establecer las condiciones en que se suscitan problemas en los procesos de producción y que generan mala calidad en las piezas producidas. Se trata de lograr el mejoramiento de un proceso de manufactura, para poder generar soluciones prácticas, sencillas, fáciles de implementar y que no generen nuevos problemas a los procesos, para corregir el problema de calidad.

Los problemas de calidad son errores no deseados en la producción, porque estos se generan desperdicios no solo de materia prima, sino también de energía, recursos humanos, etc. Por lo que esto se traduce directamente a pérdidas monetarias que impactan en el capital de la empresa, así como la limitación de acción de la empresa en el mercado actual.

# I N D I C E

<b>JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>8</b>
<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>10</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>11</b>
<b>CAPÍTULO I KAIZEN UN ESTILO DE VIDA .....</b>	<b>11</b>
KAIZEN PRINCIPIOS BASE.....	14
HERRAMIENTAS BÁSICAS USADAS EN KAIZEN.....	16
CICLO CIBERNÉTICO DE TRANSFORMACIÓN.....	19
<b>CAPÍTULO II MARCO HISTÓRICO .....</b>	<b>21</b>
MANUFACTURA LEAN.....	22
OBJETIVOS DE LA MANUFACTURA LEAN.....	22
CADENA DE VALOR.....	24
LOS 7 DESPERDICIOS DE LA MANUFACTURA LEAN.....	25
<b>CAPÍTULO III HERRAMIENTAS DE LA MANUFACTURA LEAN .....</b>	<b>27</b>
JUSTO A TIEMPO (JIT).....	28
KAN-BAN.....	32
5'S.....	34
<b>CAPÍTULO IV TÉCNICA SMED .....</b>	<b>37</b>
METODOLOGÍA.....	39
LOTE ECONÓMICO DE PRODUCCIÓN.....	44
<b>CAPÍTULO V POKA-YOKE.....</b>	<b>51</b>
<b>CAPÍTULO VI SEIS SIGMA .....</b>	<b>60</b>
HERRAMIENTAS SEIS SIGMA.....	61
METODOLOGÍA 6 SIGMA.....	65
LAS CLAVES DEL DMAIC.....	67
MÉTRICA SEIS SIGMA.....	68

## **CAPÍTULO VII APLICACIÓN DE MANUFACTURA LEAN EN UNA EMPRESA**

<b>MANUFACTURERA.....</b>	<b>71</b>
APLICACIÓN DE SMED .....	71
CONCLUSIÓN .....	75
APLICACIÓN POKA-YOKE .....	77
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	77
JUSTIFICACIÓN.....	77
OBSERVACIÓN. ....	78
EVALUACIÓN.....	78
MUESTRA ALEATORIA.....	81
PROCESO DE DISEÑO.....	85
SIMBOLOGÍA EMPLEADA PARA EL DIAGRAMA DE PROCESOS.....	86
PROCEDIMIENTO.....	86
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA: .....	87
LLUVIA DE IDEAS.....	88
SOLUCIÓN AL PROBLEMA.....	88
RETROALIMENTACIÓN.....	88
DIFERENTES SOLUCIONES.....	89
EVALUACIÓN DE LA FUNCIONALIDAD.....	89
MEJORAMIENTO DEL DISEÑO. ....	89
PLANEACIÓN Y PROYECCIÓN.....	89
OBJETIVO .....	90
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA: .....	90
SOLUCIÓN AL PROBLEMA.....	91
RETROALIMENTACIÓN.....	91
DIFERENTES SOLUCIONES.....	92
PRIMER DISEÑO.....	92
SEGUNDO DISEÑO .....	94
EVALUACIÓN DE LA FUNCIONALIDAD.....	96
PLANOS .....	102

MATERIALES.....	109
PIEZA 1 (BARRA SOPORTE). ....	109
PIEZA 2 (TORNILLO). ....	110
PIEZA 3 (BUJE MACHO).....	110
PIEZA 4 (BUJE HEMBRA). ....	111
PIEZA 5 (TUERCA).....	111
FABRICACIÓN.....	112
PIEZA 1 (BARRA SOPORTE) ....	112
PIEZA 2 (BUJE MACHO).....	114
PIEZA 3 (BUJE HEMBRA). ....	116
TRATAMIENTO TÉRMICO.....	119
ENSAMBLE .....	123
PRUEBAS .....	125
PRUEBA 1 .....	126
PRUEBA 2 .....	129
PRUEBA 3.....	132
ANÁLISIS 6 SIGMA.....	137
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>143</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>146</b>



## JUSTIFICACIÓN

Actualmente, México enfrenta retos en términos de competitividad, productividad y crecimiento económico más allá del 3.9% que registró el Producto Interno Bruto (PIB) en el año 2012 y ante el panorama de crecimiento lento registrado en el primer semestre del año 2010, la caída en la competitividad del país, los altos costos de producción, los problemas de calidad y el bajo crecimiento de la inversión extranjera directa en este sector, debido a la crisis económica del año 2009 con un déficit de -6.5%, es necesario fortalecer el ámbito empresarial orientado a maximizar el valor de los recursos de la empresa, como es el caso del pensamiento de “Empresa Esbelta”, surgido de la filosofía de Manufactura Lean, permitiendo a México garantizar mayor calidad en sus productos, menores costos de producción, reducir desperdicios, optimizar los procesos de producción y alentar la Inversión Extranjera Directa (IED).

Para ello, el sector empresarial mexicano debe implementar una metodología de Manufactura Lean, lo que implica, un fuerte cambio cultural en la manera de hacer más eficiente la productividad, implementar una filosofía de Mejora Continua que permita a las compañías reducir costos de producción en un 50 %, reducir inventarios, mejorar procesos, eliminar desperdicios, reducir Tiempos de Entrega (Lead Time), mejorar la calidad (satisfacción del cliente), incrementar la eficiencia de sus equipos, mantener sus márgenes de utilidad, elevar los niveles de competitividad, reducir defectos y el control del sistema productivo. Beneficios que se alcanzan como resultado de implementar los principios de la filosofía de Manufactura Lean, porque más que un método de trabajo es una nueva forma de administración y cultura de la empresa, todo esto con una inversión mínima de capital y con grandes beneficios obtenidos.

En el país, los diversos sectores industriales, las empresas y los ciudadanos, enfrentamos grandes retos con visión a futuro inmediato, debemos reducir costos en la manufactura, y ser más atractivos para los inversionistas extranjeros.

Aunque los antecedentes de Manufactura Lean, fueron en las áreas de producción de las empresas; a través de los años, se ha probado y extendido su influencia más allá de una fábrica a todos los departamentos operativos de las compañías (centros de distribución, almacenes, transportes, etc.) siendo una filosofía empresarial que posibilita a las empresas mejorar su posición competitiva en un entorno de mercado voraz y exigente en mayor o menor medida.

Exige a las empresas de manufactura mediante sus clientes y/o consumidores finales mayores requerimientos de calidad, variedad de productos, cero defectos, mayor confiabilidad, funcionalidad garantizada, rapidez en tiempos de entrega, desarrollo e innovación de nuevos productos, entregas en lotes pequeños con mayor frecuencia, precios más bajos y fabricación de productos a la medida.

Los problemas de calidad generan altos costos de producción, los cuales generalmente no son evidentes en proceso, por lo que detectar cada una de las fallas, conlleva a la integración de un equipo multidisciplinario con trabajadores de la empresa así como personas externas que dominen las metodologías de Manufactura Lean y Seis Sigma, para el mejoramiento de la calidad, el trabajo en conjunto del equipo permite hacer evidentes las fallas de los operadores y de los equipos del proceso, proponer soluciones a los problemas identificados y proponer soluciones prácticas a los mismos.

La Manufactura Lean es una metodología para empresas con enormes beneficios, pero para poder llegar a ella se debe comenzar por la detección de problemas en los procesos que generan mala calidad, por lo que es indispensable corregirlos para depurar así a la empresa de errores, pues no es posible generar lotes pequeños y una producción justo a tiempo.

De no detectar los problemas de calidad justo donde están generando, este error pasa a los siguientes procesos, siendo el problema menos evidente, causando desperdicios de materia prima, recursos humanos, tiempo, etc. La calidad es algo que deben de buscar las empresas mexicanas con mucho énfasis, porque permite a estas incorporarse al mercado y tener la satisfacción total del cliente al comprar productos con cero defectos y así fomentar el crecimiento de la economía mexicana.

# OBJETIVOS

## OBJETIVO GENERAL.

Aplicación de la metodología de Manufactura Lean y 6 Sigma, para el mejoramiento de la calidad en un proceso de producción de troquelado.

## OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Realizar un análisis estadístico de las piezas producidas.
- Identificar la o las fallas en un proceso de troquelado causantes de una mala calidad en las piezas producidas.
- Diseñar un herramental que corrija los errores de calidad.
- Corregir problemas de calidad en las piezas producidas.
- Asegurar la calidad de las piezas en un rango de tolerancias de  $\pm 0.30$  mm.

# INTRODUCCIÓN

El uso de los principios y técnicas de operación de la Manufactura Lean cuentan con bastante difusión y aceptación en la industria de la manufactura. Existen actualmente ejemplos de aplicaciones exitosas de estas técnicas en muy diferentes tipos de industria, desde la manufactura de componentes, motores para aviones, automóviles hasta la fabricación de guitarras acústicas de alta calidad, etc. Incluso en México gran cantidad de empresas de manufactura mediana y grande están embarcadas en la implementación de alguna técnica de Manufactura Lean.

A lo largo de este trabajo se aplicaran algunas de las técnicas empleadas en la Manufactura Lean quedando el desarrollo de este trabajo dividido en 7 capítulos.

En el primer capítulo trata la filosofía japonesa Kaizen para la mejora continua. En el segundo capítulo denominado marco histórico se da una reseña sobre la Manufactura Lean, sus objetivos, y sus beneficios. El tercer capítulo llamado herramientas de la Manufactura Lean, explica las principales técnicas empleadas en este tipo de filosofía, su metodología y aplicaciones. En los capítulos cuarto, quinto y sexto de este trabajo se explica detalladamente las técnicas SMED, POKA-YOKE y Seis Sigma respectivamente, la primera de estas, detallando el cambio rápido de herramientas, la segunda técnica es una metodología para una producción a prueba de errores, la última técnica muestra los principios de una herramienta de tipo estadístico, la cual nos guiará para poder medir el nivel calidad de las piezas producidas en el proceso de troquelado a estudiar.

En el último capítulo se aplicaron todas estas técnicas en una empresa manufacturera. En la sección final se comentan las conclusiones obtenidas a lo largo del desarrollo de este trabajo.

## CAPÍTULO I KAIZEN UN ESTILO DE VIDA

La técnica Kaizen es una de las claves más importantes del éxito de la administración japonesa. Esta palabra tiene origen en dos vocablos *Kai* el cual tiene como significado **cambio** y de *zen* esta palabra significa **mejorar**.

Kaizen es una actividad que se debe llevar a cabo todos los días ya que su raíz trasciende la mejora. Kaizen significa mejoramiento progresivo que involucra a todos tanto a gerentes como a trabajadores. La filosofía Kaizen supone que nuestra forma de vida (sea nuestra vida de trabajo, vida social o vida familiar) merece ser mejorada de manera constante<sup>1</sup>.

Ya que cuando este proceso se realiza a la perfección humaniza el lugar de trabajo, elimina excesivamente el trabajo duro (mental y físico), y enseña a la gente como realizar experimentos usando el método científico y como aprender a marcar y eliminar la basura o los procesos que no dan valor agregado al producto o servicio.

Usando el término Kaizen en vez de palabras como, Cero Defectos KAN-BAN y sistema de sugerencias, muestra una imagen mucho más clara de lo que ha estado sucediendo en la industria japonesa.

El Kaizen no requiere de técnicas sofisticadas o de tecnologías avanzadas. Para implantar Kaizen sólo se necesitan técnicas sencillas como las Siete Herramientas de Mejora.

- Lluvia de Ideas.
- Diagrama de Causa–Efecto.
- Hoja de Verificación.
- Diagrama de Pareto.
- Histograma.
- Diagrama de Dispersión.
- Gráficos de Control.

---

<sup>1</sup> KAIZEN La Clave de La Ventaja Competitiva Japonesa Masaaki Imai pág.39

Se puede englobar que Kaizen es el concepto de una sombrilla como se muestra en la Figura 1.1 que involucra numerosas prácticas y herramientas, que permiten una mejora continua en la organización. Algunas de esas herramientas han formado parte de los clásicos instrumentos utilizados por las corporaciones japonesas, pero también incluye nuevos instrumentos los cuales han sido generados en occidente y los cuales contribuyen a mejorar de forma continua el performance de las empresas.



Figura 1.1 Sombrilla Kaizen<sup>2</sup>

La técnica Kaizen como se menciona es una forma de vida en donde siempre existe la manera de realizar de mejor manera las cosas, las principales características esta técnica son las siguientes:

Trata de involucrar a los empleados a través de las sugerencias. El objetivo es que lo trabajadores utilicen tanto sus cerebros como sus manos.

<sup>2</sup> KAIZEN La Clave de La Ventaja Competitiva Japonesa Masaaki Imai pág.40

Cada uno de nosotros tiene sólo una parte de la información o la experiencia necesaria para cumplir con su tarea. Dado este hecho, cada vez tiene más importancia la red de trabajo. La inteligencia social tiene una importancia inmensa para triunfar en un mundo donde el trabajo se hace en equipo.

Generar el pensamiento orientado al proceso, ya que los procesos deben ser mejorados antes de que se obtengan resultados mejorados.

Kaizen no requiere necesariamente de técnicas sofisticadas o tecnologías avanzadas. Para implantarlas, se necesitan técnicas sencillas como las siete herramientas del control de calidad.

La resolución de problemas apunta a la causa-raíz y no a los síntomas o causas más visibles. Construir la calidad en el producto, desarrollando y diseñando productos que satisfagan las necesidades del cliente.

En el enfoque Kaizen se trata de “Entrada al mercado” en oposición a “Salida del producto”.

### **KAIZEN PRINCIPIOS BASE**

Existen diez principios básicos <sup>3</sup>del Kaizen, los cuales provienen de la práctica de algunas compañías en Japón, se refieren al entrenamiento y al desarrollo de las personas, y son los que pueden transferirse fácilmente a una compañía para establecer una cultura Kaizen, pues concentran energía, el involucramiento y el impulso de los empleados y contribuyen a crear la sensación de una comunidad empresarial que trabaja conjuntamente dentro de una sociedad de clientes estos son:

#### **1. Concentración de los clientes.**

Todos los esfuerzos que se realicen dentro de la empresa deben estar dirigidos a satisfacer las necesidades del cliente.

---

<sup>3</sup> Como brindar un servicio integral al cliente: Lo mejor de las estrategias Kaizen /Patricia Wellington

**2. Realizar mejoras continuas.**

En una compañía que se implemente el Kaizen se está en la búsqueda permanente de formas de perfeccionarse.

**3. Reconocer abiertamente los problemas.**

Cada integrante de la compañía debe sentirse motivado a comunicar los problemas, para poder hallarles soluciones pertinentes.

**4. Promover la apertura.**

Eliminación de las barreras funcionales, minimización del efecto que provoca el status o rango en pos de favorecer lo comunal; todo esto refuerza la visibilidad del liderazgo y la vitalidad de la comunidad.

**5. Crear equipos de trabajo.**

Se deben establecer grupos de trabajo dirigidos por su líder de equipo e implantar la participación activa en varios equipos multifuncionales que induzcan a la vida corporativa, reforzando así la sensación de propiedad mutua, responsabilidad colectiva y concentración en la compañía.

**6. Manejar los proyectos a través de equipos multifuncionales.**

El Kaizen establece que ningún individuo ni equipo que realice una sola función poseerá necesariamente todas las habilidades ni será siempre quien proponga las mejores ideas para manejar eficientemente un proyecto, incluso si este se relaciona con su propia disciplina.

**7. Nutrir los procesos de relaciones más apropiados.**

Las compañías Kaizen están tan preocupadas e impulsadas por el logro de metas financieras como cualquier otra empresa, pero su premisa es si los procesos son sólidos y se diseñan las relaciones de manera que se promueva la realización de los empleados, inevitablemente se producirán los resultados esperados.

**8. Desarrollar la autodisciplina.**

La filosofía Kaizen exige la autodisciplina en el empleado, así como el comportamiento auto-controlado, porque el respeto por uno mismo y por la



compañía indica fuerza interna, integridad y capacidad para trabajar en armonía con colegas y clientes.

**9. Mantener informados a los empleados.**

Todo el personal debe estar muy bien informado sobre su compañía, tanto en la inducción, como durante el tiempo que esté empleado. Tanto la alineación y entendimiento de la misión, cultura, valores, los planes y la práctica de la compañía deben ser comprendidos e interiorizados por el empleado.

**10. Desarrollar a todos los empleados.**

El desarrollo del recurso humano le brinda las habilidades y oportunidades necesarias para aplicar la información suministrada.

**HERRAMIENTAS BÁSICAS USADAS EN KAIZEN.**

**Círculos de Control de Calidad.**

Se encargan de mantener los niveles de calidad y mejoramiento: Como dominio de todos los empleados y como un proceso centrado en los seres humanos.

**Gerencia Orientada al Proceso.**

Los gerentes o líderes de equipo Kaizen están abiertamente orientados al proceso de conseguir los resultados requeridos. Por tanto, cada uno es juzgado según sus habilidades en materia de relaciones humanas, como la capacidad de fomentar la participación de los miembros del equipo. La administración de tareas o tiempo, la educación y el entrenamiento, la participación y el desempeño del equipo.

**Gerencia Inter-funcional.**

Esto elimina la miopía de los problemas y los horizontes artificiales reducidos por la sectorización o la territorialidad.

### **KAN-BAN.**

Es una técnica manual de programación de producción, controlada por un operador de procesos o un operario de máquinas. Cuando se aproxima al final de las existencias de reservas de las unidades que el operador utiliza en su trabajo le entrega un KAN-BAN (tarjeta en la que hace su pedido) al operador que ocupa un lugar anterior al suyo en la línea de producción o en la cadena de suministro.

Es una metodología para vigilar un proceso, para identificar las causas especiales de variación y para señalar la necesidad de tomar alguna acción correctiva cuando sea apropiado.

El proceso se considera fuera de control cuando están presentes causas especiales. Si la variación del proceso solo se debe a causas comunes, se dice que el proceso está bajo control estadístico.

Una definición práctica de Control Estadístico es que a través del tiempo tanto los promedios como las varianzas del proceso son constantes<sup>4</sup>.

### ***Causas comunes y causas especiales de variación***

Las causas de variación en un proceso se pueden clasificar en:

Causas comunes, las cuales ocurren de manera natural por las características implícitas de la maquinaria (tecnología), personal (conocimiento y destreza), medio ambiente, métodos de trabajo y materiales.

Causas especiales, las cuales ocurren al presentarse un comportamiento o desempeño anormal en maquinaria, personal, medio ambiente, métodos de trabajo y/o materiales. Regularmente son de origen externo al proceso.

---

<sup>4</sup> Evans & Lindsay (1999). "Administración y Control de la Calidad". Thomson Editores. 4ª Ed., 649

### Ciclo PDCA.

Este ciclo consta de cuatro etapas<sup>5</sup>, y se describen a continuación:

**I. Planear.**

Se debe establecer un objetivo de mejoramiento en cualquier área.

**II. Hacer.**

Se refiere a implementar el plan, esto a través de la realización de las acciones apropiadas y relevantes para mejorar.

**III. Verificar.**

Consiste en determinar si la implementación del plan sigue en curso y sobre todo si se ha originado el mejoramiento que se había planeado.

**IV. Actuar.**

Consiste en ejecutar y estandarizar los nuevos procedimientos resultado del proceso anterior-para prevenir que el problema se vuelva a originar o bien para fijar las metas para los nuevos mejoramientos.

En general podemos decir que Kaizen puede ayudar a las empresas a descubrirse por sí mismas y de esta manera no buscar el éxito fuera de ellas, debido a que Kaizen no es una forma de trabajar sino una forma de vivir de este modo podemos decir que es conocerte a ti mismo.

Ahora sabemos que el mejoramiento continuo es una herramienta que permite renovar los procesos manteniendo así a las empresas en contante actualización, permite a las organizaciones que sean más eficientes y competitivas.

---

<sup>5</sup> Como brindar un servicio integral al cliente: Lo mejor de las estrategias Kaizen /Patricia Wellington

## CICLO CIBERNÉTICO DE TRANSFORMACIÓN.

Se destaca como otra herramienta de gran importancia en el desarrollo de esta filosofía, este método es el “Ciclo Cibernético de Transformación<sup>6</sup>” (CCT) el cual se representa en la figura 1.2.

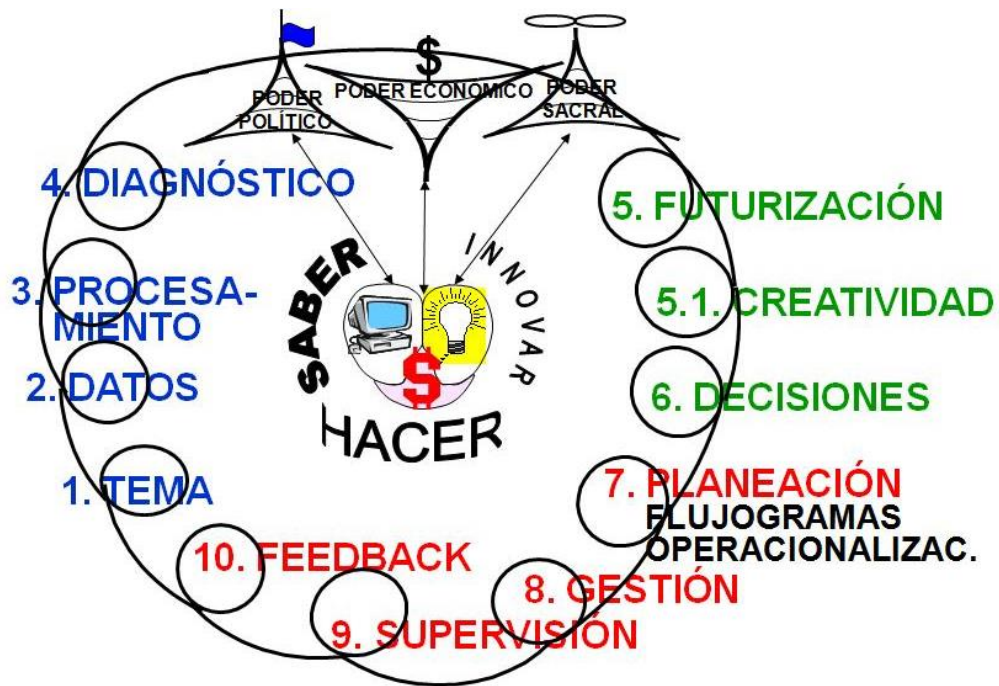


Figura 1.2 Ciclo Cibernético de Transformación

Donde se observa que se basa en 10 puntos, utilizando las tres partes en que se divide el cerebro humano y se hace uso de cada una de las partes para poder entender y desarrollar un concepto, estas son el **saber**, el **crear** y el **hacer**.

En la primera de ellas **el saber** se necesita un tema, una recopilación de datos, así como su procesamiento, a su vez un diagnóstico de los datos obtenidos. La segunda parte de este ciclo se encarga de **crear**, se futuriza el proyecto y para poder decidir hacia donde se debe dirigir, tomar decisiones de lo que se piensa realizar y por último juntar las partes anteriores, se procede a la siguiente etapa **hacer**, en el cual se planea como ir

<sup>6</sup> Gregori, Waldemar de EN BUSCA DE UNA NUEVA NOOLOGIA Estudios Pedagógicos, núm. 25, 1999

desarrollando las tareas, gestionar y supervisar estas, para finalmente llegar a una Retroalimentación (**Feedback**) la cual consiste en comunicar en forma verbal y/o no verbal a otra persona o grupo sobre su conducta y como ésta afecta. Incluye un componente perceptual de lo que ya se observó y un componente emocional que sirve para reflejar a los demás cuales comportamientos deben seguir realizándose, generando los efectos positivos, o cuales modificar o cambiar en función del impacto negativo. Esto principalmente como la base de la retroalimentación.

Cabe remarcar que el uso de esta técnica es fundamental para realizar una aplicación correcta de las diversas herramientas dentro de esta filosofía. Podemos concluir que la filosofía básica del nuevo diseño del trabajo es delegar tanto la planificación y la ejecución.

## CAPÍTULO II MARCO HISTÓRICO

### Historia de la Manufactura Lean

Se pueden rastrear los orígenes de la Manufactura Lean en la industria japonesa a finales de la Segunda Guerra Mundial. En aquel momento Kiichiro Toyoda, fundador de Toyota Motor Company, se dio cuenta de que la productividad de los obreros americanos era nueve veces mayor que la de los obreros japoneses, “tenían que alcanzar a Estados Unidos en tres años”, o se verían desplazados por los americanos para siempre. Es en esas circunstancias que Taiichi Ohno, quien ya era conocido por haber mejorado la productividad en las plantas de textiles de la familia Toyoda, es contratado por Toyota para incrementar la productividad de la compañía. Pronto Ohno se dio cuenta que la baja productividad no podía deberse a que el trabajador americano pudiera hacer físicamente 9 veces más trabajo. El problema según pensaba, era que el trabajador japonés estaba trabajando de una manera muy ineficiente, haciendo muchas tareas que en realidad no eran necesarias, a las que llamó desperdicios (muda en japonés). Si esos desperdicios pudieran ser eliminados, la productividad podría incrementarse en un factor de 10, o tal vez más.

Este concepto de “eliminar los desperdicios” es el motor de los trabajos de Taiichi Ohno en Toyota quien se dedicó sistemáticamente a encontrar y eliminar las causas de dichos desperdicios. Los conceptos y herramientas desarrollados durante años de ensayos para el perfeccionamiento de las operaciones productivas de Toyota nos llegan organizados y sistematizados en lo que se conoce como el Sistema Toyota de Producción (TPS, por sus siglas en inglés). El término “Lean Manufacturing” (traducido frecuentemente al español como Manufactura Esbelta) fue utilizado por James Womack y Daniel Jones en su libro “The machine that changed the World”, para referirse a ese conjunto de prácticas de manufactura resumidas en el TPS.

### MANUFACTURA LEAN

La Manufactura Lean <sup>7</sup> “Es una forma de pensar para adaptarse al cambio, eliminar desperdicio y mejorar continuamente usando herramientas y técnicas para lograr maximizar el esfuerzo de la fuerza laboral y así operar como una compañía esbelta”.

Son varias herramientas que ayudan a eliminar todas las operaciones que no le agregan valor al producto, servicio y a los procesos, aumentando el valor de cada actividad realizada y eliminando lo que no se requiere. Reducir desperdicios y mejorar las operaciones. La Manufactura Lean nació en Japón y fue concebida por los grandes gurús del Sistema de Producción Toyota: William Edward Deming, Taiichi Ohno, Shigeo Shingo, Eijy Toyota entre algunos otros.

El sistema de Manufactura Lean se ha definido como una filosofía de excelencia de manufactura, basada en:

- La eliminación planeada de todo tipo de desperdicio.
- Mejora continua: Kaizen.<sup>8</sup>
- La mejora consistente de productividad y calidad.

### OBJETIVOS DE LA MANUFACTURA LEAN

Los principales objetivos de la Manufactura Lean es implantar una filosofía de mejora continua que le permita a las compañías reducir sus costos, mejorar los procesos y eliminar los desperdicios para aumentar la satisfacción de los clientes y mantener el margen de utilidad. Manufactura Lean proporciona a las compañías herramientas para sobrevivir en un mercado global que exige calidad más alta, entrega más rápida a más bajo precio y en la cantidad requerida.

---

<sup>7</sup> Maldonado Villalva, Guillermo: *Herramientas y técnicas lean manufacturing en sistemas de producción y calidad*. México: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Ingeniería Industrial.

<sup>8</sup> VONK, J. (2005) "Process Improvement in Business Permits through Kaizen", *Innovations Management*, Spring, pp. 33-34.

Específicamente, Manufactura Lean:

- Reducir la cadena de desperdicios dramáticamente.
- Reducir el inventario y el espacio en el piso de producción.
- Crear sistemas de producción más robustos.
- Crear sistemas de entrega de materiales apropiados.
- Mejorar las distribuciones de planta para aumentar la flexibilidad.

### **BENEFICIOS.**

La implantación de Manufactura Lean es importante en diferentes áreas, ya que se emplean diferentes herramientas, por lo que beneficia a la empresa y sus empleados, sobre todo a la producción neta de la empresa.

Algunos de los beneficios que genera son:

- Reducción de 50% en costos de producción.
- Reducción de inventarios al mínimo.
- Reducción del tiempo de entrega (lead time).
- Mejoramiento de la calidad.
- Menor mano de obra.
- Mayor eficiencia de equipo.
- Disminución de los desperdicios.
- Evitar la sobreproducción.
- Tiempo de espera (los retrasos).
- Reducción de espacio de trabajo.
- Corrección de errores.
- Eliminar movimientos innecesarios.
- Eliminar procesos eficientes.
- Espacio de trabajo con mayor orden.



**CADENA DE VALOR.**

El término esbeltez se enfoca en la reducción de desperdicios, eliminando lo innecesario para manufacturar un producto y/o servicio y es manifestado en un énfasis al flujo, con 5 pasos esenciales en la cadena de valor (ver Figura 2.1) de Manufactura Lean<sup>9</sup>.

1. Identificar que características crean valor.
2. Identificar la secuencia de actividades llamada “corriente de valores”.
3. Mejorar el flujo.
4. Permitir al cliente que consiga el producto o servicio a través del proceso.
5. Perfeccionar el proceso.

En la figura 2.1 se muestra un diagrama de flujo el cual ilustra las iteraciones necesarias para la búsqueda de perfección.

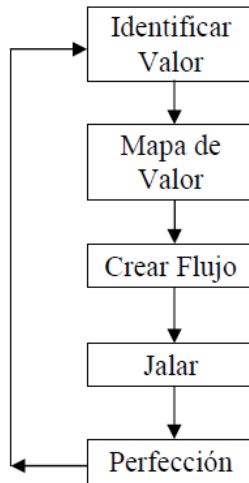


Figura 2.1 Cadena de Valor

<sup>9</sup> Lean Thinking: Banish waste and create wealth in your corporation. James Womack and Daniel T. Jones, Simon and Schuster. New York. 1996.

## LOS 7 DESPERDICIOS DE LA MANUFACTURA LEAN

La Manufactura Lean, se enfoca en eliminar los desperdicios identificando 7 fuentes principales dentro del sistema de producción Toyota:

### 1. Espera.

Cuando el producto se encuentra esperando para ser procesado o entregado, durante este tiempo ninguna actividad que agrega valor está sucediendo. Es el caso por ejemplo de un lote de producto esperando su turno mientras otro lote se acaba de procesar. En una planta de proceso un ejemplo de este desperdicio son los tiempos de llenado de tanques y reactores.

### 2. Transporte.

Es el desperdicio de mover el material de un lugar a otro sin sufrir ninguna transformación. Por ejemplo, después de fabricado un lote es transportado a un tanque de granel para posteriormente ser transportado a un transporte a granel (pipa o tolva) o a contenedores.

### 3. Inventarios.

La fabricación de un producto que no es requerido por la siguiente etapa en la cadena de valor, ya sea otra etapa de proceso (creando un inventario de producto en proceso) o por el cliente (creando un inventario de producto final). Éste, es un desperdicio muy costoso ya que adicionalmente al capital atado al inventario, la conservación, almacenamiento y movimiento de dichos inventarios no agregan valor, consumen dinero y pueden generar pérdidas adicionales por merma en el manejo u obsolescencia.

### 4. Sobre-Proceso.

Trabajar en un producto más de lo necesario debido a un pobre diseño o a procesos deficientes. Por ejemplo, empacar un lote en contenedores intermedios, para posteriormente empacarlos en su contenedor final. Pero también procesos en los que se calientan las materias primas para fabricar a un intermedio, se almacena el intermedio, se enfría, para luego volverlo a calentar para su transformación final.

**5. Mermas.**

Producir algún lote de producto defectuoso, que no se puede vender al cliente o tiene que ser reprocesado, o rematado a un precio inferior. También cualquier remanente de producción que no pueda ser vendido.

**6. Sobreproducción.**

Producir anticipadamente más de lo estrictamente necesario a utilizar por la siguiente etapa de proceso o de lo ordenado por el cliente. Típicamente ocurre cuando se realizan “campañas de producción” o se quiere llegar a cumplir cierta “cuota de producción”. Este desperdicio consume materiales y tiempo de equipo de proceso, que muchas veces son necesarios para fabricar otro material que sí es requerido por el cliente.

**7. Movimientos innecesarios.**

Éstos son desplazamientos innecesarios del trabajador para realizar su trabajo, tanto al desplazarse fuera de su lugar de trabajo, para ir a buscar un material o herramienta que necesite, incluso si el sanitario o el vestidor le quedan muy lejos; También se refiere a los movimientos repetitivos en su estación de trabajo que puedan causar fatiga o alguna lesión de trauma acumulativo.

La Manufactura Lean va más lejos que la reingeniería, al no limitarse al análisis y la mejora de procesos aislados, como el proceso de pedidos de clientes o cuentas por pagar de una gran variedad de productos. Sino al análisis y optimización de cadenas de valor. Agilizando la adición de valor de productos específicos en toda su cadena de valor. Las funciones dentro de una empresa son entonces organizadas ya no por departamentos, ni en como procesos aislados, sino alrededor de familias que toman propiedad de la entera cadena de valor de una familia de productos a lo largo de la empresa.

## CAPÍTULO III HERRAMIENTAS DE LA MANUFACTURA LEAN

Actualmente las técnicas desarrolladas para Manufactura Lean cuentan con amplia difusión en la industria de manufactura y se estudian y aún aplican por separado. Ejemplos de estas herramientas son:

- **Justo a tiempo (JIT).** La operación de una línea de producción sin inventarios o con inventarios mínimos.
- **KAN-BAN** Una forma de sincronizar el movimiento de materiales a través de una línea de producción, mediante el uso de señales visibles. Una herramienta para lograr JIT.
- **Single-Minute Exchange of Dies (SMED)** o en español cambio rápido de herramientas. La configuración o preparación de cualquier máquina o equipo productivo hecha en menos de 10 minutos. SMED es necesario para poder fabricar lotes pequeños, y poder pasar rápidamente de la fabricación de un producto a la de otro, fundamental para la aplicación de JIT.
- **A prueba de errores (POKA-YOKE).** Cualquier dispositivo o sistema orientado a la prevención de defectos en la producción.
- **5'S.** Es un programa sistemático y completo de Orden y Limpieza, elemento fundamental del TPM.

### JUSTO A TIEMPO (JIT)

Taiichi Ohno, el hombre que fue pionero de la implantación justo a tiempo en Toyota, desarrolló este concepto dada la necesidad de tener un sistema eficiente de producir pequeñas cantidades de automóviles, de diferentes modelos. Esta era una forma de producir completamente diferente a la utilizada en los EE.UU. donde se hace grandes cantidades de automóviles del mismo modelo.

Justo a tiempo<sup>10</sup>, (JIT) se define actualmente como sistema de manufactura donde todas las actividades se desarrollan de forma tal que los componentes y materiales requeridos en los procesos de producción están en el lugar correspondiente, en el momento exacto en que se necesitan.

Justo a tiempo es una filosofía industrial que consiste en la reducción de desperdicio (actividades que no agregan valor) es decir todo lo que implique subutilización en un sistema desde compras hasta producción.

- Reducir inventarios.
- Sistema pull (jalar el producto).
- Minimizar tiempos de preparación.
- Velocidad óptima de producción.
- Creación de células de producción.
- Optimización de la distribución de planta.
- Tamaño de lotes pequeños.

Los objetivos de un programa justo a tiempo incluyen el de producir a la medida exacta de la demanda, mejorar constantemente y eliminar desperdicios de todo tipo. Las premisas seguidas en el del diseño de sistemas justo a tiempo indican que la fuente de la productividad y la calidad son los trabajadores (las personas). Adicionalmente que los

---

<sup>10</sup> Gutiérrez Garza, Gustavo. Justo a Tiempo y Calidad Total, Principios y Aplicaciones. Quinta edición. Ediciones Castillo S. A. de C. V., Monterrey, Nuevo León, México, 2000

sistemas justo a tiempo tienen que ser independientes de la cultura de la fuerza laboral y que la gerencia tradicional crea que las prácticas deben cambiarse.

Se podría decir que el objetivo de un sistema Justo a Tiempo es conseguir 100% de buenos productos o servicios en cada paso del proceso que va desde la concepción del mismo, a su entrega final al consumidor.

### **Reducción de inventarios (Básico).**

Este concepto analiza los inventarios en proceso los cuales deben ser reducidos o en su caso eliminados. Un inventario en proceso es sinónimo de un error administrativo un producto que espera o un cliente que hace fila dentro del sistema, refleja falta de equilibrio o desincronización en las operaciones.

1. Problemas más comunes en orden de costo menor-mayor.
2. Tiempos de preparación muy largos.
3. Lotes de producción muy grandes.
4. Problemas de calidad.
5. Lista de materiales con muchos niveles.
6. Descompostura de maquinaria.
7. Mala calidad de los proveedores.
8. Tiempo de ciclo muy largo.
9. Demasiado desperdicio y retardo.
10. Ausentismo del personal.
11. Distribución de planta deficiente.

### **Sistemas Pull o jalar la producción.**

En un sistema de producción en línea sencilla, el sistema pull consiste en que un producto en proceso no sea pasado a la operación siguiente hasta que está se libere, de esta manera solo se produce lo que se demanda, evitando los cuellos de botella. El sistema de jalar la

producción equilibra las actividades de una línea de producción y no genera inventarios en proceso.

### **Minimizar los tiempos de preparación.**

Disminuir los tiempos de preparación internos (cuando la máquina debe detenerse) mejorando la calidad de mantenimiento preventivo, y la rapidez del mantenimiento emergente. Aumentar la calidad y disminuir la distracción del mantenimiento externo (cuando el producto no se tiene que detener).

### **Equilibrio en las operaciones.**

Indicador que mide el equilibrio en las operaciones y se basa en calificar el resultado de la razón: Número de piezas/Estaciones de trabajo.

### **Optimización en el uso de piso.**

La redistribución de planta, bajo la filosofía de manufactura JIT da como resultado la ganancia de piso (reducción del desperdicio de piso). Los sistemas de producción mano a mano garantizan el ahorro de espacio y eliminación de inventarios en proceso.

### **Tamaño de lotes pequeños.**

Uno de los resultados de buenos tiempos de preparación o alistamiento es la posibilidad de manejar lotes pequeños el tamaño óptimo de los lotes es de un producto a la vez para ajustarse al sistema pull y realizar un concepto cliente proveedor.

Ventajas del sistema de producción justo a tiempo:

- Reducción de inventarios.
- Mejoramiento de la calidad.
- Sincronización entre operaciones.
- Flexibilidad en la producción.
- Eliminación de actividades no redituables.
- Optimización del uso de instalaciones.



Figura 3.1 Esquema de un sistema Justo a tiempo.

En la figura 3.1 se muestra los procesos por los que se pasa para poder implementar Justo a Tiempo y que los beneficios se observan en el incremento de las ventas de los productos. La idea básica del Justo a Tiempo es producir un artículo justo a tiempo para que este sea vendido o utilizado por la siguiente estación de trabajo en un proceso de manufactura. Debido a que el inventario es considerado la raíz de muchos problemas en las operaciones, este debe ser eliminado o reducido al mínimo. El Justo a Tiempo puede reducir la necesidad de inventarios, lo bastante para reducir las fuentes de incertidumbre o diseñar un sistema más flexible para enfrentar las necesidades de cambio. De ahí que la orientación del Justo a Tiempo sea diferente de los sistemas tradicionales.



**KAN-BAN**

KAN-BAN<sup>11</sup> significa en japonés "etiqueta de instrucción" o tarjeta. La etiqueta KAN-BAN contiene información que sirve como orden de trabajo; ésta es su función principal, en otras palabras es un dispositivo de dirección automático que nos da información acerca de que se va a producir, en que cantidad, mediante que medios, y como transportarlo.

Un ejemplo de una tarjeta KAN-BAN se muestra en la figura 3.2 donde se observa elementos como descripción del producto, el número de tarjeta, el código de barras correspondiente a la pieza o producto, la cantidad a producir, el contenedor, el proveedor etc.

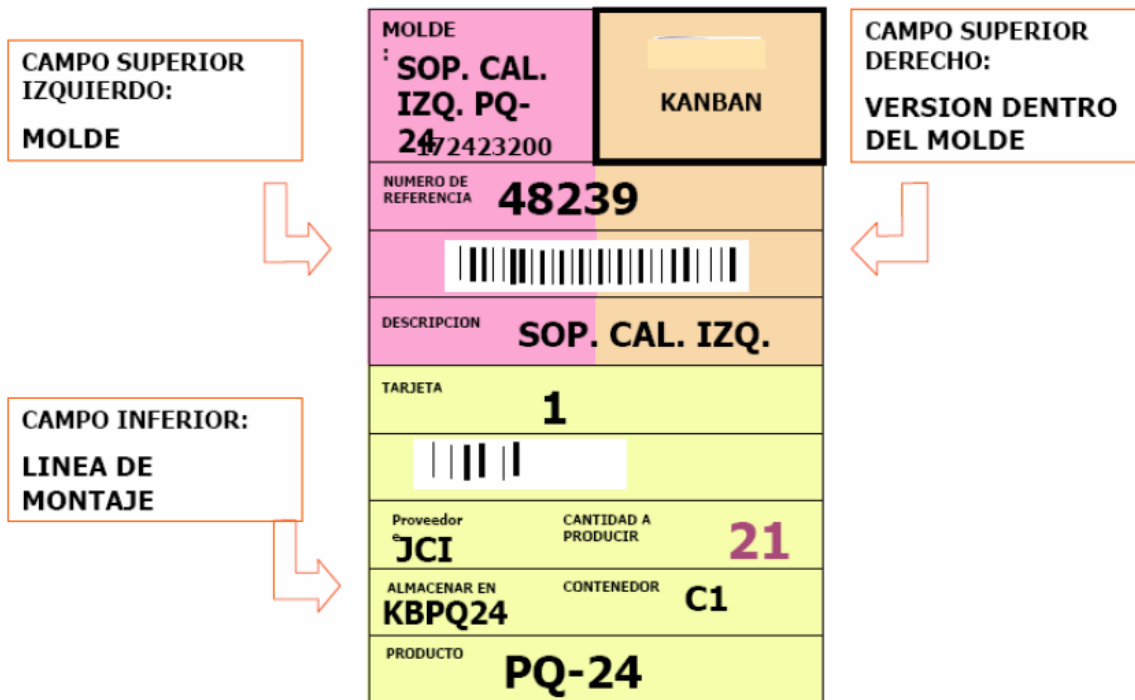


Figura 3.2 Ejemplo de tarjeta KAN-BAN

<sup>11</sup> Shingō, Shigeo (1989). *A Study of the Toyota Production System from an Industrial Engineering Viewpoint*. Productivity Press. pp. 228. ISBN 0915299178.

KAN-BAN se enfoca a (en producción):

- Poder empezar cualquier operación estándar en cualquier momento.
- Dar instrucciones basados en las condiciones actuales del área de trabajo.
- Prevenir que se agregue trabajo innecesario a aquellas órdenes ya empezadas y prevenir el exceso de papeleo innecesario.
- Movimiento de materiales.
- Eliminación de sobreproducción.
- Prioridad en la producción, el KAN-BAN con más importancia se pone primero que los demás.
- Se facilita el control de material.

KAN-BAN sólo puede aplicarse en fábricas que impliquen producción repetitiva. Antes de poder implementa el sistema KAN-BAN es necesario desarrollar una producción "Labeled mixed production schedule" lo que es español quiere decir Programa de producción de etiquetas mezcladas, para suavizar el flujo de material (ésta deberá ser practicada en la línea de ensamble final). No funcionará si existe una fluctuación muy grande entre la integración de los procesos. Se creará desorden y se tendrá que implementar sistemas de reducción de set-ups, de lotes pequeños, así también ayudarse de herramientas de calidad para poder introducir KAN-BAN.

En este sistema de producción el proceso se conduce de tal forma que cada operación vaya jalando el producto necesario de la operación anterior solamente a medida que lo necesite.

Toyota le puso a esta técnica el nombre de KAN-BAN cuyo significado es tarjeta.

### 5'S

Basada en palabras japonesas que comienzan con una "S", esta filosofía se enfoca en trabajo efectivo, organización del lugar, y procesos estandarizados de trabajo. "5S" simplifica el ambiente de trabajo, reduce los desperdicios y actividades que no agregan valor, al tiempo que incrementa la seguridad y eficiencia de calidad.

El método de las "5S" es una forma de involucrar a las personas y contribuir al cambio de cultura. "5S" es un sistema orientado a la limpieza visual, organización y disposición para facilitar una mayor productividad, seguridad y calidad. Compromete a todos los empleados y es la base para una mayor auto-disciplina en el trabajo para un mejor trabajo y mejores productos.

#### **Clasificación (Seiri).**

Se refiere a eliminar del área de trabajo todo aquello que no sea necesario. Una forma efectiva de identificar estos elementos que habrán de ser eliminados es designada como "etiquetado en rojo". Una tarjeta roja (de expulsión) es colocada a cada artículo que se considera no necesario para la operación. Enseguida, estos artículos son llevados a un área de almacenamiento transitorio.

#### **Orden (Seiton).**

Se enfoca a sistemas de guardado eficientes y efectivos.

¿Qué necesito para hacer mi trabajo?

¿Dónde lo necesito tener?

¿Cuántas piezas de ello necesito?

1. Algunas estrategias para este proceso de "todo en su lugar" son:
  - Pintura de pisos delimitando claramente áreas de trabajo y ubicaciones.
  - Tablas con siluetas.
  - Maletas o carros de herramientas portátiles.

- Estantería modular y/o gabinetes para tener en su lugar cosas como un bote de basura, una escoba, trapeador, cubeta, etc.
2. Todo debe tener su lugar donde todo el que la necesite, la halle. "Un lugar para cada cosa y cada cosa en su lugar."

### **Limpieza (Seiso).**

Una vez que se ha eliminado la cantidad de estorbos y basuras, y relocalizado lo que sí se necesita, viene una súper-limpieza del área.

1. Cuando se logre por primera vez, habrá que mantener una diaria limpieza a fin de conservar el buen aspecto y comodidad de esta mejora.
2. Se desarrolla un orgullo por lo limpia y ordenada que tienen su área de trabajo. Este paso entrega un buen sentido de propiedad en los trabajadores.

Al mismo comienzan a resultar evidentes problemas que antes eran ocultados por el desorden y suciedad:

- Fugas de aceite, aire, refrigerante.
- Partes con excesiva vibración o temperatura.
- Riesgos de contaminación.
- Partes fatigadas, deformadas, rotas.

### **Estandarizar (Seiketsu).**

Al implementar las 5'S, se debe concentrar en estandarizar las mejores prácticas en el área de trabajo. Dejar que los trabajadores participen en el desarrollo de estos estándares o normas. Ellos son valiosas fuentes de información en lo que se refiere a su trabajo, pero con frecuencia no se les toma en cuenta. Los pasos en la estandarización son:

- Establecer una lista de comprobación de rutina para cada área de trabajo. Esto muestra lo que el equipo debe comprobar durante las auto-auditorías.

- Establecer un sistema multi-nivel de auditoría en la que cada nivel de la organización tiene un papel que desempeñar para garantizar que las 5S se sustenta en las áreas de trabajo y que el sistema de las 5S evoluciona y se fortalece.
- Establecer y documentar los métodos estándar en las áreas de trabajo similares.
- Documentar los nuevos métodos estándar para hacer el trabajo.

### **Disciplina (shitsuke).**

Con esta etapa se pretende trabajar permanentemente de acuerdo con las normas establecidas, comprobando el seguimiento del sistema 5S y elaborando acciones de mejora continua, cerrando el ciclo PDCA (Planificar, hacer, verificar y actuar). Si esta etapa se aplica sin el rigor necesario, el sistema 5S pierde su eficacia.

Establece un control riguroso de la aplicación del sistema. Tras realizar ese control, comparando los resultados obtenidos con los estándares y los objetivos establecidos, se documentan las conclusiones y, si es necesario, se modifican los procesos y los estándares para alcanzar los objetivos.

## CAPÍTULO IV TÉCNICA SMED

El sistema SMED<sup>12</sup> se ha definido como “La teoría y técnicas diseñadas para realizar las operaciones de cambio de utillaje en menos de 10 minutos”.

Cuando de cambio de herramientas o tiempos de preparación se trata, no sólo cuenta el efecto que ello tiene en los costos vinculados con dichas tareas específicas, los tiempos muertos de producción, el tamaño de los lotes, los excesos de inventarios de productos en procesos y productos terminados, los plazos de entrega y tiempo del ciclo, sino también el prestar mejores servicios, aumentar la cantidad de operaciones y mejorar la utilización de la capacidad productiva.

Esta técnica está ampliamente validada y su implantación es rápida y altamente efectiva en la mayor parte de las máquinas e instalaciones industriales.

En el pasado, muchas empresas lograron vivir por décadas fabricando siempre el mismo artículo, en el mercado actual, hoy por hoy, demanda productos con un nivel de complejidad cada vez mayor, y se ve caracterizado por lotes pequeños de producción, menor tiempo de respuesta y reducción de costos.

Es aquí donde SMED juega un papel muy importante, ya que permite hacer ajustes y cambios de herramientas en tiempos que en el pasado se antojaban imposibles.

Los clientes tienden a hacer sus pedidos ya no en grandes cantidades de una misma parte, sino con variedad y diversidad. Así mismo, el tiempo total desde la confirmación del pedido hasta su entrega debe ser cada vez más corto.

En cuestión de costos, los productores no pueden reducir sus precios bajo un esquema de guerra de precios sin afectar o poner en riesgo la estabilidad del negocio. Por el contrario, se debe ofrecer una disminución de precios con base en las reducciones en los costos de

---

<sup>12</sup> . Shingo Shigeo, Una Revolución en la Producción: El Sistema SMED. (3era. Edición, Editorial Tecnologías de Gerencia y Producción, S.A., España 1990.), pp 3-140

operación, sin alterar el equilibrio y el retorno de la inversión, peso por peso, de la compañía. Esto implica trabajar con mayor productividad y fabricar productos al nivel más económico posible, sin afectar las especificaciones ni estándares de diseño y producción.

Ahora bien, partiendo de que la flexibilidad de operación depende, en gran medida, de la capacidad que tiene el sistema de producir, de una manera ágil y económica, productos y servicios en el menor tiempo de respuesta posible, existen tres alternativas para lograrlo: Cantidad económica a manufacturar, lote económico y SMED.

En la primera de ellas, para que el costo de producción disminuya, se debe elaborar una gran cantidad de productos durante cada cambio de trabajo. En el caso de la técnica del lote económico, es necesario determinar el punto de equilibrio “económico” entre una corrida larga de producción y los costos asociados, como el costo total de inventario y el costo total de set up.

La tercera y última alternativa, denominada SMED, reduce drásticamente el tiempo total de set up, por lo que, el costo asociado al cambio de trabajo se vuelve mínimo. Bajo esta perspectiva, podemos concluir que mientras el costo de preparación sea más bajo (tendiente a cero), la implicación de cambios de trabajo no tendrá impacto en el sistema de operación; es por ello que al SMED se le considera un factor de esencial competencia.

El secreto no pasa por las herramientas, sino por la manera en que éstas son utilizadas e interrelacionadas entre sí a los efectos de lograr los resultados.

Además son necesarias tanto disponer de aptitud y actitud para realizar la tarea, aparte de disciplina se debe tener capacidad de observación y análisis, creatividad y voluntad de cambio.

Para la aplicación de esta técnica se guía en el principio de Pareto<sup>13</sup> o regla 80/20, ya que como se enuncia en dicho principio deseamos conseguir el 80% de ganancia de la técnica SMED con solo emplear el 20% de los recursos esenciales con estas ideas se describirán los pasos esenciales en la aplicación de esta herramienta.

### **METODOLOGÍA.**

#### **A. Documentación del Proceso.**

Cada paso en el proceso de cambio debe ser descrito completamente y no tener solamente el dibujo sino también documentación escrita (para esto podemos utilizar un estudio de tiempos y movimientos). Cada paso principal puede ser compuesto de pequeños pasos y para obtener la mejor optimización se deben de considerar y describir los pasos más pequeños. La documentación escrita debe tener una oración describiendo el paso involucrado y una buena estimación de tiempo tomado y distancias cubiertas.<sup>14</sup>

#### **B. Observar proceso paso a paso para poder escoger y detectar las actividades, operaciones en las que se puede aplicar SMED.**

Para poder identificar todas las actividades que se llevan a cabo es necesario utilizar un método estandarizado para eso es necesario observar la máquina que se va analizar y se dibuje el área involucrada en una hoja de papel y se describa detalladamente empleando dibujos, bocetos, los pasos que se encuentran involucrados en el proceso.

Son las actividades principales:

Filmación completa de la operación de preparación. Se presta especial atención a los movimientos de manos, cuerpo y ojos. Cuando el proceso de cambio se lleva a cabo por varias personas, todas ellas deben ser grabadas de forma simultánea.

---

<sup>13</sup>[http://distribucioncentral.com/gemproject.com/comunicacion\\_htm\\_files/PRINCIPIO%20DE%20PARETO1.pdf](http://distribucioncentral.com/gemproject.com/comunicacion_htm_files/PRINCIPIO%20DE%20PARETO1.pdf)

<sup>14</sup> MANUFACTURA ESBELTA (LEAN MANUFACTURING). PRINCIPALES HERRAMIENTAS Francisco González Correa Pág. 99



Creación de un equipo de trabajo multidisciplinario, en el que deben figurar los protagonistas de la grabación, personal de producción, encargados, personal de mantenimiento, calidad, etc. En esta fase se aclaran dudas y se recopilan ideas.<sup>15</sup>

Para tener el mayor éxito en esta actividad se recomienda lo establecido en la siguiente tabla 4.1

ANTES (planificación)
Es preciso asistir a un cambio de útiles previo para tener una visión general del proceso que permita planificar mejor los movimientos de cámara.
Es aconsejable explicar a las personas filmadas el objetivo de la grabación y la forma en que se desarrollará, para que participen activamente y aporten su “saber hacer”.
Hay que incrustar sobre la imagen la fecha y hora (con precisión de segundos) para conocer la duración de las operaciones y facilitar la búsqueda de secuencias.
Es conveniente realizar una primera secuencia que nos proporcione una visión general sobre el entorno y que recoja la situación de los elementos.
DURANTE (desarrollo)
Mientras se está grabando se debe enfocar sobre el lugar preciso donde se está realizando la operación, filmando cuidadosamente los movimientos de manos, ojos, cuerpo del operario, útiles y aparatos de elevación.
Conviene realizar una grabación sin cortes, durante todo el tiempo de cambio de útiles, para que sirva como testigo de que no se han manipulado las secuencias.
Además, deberemos seguir siempre al mismo operario. En caso de operaciones simultáneas será necesario realizar varias grabaciones (definiendo un operario como “principal” y los demás como “asistentes”) para saber el grado de solapamiento de las operaciones.

Tabla 4.1. Recomendaciones para efectuar una buena grabación del proceso<sup>16</sup>

<sup>15</sup> TÉCNICA SMED. REDUCCIÓN DEL TIEMPO PREPARACIÓN Francisco Espin Carbonell Pág. 7

<sup>16</sup> Definición de una metodología para una aplicación práctica del S M E D Miguel Ángel Gil García Pág. 49

**C. Registrar tipos de método Operaciones internas y externas**

Antes de empezar la optimización de las actividades ya conocidas, se debe de hacer una pequeña clasificación, en internas y externas, para así poder tomar más fácilmente decisiones sobre qué hacer con cada una de las actividades.

**Actividades Internas:** Pasos de cambio que pueden hacerse solamente cuando la máquina esta parada.

**Actividades Externas:** Pasos de cambio que pueden hacerse sin parar la máquina. En otras palabras pasos que pueden hacerse como preparación para el cambio o después que reinicie la máquina.

Teniendo una descripción completa del proceso de cambios se debe procurar convertir el mayor número de pasos posibles que puedan hacerse cuando la máquina está trabajando e intentar optimizar los que se dejen para reducir al mínimo tiempo de paro de la máquina /equipo<sup>17</sup>.

**D. Estudiar y analizar con ayuda del método 5W+H<sup>18</sup> esto es una metodología de análisis empresarial que consiste en contestar seis preguntas básicas: qué (WHAT), por qué (WHY), cuándo (WHEN), dónde (WHERE), quién (WHO) y cómo (HOW).**

Así de este modo podremos estandarizar el proceso y la búsqueda de justificaciones para la eliminación o remplazo de tareas para esto nos podemos apoyar en la tabla 4.2 donde nos muestra como poner en práctica el método 5W+H.

Preguntas	Mejora esperada
<b>¿Qué?</b> Seguido de los 5 “porqués”	¿Cuál es el objetivo de esta operación? Suprimir una acción no necesaria
<b>¿Quién?</b> Seguido de los 5 “porqués”	¿Quién es el actor? Combinar operaciones o cambiar de actor

<sup>17</sup> MANUFACTURA ESBELTA (LEAN MANUFACTURING). PRINCIPALES HERRAMIENTAS Francisco González Correa Pág. 99

<sup>18</sup> Las 5 W + H y el ciclo de mejora en la gestión de procesos Mónica Trias

<b>¿Dónde?</b>	¿Lugar?, ¿distancia?
Seguido de los 5 “porqués” Combinar operaciones o cambiar de lugar	
<b>¿Cuándo?</b>	¿Secuencia?, ¿duración?, ¿frecuencia?
Seguido de los 5 “porqués” Combinar operaciones o cambiar la sucesión	
<b>¿Cómo?</b>	¿Cuál es el método utilizado?
Seguido de los 5 “porqués” Simplificar el método	

Tabla 4.2<sup>19</sup> método 5W + H.

**E. Diseñar el método, equipo, dispositivo dado que nos de la respuesta a los ¿Por qué?**

Durante esta etapa se busca la manera de eliminar tareas peligrosas, difíciles, pesada, y se propondrán las mejoras para así poder reducir tiempo, cabe mencionar que esto se debe realizar sin crear situaciones peligrosas.

Y así pasar a la utilización de técnicas de fijación rápida de elementos, fijación sin tornillos, evaluar el uso de plantillas y con esto buscar la estandarización de funciones. Junto con esto se deben proponer operaciones que puedan ser realizadas de forma paralela y que puedan ser realizadas por otro operador.

Sin embargo, queda por definir un último grupo de mejoras necesarias para reducir y racionalizar las operaciones externas, aquellas que se efectúan mientras la máquina está produciendo. Optimizar las operaciones externas normalmente conlleva una mayor inversión, tiempo y planificación que las empresas no siempre están dispuestas a asumir. Son operaciones que perfectamente pueden ser estudiadas en otro momento, sobre todo porque vinculan la estructura y los recursos de la empresa. Sin embargo, esta fase debe tenerse en cuenta en su justa medida, ya que las operaciones externas movilizan distintos recursos materiales y

<sup>19</sup> Definición de una metodología para una aplicación práctica del SMED Miguel Ángel Gil García pp 50

humanos y limitan el número de cambios posibles de otros útiles en la máquina.<sup>20</sup>

**F. Aplicar el método “Aplicar mejoras”**

Durante esta etapa se ha de *establecer un plan de acción detallado* en el que el equipo tome decisiones a partir del estudio de las ideas planteadas, de su posibilidad de ejecución con los medios y recursos disponibles en la empresa, además del análisis tanto de los costos que con lleva su ejecución como del ahorro de tiempo efectivo que supone en el cambio de utillaje otro método que sea imparcial y técnicamente aceptable.

Una vez elaborado el plan de acción, el equipo de trabajo ha de ponerlo en práctica y realizar las distintas operaciones técnicas que en él se hayan programado. Cuando una idea de mejora es tan compleja que necesita un estudio particular, se puede recurrir al método de resolución de problemas en grupo y/o a la técnica basada en el diagrama de afinidades.<sup>21</sup>

**G. Mantener o administrar y evaluar la mejora EOQ calidad con que se va a fabricar.**

En esta última etapa lo que se desea es mantener en el tiempo la nueva metodología desarrollado por lo cual se realiza documentación sobre el nuevo procedimiento de trabajo, el cual podrá incluir documentos escritos, esquemas o nuevas grabaciones en video. Y de este mismo modo poder constar y evaluar con fórmulas de administración de operaciones, nuestros resultados en la cantidad de fabricación, al haber realizado correctamente el procedimiento al reducir la cantidad de lotes, por lo tanto reducir el costo mantener inventarios.

---

<sup>20</sup> Definición de una metodología para una aplicación práctica del S M E D Miguel Ángel Gil García pp 50

<sup>21</sup> Definición de una metodología para una aplicación práctica del S M E D Miguel Ángel Gil García pp 50

## LOTE ECONÓMICO DE PRODUCCIÓN

El Lote Económico de Producción, este sistema se ocupa en la mayoría de las Empresas Occidentales para determinar, el tamaño del lote de producción óptimo. Escrito de otra manera el Lote Económico busca encontrar el tamaño de los lotes a producir que permita realizarlo al costo mínimo posible.

Cuando los lotes de mayor tamaño el inventario será mayor, como también serán mayores los costos asociados a éste por manejo y almacenaje. Por lo tanto si desea reducir los costos de almacenaje e inventario, hay que producir y ordenar provisiones en lotes más pequeñas y con mayor frecuencia.

Por otro lado, los pedidos más frecuentes y lotes más pequeños también tienen mayores costos asociados, que están relacionados con los Tiempos de Preparación, el cual consiste en el tiempo que se requiere en estar listos para producir. El hecho de modificar maquinaria, cambiar moldes para darle paso a la producción de otros productos consume tiempo y dinero.

La solución, fue propuesta por Ford Harris y R.H Wilson en 1915 aproximadamente, y es la determinación del “Lote Económico de Producción” el cual consiste en que los costos totales generados por el “Lote Económico de Producción” en relación al inventario, almacenaje y tiempos de preparación llegan a ser los menores posibles.

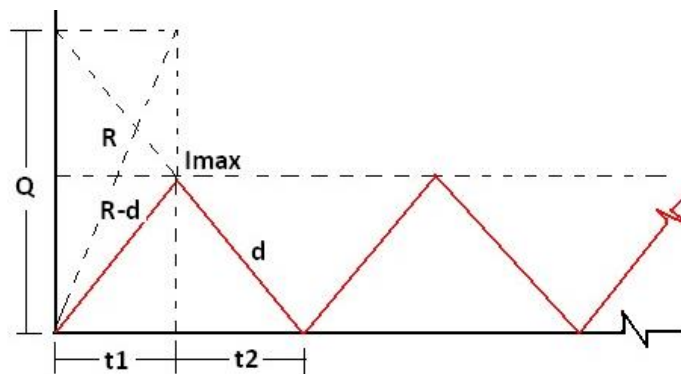


Figura 4.1 Lote económico de la producción

La figura 4.1 muestra como el costo relacionado con la administración y almacenaje de inventario crece mientras el tamaño del lote crece, y al mismo tiempo, los costos de procesamiento del período y preparación decrecen cuando el tamaño del lote también crece.

De dicha imagen podemos deducir que la **tasa de producción (R-d)**, tiene que ser mayor que la **tasa de demanda (d)**, ya que si no fuese de esta manera no existiría inventario en ningún momento. Así mismo que la **tasa de producción (R)**, se establece como el número de unidades producidas en un periodo de tiempo generalmente un año.

Cuando el inventario se agota, se inicia la producción de la orden de **pedido del lote (Q)**. Se requiere un **tiempo de producción**  $\left(\frac{Q}{R}\right)$ . Durante este tiempo, el inventario se va acumulando a una tasa (R-d), por lo que cuando se acabe la producción del lote de tamaño Q se alcanzará el **nivel máximo de inventario (Imax)**

Desde este punto, el nivel de inventario decrece, como consecuencia de una demanda uniforme y constante, cuando las existencias se agotan el ciclo se inicia de nuevo.

El modelo Lote Económico de la Producción cumple con los siguientes supuestos:

- La demanda es constante y es conocida.
- No se admiten faltantes. La demanda siempre será cubierta por la producción.
- Existen costos de almacenamiento y costo de producción.
- El área bajo la curva del triángulo de base t y altura **Imax** representa el costo promedio de mantener en inventario.

La función de costo del el modelo Lote Económico de la Producción se desarrolla a continuación

Ecuación 1

$$C(Q) = CuQ + Cop + Cmi \frac{(t1 + t2) Imax}{2}$$

Donde:

**Cu**= Costo unitario del producto

**Cop**= Costo de producción.

**Cmi**= Costo de mantener en inventario

Recordando que la ecuación 1 debe estar en función de Q, D y d.

Basándonos en la figura se buscan los valores de  $t_1$ , t y **Imax** tenemos que:

$$Q = R t_1 \Rightarrow t_1 = \frac{Q}{R}$$

$$t = t_1 + t_2$$

$$t = \frac{Q}{D}$$

$$Imax = t_1 (R - d)$$

$$Imax = \frac{Q}{R} (R - d)$$

$$Imax = Q \left( 1 - \frac{d}{R} \right)$$

Sustituyendo estos valores en la ecuación 1

$$C(Q) = CuQ + Cop + Cmi \left[ \frac{Q^2}{D} \times \frac{1 - \frac{d}{R}}{2} \right]$$

Multiplicamos esta ecuación por  $N = \frac{D}{Q}$  para la obtención del costo total anual (CTA).

$$CTA(Q) = CuQ \frac{D}{Q} + Cop \frac{D}{Q} + Cmi \frac{D}{Q} \left[ \frac{Q^2}{D} \times \frac{1 - \frac{d}{R}}{2} \right]$$

Simplificando obtenemos El costo total anual.

$$CTA(Q) = CuD + Cop \frac{D}{Q} + Cmi \frac{Q}{2} \left[ 1 - \frac{d}{R} \right]$$

Se necesita obtener del punto de inflexión  $Q'$  para representar el costo mínimo anual por lo tanto se deriva  $\frac{dCTA(Q)}{dQ}$  y se iguala a 0.

$$\begin{aligned} \frac{dCTA(Q)}{dQ} &= -\frac{CopD}{Q^2} + \frac{Cmi}{2} \left( 1 - \frac{d}{R} \right) \\ -\frac{CopD}{Q^2} + \frac{Cmi}{2} \left( 1 - \frac{d}{R} \right) &= 0 \\ \frac{Cmi}{2} \left( 1 - \frac{d}{R} \right) &= \frac{CopD}{Q^2} \end{aligned}$$



Despejando  $Q'$  obtenemos

$$Q' = \sqrt{\frac{2 C_{op} D R}{C_{mi}(R - d)}}$$

Teniendo en cuenta que  $Q' = Q$  optimo

Para calcula  $N'$  y  $t$  solo hay que remplazar  $Q$  por  $Q'$

$$N' = \frac{D}{Q'}$$

$$t = \frac{Q'}{D}$$

Sumado a esto se plantea un plan de desarrollo para poder realizar esta metodología en un tiempo corto y concreto el cual se muestra en la tabla 4.3<sup>22</sup>

<b>Jornada 1. Día de preparación</b>
Contacto con el equipo directivo después de aceptar la oferta.
Breve presentación de la herramienta, en la que se contrastan las necesidades planteadas por la empresa
Se visitan las instalaciones para seleccionar la máquina que estudiar y conocer su entorno.
Descripción de las necesidades operativas y logísticas para dar la formación y llevar a cabo el desarrollo de la metodología: ejecución de las 5S asignación de la sala de trabajo-formación, las personas que asistirán, las implicaciones laborales (cambio de turno de personal, adaptación a los periodos de descanso, etc.), las necesidades materiales (cronómetro, planos, etc.), audiovisuales e informáticas (grabadora, vídeo, ordenador, proyector, etc.).
Planificación de la filmación del cambio.
Planificación de los tres días restantes: Se acuerda el calendario de fechas de ejecución de la metodología.
<b>Jornada 2</b>
Presentación general del workshop o taller de trabajo al equipo de trabajo, explicando los objetivos y el desarrollo de las jornadas.
Formación teórica de la herramienta SMED en la que los asistentes adquieren los conocimientos teóricos que luego necesitarán.
Presentación del mural o panel de cambio de útiles y las fases del cambio.
Reparto de actividades entre los participantes, asignando funciones como la medición de tiempos, identificación de operaciones y tareas, recogida de ideas de mejora, manejo del equipo multimedia e informático, análisis de flujos, etc.
Apropiarse del puesto de trabajo: Todos los integrantes del equipo han de identificar físicamente, en el taller, la máquina y su entorno.

<sup>22</sup> Definición de una metodología para una aplicación práctica del SMED Miguel Ángel Gil García Pág. 52

Filmación del proceso de cambio de útiles.
Análisis de la grabación: Se descompone el cambio de útiles en operaciones elementales, se mide la duración de las operaciones y se anotan los hechos constatados dignos de mención.
<b>Jornada 3</b>
Racionalización del proceso actual: a) se clasifican las operaciones elementales en internas y externas, b) se analizan las operaciones y c) se proponen mejoras. Dada la limitación temporal de la ejecución de la metodología, en el análisis de las operaciones internas conviene tener en cuenta el Pareto de tiempos, lo que permitirá centrar nuestros esfuerzos en aquellas operaciones con mayor potencial de ganancia.
El equipo realiza las mejoras de cambio de útiles aplicando las herramientas y técnicas que precise (incluidas las destinadas a identificar y resolver dificultades o problemas que puedan surgir). En este periodo el departamento de mantenimiento realiza las modificaciones técnicas propuestas sobre la máquina, en especial las relacionadas con las operaciones internas (es probable que necesite reforzarse para conseguir ejecutar las adaptaciones o modificaciones dada la brevedad de plazo con que se trabaja).
<b>Jornada 4</b>
Redacción del procedimiento provisional, teniendo en cuenta las ideas de mejora que no se hayan podido realizar ejecutar.
Realización y grabación de un cambio de útiles siguiendo el nuevo procedimiento. Debe coordinarse al operario y prever la preparación del cambio.
Análisis del nuevo cambio de utillaje y medición de los nuevos tiempos.
Redacción del procedimiento definitivo del cambio de útiles y de las acciones necesarias para asegurar la
Estimación económica asociada a la reducción del tiempo de cambio de utillaje.
Identificar en equipo los “frenos” a la aplicación de la herramienta
Elaboración del informe del trabajo realizado y de la presentación a la dirección: debe incluirse el papel y la participación de cada asistente durante el proceso.
Presentación al equipo directivo de los logros obtenidos.

Tabla 4.3 Programa de intervención de la metodología

## CAPÍTULO V POKA-YOKE

Poka-Yoke <sup>23</sup>es una técnica de calidad, que se aplica con el fin de evitar errores en la operación de un sistema o de varios sistemas. A grandes rasgos se puede describir como una técnica a prueba de errores véase la figura 5.1.

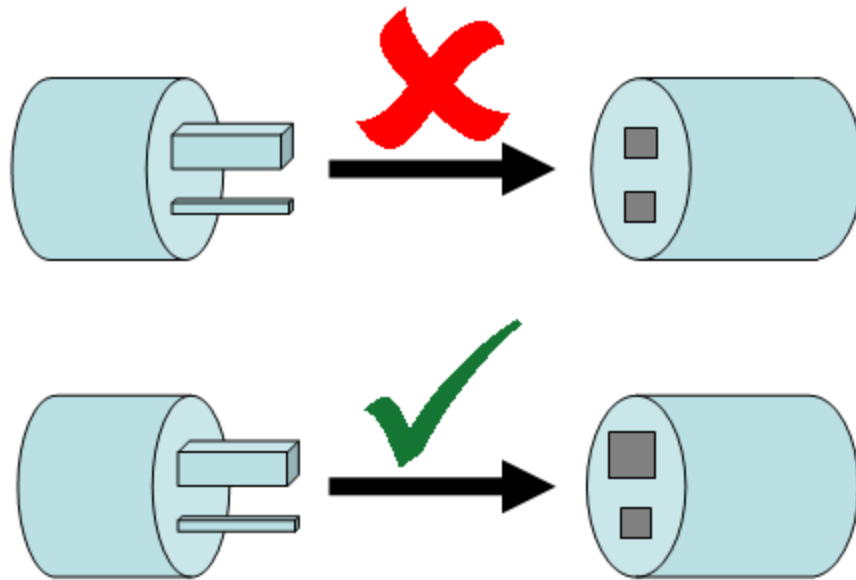


Figura 5.1 A prueba de errores

El sistema Poka-Yoke garantiza la seguridad primeramente para los operadores o trabajadores, también para el cuidado y un buen mantenimiento de la maquinaria, así como los procesos industriales y la calidad del producto final. De esta manera, se previenen todo tipo de accidentes desde menores a mayores los cuales amenazan la integridad del trabajador o de los trabajadores, así como evitar un daño mayor a las instalaciones de la empresa. Muchas veces un Poka-Yoke consiste en el diseño de dispositivos los cuales permiten evitar cometer errores.

Este sistema fue propuesto por el ingeniero Shigeo Shingo en la década de 1960, en el sistema de producción de la empresa japonesa Toyota. Sin duda alguna los Poka-Yokes, ya existían desde hace mucho tiempo, puesto que muchas veces obedecen a la solución de

<sup>23</sup> Nikkan Kogyo Shimbun, Ltd.: "Poka-Yoke: Improving Product Quality By Preventing Defects", Productivity Press, 1987 (Idioma japonés), 1988 (inglés), ISBN 0-915299-31-3.

problemas prácticos, ahora son enfocados a el problema de calidad y de normas de seguridad en una empresa, aunque se trata de un enfoque muy general que puede ser aplicado en hogares, escuelas, etc.

Shigeo Shingo afirmaba<sup>24</sup> que la causa principal de los errores se debía a las fallas que cometían los trabajadores, puesto que esto se traducía generara defectos en las piezas fabricadas, y que estas generalmente no tenían arreglo alguno, por ello la importancia de corregir estos errores y generar un sistema donde no se pudieran generar estos y así poder asegurar la calidad en las futuras piezas fabricadas.

En base a lo anterior se generaron dos principales rubros para poder clasificar y corregir errores.

- **Imposibilitar de algún modo el error humano:** Se trata de asegurar una sola manera de hacer las cosas sin la posibilidad de poder llevarla acabo de otra manera distinta, por ejemplo el puerto USB (Universal Serial Bus) empleado en las computadoras, los dispositivos que contengan dicho puerto solo pueden ser conectados de una manera a la computadora, de lo contrario no se podría conectar el dispositivo a la computadora.
- **Resaltar el error cometido de tal manera que sea obvio para el que lo ha cometido.** Se trata de hacer evidente el error cometido por el trabajador, muchas veces se busca que no se lleve a cabo un proceso o una operación unitaria puesto que dicho error ocasiona una mala calidad, por ejemplo si se establece un sistema donde el trabajador requiere forzosamente de apretar dos botones con ambas manos para evitar que ocurra un accidente con el trabajador.

---

<sup>24</sup> Nikkan Kogyo Shimbun, Ltd.: "Poka-Yoke: Improving Product Quality By Preventing Defects", Productivity Press, 1987

Se trata de un sistema sencillo y simple. Se hace un especial énfasis en realizar actividades obvias en las cuales se detectan errores o se evitan que se cometan. El objetivo final es concretar un proceso o terminar un producto sin la posibilidad que de exista un defecto en la calidad, así como el cuidado de la seguridad del o los operadores.

Para tener éxito en la reducción de defectos, debemos entender que éstos son generados por el trabajo, y que toda inspección puede descubrir los defectos. Los tipos de inspección son:

- **Inspección de criterio:** Es usada principalmente para descubrir defectos. Se trata básicamente de ver el funcionamiento del proceso e identificar los errores cometidos en la ejecución del mismo, de esta manera se puede determinar fácilmente el error.
- **Inspección Informativa:** Inspección para obtener datos y tomar acciones correctivas. Es un poco más complejo puesto que aquí el error no es tan evidente, generalmente se trata de problemas muy específicos, que tienen que ver con los diseños de las máquinas, la calidad de la materia prima.

### **Defectos vs errores.**

El primer paso para lograr evitar todo tipo de desperfectos es precisamente distinguir entre lo que es un error y un defecto.

**Defecto:** Es la carencia o falta de las cualidades propias y naturales de un producto. No es la sola carencia de una cualidad o perfección o el grado limitado de poseerla.

**Error:** Inexactitud o equivocación al llevar a cabo un proceso industrial.

En general se puede entender la diferencia de la siguiente manera los **defectos** son los resultados de un proceso y los **errores** son las causas de los resultados de llevar a cabo un proceso.

**Tipos de errores causados por el factor humano en las operaciones.**

Estos se deben a una falta de comunicación, una mala capacitación de parte de los instructores, descuidos de los trabajadores, falta de experiencia de los mismos, malas condiciones de trabajo, maquinaria en mal estado, etc. Los errores más comúnmente cometidos se muestran a continuación, así como en la tabla 5.1.

1. El olvido del individuo.
2. Un entendimiento incorrecto o inadecuado.
3. Falta de identificación del proceso o es inadecuado el que existe.
4. Falta de experiencia del individuo.
5. Errores a propósito, por ignorar reglas o políticas.
6. Por descuido no se realiza una parte del proceso.
7. Por lentitud del individuo o algo relacionado con la operación o sistema.
8. Falta de documentación en procedimientos o estándares operacionales o de sistema.
9. Por falta de análisis de todas las posibles situaciones que pueden suceder y se presente la sorpresa.
10. Por falta de conocimiento, capacitación y/o integración del individuo con la operación o sistema se dan causas intencionales.

Tipos de Error	Causas
Inadvertidos u olvidos	No advertimos cosas o bien las olvidamos cuando no estamos atentos
Desconocimiento o inexperiencia	Cuando no tenemos suficiente experiencia o bien no conocemos bien la situación, y así y todo tomamos acciones que pueden ser inadecuadas
Identificación	Identificamos mal una situación por apuro o por estar alejada de la misma
Voluntarios	Son aquellos que cometemos cuando decidimos ignorar las reglas
Lentitud	Cuando nuestras acciones son demasiado lentas con respecto a la situación
Falta de estándar	Cuando no hay pautas de trabajo o estándares, no sabemos a qué atenernos
Sorpresa	Ocurren cuando la situación es diferente a la que se da normalmente
Intencionales	Son los sabotajes

Tabla 5.1 Tipos de errores causados por el factor humano en las operaciones.

En la tabla 5.1 se observa los tipos y causas causadas por el factor humano y que son cometidas muy a menudo por los operadores por ello es importante tenerlas en cuenta.

**Tipos de defectos causados por el factor humano en las operaciones.**

Es la serie de errores cometidos durante los procesos que se traducen defectos en el producto los cuales no son deseables.

1. Proceso omitido.
2. Procesos defectuosos.
3. Montaje de piezas defectuoso.
4. Piezas omitidas.
5. Piezas equivocadas.
6. Proceso equivocado.
7. Operación defectuosa.
8. Ajuste defectuoso.
9. Montaje del equipo defectuoso.
10. Herramientas o útiles mal preparados.

**Relación entre los errores y los defectos causados por factor humano.**

Generalmente en cada uno de los procesos industriales se puede cometer errores que conllevan a defectos, a continuación de muestra en tabla 5.2 la relación de cada uno de ellos donde se puede considerar la gravedad o no del mismo.



Errores / Defectos	Olvidos / Inadvertido	Desconocimiento / o	Identificación	Voluntario	Lentitud	Falta de estándar	Sorpresa	Intencional
Proceso omitido	A	B	B	B	B	B		A
Proceso defectuoso	B	A	B	A	A	A		A
Montaje de piezas defectuoso	A	B	B		B	B		B
Piezas omitidas	B	B		B		B		A
Piezas equivocadas	A	A	A	A		A		A
Proceso equivocado	A	B	B	A		B		B
Operación defectuosa	B	B				B	A	
Ajuste defectuoso	B	B	A	A		B	B	B
Montaje defectuoso	B					B	A	
Herram. / útiles mal preparados	A					B	B	

Codificación: A = Relación ALTA, B = Relación BAJA

Tabla 5.2 Relación entre los errores y los defectos causados por factor humano.

**Relación del punto de vista operativo con el aseguramiento de la calidad.**

Es importante tener en cuenta ambos puntos de vista pues uno interfiere con otro, lo cual retrasa la producción de una empresa, la importancia radica en poder fusionar ambos puntos de vista con el único fin de no afectar la operatividad de los procesos y al mismo tiempo asegurar la calidad, lo cual es un concepto lógico pero en la realidad no es tan fácil de implementar en una empresa véase la figura 5.2.

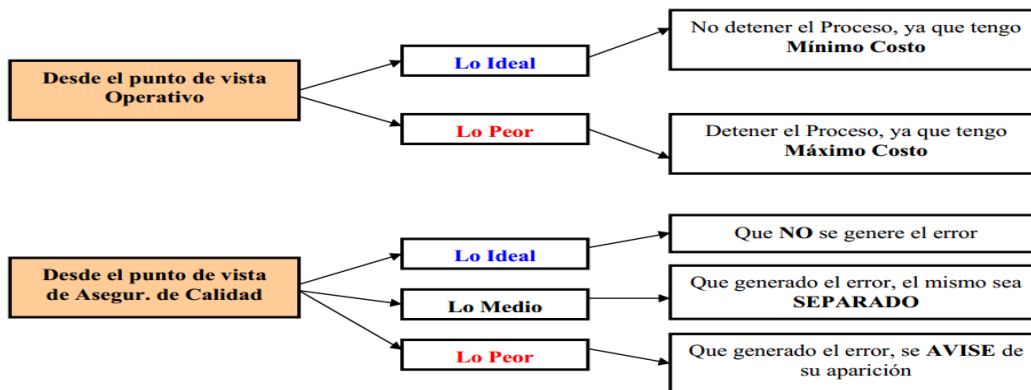


Figura 5.2 Relación del punto de vista operativo con el aseguramiento de la calidad.


¿Detiene el Proceso?	Detecta el Defecto	¿Automáticamente Separa o Avisa?	Calidad y Confiabilidad	Tipo de Poka-Yoke
NO	Antes de Producirse	Separa	1	 Sentido ideal
NO	Después de Producirse	Separa	2	
SI	Antes de Producirse	Separa	3	
SI	Después de Producirse	Separa	4	
NO	Antes de Producirse	Avisa	5	
SI	Antes de Producirse	Avisa	6	
NO	Después de Producirse	Avisa	7	
SI	Después de Producirse	Avisa	8	

Tabla 5.3 Lista de clasificación del POKA-YOKE.

En la tabla 5.3 se muestra que cuando existe un error en una línea de producción el tipo de POKA-YOKE a implementar siendo el óptimo el no detener el proceso, detectar la posible falla antes de que suceda.

Actualmente el sistema POKA-YOKE suelen consistir en:

- **Sistema de detección:** Cuyo tipo dependerá de la característica a controlar y en función del cual se suelen clasificar. Como lo es una falla aparente en piezas fabricadas, rebabas, en general a la falta de calidad de la misma véase la figura 5.3.



Figura 5.3 Inspección de calidad

- **Sistema de alarma** (visual y sonora comúnmente) que avisa al trabajador de producirse el error para que lo corrija. Este tipo de método advierte al trabajador de las anomalías ocurridas, llamando su atención, mediante la activación de una luz y un sonido. Si el trabajador no se da cuenta de la señal de advertencia, los defectos seguirán ocurriendo, por lo que este tipo de método tiene una función reguladora menos poderosa que la de métodos de control véase la figura 5.4.

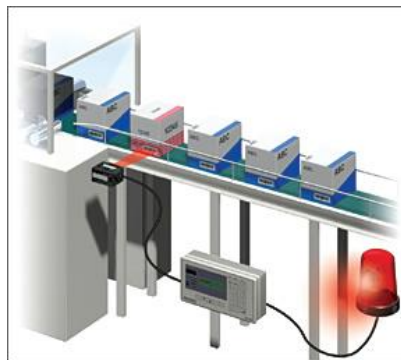


Figura 5.4 Sistema de alarma.

**Características principales de un POKA-YOKE.**

Es indispensable que un sistema POKA-YOKE cumpla con los siguientes puntos para poder asegurar un buen funcionamiento del mismo y poder así lograr implementarlo. “Un sistema a prueba de errores.”

1. Incorporar la calidad a procesos.
2. Todos los errores y defectos inadvertidos pueden ser eliminados.
3. Parar de hacerlo de forma incorrecta y empezar a hacerlo correctamente.
4. Una oportunidad de éxito del 60% es bastante buena, no espere para implementarla.
5. Los errores y los defectos se pueden reducirse a cero cuando se trabaja en equipo.
6. Diez cabezas piensan mejor que una.
7. Hay que buscar la causa raíz del problema (5 porqués) y eliminarla.

**Funciones básicas de POKA-YOKE**

Existen tres funciones básicas para el sistema POKA-YOKE pueda ser implementado siendo las siguientes funciones: Parada, control, alerta. A continuación se describirán cada una de ellas detallando la prevención y la detección de las mismas véase la tabla 5.4.

	PREVENCIÓN	DETECCIÓN
PARADA	El proceso o la función se para cuando predice el defecto	Se para el proceso cuando el error ocurre
CONTROL	La ocurrencia del error es imposible	El defecto no puede pasar a la siguiente operación
ALERTA	Señales /Alarmas de que el defecto va a ocurrir	Señales /Alarmas de que el defecto ha ocurrido

Tabla 5.4 Funciones básicas de POKA-YOKE.

## CAPÍTULO VI SEIS SIGMA

Seis Sigma es un concepto que nace en la década de los 80's, el cual es introducido por la empresa Motorola la cual integra a sus procesos la metodología de mejora continua, en resumen podemos decir que Seis Sigma es un estadístico que mide un proceso en términos de defectos. El logro de Seis Sigma significa que sus procesos se entrega sólo 3.4 defectos por millón de oportunidades en otras palabras podemos decir que con una calidad de 99.9997%, ellos están trabajando casi a la perfección como lo podemos observar en la siguiente Figura 6.1<sup>25</sup>.

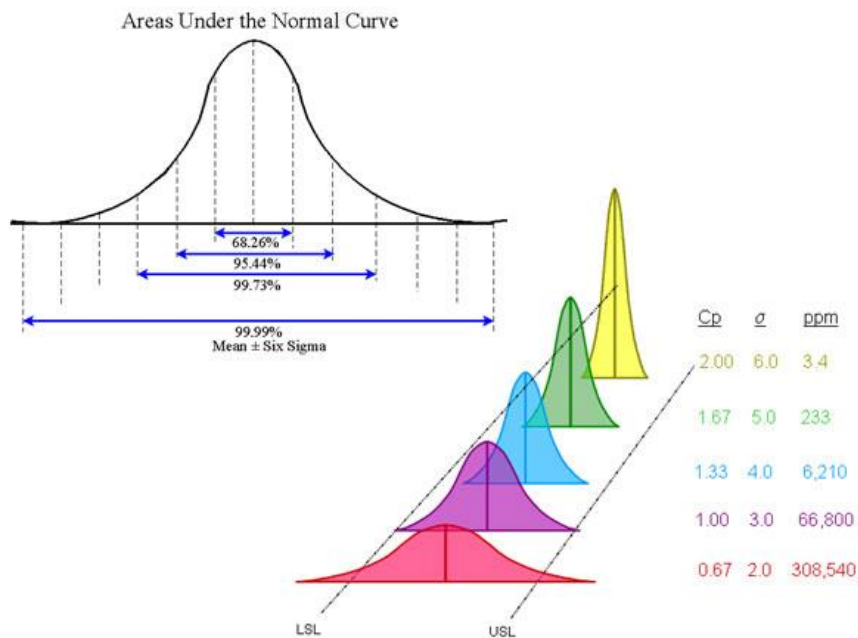


Figura 6.1 Calidad seis sigma

Sigma ( $\sigma$ ) es una letra del alfabeto griego esta es utilizada por estadísticos para medir la desviación estándar. Cuando se aplica a un proceso comercial, una calificación Sigma indica una unidad o valor de eficacia en procesos y procedimientos. Cuanto mayor sea una calificación Sigma, menos defectos habrá.

<sup>25</sup> [http://www.eldia.com.ar/edis/20070103/fotos\\_g/economia.jpg](http://www.eldia.com.ar/edis/20070103/fotos_g/economia.jpg)

La idea central de la gestión de Seis Sigma es que si puede medir los defectos en un proceso, puede encontrar formas de eliminarlas, para acercarse a un nivel de calidad de cero defectos.

La metodología de Seis Sigma se basa en la curva de la distribución normal para conocer el nivel de variación de cualquier actividad esto que consiste en la elaboración de una serie de pasos para el control de calidad y optimización de procesos industriales.

### HERRAMIENTAS SEIS SIGMA.<sup>26</sup>

Para poder realizar metodología de manera eficiente es preciso el uso de herramientas estadísticas para mejorar la calidad. Dichas herramientas son para evaluar los problemas en el área de producción y tener una respuesta a los porqués de los defectos.

Las primordiales herramientas utilizadas para la aplicación de esta técnica son las siguientes:

#### A. Diagrama de Flujo.

Con esta herramienta se realiza una representación gráfica en la cual se identifican las principales etapas y problemas del proceso (ver figura 6.2).

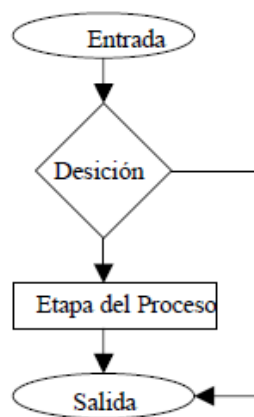


Fig. 6.2 Diagrama de flujo.

<sup>26</sup> METODOLOGÍA SIX-SIGMA: CALIDAD INDUSTRIAL. Ing. Gustavo López Badilla

**B. Diagrama Causa Efecto.**

Este diagrama identifica las causas y efectos (factores) que conllevan a los problemas en los procesos (ver figura 6.3).

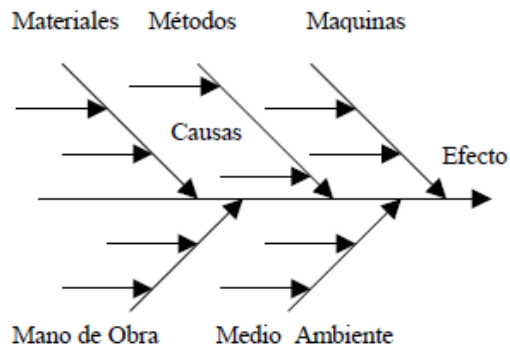


Fig. 6.3 Diagrama Causa Efecto.

**C. Diagrama de Pareto.**

Esta herramienta es utilizada de manera específica para identifica categorías de mayor ocurrencia para enfocarse en áreas precisas (ver figura 6.4).

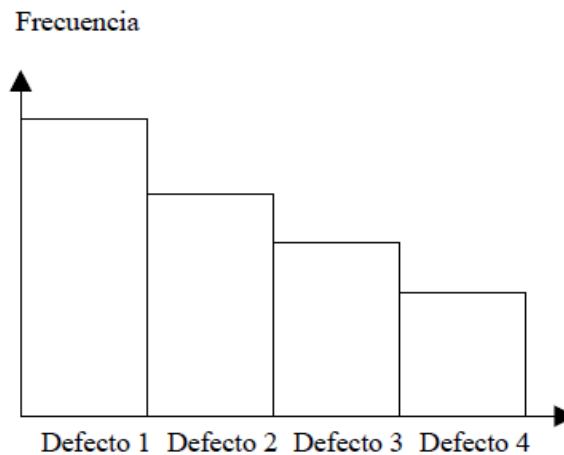


Fig. 6.4 Diagrama de Pareto.

**D. Histograma.**

Esta grafica nos da la distribución de datos, así como la tendencia central, del mismo modo se pueden sobreponer los límites de especificación inferior y superior para estimar la capacidad del proceso (ver figura 6.5).

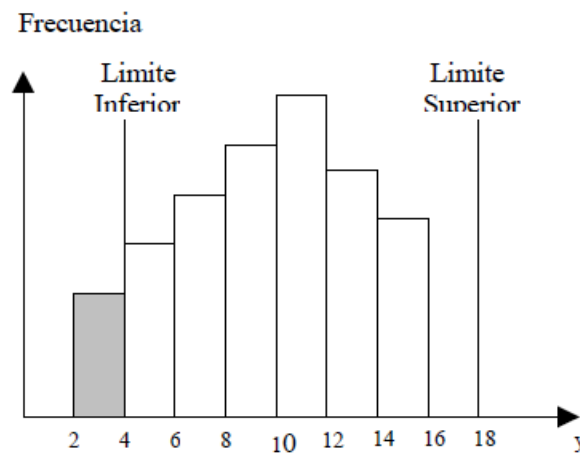


Fig. 6.5 Histograma.

**E. Diagrama de dispersión.**

Este diagrama nos permite realizar estimaciones a primera vista, e identificar la existencia si es el caso de puntos extraordinarios (ver figura 6.6).

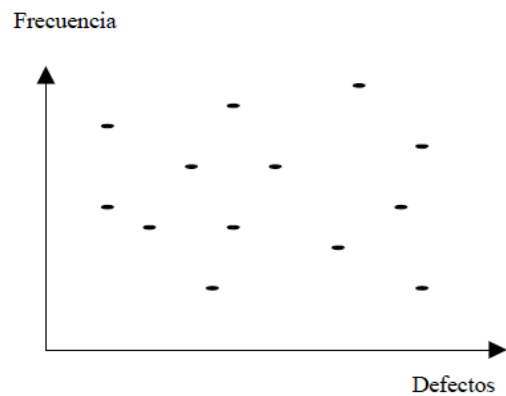


Fig. 6.6 Diagrama de dispersión.



**F. Modelo de Regresión Lineal.**

Esta herramienta permite la predicción de respuestas en niveles fuera de donde se cuantifican los datos (ver figura 6.7).

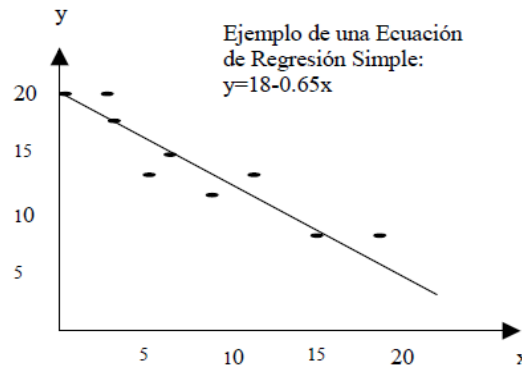


Fig. 6.7 Modelo de regresión lineal.

**G. Grafica de Corrida.**

Es utilizada para reflejar las tendencias en los datos a través del tiempo, así mismo sirve para observación en el seguimiento en los defectos del proceso (ver figura 6.8).

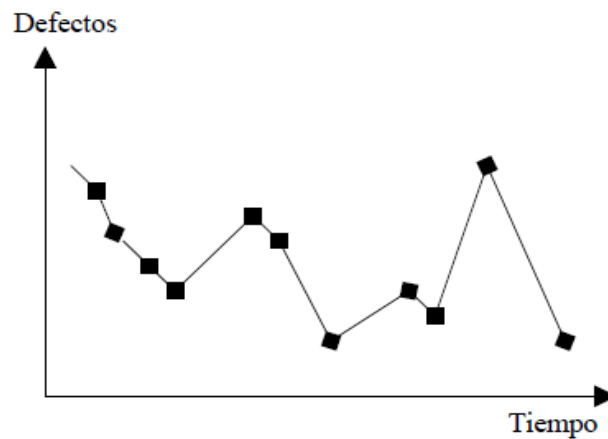


Fig. 6.8 Grafica de Corrida.

### H. Grafica de Control.

Esta grafica identifica causas especiales que afectan la variación o el promedio, de igual manera determina que acción tomar durante el proceso (ver figura 6.9).

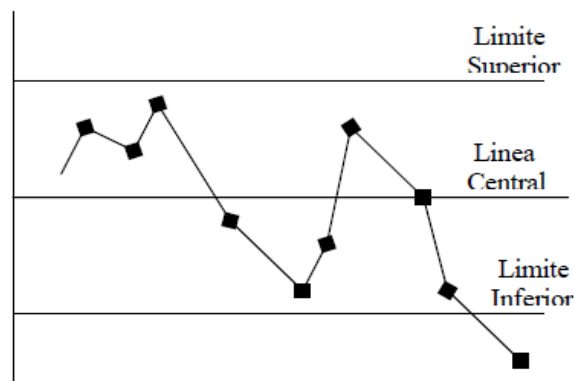


Fig. 6.9 Grafica de control.

## METODOLOGÍA 6 SIGMA.

Seis Sigma aporta una metodología de mejora basada en un esquema denominado DMAIC por sus siglas en ingles Define, Measure, Analyze , Improve Control. Esto se muestra en las siguientes etapas:

**Etapa 1. Definir.** En este primer punto se definen e identifican los problemas y situaciones a mejorar.

**Etapa 2. Medir.** Tomar las medidas necesarias para obtener la información y los datos y registrar los resultados del proceso.

**Etapa3. Analizar.** En esta etapa nos podremos ayudar de la técnica 5W+H (Descrita con anterioridad en la metodología SMED.) y así dar respuesta a los porqués La información recogida, Incorporar y emprender mejoras en los procesos.

**Etapa 4. Mejorar.** Esta etapa está basada en la técnica POKA-YOKE (descrita en técnica POKA-YOKE).

**Etapa 5. Controla.** Nos aseguramos de que las condiciones del nuevo proceso estén documentados y monitoreadas de manera estadística con los métodos de control del proceso o productos existentes lo antes descrito lo podemos sintetizar en el siguiente esquemático<sup>27</sup>.

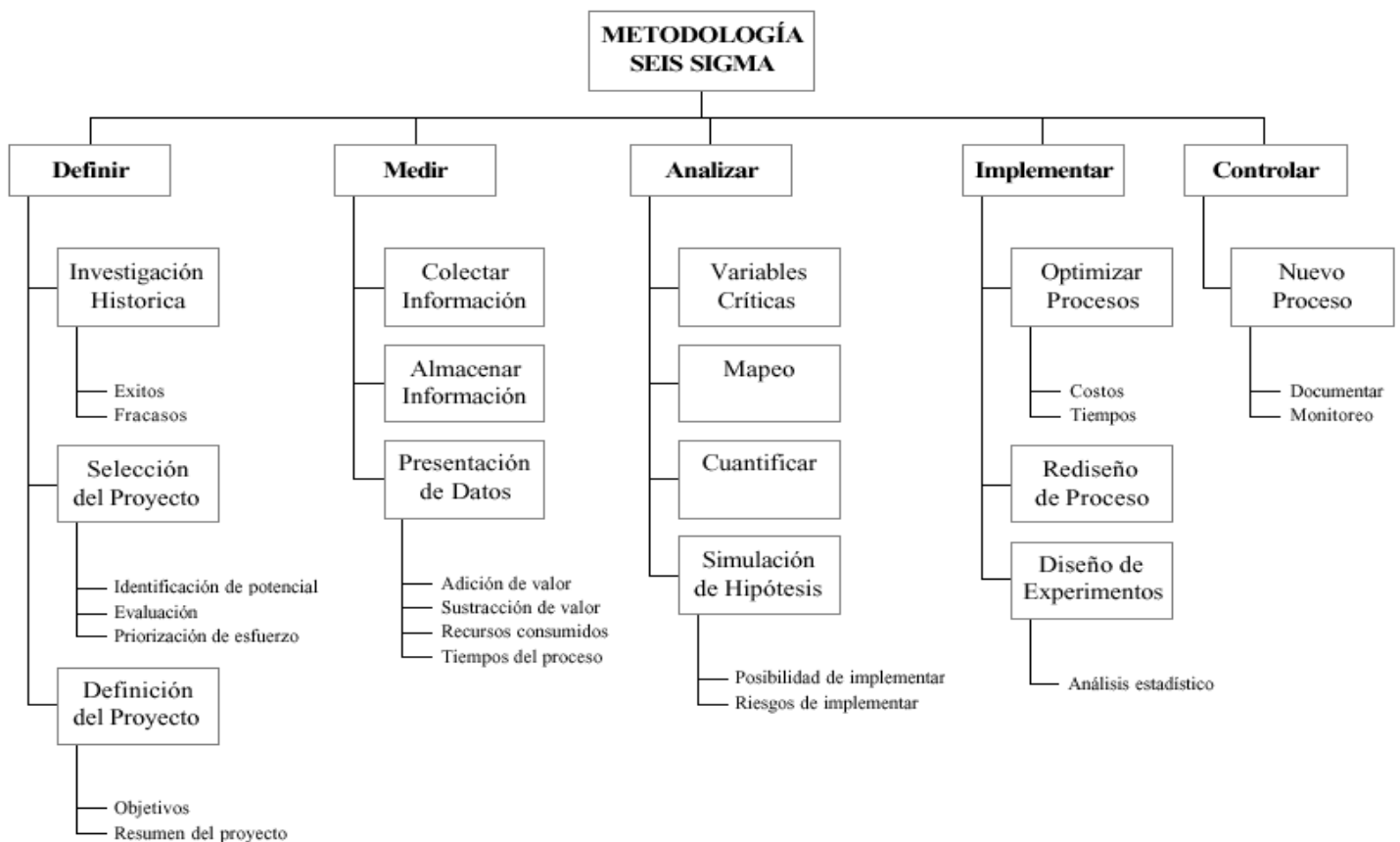


Fig. 6.9 Metodología de seis sigma.

<sup>27</sup> Aplicación de la metodología seis sigma en la mejora de resultados de los proyectos de construcción Yepes, Víctor; Pellicer, Eugenio

## LAS CLAVES DEL DMAIC.<sup>28</sup>

Siempre es necesario tener una clara noción de los defectos que se está produciendo, por lo tanto es preciso tener presente lo siguiente:

**Medir el problema.** En cantidad como en costo.

**Enfocarse al cliente.** Sus necesidades y requerimientos son fundamentales, y deben tenerse siempre en consideración.

**Verificar la causa raíz.** Es necesario llegar hasta la causa fundamental de los problemas, y no quedarse en los efectos.

**Romper los malos hábitos.** Un cambio verdadero requiere soluciones creativas.

**Gestionar los riesgos.** La prueba y el perfeccionamiento de las soluciones es una parte esencial de Seis Sigma.

**Medir los resultados.** El seguimiento de cualquier solución significa verificar su impacto real.

**Sostener el cambio.** La clave final es conseguir que el cambio perdure.

---

<sup>28</sup> Aplicación de la metodología seis sigma en la mejora de resultados de los proyectos de construcción Yepes, Víctor; Pellicer, Eugenio

## MÉTRICA SEIS SIGMA.

Para poder realizar los cálculos de este método sabiendo el objetivo es tener las mejores técnicas de cálculo apropiadas para una situación determinada.

Debemos definir primero algunos conceptos básicos<sup>29</sup>

$$DPU = \frac{D}{U}$$

Donde:

DPU = Defectos por unidad.

D (Defecto) = Cualquier evento que no cumpla la especificación de un CTQ (“Critical to Quality” parámetros de calidad crítica).

U (Unidad) = Es un artículo producido o procesado.

Defectuoso: Una unidad que tiene uno o más defectos.

$$DPO = \frac{D}{U * O}$$

Donde:

DPO= Defectos por oportunidad.

O (Oportunidad de defectos) = Cualquier acontecimiento que pueda medirse y de una *oportunidad* de no satisfacer un requisito del cliente.

$$TOP = U * O$$

TOP = Número total de oportunidades TOP.

---

<sup>29</sup> Forrest W. Breyfogle III. Implementing Six Sigma Ed. John Wiley & Sons, Inc.1999

$$DPMO = DPO * 10^6$$

DPMO =Defectos por oportunidad por millón de unidades.

Y= Rendimiento

$$Y = (1 - DPU) * 100$$

$Y_{FT}$  (Rendimiento estándar o de primera pasada) = Es el porcentaje de producto sin defectos antes de realizar una revisión del trabajo efectuado.

$Y_{LT}$  (Rendimiento al final o de última pasada) = Es el porcentaje de producto sin defectos después de realizar la revisión del trabajo.

Para un cálculo de un producto que entra dentro de tolerancias se necesita de calcular la media y desviación típica (S) del proceso real.

Limites superior e inferior (USL y LSL) fijados en la especificación, para que el producto pueda ser considerado conforme.

### Curva normal

Se realiza la gráfica (ver figura 6.10) en función de los datos anteriores, mostrando la media, la desviación y los limites superior e inferior de la especificación.

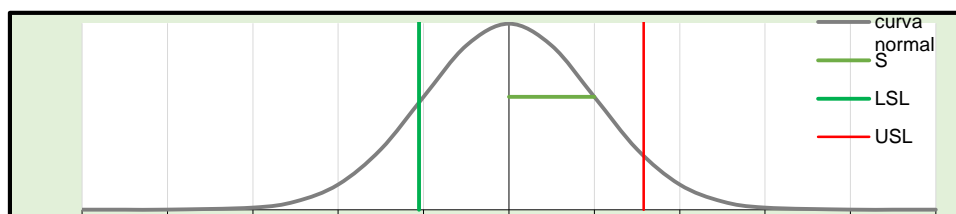


Figura 6.10 curva normal

**Área USL y LSL** Realizar el cálculo respecto a una curva normal (de media=0 y S=1) nos calcula la distancia a la que estarían los límites superior e inferior.

Para la el cálculo de estas áreas se utilizan las siguientes fórmulas.

$$Z_1 = \frac{USL - x}{S}$$

$$Z_2 = \frac{LSL - x}{S}$$

Se calcula la distribución normal para  $Z_1$  y  $Z_2$  para obtener  $A_1$  y  $A_2$

Realizar la diferencia ente  $A_1$  y  $A_2$  se multiplica por 100 y se obtiene la **productividad (%)**

**Nivel de calidad sigma del proceso:** Calcula cual es el nivel sigma del proceso en función del rendimiento obtenido.

Se usa la medida en sigma para observar que tan bien o mal operan los procesos y darles a todos una manera común de expresar dicha medida esto se ve reflejado en la tabla 6.1.

NIVEL EN SIGMA	DPMO	RENDIMIENTO
6	3.40	99.9997 %
5	233.00	99.98 %
4	6.210,00	99.3 %
3	66.807,00	93.3 %
2	308.537,00	69.15 %
1	690.000,00	30.85 %
0	933.200,00	6.68 %

Tabla 6.1 Niveles seis sigma

**Nota:** No confundir el **nivel sigma** del proceso con la desviación estándar (S).

Hay en muchos sitios donde designan a la desviación estándar con la letra sigma, por eso hay que recalcar que no son lo mismo.

## **CAPÍTULO VII APLICACIÓN DE MANUFACTURA LEAN EN UNA EMPRESA MANUFACTURERA.**

La aplicación de Manufactura Lean se realiza en la empresa Nuevas Industrias Rodamex S.A de C.V. como parte de la mejora de la empresa, en este capítulo se detallaran los resultados obtenidos.

### **APLICACIÓN DE SMED**

Tras la primera jornada se forma el grupo multidisciplinario para efectuar el plan de trabajo, todo esto bajo las medidas de seguridad adecuadas, con el fin de analizar las posibles fallas que se tienen en la empresa, además de detectar los posibles cuellos de botella que perjudican a la producción de la planta.

El recorrido se realizó específicamente en la parte de troquelado porque es donde se tenían problemas referentes a calidad en las piezas producidas, posteriormente se realizó una entrevista para cada uno de los trabajadores de la zona de troquelado, para identificar las máquinas, el proceso de producción, y las medidas de seguridad que se tenían, así de este modo realizar la evaluación de 5's esto con el fin de diagnosticar las condiciones de operación de la empresa-operario.

La parte de la implementación de 5's es importante para poder depurar al proceso y poder hacer más evidentes las fallas y desperdicios que entorpecen a la producción de las máquinas de troquelado.

Este recorrido se realizó por 6 máquinas obteniendo las siguientes observaciones mostradas en la tabla 7.1.



Máquina	ID	Operador	Observaciones
1	11	Isidro Gómez	Mala ubicación de estante de herramientas. Diseño inadecuado de rampa de salida de producto (pinzas y lámina)
2	4	José Luis	Problema de continuo paro de máquina por lubricación de lámina. Se sugiere un sistema de lubricación con rodillo para parte inferior de lámina.
3	12	José Domínguez	Problemas en contenedores y almacenamiento de material. Mal ordenamiento al recibir y entregar material.
4	13	Juan Hernández Cruz	Problemas en contenedores y almacenamiento de material. Mal ordenamiento al recibir y entregar material.
5	5	Carlos Vega	Problema de alineación de lámina afectando calidad del producto. Paro de máquina por inspección de piezas.
6	10	Pedro Ruiz	Buen orden y limpieza.

Tabla 7.1 Observaciones obtenidas

Tras el análisis general encontramos las siguientes recomendaciones generales en la Tabla 7.2

Recomendaciones Generales
Ordenar, clasificar y estandarizar herramientas.
Ordenar, clasificar y estandarizar herramientas al recibir producto por operadores.
Implementación de estantes.

Clasificación y orden de inventario.
Contratar mayor número de ayudantes generales que eviten el retraso en los operadores de sus funciones principales y evitar desperdicios de traslado de material terminado.
Estandarización de inventario.
Implementación de bandas transportadoras.
Implementar sistemas de seguridad máquina-operadores.

Tabla 7.2 Recomendaciones Generales

## DISCUSIÓN.

Tras el primer día de implementación de este programa encontramos ciertas condiciones que dificultaran dicha aplicación estos puntos son los siguientes:

- Lotes sin control alguno es decir sin ningún tipo de clasificación, en este punto encontramos que el sistema de producción se basa en lotes de tamaño distinto y sin control, argumentando falta de espacio para tener materia prima y poder aplicar lotes la definición del tamaño de los lotes estandarizando así la producción y no producir por producir.
- Ordenamiento de la bodega de inventario y así mismo requerimiento de control de piezas en existencia en bodega.
- Análisis de demanda del mercado, una vez teniendo el requerimiento de consumo diario, semanal, mensual, se puede realizar una extrapolación y una predicción de como se comportaría dicha demanda en el tiempo.
- Desbalanceo de la línea de producción ocasionado por fallas mecánicas de los troqueles.

- Algunos procesos de troquelado suelen ser más rápidos que otros, lo que causa una mayor fabricación de piezas generando un cuello de botella en espera del siguiente proceso termine con las piezas anteriormente producidas.
- El nivel de inventarios excedía de su capacidad.
- Se generaban desperdicios debido a problemas de calidad.
- Algunas máquinas tenían sistemas neumáticos lo cual permitía una mayor producción de piezas, sin en cambio otras máquinas requerían de un trabajo manual como lubricar las piezas, ordenarlas, acomodarlas etc., causando retrasos en la línea de producción.

Existen factores que tienen mayor prioridad antes de poder implementar el de manera total manufactura lean, como lo es el problema de calidad que presentan las piezas producidas en máquinas de troquelado en específico nos enfocamos a una sola máquina de troquel siendo la número 5, esto debido a que era la máquina con mayores defectos en las piezas. Los cuellos de botella son reducciones que se tienen principalmente en tiempo de producción pero que repercuten en muchos ámbitos de la línea de producción como lo son los siguientes.

- Desbalanceo de la línea de producción.
- Mayor tiempo de espera entre máquina y máquina.
- Problemas de calidad.
- Saturación de algunas máquinas.
- Sobreproducción de piezas.
- Incremento de los inventarios.
- Piezas en espera de proceso.
- Desperdicio de materia prima.
- Retraso ante la demanda de producción.

Existen muchos problemas generados por los cuellos de botella, como ya se mencionó antes por lo que es importante tomarlos en cuenta y atacar al problema que lo ocasiona directa o indirectamente, existen cuellos de botella que generan una mayor reducción del tiempo en producción por lo que son los que mayores repercusiones tienen y deben ser corregidos para lograr mejorar el tiempo de producción.

En la figura 7.1 se muestra una representación gráfica de lo que es un cuello de botella en este caso el cuello de botella más importante para nosotros era el que se debía a los problemas de calidad, ya que esto ocasiona perdida de materia prima, tiempo, y genera costos muy altos al proceso.



Figura 7.1 Cuello de botella en la línea de producción.

## CONCLUSIÓN

En base a los puntos antes mencionados, no es posible la aplicación inmediata de SMED y menor aun de la aplicación total de Manufactura Lean, ya que existen prioridades más importantes que atender como lo es el problema de calidad.

El principio particular de SMED es el de reducir el tiempo en los cambios de herramienta, debido a que el cambio de matrices se realiza de una manera aleatoria esto es en base a la cantidad de materia prima que se tiene en inventario y a la demanda de producción que es solicitada para poder satisfacer la demanda de la empresa.

Otro problema es que se requiere estandarizar la producción definir lotes de específico volumen por lo tanto esto se recomienda lo anterior para la aplicación de SMED, uno de los

principales impedimentos para ello es el espacio que se tiene en la planta por lo que la materia prima que llega debe ser procesada inmediatamente esto genera que los inventarios se vuelvan también un problema pues hay producto terminado parado y los costos de mantener un inventario con muchas piezas es muy caro debido a ello SMED no puede implementarse de manera inmediata.

Se recomienda emplear programa que tenga en ordenamiento y los inventarios, y el requerimiento de materia prima de acuerdo al uso de esta en la producción.

También se hace la mención de que no es posible por ahora la aplicación de tarjetas KAN-BAN debido a que como se menciona anteriormente hay que tener primero un control de los lotes de producción.

En general la aplicación de Manufactura Lean es un proceso que se debe de llevar de manera ordenada y sistemáticamente, por lo que deben de atenderse primero los cuellos de botella esto además de solucionar el problema hace más sencilla la aplicación de Manufactura Lean ya que se va depurando la línea de producción hasta el punto de que no existen fallas en las máquinas debidas a los cuellos de botella, el hecho de que no se haya aplicado directamente Manufactura Lean no significa que no se pueda hacer, se puede hacer y corregir los problemas generados por los cuellos de botella forman parte de la implementación de Manufactura Lean ya que se trata de crear procesos a prueba de errores es decir POKA-YOKE.

Debido las circunstancias encontradas, se procede a cambiar el objetivo de este trabajo enfocándonos ahora en la técnica POKA-YOKE, específicamente en los problemas de alineación al momento de alimentar la materia prima (lámina) al troquel en la máquina #5 ya que esto produce una baja considerable en el la calidad de la producción y así mismo se obtiene pérdidas de tiempo en la producción para la aplicación de esta nueva técnica nos basaremos en el siguiente procedimiento.

## **APLICACIÓN POKA-YOKE**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La calidad se refiere al conjunto de propiedades inherentes a un objeto que le confieren capacidad para satisfacer necesidades implícitas o explícitas.

Un problema de calidad en la producción de las piezas en el troquelado implica muchos riesgos para la empresa en general, como lo son los siguientes.

- Desperdicio de energía.
- Desperdicio de tiempo.
- Mala calidad.
- Producto inservible.
- Grandes costos
- Desperdicio de materia prima.

Por lo que es de vital importancia tener en cuenta que la calidad es un factor fundamental para poder garantizar la funcionalidad de los productos, cumplir con todas las normas de calidad es algo que las empresas deben de considerar en su producción pues esto respalda su trabajo y sobre todo su competitividad en el mercado, y lo más importante tener la satisfacción total de los clientes.

### **JUSTIFICACIÓN.**

La empresa cuenta con 12 máquinas de troquelado, algunas de estas trabajan las mismas piezas para darle un acabado diferente, pero dependen unas de otras, por lo que si se genera un problema de calidad este se traduciría a todas las etapas de la elaboración de una pieza, por ello es de vital importancia detectar errores en cada una de las operaciones unitarias.

### **OBSERVACIÓN.**

La solución de los problemas requiere de una buena observación, de la identificación de patrones, como fallos de máquinas, mala calidad en las piezas, mala operación de las mismas, mala calidad de las materias primas.

La observación es importante ya que muchas veces los problemas no están expresados de manera explícita, hay que detenerse a analizar las posibles fallas, o las posibles mejoras del proceso.

### **EVALUACIÓN.**

Durante el recorrido en la planta se entrevistó a cada uno de los trabajadores se le hicieron las siguientes preguntas:

- ¿Cuál es su nombre?
- ¿En qué consiste su trabajo?
- ¿Cuántos tipos de pieza produce?
- ¿Su trabajo depende de procesos anteriores de troquelado?
- ¿Qué fallas presenta en la elaboración de sus piezas?
- ¿Existe algún problema en su máquina?
- ¿Qué le gustaría que se mejorara?

Por medio de la formulación de las preguntas anteriores se obtuvo información muy relevante, la cual nos permitía, primeramente conocer a cada uno de los operarios, tener una perspectiva diferente de la empresa, conocer la problemática de esta, así como las posibles mejoras que pudiesen implementarse para generar un ambiente de trabajo más seguro, y amigable, y que esto se traduce a una mejora en la producción, lo cual implica una mayor calidad para cada una de las piezas producidas.

En particular nos enfocamos a la máquina número 5, esta es la máquina más automatizada en toda la planta, la cual se muestra en la figura 7.2.



Figura 7.2 Máquina 5.

Esta contiene un dispositivo diseñado en la empresa que consiste en un conjunto de rodillos véase la figura 7. 3, los cuales ejercen una cierta presión para que el rollo de lámina, no se deforme y no ocasione problemas durante el proceso de troquelado.

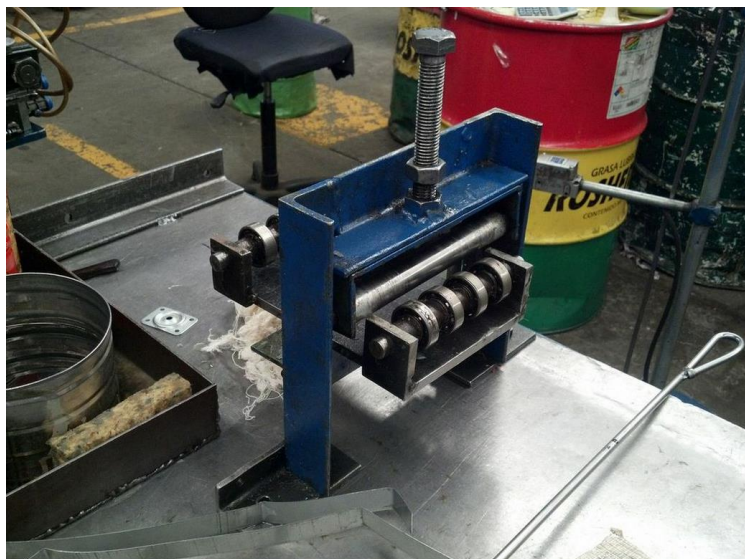


Figura 7.3 Dispositivo para evitar deformación de lámina.

A su vez esta máquina estaba equipada por un alimentador neumático para alimentación de la lámina hacia el troquel véase la figura 7.4, el cual ejerce una presión de  $6 \text{ kg/cm}^2$  y se



activaba por medio de una leva, cada que el troquel bajaba hacia la matriz, además de esto contenía 4 guías para lograr siempre una alineación de la placa, evitar que existiera un desfase en las medidas de la pieza, además de implementarse un sistema de lubricación de la placa tanto en la parte superior como inferior de la misma.



Figura 7.4 Alimentador neumático.

Durante la entrevista con el operario, observamos que tenía un vernier muy a la mano y el cual estaba usando mucho frecuencia para revisar las medidas de los barrenos 1 y 2 al estar produciendo piezas, al cuestionarlo acerca de esto él nos expuso un problema que tenía con su máquina y es que tenía problemas de calidad en la piezas, ya que los orificios 1 y 2 que a continuación se muestran variaban sus distancias, a pesar de contener los elementos anteriormente mencionados como el dispositivo de rodillos y el alimentador neumático, existía un desfase de la lámina de acero por ello es que no se podía dejar trabajar a la máquina sola, en todo momento requiere un paro periódico de la producción para verificar las piezas esto genera pérdida de tiempo para el operario.



Figura 7.5 Pieza con problemas de calidad.

Para constatar lo que el operario nos comentamos, se tomó una muestra aleatorio de 25 piezas producidas ese mismo día véase la figura 7.5, para poder realizar un estudio más detallado de cuáles eran las máximas y mínimas variaciones de cada una de las medidas, obteniéndose los siguientes resultados.

#### **MUESTRA ALEATORIA.**

Una muestra aleatoria <sup>30</sup>es la selección de un número individuos a partir de una población objeto de investigación, la elección de cada uno de los datos sigue un método impredecible.

En la tabla 7.3 se muestra 25 eventos realizados de manera aleatoria a las piezas troqueladas.

---

<sup>30</sup> Samuel S. Wilks, Mathematical Statistics, John Wiley, 1962, Section 8.1

<b>Muestreo medidas pieza 1</b>		
<b>Número de eventos</b>	<b>Distancia 1</b>	<b>Distancia 2</b>
1	4.72	4.96
2	4.72	4.95
3	4.53	4.98
4	4.70	4.99
5	4.63	5.06
6	4.80	4.96
7	4.79	5.08
8	4.77	5.04
9	4.75	5.07
10	4.63	5.00
11	4.73	4.97
12	4.71	4.96
13	4.72	4.99
14	4.72	5.00
15	4.72	4.92
16	4.69	4.96
17	4.75	4.90
18	4.80	4.83
19	4.78	4.95
20	4.73	4.98
21	4.75	4.91
22	4.70	4.99
23	4.76	4.93
24	4.72	5.01
25	4.72	4.98

Tabla 7.3 Muestreo aleatorio.

## ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Posteriormente se procedió a hacer un análisis estadístico en el fin de obtener información más relevante acerca del comportamiento de cada uno de los datos.

Resultados estadísticos pieza 1		
Indicador	Distancia 1	Distancia 2
Desviación estándar	0.0598	0.0563
Mediana	4.72	4.98
Moda	4.72	4.96
Promedio	4.72	4.97
Varianza	0.0017	0.0034

Tabla 7.4 Análisis estadístico.

Los datos estadísticos obtenidos por medio del muestreo aleatorio se muestran en la tabla 7.4. Donde se tiene una desviación estándar para ambos barrenos menores a 0.06, aunque resulta ser un valor pequeño esta fuera de las tolerancias permitidas para cada barreno.

A continuación se generaron dos graficas correspondientes para cada barreno donde se puede observar el comportamiento de los datos y se puede constatar de una manera más fácil que existe un problema de calidad en la producción de estas piezas.

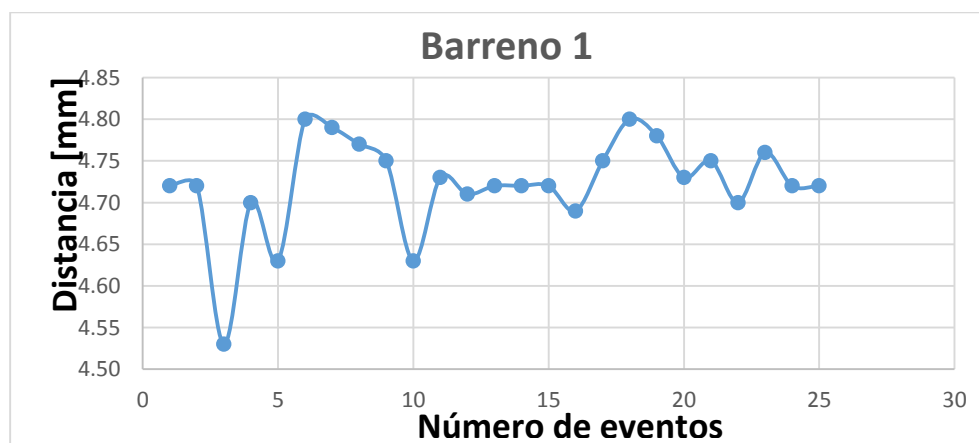


Figura 7.5 Gráfica Barreno 1.

Se puede observar en la gráfica anterior, que se tiene los siguientes picos de variación de la medida del barreno 1 con 4.80 mm como máximo y un mínimo de 4.53 mm.

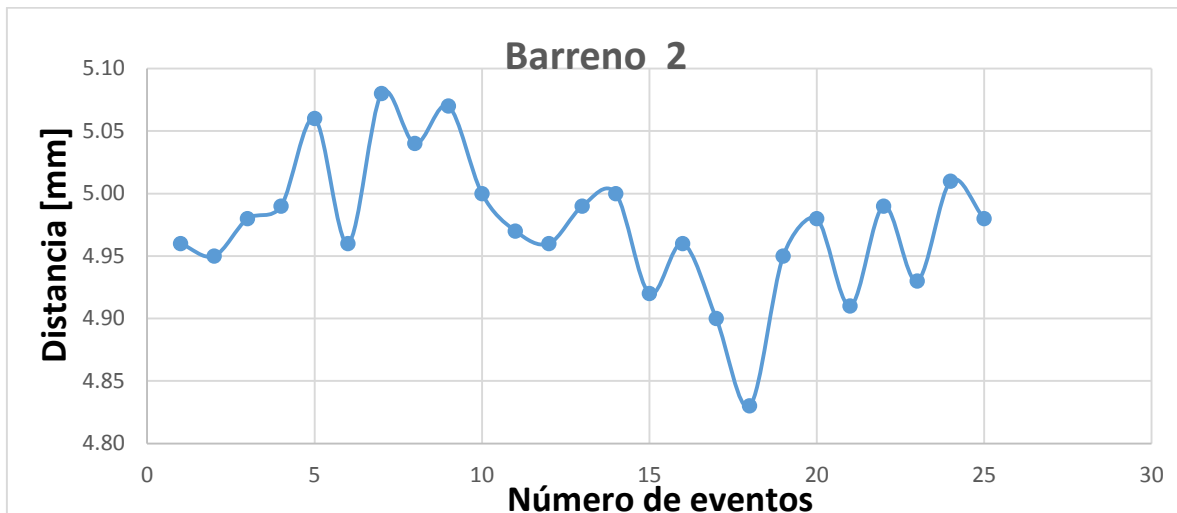


Figura 7.6 Gráfica Barreno 2

Se puede observar en la gráfica anterior, que se tiene los siguientes picos de variación de la medida del barreno 1 con 5.08 mm como máximo y un mínimo de 4.83 mm.

Y se pudo comprobar que efectivamente existía una variación el más medidas de los barrenos 1 y 2 lo que se traduce a problemas generados al perder la alineación desde el alimentador neumático hacia la matriz del troquel, la cual era una distancia de 30 cm, lo antes mencionado se comprueba en la siguiente imagen.

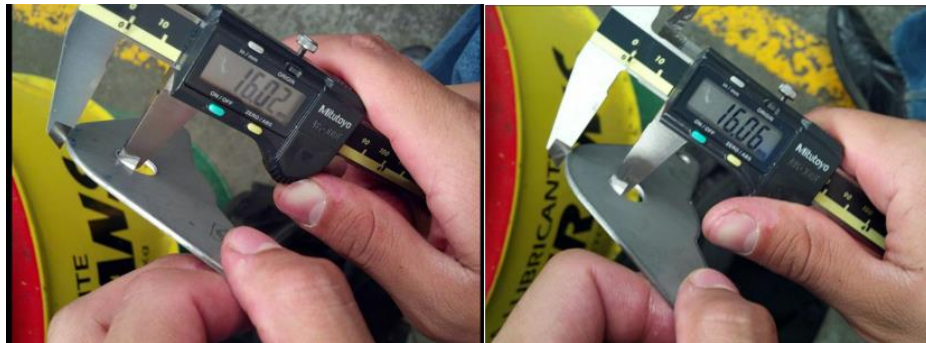


Figura 7.7 Desviación de medidas en los barrenos.

En la figura 7.7 se observa como es que tomando piezas aleatoriamente y midiendo la distancia de cada uno de los barrenos esta varia, por lo que existen problemas de calidad, hay que recordar que esta pieza es importante puesto que en base a ella se ensambla el producto final.



Figura 7.8 Variación de distancias respecto a pieza muestra

En la figura 7.8 se observa como es que se encuentran desfasados los barrenos uno respecto del otro donde el que se encuentra atrás es la pieza modelo, debido a estos errores puede ocasionar que no se logre ensambla correctamente cada una de las llantas que llevará esta pieza al convertirse en un producto terminado.

### **PROCESO DE DISEÑO.**

Se define al **diseño** como “El proceso ordenado y metodológico de dar forma, dimensiones, materiales, tecnología de fabricación y funcionamiento de una máquina o producto para que cumpla unas determinadas funciones o necesidades.”<sup>31</sup>

El proceso de diseñar, suele implicar las siguientes fases:

1. **Observar y analizar** el medio en el cual se desenvuelve el ser humano, descubriendo alguna necesidad.
2. **Evaluar**, mediante la organización y prioridad de las necesidades identificadas.

---

<sup>31</sup> Salinas Flores, Óscar, *Historia del diseño industrial*, México, Trillas, 1992

3. **Planear y proyectar** proponiendo un modo de solucionar esta necesidad, por medio de planos y maquetas, tratando de descubrir la posibilidad y viabilidad de la(s) solución(es).
4. **Ver**, Construir y ejecutar llevando a la vida real la idea inicial, por medio de materiales y procesos productivos.
5. **Retroalimentar** Realizar un balance como parte de una evaluación el cual nos conlleve a propuestas de mejora.

**SIMBOLOGÍA EMPLEADA PARA EL DIAGRAMA DE PROCESOS.**

La simbología para poder detallar un proceso industrial es de vital importancia véase la figura 7.5, debido a que en base a ella se describe de manera gráfica, cada uno de los procesos que se llevan a cabo, no existe una simbología en particular, siempre es conveniente especificar la simbología a emplear, la cual se muestra a continuación.







SÍMBOLO	NOMBRE	ACCIÓN
	Terminal	Representa el inicio o el fin del diagrama de flujo.
	Entrada y salida	Representa los datos de entrada y los de salida.
	Decisión	Representa las comparaciones de dos o mas valores, tiene dos salidas de información falso o verdadero
	Proceso	Indica todas las acciones o cálculos que se ejecutaran con los datos de entrada u otros obtenidos.
	Líneas de flujo de información	Indican el sentido de la información obtenida y su uso posterior en algún proceso subsiguiente.
	Conector	Este símbolo permite identificar la continuación de la información si el diagrama es muy extenso.

Tabla 7.5 Simbología diagrama de procesos diseño.

**PROCEDIMIENTO.**

Es conveniente establecer una metodología a seguir para poder llevar a cabo el diseño de un producto de una manera sistemática véase la figura 7.9, con el fin de poder llevar cada uno de los procesos de manera ordenada además de que exista una retroalimentación en

cada uno de ellos para así poder mejorar el diseño conforme a pruebas, ideas, opiniones etc.

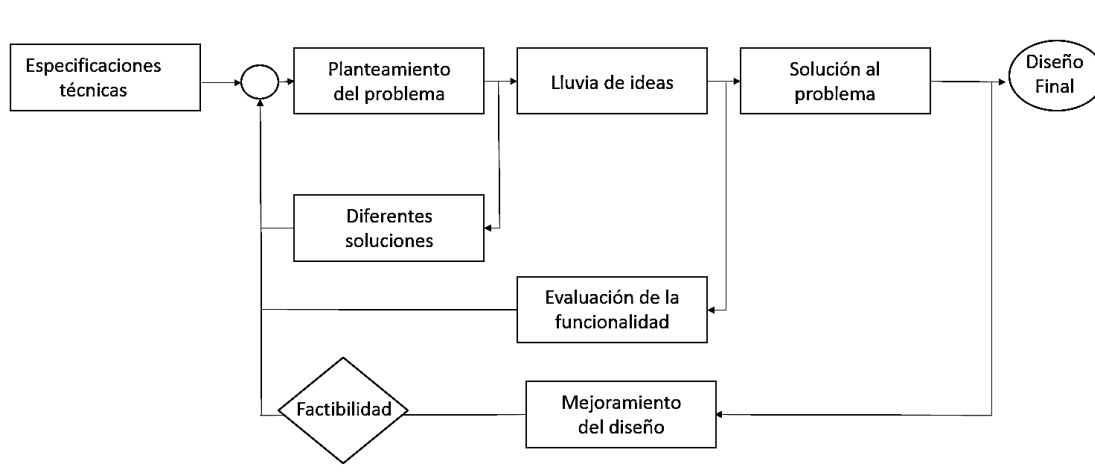


Figura 7.9 Metodología del diseño.

A continuación se definirá cada uno de los procesos que complementan la metodología de diseño.

### **ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.**

En este rubro se especifican de manera general todas las características esenciales que debe contener el producto final, las dimensiones máximas y mínimas, el peso mínimo y máximo, los espesores, el material a emplearse entre muchas más características que son esenciales y que por lo regular las dictamina el cliente por lo que el equipo de diseño se encuentra restringido ante estas características puesto que el diseño debe de cumplir con todo lo estipulado.

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.**

Aquí se debe especificar de manera concisa y sencilla el problema al que se le quiere encontrar una solución, donde el problema son las necesidades del cliente y la solución es la que dará el equipo de diseño es decir la meta final, en esta etapa se resuelven dudas por parte del equipo de diseño puesto que, el director del proyecto es el que recibe los requerimientos del producto y este debe de comunicar dichas características a todos los



ingenieros que trabajen en el proyecto. De esta manera se entera al equipo de trabajo para que todos estén enfocados en el problema que se tiene que resolver.

#### **LLUVIA DE IDEAS.**

Esta es una etapa crucial debido a que se pone en juego todas y cada una de las ideas de parte de los ingenieros que puedan ser una solución al problema, en esta etapa se generan ideas que ayudan al equipo a poder conjuntarlas de manera a que se puede llegar a múltiples soluciones, ninguna idea debe ser desechada pero si clasificarlas en categorías como la más factible a la menos factible. Se generan varios modelos mediante software de CAD (Diseño Asistido por Computadora) para tener una mejor idea de lo que se quiere proponer.

#### **SOLUCIÓN AL PROBLEMA.**

En esta etapa se eligen un número de ideas antes propuestas en la lluvia de ideas y se procede a conjuntar todas de manera que se genere un modelo sobre el cual se debe trabajar, este modelo debe de contener las mejores propuestas de solución al problema, además de cumplir con las especificaciones técnicas, en esta etapa se hacen el modelo sobre el cual se va a trabajar, proponiendo soluciones y modificaciones.

#### **RETROALIMENTACIÓN.**

Aquí se genera una etapa que es indispensable para lograr un buen diseño y esta es la retroalimentación la cual se refiere al proceso iterativo donde a partir de un conjunto de procesos ya discutidos se ponen a prueba para saber si lo que se ha propuesto es viable, en esta etapa el diseño recibe una serie de modificaciones las cuales conducen a mejorar el diseño, hacerlo más robusto y mejor, sin cambiar la esencia del mismo, gracias a la retroalimentación se puede tener un producto final el cual asegure calidad, buen rendimiento y desempeño.

### **DIFERENTES SOLUCIONES.**

En esta etapa del procedimiento de diseño se requieren nuevas soluciones ante el diseño que se esté llevando a cabo, esto es que si se tiene problemas en cuanto al desempeño del mismo o problemas en cuanto a que no se cumpla una especificación técnica esencial, el grupo encargado de diseño debe ser capaz de proponer distintas soluciones prácticas que no perturben las diferentes etapas del diseño y así se tengan distintas soluciones, por ejemplo si la pieza no está soportando el peso necesario proponer nuevas soluciones para que el diseño no sufra modificaciones drásticas como lo que puede ser agregar una costilla para que el diseño sea capaz de soportar dicha carga.

### **EVALUACIÓN DE LA FUNCIONALIDAD.**

Esta etapa comprende evaluar que tanto el diseño se apega a las especificaciones técnicas que son requerimientos o puntos de partida del mismo, de esta manera se somete al diseño a evaluaciones donde se puede determinar posibles fallos o mejoras al mismo.

### **MEJORAMIENTO DEL DISEÑO.**

Esta es la etapa final del ciclo de diseño pues que se conjunta todas las etapas y son puestas a prueba de nuevo desde un inicio para poder filtrar las posibles fallas o adecuaciones finales del diseño, si en esta etapa se cumple significa que se ha desarrollado un buen desempeño por parte del equipo de diseño de esta manera se puede asegurar que este se apega a las especificaciones técnicas, es funcional, y sobre todo tiene la calidad necesaria para poder ser producido.

### **PLANEACIÓN Y PROYECCIÓN.**

A continuación se emplea la metodología antes descrita para llevar a cabo el diseño de un dispositivo guía para la lámina de acero para el proceso de troquelado.

#### **Especificaciones técnicas.**

Las especificaciones que debe contener el diseño son las siguientes:

- No alterar el espacio de trabajo.

- No representar peligro al trabajador.
- Adaptable para diferentes rollos de lámina de entre 1 pulgada hasta 5 pulgadas de ancho.
- Contener elementos que permitan el avance del rollo de lámina.
- No presentar demasiada fricción.
- No causar daños a la materia prima.
- Fácil implementación.
- Fácil manufactura.
- Materiales de alta duración.

Para la solución a este problema se decidió realizar dos diseños como propuesta para la corrección de calidad en dicha pieza, primeramente se tomaron medidas y se comentaron las posibles soluciones, en base a ello se generó el primer diseño.

**OBJETIVO.**

Diseñar un dispositivo mecánico capaz de evitar la desalineación de la placa de acero con respecto a la matriz del troquel, con el fin de asegurar la calidad para dicha pieza.

**PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.**

Se requiere diseñar un dispositivo mecánico, el cual permita guiar a la lámina de acero desde el alimentador neumático hasta la matriz del troquel sin que esta se mueva y ocasione problemas de calidad.

Como parte de la aplicación de la técnica de POKA-YOKE, la cual que consiste en generar sistemas a prueba de errores, y atendiendo a la problemática de calidad que se presenta en la máquina número 5, es un problema que se debe de corregir ya que es una pieza base para otras operaciones de troquelado.

### **LLUVIA DE IDEAS.**

Se comentaron varias ideas con el jefe de producción, el jefe de mantenimiento de las máquinas, el operario, etc. Obteniéndose los siguientes puntos.

- Una placa que contenga guías.
- Emplear pernos para permitir el avance de la lámina de acero.
- Permita ajustar a diferentes anchos.
- Se pueda colocar justo a la mitad entre el alentador neumático así como la matriz del troquel.

### **SOLUCIÓN AL PROBLEMA.**

A partir del proceso de lluvia de ideas y en base a la comunicación constante entre los trabajadores se llegó a los siguientes puntos.

- Emplear una sola placa
- Contenga baleros o elementos mecánicos que eviten la fricción con la placa de acero.
- Fácil de manufacturar
- Sea fácil de colocar y quitar.

### **RETROALIMENTACIÓN.**

En todo momento existió una comunicación con los trabajadores de la empresa Rodamex, para poder discutir las posibles soluciones para el problema, cabe la pena rescatar que se trata de un problema real.

Se requería de una solución práctica.

- Bajo costo.
- Fácil manufactura.
- Material de alta duración.

Por lo que se tenía que tomar en cada una de estos puntos, en base a ellos fue que se generaron los diferentes conceptos como parte de una posible solución, se descartaron todas las ideas que no cumplieran con los puntos anteriores.

### DIFERENTES SOLUCIONES.

Como parte de la generación de diferentes soluciones se obtuvieron dos diseños principales los cuales se describirán a continuación.

#### PRIMER DISEÑO.

Este consiste en una placa con dos guías para poder ajustar al ancho de la lámina de acero, por medio de dos valeros de aguja los cuales permiten alinear a la placa a la entrada del troquel, aprovechando dos tornillos como medios de sujeción propios del diseño de la máquina. Para esto se generó un bosquejo del primer diseño véase la figura 7.10, para una mejor visualización del mismo y así poder generar dicho modelo en 3D, el cual se muestra en la siguiente figura.

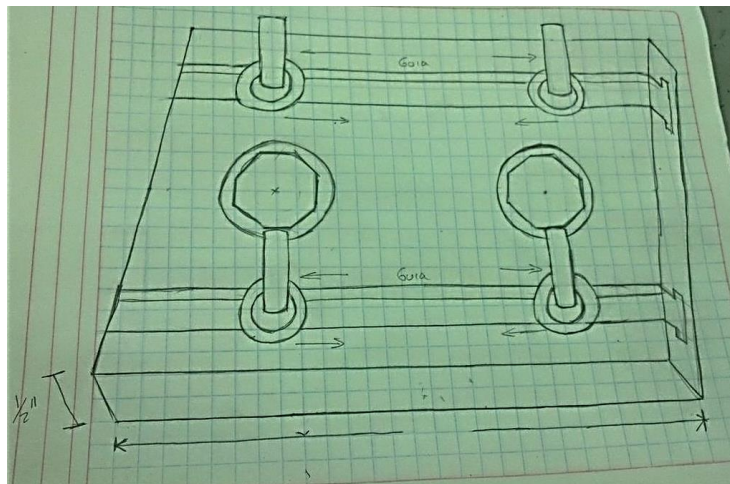


Figura 7.10 Bosquejo del primer diseño.

Después de haberse generado el bosquejo se procedió a realizar dicho diseño en un software de CAD (Diseño asistido por computadora), el cual fue Siemens NX en la versión 8.5, para poder modelarlo en 3D y así tener una mejor perspectiva del mismo y así poder corregir errores de medidas, de concepto etc.

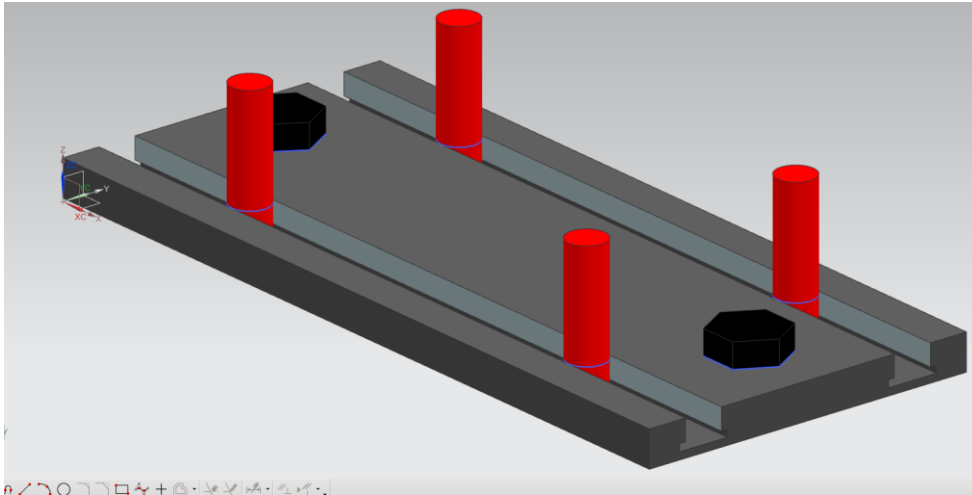


Figura 7.11 Modelado del primer diseño

En base al modelado en 3D véase la figura 7.11, se obtuvo la parte más importante del diseño la cual es la placa base, ya que requiere de varios procesos de manufactura.

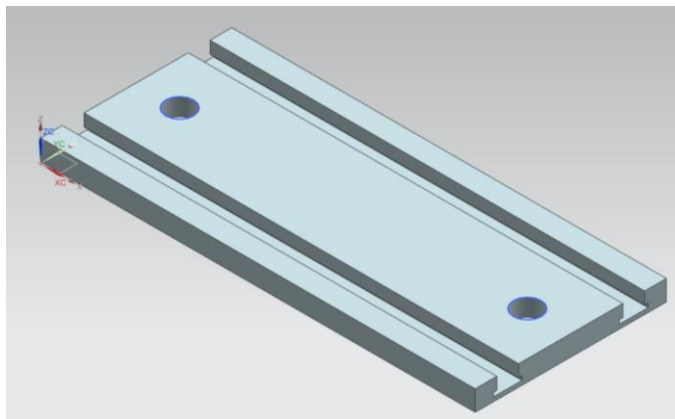


Figura 7.12 Placa base

Una vez obtenida la placa base se procedió a generar el plano de esta para poder manufacturar la placa véase la figura 7.12.

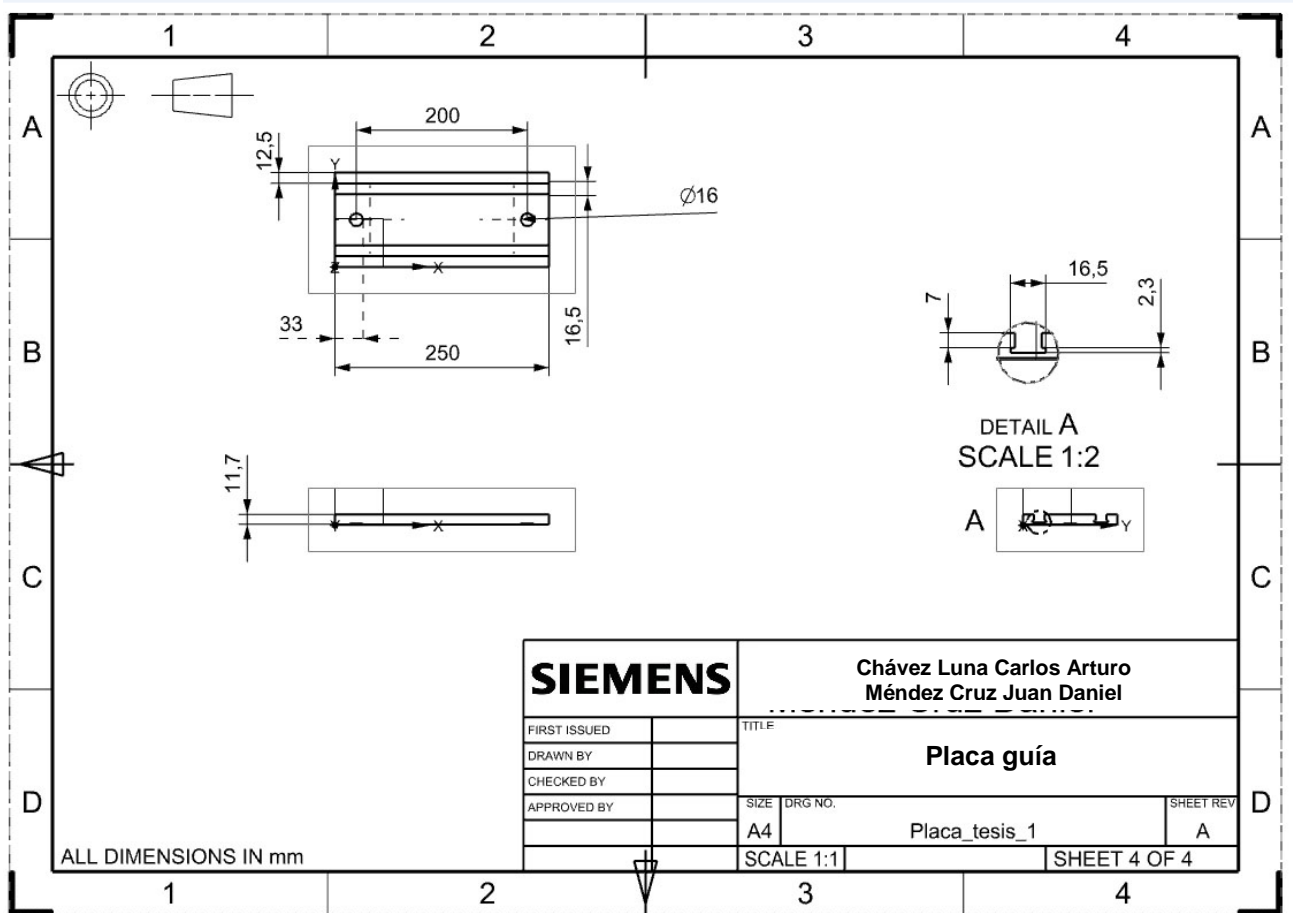


Figura 7.13 Plano del primer diseño.

Para posteriormente proceder a la manufactura del primer diseño es necesario generar el plano de este diseño véase la figura 7.13

## SEGUNDO DISEÑO

El segundo diseño fue una propuesta más fácil de manufacturar pero que funcionaría de manera igual con la diferencia de que esta sería una sola guía, es decir que se necesitarían cuatro de estas guías para poder alinear completamente la placa de acero.

Se dibujó un boceto en el cual fueron plasmadas todas las ideas del equipo, para lograr una solución más fácil y más eficiente de manera que solucionara el problema de desalineamiento del rollo de lámina de acero.

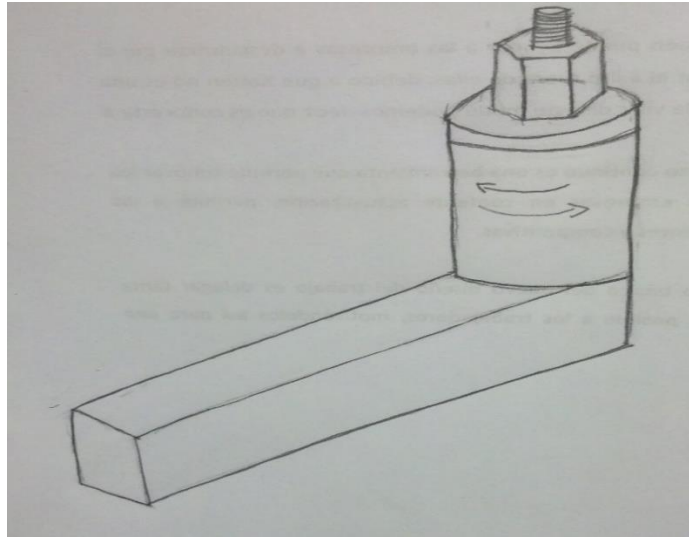


Figura 7.14 Bosquejo del segundo diseño.

Consiste en una barra de acero con un barreno el será colocado con dos bujes contrapuestos para poder permitir que estos giren conforme la lámina avanza hacia el troquel, además de tener una altura considerable para poder guiar de manera adecuada a la placa de acero véase la figura 7.14.

Se procedió a modelarlo en 3D para poder corregir posibles fallas del diseño, y así adaptarlo más hacia las necesidades del operario, el diseño se muestra en la figura 7.15.

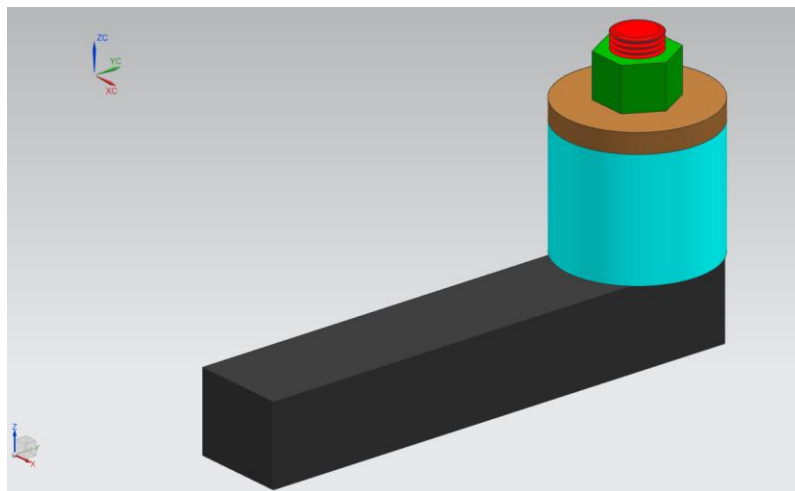


Figura 7.15 Modelado del primer diseño.



Después de la generación del modelado del segundo diseño se procedió a generar el plano de este dispositivo, el cual se muestra a continuación véase la figura 7.16.

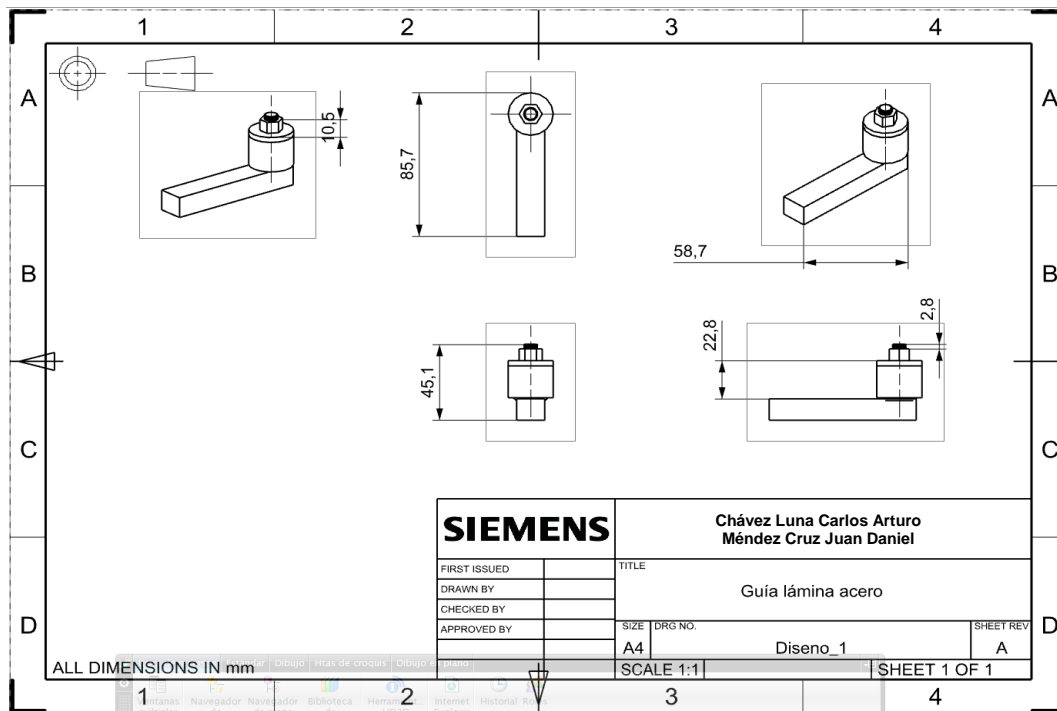


Figura 7.16 Plano primer diseño.

### EVALUACIÓN DE LA FUNCIONALIDAD.

La funcionalidad es un factor importante para ambos diseños, el principal objetivo es que este funcione en la máquina de troquelado, permitiendo evitar la desalineación de la lámina de acero, para ello es importante tener una noción más grande del funcionamiento del mismo.

#### Diseño 1:

La lámina de acero pasara por medio de 4 baleros, los cuales serán ajustados por medio de una corredera que se encuentra en la placa de manera que pueda recorrerse hasta hacer contacto con la lámina, este dispositivo mecánico se pondrá entre el alimentador neumático y el troquel, justo en los sujetadores de este. A continuación se muestra una simulación del funcionamiento del mismo véase la figuras 7.17 y 7.18.

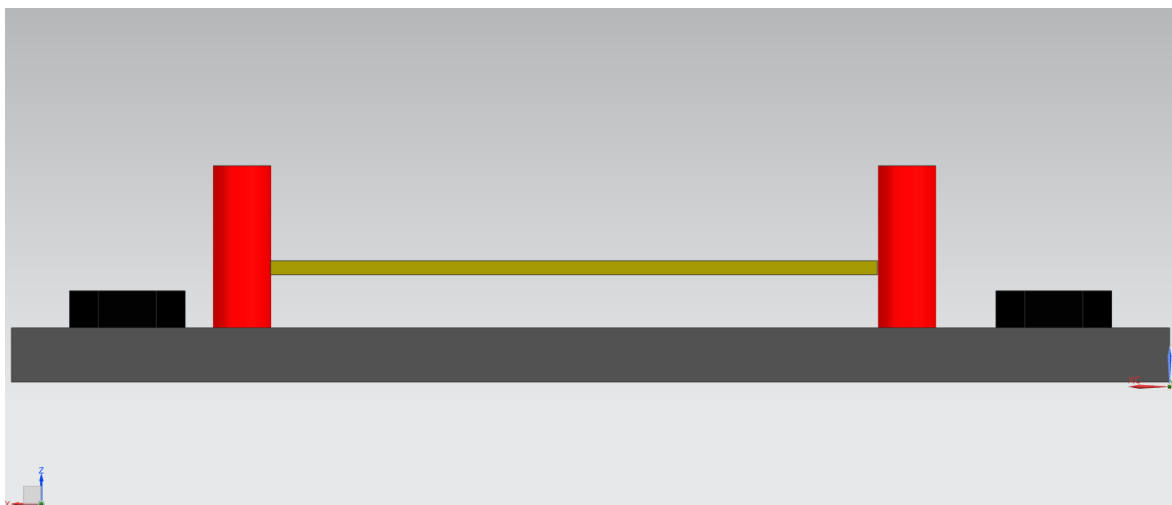


Figura 7.17 Simulación de funcionamiento del primer diseño (vista frontal).

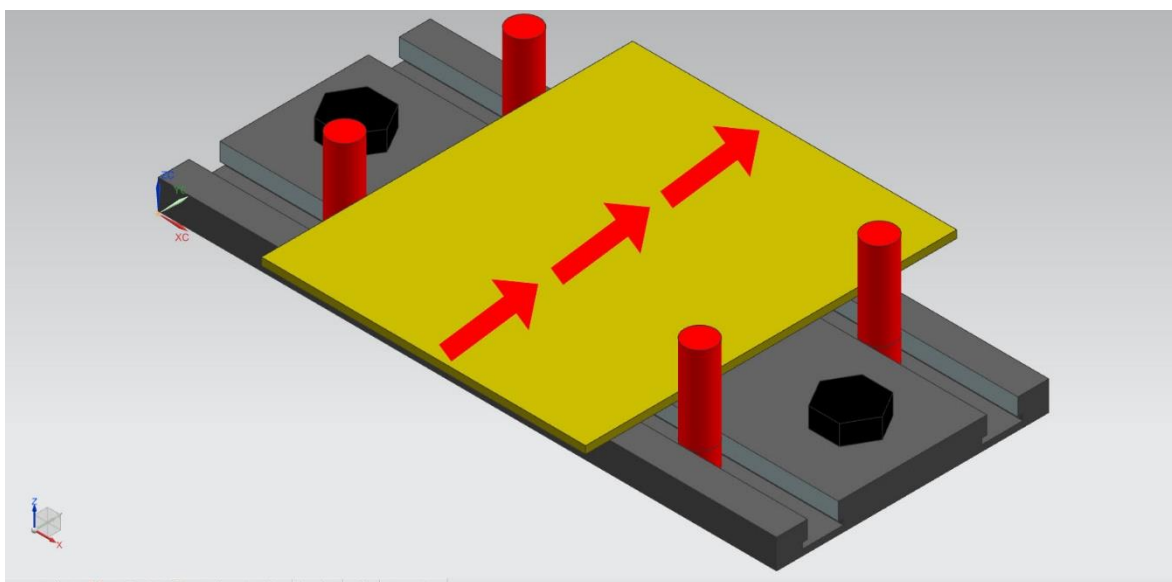


Figura 7.18 Simulación de funcionamiento del primer diseño (vista isométrico).

**Diseño 2:**

Se trata de una solución más simple, donde se genera un dispositivo el cual es equivalente a una guía, donde se fijará por medio los sujetadores del troquel y estos pueden orientarse de manera angular hacia la lámina de acero, para esto se requieren dos dispositivos a la par. Está pensado para usarse entre el alimentador neumático, y el troquel además de que también se puede colocar a la salida de la lámina ya troquelada con el fin de poder alinear de mejor manera esta. A continuación se muestra una simulación del funcionamiento del mismo véase la figuras 7.19 y 7.20.

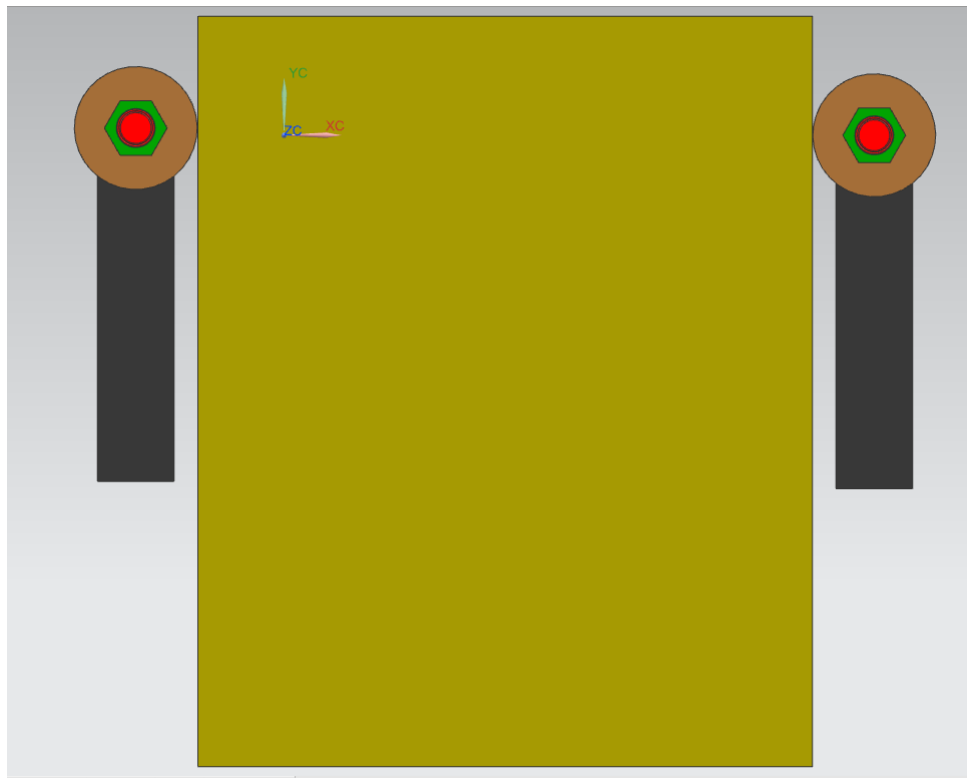


Figura 7.19 Simulación de funcionamiento del segundo diseño (vista superior).

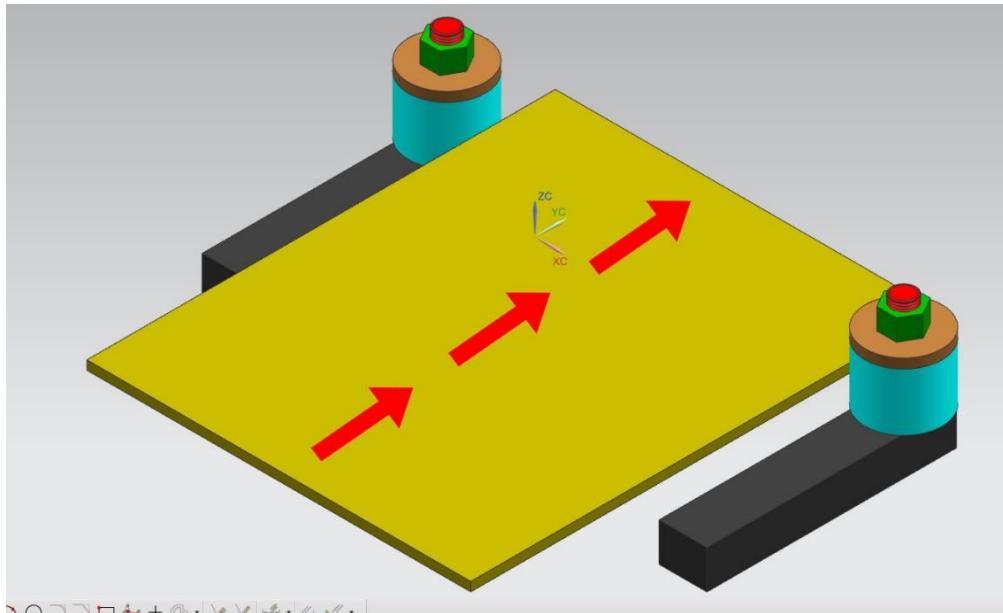


Figura 7.20 Simulación de funcionamiento del segundo diseño (vista isométrico).

El principio de funcionamiento es el mismo, sin embargo, y aunque ambos cumplen con las especificaciones, se debe elegir un mejor diseño en base a una comparativa de los mismos para poder tener la mejor solución posible.

#### **Mejor diseño.**

Aunque se propusieron dos posibles diseños como parte para la corrección del error en calidad, cada uno presenta sus ventajas frente a otro, lo mismo para cada una de las desventajas, esto es importante ya que en base a ellos se tomó la decisión en cuanto a que diseño es el más adecuado, para poder ser implementado en la máquina de troquelado, a continuación se muestra una tabla comparativa de ambos diseños, aunque vale la pena resaltar que ambos diseños cumplen con el objetivo final.

Ventajas	
Diseño 1	Diseño 2
Mayor número de guías.	Fácil manufactura.
Una sola pieza.	Fácil colocación.
Dos elementos de sujeción.	Fácil calibración.
Mayor área de descanso para la placa.	Adaptable al ancho de rollos de lámina.

Tabla 7.6 Ventajas Diseño 1 y diseño 2.

En la tabla 7.16 se realiza una comparación entre ambos diseños para poder determinar cuál es el mejor en base a las ventajas y a las desventajas véase la tabla 7.7

Desventajas	
Diseño 1	Diseño 2
Difícil manufactura.	Movilidad.
Mayor peso.	--
Mayor material.	--
Difícil colocación.	--

Tabla 7.7 Desventajas Diseño 1 y diseño 2.

En base a las tablas anteriores de tomo la decisión de emplear el **segundo diseño** como la propuesta de solución del problema, esto en base a la comparativa que se tuvo ante los dos diseños. Las razones por que se empleó dicho diseño es porque básicamente cumple con los siguientes puntos.

- Fácil manufactura.
- Bajo tiempo de manufactura.
- No requiere mucha materia prima.
- Fácil colocación en los troqueles.
- Fácil ajuste para las diferentes medidas de placas de acero.
- Bajo Costo.

**Descripción del diseño final.**

Aquí se describirá cada detalle acerca del diseño 2, anteriormente solo se mostró una figura en 3D para tener una idea general del mismo así como una breve simulación del funcionamiento, pero como parte del diseño hay que especificar cada una de las partes de las que consta este diseño, así como los materiales a emplear y el ensamble del mismo.

A continuación se muestra una tabla donde se describen de manera general cada uno de los elementos del diseño dos véase la tabla 7.8

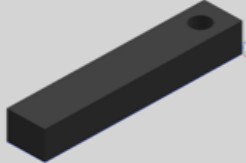

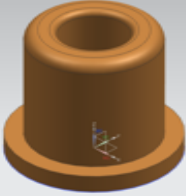
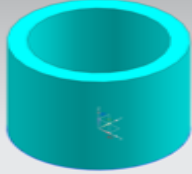
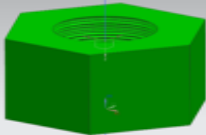
Número de pieza	Nombre de Pieza	Contenido de piezas		Figura
		Descripción general	Especificaciones	
1	<b>Barra soporte</b>	Permite la sujeción con el troquile, orientación con respecto a la lámina de acero.	Acero 4140.	
2	<b>Tornillo</b>	Permite ensamblar barra soporte con bujes macho y hembra.	Tornillo allen Din 912 HK 12.9 ISO 4762, material SAE 4137, cuerda estándar.	
3	<b>Buje macho</b>	Permite ensamblar con el buje hembra.	Acero 8620 cementado.	
4	<b>Buje Hembra</b>	Permite el avance de la lámina de acero.	Acero 8620 cementado.	
5	<b>Tuerca</b>	Permite el ensamble de todas las piezas y el ajuste con el tornillo.	Acero F211 (9 S Mn 28) , cuerda estandar	

Tabla 7.8 Contenido de piezas para el diseño dos.

**PLANOS**

A continuación se muestran los planos de cada pieza.

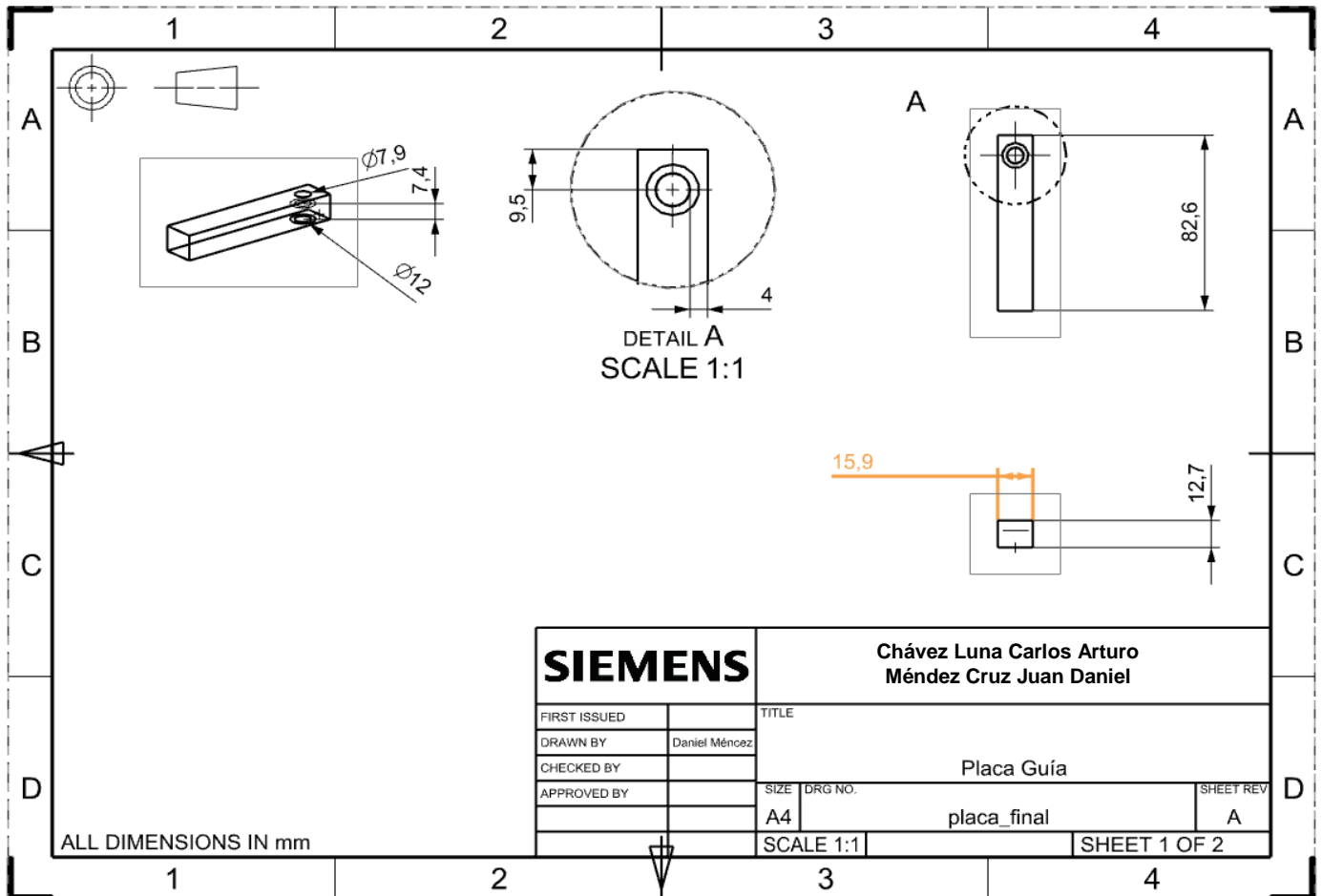


Figura 7.21 Plano Pieza 1.

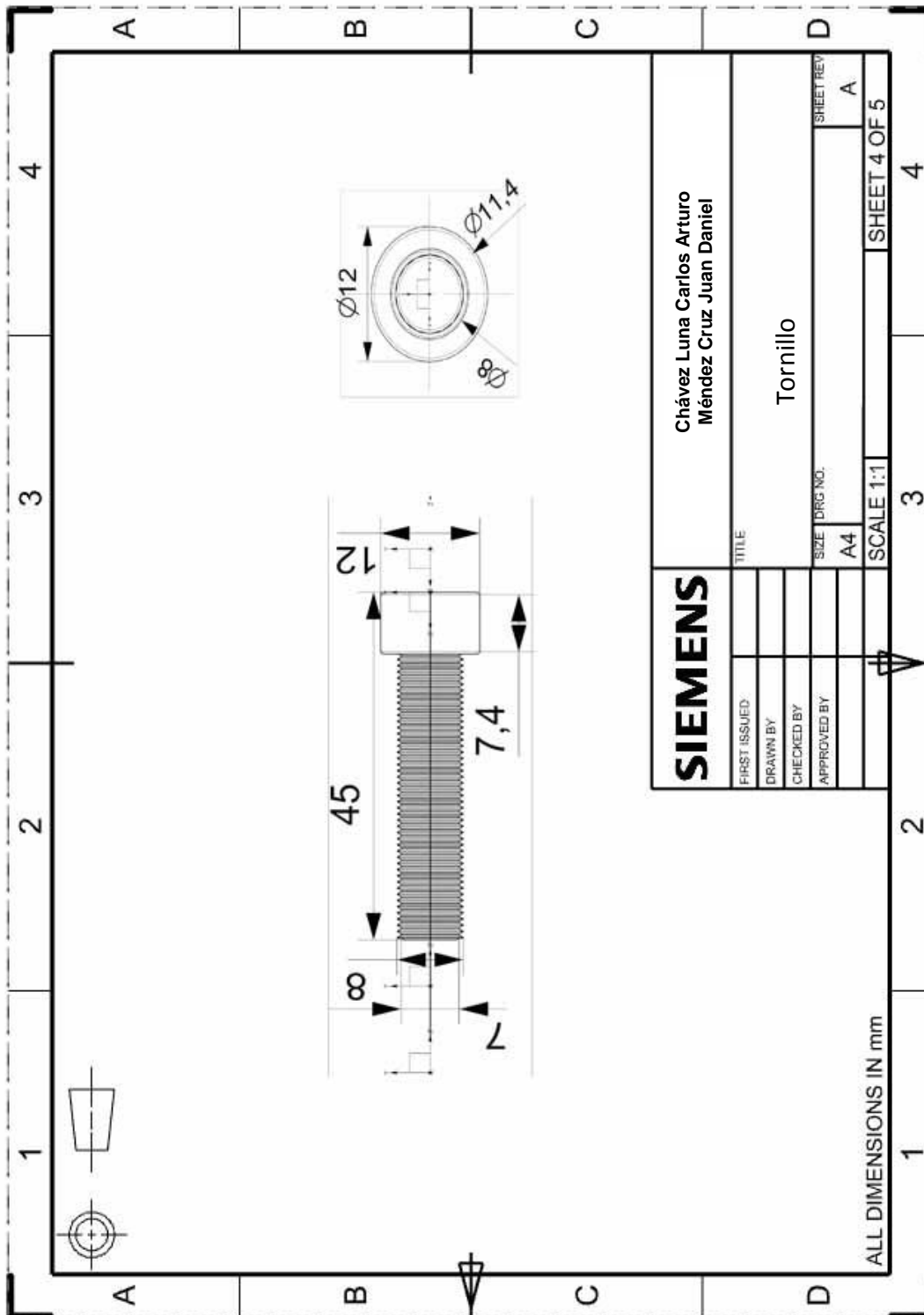


Figura 7.22 Plano Pieza 2.



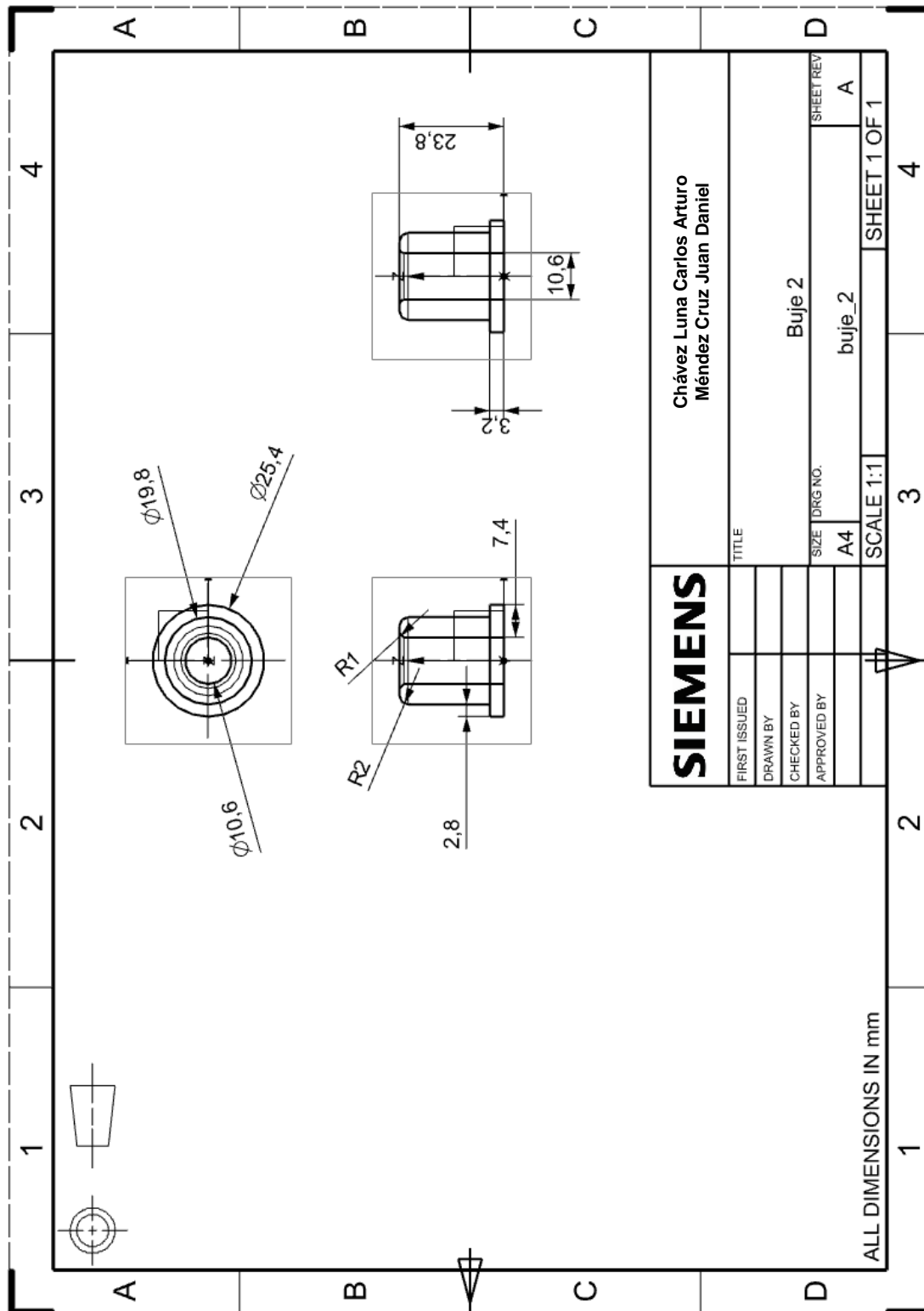


Figura 7.23 Plano Pieza 3.

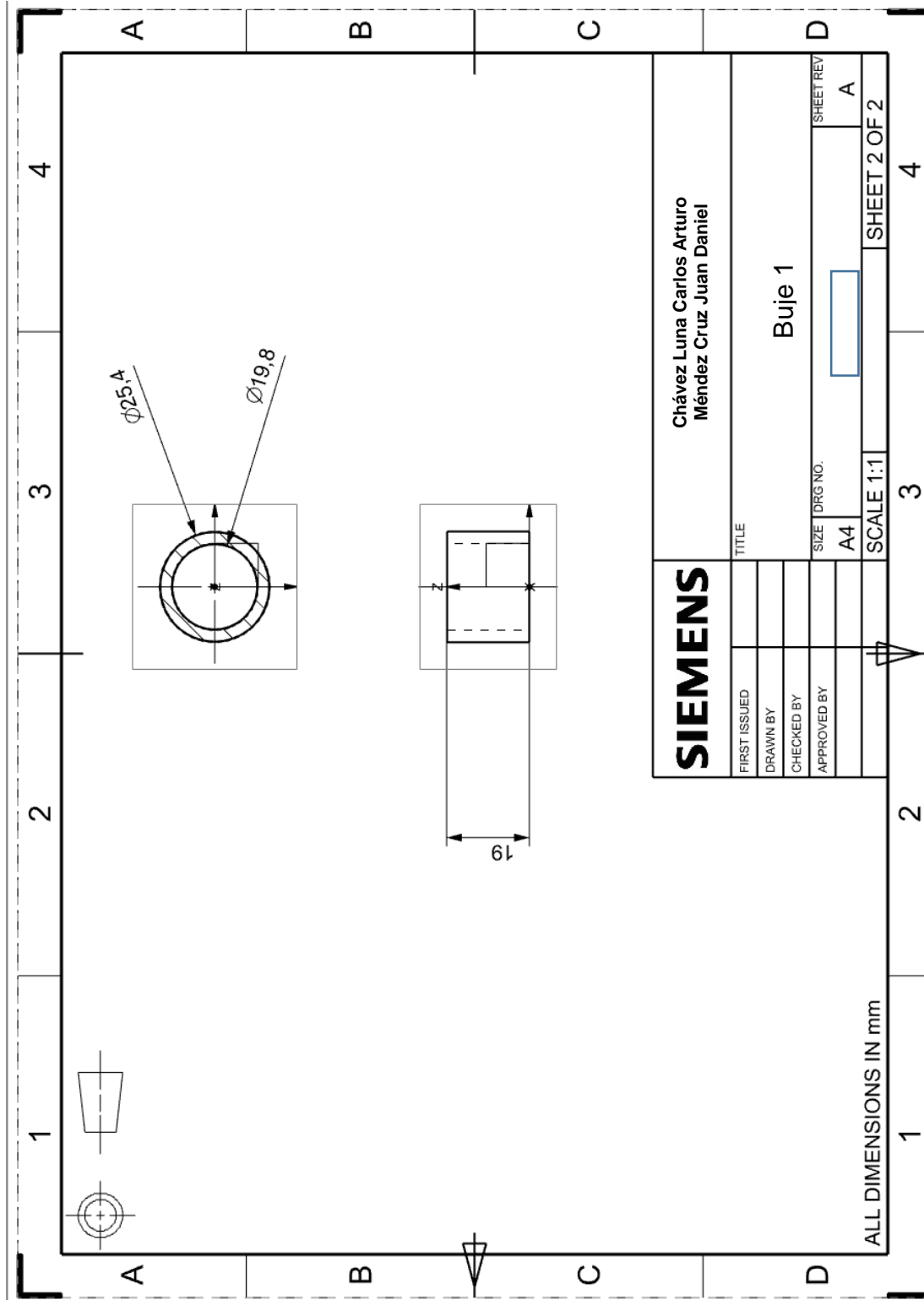


Figura 7.24 Plano Pieza 4.

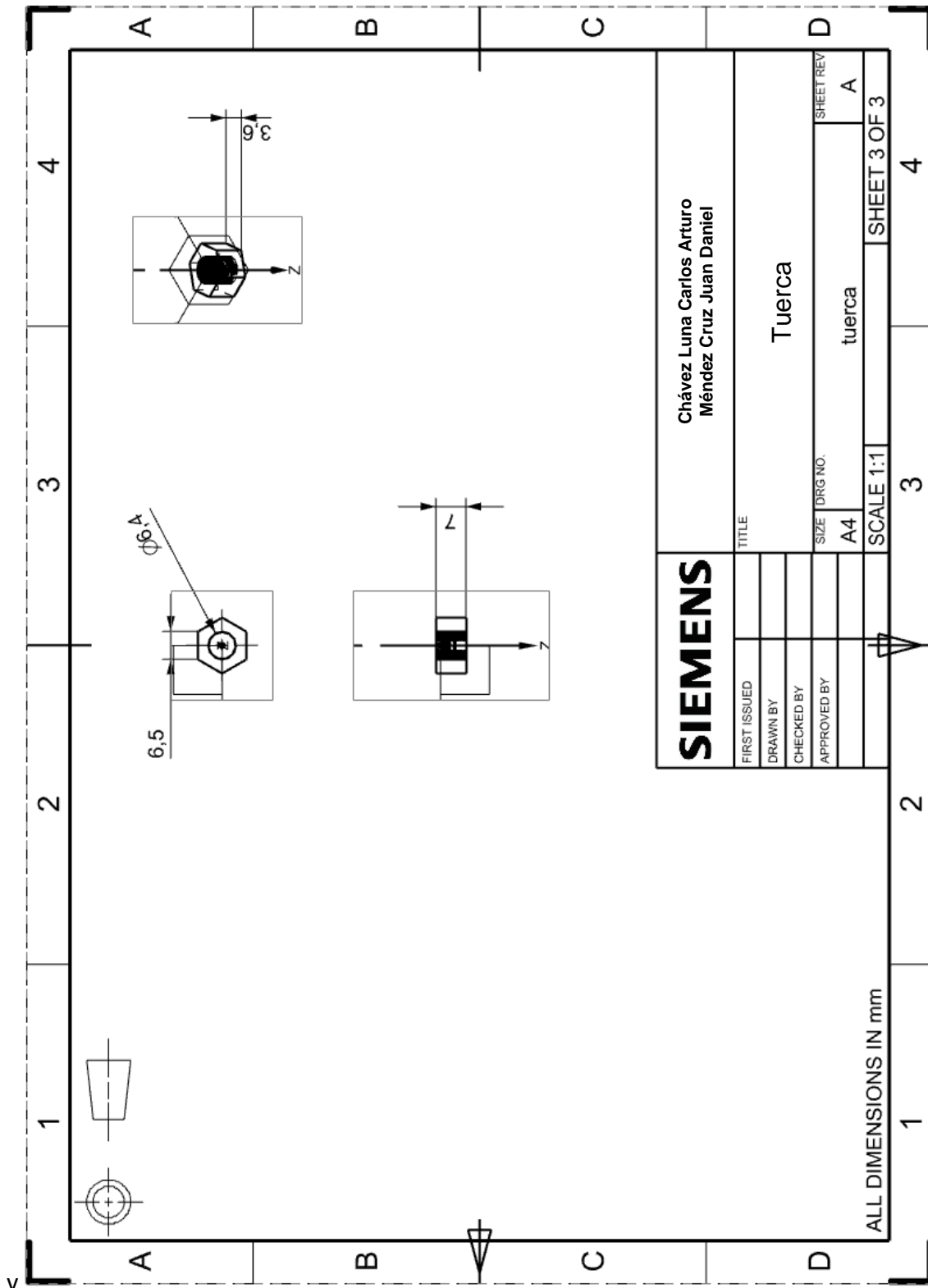


Figura 7.25 Plano Pieza 5.

## Ensamble

Se trata de la unión en de cada uno de los elementos, de manera tal que en conjunto dan origen al dispositivo en este caso nos referimos al diseño dos, cada una de los elementos es importante ya que interactúan entre sí para lograr un fin en este caso alinear la lámina de acero para evitar que existan desviaciones de la misma lo cual se traduce a problemas de calidad.

A continuación se muestra como es que se ensambla el diseño dos véase la figuras 7.26 y 7.27.

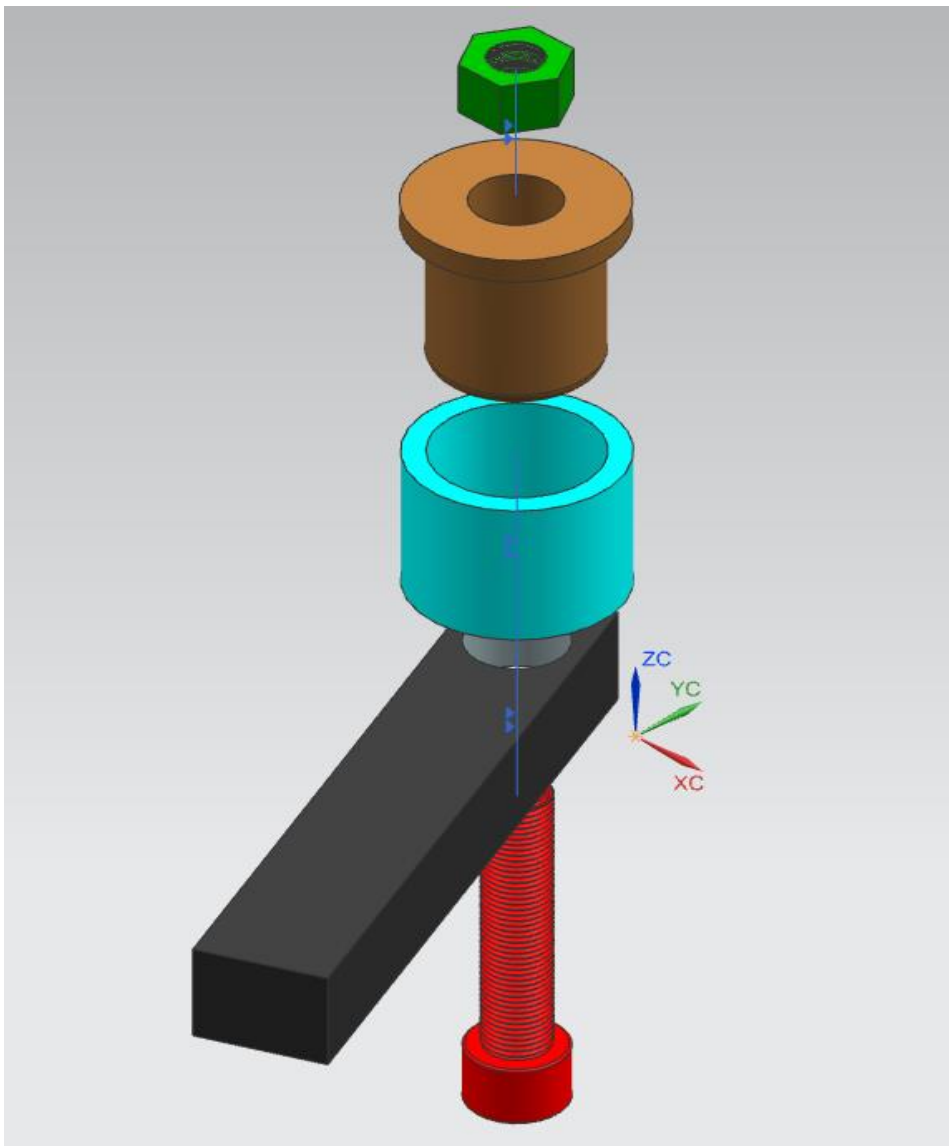


Figura 7.26 Ensamble del diseño dos (vista isométrico).

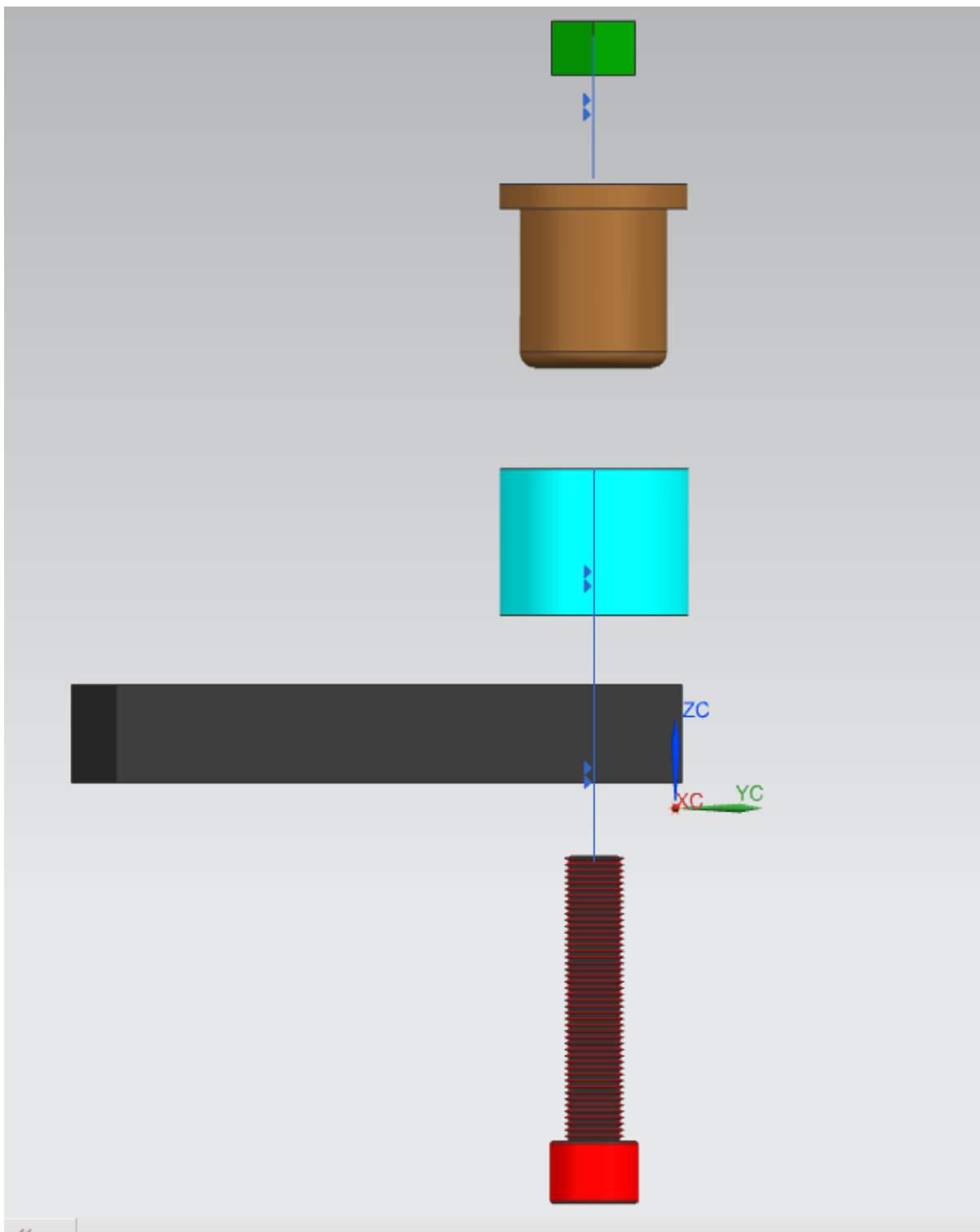


Figura 7.27 Ensamble del diseño dos (vista lateral).

Se trata de unir las piezas como se mostró en las dos figuras anteriores, donde se ensamblan de manera ordenada la pieza uno con la pieza dos, y así sucesivamente hasta la pieza 5. Donde el tornillo y la tuerca son los elementos de sujeción para las demás piezas.

### **MATERIALES.**

Los materiales son importantes para llevar a cabo el diseño, ya que de esto depende conferirle distintas propiedades al dispositivo, como son principalmente propiedades mecánicas, como la dureza, resistencia, ductilidad etc. Debido a lo mencionado anteriormente es conveniente describir a cada pieza en base a los materiales propuestos para ser empleados.

#### **PIEZA 1 (BARRA SOPORTE).**

Acero 4140<sup>32</sup> es un acero medio carbono aleado con cromo y molibdeno de alta templabilidad y buena resistencia a la fatiga, abrasión e impacto. Este acero puede ser nitrurado para darle mayor resistencia a la abrasión. Es susceptible al endurecimiento por tratamiento térmico.

Propiedades mecánicas:

- Dureza 275 - 320 HB.
- Esfuerzo a la fluencia: 690 MPa
- Esfuerzo máximo: 900 - 1050 MPa
- Elongación mínima 12%
- Reducción de área mínima 50%

Propiedades físicas:

- Densidad 7.85 g/cm<sup>3</sup>.

---

<sup>32</sup> <http://www.sumiteccr.com/Aplicaciones/Articulos/pdfs/AISI%204140.pdf>

### **PIEZA 2 (TORNILLO).**

SAE 4137H es una aleación de acero de grado H-acero. Se le llama comúnmente SAE 4137H acero cromo-molibdeno. SAE 4137H ofrece una buena ductilidad y propiedades de choque resiste combinadas con la resistencia al desgaste. A bajas temperaturas que tiene razonablemente buenas propiedades de impacto. También es adecuado para una variedad de aplicaciones de temperatura elevada.

#### **Propiedades mecánicas:**

- Resistencia mínima garantizada 1220 N/mm<sup>2</sup> 124Kg.
- Alargamiento mínimo 8%
- Límite de elasticidad 0,2% 110 N/mm<sup>2</sup> mínimo.
- Resistencia a la tracción de 850 ° -1000N/mm<sup>2</sup>
- Dureza 50HRC o superior.

### **PIEZA 3 (BUJE MACHO).**

Acero 8620 grado maquinaria al Níquel-Cromo-Molibdeno para cementado. Ofrece muy buena dureza superficial y gran tenacidad al núcleo. Tienen buena maquinabilidad por lo que es ideal para muchas aplicaciones, en especial en piezas pequeñas y medianas. Se utiliza ejes ranurados, pasadores de pistón, bujes, piñones para cajas y transmisión de automotores, cigüeñales, barras de torsión, cuerpos de válvulas, herramientas manuales, tornillería, tuercas, engranajes para reductores, tornillos sin n, pasadores, cojinetes para motores, etc.

#### **Propiedades mecánicas.**

- Módulo de Elasticidad 207GPa
- Gravedad Específica 7.84.
- Densidad 7840 kg/m<sup>3</sup>.
- Resistencia a la tracción 669 Mpa.

**PIEZA 4 (BUJE HEMBRA).**

Acero 8620 grado maquinaria al Níquel-Cromo-Molibdeno para cementado. Ofrece muy buena dureza superficial y gran tenacidad al núcleo. Tienen buena maquinabilidad por lo que es ideal para muchas aplicaciones, en especial en piezas pequeñas y medianas. Se utiliza ejes ranurados, pasadores de pistón, bujes, piñones para cajas y transmisión de automotores, cigüeñales, barras de torsión, cuerpos de válvulas, herramientas manuales, tornillería, tuercas, engranajes para reductores, tornillos sin n, pasadores, cojinetes para motores, etc.

**Propiedades mecánicas.**

- Módulo de Elasticidad 207GPa
- Gravedad Específica 7.84
- Densidad 7840 kg/m<sup>3</sup>
- Resistencia a la tracción 669 Mpa.

**PIEZA 5 (TUERCA).**

Este material es el empleado en las tuercas cilíndricas y hexagonales de acero estándar por su maquinabilidad. Bajo demanda, puede emplearse también para la fabricación de husillos.

**Propiedades mecánicas.**

- Resistencia a la tracción 490 - 637 N/mm<sup>2</sup>
- Alargamiento 7-13%.
- Dureza Brinell HB 135 - 175 kg/mm<sup>2</sup>



## FABRICACIÓN

La elaboración de las estas piezas para tener un dispositivo final requirió de algunos equipos de manufactura estos son los siguientes:

- Torno.
- Fresadora.
- Taladro fijo.

Dicha manufacturación consto de tres piezas (barra soporte, buje hembra y macho), cabe mencionar que tanto el tornillo como la tuerca fueron compradas por ser comerciales, la elaboración de las tres piezas mencionadas se hizo con el apoyo del plano de cada una de las piezas utilizando las siguientes técnicas:

### PIEZA 1 (BARRA SOPORTE)

En la realización de esta pieza se utilizó una barra de acero ver figura 7.28. La cual el primer pasó fue devastarla hasta llegar a un grosor de 12.7 mm.



Figura 7.28 Careado

Una vez alcanzado el grosor ideal se procede a cortar para obtener barras de 15.9 mm de ancho por 82.6 mm.

Ya obtenidas estas barras se marcan con una broca de centros a 9.5 mm de la parte superior para después barrenar con brocas de distintos tamaños como se muestra en la figura 7.29. Hasta alcanzar un orificio de 7.9 mm de diámetro por el cual pasara el tornillo, sobre ese mismo barreno se realiza una caja en donde entrara la cabeza del tornillo con una profundidad de 7.4 mm y un diámetro de 12 mm.



Figura 7.29 Realización de barrenos

Y de esta manera obtener como resultado la pieza 1 (barra soporte).



Figura 7.30 Barra soporte

**PIEZA 2 (BUJE MACHO).**

Para la fabricación de esta pieza es necesario de una barra cilíndrica de acero de una pulgada 25.4mm de diámetro la cual fue torneada, como primer paso fue devastada de uno de sus lados para rectificarla (figura 7.31).

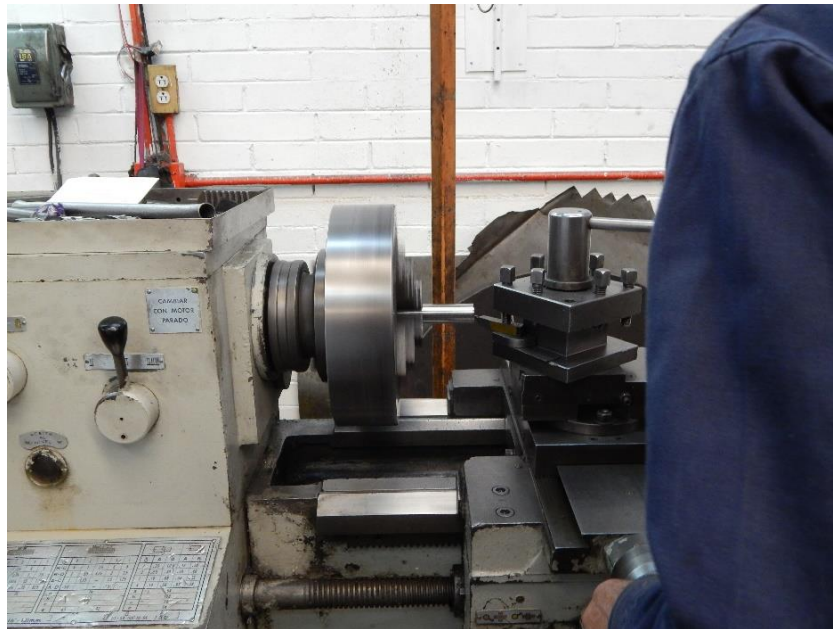


Figura 7.31 Emparejado de una cara de la barra de acero

Después se fue devastando poco a poco hasta reducirlo a un diámetro de 19.8mm a lo largo de 23.6 mm. Con el uso de una broca de centro se marca para realizar un barrenado con brocas de distintos tamaños de manera progresiva hasta alcanzar un diámetro de 10.6 mm.



Figura 7.32 Torneado de barra de acero para buje macho

Se marca con el buril a 25 mm de largo para después con el uso de una cortadora, sea recortada. Se coloca de nuevo en el torno para ser devastada y alcanzar la medida especificada de 23.8 mm (ver figuras 7.32 y 7.33).



Figura 7.33 Buje macho

**PIEZA 3 (BUJE HEMBRA).**

Para esta pieza fue requerida una barra de acero de 1" (25.4 mm) de diámetro, para su elaboración se empleó el torno una vez colocada se procedió a devastarla para que esta estuviera derecha, seguido de esto se marcó con una broca de centros como se muestra en la figura 7.34.



Figura 7.34 Uso de broca de centros.

Esto con el fin de realizar un barreno de 19.8 mm de diámetro esto se realiza de manera progresiva como se muestra en las imágenes 7.35, 7.36 y 7.37.



Figura 7.35 Uso de diversas brocas para realizar barreno.



Figura 7.36 Uso de diversas brocas para realizar barreno.



Figura 7.37 Vista de barra de acero después de ser barrenada.

Se marca a los 20 mm y a los 40 mm para obtener 2 piezas ver figura 7.38.



Figura 7.38 Realización de marcas en barra de acero.

En la figura 7.39. Se realizan los cortes y se vuelve a devastar en el torno para alcanzar los 19 mm de largo.

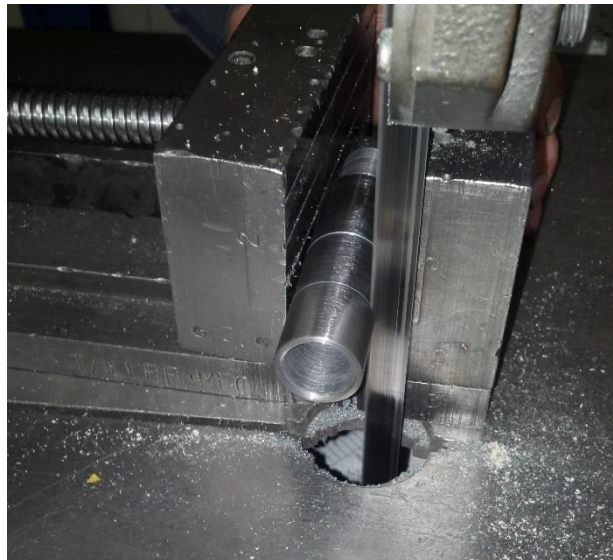


Figura 7.39 Realización de corte en barra de acero.



Figura 7.40 Buje hembra.

### TRATAMIENTO TÉRMICO

Las piezas 3,4 fueron tratadas termoquímicamente con un proceso llamado **Cementado**<sup>33</sup> el cual consiste en el endurecimiento de la superficie externa del acero al bajo carbono, quedando el núcleo blando y dúctil. Como el carbono es el que genera la dureza en los aceros en el método de cementado se tiene la posibilidad de aumentar la cantidad de carbono en los aceros de bajo contenido de carbono antes de ser endurecido. En el cual se utilizó un soplete y cianuro esto con el objetivo de obtener una capa de carbono en dichas piezas, en la figura 7.41 se observa el cianuro así como las piezas a cementar.



Figura 7.41 Piezas a cementar con cianuro.

---

<sup>33</sup> [http://www.aprendizaje.com.mx/Curso/Proceso1/Temario1\\_VI.html#cuatro](http://www.aprendizaje.com.mx/Curso/Proceso1/Temario1_VI.html#cuatro)



El procedimiento para llevar a cabo el cementado fue el siguiente.

- **Paso 1:** Calentar la pieza con un soplete para soldadura oxiacetilénica, hasta que se observe una tonalidad roja del acero lo cual indica que la pieza se encuentra a una temperatura cercana a la de fusión del material (ver figuras 7.42 y 7.43).



Figura 7.42 Paso 1 cementado.



Figura 7.43 Paso 1 cementado.

- **Paso 2:** Una vez calentada la pieza es cubierta en el cianuro hasta lograr que este se impregne en la pieza.(ver figura 7.44)



Figura 7.44 Paso 2 Cementado.

- **Paso 3:** La pieza es sumergida en aceite para realizar el proceso de enfriamiento por periodos 5 segundos posteriormente es sacada del mismo por un tiempo de 5 segundos, para permitir que el humo provocado por la diferencia de temperatura de la pieza con respecto al aceite, para que no se quede atrapado en el aceite,posteriormente se repite el proceso hasta que no se genere más humo (ver figura 7.45).



Figura 7.45 Paso 3 Cementado.

- **Paso 4:** Una vez enfriadas las piezas son sacadas del aceite, quedando estas con una tonalidad negra, producto de los restos del cianuro y de la capa de carbono que se genera en ellas, posteriormente son pulidos en el torno por medio de una lija, para darles un mejor acabado (ver figuras 7.46 y 7.47).



Figura 7.46 Paso 4 Cementado.



Figura 7.47 Buje acabado final.

## ENSAMBLE

El ensamble de estas piezas se dio de la siguiente manera como lo muestran las imágenes 7.48, 7.49 y 7.50.



Figura 7.48 Ensamble paso 1.



Figura 7.49 Ensamble paso 2.



Figura 7.50 Ensamble final.

Este procedimiento se realizó varias veces para obtener 4 piezas fabricadas (ver figura 7.51)



Figura 7.51 Piezas fabricadas.

**PRUEBAS**

Una vez fabricado los dispositivos se procedieron a realizar las pruebas con estos, debido al variante control de producción ahora la pieza a estudiar es la placa de 2 estándar la cual cuenta con las siguientes especificaciones<sup>34</sup> mostradas en la figura 7.52.

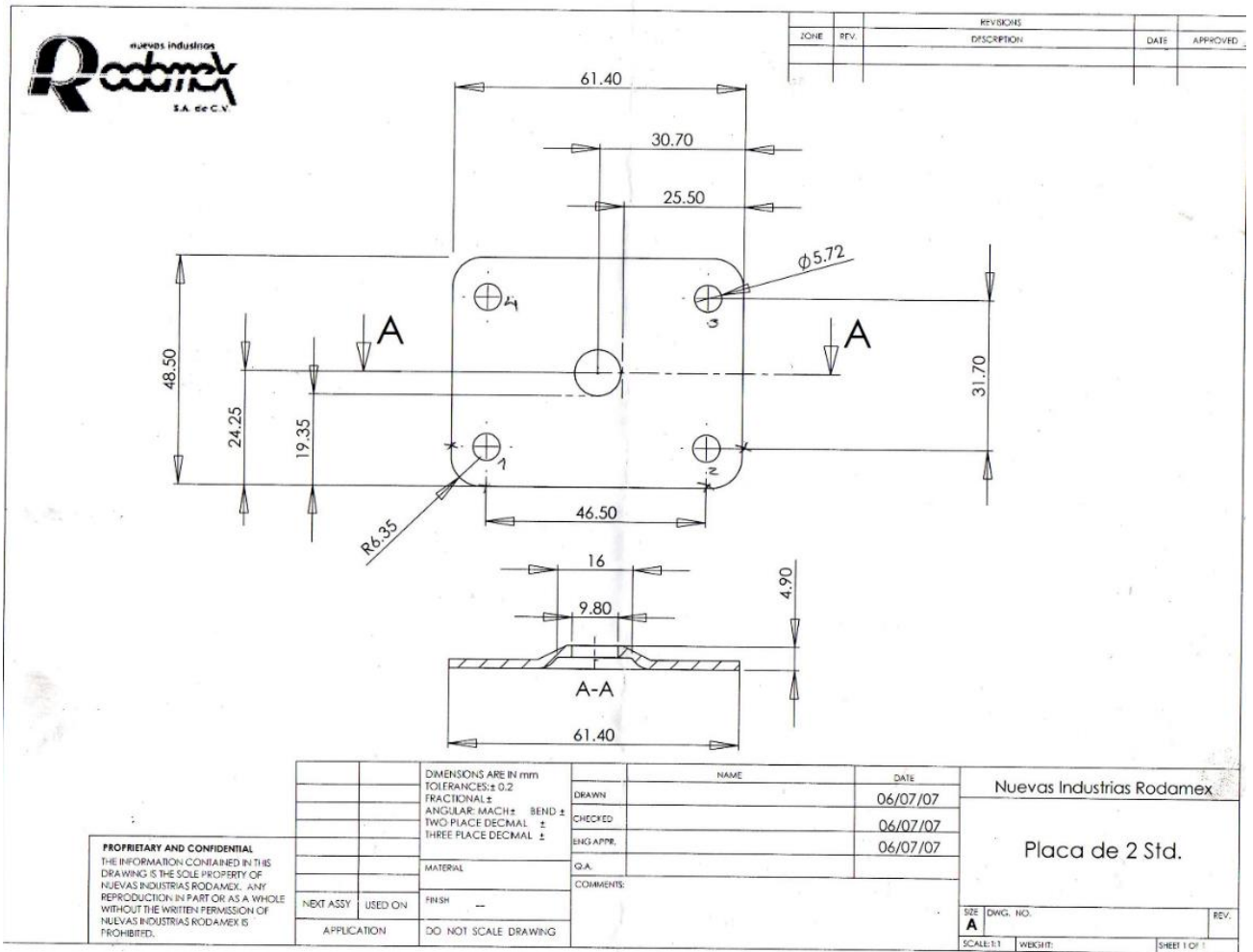


Figura 7.52 Plano placa 2 estándar.

<sup>34</sup> Plano proporcionado por Nuevas Industrias Rodamex

### PRUEBA 1

Esta prueba se realizó sin ningún dispositivo para verificar que siguiera existiendo el corrimiento en las piezas fabricadas para realizar las mediciones nos basamos en las siguientes distancias que según el plano es una simétrica tiene un valor de 25.50 mm al medir se observó que la pieza física no es simétrica y se hace un chequeo de calidad al verificar que la distancia A y la distancia B no resulten con una diferencia mayor a 0.30 mm, (distancias ilustrativas en la figura 7.53) en caso contrario podríamos decir que no cuenta con la calidad planteada por la empresa.

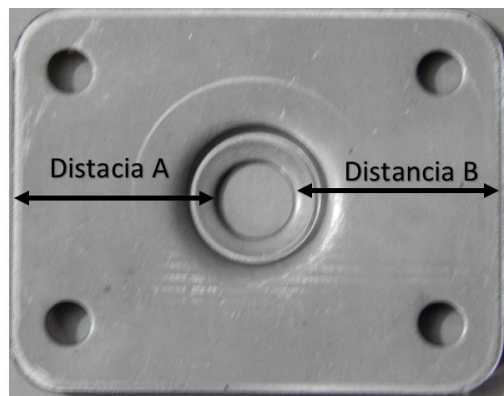


Figura 7.53 Muestra de distancias a medir.



Figura 7.54 Troquel placa 2 estándar.

Obteniendo los siguientes datos mostrados en la tabla 7.9.

Evento	DISTANCIA A [mm]	DISTANCIA B [mm]	(B-A) [mm]
1	25.15	26.87	1.72
2	25.70	26.01	0.31
3	25.60	26.30	0.70
4	25.55	26.07	0.52
5	25.54	26.26	0.72
6	25.52	26.60	1.08
7	25.84	26.24	0.40
8	25.56	26.33	0.77
9	25.78	26.30	0.52
10	25.40	26.99	1.59
11	25.85	26.70	0.85
12	25.63	26.47	0.84
13	25.68	26.47	0.79
14	25.67	26.32	0.65
15	25.38	26.23	0.85
16	25.50	26.36	0.86
17	25.60	26.46	0.86
18	25.77	26.06	0.29
19	25.75	26.98	1.23
20	25.55	26.91	1.36

Tabla 7.9 Datos prueba 1.

Obteniendo de estos la siguiente información reflejada en la tabla 7.10.

	DISTANCIA A [mm]	DISTANCIA B [mm]	(B-A) [mm]
Promedio	25.60	26.45	0.85
Media	25.6	26.3	0.52
Desviación estándar	0.1691	0.3034	0.3891

Tabla 7.10 Información estadística prueba 1.



Con la gráfica (figura 7.55) siguiente en la cual se muestra una comparación entre las distancias A y B.

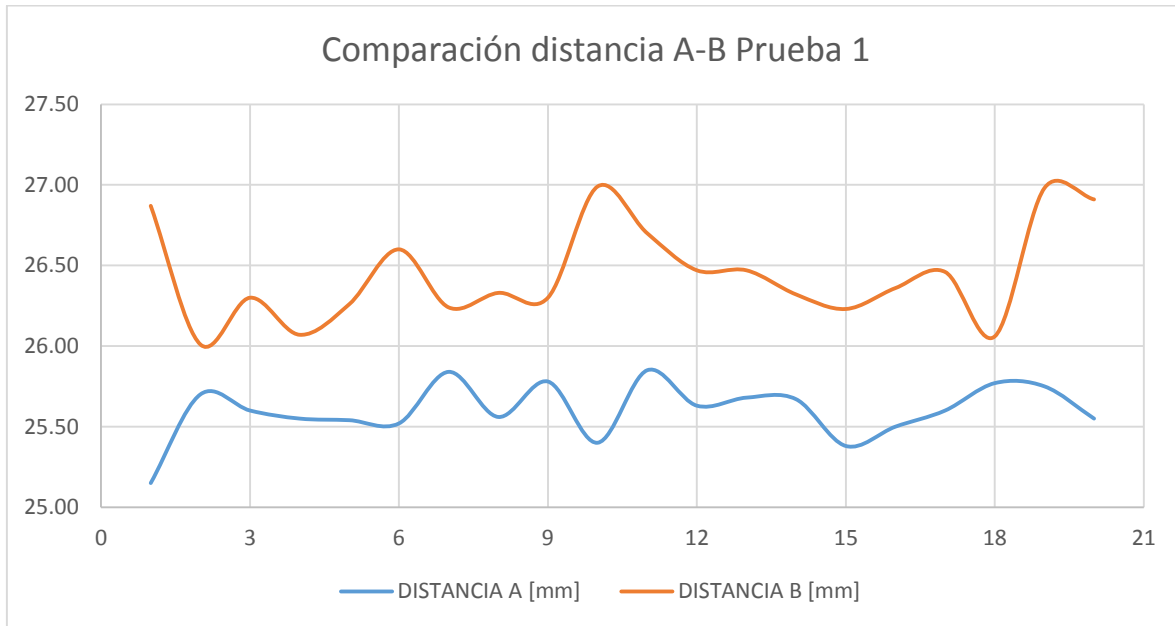


Figura 7.55 Grafica comparación prueba 1.

Observaciones:

Podemos observar en esta primera prueba que muestra una considerable variación en las distancias, por lo tanto no alcanza la calidad deseada.

### PRUEBA 2

En esta prueba al verificar que se sigue existiendo una desviación en las piezas se instalan los 4 dispositivos 2 antes de troquelar y 2 a la salida del producto para con esto asegurar que no se desplace como lo muestran las figuras 7.56 y 7.57.

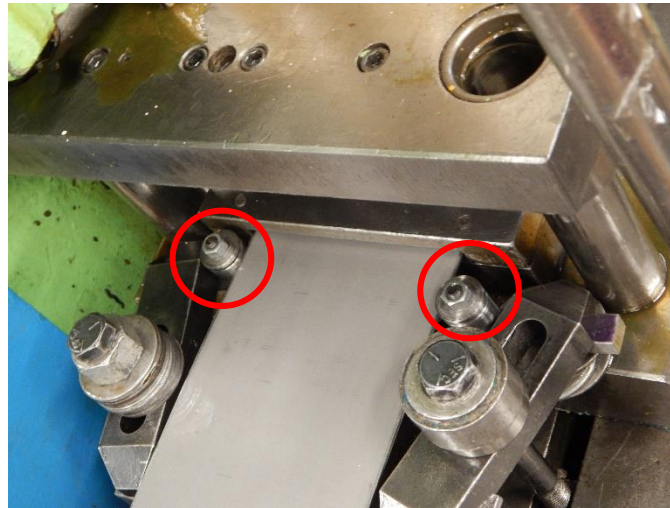


Figura 7.56 Alineadores antes del troquelar.



Figura 7.57 Alineadores después de troquelar.

En esta prueba se obtuvieron los siguientes datos que están reflejados en la tabla 7.11

Evento	DISTANCIA A [mm]	DISTANCIA B [mm]	(B-A) [mm]
1	25.56	25.87	0.31
2	25.80	26.17	0.37
3	26.00	26.36	0.36
4	25.70	26.05	0.35
5	25.78	25.98	0.20
6	25.80	26.38	0.58
7	25.60	26.07	0.47
8	25.85	26.18	0.33
9	25.94	26.34	0.40
10	25.80	25.92	0.12
11	25.72	26.27	0.55
12	25.83	25.99	0.16
13	25.67	26.32	0.65
14	25.31	25.70	0.39
15	25.76	26.00	0.24
16	25.80	25.98	0.18
17	26.04	26.50	0.46
18	25.80	26.15	0.35
19	25.75	26.21	0.46
20	25.95	26.30	0.35

Tabla 7.11 Datos prueba 2.

Obteniendo los siguientes datos estadísticos mostrados en la tabla 7.12.

	DISTANCIA A [mm]	DISTANCIA B [mm]	(B-A) [mm]
Promedio	25.77	26.14	0.36
Moda	25.8	25.98	0.35
Desviación estándar	0.1629	0.2025	0.1408

Tabla 7.12 Datos estadísticos prueba 2.

En la gráfica (ver figura 7.58) podemos observar la comparación entre las distancias A y B.

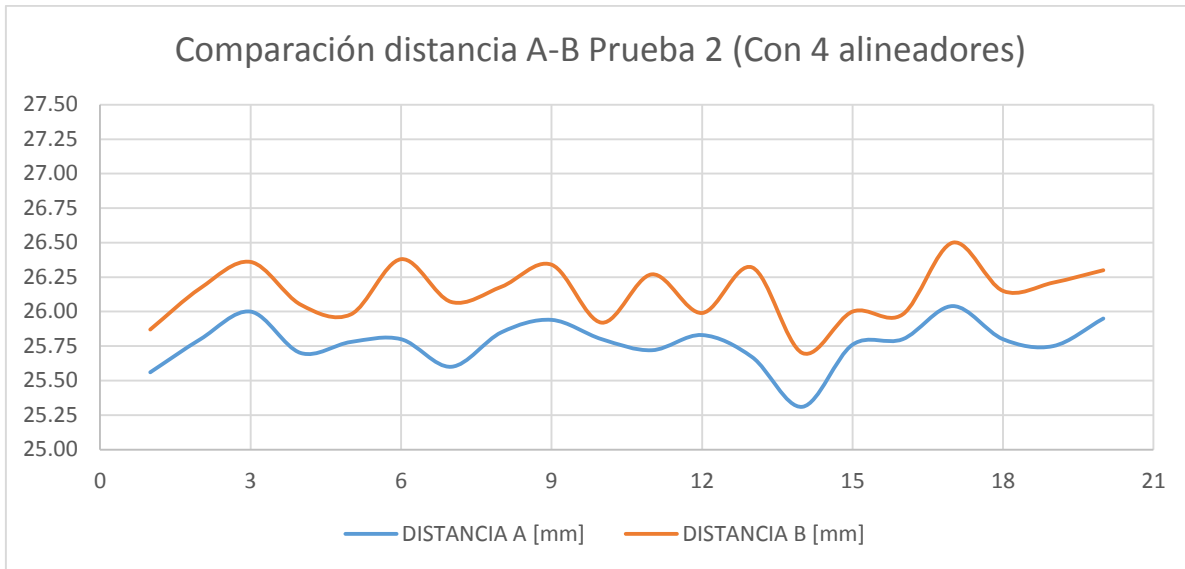


Figura 7.58 Gráfica comparación prueba 2.

**Observaciones:** En esta prueba con 2 alineadores encontramos que aun contamos con movimientos en la lámina ahora de menor manera pero aun no garantizamos la calidad planteada, se sugiere por el operador reducir a 2 alineadores solamente los ubicados en la salida para que sea más fácil alinear debido a que de esta manea no es posible ajustar y alinear la lámina correctamente.

**PRUEBA 3.**

Esta prueba se realiza con 2 alineadores esta vez solo los alineadores delanteros mostrados en la figura 7.57 situados después de troquelar, esperando que de esta manera se obtenga el resultado deseado, para poder medir estos resultados nos ayudamos de un calibrador pie de rey como se muestra en la figura 7.59.



Figura 7.59 Medición de pieza

Datos obtenidos mostrados en la tabla 7.13.

Evento	DISTANCIA A [mm]	DISTANCIA B [mm]	(B-A) [mm]
1	25.80	25.85	0.05
2	25.90	26.14	0.24
3	25.80	25.90	0.10
4	25.85	26.10	0.25
5	25.78	26.07	0.29
6	25.83	25.96	0.13
7	25.92	25.99	0.07
8	25.85	25.95	0.10
9	25.85	26.08	0.23
10	25.91	26.01	0.10
11	25.84	25.99	0.15
12	25.99	26.18	0.19
13	25.94	25.98	0.04
14	25.78	25.98	0.20
15	25.79	26.05	0.26
16	25.74	25.97	0.23
17	25.76	25.99	0.23
18	25.82	26.02	0.20
19	25.93	26.00	0.07
20	25.89	25.95	0.06

Tabla 7.13 Datos prueba 3

Así como los datos estadísticos mostrados en la tabla 7.14

	DISTANCIA A [mm]	DISTANCIA B [mm]	(B-A) [mm]
Promedio	25.85	26.01	0.16
Moda	25.85	25.99	0.1
Desviación estándar	0.0675	0.0782	0.0810

Tabla 7.14 Datos estadísticos prueba 3

Con la gráfica (Figura 7.60) donde se observa la comparación entre as distancias A y B.

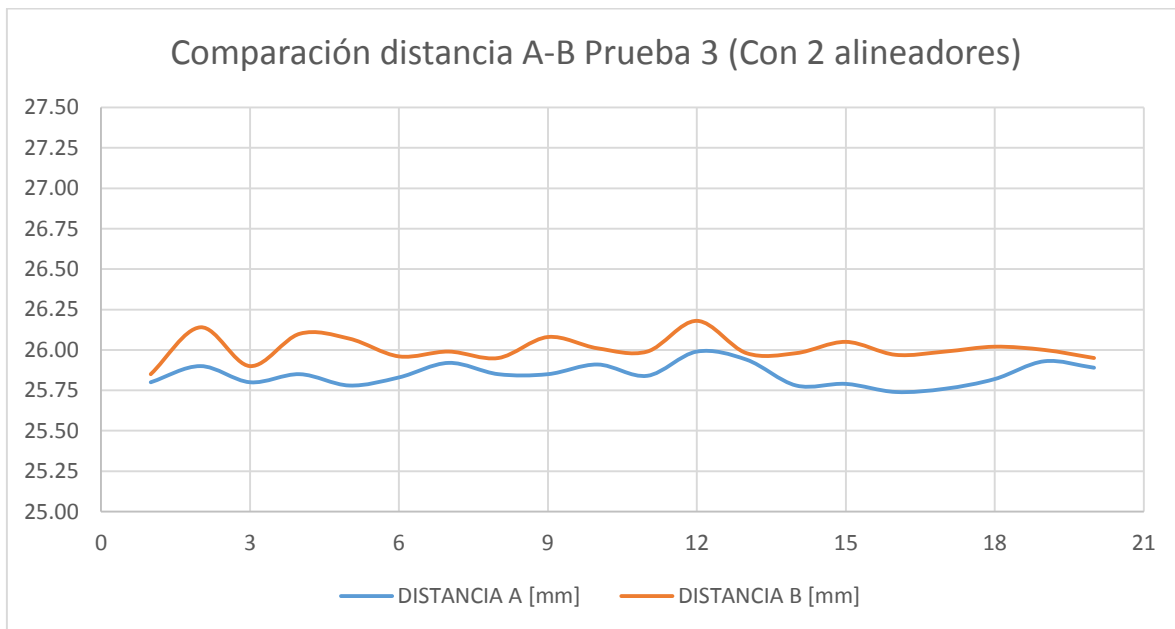


Figura 7.60 Gráfica comparación prueba 2

Se realiza una grafica comparativa (ver figura 7.61) en la diferencia de las distancias A-B para observar el desarrollo de la alineación a través de las pruebas.

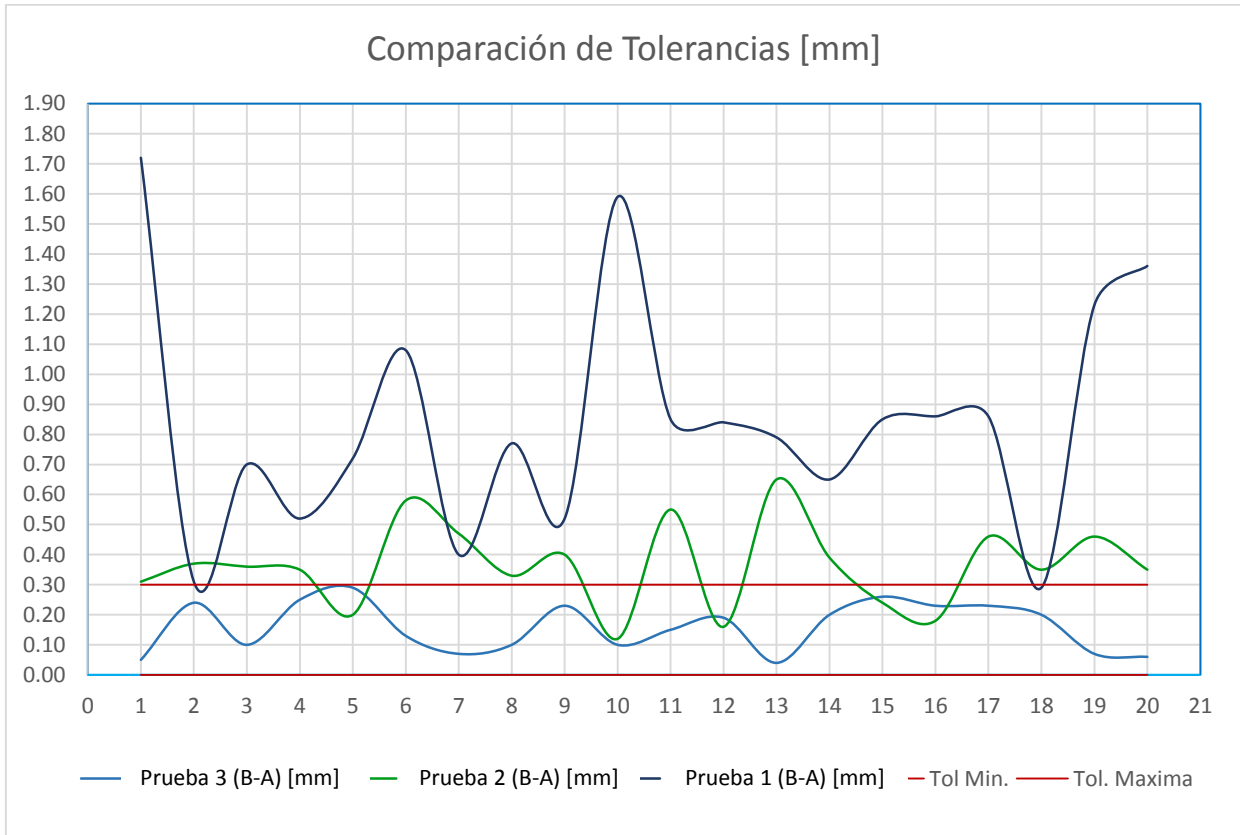


Figura 7.61 Gráfica comparación tolerancias.

### Observaciones.

Podemos ver que se alcanzó el objetivo de reducir el problema diferencia en las distancias.

Por lo tanto podemos comprobar experimentalmente que dicho diseño cumple primeramente con el objetivo, y también con cada una de las especificaciones, y que es funcional y útil para el operador de la máquina 5.

También podemos observar que las medidas establecidas en el plano proporcionado por Rodamex S.A de C. V. cuenta con errores en las medidas reales de la pieza tras realizar un

promedio de estas se realiza un plano quedando las dimensiones de la siguiente manera (ver figura 7.62 y 7.63).

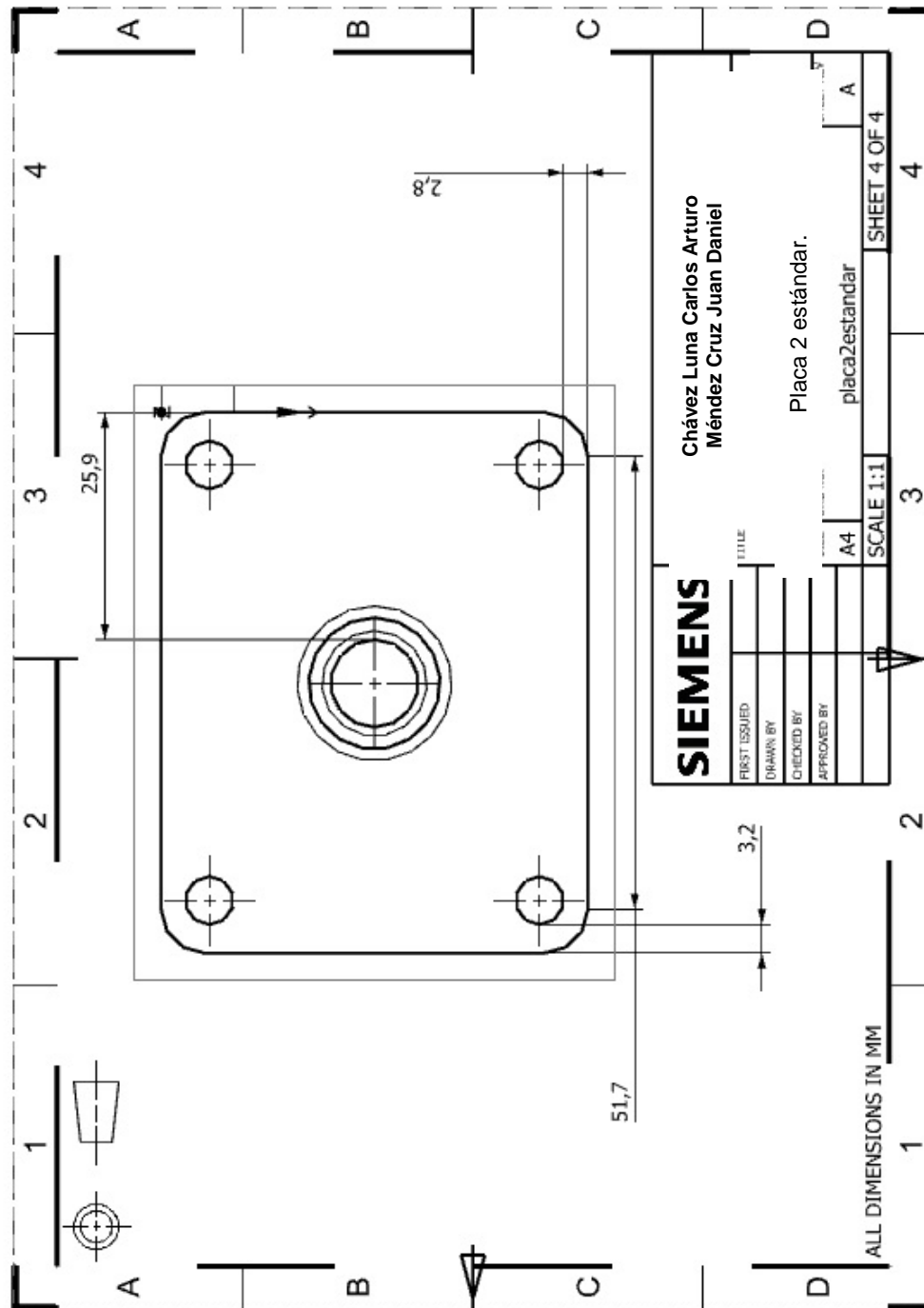


Figura 7.62 Plano pieza 2 estándar medidas actualizadas vista 1.



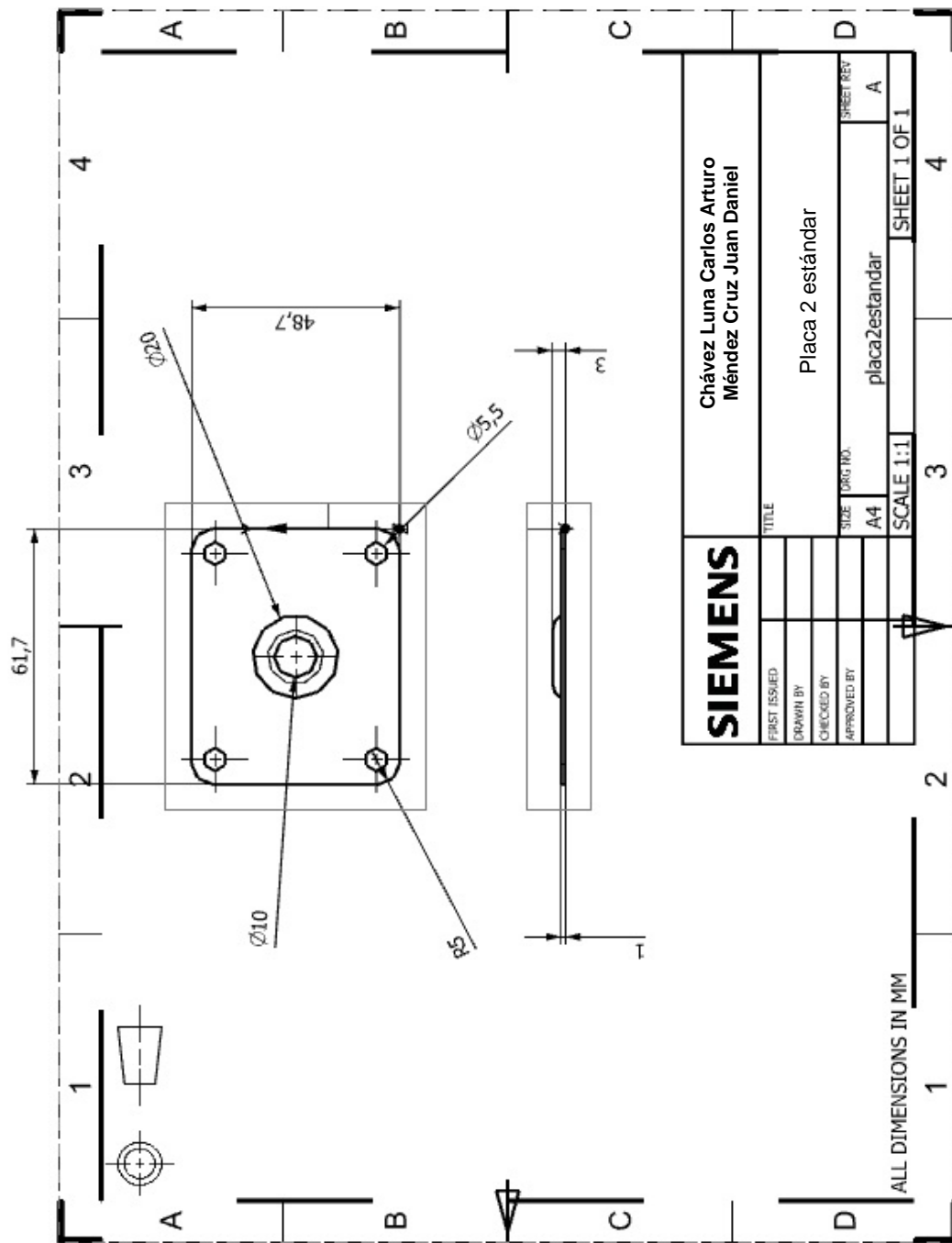


Figura 7.63 Plano pieza 2 estándar medidas actualizadas vista 1

## ANÁLISIS 6 SIGMA.

A continuación se realizará un análisis de seis sigma para determinar la calidad de la producción antes de realizar las mejoras y después de ellas una vez que han sido aplicadas las técnicas de Manufactura Lean siendo este una proyección del balance general alcanzado en este trabajo.

Para el análisis y tomando en cuenta que el valor ideal de la distancia A y B es la misma siendo esta de **25.90** mm y sabiendo que se cuenta con una tolerancia de **±0.30 mm** se fija como límite inferior a **25.60** mm y al límite superior **26.20** mm una vez establecidos estos límites se procede a realizar los análisis de seis sigma, para la realización de este análisis se utiliza una plantilla realizada en una hoja de cálculo (ver figura 7.64), la cual es de gran ayuda para realizar los cálculos de manera más rápida, a continuación se describe brevemente las secciones de esta hoja de cálculo:

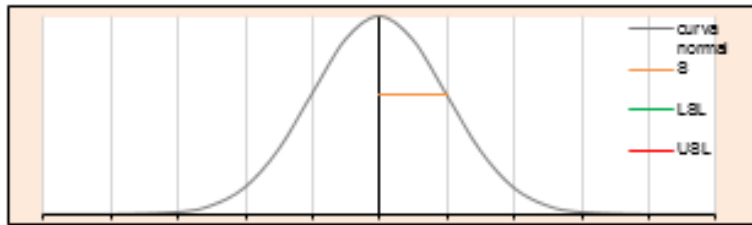
1. Se ingresan los datos de media y desviación estándar (S) del proceso real.  
  
Se especifican los Límites Superior e Inferior (USL y LSL), para que el producto pueda ser considerado conforme.
2. En el siguiente punto se obtiene la **Curva normal** que principalmente se realiza la grafica en función de los datos anteriores, mostrando la media, la desviación y los límites superior e inferior de la especificación.
3. En este punto se aborda la sección 3 y 4 donde se realiza el cálculo del **Área USL y LSL** respecto a una curva normal (de media=0 y S=1) del mismo modo calcula la distancia en los que se encontrarían los límites superior e inferior.
4. En esta sección se realiza el cálculo de porcentaje de productos que están dentro de las tolerancias especificadas (Productividad en %).
5. Por último en la sección 6 se calcula **Nivel de calidad sigma del proceso** función del rendimiento obtenido.

1. Introducir media del proceso, desviación típica del proceso (S) y límites de especificación

Media  S  USL  LSL

2. Curva Normal

- Media
- Desviación estándar (S)
- USL (para sacar Área 1)
- LSL (para sacar Área 2)



3. Determinar el área USL (Área 1)

$$z_1 = \frac{USL - \bar{x}}{s} = \text{N/A}$$

Dist. Normal  $z_1 =$

4. Determinar el área LSL (Área 2)

$$z_2 = \frac{LSL - \bar{x}}{s} = \text{N/A}$$

Dist. Normal  $z_2 =$

5. Calculo del % de productividad (Rto. del proceso)

Área 1 - Área 2 =

Productividad (%) =

6. Nivel de calidad sigma del proceso según rendimiento

Nivel sigma de RPO =

Figura 7.64 Plantilla calculo seis sigma.

**ANÁLISIS 1. SIN MEJORAS.**

Para este análisis contamos con los datos estadísticos obtenidos con anterioridad de la prueba 1 mostrados en la tabla 8.8 de los cuales utilizaremos su promedio y su desviación estándar siendo los siguientes para la distancia A un promedio de **25.85** mm y una desviación estándar de **0.1691**. Por otra parte para la distancia B tenemos que el promedio es de **26.45** mm y una desviación estándar de **0.3034**, por último se realiza nuevamente un promedio entre los datos de la distancia A y la distancia B para obtener los datos con los que se realizara el análisis obteniendo un promedio de **26.02** mm y una desviación estándar de **0.2363**.

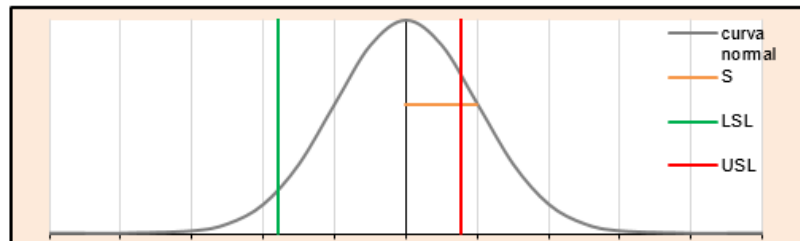
Al introducir los datos anteriores a la hoja de cálculo se obtiene la siguiente información.

1. Introducir media del proceso, desviación típica del proceso (S) y límites de especificación

Media	26.02	S	0.2353	USL	26.2	LSL	25.6
-------	-------	---	--------	-----	------	-----	------

2. Curva Normal

- Media
- Desviación estándar (S)
- USL (para sacar Área 1)
- LSL (para sacar Área 2)



3. Determinar el área USL (Área 1)

$$Z_1 = \frac{USL - X}{s} = \boxed{0.76}$$

$$\text{Dist. Normal } Z_1 = \boxed{0.78}$$

4. Determinar el área LSL (**Área 2**)

$$Z_2 = \frac{LSL - x}{s} = \boxed{-1.78}$$

Dist. Normal  $Z_2 = \boxed{0.04}$

5. Calculo del % de productividad (Rto. del proceso)

Área 1 - Área2 =

Productividad (%) =

6. Nivel de calidad sigma del proceso según rendimiento

Nivel sigma del proceso =

Figura 7.65 Plantilla calculo seis sigma.

**ANÁLISIS 2. DESPUÉS DE APLICAR MEJORAS.**

Al igual que en el primer análisis necesitaremos de los datos estadísticos pero para este caso de la prueba registrados en la tabla 8.12 y de la misma manera se utiliza el promedio y su desviación estándar, siendo los siguientes para la distancia A un promedio de **25.60** mm y una desviación estándar de **0.0675**. Por otra parte para la distancia B tenemos que el promedio es de **26.01** mm y una desviación estándar de **0.0782**, por último se realiza nuevamente un promedio entre los datos de la distancia A y la distancia B para obtener los datos con los que se realizará el análisis obteniendo un promedio de **25.93** mm y una desviación estándar de **0.0729**.

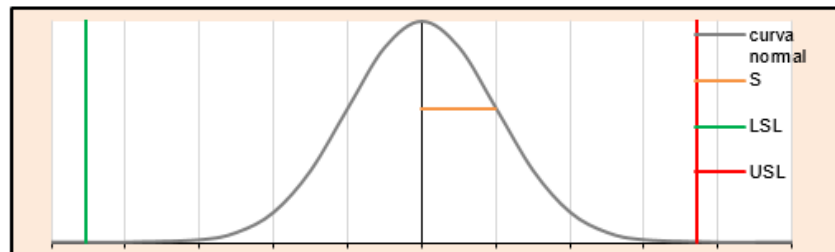
Al introducir los datos anteriores a la hoja de cálculo se obtiene la siguiente información.

1. Introducir media del proceso, desviación típica del proceso (S) y límites de especificación

Media	25.93	S	0.0729	USL	26.2	LSL	25.6
-------	-------	---	--------	-----	------	-----	------

2. Curva Normal

- Media
- Desviación estándar (S)
- USL (para sacar Área 1)
- LSL (para sacar Área 2)



3. Determinar el área USL (Área 1)

$$Z_1 = \frac{USL - X}{s} = 3.70$$

$$\text{Dist. Normal } Z_1 = 1.00$$

4. Determinar el área LSL (Área 2)

$$Z_2 = \frac{LSL - x}{s} = -4.53$$

$$\text{Dist. Normal } Z_2 = 0.00$$

5. Calculo del % de productividad (Rto. del proceso)

$$\text{Área 1} - \text{Área 2} = 1.000$$

$$\text{Productividad (\%)} = 100.0\%$$

6. Nivel de calidad sigma del proceso según rendimiento

$$\text{Nivel sigma del proceso} = 5.20$$

Figura 7.66 Plantilla calculo seis sigma.

Tras realizar los 2 análisis para obtener el nivel de sigma en él se encontraba la producción en las 2 etapas antes y después tenemos que antes de realizar alguna mejora en la alineación en la lámina alimentadora del troquel tenemos un nivel sigma de **2.15**, si nos basamos en la Tabla 6.1 Niveles seis sigma tenemos un rendimiento alrededor de 69.15% esto significa que los **Defectos Por Millón de Oportunidades** serán aproximadamente **308,537** lo cual es un nivel bajo en nuestra calidad.

En el segundo análisis esto con datos obtenidos después de haber realizado la metodología seis sigma obtenemos una nivel **sigma de 5.20**, lo cual tiene un rendimiento aproximado a 99.98% esto significa que tendremos **233 Defectos Por Millón de Oportunidades**, por lo tanto refleja que se ha elevado considerablemente la calidad de nuestro proceso, reduciendo los desperdicios, esto producido, con ayuda de la Manufactura Lean y sus diversas herramientas para generar una producción a prueba de errores.

## CONCLUSIONES

El sector industrial mexicano se enfrenta a una fuerte competencia en el mercado actual, donde compiten con empresas que garantizan calidad en sus productos a precios realmente competitivos, por lo que las empresas mexicanas deben adoptar estas metodologías a manera de poder colocarse en el mercado actual, de esta forma se puede reactivar el sector industrial mexicano, ya que esto implica un mayor impacto para el crecimiento de la economía mexicana.

De manera general, se concluye que se cumplió el objetivo principal de dicho trabajo, así como los demás objetivos específicos, obteniendo resultados satisfactorios.

Los sistemas de mejora continua (KAIZEN), tienen como factor principal involucrar a todo el personal de una empresa, para conducir a un mejor funcionamiento de la misma, se fortalece la comunicación entre los trabajadores y el personal directivo, generando así un ambiente de trabajo adecuado para que exista la participación de los mismos en propuestas que conduzcan al mejoramiento continuo de la empresa, es decir en que ellos mismos sean parte de la mejora, pues ellos conocen las fortalezas y las debilidades de la empresa, generalmente los trabajadores no son involucrados en la mejora de los procesos por lo que lograr una mejora sin su participación es muy difícil, pues ellos son una pieza fundamental en el desarrollo de la empresa.

La metodología de Manufactura Lean y 6 Sigma son herramientas muy poderosas que conducen mejora de las empresas, trayendo enormes beneficios para estas, principalmente la reducción de costos, así como los tiempos de producción, eliminar los desperdicios en los procesos, el aseguramiento de la calidad en sus productos, implementar medidas de seguridad de manera que continuamente se busca el punto óptimo en la operación de la empresa en general y que la calidad no sea un impedimento para que las empresas se puedan colocar en el mercado y sean competitivas.



Hacer más eficientes los procesos involucra crear soluciones a problemas que se generan en los mismos, lo cual implicó el diseño de un herramental que solucionara el problema del des-alineamiento de la lámina de acero, que es alimentada hacia el troquel, lo cual involucró la creación de un equipo multidisciplinario con trabajadores de la empresa con, donde se generaron ideas que condujeron a un diseño conceptual, posteriormente a un diseño en 3D con la ayuda de un software de diseño asistido por computadora (CAD), posteriormente la manufactura se realizó en base a los planos generados en el CAD, para la fabricación del herramental, empleando máquinas manuales, donde se requiere un conocimiento de operación de las mismas para poder realizar operaciones básicas de procesos de corte, como lo es el careado, cilindrado, barrenado, etc. Para ser probado en el troquel, observar los resultados obtenidos y en caso de tener fallos proponer un nuevo rediseño. Para poder determinar la funcionalidad del herramental se aplicó la metodología de 6 Sigma que básicamente se trata de una serie de procesos estadísticos, donde se obtienen como resultado niveles de rangos de operación los cuales indican el nivel de calidad del proceso logrando obtener un nivel de **Sigma de 5.20** donde el nivel máximo es de 6, aunque ese nivel de Sigma no asegura un nivel de calidad 100 % el nivel logrado de Sigma resulta bastante favorable para el proceso de troquelado, ya que anteriormente se tenía un nivel de Sigma de **2.15**.

Se logró cumplir con el objetivo de asegurar la calidad en un rango de  $\pm 0.3 \text{ mm}$ , resulta estar dentro de las tolerancias establecidas por la empresa, el hecho de no haber podido obtener un rango de tolerancia menor a  $\pm 0.30 \text{ mm}$  no significa que exista un error en el proceso más bien se trata de factores en los cuales no se puede tener un control total sobre ellos, como lo es refacciones no adecuadas para el troquel, el tiempo de operación del troquel aproximadamente de 60 años de operación, lo cual causa fallas en el mismo como juego en las juntas mecánicas y pérdida de precisión, mala calidad de la materia prima, la falta de uso de aceros más duros para la matriz y el punzón del troquel.

No fue necesario aplicar un rediseño pues gracias a la experiencia de los trabajadores de la empresa se logró sintetizar de manera adecuada el conocimiento, de tal manera que se diseñó y manufacturó una herramienta a prueba de errores.

Como parte de crear procesos a prueba de errores por medio de **POKA-YOKES** se diseñó el herramental, además de generar un plano específicamente para el trabajador que tenga las medidas de manera explícita, este plano no debe de contener tanta información como lo es un plano de diseño, esto fomenta a tener un proceso a prueba de errores, para que el trabajador pudiese tener una referencia exacta acerca de las medidas que tienen que tener las piezas fabricadas en el troquel, y así tener un mejor aseguramiento de la calidad.

Es importante tener en cuenta las repercusiones que puede tener un problema de calidad para la empresa, pues es el principal impedimento que priva a las empresas en general en colocarse en el mercado y ser altamente competitivas, además de un enorme desperdicio de materia prima y tiempo, lo cual se traduce en una pérdida importante capital de la empresa, pero es más importante mencionar las repercusiones que tiene un herramental diseñado para el proceso, donde no se requiere de herramientas complejas o difíciles de operar, por el contrario el mejor diseño es aquel que es el más simple y que cumple con todas las especificaciones técnicas, hablar de un diseño significa que el conocimiento ha sido asimilado y sintetizado de manera adecuada, por lo que la metodología aplicada al diseño 2 resultó ser satisfactoria.

En general corrigió el problema por medio del herramental, lo cual implica una aportación al proceso y a la empresa como parte de una mejora continua de la misma. Se lograron cumplir todos y cada uno de los objetivos propuestos en este trabajo de investigación obteniendo resultados favorables, que beneficia a la empresa Nuevas Industrias Rodamex S.A. de C.V., Siendo una aportación para la búsqueda de la mejora continua de la empresa.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Nikkan Kogyo Shimbun, Ltd.: "Poka-Yoke: Improving Product Quality By Preventing Defects", Productivity Press, 1987 (Idioma japonés), 1988 (inglés), ISBN 0-915299-31-3.
2. Asociación de l Industria Navarra, "SMED", CIA y CIA Communication, Noviembre 2003.
3. Gutiérrez Garza, Gustavo. Justo a Tiempo y Calidad Total, Principios y Aplicaciones. Quinta edición. Ediciones Castillo S. A. de C. V., Monterrey, Nuevo León, México, 2000.
4. Bednarek, M y L. Niño (2009), "Methodology Proposal for the Implementation of Lean Manufacturing System in Selected Mexican Industrial Plants", Economics and Organization of Enterprise, 6(4), pp. 23-34, consultado el 1 de enero de 2010, disponible en: <http://orgmasz.pl/files/qw/4-2009/s.23-4.pdf>
5. Shingeo, S. (1990). El sistema de producción Toyota desde el punto de
6. vista de la ingeniería. Tecnologías de Gerencia y Producción.
7. Shirose, K.(1994). TPM para Mandos Intermedios de Fábrica; TGP Hoshin, S.L.
8. William m, Feld.( 2002). Lean manufacturing tools, techniques and how to use them. New York: St Lucie.
9. Kogyo, S. (1991). Poka-Yoke, Mejorando la calidad del producto evitando los defectos. Ltd./Factory Magazine; Productivity Press.
10. O'grady, P. J.. (1992). Just-In-Time, Una estrategia fundamental para los jefes de producción; McGraw-Hill Management.
11. Cochran S. D.; Balanced production; Production System Design Lab, Michigan Institute of Technology, 1998.
12. Schonberger R. J. and Ebrahimpour, M., 1984, "The Japanese Just-in-Time/Total Quality control production system: potential for developing countries", International Journal of Production Research, Vol.22, pp: 421-430.
13. Benjamin Nivel., (1990) "Ingeniería Industrial y Administración" Alfa Omega S.A. de C.V., México, 3ª Edición, 801 pág.

14. A.V. Feigenbawm., (1991) "Total Quality Control" Mc Graw Hill. México, 3ªEdición 843 Pág.
15. **HILLIER, Frederick S., LIEBERMAN, Gerald J.** *Investigación de Operaciones*. Edición Séptima: McGraw-Hill, 2002. Teoría de Inventarios: Páginas 935-987.
16. **TAHA, Hamdy A.** *Investigación de Operaciones*. Edición Séptima: Prentice Hall, 2004. Modelos Determinísticos de Inventario. Páginas 429-440.
17. Shingō, Shigeo (1989). A Study of the Toyota Production System from an Industrial Engineering Viewpoint. Productivity Press. pp. 228.ISBN 0915299178.
18. Amrik S. Sohal., Implementation of JIT in a small Manufacturing Firm., Production And Inventory Management Journal, 1992.
19. Kiyoshi Suzaki., The New Manufacturing Challenge., 10ma. Edition.
20. Mark Keaton., A new look at the Kanban production control system. Production and Inventory Management Journal., 1995.
21. Seis sigma metodologia y tecnicas Escalante.
22. El Six Sigma para todos - George Eckes.
23. Estrategias de Manufactura aplicando la metodología Six-Sigma.
24. *Kaizen. Wellington*