

Centro de Enseñanza Técnica y Superior

Con reconocimiento de validez oficial de estudios del Gobierno del Estado de Baja California según Acuerdo de fecha 10 de octubre de 1983



Modelo de proceso industrializado para maquinado en serie de partes médicas.

Tesis para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de
Maestro en Ciencias de la Ingeniería

Presenta:

Oscar Oswaldo Morales Teran

Director:

Dr. Alejandro Guzmán Ocegueda
Centro de Enseñanza Técnica y Superior (CETYS Universidad)

Tijuana B.C a 17 de Marzo del 2020

Modelo de proceso industrializado para maquinado en serie de partes médicas.

Presenta:

Oscar Oswaldo Morales Teran

y aprobada por el siguiente Comité

Dr. Alejandro Guzmán Ocegueda

Dra. Xxxxx Xxxxxx <negritas>

Nombre completo (miembro del comité)

Dr. Xxxxx Xxxxxx Xxxxxx <negritas>

Nombre completo (miembro del comité)

Dr. Xxxxx Xxxxxx Xxxxxx <negritas>

Nombre completo (miembro del comité)

Dra. Xxxxx Xxxxxx Xxxxxx <negritas>

Nombre completo (miembro del comité)

Dr. Ricardo Martínez Soto

Coordinador del Posgrado en Ingeniería e
Innovación

Resumen de la tesis que presenta **Oscar Oswaldo Morales Teran** como requisito parcial para la obtención del grado de Maestro en Ciencias de la Ingeniería.

Modelo de proceso industrializado para maquinado en serie de partes médicas.

Resumen aprobado por:

Dr. Alejandro Guzmán Ocegueda
Director de tesis

La presente tesis analizó mediante una investigación documental los diferentes procesos de maquinado en la industria aeroespacial, metalmecánica, automotriz y médica. Los resultados una vez introducidos al nuevo modelo de proceso industrializado evaluado mediante un método estadístico arrojaron valores ayudando al nuevo proceso a encontrar la adecuada selección de condiciones para cumplir con los resultados C_p y C_{pk} respectivos.

La creación de un modelo de proceso industrializado para maquinado en serie mostró una reducción del 42% los defectos detectados durante el año 2019 comparado con los defectos detectados durante el 2018 en el producto CTF Inserts en corridas de 166 piezas para seis números de parte, obteniendo valores superiores a 1.67 en el análisis estadístico de los valores C_p y C_{pk} .

Palabras clave: Método estadístico, proceso industrializado, maquinado, C_p y C_{pk} .

Abstract of the thesis presented by **Oscar Oswaldo Morales Teran** as a partial requirement to obtain the Master of Science degree in Name of the Degree with orientation in

Industrialized process model for machining medical parts in series.

Abstract approved by:

Alejandro Guzman Ocegueda
Director thesis

This thesis analyzed through a documentary investigation the different machining processes in the aerospace, metalworking, automotive and medical industry. The results once introduced to the new industrialized process model evaluated by a statistical method values help the new process to find the appropriate selection of conditions to complain the respective C_p and C_{pk} results.

The creation of an industrialized process model for machining in series show a reduction of 42% in defects during 2019 compared to the defects detected during 2018, this on 166 parts per six different numbers, obtaining values higher than 1.67 in the statistical analysis of C_p an C_{pk} values.

Keywords: Statistical method, industrialized process, machining, C_p y C_{pk} .

Dedicatoria

A mi esposa.

Gemma Edith Barrios Campa por motivarme a ser un mejor hombre e individuo en todos los entornos.

A mis hijos.

Oscar Aaron y Gemma Alicia, por ser los impulsores para terminar cada uno de mis proyectos personales.

A mi madre.

Elizabeth Teran Garcia.

Siendo ella el principal pilar en mi formación personal e impulsora de mi desarrollo profesional, dado su sacrificio por inculcarme todos aquellos valores guiados a hacerme un hombre responsable y amoroso.

Agradecimientos

En primera instancia agradezco a CETYS Universidad Campus Tijuana por la creación de programas de oportunidades de desarrollo profesional el cual me permitió ser participe, logrando la aceptación del programa y permitiendo desarrollar mi grado de Maestro en Ciencias de la Ingeniería bajo la matrícula 029726.

Al Dr. Alejandro Guzmán Ocegueda por ser el tutor de tesis quien, a través de su apoyo, sus consejos y asesoría me impulso a realizar el desarrollo de este proyecto de investigación.

A Össur México por el apoyo tanto económico como en la asignación de proyecto de aplicación, así como también, en los recursos y el acceso a líneas de producción para realizar este proyecto de investigación y obtener el grado de Maestro en Ciencias de la Ingeniería.

Al grupo de maestros asignados para el desarrollo de las asignaturas siendo ellos participes de mi formación como Maestro en Ciencias de la Ingeniería durante estos 2 años.

A mi esposa Gemma Edith Barrios Campa pues gracias a su cariño, paciencia, esfuerzo y dedicación logré culminar todas aquellas etapas permitiendo mi desarrollo personal y formación profesional.

A mi madre, gracias a su esfuerzo y dedicación logré culminar todas aquellas etapas de mi desarrollo personal y formación profesional hasta llegar a lograr el grado de Maestro.

Tabla de contenido

Resumen Español.....	3
Resumen Inglés	4
Dedicatoria	5
Agradecimientos	6
Lista de Figuras.....	9
Lista de Tablas.....	10
Capítulo 1. Introducción	11
Capítulo 2. Antecedentes	12
2.1 Evolución histórica en la industria del maquinado.....	12
2.2 Mecanizado industrial	14
2.2.1 Mecanizado por abrasión.....	14
2.2.2 Mecanizado por arranque de viruta.....	14
2.2.3 Mecanizado no convencional.....	14
2.3 El control numérico computarizado.....	15
2.3.1 Principios de funcionamiento	15
2.3.2 Programacion en el control numérico.....	15
2.4 Análisis de la producción para un modelo de proceso industrializado.....	17
2.4.1 Validación del proceso	17
2.4.2 Certificado de Material	19
2.4.3 Hoja de Herramental	19
2.4.4 Críticas a la calidad.....	19
2.4.5 Primer artículo.....	19
2.4.6 Grupo de máquinas.....	19
2.4.7 Capacidad potencial.....	19
2.4.8 Capacidad Real.....	20
2.4.9 Estudio de la capacidad de la máquina.....	20
2.4.10 Estudio de la capacidad del proceso.....	20
2.4.11 Part Submission Warrant	20
Capítulo 3. Línea Base de Estudio	21
3.1 Justificación	22
3.2 Planteamiento del Problema.....	22
3.3 Hipótesis.....	22

3.4 Objetivo General.....	23
3.5 Objetivos Específico	23
Capítulo 4. Metodología	24
4.1 Tamaño de Muestra.....	24
4.2 Equipo y herramientas.....	24
4.3 Evaluación de la validación del producto CTF Insert.....	27
4.4 Diagrama a bloques del proceso actual vs propuesto.	28
4.5 Diseño e implementación de formato para validación de partes maquinadas.	29
Capítulo 5. Resultados	33
5.1 Reducción de costos e implementación de hoja de herramental.....	33
5.2 Resultados con aplicación del modelo de proceso industrializado en distancia 4+- .3 (mm).....	38
5.3 Prueba T de dos muestras datos de proceso inicial vs proceso Industrializado en distancia 4 +- .3(mm).....	39
5.4 Resultados con aplicación del modelo de proceso industrializado en distancia 13+- .1(mm)	40
5.5 Prueba T de dos muestras datos de proceso inicial vs proceso Industrializado en distancia 13+- .(mm)	41
5.6 Resultados con aplicación del modelo de proceso industrializado en distancia 13+- .1(mm)	42
5.7 Prueba T de dos muestras datos de proceso inicial vs proceso Industrializado en distancia 13+- .(mm)	43
5.8 Resultados con aplicación del modelo de proceso industrializado en distancia 26 -.05 (mm)	44
5.9 Prueba T de dos muestras datos de proceso inicial vs proceso Industrializado en distancia 26 -.05 (mm)	45
5.10 Resultados con aplicación del modelo de proceso industrializado en distancia 45 +- .3 (mm)	46
5.11 Prueba T de dos muestras datos de proceso inicial vs proceso Industrializado en distancia 45 +- .3 (mm)	47
Capítulo 6 Discusión de los Resultados	49
Capítulo 7. Conclusiones.....	50
Lista de Referencia Bibliográficas.....	51

Lista de Figuras

Figura 1.- Mapa conceptual de causales para un modelo de proceso industrializado ..	18
Figura 2.- Categorización de Defectos CTF Inserts	22
Figura 3.- Configuración de insertos	24
Figura 4.- Máquina 5 ejes Dmu Evo linear.	25
Figura 5.- Máquina por coordenadas CMM Zeiss	26
Figura 6.- Mapa del proceso actual y propuesto	28
Figura 7.- Formato para validación de partes maquinadas	32
Figura 8.- Pieza CTF30006.....	33
Figura 9.- Hoja de Herramental para el nuevo modelo de proceso industrializado.....	36
Figura 10.- Prueba de comportamiento entre límite superior e inferior de tolerancia en distancia 4 +- .3(mm).....	38
Figura 11.- Prueba de comportamiento entre límite superior e inferior de tolerancia en distancia 13 +- .1 (mm).....	40
Figura 12.- Prueba de comportamiento entre límite superior e inferior de tolerancia en distancia 13 +- .1 (mm).....	42
Figura 13.- Prueba de comportamiento entre límite superior e inferior de tolerancia en distancia 26 - .05 (mm).....	44
Figura 14.- Prueba de comportamiento entre límite superior e inferior de tolerancia en distancia 26 - .05 (mm).....	46

Lista de Tablas

Tabla 1- Promedio mensual de ventas y defectos en producción	21
Tabla 2- Razón de defectos en el producto CTF Inserts.....	21
Tabla 3- Costo del producto antes del nuevo proceso industrializado.....	34
Tabla 4- Costo del producto con el nuevo proceso industrializado	34
Tabla 5- Secuencia de operaciones para puesta en marcha del # CTF30006.....	35
Tabla 6- Resultados de medición inserto CTF Distancia (4 +- .3)	38
Tabla 7- Prueba T de dos Muestra de Prueba de proceso industrializado vs Proceso Inicial en distancia (4+- .3 mm).....	39
Tabla 8- Resultados de medición inserto CTF en distancia 13 +- .1 mm	40
Tabla 9.- Prueba T de dos Muestra de Prueba de proceso industrializado vs Proceso Inicial en distancia 13 +- .1 mm.....	41
Tabla 10- Resultados de medición inserto CTF en distancia 13 +- .1 mm	42
Tabla 11.- Prueba T de dos Muestra de Prueba de proceso industrializado vs Proceso Inicial en distancia 13 +- .1 mm.....	43
Tabla 12- Resultados de medición inserto CTF en distancia 26 -.05 mm	44
Tabla 13.- Prueba T de dos Muestra de Prueba de proceso industrializado vs Proceso Inicial en distancia 26 -.05 mm.....	45
Tabla 14- Resultados de medición inserto CTF en distancia 45 +- .3 mm	46
Tabla 15.- Prueba T de dos Muestra de Prueba de proceso industrializado vs Proceso Inicial en distancia 45+- .3. mm.....	47

Capítulo 1. Introducción.

Como parte de los requerimientos de una empresa fabricante de partes mecanizadas respecto a la disminución de los defectos relacionados a problemas de proceso en sus productos, surge la necesidad de identificar mediante el análisis estadístico las condiciones de proceso a ser controladas para lograr producir productos dentro de la tolerancia estipulada en los dibujos de fabricación y conseguir la disminución de aquellos modos de falla vinculados a problemas de proceso de manufactura.

El proyecto de aplicación esta enfocado en el análisis mediante métodos estadísticos de los elementos del proceso de maquinado identificados como generadores de defectos, sus interacciones y como estos influyen para que la parte no sea funcional al no cumplir con el plano final, para posteriormente, definir la configuración optima con la capacidad de maquinar una parte funcional que cumpla con las medidas del plano final.

La relevancia de este proyecto de aplicación consiste en establecer una línea base para el diseño de un modelo de proceso industrializado para el maquinado en serie de partes médicas, estableciendo los elementos críticos del proceso y la influencia de estos en el desempeño del maquinado. El modelo de proceso industrializado puede resumirse en un mejor control del proceso, disminución de desperdicio ligado a defectos, eliminación de altos porcentajes de producto no conforme y sobre todo la mejora significativa en el desempeño funcional del proceso.

Capítulo 2. Antecedentes

2.1.- Evolución histórica en la industria del maquinado.

La mejor manera de ayudar a la comprensión del proyecto, así como ubicar en contexto al lector menos conocedor, mencionando a continuación todos aquellos aspectos relacionados con el mundo del mecanizado, haciendo hincapié en el mecanizado mediante arranque de viruta.

A finales del siglo XV, encontramos las primeras máquinas accionadas mecánicamente mediante un arco o pedales, transfiriéndole el movimiento a un eje donde está la pieza a mecanizar. Nacían de esta forma los primeros rudimentarios tornos de la historia, accionados con los pies y permitiendo por tanto tener las manos libres para poder mecanizar la pieza mientras esta rotaba. Este tipo de torno de giro continuo era llamado torno de pedal y rueda, implicaba el uso de biela-manivela combinado junto con un volante de inercia para poder superar los puntos muertos (Patxi Aldabaldetrecu, 2002).

Las primeras máquinas de fresar fueron desarrolladas por el año 1818, siendo el precursor de ellas el americano Ely Whitney. Todo ello producido gracias al encargo recibido de fabricar un gran lote de fusiles para el estado americano, esto le obligo a diseñar una máquina-herramienta para facilitar y acelerar el proceso de fabricación. Compuesta de hierro forjado y madera, poseía una mesa porta-piezas esta era desplazada longitudinalmente sobre unas guías, esto le aportaba cierta robustez y precisión (Patxi Aldabaldetrecu, 2002).

No solo las máquinas sufrieron grandes avances en el siglo XIX, también las herramientas fueron impulsadas gracias a la generación de nuevos materiales tales como el acero aleado por parte de Robert Mushet en 1865, este permitía doblar la velocidad de mecanizado en relación con las herramientas de acero al carbono existentes hasta entonces. Posteriormente, el carburo de silicio fue creado, llamado Carborundum por parte de Edward Goodrich en 1891 y el acero rápido por parte de Taylor y White en 1898. Todos estos descubrimientos permitirían triplicar la velocidad periférica de corte y por tanto las prestaciones del mecanizado (Patxi Aldabaldetrecu, 2002).

A principios del siglo XX, existieron ligeras modificaciones en las máquinas y herramientas, por un lado, en gran parte de nuevo a la sustitución de las formas de energía existentes, desarrollándose en aquel entonces la electricidad y la aplicación de motores eléctricos en las máquinas-herramientas. Sin embargo, el mayor de los avances de este siglo aparece a partir de la década de los cuarenta, una vez finalizada la Segunda Guerra Mundial, John Parson fabricante de álabes de rotor de helicópteros, inicia los primeros pasos del control numérico (Herrin G., 1998).

Los álabes de helicóptero presentan perfiles y formas muy complejas, de tal manera al mecanizarlos con cierta precisión cuentan con un elevado número de puntos en su geometría. Estos puntos necesitaban ser obtenidos de cálculos muy tediosos y complejos, apoyándose en una computadora numérica de IBM, calcularía la geometría de los alabes con un elevado número de puntos, estos serían posteriormente comunicados a dos operarios, quienes controlarían el eje X e Y para mecanizar (Herrin G., 1998).

A raíz de esto, Parson pensó en desarrollar una técnica para introducir los puntos calculados directamente en la máquina sin introducirlos manualmente, esto reduciría el tiempo y la posibilidad de fallo. Sin embargo, ante la falta de fondos para desarrollar tal idea quedó estancada la investigación hasta 1949, hasta entonces Parson recibiría apoyo por parte del Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) para desarrollar una máquina capaz de controlar los movimientos de una fresadora. Apoyándose en los conocimientos poseídos sobre el control de servomotores y la automatización de sistemas de seguimiento generarían la primera máquina de control numérico a finales de 1952, poseía una computadora de tamaño superior a la propia fresadora, estando compuesta en su gran mayoría por válvulas de vacío. Esta máquina era capaz de controlar el movimiento de los tres ejes simultáneamente mediante código binario, almacenándolo en cintas perforadas. Nació de esta forma el inicio del control numérico (NC), sentando las bases de las máquinas de mecanizado. Posteriormente, Parson recibiría un contrato por parte de la fuerza aérea de los Estados Unidos para la producción de máquinas (Herrin G., 1998).

A mediados de la década de los setenta, existió un gran impulso de la informática y la electrónica, apareciendo los primeros microprocesadores y circuitos impresos. Estos permitieron integrar computadoras completamente en el interior de las máquinas de mecanizado, estas dejaron de seguir ciegamente las instrucciones de los programas sin tener en cuenta otra serie de factores, siendo el caso de las máquinas de control numérico (NC). Estas nuevas podían calcular mecanizados tridimensionales, trayectorias óptimas, analizar movimientos, comunicarse con el usuario... surgiendo de esta forma el control numérico computarizado (CNC). Como podemos observar, la gran diferencia entre control numérico y control numérico computarizado radica en la capacidad del controlador, las máquinas de CN están limitadas a seguir instrucciones mientras las de CNC analizan además la información (Peters J. 2018).

2.2 Mecanizado Industrial.

Las técnicas adquiridas en las empresas para aumentar su producción están basadas en investigaciones realizadas con análisis estadísticos aumentando la eficiencia y eficacia en cualquier empresa, no importando el tipo de producción, es posible adaptarlas a cualquier actividad, y en ese caso a procesos industrializados. (Vilar, J., 2005).

El mecanizado es un proceso de fabricación cuyo objetivo es la generación de piezas mediante operaciones donde es removido material, mediante arranque de viruta o abrasión, consiguiendo el tamaño y la forma deseada. Este proceso realizado principalmente a partir de piezas semielaboradas tales como lingotes o tocho de material

bruto, pudiendo también aplicarse a piezas no terminadas mediante otros procesos como el forjado o moldeo debido a la dificultad para la obtención de la geometría y acabado deseado mediante dichas técnicas. (Marañón, J., 2013).

Así pues, en función del tipo de tecnología empleada, así como de sus fundamentos técnicos, podemos diferenciar básicamente tres tipos de mecanizado clasificados a su vez en dos grandes grupos. Por un lado, encontramos el mecanizado convencional, basado en la rotación de la herramienta, o bien, de la pieza para la remoción de material, en función de la cantidad de material a eliminar respecto al volumen de la pieza inicial y de los parámetros de corte definidos, este grupo está dividido a su vez en:

2.2.1 Mecanizado por abrasión.

Trata de la eliminación de material mediante el desprendimiento en pequeñas porciones de este al entrar en contacto con la herramienta, suele caracterizarse por estar compuesta de material de gran dureza unido mediante aglutinante. A diferencia del mecanizado por arranque de viruta, la fuerza a aplicar es mucho menor y tiene menor vibración, consiguiendo una mayor calidad superficial con elevado tiempo de mecanizado. (Marañón, J., 2013).

2.2.2 Mecanizado por arranque de viruta.

A diferencia del mecanizado por abrasión, caracterizado por la eliminación de grandes cantidades de material de la pieza inicial mediante el empleo de herramientas con uno o varios filos de corte, realizando múltiples pasadas para ello. Mayoritariamente este proceso suele estar compuesto de dos fases, una primera de desbaste, es decir, eliminación de la mayor cantidad de material posible y seguidamente, una pasada de acabado con el objetivo de obtener superficies sin imperfecciones y con buenas tolerancias dimensionales. (Marañón, J., 2013).

2.2.3 Mecanizado no convencional.

Grupo caracterizado principalmente por la eliminación o remoción de material mediante medios no mecánicos, basándose su tecnología en el empleo de la química, la electricidad o haces de alta energía para su fin. El requerimiento de este tipo de mecanizado es debido a diversos motivos desde la alta dureza de los materiales, la posible fragilidad de estos, la complejidad de la pieza, hasta la posibilidad de presentar partes con cierta flexibilidad, pasando por requerimientos de acabado superficial y dimensional muy exigentes. Todo ello permite técnicas de mecanizado electroquímico, por rayo láser, por haz de electrones, por chorro de agua o por descarga eléctrica supongan unas alternativas muy competitivas frente a las convencionales. (Marañón, J., 2013).

2.3 El control numérico computarizado.

Control numérico por computador, también llamado CNC (en inglés Computer Numerical Control) a todo dispositivo capaz de dirigir el posicionamiento de un órgano mecánico móvil mediante órdenes elaboradas de forma totalmente automática a partir de informaciones numéricas en tiempo real. Para maquinar una pieza es utilizado un sistema de coordenadas especificando el movimiento de la herramienta de corte.

Entre las operaciones de maquinado de una máquina CNC están: torneado, fresado, erosionado, rectificando. Sobre la base de esta combinación es posible generar la mayoría (si no son todas) las piezas de industria. (Ferre R., 1988).

2.3.1 Principio de funcionamiento.

El sistema basado en el control de los movimientos de la herramienta de trabajo con relación a los ejes de coordenadas de la máquina, usando un programa informático ejecutado por un ordenador. En el caso de las fresadoras los desplazamientos verticales, correspondientes al eje Z son incorporados motores eléctricos en los mecanismos de desplazamiento del carro y la torreta, en el caso de los tornos, y en la mesa en el caso de la fresadora; dependiendo de la capacidad de la máquina, esto puede no ser limitado únicamente a tres ejes. (Smid P., (2003).

2.3.2 Programación en el control numérico.

Existen dos métodos, la programación manual y la programación automática.

Programación manual. En este caso, el programa pieza es escrito únicamente por medio de razonamientos y cálculos realizados por un operario. El programa de mecanizado comprende todo el conjunto de datos para la mecanización de la pieza. Al conjunto de informaciones correspondiente a una misma fase del mecanizado denominada bloque o secuencia, numerada para facilitar su búsqueda. Este conjunto de informaciones es efectuado por el intérprete de órdenes. Una secuencia o bloque de programa debe contener todas las funciones geométricas, funciones máquina y funciones tecnológicas del mecanizado. De tal modo, un bloque de programa consta de varias instrucciones. (Ferre R., 1988). El comienzo del CN (control numérico) ha estado caracterizado por un desarrollo anárquico de los códigos de programación. Cada constructor utilizaba el suyo particular. Nace la necesidad de normalizar los códigos de programación como condición indispensable para un mismo programa pueda utilizarse en diversas máquinas del mismo tipo. (Heidenhain, 2003). Los caracteres más usados comúnmente, regidos bajo la norma DIN 66024 y 66025 son, entre otros, los siguientes:

- N: es la dirección correspondiente al número de bloque o secuencia. Esta dirección va seguida normalmente de un número de tres o cuatro cifras. En el caso del formato N03, el número máximo de bloques a programar es (1000 N999).
- X, Y, Z: son las direcciones correspondientes a las cotas según los ejes X, Y, Z de la máquina herramienta (Y planos cartesianos). Dichas cotas son programadas en forma absoluta o relativa, es decir, con respecto al cero pieza o con respecto

a la última cota respectivamente.

- G: es la dirección correspondiente a las funciones preparatorias. Utilizadas para informar al control de las características de las funciones de mecanizado, por ejemplo, forma de la trayectoria, tipo de corrección de herramienta, parada temporizada, ciclos automáticos, programación absoluta y relativa, etc. La función G va seguida de un número de dos cifras para programar hasta 100 funciones preparatorias diferentes.
- M: es la dirección correspondiente a las funciones auxiliares o complementarias. Utilizadas para indicar a la máquina herramienta realizar operaciones tales como parada programada, rotación del husillo a derechas o a izquierdas, cambio de útil, etc. La dirección "m" seguida de un número de dos cifras permitiendo programar hasta 100 funciones auxiliares diferentes.
- F: es la dirección correspondiente a la velocidad de avance. Seguida de un número de cuatro cifras indicando la velocidad de avance en mm/min.
- S es la dirección correspondiente a la velocidad de rotación del husillo principal. Programado directamente en revoluciones por minuto, usando cuatro dígitos.
- I, J, K son direcciones utilizadas para programar arcos de circunferencia. Cuando la interpolación aparece en el plano X-Y, las direcciones I y J son programadas. Análogamente, en el plano X-Z, las direcciones I y K son programadas, y en el plano Y-Z, las direcciones J y K.
- T es la dirección correspondiente al número de herramienta. seguida de un número de cuatro cifras, los dos primeros indican el número de herramienta y los dos últimos el número de corrección de las mismas.

Las condiciones de maquinado fueron obtenidas con las siguientes fórmulas:

$$V_f = n \times f_z \times Z \quad (1)$$

$$f_z = \frac{V_f}{n \times Z} \quad (2)$$

2.4 Análisis de la producción para un modelo de proceso industrializado.

La producción es definida como el conjunto de actividades (fabricación de piezas mecánicas) obteniendo un producto, a disposición de los consumidores o de la sociedad para satisfacer una necesidad (Millan, G. 2012).

Programar un producto es planificar y controlar, lo hacen las empresas industriales antes de crear un artículo. Cuando es programada la fabricación de un producto es controlada y planificada la producción de este teniendo por objetivo la coordinación de los medios, sean máquinas, materiales, herramientas, especialistas (Millan, G. 2012).

Las empresas de mecanizados, así como los artículos en ellas obtenidos y sus tipos de mecanizados, debemos tener conocimientos de todos los elementos en ellas empleados, como los aparatos de medida correctos, maquinas empleadas, su manejo, sistemas de seguridad, etc.

La secuencia lógica de un proceso industrializado de maquinado parte de:

- 1.- Plano de la pieza a mecanizar.
- 2.-El material a emplear.
- 3.-El estudio del procedimiento, en este apartado es donde aplican las causales para la fabricación de la pieza a mecanizar.
- 4.-Selección de las operaciones (torneado, fresado, etc.)
- 5.-El orden de las operaciones según sea el caso de la pieza, debe incluir las normas de seguridad y herramientas a utilizar).
- 6.-Verificación de la pieza terminada.
- 7.- Empaque y envío al cliente.

2.4.1 Validación del proceso.

La validación de procesos es establecer evidencia documentada proporcionando un alto grado de seguridad de un proceso específico, consistentemente produce un producto cumpliendo las especificaciones y características de calidad predeterminados. (Reyes, R. 2017).

Causales para un modelo de proceso industrializado.

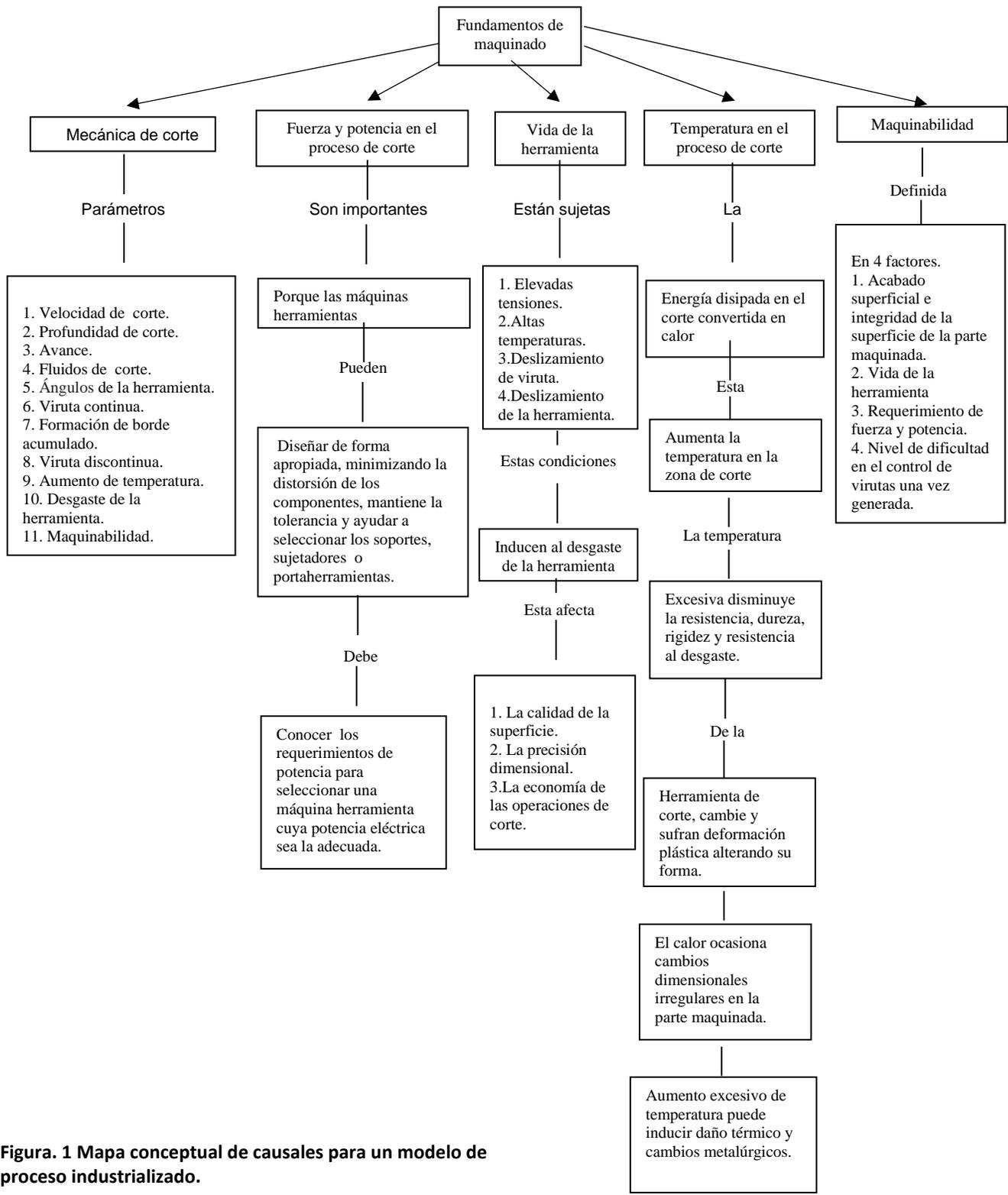


Figura. 1 Mapa conceptual de causales para un modelo de proceso industrializado.

Fuente: Elaboración Propia.

2.4.2 Certificado de Material.

Documento expedido por el fabricante donde declara los productos suministrados cumplen con los requisitos de la orden y en el presentan los resultados de las pruebas, número de colada, norma de calidad, dimensiones del producto, análisis químico, límite elástico, límite a la tensión y elongación. (Millan, G. 2012).

2.4.3 Hoja de herramental.

Documento con información sobre el tipo de herramienta para cada corte, diámetro, cara, barreno, etc. Especificando el tipo de herramienta utilizar: inserto, rima, cortador, avellanador, etc. Además, su porta herramienta con la nomenclatura exacta, el número de posición en la torreta de herramientas y sus condiciones de corte. Su fin es contar con la información exacta para herramentar la pieza a fabricar y cumplir las mismas condiciones cuando fue validada la parte. (Carrasco J., Mallorquin S. 2015).

2.4.4 CTQ (Críticas a la calidad).

Las características más críticas e importantes de una parte son indicadas por un círculo con la medida dentro en el dibujo. El equipo de calidad junto al de manufactura pueden decidir CTQs adicionales si lo desean. (Gonzalez G., 2017).

2.4.5 Muestra del primer artículo.

Cumple con todas las dimensiones de acuerdo con el dibujo. Esta pieza es la muestra maestra cuando el cliente y el proveedor la aceptan.

2.4.6 Grupo de máquinas.

Menciona las máquinas donde ocurrió la validación de las partes. (Carrasco J., Mallorquin S. 2015).

2.4.7 C_p . (Capacidad potencial)

C_p es el índice de capacidad del proceso. Indica la capacidad del proceso para producir partes consecutivas dentro de la variación requerida (Tolerancia) Debe ser como mínimo 1.33 o superior. En los requerimientos CTQ deben ser mayores a 1.67. (Gonzalez G., 2017).

2.4.8 C_{pk} . (Capacidad Real)

Nos indica si el proceso está centrado entre los límites de especificación. Debe estar como mínimo 1.33 o ser superior. En los requerimientos CTQ deben ser mayores a 1.67. (Gonzalez G., 2017).

2.4.9 Estudio de la capacidad de la máquina.

El estudio consta de la medición de 30 partes maquinadas de manera consecutiva sin realizar ningún tipo de ajuste en la máquina, el estudio debe cumplir con el C_p y C_{pk} . (Guerrero J., 2017).

2.4.10 Estudio de la capacidad del proceso.

Evalúa la capacidad del proceso, consta de 150 partes maquinadas en el ambiente normal de producción, el estudio de debe cumplir con el C_p y C_{pk} . (Guerrero J., 2017).

2.4.11 PSW (Part Submission Warrant).

Esta forma plasma los documentos requeridos durante el modelado del proceso de maquinado.

Capítulo 3. Línea Base de Estudio

El estudio reciente realizado de los índices de calidad del producto CTF Inserts en el área de maquinados muestra una incidencia considerable en la aparición de diversos tipos de defectos, afectando la presentación visual del producto como su parte funcional.

El producto CTF Inserts fue introducido al mercado en el año 2018 presentando una demanda anual de 12000 unidades en sus diferentes configuraciones, 1000 de estas representan un promedio mensual de ventas.

Tabla 1- Promedio mensual de ventas y defectos en producción
Fuente: Elaboración Propia. (Ossur, 2019)

Producto	Fallas	Promedio Mensual Ventas
CTF Inserts	720	1000

Los reportes de defectos en el producto CTF Inserts, el 6% del producto fabricado representando 720 unidades presentaron defectos durante su fabricación, siendo estas unidades reemplazadas por nuevas. La caracterización de fallas es diversa, desde cuestiones estéticas, hasta características fuera de dimensión.

Tabla 2- Razón de defectos en el producto CTF Inserts.
Fuente: Elaboración Propia. (Ossur, 2019)

Razón	QTY
Tolerancias Geométricas y Dimensionales	547
Diámetros	100
Materia prima corta	10
Acabado Superficial	12
Set up	40
Ajuste incorrecto	8
Muestras de validación	0
Otros	3
Defectos totales	720

La presentación de defectos particularmente es variada en el producto debido a la complejidad de las tolerancias.

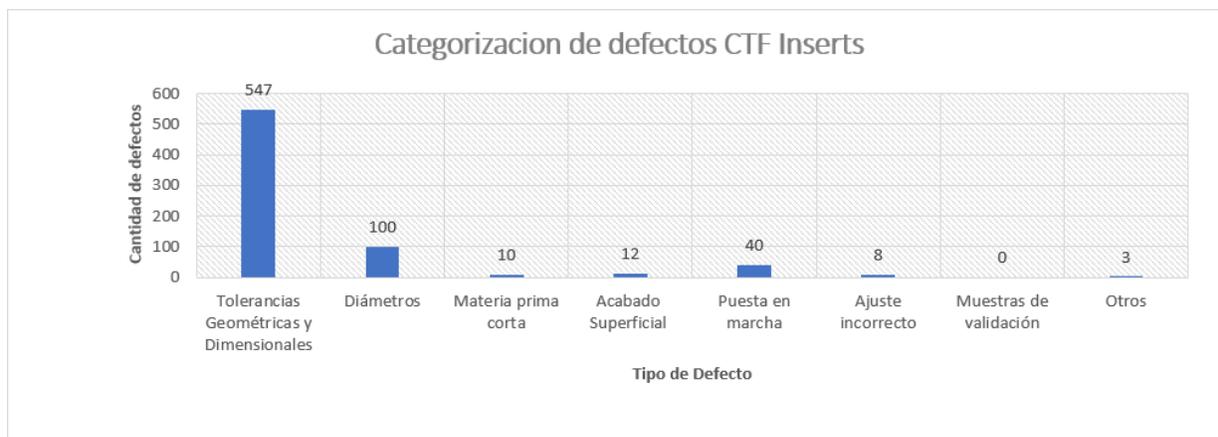


Figura 2.- Categorización de Defectos CTF Inserts.
Fuente: Elaboración Propia.

3.1 Justificación

Ante el alto índice de defectos en las tolerancias geométricas y dimensionales en el producto CTF Inserts durante el primer año de su lanzamiento, 720 unidades en 2018 con un C_p .8 y C_{pk} .75, surgen varias interrogantes del por qué la presencia prematura de defectos en un producto recientemente adquirido por la empresa y la necesidad de evaluar e implementar las acciones necesarias para reducir los defectos y fabricar un producto con más calidad.

3.2 Planteamiento del Problema

El alto índice de defectos presentados durante la fabricación del producto CTF Inserts llevó a la pregunta de investigación, ¿Cómo puede reducirse el índice de defectos en la fabricación del producto CTF Inserts en la empresa Ossur de México?

3.3 Hipótesis

Hipótesis Nula:

H_0 : Un proceso industrializado evaluado mediante un método estadístico con resultados mayores o iguales a 1.67 en su capacidad real (C_p) y potencial (C_{pk}) en todas las dimensiones de la parte durante la validación del proceso de fabricación del producto CTF Inserts no reduce los niveles de defectos durante su fabricación.

Hipótesis alternativa:

H_a : Un proceso industrializado evaluado mediante un método estadístico con resultados mayores o iguales a 1.67 en su capacidad real (C_p) y potencial (C_{pk}) en todas las dimensiones de la parte durante la validación del proceso de fabricación del producto CTF Inserts reduce los niveles de defectos durante su fabricación.

3.4 Objetivo General

El objetivo general consiste en reducir al menos 20% los defectos detectados durante el año 2018 en el producto CTF Inserts en corridas de 166 piezas para cada configuración.

3.5 Objetivo Específico

Establecer los cambios en el proceso para alcanzar los niveles deseados en cada configuración con resultados mayores o iguales a 1.67 en su C_p y C_{pk} en todas las dimensiones de la parte.

Capítulo 4. Metodología

La metodología inició con una investigación documental para identificar los métodos de manufactura industrializados de maquinados. Posteriormente una investigación de campo para construir el nuevo modelo de proceso industrializado buscando resolver el nivel de defectos en el producto.

De una población de 120 productos el estudio está enfocado en seis para corridas del 100% de las muestras en la producción de un mes para 166 piezas en cada producto del estudio. No fue necesario incurrir en una muestra pues se analizó el 100 % de la producción siendo sometida durante la validación de cada configuración en un comparativo con el proceso anterior, obteniendo un valor C_p Y C_{pk} mayor o igual a 1.67 es considerada de esta forma refutada la hipótesis nula.

Al ser sometido el lote de producción a un cálculo de tamaño de muestra conociendo la población a evaluar, en este caso el tamaño del lote, el mínimo requerido de muestras es el mismo evaluado en la validación del producto.

4.1 Tamaño de la Muestra

La muestra conocida mensual es de $N=166$ por configuración, dado el valor C_p y C_{pk} obtenidos en la validación del producto CTF insert debe tener un valor mínimo de 1.67, el tamaño de la muestra debe ser el mismo utilizado en las corridas de producción. La muestra bajo investigación es el 100% producción mensual de 166 unidades, no será necesario incurrir en una muestra pues será analizada el 100 % de la producción.

4.2 Equipo, piezas y herramientas.

En la figura 2 se muestran las piezas a maquinar.

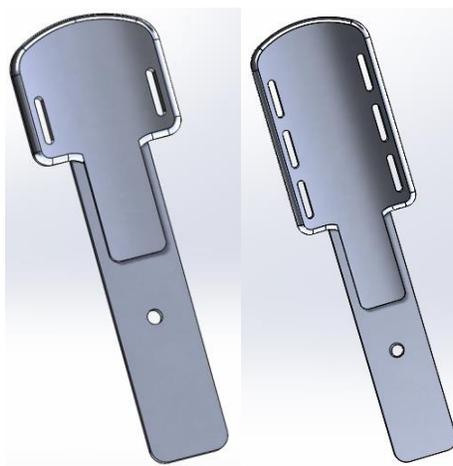


Figura. 3 Configuración de Insertos CTF30006 (Izquierdo, derecho y central) , CTF30007(Izquierdo, derecho y central). Fuente: Fuente: Ossur 2020.

La fabricación de los insertos CTF será haciendo uso de maquinaria tal como DMU evo linear 60 en 5 ejes, estas utilizadas para maquinas los insertos.



Figura 4.- Máquina 5 ejes Dmu Evo linear
Fuente: Adaptación. (DMG MORI, 2019)

Al concluir el maquinado de los insertos serán evaluados haciendo uso de una máquina de medición CMM Zeiss modelo Duramax, tal máquina será programada para evaluar todas las medidas toleradas en el dibujo final de fabricación.



Figura 5.- Máquina por coordenadas CMM Zeiss
Fuente: Adaptación. (Zeiss, 2019)

4.3 Evaluación de la validación del producto CTF insert

La evaluación será realizada de manera inicial en un análisis del estudio de capacidad para la fabricación de los insertos CTF inserts, para este será necesario maquinar 166 piezas para el estudio de capacidad de la máquina y del proceso, esta fue realizada con el software Piweb de Zeiss versión 6.1, los resultados obtenidos de las medidas evaluadas serán graficadas permitiendo la visualización del comportamiento del proceso de maquinado.

4.4 Diagrama a bloques del proceso actual vs propuesto.

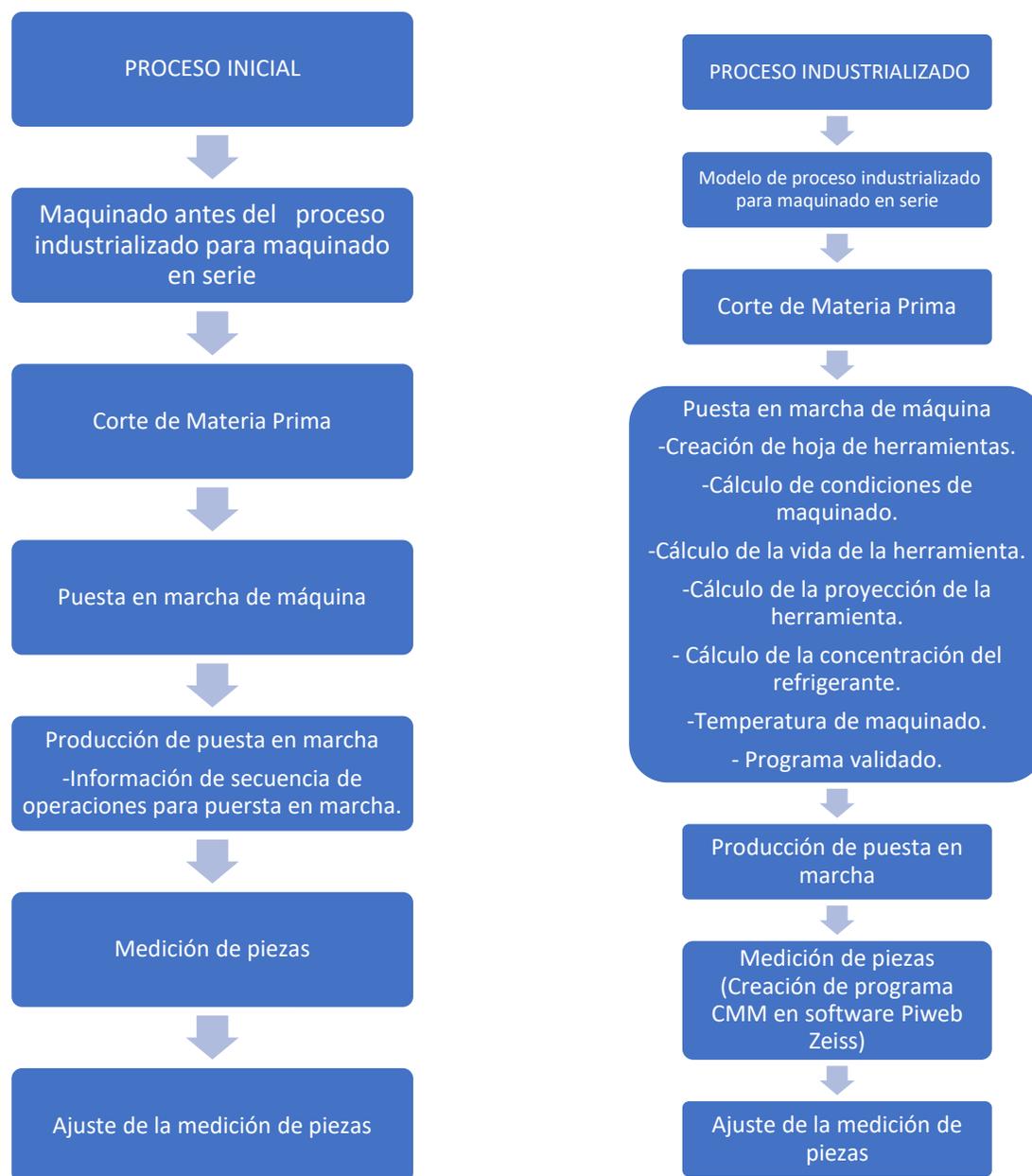


Figura 6.- Diagrama a bloques del proceso inicial y el proceso industrializado.
Fuente: Elaboración Propia.

En la figura 5 es mostrado un diagrama a bloques del proceso inicial y el proceso industrializado donde son mencionadas las diferencias entre el proceso inicial y el proceso industrializado.

4.5 Diseño e implementación de formato para validación de partes maquinadas.

Es la información necesaria para asegurar un modelo de proceso industrializado estable con las causales necesarias para obtener los valores C_p y C_{pk} esperados.

a. Supplier Name and Manufacturing Location	b. Supplier Code	c. Applicable Feature Using Generic Description	d. Specification # , Specific Type and Class Applicable to the FMP	d.1. Material and Applicable Material Specification	e. FMP Revision Date	f. Unique FMP ID	g. P/N used for SPAR (Special Process Approval Requirements)

Function	Name	Signature
Submitted by (ME/PE):		
ME Supervisor :		
Supplier Quality Representative (QAE):		
Ossur Certifying Agent (CA):		

Revision Control Box				
Rev Letter	Date	Change (is / was) and Reason for Change	Num #	Person Who Made the Change
-		New document		
A				

h.1 List of Equipment Maintenance Procedures as Required by Specification		
Equipment Category (Lathe or Machine Center)	Applicable Procedure	Procedure Description (Brief)

h.2 Appendix D. Elements of Preventive Maintenance Procedures / Plans	
1. Preventive Maintenance for Machine System	File / Doc Name

<i>a. Lubrication procedures/frequencies/responsibilities</i>	
<i>b. Cleanliness procedures</i>	
<i>c. Periodic evaluation of moving parts for wear or other degradation</i>	
<i>d. Training/certification req. of those authorized to perform this maintenance</i>	
2. Preventive Maintenance Program for Cutting Fluid System	File / Doc Name
<i>a. Training/certification requirements of those authorized to perform this maintenance</i>	
<i>b. Specific tasks performed & scope of responsibility</i>	
<i>c. Types of cutting fluids with associated safety and distribution information</i>	
<i>d. Procedures of cleaning machines, sumps, filters, etc., including filter changes/maintenance, chip/debris removal, and tramp oil removal</i>	
<i>e. Procedures/requirements for maintaining fluid quality and cleanliness</i>	
<i>f. Cutting system inspections with intent to prevent flow disturbances</i>	

* | Note: Process for training/Certification requirement is as follow: Job Description -> Indirect Personnel certification - > Training needs detection (it is an assessment designed to detect training needs based on current position)

h.3 Tooling Control Procedures as Required by Specification

Applicable Tooling Control Procedure	Procedure Description (Brief)
	Tool/Gage and nonperishable Tooling design, acquisition/ ordering, labeling, control and disposition.
	Tool Crib Process
	Ordering and control or perishable tooling

i. Clear Description of Sequence of Operations which Indicates Minimum Stock Remaining for Subsequent Operations, as Applicable.

Operation Number	Tool Sequence	Minimum Stock Remaining for Subsequent Operations

j. When Sub-Tier Suppliers are Used, The Machining Source (Name/Address) of each Sequenced Operations shall be Specified

Supplier Name	Supplier Address	Operation	Description
N/A			
N/A			
N/A			

k. Process Control Parameters and Values in Accordance with Appendix B. Turning

| Each supplier has their own codes for grades. Therefore, same insert grade would have specific code based on supplier syntax. See codes for grades .xlsx file as reference.

| Range Definition: Upper and lower process parameter tolerances. .

Op. #	1. Seq. #	2. Insert	2.1 Grade	3. Tool Function Description	4. Insert Holder	5. Speed		6. Feed		7. Depth		8. Insert Life	
						Range	Set	Range	Set	Range	Set	Range	Set
9 Insert Regrind Criteria (if applicable)					10. Cutting Fluid Type and Application Method								

k. Process Control Parameters and Values in Accordance with Appendix C. Boring

| Each supplier has their own codes for grades. Therefore, same insert grade would have specific code based on supplier syntax. See codes for grades .xlsx file as reference.

| Range Definition: Upper and lower process parameter tolerances. Set Definition: Process parameter value used to produce part for CPM testing.

Op. #	1. Seq. #	2. Insert	2.1 Grade	3. Boring Bar Description and Dimensions	4. Insert Projection Length from Tool Holder		5. Speed		6. Feed		7. Depth of Cut		8. Insert Life	
					Range	Set	Range	Set	Range	Set	Range	Set	Range	Set
9. Insert Regrind Criteria (if applicable)					10. Cutting Fluid Type and Application Method									
N/A														

k. Process Control Parameters and Values in Accordance with Appendix E. Milling

1a, 1b. Standard/Non-Standard Milling Cutters and End Mills

Op. #	Seq. #	Material (for carbide, shall include grain size, binder and percentage, industry classification)	Standard Tools			Non-Standard Tools	
			Catalog Description			Tool Drawing Information	
			Tool Manufacturer Name	Manufacturer Tool Number	Tool General Description	Tool Drawing # or Name	Tool Drawing Rev Level
Tool Drawings <i>(attach the tool DWG for each non-standard tool declared above)</i>							
2. Operation							

a. Cutting fluid type, flow and application method				b. Machine control type					
Op	Se q	c. Spindle Speed		d. Tool Feed Rate		e. Radial Depth Of Cut		f. Tool Life	
		Range	Set	Range	Set	Range	Set	Range	Set

I. Description of predictable process interruptions and supplier's corrective plan		
Predictable Process Interruptions	Description	Corrective Action Plan, Responsible & Documents (if Apply)
Schedule power shortages or blackouts	Electrical and mechanical failure	The machining cycle should be stopped during operation sequence between tools. Once a tool finishes its operation the operator must halt the machining cycle without interrupt or damage the surface finish.
Coolant supply malfunction	Interrupted, irregular, reduced coolant flow	If incorrect coolant flow is detected, the operator will wait until the tool is "cutting air", stop the machine, and call Maintenance Dept. to check the machine, and solve the problem. When Maintenance Dept. has finished, the operator will activate the coolant pumps alone, and check for a correct coolant pressure and flow. After machining the part is turned to Quality and Engineering Depts. for further analysis and disposition of the part.
Tooling	Broken tooling / fixturing	Interruption which occur with greater than 0.1 inch of material remaining on surface is excess of the final part dimensions are not cause for rejection. To avoid broken tools NC programs stop automatically to assure that the insert is changed (Tool Life).

n. Methods for deburr and rework				
Op	Equipment and Tooling	Cutting/Grinding/Abrasive Tools	Process Description	Reference
			Inspect part and remove burrs if needed	

Figura 7.- Formato para validación de partes maquinadas
Fuente: Elaboración Propia.

Capítulo 5. Resultados

El análisis realizado en la agrupación de las 166 características de los seis números de parte involucrados observó valores estadísticos de C_p y C_{pk} (1.86 a 2.89) arriba del objetivo específico señalado en la sección 3.5.

5.1 Reducción de costos e implementación de hoja de herramental.

El análisis inicial de los resultados obtenidos del nuevo proceso industrializado para maquinado en serie de partes médicas en la empresa Ossur de México para la manufactura del producto CTF Insert muestra un comportamiento estable en las dimensiones obtenidas durante el maquinado de los modelos de la familia CTF Inserts.

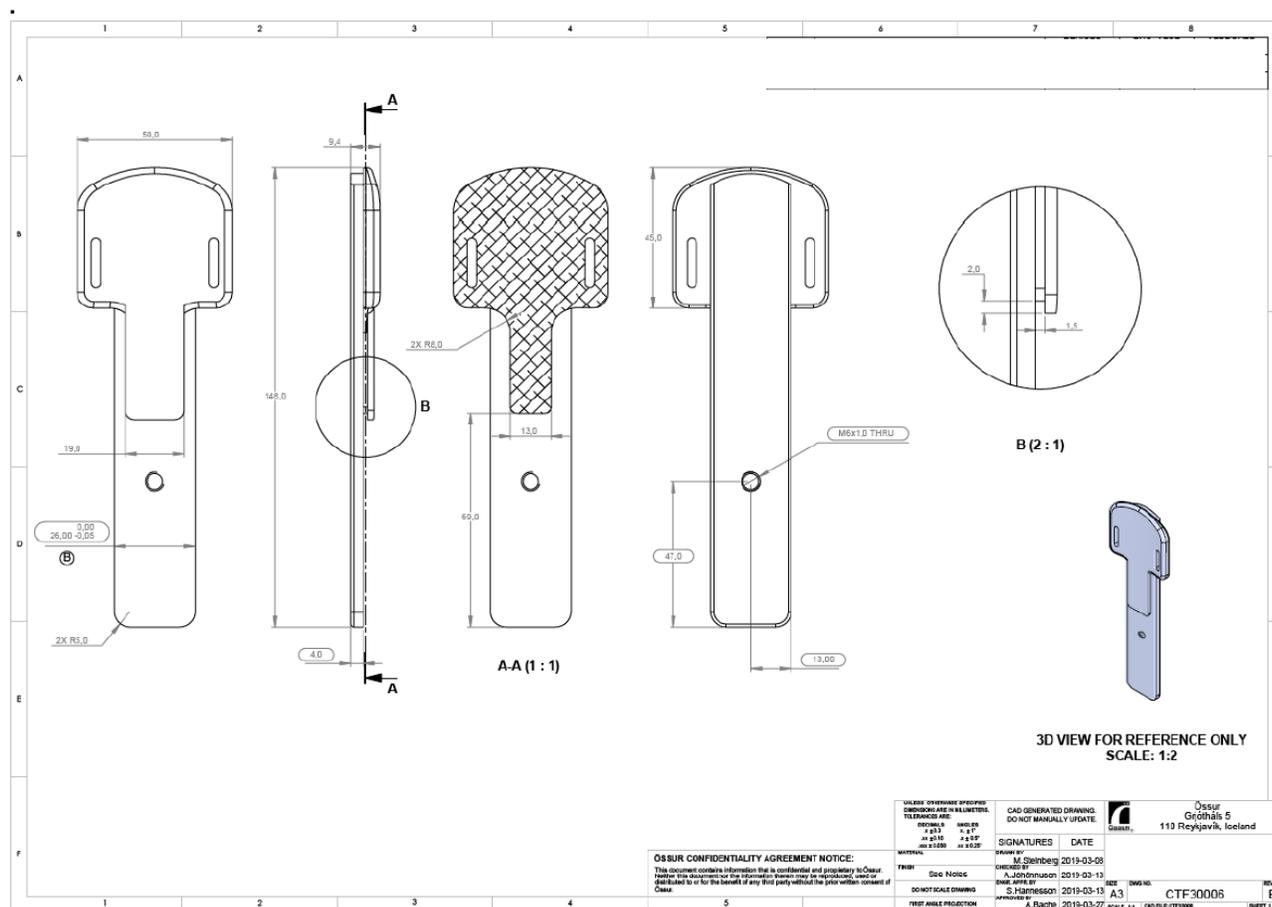


Figura 8.- Pieza CTF30006
Fuente: Ossur 2020.

La figura 8 muestra el costo de fabricación de una pieza del producto CTF30006 antes de la aplicación del nuevo modelo de proceso industrializado donde el principal contribuyente es el tiempo de maquinado del producto, en la figura 9 es indicado el costo actual ya con el nuevo modelo de proceso industrializado aplicado.

Tabla 3.- Costo del producto CTF30006 antes de la aplicación del nuevo modelo de proceso industrializado (\$57.87 Dlls). Fuente: (Ossur,2018).

COSTO DEL INSERTO CTF30006 ANTES DEL NUEVO PROCESO							
Nombre de la Parte	CTF30006IP						
Descripción	IP CONNECT TF MP SHORT INSERT						
Lista de materiales	CTF30006IP						
Nombre de la ruta	TJ CNC CTF						
Tamaño del lote	166						
Op. No.	Nombre de ruta	Descripción	Puesta en marcha	Tiempo de ciclo	Costo T.C.	C.U.	Costo Total
10	TJ_CNC_SNC500	CNC Ban Saw-SNC		0.010	0.01000	\$ 24.98	\$ 0.25
20	TJ_CNC_DMU_60EVO	CNC DMU 60 EVO		0.633	0.63300	\$ 84.94	\$ 53.77
30	TJ_CNC_INSP	CNC Inspection		0.005	0.00500	\$ 24.98	\$ 0.12
40	TJ_CNC_TUMBLER	CNC Tumbling/Deburr		0.050	0.05000	\$ 24.98	\$ 1.25
50	TJ_CNC_PACK	CNC + MF Packing (Shared 1 HC)		0.005	0.00500	\$ 24.98	\$ 0.12
						Total Cost	\$ 55.39
Número	Descripción	Cantidad	Costo unitario	Costo total			
R-04619X63	ALRT .75X2.50X144IN 6061 T6511	0.154	16.0817	2.48			
						Costo de producción	\$ 55.39
						Costo de componentes	\$ 2.48
						Costo Unitario	\$ 57.87

Tabla 4.- Costo del producto CTF30006 después de la aplicación del nuevo modelo de proceso industrializado (\$31.28 Dlls). Fuente: (Ossur,2019).

COSTO DEL INSERTO CTF30006 CON LA APLICACION DEL NUEVO PROCESO							
Part Number	CTF30006 IP						
Description	IP CONNECT TF MP SHORT INSERT						
Production Bom	CTF30006IP						
Routing No.	TJ CNC CTF						
Lot Size	166						
Op. No.	Nombre de ruta	Descripción	Puesta en marcha	Tiempo de ciclo	Costo T.C.	C.U.	Costo Total
10	TJ_CNC_SNC501	CNC Ban Saw-SNC		0.010	0.01000	\$ 24.98	\$ 0.25
20	TJ_CNC_DMU_60EVO	CNC DMU 60 EVO		0.320	0.32000	\$ 84.94	\$ 27.18
30	TJ_CNC_INSP	CNC Inspection		0.005	0.00500	\$ 24.98	\$ 0.12
40	TJ_CNC_TUMBLER	CNC Tumbling/Deburr		0.050	0.05000	\$ 24.98	\$ 1.25
50	TJ_CNC_PACK	CNC + MF Packing (Shared 1 HC)		0.005	0.00500	\$ 24.98	\$ 0.12
						Total Cost	\$ 28.80
Número	Descripción	Cantidad	Costo unitario	Costo total			
R-04619X64	ALRT .75X2.50X144IN 6061 T6512	0.154	16.0817	2.48			
						Costo de producción	\$ 28.80
						Costo de componentes	\$ 2.48
						Costo Unitario	\$ 31.28

El modelo obtenido parte de la creación de la hoja de herramental indicando los parámetros de la puesta en marcha para la obtención de los valores C_p y C_{pk} deseados. A continuación, es mostrada la información para la puesta en marcha del número de parte antes de la aplicación del nuevo modelo de proceso industrializado.

Tabla 5.- Secuencia de operaciones para puesta en marcha del # CTF30006

Fuente: Ossur 2018.

Número de Parte						
CTF30006						
Operación 1 G54				DESBASTE		Acabado
Posición en Torreta	Ajuste de Posición	Herramienta	Diámetro	Revoluciones	Avance	
T1	H1	volador	3"	7500 rpm	50 in/min	
T2	H2	Cortador Plano	0.500	9000 rpm	50 in/min	30 in/min
T17	H17	Cortador con radio	6mm	9500 rpm	50 in/min	20 in/min
T8	H8	Cortador de Bola	.125"	9500 rpm	100 in/min	
T15	H15	Chaflán	8mm	8000 rpm	10 in/min	
T19	H19	Broca	.166"	2000 rpm	10 in/min	
T20	H20	Machuelo	M5x0.8	400 rpm	12.5984 in/min	
Operación 2 G56						
T1	H31	Volador	3"	7500 rpm	50 in/min	
T21	H21	Cortador de Bola	.125"	9500 rpm	100 in/min	

Fueron calculadas las revoluciones, avances (con la ecuación 1), proyecciones y vida de la herramienta en las 14 estaciones del programa elaborado para el nuevo modelo de proceso industrializado y estas están indicadas en la hoja de herramientas de la figura 8 y 9 mediante las fórmulas vistas en la sección 2.3.2 programación en el control numérico en los antecedentes.

		Nombre:		HOJA DE HERRAMENTAL (Tooling Sheet_Template)		NO DE PARTE		CTF30006		<small>EN CASO DE QUE LA PARTE SEA TERMINADA EN TU Y NO EXISTA BP (dibujos), SE USARA LA REVISION Y LA FECHA DE REVISION DEL BP DE INGENIERIA</small>	
DOC. CONTROLADO	████████	DOC. NO CONTROLADO	████████	Revisión:	█	PROGRAMADOR	Omorales	DWG REV	B	FECHA EFECT DWG	2019-04-04
				FECHA PROGRAMA	█	04/08/2019		CELULA	DMU		
OPERACION		1		TIEMPO CICLO		13 minutos					
MATERIAL		6061-T6		PRESION DE ALTA		N/A					
PROGRAMA CNC		CTF30006-OP1		PRESION DE BAJA		N/A					
PLACA BASE		N/A		TIPO DE SOLUBLE		Blaser SYNERGY 735					
DISPOSITIVOS		Prensa LANG		CONCENTRACION		6-8%					
EST / TJO		EVO FRESA		Torquimetro		20-30NM					
DESCRIPCION EST/TJO		DMU 60 EVO		NOTAS: PROCESO CONTROLADO QUEDA PROHIBIDO CUALQUIER CAMBIO DE HTAS SIN AUTORIZACION PREVIA DE INGENIERIA							
SECUENCIA	DESCRIPCION	POSICION TORRETA HERRAM.	OFFSET	PORTA HERRAMIENTA	INSERTO, BROCA, RIMA, CO RTADOR, MACHUELO, ETC	RPM	AVANCE (mm/min)	FZ S. POR HTA	Proyeccion		
1	ROU	73	73	HSK63HPVT12090M (SHRINK FIT)	12MM ROUGHER	16000	6240	166	25MM		
4	PROFILE FIN BOTTOM	77	77	HSK63PVT108090M	8MM FLAT	12000	914	166	25MM		
2	SLOT1	79	79	HSK63PVT103090M	3MM FLAT	16000	1248	83	20MM		
3	M6 HOLE	82	82	HSK63HPVT106090M (SHRINK FIT)	5MM DRILL	14006	1400	166	45MM		
5	CHAMFER	74	74	HSK63AER32100M	12MM 45D CHAMFER	14000	4200	166	20MM		
6	M6X1 TAP	75	75	HSK63AER32100M	M6X1MM TAP	5000	100	166	25MM		
7	FIN TOP	67	67	HSK63ATTGL03080M	50MM FACEMILL	16000	1680	83	15MM		
9	1MM CORNER R DOWN	78	78	HSK63HPVT104090M (SHRINK FIT)	8MM CORNER R 1MM	6500	1000	83	15MM		

		Nombre:		HOJA DE HERRAMENTAL (Tooling Sheet_Template)		NO DE PARTE		CTF30006		<small>EN CASO DE QUE LA PARTE SEA TERMINADA EN TU Y NO EXISTA BP (dibujos), SE USARA LA REVISION Y LA FECHA DE REVISION DEL BP DE INGENIERIA</small>	
DOC. CONTROLADO	████████	DOC. NO CONTROLADO	████████	Revisión:	█	PROGRAMADOR	Omorales	DWG REV	B	FECHA EFECT DWG	2019-04-04
				FECHA PROGRAMA	█	04/08/2019		CELULA	DMU		
OPERACION		1		TIEMPO CICLO		7 minutos					
MATERIAL		6061-T6		PRESION DE ALTA		N/A					
PROGRAMA CNC		CTF30006-OP2		PRESION DE BAJA		N/A					
PLACA BASE		N/A		TIPO DE SOLUBLE		Blaser SYNERGY 735					
DISPOSITIVOS		Prensa LANG		CONCENTRACION		6-8%					
EST / TJO		EVO FRESA		Torquimetro		15-20NM					
DESCRIPCION EST/TJO		DMU 60 EVO		NOTAS: PROCESO CONTROLADO QUEDA PROHIBIDO CUALQUIER CAMBIO DE HTAS SIN AUTORIZACION PREVIA DE INGENIERIA							
SECUENCIA	DESCRIPCION	POSICION TORRETA HERRAM.	OFFSET	PORTA HERRAMIENTA	INSERTO, BROCA, RIMA, CO RTADOR, MACHUELO, ETC	RPM	AVANCE (mm/min)	FZ S. POR HTA	Proyeccion		
1	ADAPTIVE2	73	73	HSK63HPVT12090M (SHRINK FIT)	12MM ROUGHER	16000	6240	166	25MM		
4	2D POCKET 4	77	77	HSK63PVT108090M	8MM FLAT	12000	914	166	25MM		
2	ARC 3D ROU	84	84	HSK63HPVT106090M (SHRINK FIT)	6MM BALL	16000	2800	166	35MM		
3	TAB	85	85	HSK63HPVT103090M (SHRINK FIT)	3MM BALL	16000	4800	166	15MM		
4	ARC 3D FIN	94	94	HSK63ATTGL03080M	1/8" BALL	16000	3360	83	15MM		
5	SLOT	98	98	HSK63AER32100M	12.7X1.5875MM SLOT MILL	3000	750	83	25MM		

Figura 9.- Hoja de Herramental para el nuevo modelo de proceso industrializado.
Fuente: Elaboración Propia.

Las tablas (5,6,7,8,9) muestran los valores de medición de la pieza CTF30006 del plano de la figura 7.

El análisis de los resultados muestra los valores C_p y C_{pk} por arriba del valor 1.67 obtenidos mediante las siguientes fórmulas:

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma} \quad (3)$$

Donde:

C_p = Capacidad Proceso
 LSE = Límite superior de especificación
 LIE = Límite inferior de especificación.
 σ = Sigma (Desviación estándar)

$$C_{pk} = \text{Min}(C_{ps}, C_{pi})$$

$$C_{ps} = \frac{LS - \mu}{3\sigma} \quad (4)$$

$$C_{pi} = \frac{\mu - Li}{3\sigma} \quad (5)$$

Donde:

C_{pk} = Capacidad real
 C_{ps} = Capacidad superior
 C_{pi} = Capacidad inferior
 μ = Media de población
 σ = Sigma
 $C_p > 1.67$ Proceso Aceptado
 $C_p < 1.67$ Proceso no aceptado
 $C_p = 1.67$ Proceso justamente capaz

Los resultados obtenidos del nuevo proceso industrializado para maquinado en serie de partes médicas en la empresa Ossur de México para la manufactura del producto CTF Insert muestra un comportamiento estable en las dimensiones obtenidas durante el maquinado de los modelos de la familia CTF Inserts, obteniendo valores superiores a 1.67 en el análisis estadístico de los valores C_p y C_{pk} .

Con estos resultados fue elegido el proceso más adecuado de diferentes alternativas, además el mejor proceso según los requerimientos del dibujo, la selección adecuada de maquinaria para cumplir con los requerimientos del cliente para obtener un proceso industrializado con menos defectos y a menor costo.

Al cumplir con los límites de especificación los cuales los establece el cliente podemos ver un comportamiento centrado, es decir el proceso no tiene variabilidad como es mostrado en las gráficas de prueba de comportamiento entre límite superior e inferior de tolerancia en las figuras 9-13.

5.2 Resultados con aplicación del modelo de proceso industrializado en distancia 4 +/-0.3 (mm).

El análisis inicial de los resultados obtenidos del nuevo proceso industrializado para maquinado en serie de partes médicas en la empresa Ossur de México para la manufactura del producto CTF Insert muestra un comportamiento estable en las dimensiones obtenidas durante el maquinado de la distancia de 4 +/-0.3 (mm), cuyo análisis estadístico arroja resultados de 1.86 en C_p y 1.75 en C_{pk} .

Tabla 6.- Resultados de medición inserto CTF (Distancia 4 +/-0.3).
Fuente: Elaboración Propia

Muestra	Valor de Medición																
1	4.008	21	3.982	41	4.008	61	3.993	81	3.997	101	3.981	121	4.011	141	3.973	161	3.992
2	4.013	22	3.993	42	4.004	62	3.992	82	3.992	102	3.963	122	3.993	142	3.989	162	3.987
3	3.993	23	3.982	43	3.997	63	3.987	83	3.989	103	3.975	123	3.992	143	3.983	163	3.991
4	4	24	4.003	44	3.992	64	3.991	84	3.99	104	3.971	124	3.987	144	3.997	164	4.005
5	4.011	25	4.007	45	3.989	65	4.005	85	3.981	105	3.985	125	3.991	145	3.976	165	4.008
6	3.993	26	3.997	46	3.99	66	4.008	86	3.985	106	3.995	126	3.992	146	3.995	166	3.992
7	3.992	27	4.005	47	3.981	67	4.004	87	3.988	107	3.98	127	3.987	147	3.98		
8	3.987	28	4.004	48	3.985	68	3.997	88	4.003	108	3.975	128	3.991	148	3.975		
9	3.991	29	4.007	49	3.988	69	3.992	89	3.987	109	3.974	129	4.005	149	3.974		
10	4.005	30	3.993	50	4.003	70	3.989	90	3.992	110	3.993	130	4.008	150	3.992		
11	4.008	31	4	51	4.008	71	3.99	91	3.992	111	3.982	131	4.004	151	3.989		
12	4.004	32	4.011	52	4.013	72	3.981	92	3.988	112	4.003	132	3.997	152	3.99		
13	3.997	33	3.993	53	3.993	73	3.993	93	3.957	113	4.007	133	3.992	153	3.981		
14	3.992	34	3.992	54	4	74	3.982	94	3.983	114	3.997	134	3.989	154	3.993		
15	3.989	35	3.987	55	4.011	75	4.003	95	3.987	115	4.005	135	3.99	155	3.982		
16	3.99	36	3.991	56	3.993	76	4.007	96	3.992	116	4.004	136	3.981	156	4.003		
17	3.981	37	4.005	57	3.992	77	3.997	97	3.986	117	4.007	137	3.982	157	3.986		
18	3.985	38	4.008	58	3.987	78	4.005	98	3.987	118	3.993	138	4.003	158	3.982		
19	3.988	39	3.992	59	3.991	79	4.004	99	3.986	119	3.981	139	4.007	159	3.984		
20	4.003	40	3.989	60	4.005	80	4.008	100	3.982	120	3.985	140	3.997	160	3.995		

Distancia 4 +/-0.3 (mm)	
Posición en Dibujo	E2
Herramienta de Medición	CMM
Valor Máximo	4.0128
Valor Mínimo	3.9815
Promedio	3.9971
Desviación estándar	0.009
Rango	0.0313
C_p	1.86
C_{pk}	1.75

Los resultados obtenidos del nuevo proceso industrializado para maquinado en serie de partes médicas en la empresa Ossur de México para la manufactura del producto CTF Insert muestra un comportamiento estable en las dimensiones obtenidas durante el maquinado de los modelos, como se muestra en la figura 10.

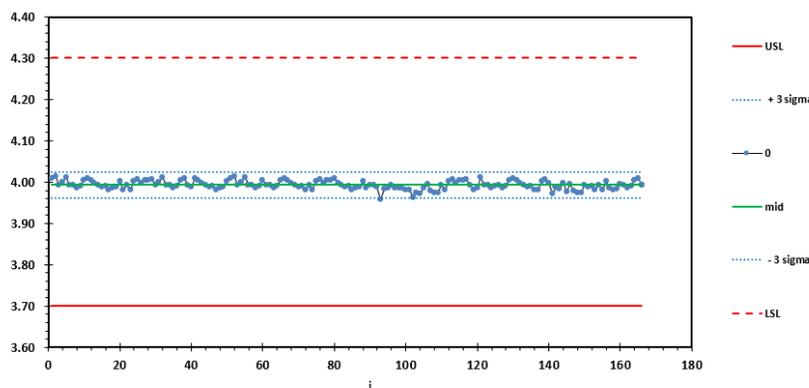


Figura 10.- Prueba de comportamiento entre límite superior e inferior de tolerancia en distancia.
Fuente: Elaboración Propia.

El intervalo de confianza al 95% obtenido al someter los resultados de los valores de medición antes del proceso industrializado, este dado por la fórmula:

$$\left(\bar{x} - z_{\alpha} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \bar{x} + z_{\alpha} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right)$$

Donde:

X = Media

Z = Valor Crítico de la distribución Normal

N= Tamaño de la Muestra

σ = Desviación Estándar

$$\left(3.99 - 1.96 \frac{.009}{\sqrt{166}}, 3.99 + 1.96 \frac{0.009}{\sqrt{166}} \right)$$

$$= (3.9886, 3.9913)$$

El intervalo de confianza calculado es de (3.9886 mm, 3.9913 mm), dada media resultante de la prueba de medición oscilará entre ese rango con un 95% de confianza dentro de los valores del promedio en mm.

5.3 Prueba T de dos Muestras Resultados de Proceso Industrializado vs Proceso Inicial en distancia 4 +/- .3(mm).

Los resultados obtenidos del proceso inicial antes de ser sometido al proceso industrializado vs los resultados obtenidos ya implementado el proceso industrializado arrojan un P Valor: 0.003, rechazando con esto la hipótesis nula y asumiendo la hipótesis alternativa definida en el análisis estadístico en Minitab de la existencia de diferencia significativa entre ambos, demostrando la selección adecuada del proceso industrializado y obteniendo resultados favorables con una mejoría en al menos 88% en su desviación estándar contribuyendo esto a un valor superior de C_p y C_{pk} .

Tabla 7.- Prueba T de dos Muestra de Prueba de proceso industrializado vs Proceso Inicial en distancia 4 +/- .3 mm.

Fuente: Elaboración Propia.

	N (Piezas)	Media (4+-.3)	Desviación Std	SE Media
Resultados Prueba de Proceso Industrializado	166	3.9929	0.0103	0.0008
Resultados Prueba de Proceso inicial	166	4.028	0.0907	0.007
Diferencia = μ (Prueba de proceso industrializado) - μ (Prueba de Proceso Inicial)				
Diferencia Estimada: 0.01990				
95% Límite Inferior para la Diferencia: 0.00819				
Prueba T de la Diferencia = 0 (vs >): T-Valor = 2.81 P-Valor = 0.003 DF = 169				

5.4 Resultados con aplicación del modelo de proceso industrializado en distancia 13 +/-1 (mm).

El análisis inicial de los resultados obtenidos del nuevo proceso industrializado para maquinado en serie de partes médicas en la empresa Ossur de México para la manufactura del producto CTF Insert muestra un comportamiento estable en las dimensiones obtenidas durante el maquinado de la distancia de 13 +/-1 (mm), cuyo análisis estadístico arroja resultados de 2.26 en C_p y 1.82 en C_{pk} .

Tabla 8.- Resultados de medición inserto CTF en distancia 13 +/-1 mm.
Fuente: Elaboración Propia

Muestra	Valor de Medición																
1	12.985	21	12.982	41	12.978	61	12.97	81	12.988	101	12.989	121	12.987	141	12.978	161	12.989
2	12.989	22	12.969	42	12.989	62	12.969	82	12.987	102	12.985	122	12.97	142	12.991	162	12.985
3	13.028	23	12.963	43	13.028	63	12.967	83	12.97	103	12.988	123	12.962	143	12.989	163	12.988
4	12.994	24	12.988	44	12.994	64	12.984	84	12.962	104	12.987	124	12.978	144	12.989	164	12.987
5	12.989	25	12.962	45	12.989	65	12.975	85	12.978	105	12.97	125	12.994	145	12.985	165	12.97
6	12.998	26	12.97	46	12.994	66	12.978	86	12.989	106	12.97	126	12.989	146	12.988	166	12.987
7	12.962	27	12.969	47	12.989	67	12.991	87	13.028	107	12.969	127	12.998	147	12.987		
8	12.976	28	12.967	48	12.998	68	12.989	88	12.994	108	12.967	128	12.962	148	12.97		
9	12.978	29	12.984	49	12.962	69	12.989	89	12.989	109	12.984	129	12.976	149	12.962		
10	12.991	30	12.975	50	12.976	70	12.985	90	12.998	110	12.975	130	12.988	150	12.978		
11	12.989	31	12.989	51	12.962	71	12.988	91	12.97	111	12.978	131	12.987	151	12.97		
12	12.989	32	12.989	52	12.976	72	12.987	92	12.969	112	12.991	132	12.97	152	12.969		
13	12.985	33	12.985	53	12.978	73	12.97	93	12.967	113	12.989	133	12.962	153	12.967		
14	12.988	34	12.988	54	12.991	74	12.962	94	12.984	114	12.989	134	12.978	154	12.984		
15	12.987	35	12.987	55	12.989	75	12.978	95	12.975	115	12.985	135	12.991	155	12.975		
16	12.97	36	12.97	56	12.985	76	12.989	96	12.994	116	12.988	136	12.989	156	12.97		
17	12.962	37	12.962	57	12.988	77	13.028	97	12.989	117	12.987	137	12.962	157	12.969		
18	12.978	38	12.978	58	12.987	78	12.994	98	12.998	118	12.97	138	12.976	158	12.967		
19	12.954	39	12.97	59	12.97	79	12.989	99	12.962	119	12.962	139	12.978	159	12.984		
20	12.98	40	12.969	60	12.969	80	12.998	100	12.976	120	12.978	140	12.991	160	12.975		

Distancia 13.00 +/-1 (mm)	
Posición en Dibujo	E6
Herramienta de Medición	CMM
Valor Máximo	13.028
Valor Mínimo	12.954
Promedio	12.98
Desviación estándar	0.015
Rango	0.0734
C_p	2.26
C_{pk}	1.82

Los resultados obtenidos del nuevo proceso industrializado para maquinado en serie de partes médicas en la empresa Ossur de México para la manufactura del producto CTF Insert muestra un comportamiento estable en las dimensiones obtenidas durante el maquinado de los modelos, como se muestra en la figura 11.

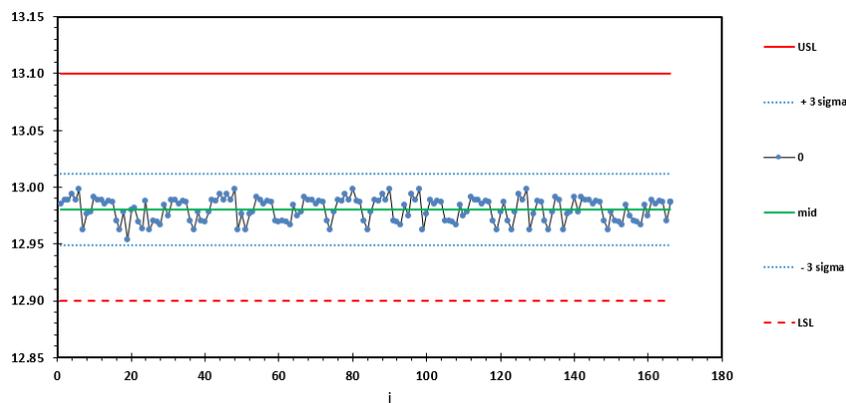


Figura 11.- Prueba de comportamiento entre límite superior e inferior de tolerancia en distancia 13 +/-1 (mm).
Fuente: Elaboración Propia.

El intervalo de confianza al 95% obtenido al someter los resultados de los valores de medición antes del proceso industrializado, este dado por la fórmula:

$$\left(\bar{x} - z_{\alpha} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \bar{x} + z_{\alpha} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right)$$

Donde:

X = Media

Z = Valor Crítico de la distribución Normal

N= Tamaño de la Muestra

σ = Desviación Estándar

$$\left(12.98 - 1.96 \frac{.015}{\sqrt{166}}, 12.98 + 1.96 \frac{0.015}{\sqrt{166}} \right)$$

$$= (12.9777, 12.9822)$$

El intervalo de confianza calculado es de (12.9777 mm, 12.9822 mm), dada media resultante de la prueba de medición oscilará entre ese rango con un 95% de confianza dentro de los valores del promedio en mm.

5.5 Prueba T de dos Muestras Resultados de Proceso Industrializado vs Proceso Inicial en distancia 13+-1 (mm).

Los resultados obtenidos del proceso inicial antes de ser sometido al proceso industrializado vs los resultados obtenidos ya implementado el proceso industrializado arrojan un P Valor: 0.000, rechazando con esto la hipótesis nula y asumiendo la hipótesis alternativa definida en el análisis estadístico en Minitab de la existencia de diferencia significativa entre ambos, demostrando la selección adecuada del proceso industrializado y obteniendo resultados favorables con una mejoría en al menos 29% en su desviación estándar contribuyendo esto a un valor superior de C_p y C_{pk} .

Tabla 9.- Prueba T de dos Muestra de Prueba de proceso industrializado vs Proceso Inicial en distancia 13 +-1 mm.

Fuente: Elaboración Propia.

	N (piezas)	Media 13+-1 (mm)	Desviación Std	SE Media
Resultados Prueba de Proceso Industrializado	166	12.9811	0.0128	0.00099
Resultados Prueba de Proceso inicial	166	12.9955	0.0448	0.0035
Diferencia = μ (Prueba de proceso industrializado) - μ (Prueba de Proceso Inicial)				
Diferencia Estimada: 0.01436				
95% Límite Inferior para la Diferencia: 0.000				
Prueba T de la Diferencia = 0 (vs >): T-Valor = 3.98 P-Valor = 0.003 DF = 191				

5.6 Resultados con aplicación del modelo de proceso industrializado en medida 13+-1(mm).

El análisis inicial de los resultados obtenidos del nuevo proceso industrializado para maquinado en serie de partes médicas en la empresa Ossur de México para la manufactura del producto CTF Insert muestra un comportamiento estable en las dimensiones obtenidas durante el maquinado de la distancia de 13 +-1 (mm), cuyo análisis estadístico arroja resultados de 1.91 en Cp y 1.74 en Cpk.

Tabla 10.- Resultados de medición en inserto CTF en distancia 13 +-1 mm.

Fuente: Elaboración Propia

Muestra	Valor de Medición																
1	12.999	21	13.018	41	13.036	61	12.999	81	13.029	101	13.014	121	13.036	141	13.036	161	13.014
2	13.029	22	13.022	42	13.014	62	13.007	82	12.958	102	13.016	122	13.014	142	13.014	162	13.016
3	12.958	23	13.048	43	13.018	63	13.012	83	12.992	103	13.018	123	13.016	143	12.999	163	13.018
4	12.992	24	13.021	44	13.004	64	13.023	84	12.995	104	13.004	124	13.018	144	13.007	164	13.004
5	12.995	25	13.014	45	12.999	65	13.036	85	12.987	105	13.013	125	13.004	145	13.012	165	13.013
6	12.987	26	13.016	46	13.007	66	13.036	86	13.004	106	13.018	126	13.021	146	13.023	166	12.994
7	13.024	27	13.018	47	13.012	67	13.014	87	12.999	107	13.004	127	13.014	147	13.036		
8	13.009	28	13.004	48	13.023	68	13.016	88	13.012	108	12.999	128	13.036	148	13.004		
9	13.011	29	13.013	49	13.036	69	13.018	89	13.023	109	13.007	129	13.014	149	12.999		
10	12.994	30	13.012	50	12.994	70	13.004	90	13.036	110	13.012	130	13.016	150	12.999		
11	12.995	31	13.023	51	13.024	71	12.999	91	13.036	111	13.023	131	13.018	151	13.007		
12	12.996	32	13.036	52	13.009	72	13.007	92	13.014	112	13.036	132	13.004	152	13.012		
13	12.999	33	13.036	53	13.011	73	13.012	93	12.994	113	13.029	133	12.994	153	13.023		
14	13.007	34	13.014	54	12.994	74	13.023	94	13.018	114	12.958	134	13.004	154	13.036		
15	13.012	35	13.021	55	12.995	75	13.036	95	13.004	115	12.992	135	12.999	155	13.014		
16	13.023	36	13.012	56	13.029	76	13.014	96	13.012	116	12.995	136	13.012	156	13.014		
17	13.036	37	13.023	57	12.958	77	13.016	97	13.023	117	12.987	137	13.023	157	13.016		
18	13.03	38	13.036	58	12.992	78	13.018	98	13.036	118	13.004	138	13.036	158	13.018		
19	13.015	39	13.036	59	12.995	79	13.004	99	13.036	119	13.018	139	13.036	159	13.004		
20	13.003	40	13.014	60	12.987	80	13.013	100	13.014	120	13.004	140	13.014	160	13.013		

Distancia 13.00 +-1 (mm)	
Posición en Dibujo	E6
Herramienta de Medición	CMM
Valor Máximo	13.048
Valor Mínimo	12.958
Promedio	13.009
Desviación estándar	0.017
Rango	0.0907
Cp	1.91
Cpk	1.74

Los resultados obtenidos del nuevo proceso industrializado para maquinado en serie de partes médicas en la empresa Ossur de México para la manufactura del producto CTF Insert muestra un comportamiento estable en las dimensiones obtenidas durante el maquinado de los modelos, como se muestra en la figura 12.

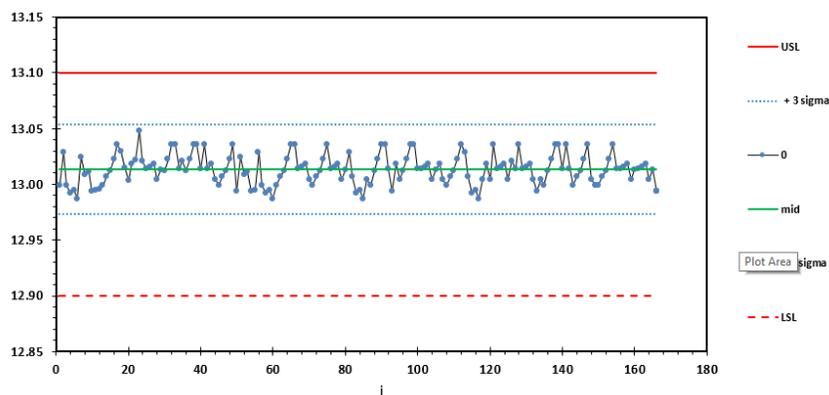


Figura 12.- Prueba de comportamiento entre límite superior e inferior de tolerancia en distancia 13 +-1 (mm).

Fuente: Elaboración Propia

El intervalo de confianza al 95% obtenido al someter los resultados de los valores de medición antes del proceso industrializado, este dado por la fórmula:

$$\left(\bar{X} - Z_{\alpha} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \bar{X} + Z_{\alpha} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right)$$

Donde:

X = Media

Z = Valor Crítico de la distribución Normal

N= Tamaño de la Muestra

σ = Desviación Estándar

$$\left(13.009 - 1.96 \frac{.017}{\sqrt{166}}, 13.009 + 1.96 \frac{0.017}{\sqrt{166}} \right)$$

$$= (13.0064, 13.0115)$$

El intervalo de confianza calculado es de (13.0064 mm, 13.0115 mm), dada media resultante de la prueba de medición oscilará entre ese rango con un 95% de confianza. Dentro de los valores del promedio en mm.

5.7 Prueba T de dos Muestras Resultados de Proceso Industrializado vs Proceso Inicial en medida 13 +/- .1 (mm).

Los resultados obtenidos del proceso inicial antes de ser sometido al proceso industrializado vs los resultados obtenidos ya implementado el proceso industrializado arrojan un P Valor: 0.000, rechazando con esto la hipótesis nula y asumiendo la hipótesis alternativa definida en el análisis estadístico en Minitab de la existencia de diferencia significativa entre ambos, demostrando la selección adecuada del proceso industrializado y obteniendo resultados favorables con una mejoría en al menos 41% en su desviación estándar contribuyendo esto a un valor superior de C_p y C_{pk} .

Tabla 11.- Prueba T de dos Muestra de Prueba de proceso industrializado vs Proceso Inicial en distancia 13 +/- .1 mm.

Fuente: Elaboración Propia.

	N (piezas)	Media (13 +/- .1)	Desviación Std	SE Media
Resultados Prueba de Proceso Industrializado	166	12.9911	0.0228	0.00099
Resultados Prueba de Proceso inicial	166	12.9955	0.0548	0.0035
Diferencia = μ (Prueba de proceso industrializado) - μ (Prueba de Proceso Inicial)				
Diferencia Estimada: 0.01436				
95% Límite Inferior para la Diferencia: 0.000				
Prueba T de la Diferencia = 0 (vs >): T-Valor = 3.98 P-Valor = 0.000 DF = 191				

5.8 Resultados con aplicación del modelo de proceso industrializado en medida 26 -.05 (mm).

El análisis inicial de los resultados obtenidos del nuevo proceso industrializado para maquinado en serie de partes médicas en la empresa Ossur de México para la manufactura del producto CTF Insert muestra un comportamiento estable en las dimensiones obtenidas durante el maquinado de la distancia de 26 -.05 (mm), cuyo análisis estadístico arroja resultados de 3.28 en C_p y 1.68 en C_{pk} .

Tabla 12.- Resultados de medición en inserto CTF en distancia 26 -.05 mm.
Fuente: Elaboración Propia

Muestra	Valor de Medición																
1	25.985	21	25.984	41	25.984	61	25.985	81	25.986	101	25.985	121	25.985	141	25.983	161	25.985
2	25.988	22	25.985	42	25.985	62	25.982	82	25.987	102	25.986	122	25.982	142	25.986	162	25.988
3	25.985	23	25.985	43	25.982	63	25.985	83	25.985	103	25.985	123	25.985	143	25.987	163	25.985
4	25.986	24	25.985	44	25.985	64	25.985	84	25.982	104	25.988	124	25.982	144	25.985	164	25.986
5	25.984	25	25.984	45	25.982	65	25.985	85	25.984	105	25.985	125	25.985	145	25.985	165	25.984
6	25.985	26	25.983	46	25.985	66	25.988	86	25.985	106	25.982	126	25.985	146	25.982	166	25.985
7	25.986	27	25.986	47	25.985	67	25.985	87	25.982	107	25.985	127	25.985	147	25.985		
8	25.986	28	25.987	48	25.985	68	25.986	88	25.985	108	25.985	128	25.988	148	25.985		
9	25.989	29	25.985	49	25.988	69	25.984	89	25.982	109	25.986	129	25.985	149	25.986		
10	25.985	30	25.982	50	25.985	70	25.985	90	25.985	110	25.985	130	25.986	150	25.985		
11	25.985	31	25.984	51	25.986	71	25.985	91	25.985	111	25.984	131	25.984	151	25.988		
12	25.984	32	25.985	52	25.984	72	25.982	92	25.985	112	25.985	132	25.985	152	25.985		
13	25.985	33	25.982	53	25.985	73	25.985	93	25.988	113	25.985	133	25.982	153	25.986		
14	25.982	34	25.985	54	25.986	74	25.985	94	25.985	114	25.982	134	25.986	154	25.984		
15	25.985	35	25.985	55	25.985	75	25.986	95	25.986	115	25.985	135	25.987	155	25.985		
16	25.985	36	25.985	56	25.988	76	25.984	96	25.984	116	25.985	136	25.985	156	25.985		
17	25.986	37	25.988	57	25.985	77	25.983	97	25.985	117	25.986	137	25.982	157	25.982		
18	25.987	38	25.985	58	25.982	78	25.986	98	25.984	118	25.984	138	25.984	158	25.985		
19	25.986	39	25.986	59	25.985	79	25.987	99	25.985	119	25.985	139	25.985	159	25.985		
20	25.983	40	25.984	60	25.985	80	25.985	100	25.985	120	25.986	140	25.982	160	25.986		

Distancia 26 -.05 (mm)	
Posición en Dibujo	D1
Herramienta de Medición	CMM
Valor Máximo	25.989
Valor Mínimo	25.983
Promedio	25.985
Desviación estándar	0.001
Rango	0.0061
C_p	3.28
C_{pk}	1.68

Los resultados obtenidos del nuevo proceso industrializado para maquinado en serie de partes médicas en la empresa Ossur de México para la manufactura del producto CTF Insert muestra un comportamiento estable en las dimensiones obtenidas durante el maquinado de los modelos, como se muestra en la figura 13.

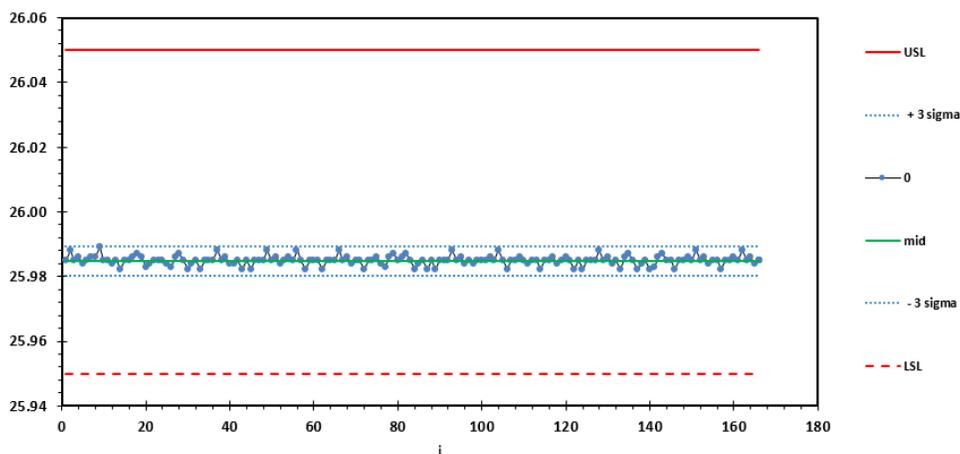


Figura 13.- Prueba de comportamiento entre límite superior e inferior de tolerancia en distancia 26 -.05 (mm).
Fuente: Elaboración Propia.

El intervalo de confianza al 95% obtenido al someter los resultados de los valores de medición antes del proceso industrializado, este dado por la fórmula:

$$\left(\bar{X} - z_{\alpha} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \bar{X} + z_{\alpha} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right)$$

Donde:

X = Media

Z = Valor Crítico de la distribución Normal

N= Tamaño de la Muestra

σ = Desviación Estándar

$$\left(25.985 - 1.96 \frac{0.001}{\sqrt{166}}, 25.985 + 1.96 \frac{0.001}{\sqrt{166}} \right)$$

$$= (25.9848, 25.9851)$$

El intervalo de confianza calculado es de (25.9848 mm, 25.9851 mm), dada media resultante de la prueba de medición oscilará entre ese rango con un 95% de confianza. Dentro de los valores del promedio en mm.

5.9 Prueba T de dos Muestras Resultados de Proceso Industrializado vs Proceso Inicial en medida 26 -.05 (mm).

Los resultados obtenidos del proceso inicial antes de ser sometido al proceso industrializado vs los resultados obtenidos ya implementado el proceso industrializado arrojan un P Valor: 0.002, rechazando con esto la hipótesis nula y asumiendo la hipótesis alternativa definida en el análisis estadístico en Minitab de la existencia de diferencia significativa entre ambos, demostrando la selección adecuada del proceso industrializado y obteniendo resultados favorables con una mejoría en al menos 49% en su desviación estándar contribuyendo esto a un valor superior de C_p y C_{pk} .

Tabla 13.- Prueba T de dos Muestra de Prueba de proceso industrializado vs Proceso Inicial en distancia 26 -.05 mm.

Fuente: Elaboración Propia.

	N (partes)	Media (26 -.05)	Desviación Std	SE Media
Resultados Prueba de Proceso Industrializado	166	25.9849	0.0058	0.00084
Resultados Prueba de Proceso inicial	166	25.975	0.0104	0.00012
Diferencia = μ (Prueba de proceso industrializado) - μ (Prueba de Proceso Inicial)				
Diferencia Estimada: 0.0018				
95% Límite Inferior para la Diferencia: 0.000				
Prueba T de la Diferencia = 0 (vs >): T-Valor = 3.98 P-Valor = 0.002 DF = 191				

El intervalo de confianza al 95% obtenido al someter los resultados de los valores de medición antes del proceso industrializado, este dado por la fórmula:

$$\left(\bar{X} - z_{\alpha} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \bar{X} + z_{\alpha} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right)$$

Donde:

X = Media

Z = Valor Crítico de la distribución Normal

N= Tamaño de la Muestra

σ = Desviación Estándar

$$\left(44.999 - 1.96 \frac{0.037}{\sqrt{166}}, 44.999 + 1.96 \frac{0.037}{\sqrt{166}} \right)$$

$$= (44.9933, 45.0046)$$

El intervalo de confianza calculado es de (44.9933 mm, 45.0046 mm), dada media resultante de la prueba de medición oscilará entre ese rango con un 95% de confianza. Dentro de los valores del promedio en mm.

5.11 Prueba T de dos Muestras Resultados de Proceso Industrializado vs Proceso Inicial en distancia 45 +- .3 (mm).

Los resultados obtenidos del proceso inicial antes de ser sometido al proceso industrializado vs los resultados obtenidos ya implementado el proceso industrializado arrojan un P Valor: 0.000, rechazando con esto la hipótesis nula y asumiendo la hipótesis alternativa definida en el análisis estadístico en Minitab de la existencia de diferencia significativa entre ambos, demostrando la selección adecuada del proceso industrializado y obteniendo resultados favorables con una mejoría en al menos 41% en su desviación estándar contribuyendo esto a un valor superior de C_p y C_{pk} .

Tabla 15.- Prueba T de dos Muestra de Prueba de proceso industrializado vs Proceso Inicial en distancia 45 +- .3 mm.

Fuente: Elaboración Propia.

	N (piezas)	Media (45+- .3)	Desviación Std	SE Media
Resultados Prueba de Proceso Industrializado	166	44.92	0.251	0.019
Resultados Prueba de Proceso inicial	166	45.013	0.210	0.016
Diferencia = μ (Prueba de proceso industrializado) - μ (Prueba de Proceso Inicial)				
Diferencia Estimada: 0.0912				
95% Límite Inferior para la Diferencia: 0.0493				
Prueba T de la Diferencia = 0 (vs >): T-Valor = 3.59 P-Valor = 0.002 DF = 319				

Capítulo 6. Discusión de los Resultados

La creación de un modelo de proceso industrializado para maquinado en serie en la empresa Ossur de México mostró una reducción del 42% los defectos detectados durante el año 2019 (Tabla 2) comparado con los defectos detectados durante el 2018 en el producto CTF Inserts en corridas de 166 piezas para seis números de parte, obteniendo valores superiores a 1.67 en el análisis estadístico de los valores C_p y C_{pk} (tablas 6,7,8,9 y 10).

La comparación de los resultados obtenidos en el modelo de proceso inicial para maquinado en serie de partes médicas y el modelo industrializado mostraron una reducción cumpliendo así con el objetivo del 20% de la sección 3.4. Los defectos detectados durante el año 2018 en corridas de 166 piezas (720 defectos), el resultado evaluado mediante un método estadístico obteniendo un valor C_p y C_{pk} con resultados mayores al referencial de 1.33 superando el mínimo aceptable industrial en todas las dimensiones de la parte, sin permitir demostrar la hipótesis nula y asumiendo la hipótesis alternativa.

El análisis de los resultados obtenidos en el nuevo proceso de manufactura del producto CTF inserts, muestra el cumplimiento de los valores C_p y C_{pk} (≥ 1.67) en las corridas para los productos CTF30006, CTF30007, CTF30008, CTF30009, CTF30010 y CTF30012. Demostrando de esta forma contar con el proceso adecuado para su manufactura. Los hallazgos de C_p y C_{pk} en el rango de 1.68 a 2.89 y la reducción de los defectos en un 42% permitieron presentar las siguientes conclusiones.

Capítulo 7. Conclusiones

Un proceso industrializado evaluando estadísticamente las siete dimensiones críticas de una población de seis números de parte en lotes de 166 partes cumplió con el valor mínimo de 1.67 en su C_p y C_{pk} , por lo tanto, las conclusiones fueron:

Los resultados de C_p con un rango de 1.86 a 2.89 en todas las dimensiones y un intervalo de confianza al 95% para C_p 1.86 (3.9886 mm,3.9913 mm), C_p 2.26 (12.9777 mm,12.9822 mm), C_p 1.91 (13.0064 mm,13.0115 mm), C_p 3.28 (25.9848 mm,25.9851 mm), C_p 2.89 (44.9933 mm,45.0046 mm) de los 6 números redujo los defectos del 20% buscado a un 42% traducido a 303 piezas defectuosas durante el 2019 de las 720 defectuosas producidas durante el 2018 (Tabla 2).

Los resultados de C_{pk} con un rango de 1.68 a 2.7 en todas las dimensiones y un intervalo de confianza al 95% para C_p 1.73 (3.9886 mm,3.9913 mm), C_p 1.82 (12.9777 mm,12.9822 mm), C_p 1.74 (13.0064 mm,13.0115 mm), C_p 1.68 (25.9848 mm,25.9851 mm), C_p 2.7 (44.9933 mm,45.0046 mm) de los 6 números redujo los defectos del 20% buscado a un 42% traducido a 303 piezas defectuosas durante el 2019 de las 720 defectuosas producidas durante el 2018 (Tabla 2).

La recomendación para la investigación futura es extender el tamaño de la población para el análisis de los modelos del proceso industrializado en cualquier lote de producción.

Lista de Referencia Bibliográficas.

Carrasco J., Mallorquín S. (2015). *Prácticas y procesos de taller de mecanizado, Fabricación por arranque de viruta*. México: Alfaomega pp.42-66.

Ferre, R. (1988). *Fabricación asistida por computador-CAM*. España: Marcombo. Pág. 420.

Garr tool. (2012). *Cutting parameters recommendations for High Speed Milling*. Indiana Massachusetts: Garr tools. Recuperado de <https://www.garrtool.com/doc/pdf/TECHNICAL.pdf>.

Gonzalez F., Meseguer M. (2015). *Planificación de procesos de mecanizado*. España: Universitat Politècnica de Valencia pp.15-20.

Gonzalez, G. (2017). *Gráficos de control y Capacidad de proceso*. Monterrey, MX: IIS/MIP. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=EboiiXwVC0o>.

Groover M. (2007). *Fundamentos de manufactura moderna*. México: McGraw-Hill pp. 20-25.

Guerrero, J. (2017). *Capacidad del Proceso (Cp-Cpk)*. Distrito Federal, MX: Leanroots. Recuperado de <https://www.leanroots.com/wordpress/2017/10/11/capacidad-del-proceso-cp-cpk-cpm-cpkm/>.

Heidenhain (2003). *Manual de lenguaje conversacional Heidenhain para controlador iTNC 530 Versión 2, Heidenhain iTNC 530*. Alemania: Dr. Johannes Heidenhain. Pág. 20-25.

Herrin G. (1998). *Industry Honors the Inventor of NC*. New York: Modern Machine Shop. Recuperado de <https://www.mmsonline.com/columns/industry-honors-the-inventor-of-nc>.

Izar cutting tools. (2017). *Parámetros de corte broca HSS*. Phoenix, EU: Izar cutting tools. Recuperado de <http://www.izartool.com/es/catalogos/catalogo-industrial/taladro/brocas-mangocilindrico/1013/33112-1>.

Kalpakjian, S. (2015). *Manufactura, ingeniería y tecnología*, 5 Ed. México: Prentice Hall. Pág.365.

Madison, J. (1996). *CNC Machining Handbook (First Edition)*. New York: Industrial Press Inc. pp.5-8.

Marañón, J. (2013). *Nuevas tecnologías de mecanizado*. Madrid: Interempresas. Recuperado de <https://www.interempresas.net/MetalMecánica/Articulos/108953-Nuevas-tecnologías-de-mecanizado.html>.

HDBK-17-1F, M. H. (2002). *Composite Materials Handbook, Volume 1 - Polymer Matrix Composites Guidelines for Characterization of Structural Materials*. United States of America: Department of Defense.

Millan, G. (2012). *Fabricación por arranque de viruta (1era Edición)*. Madrid: Ediciones Paraninfo pp. 7-8.

Niebel B. (1997). *Ingeniería industrial*. 9ª. ed. México: Ed. Alfa Omega pp. 45-60.

Patxi, Aldabaldetrecu. (2002). *Evolución técnica de la máquina-herramienta*. Reseña histórica. Madrid: Interempresas. Recuperado de <https://www.interempresas.net/MetalMecánica/Articulos/1435-Evolución-técnica-de-la-máquina-herramienta-Reseña-histórica.html>.

Peters J. (2018). *Introducción al Control Numérico Computarizado (CNC)*. San Francisco, EU: Casiopea. Recuperado de [https://wiki.ead.pucv.cl/Introducci%C3%B3n_al_control_num%C3%A9rico_computarizado_\(CNC\)](https://wiki.ead.pucv.cl/Introducci%C3%B3n_al_control_num%C3%A9rico_computarizado_(CNC)).

Reyes R. (2017). *Validación de procesos como herramienta de mejora continua*. Monterrey Mx.: Investigación de desarrollo e Innovación. Recuperado de <http://www.oqa.org.gt/images/files/File/Rreyes.pdf>.

Sandvik. (2017). *Machining training handbook*. Nueva York, EU. Sandvik. Recuperado de http://sandvik.ecbook.se/se/es/training_handbook/.

Smid, P. (2003). *CNC Programming Handbook (2nd Edition)*. New York: Industrial Press Inc pp.1-6.

Valentino J., Goldenberg J. (2013). *Introduction to Computer Numerical Control (CNC)*. New York: Pearson pp.1-5.

Vilar, J. (2005). *Control estadístico de los procesos (SPC)*. Madrid: FC Editorial. Pág.45.