



TECNOLÓGICO DE ESTUDIOS SUPERIORES DE JOCOTITLÁN

Optimización del proceso de maquinado en tornos multihusillo
usando insertos de forma

Que para obtener el título de:

Maestro en Ingeniería

Presenta:

Dorian Martínez Rubio

En la Opción:

Tesis Profesional

Asesor:

M. en C. Israel Becerril Rosales

Co-Asesor:

M. en I. Sergio Vázquez Aranda

Jocotitlán, Estado de México; Julio de 2022

Índice

	Pág.
Índice	2
Índice de figuras	5
Índice de tablas	7
Agradecimiento.....	8
Abstract	9
Resumen	10
Introducción.....	11
Planteamiento del problema	12
Objetivo General	13
Objetivos específicos	14
Capítulo 1 Marco Teórico.....	15
1.1 Torneado.....	15
1.2 Máquina multihusillos	15
1.3 Ejemplo de fabricación de una pieza en una máquina Acme-Gridley de 8 Husillos	17
1.4 EDM (Mecanizado por electrodescarga)	20
1.4.1 Mecanismo de proceso	21
1.4.2 Monitoreo y control del espacio de chispa	21
1.4.3 Electrodo.....	22
1.4.4 Medio dieléctrico y enjuague.....	22
1.4.5 Integridad de la superficie (acabado).....	23
1.5 EDM De hilo	24
1.5.1 ¿Por qué usar EDM?.....	24
1.6 Mecanizado de descarga eléctrica versus otros procesos de mecanizado	26
1.7 AutoCAD®.....	27
1.7.1 ¿Para qué se utiliza AutoCAD®?	27
1.8 Edgecam®	28
1.9 Método de solución de problemas	28
1.9.1 Describir el problema	28
1.9.2 Entender las necesidades y requerimientos.....	31
1.9.3 Utilizar un equipo de enfoque.....	33
1.9.4 Identificar las causas potenciales	34
1.9.5 Recopilar y analizar datos.....	35

1.9.6 Identificar alternativas y seleccionar acciones correctivas	36
1.9.7 Preparar un plan de acción.....	37
1.9.8 Conseguir apoyo y soporte	38
1.9.9 Implementar las acciones seleccionadas	39
1.9.10 Medición, monitoreo y control de los resultados	40
Capítulo 2 Metodología	41
2.1 Optimización del proceso de maquinado en tornos multihusillo usando insertos de forma	41
2.2 Reducción del tiempo ciclo de maquinado	42
2.3 Disminución de tiempo muerto por reafilado de herramientas	42
Capítulo 3 Desarrollo.....	43
3.1 Métrico de tiempo muerto	43
3.2 Mapa de valor actual (VSM)	44
3.3 Equipo de enfoque.....	49
3.4 Identificar las causas potenciales.....	50
3.5 Método de priorización F.O.G.....	52
3.6 Plan de acción.....	53
3.7 Reunión con todos los involucrados del proyecto	53
3.8 Implementar las acciones seleccionadas	53
3.9 Revisión de información técnica (planos, especificaciones, manuales).....	53
3.10 Proceso de fabricación de herramienta de forma: Milano	55
3.11 Proceso de afilado de milano	58
3.12 Fabricación de herramientas	59
3.12.1 Diseño general de herramientas: Insertos	59
3.13 Diseño de herramientas, definición de geometría de cada inserto por posición	62
3.13.1 Herramientas de aproximado	63
3.13.2 Herramientas de acabado.....	63
3.14 Generar código NC.....	65
3.15 Configuración de software.....	65
3.16 Cargar archivo con el perfil del inserto.....	66
3.17 Definir cero pieza y cero máquina.....	67
3.18 Cargar el post procesador	72
3.19 Secuencia de programación	72
3.20 Simulación de rutina de corte	78
3.21 Generar código NC.....	79

3.22 Cargar archivos a máquina EDM.....	79
3.23 Proceso de fabricación de herramienta de forma: inserto	81
3.24 Proceso de fabricación del respaldo (anvil) del inserto	83
3.25 Comparación entre un milano y un inserto.....	84
Resultados.....	85
Conclusiones.....	87
Referencias	88
Anexos.....	91
Anexo A. Características de máquina de electroerosión EDM MV1200R.....	91
Anexo B. Referencia de E-pack para corte de acero.....	92
Anexo C. Referencia de E-pack para corte de carburo.....	93
Anexo D. Principales códigos usados en EDM Mitsubishi	94
Anexo E. Código NC para EDM Mitsubishi	95
Anexo F. Tabla de engranes para máquina multihusillo Acme 1-1/4 RB8.....	99
Anexo G. Referencia de SFM usadas en proceso de torneado	100
Anexo H. Inserto Posición 8.....	101
Anexo I. Inserto Posición 1	102
Anexo J. Inserto posición 2	103
Anexo K. Inserto posición 3	104
Anexo L. Ensamble de inserto posición 8	105
Anexo M. Ensamble de inserto posición 1	106
Anexo N. Ensamble de inserto posición 2.....	107
Anexo O. Ensamble de inserto posición 3.....	108
Anexo P. Layout antes de la optimización (milanos)	109
Anexo Q. Layout después de la optimización (insertos)	110
Anexo R. Constancia de satisfacción.....	111

Índice de figuras

	Pág.
Figura 1. Torneado externo	15
Figura 2. Máquina multihusillos	16
Figura 3. Movimientos en máquina multihusillos	16
Figura 4. Interacción de portaherramientas en una máquina multihusillos	17
Figura 5. Posiciones de herramientas en máquina multihusillos	20
Figura 6. Ejemplo de maquinados en EDM de hilo	24
Figura 7. Componentes básicos para una máquina EDM de hilo	25
Figura 8. Corte en máquina EDM de hilo	27
Figura 9. Describir el problema	29
Figura 10. Diagrama de Pareto	31
Figura 11. Entender las necesidades y requerimientos	31
Figura 12. Ejemplo de cuadro de mapa de flujo de valor	32
Figura 13. Utilizar un equipo de enfoque	33
Figura 14. Identificar las causas potenciales	34
Figura 15. Diagrama de causa y efecto	35
Figura 16. Recopilar y analizar datos	36
Figura 17. Identificar alternativas y seleccionar acciones correctivas	37
Figura 18. Preparar un plan de acción	38
Figura 19. Aprobación del plan por parte del líder	39
Figura 20. Implementar acciones seleccionadas	39
Figura 21. Medición, monitoreo y control de resultados	40
Figura 22. Métrico de causas de paro	44
Figura 23. Causas principales de paro	44
Figura 24. Value Stream Map de área de maquinado	45
Figura 25. Value Stream Map de área de maquinado, áreas de oportunidad	49
Figura 26. Value Stream Map de área de maquinado, detalle de máquinas	49
Figura 27. Diagrama de causa y efecto	52
Figura 28. Causas probables de tiempo muerto	53
Figura 29. Plan de acción	55
Figura 30. Proceso de fabricación de milano	56
Figura 31. Herramienta milano	56
Figura 32. Proceso de fabricación de un milano	58
Figura 33. Reafilado de milano	58
Figura 34. Definición de layers	60
Figura 35. Geometría de pieza a fabricar	61
Figura 36. Definición de ceros	61
Figura 37. Ubicación de perfil de la pieza	62
Figura 38. Perfil de inserto para aproximar 8va Posición, físico vs teórico	63
Figura 39. Perfil de inserto para acabado 1er Posición, físico vs teórico	64
Figura 40. Perfil de inserto para acabado 2a Posición, físico vs teórico	64
Figura 41. Perfil de inserto para acabado 3er Posición, físico vs teórico	65
Figura 42. Seleccionar archivo: File\Open	66
Figura 43. Visualizar geometría: Zoom to the extents	67
Figura 44. Geometría de inserto	67
Figura 45. Cero pieza diferente del cero máquina	68

<i>Figura 46. Menu Translate</i>	<i>68</i>
<i>Figura 47. Selección de perfil a trasladar</i>	<i>69</i>
<i>Figura 48. Especificar Punto de origen</i>	<i>70</i>
<i>Figura 49. Especificar Punto de destino</i>	<i>70</i>
<i>Figura 50. Especificar Punto de origen, X, Y</i>	<i>71</i>
<i>Figura 51. Cero pieza y cero máquina</i>	<i>71</i>
<i>Figura 52. Cargar el post procesador</i>	<i>72</i>
<i>Figura 53. Punto más cercano a línea de centros</i>	<i>73</i>
<i>Figura 54. Encabezado del programa y ángulo de corte</i>	<i>74</i>
<i>Figura 55. Información de la herramienta</i>	<i>74</i>
<i>Figura 56. Límites en eje X</i>	<i>75</i>
<i>Figura 57. Límites en eje Y</i>	<i>75</i>
<i>Figura 58. Ciclo de desbaste</i>	<i>76</i>
<i>Figura 59. Trayectoria de desbaste</i>	<i>77</i>
<i>Figura 60. Ciclo de acabado</i>	<i>77</i>
<i>Figura 61. Trayectoria de acabado</i>	<i>78</i>
<i>Figura 62. Simulación de proceso de corte</i>	<i>79</i>
<i>Figura 63. Generar código NC</i>	<i>79</i>
<i>Figura 64. Código NC para máquina MV1200R</i>	<i>80</i>
<i>Figura 65. Placas de carburo y máquina MV1200R</i>	<i>81</i>
<i>Figura 66. Proceso de fabricación de un inserto</i>	<i>82</i>
<i>Figura 67. Corte de insertos, mecanizado con alambre de latón de 0.010 in</i>	<i>83</i>
<i>Figura 68. Ángulo de corte 17°</i>	<i>83</i>
<i>Figura 69. Inserto Vs Anvil</i>	<i>84</i>
<i>Figura 70. Milano Vs Inserto</i>	<i>84</i>

Índice de tablas

	Pág.
<i>Tabla 1. 8ª Posición máquina multihusillos.....</i>	<i>17</i>
<i>Tabla 2. 1ª Posición máquina multihusillos.....</i>	<i>18</i>
<i>Tabla 3. 2ª Posición máquina multihusillos.....</i>	<i>18</i>
<i>Tabla 4. 3ª Posición máquina multihusillos.....</i>	<i>18</i>
<i>Tabla 5. 4ª Posición máquina multihusillos.....</i>	<i>18</i>
<i>Tabla 6. 5ª Posición máquina multihusillos.....</i>	<i>19</i>
<i>Tabla 7. 6ª Posición máquina multihusillos.....</i>	<i>19</i>
<i>Tabla 8. 7ª Posición máquina multihusillos.....</i>	<i>19</i>
<i>Tabla 9. Metodología, etapas.....</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 10. Resumen de tiempo muerto anual.....</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 11. Integrantes del equipo de enfoque.....</i>	<i>50</i>
<i>Tabla 12. Características del alambre de latón.....</i>	<i>65</i>

Agradecimiento

El desarrollo de esta tesis no fue fácil, principalmente por la poca disponibilidad de tiempo, mismo que deje de compartir con mi esposa e hija, agradezco a ambas por ser mi inspiración al buscar superarme profesionalmente.

A mis asesores Mtro. Israel Becerril Rosales, Mtro. Daniel Maldonado Onofre, Mtro. Elías González Miranda y al Mtro. Sergio Vázquez Aranda por el apoyo brindado en la finalización de este proyecto.

Gracias a la vida por este nuevo triunfo, gracias a todas las personas que me apoyaron y creyeron en la realización de esta tesis.

Finalmente agradezco a quien pueda leer este trabajo y permitir transmitir mis experiencias, investigaciones y conocimiento.

Abstract

This document is an example of insertooling implementation for a metal-mechanical company that uses multi spindle machines for the manufacture of pieces, the improvement was making without high investment cost and without any rebuilding process for machine. Implementation is achieved using lean manufacturing tools.

For mass production, multi-spindle machine is preferred because their output is six to eight times higher than what a single lathe machine can produce.

When the implementation of form inserts were accomplished, downtime was reduced as a primary goal, but a value added benefit was the reduction of cycle time for machining by changing the cutting tool made of steel to another material with higher performance such as carbide.

Software used for the design of the inserts was AutoCAD® and Edgecam® to generate the NC codes.

It is worth mentioning that the results obtained complied at all times with the company's policy, which is always to carry out value-added activities and continuous improvement to exceed customer requirements.

The methodology to solve the problem was structured in 10 steps, which the results were reached and the conclusions were described.

Resumen

El presente documento aborda el tema de implementación de insertos de forma en una empresa metal mecánica que utiliza máquinas multihusillos para la manufactura de piezas, un claro ejemplo de como eficientar el proceso de maquinado sin realizar un costo elevado de inversión y sin llegar a un proceso de reconstrucción mayor en las máquinas. La implementación se logra mediante el uso de herramientas de manufactura esbelta.

Para la producción en masa, se prefieren los tornos multihusillos debido a que su producción es de seis a ocho veces mayor en comparación con lo que puede ofrecerle una sola máquina de torno.

Al implementar los insertos de forma, se redujeron los tiempos muertos como primer objetivo, pero un beneficio agregado fue la reducción de los tiempos ciclos de maquinado debido al cambio de tecnología en las herramientas de corte, al cambiar la herramienta de corte fabricada en acero a otra de mayor desempeño como lo es el carburo.

El software que se utilizó para el diseño de los insertos fue AutoCAD® y Edgecam® para generar los códigos NC.

Cabe mencionar que los resultados obtenidos cumplieron en todo momento con la política de la empresa que es siempre realizar actividades de valor agregado y de mejora continua para exceder los requerimientos del cliente.

La metodología para darle solución al problema se estructuro en 10 pasos, con los cuales se obtuvieron los resultados y se describieron las conclusiones.

Introducción

La manufactura esbelta está estrechamente ligada con la mejora continua, y con la mejora del desempeño operacional [1-4]. Murugesan y Vinohd indican que el logro de una mayor eficiencia operacional lograda a través de la manufactura esbelta tiene una influencia significativa, positiva y directa en el logro de ventajas competitivas del negocio como calidad a la primera intención, reducción de tiempos de entrega e incremento de la productividad [1]. La mejora continua [2] aplicada a la manufactura es en esencia una filosofía que involucra de manera individual y a través de propuestas individuales de mejora (PIMs) o grupal a través de proyectos de mejora (PM), círculos de calidad, grupos pequeños o proyectos seis-sigma y a todo el personal de una organización. Desde la alta administración hasta los empleados de línea en la búsqueda interminable de niveles superiores en materia de calidad, costos, tiempos de entrega, flexibilidad, seguridad y moral de los empleados [3]. La característica primordial es que los esfuerzos de mejora pueden ser pequeños (Kaizen), dramáticos (Innovación) o la combinación de ambos, siempre y cuando dichos esfuerzos sean continuos, y es determinante para el éxito de la mejora continua incluyendo la manera activa, motivada y copiosa participación de los empleados. La condición determinante para el éxito de la mejora continua es el involucramiento y apoyos decididos de la alta administración, así como la ejecución de las actividades de mejora de manera sostenida [4] abundante y motivada del personal de manera individual a través de propuestas individuales o grupal por medio de proyectos de mejora interdisciplinarios. El concepto de reducir el tiempo de montaje y ajuste no es nuevo. Se originó a partir del trabajo del Dr. Shigeo Shingo quien satisfactoriamente redujo el tiempo de ajuste y montaje en las prensas en el sistema de producción de Toyota [5]. Y esto lo hizo sin comprar ningún equipo nuevo. Shingo se dio cuenta de que reducir el tiempo de ajustes y montajes es crítico para alcanzar una capacidad completa de producción. Y empezó a enfocarse en reducir el tiempo de montaje. Durante uno de sus estudios el afirmó que el tiempo de montaje de la última pieza buena a la primera pieza buena del siguiente montaje debe tomar menos de 10 minutos. Por lo tanto, nació el término “Single Minute Exchange of Dies” (SMED) [6]. En este proyecto se presenta una aplicación de la filosofía de mejora continua en un proceso de maquinado con tornos multihusillos, usando un sistema de insertos intercambiables sustituyendo a las herramientas de forma llamadas milanos. Al mismo tiempo reducir el costo de inventario de herramientas. Se detecta la necesidad de mejorar el tiempo de montaje y ajuste durante el proceso de producción de piezas en tornos multihusillos, desde el rediseño de las herramientas de corte milanos en insertos intercambiables, generar el código CNC para la fabricación de los insertos e implementación de todo el sistema de insertos intercambiables en el torno multihusillo.

Planteamiento del problema

La necesidad de cumplir con la política de calidad de una empresa metal mecánica en México, la cual cita que se está comprometida a cumplir los requerimientos de sus clientes, buscando su satisfacción a través de los productos y servicios que proveen, mediante la implementación de una cultura enfocada a la mejora continua, la prevención de defectos y al facultamiento con el cual se desarrolla a los miembros de su equipo.

Y que para permanecer dentro del mercado por medio de una ventaja competitiva y para lograrlo debe contar con ciertas características como: innovación, de tecnologías, de productos, prestigio, certificaciones, procesos esbeltos, sistemas de calidad etc., surge la necesidad del presente documento con el fin de brindar un valor agregado a sus clientes.

Objetivo General

Reducción de gastos en el proceso de maquinado en un 30% en el área de máquinas multihusillo para el final del FY20.

Objetivos específicos

- Optimizar el proceso de maquinado en tornos multihusillo usando insertos de forma y eliminando las milanos en 100%.
- Reducir el tiempo ciclo de maquinado en 30%.
- Disminución de tiempos muertos por reafilado de herramientas.

Capítulo 1 Marco Teórico

1.1 Torneado

El torneado se puede definir como el conjunto de operaciones para generar superficies externas de revolución, así como también superficies internas de revolución [7]. En esta operación la pieza de trabajo es girada en su mismo eje y la herramienta recibe un movimiento de avance en dirección normal a la velocidad de corte, la figura 1 representa el proceso de torneado externo.

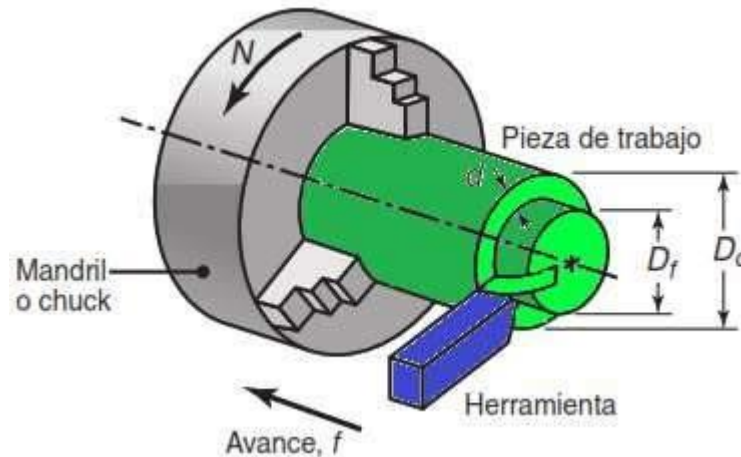


Figura 1. Torneado externo

Fuente: Manufactura y Tecnología

Existen parámetros a considerar en un proceso de torneado como son velocidad de corte, profundidad de corte, tiempo de maquinado, geometría de la herramienta, material de la herramienta, fluido de corte, fuerzas de corte, el material de la pieza de trabajo.

1.2 Máquina multihusillos

Básicamente las máquinas multihusillos, son máquinas tipo torno que giran 4, 6 o 8 husillos de trabajo simultáneamente. Cada husillo tiene una barra de material girando en su interior, los husillos girando están montados en un tambor, el cual permite que cada husillo viaje secuencialmente de posición en posición, cada máquina tiene el mismo número de posiciones que cantidad de husillos, en la figura 2 se muestra un ejemplo de una máquina multihusillo.

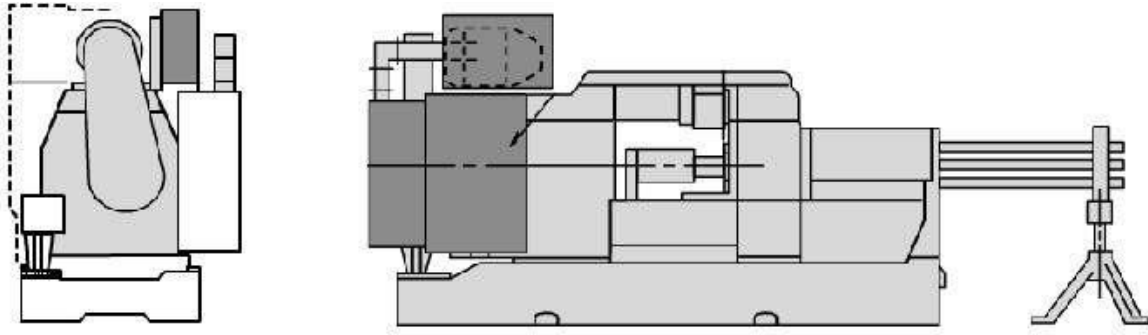


Figura 2. Máquina multihusillos

Fuente: *Champion Screw Machine Engineering Inc., 2007*

Una vez que cada husillo pasa por todas las posiciones (depende del total de numero de husillos) de herramientas, una pieza maquinada cae a la salida de la máquina. En las figuras 3 y 4 se aprecian los movimientos principales de una máquina de 6 husillos.

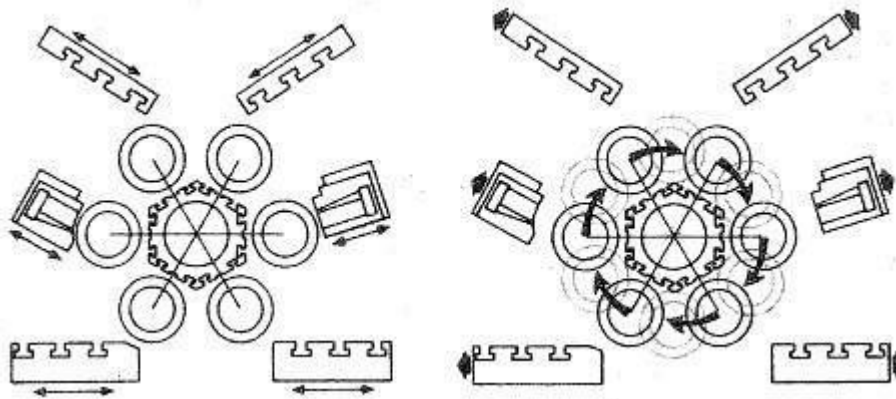


Figura 3. Movimientos en máquina multihusillos

Fuente: *Acme-Gridley Multi-Spindle Bar Machine Manual*

Los husillos son orientados a girar siempre a la misma velocidad y en la misma dirección, su sistema de engrane planetario y levas que posee hace posible que todos los movimientos estén en sincronía y se requieran mínimos ajustes para el correcto funcionamiento.

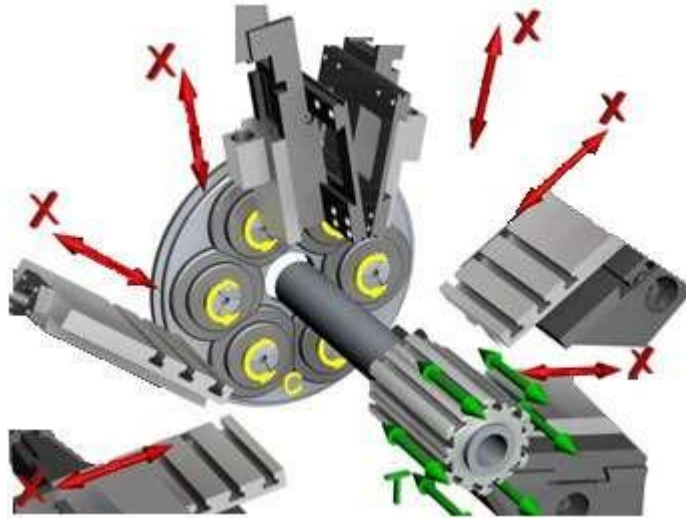


Figura 4. Interacción de portaherramientas en una máquina multihusillos

Fuente: metramh.com

1.3 Ejemplo de fabricación de una pieza en una máquina Acme-Gridley de 8 Husillos

La secuencia de fabricación de una pieza en una máquina de 8 husillos se describe como sigue:

8a Posición: Desbaste y longitud total.

En esta posición el material en barra con perfil hexagonal, redondo o cuadrado se alimenta. La alimentación de la barra define la longitud total del tocho del material requerido, se aproxima el perfil de la pieza con una primer herramienta de forma para desbaste y también se maquina el centro de la pieza para los barrenos subsecuentes.

Tabla 1. 8ª Posición máquina multihusillos

Fuente: Elaboración propia

Pos.	OPERACION	NO. HERRAMIENTA	DESC. HERRAMIENTA
8a	TORNEAR	XXX1	MILANO

1ra. Posición: Acabado.

Después de la 8a Posición, el material cambia a la posición 1 de la máquina. Las herramientas tornear la terminal más alejada del husillo con una segunda herramienta de forma para acabado. Esta posición también permite un proceso de barrenado.

Tabla 2. 1ª Posición máquina multihusillos

Fuente: Elaboración propia

Pos.	OPERACION	NO. HERRAMIENTA	DESC. HERRAMIENTA
1a	TORNEAR	XXX2	MILANO

2a Posición: Acabado.

Cuando el material gira a esta posición, se tornea la terminal más cercana del husillo con una tercer herramienta de forma de acabado (milano) y se barrena una segunda parte de la pieza con una broca estándar.

Tabla 3. 2ª Posición máquina multihusillos

Fuente: Elaboración propia

Pos.	OPERACION	NO. HERRAMIENTA	DESC. HERRAMIENTA
2a	TORNEAR	XXX3	MILANO

3a. Posición: Barrenado.

Al llegar a esta posición, la pieza ya tiene el perfil final del número de parte, el siguiente paso es barrenar una tercera parte de la pieza utilizando una broca estándar.

Tabla 4. 3ª Posición máquina multihusillos

Fuente: Elaboración propia

Pos.	OPERACION	NO. HERRAMIENTA	DESC. HERRAMIENTA
3a	BARRENAR	B-1	BROCA DE PROF.

4a. Posición Vacía.

Para este ejemplo de pieza, no se requiere ninguna operación, por lo que se deja vacía esta posición, sin embargo esta disponible para maquinar una cuarta parte de barreno con un diámetro mas grande que las posiciones anteriores.

Tabla 5. 4ª Posición máquina multihusillos

Fuente: Elaboración propia

Pos.	OPERACION	NO. HERRAMIENTA	DESC. HERRAMIENTA
4a	-	-	-

5a Posición: Rimar.

En esta posición la pieza ya cuenta con el perfil final y los diámetros de barrenos (sin adelgazar la pared del material para evitar que la pieza pueda romperse), solo se requiere maquinar el área de sello de la pieza con una rima especial montada en un aditamento especial (flotador).

Tabla 6. 5ª Posición máquina multihusillos

Fuente: Elaboración propia

Pos.	OPERACION	NO. HERRAMIENTA	DESC. HERRAMIENTA
5a	RIMAR	RM-1	RIMA ESPECIAL

6a Posición: Barrenado.

Finalmente se barrena la última parte de la pieza (barreno pasado), esta es la última operación de barrenado.

Tabla 7. 6ª Posición máquina multihusillos

Fuente: Elaboración propia

Pos.	OPERACION	NO. HERRAMIENTA	DESC. HERRAMIENTA
6a	BARRENAR	B-1	BROCA DE PROF.

7a Posición: Tronzado.

Esta es la última posición, en la cual se hace el tronzado de la pieza con una barra de inserto.

Tabla 8. 7ª Posición máquina multihusillos

Fuente: Elaboración propia

Pos.	OPERACION	NO. HERRAMIENTA	DESC. HERRAMIENTA
7a	TRONZAR	IN-1	BARRA DE INSERTO

La figura 5 muestra gráficamente la secuencia de maquinado en la pieza a fabricar, por cada posición.

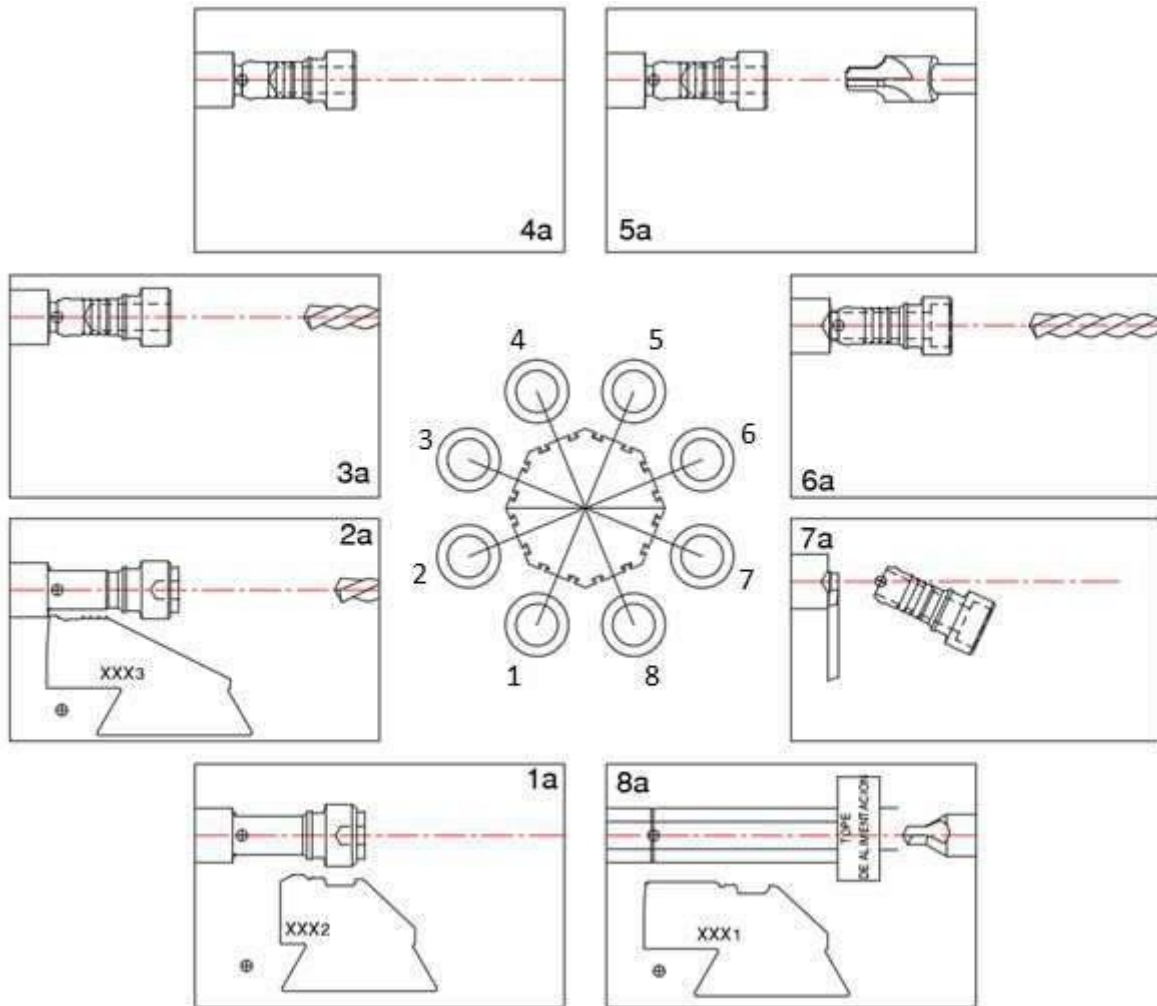


Figura 5. Posiciones de herramientas en máquina multihusillos

Fuente: Elaboración propia

1.4 EDM (Mecanizado por electrodescarga)

El mecanizado por electrodescarga (EDM) es un proceso de mecanizado electrotérmico sin contacto. El mecanizado preciso se puede realizar en materiales eléctricamente conductores y semiconductores, utilizando este proceso de mecanizado no convencional. EDM se puede utilizar para perforar orificios circulares y no circulares, generar perfiles y hacer troqueles de formas complejas de tamaños macro y micro. Tanto el macro EDM como el micro EDM tienen un gran potencial y se están realizando

trabajos de investigación en este campo para mejorar el proceso de mecanizado y el equipo. Recientemente se ha informado de un proceso relacionado, el EDM a escala nano.

1.4.1 Mecanismo de proceso

EDM es un proceso de mecanizado termoeléctrico en el que el material se elimina o erosiona de la pieza de trabajo debido a la energía de una serie de descargas eléctricas generadas entre el electrodo de la herramienta y el electrodo de la pieza de trabajo, sumergido en un medio dieléctrico. Las descargas eléctricas o chispas producidas en el espacio eliminan el trabajo y el material de la herramienta por fusión y evaporación. El medio dieléctrico actúa como un medio desionizante entre el electrodo y la pieza de trabajo, proporcionando así las condiciones óptimas para la generación de chispas y también elimina los residuos formados en el espacio de chispa. [8] [9].

1.4.2 Monitoreo y control del espacio de chispa

El espacio entre el electrodo y el material de trabajo (espacio de chispa) debe controlarse para evitar cortocircuitos, circuitos abiertos o arcos. La presencia de restos sobrantes, debido al corto tiempo de desconexión del pulso y/o al enjuague insuficiente, puede cambiar la conductividad eléctrica en el espacio y puede resultar en un proceso de descarga no uniforme e inestable, también favorecen a la formación de arcos y mecanizado inestable que daña la pieza y la herramienta y afecta negativamente el rendimiento del proceso. Por lo tanto, se han reportado extensos esfuerzos de investigación y desarrollo en el campo del monitoreo y control del proceso EDM durante las últimas décadas. El objetivo principal de estos esfuerzos ha sido la predicción de la formación de arcos basados en la recopilación, el modelado y el análisis de la tensión de separación y/o la señal de corriente y las acciones correctivas de seguimiento basadas en el modelado de control y el hardware. [10]- [11]. El sistema de control convencional monitorea el voltaje de separación y retrae el electrodo a lo largo de la dirección de la trayectoria de comando. Recientemente, el método de transformación wavelet se ha aplicado para controlar el estado de descarga del gap de EDM [12]. Se propone un discriminador de pulso para motores lineales equipados con EDM y una estrategia de control para la perforación de pozos profundos de alta eficiencia [13]. Se informa que un método de control de retracción rápida tiene un aumento del 30% en la tasa de eliminación de material sin afectar la eficiencia y la rugosidad de la superficie [14].

1.4.3 Electrodo

Alta conductividad, resistencia al calor y alto punto de fusión son las principales propiedades deseadas para una herramienta EDM. Los materiales más comunes utilizados en las herramientas EDM son cobre, grafito, tungsteno y carburo de tungsteno. Se están realizando investigaciones sobre muchos materiales nuevos, incluidos los compuestos (mixtos) para herramientas EDM. Se desarrolló y probó una herramienta ZrB₂-Cu. Este compuesto mostró una mayor tasa de eliminación de material (MRR, material removal rate) y una menor tasa de desgaste de la herramienta (TWR, tool wear rate) en comparación con el cobre, pero tenía algunas deficiencias en la rugosidad de la superficie promedio y el corte excesivo. [15]. Para evitar daños en el electrodo de micro EDM y también para manejar la herramienta con facilidad, se propone una herramienta de "pelado". El zinc está galvanizado en un núcleo de tungsteno. Con una sola descarga, el recubrimiento de zinc se desprende, exponiendo el tungsteno. Otra ventaja de usar un electrodo de pelado es que cuando el núcleo se desgasta y se corta, la extracción del recubrimiento puede repetirse mediante otra descarga para exponer el electrodo nuevo. [16]. Para mejorar la uniformidad y la estabilidad, una colección de tubos muy pequeños llamados "electrodos agrupados" puede proporcionar una MRR más alta y también un mejor enjuague. Un electrodo agrupado se forma agrupando una serie de electrodos de celdas huecas con un contorno de extremo como se requiere en la matriz (en el caso de EDM que se hunde). Con los electrodos agrupados es posible aplicar una corriente de pico más alta y, por lo tanto, se puede lograr una MRR más alta [17] [18].

1.4.4 Medio dieléctrico y enjuague

Un dieléctrico adecuado para EDM debe ser capaz de proporcionar condiciones adecuadas para el inicio y el mantenimiento de descargas eléctricas efectivas, enfriar los electrodos y eliminar los residuos del espacio de la chispa (descarga). Los medios dieléctricos más utilizados son los aceites de hidrocarburos como el queroseno. En EDM de alambre se usa agua desionizada. El agua destilada también se ha utilizado para algunas aplicaciones especiales. En EDM con agua asistida por aire, el aire y agua actúan como el medio dieléctrico, hay dos boquillas, una para el agua del grifo y la otra para el aire comprimido cerca del espacio de la chispa, cuando se realiza el mecanizado, la mezcla de gas y agua actúa como medio dieléctrico. [19]. Este proceso tiene el potencial de reducir significativamente la contaminación ambiental. Se ha demostrado que el dieléctrico mixto en polvo mejora el acabado de la superficie para matrices de área grande. Recientemente el proceso de EDM

en seco utiliza polvo mezclado con gas y líquido (PMND EDM) como un dieléctrico trifásico y se encuentra que este proceso proporciona una mayor MMR debido a la mayor densidad de energía en el canal de descarga [20]. El proceso de EDM seco se utiliza para mecanizar nano fibras de carbono (CNF) para mejorar la uniformidad de la emisión de campo, el medio dieléctrico no se usa en este proceso para evitar la contaminación. En cambio, se utiliza un chorro de gas de alta velocidad como medio dieléctrico [21].

1.4.5 Integridad de la superficie (acabado)

La integridad de la superficie es uno de los problemas más importantes con EDM. La energía del pulso de descarga es uno de los factores importantes que afectan la integridad de la superficie (acabado). La rugosidad de la superficie del material aumenta con el aumento de corriente y voltaje. El tamaño de las crestas varía con la energía del pulso, aunque también depende de las propiedades del material. La acción térmica en EDM puede causar microgrietas, induce tensiones residuales y cambia la microdureza de las capas superficiales y subsuperficiales, lo que resulta en difusión de carbono e hidrógeno. Se han informado estudios sobre la integridad de la superficie EDM en las últimas 2 o 3 décadas [22]- [23]. En un estudio recientemente sobre la viabilidad de utilizar Wire-EDM para aplicaciones potenciales en el sector aeroespacial, se descubrió que el empleo de pulsos de frecuencia ultra alta/corta duración da como resultado un nivel extremadamente bajo de daños en la pieza de trabajo [24]. La capa de refundición formada puede eliminarse utilizando condiciones de mecanizado suaves o de acabado o un proceso electroquímico o rectificado de precisión. En el estudio de las propiedades de integridad de la superficie del compuesto Al_2O_3 mecanizado por EDM, se concluyó que la rugosidad de la superficie aumenta con la corriente de descarga y el tiempo de activación. Pero al seleccionar cuidadosamente los parámetros de EDM, los materiales se pueden mecanizar sin ninguna pérdida significativa para la integridad de la superficie [25]. Un estudio reciente de una comparación exhaustiva sobre la integridad de la superficie (acabado superficial, microestructura, microdureza y tensión residual) utilizando dieléctricos basados en CH y agua en Wire EDM revela que la rugosidad de la superficie es cercana a 0.1 micras y una zona de borde muy delgada de menos de 0.3 micras se pueden obtener [26]. El electrodo de alambre recubierto de Zn junto con una tecnología de mecanizado optimizada permite obtener una integridad superficial adecuada en el mecanizado de titanio [27]. Un estudio comparativo de la resistencia a la fatiga y otros aspectos de integridad de la superficie generados por el rectificado y el electroerosionado por hilo de aleación de titanio 9 Ti 6Al-4V se informó recientemente [28] con la conclusión de que un proceso

estándar de electroerosión por hilo con inestabilidades tiene una vida útil de fatiga mejor que un proceso de rectificado estándar ajustado para un buen acabado de superficie.

1.5 EDM De hilo

Como su nombre lo indica, la EDM de hilo usa un alambre delgado para un electrodo. El alambre se mueve en un patrón cuidadosamente controlado, más o menos análogo a la sierra de calar de un carpintero, provocando chispas entre el alambre y la pieza de trabajo. Debido a que la descarga eléctrica erosiona con alambre la pieza de trabajo, las máquinas de electroerosión por hilo utilizan un carrete de alambre que se mueve continuamente para presentar una nueva ruta de descarga en el corte.

Este enfoque de "cortador de queso" para EDM funciona bien, pero tiene una limitación importante: el alambre debe pasar completamente a través de la pieza de trabajo, haciendo un corte esencialmente bidimensional en una parte tridimensional. El control del movimiento del alambre es en un plano XY con ayuda de CNC, en la figura 6 se muestran algunos ejemplos de maquinados con EDM de hilo.



Figura 6. Ejemplo de maquinados en EDM de hilo

Fuente: MC Machinery

1.5.1 ¿Por qué usar EDM?

En términos prácticos, el mecanizado por descarga eléctrica supera un problema importante encontrado en el mecanizado por contacto: la dureza. En los procesos tradicionales, las piezas metálicas están hechas de calidades especiales de aceros para herramientas endurecibles mecanizados en un recocido de estado blando para facilitar el corte.

Una vez que se ha mecanizado la forma deseada, las piezas se endurecen mediante uno o más tratamientos térmicos. Esto agrega tiempo, costo y puede alterar las dimensiones de las piezas terminadas, especialmente si el proceso de tratamiento térmico no se controla adecuadamente. La ventaja de EDM es que puede cortar materiales endurecidos y aleaciones exóticas a la vez que proporciona excelentes acabados superficiales como beneficio adicional. El resultado es a menudo una menor necesidad de procesamiento posterior o tratamiento de superficie. En la figura 7 se muestran los componentes básicos de una máquina EDM.

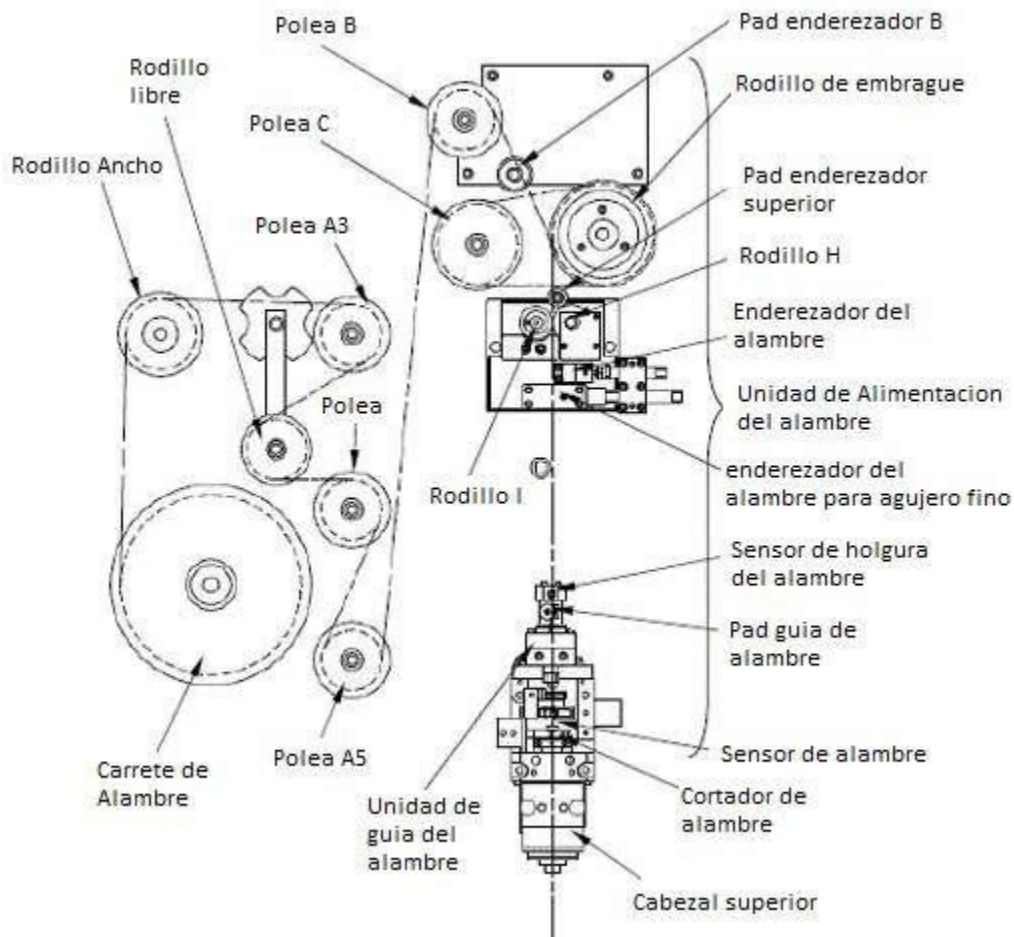


Figura 7. Componentes básicos para una máquina EDM de hilo

Fuente: Makino

Como todos los procesos de mecanizado, EDM requiere un acto de equilibrio entre la velocidad y el acabado de la superficie. En la electroerosión por hilo, por ejemplo, es común usar cortes más rápidos y ásperos seguidos de cortes de acabado o desnatado que usan un perfil de descarga menos agresivo para minimizar la deflexión del cable. Sinker EDM ve un patrón similar, con la mayoría de los trabajos utilizando dos electrodos: uno para desbaste y otro para acabado. En la figura 8 se aprecia el corte con una máquina de electroerosión por hilo.

Las principales ventajas de EDM son que el proceso es muy predecible, preciso y repetible. "Todo el mecanizado EDM se realiza sin supervisión, por lo que la tasa de mano de obra directa y el costo de fabricación suelen ser más bajos para EDM que otros métodos", dijo Pfluger. "En general, el proceso EDM está reservado para piezas con tamaños de características más pequeños y requisitos de precisión más altos (± 0.0005 " o ± 0.012 mm o precisión más fina) ".

1.6 Mecanizado de descarga eléctrica versus otros procesos de mecanizado

En comparación con el mecanizado convencional, desde el torneado CNC básico hasta 5 ejes, EDM tiene ciertas ventajas y desventajas. Entonces, si se pregunta si EDM es la mejor opción para su aplicación en particular, la respuesta es siempre la misma: depende de su aplicación.

En términos generales, sin embargo, las características principales del mecanizado de descarga eléctrica deberían darle una idea de si EDM es una buena opción para su aplicación. Por ejemplo, el EDM suele ser más lento que otros métodos de mecanizado, pero también tiende a ser más predecible, preciso y repetible. También hay otros beneficios, como señaló Pfluger: "Todo el mecanizado EDM se realiza sin supervisión", dijo, "por lo que la tasa de mano de obra directa y el costo de fabricación con EDM suelen ser más bajos que otros métodos".

La combinación de previsibilidad, precisión y repetibilidad, combinada con su velocidad de mecanizado relativamente lenta, explica por qué EDM es más usado en operaciones de bajo volumen con tolerancias estrictas, como las industrias aeroespaciales y de dispositivos médicos.



Figura 8. Corte en máquina EDM de hilo

Fuente: Absolute Wire EDM

El punto más importante a favor de la fabricación de piezas con electroerosión por hilo es cuando entras en detalles de las piezas y estás tratando de hacerlo con una sierra de corte o una rectificadora, o cualquier tipo de mecanizado por fricción, que creará una rebaba. En ese caso, debe tener un proceso secundario para la eliminación de rebabas, ya sea vibratorio o tener un grupo de trabajadores rascándose las rebabas con herramientas manuales. Por otro lado, cuando quitas una parte de una máquina EDM, no hay rebabas.

1.7 AutoCAD®

AutoCAD® es un software de diseño asistido por computadora (CAD) en el cual se apoyan tanto arquitectos como ingenieros y profesionales de la construcción para crear dibujos precisos en 2D y 3D. [29]

1.7.1 ¿Para qué se utiliza AutoCAD®?

AutoCAD® puede crear cualquier dibujo 2D y modelo o construcción 3D que se pueda dibujar a mano. El programa también permite al usuario agrupar o superponer objetos, mantener objetos en una base de datos para uso futuro y manipular propiedades de objetos, como tamaño, forma y ubicación.

AutoCAD® tiene numerosas aplicaciones en una amplia gama de campos. El programa se puede utilizar para proyectos simples, como gráficos o presentaciones, o diseños complejos, como el diseño de la arquitectura de un edificio. [30]

- Cuando requieres dibujar en 2D y hacer una presentación en un plano con un cuadro de datos técnicos es suficiente con AutoCAD®.

Si lo que requieres es dibujar una pieza mecánica como un engranaje en 3D y además se necesite ser ensamblado en un motor y se requiera simular su funcionamiento, entonces deberías utilizar algún programa como Inventor®.

1.8 Edgecam®

Edgecam®, un sistema de fabricación asistida por computadora (CAM) líder en el mercado para la programación de piezas NC, ofrece una solución completa para fresado, torneado y programación de fresado / torneado con una facilidad de uso sin igual y una sofisticada generación de trayectorias de herramientas Edgecam®, simplifica drásticamente la programación para todas las aplicaciones de mecanizado, desde el fresado de producción y la fabricación de herramientas hasta el mecanizado de múltiples tareas. Con una gama de ciclos de fresado de 2 a 5 ejes y una capacidad de torneado completa, se combina a la perfección con la integración CAD y las sofisticadas herramientas de automatización. [31]

1.9 Método de solución de problemas

1.9.1 Describir el problema

El objetivo de este paso es poder reconocer oportunidades para la resolución de problemas que tendrán un impacto positivo en el negocio y luego poder desarrollar un plan alcanzable. La figura 9 muestra las entradas y salidas para el paso 1.

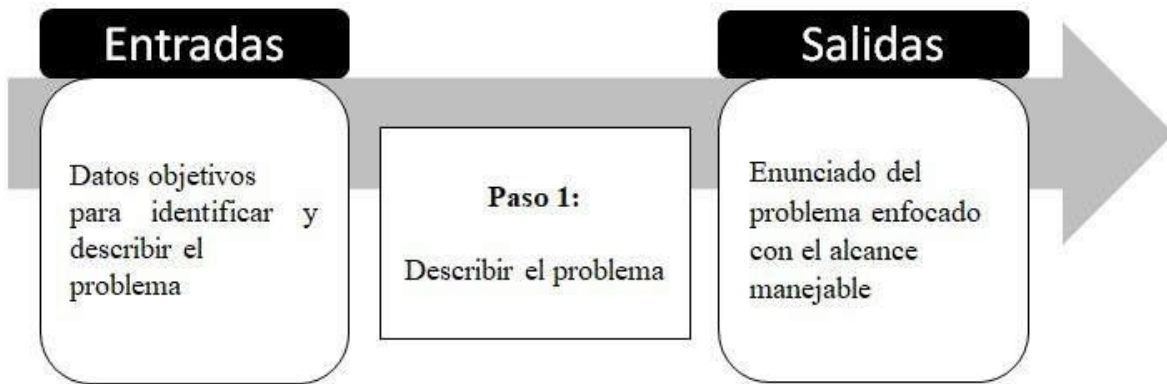


Figura 9. Describir el problema

Fuente: Elaboración propia

Enunciado del problema debe ser SMART:

- S-Specific: Especifico para las métricas de desempeño.
- M-Measurable – Cuantificable, ¿Cuál es el nivel de rendimiento actual?
- A-Attainable-Alcanzable, ¿Cuál debería ser la mejora en desempeño?
- R-Relevant – Relevante, impactar las métricas y objetivos clave para la organización.
- T-Time-Bound – Tiempo definido, ¿Cuánto tiempo ha existido el problema?

Describir el problema

- Revisar el desempeño actual, o los métricos.
- Describa el problema en términos cuantificables (Medidas de desempeño).
- Determinar el gap entre lo que es y lo que no es.
- Use solo una o dos oraciones, si es posible.

Herramientas de resolución de problemas para ayudar a definir el problema:

Diagramas de afinidad, Gráficas de Pareto, Es o no es, Diagramas de flujo, gráficas, etc.

Análisis de Pareto

La Ley o Principio de Pareto, también conocida como la regla del 80/20 (ó 20/80), establece que, de forma general y para un amplio número de fenómenos, aproximadamente el 80% de las consecuencias proviene del 20% de las causas.

Es un tipo especial de gráfico de barras que representa el número de fallas o defectos y los clasifica en motivos, síntomas o causas.

Beneficios:

- Comunica visualmente datos con datos con las situaciones más comunes.
- Separa los pocos vitales de los muchos triviales.
- Ayuda a establecer el enfoque del problema y establecer una dirección para el equipo.
- Apoya a identificar oportunidades “mayor valor por tu dinero”.

Un gráfico de Pareto se utiliza para mostrar datos con el fin de ver la frecuencia relativa o el tamaño de los problemas. En la figura 10 se muestra un ejemplo de un diagrama de Pareto

Desventajas:

- No muestra la criticidad, ni asigna riesgo a cada categoría.

Cuando usar:

- Al analizar datos sobre la frecuencia de problemas o tipos de defectos en un proceso.
- Cuando hay muchos problemas y quieres centrarte en los más significativos.
- Al analizar categorías amplias observando sus componentes específicos.

Pasos:

1. Aclarar el propósito de la recolección de los datos.
2. Determinar la clasificación de los elementos (medibles y que sean objetivos, ejemplo: tipos de defectos, modos de falla).
3. Reunir datos.
4. Calcular totales acumulados y porcentajes.
5. Dibujar ejes verticales y horizontales. Introduzca los elementos en orden descendente y dibuje un gráfico de barras. Añadir escala de frecuencia a la izquierda.
6. Dibuja el gráfico de líneas discontinuas para las proporciones en cada categoría. Dibuja un eje vertical a la derecha hasta el 100%.

7. Ingrese la información necesaria del grafico (titulo, etiquetas, etc.)

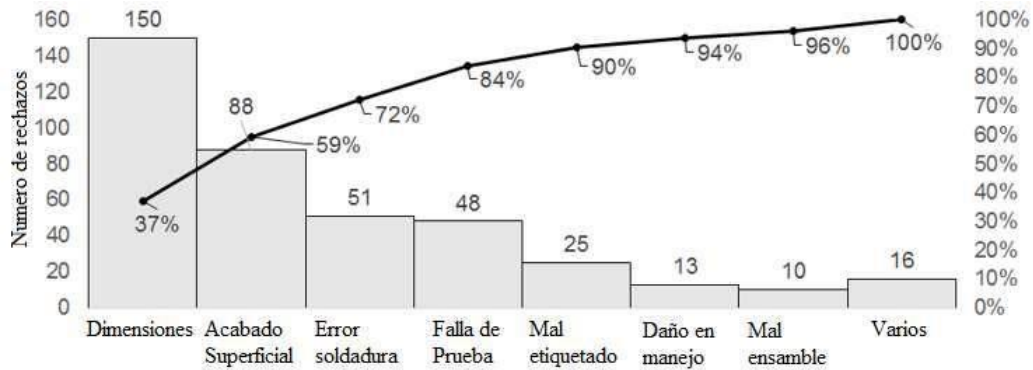


Figura 10. Diagrama de Pareto

Fuente: Elaboración propia

1.9.2 Entender las necesidades y requerimientos

El objetivo es estudiar el proceso identificado en el Paso 1, para definir los requisitos detallados que deben cumplirse para obtener los resultados previstos y comprender la situación actual. La figura 11 muestra las entradas y salidas para el paso 2.

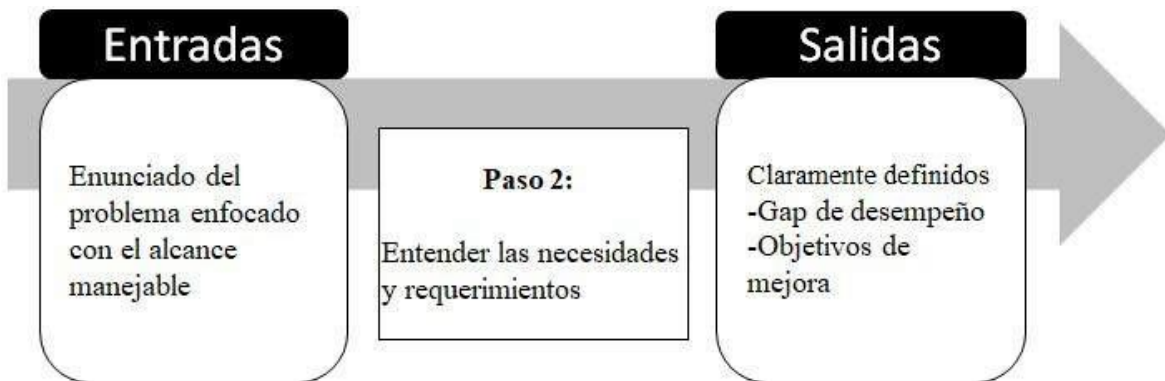


Figura 11. Entender las necesidades y requerimientos

Fuente: Elaboración propia

Identificar los requerimientos del producto y del proceso asociados con el problema definido. Estos pueden venir de:

- Observar el proceso en sitio.
- Clientes internos y externos.
- Regulaciones gubernamentales.
- Estándares internacionales y de la industria.
- Políticas de la compañía.

Comprender la brecha (gap) entre el estado actual y los requerimientos/objetivos.

Herramientas de solución de problemas:

Diagramas de flujo, Graficas, Hojas de inspección, etc.

Value stream map (mapa de flujo de valor)

Proporciona una vista de alto nivel de un proceso que detalla las iteraciones entre las funciones y los siguientes procesos. Se centra en general en el tiempo de entrega.

Identifica: flujo de producto e información, métricas en cada etapa del proceso, en la figura 12 se puede ver un ejemplo de la información que contiene un cuadro en el mapa.

Busca:

- Tiempos largos de espera.
- Inventario no controlado.
- Métricas fuera de objetivo.

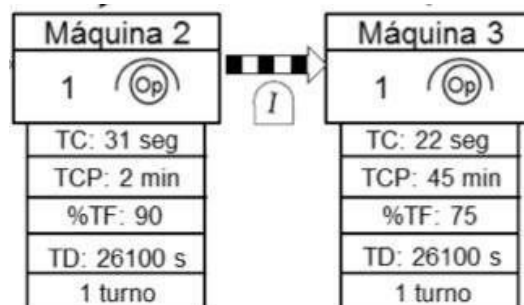


Figura 12. Ejemplo de cuadro de mapa de flujo de valor

Fuente: Elaboración propia

1.9.3 Utilizar un equipo de enfoque

El objetivo es aplicar principios de equipos de alto desempeño con habilidades y conocimientos necesarios para resolver el problema exitosamente.

Colaborar con miembros de 1 equipo multifuncional (multidisciplinario) de varios niveles que tengan un interés personal en resolver el problema. La figura 13 muestra las entradas y salidas para el paso 3.

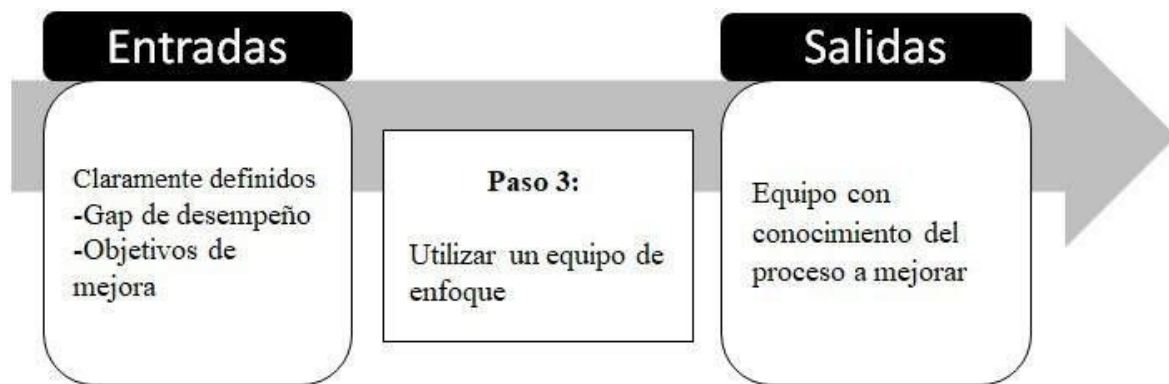


Figura 13. Utilizar un equipo de enfoque

Fuente: Elaboración propia

- Etapa de formado de equipo

En esta etapa la gente se reúne para empezar a trabajar: todos deben conocer la tarea o actividad y conocerse entre compañeros. Intenta definir propósitos y objetivos. Empezar a definir tareas y roles.

- Etapa de tormenta

La gente empieza a ir en círculos, experimentan conflictos, van en diferentes direcciones, confusión entre roles y tareas. Centrarse más en cuál es la tarea o el objetivo, y no en cómo lograrlo.

- Etapa de normas

La gente se va encaminando, están comenzando en estar de acuerdo y producir buenos resultados, resolviendo conflictos, progresando (aunque con dificultad).

- Etapa de ejecución

En esta etapa la gente está trabajando como una máquina bien engrasada, son productivos y eficientes.

1.9.4 Identificar las causas potenciales

El objetivo es identificar las posibles causas raíz entendiendo las necesidades y los requerimientos.

Se realiza una sesión de lluvia de ideas para identificar las posibles causas:

- Lluvia de ideas para identificar causas potenciales del efecto (problema).
- Utilice 6Ms (Mano de obra, Método, Máquina, Materiales, Medición y Medio ambiente).
- Utilice los datos para priorizar las causas más probables.

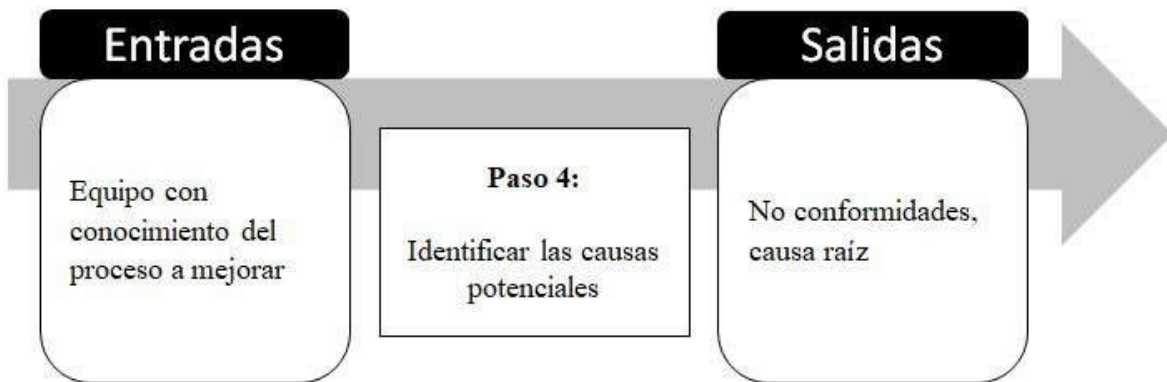


Figura 14. Identificar las causas potenciales

Fuente: Elaboración propia

En la figura 14 se muestran las entradas y salidas para el paso 4.

Diagrama de causa y efecto

Una herramienta para ir más allá de los síntomas de los problemas y llegar a las posibles causas fundamentales de los mismos:

- Reúne y organiza las ideas de un equipo.
- Permite que un equipo se centre en las causas.
- Desarrolla sinergia entre el equipo involucrado.
- Conduce a una mayor comprensión del tema.

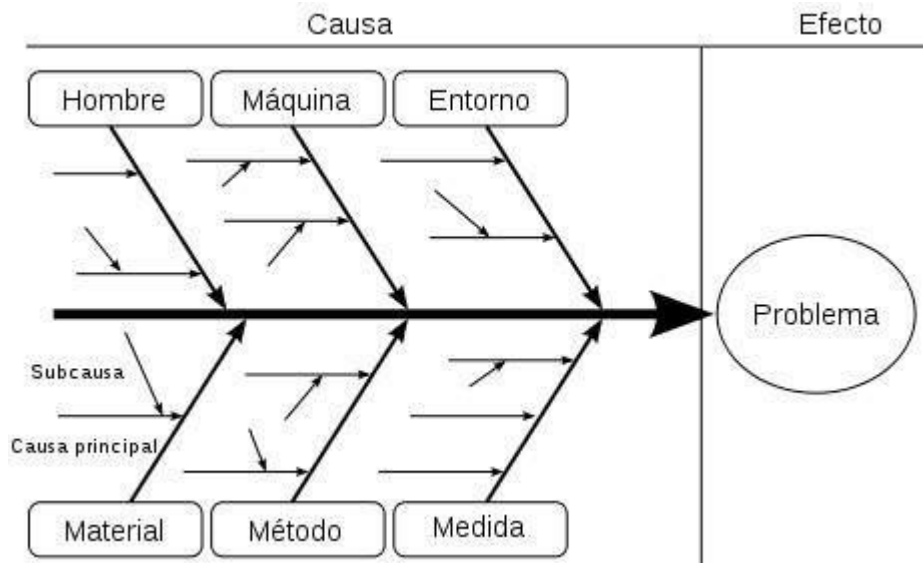


Figura 15. Diagrama de causa y efecto

Fuente: Elaboración propia

Los beneficios:

- Recoge y organiza las ideas de un equipo.
- Permite que un equipo se centre en las causas fundamentales de los problemas.
- Desarrolla sinergia entre el equipo involucrado.
- Como mínimo, conduce a una mayor comprensión del problema.

La figura 15 muestra un ejemplo de un diagrama de causa y efecto con las 6 Ms.

1.9.5 Recopilar y analizar datos

El objetivo es verificar con datos objetivos que las supuestas causas raíz identificadas en el paso anterior son responsables del problema y/o gap que se está abordando.

Las entradas y salidas del paso 5 se muestran en la figura 16.

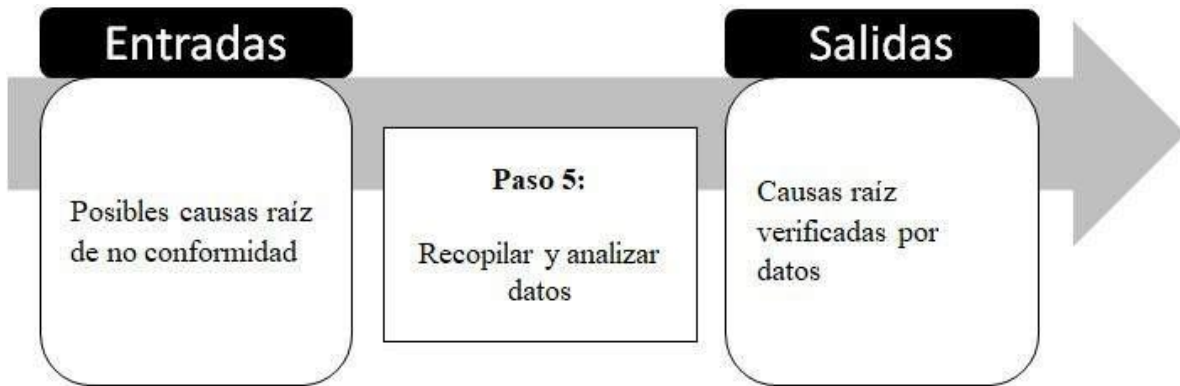


Figura 16. Recopilar y analizar datos

Fuente: Elaboración propia

Pasos

- Recopilar datos adicionales.
- Respalde las suposiciones y creencias sobre la causa raíz con hechos y evidencia objetiva.
- Analizar los datos.

Herramientas:

Análisis de causa raíz.

Graficas: Gráficos de tendencias y ejecución, Gráfico de dispersión, Histogramas, Gráficos de control.

Herramientas estadísticas: Prueba de hipótesis, Regresión, DOE.

1.9.6 Identificar alternativas y seleccionar acciones correctivas

El objetivo es identificar y evaluar múltiples acciones y seleccionar la mejor para eliminar cada una de las causas raíz identificadas en el paso 5.

En la figura 17 pueden notarse las entradas y salidas para el paso 6.

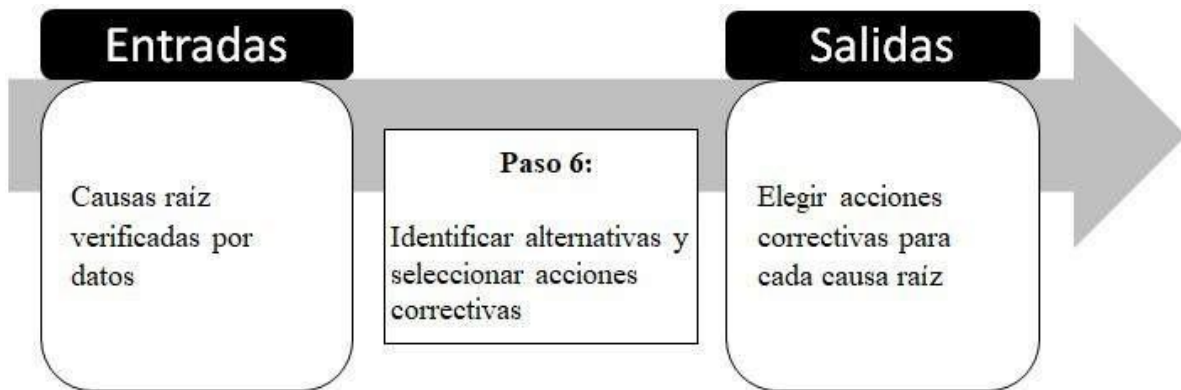


Figura 17. Identificar alternativas y seleccionar acciones correctivas

Fuente: Elaboración propia

- Lluvia de ideas sobre acciones alternativas.
- Asegúrese de que las acciones correctivas aborden las causas raíz validadas.
- Realizar ensayos o pruebas piloto.
- No se deje atrapar por la “parálisis por análisis”.

Herramientas:

Benchmarking y mejores prácticas.

Prueba de errores y jerarquía de control.

Diseño de Experimentos (DOE).

1.9.7 Preparar un plan de acción

Identificar las acciones de alto nivel necesarias para implementar las acciones seleccionadas en el paso 6.

Las entradas y salidas para el paso 7 se pueden ver en la figura 18.

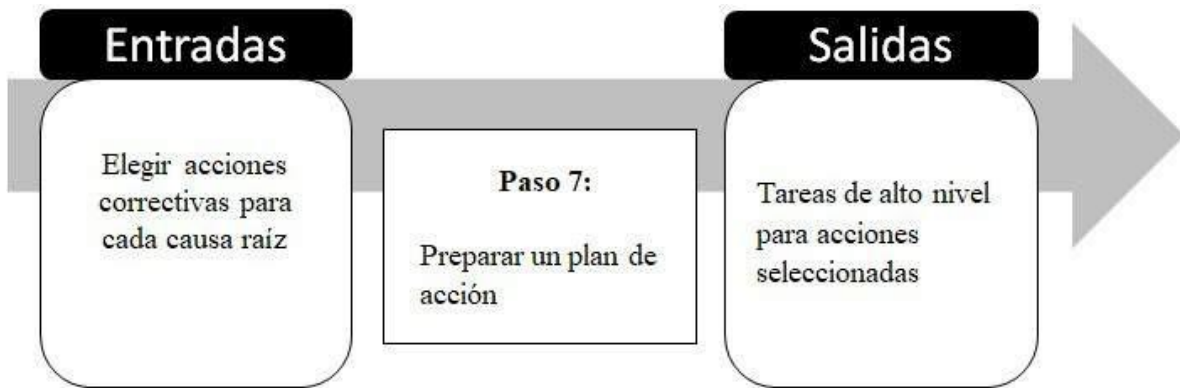


Figura 18. Preparar un plan de acción

Fuente: Elaboración propia

Un plan de proyecto debe responder a las siguientes preguntas:

- ¿Quién?
- ¿Qué?
- ¿Cuándo?
- ¿Dónde?
- ¿Cómo?
- ¿Cuánto cuesta?

Haga los preparativos para presentarlo a los encargados de tomar las decisiones apropiadas.

1.9.8 Conseguir apoyo y soporte

Obtener la aprobación del líder para la aprobación del plan.

En la figura 19 se pueden ver las entradas y salidas para el paso 8.

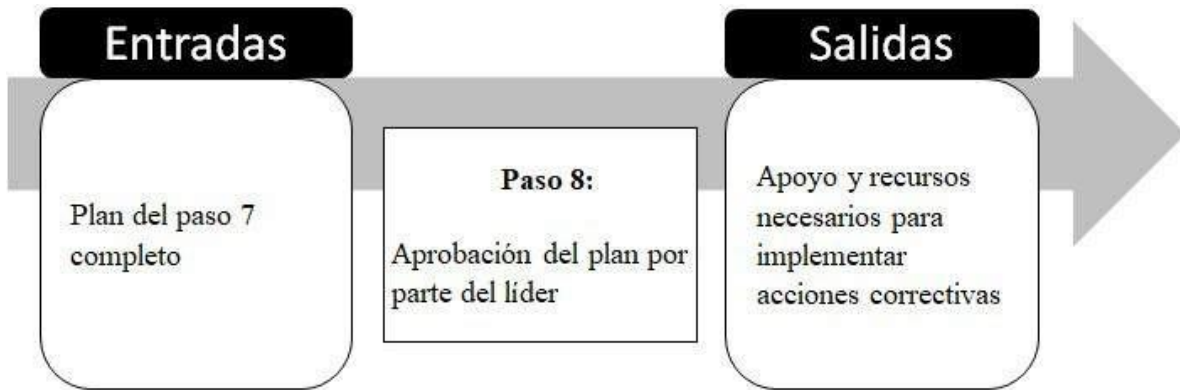


Figura 19. Aprobación del plan por parte del líder

Fuente: Elaboración propia

- Obtenga orientación y apoyo del líder, el dueño el proceso, el cliente y todas las partes interesadas durante todo el proceso.
- Elaborar un reporte con el resumen de todo el trabajo hasta este paso.
- Presentar solicitud de aprobación como un equipo unificado.

1.9.9 Implementar las acciones seleccionadas

Ejecutar el plan aprobado en el paso 8, tomar las medidas adecuadas para las causas identificadas.

Las entradas y salidas para el paso 9 se pueden ver en la figura 20.

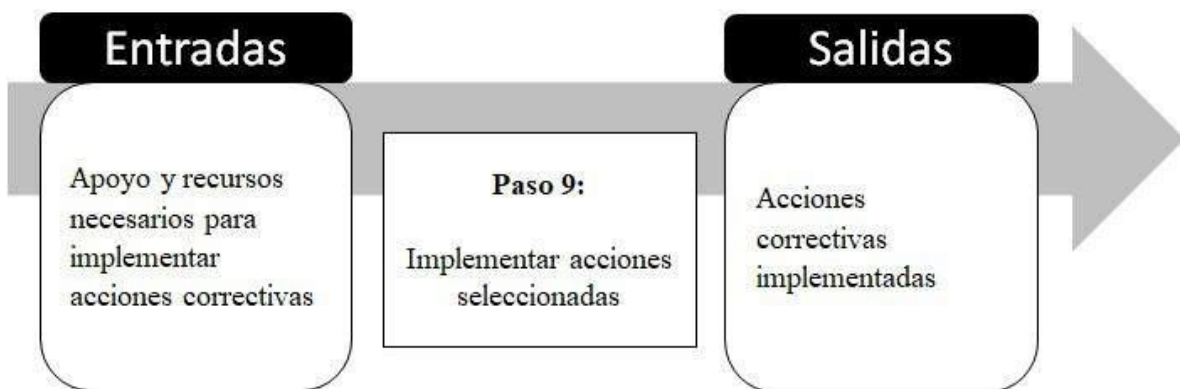


Figura 20. Implementar acciones seleccionadas

Fuente: Elaboración propia

- Haga que las acciones correctivas se mantengan y evite problemas similares.
- Actualizar la documentación relacionada (ejemplo: Estándares de trabajo, FMEA, etc.).
- Incluir planes de seguimiento (ejemplo: proceso de auditoría).
- Involucrar a las partes interesadas apropiadas para que se conozcan los síntomas y las causas.
- Comparta el aprendizaje con equipos de procesos y productos similares.
- Informe a todas las personas involucradas en el equipo sobre el plan para que se apropien de su éxito.
- Use un plan de acción detallado para enumerar las tareas específicas requeridas, quién es el responsable, las fechas de vencimiento, los resultados esperados y cómo se verificará la efectividad.
- Recuerde que incluso un gran plan fallará si no se ejecuta correctamente.
- Pida al equipo de liderazgo que ayude a eliminar los obstáculos según sea necesario.

1.9.10 Medición, monitoreo y control de los resultados

El objetivo del Paso 10 es verificar que las acciones realizadas hayan alcanzado los objetivos establecidos en el Paso 2, y que las mejoras sean sostenibles, ver figura 21 para las entradas y salidas de este paso.

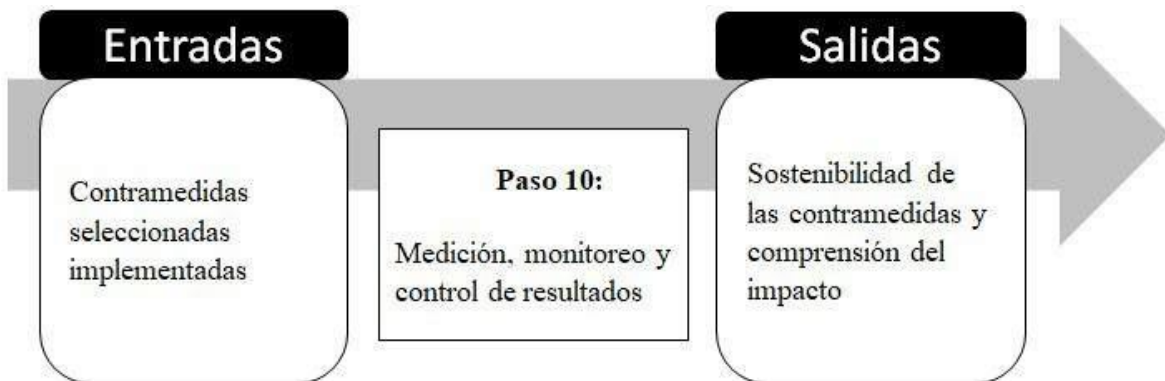


Figura 21. Medición, monitoreo y control de resultados

Fuente: Elaboración propia

- Recuerde que la ejecución del plan no significa que el problema esté resuelto.
- Los resultados deben ser verificados y monitoreados continua o periódicamente.
- Si el rendimiento se deteriora, se deben repetir los 10 pasos.

Herramientas: Gráficas, Histogramas, Estudios de capacidad, Control de procesos

Capítulo 2 Metodología

Una vez planteado el problema de investigación y los objetivos a alcanzar, se estableció la metodología de esta investigación a desarrollar, mostrada en la siguiente tabla:

Tabla 9. Metodología, etapas

Fuente: Elaboración propia

Planificar la mejora del producto o proceso	
PLAN	1 Describe el problema
	2 Entender las necesidades, requerimientos y alcance
	3 Utilice un enfoque de equipo
	4 Identificar las causas potenciales
	5 Recopilar y analizar datos (para verificar la causa raíz)
	6 Identificar alternativas y seleccionar acciones correctivas
	7 Preparar un plan de acción
	8 Obtenga la aprobación y el apoyo de los líderes
Ejecutar la mejora	
DO	9 Implementar las acciones
Compruebe los resultados	
CHECK	10 Medir, monitorear y controlar tus resultados
ACT	Actuar sobre los resultados, revisión y reconocimiento; repita los pasos 1-10

2.1 Optimización del proceso de maquinado en tornos multihusillo usando insertos de forma

Se reviso a detalle el mapa de valor actual de todo el proceso de fabricación de piezas en una empresa de giro metal mecánica, y se detectaron áreas de oportunidad en el proceso de fabricación del número de parte: espiga.

El diseño de los insertos de forma se realizó mediante el uso del software AutoCAD® 2020, el programa de control numérico para la máquina de electroerosión por hilo, marca Mitsubishi modelo MV1200R se generó en el software de fabricación asistida por computadora Edgecam® 2020.

El resultado se obtuvo de cambiar la herramienta de corte de milano fabricado con acero M2 a la implementación de insertos fabricados en carburo Hm01.

2.2 Reducción del tiempo ciclo de maquinado

Se determinó trabajar en la misma máquina que fabrica el número de parte: espiga, para que la reducción del tiempo ciclo sea significativa, se trabajó en aumentar las RPMs y el avance durante la fabricación de la pieza, valores sustentados con cálculos para la máquina multihusillo marca Acme 1-1/4 RB8.

2.3 Disminución de tiempo muerto por reafilado de herramientas

Se analizaron los métricos históricos de tiempo muerto del área de maquinado en tornos multihusillo para determinar las principales causas de paro y poder proponer un plan para reducir el impacto. El sistema de insertos de un solo uso implementado hizo posible que el tiempo de reafilado de ésta herramienta se eliminara totalmente.

Capítulo 3 Desarrollo

3.1 Métrico de tiempo muerto

El indicador anual de tiempo muerto en el área de maquinado en tornos multihusillos mostrado en la tabla 10 se indica que las 3 principales causas de tiempo de paro son: Código (A) Ajuste, Código (B) Carga de material y Código (C) Montaje, generando el 75.20 % del total del tiempo de paro en este métrico. La causa (B) Carga de material, no se puede eliminar debido a que el diseño de la máquina no lo permite, sin embargo también se contempla en trabajar en su reducción.

Tabla 10. Resumen de tiempo muerto anual

Fuente: Elaboración propia

Codigo	Item	Total	%	% Acumulado
A	AJUSTE	1595.50	29.75%	29.75%
B	CARGA DE MATERIAL	1314.98	24.52%	54.26%
C	MONTAJE	1123.25	20.94%	75.20%
D	MANTENIMIENTO GENERAL	539.10	10.05%	85.25%
E	MANTENIMIENTO AUTONOMO	252.00	4.70%	89.95%
F	FALTA DE HERRAMIENTA	217.67	4.06%	94.01%
G	FALTA DE OPERARIO	146.42	2.73%	96.74%
H	FALTA DE MATERIA PRIMA	145.62	2.71%	99.45%
I	FALTA DE PRODUCCIÓN	22.58	0.42%	99.88%
J	CONTROL DE CALIDAD	6.67	0.12%	100.00%
	Gran Total	5363.78	100%	100%

Este métrico es generado de la información de cada máquina y que los operadores registran puntualmente, se llenan los tiempos en minutos en los que la máquina se encuentra sin producir y la causa de ese tiempo muerto. Las causas de paro (tiempo muerto) ya se encuentran definidas mediante 10 códigos estándar predeterminados y mostrados en las figuras 22 y 23, toda la información se digitaliza y se registra en una base de datos que tiene como salida el total de tiempo muerto en horas que la máquina se encuentra sin producir, así como la causa del paro.

Codigo	Item	Total	%	% Acumulado
A	AJUSTE	1595.50	29.75%	29.75%
B	CARGA DE MATERIAL	1314.98	24.52%	54.26%
C	MONTAJE	1123.25	20.94%	75.20%
D	MANTENIMIENTO GENERAL	539.10	10.05%	85.25%
E	MANTENIMIENTO AUTONOMO	252.00	4.70%	89.95%
F	FALTA DE HERRAMIENTA	217.67	4.06%	94.01%
G	FALTA DE OPERARIO	146.42	2.73%	96.74%
H	FALTA DE MATERIA PRIMA	145.62	2.71%	99.45%
I	FALTA DE PRODUCCION	22.58	0.42%	99.88%
J	CONTROL DE CALIDAD	6.67	0.12%	100.00%
Gran Total		5363.78	100%	100%

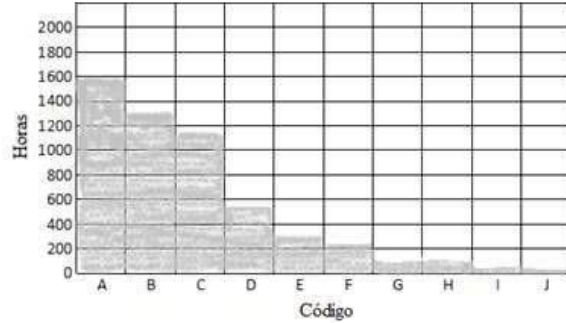


Figura 22. Métrico de causas de paro

Fuente: Elaboración propia

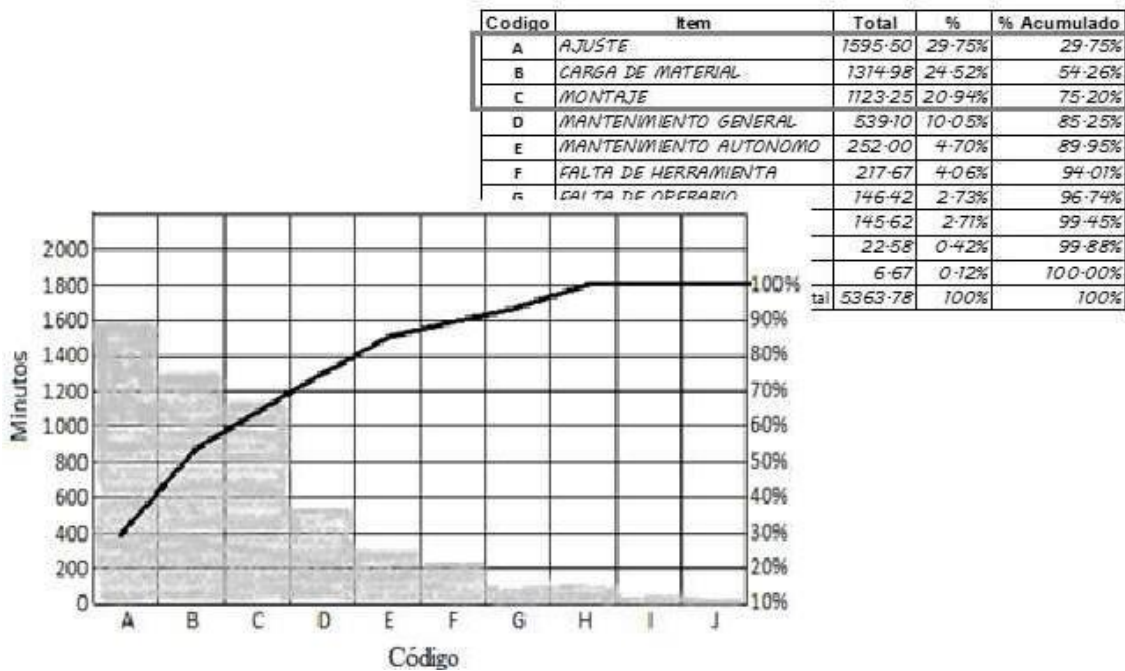


Figura 23. Causas principales de paro

Fuente: Elaboración propia

3.2 Mapa de valor actual (VSM)

A continuación, se muestra el Value stream map del área de maquinado en tornos multihusillos, ver figura 24.

Figura 24. Value Stream Map de área de maquinado

Fuente: Elaboración propia

Análisis del flujo de información y material, el flujo de información y materiales se realiza de la siguiente manera:

La información que proporciona el cliente inicia de derecha a izquierda. Ésta va fluyendo hasta el departamento de servicio al cliente y/o plataformas digitales. Los requerimientos del cliente son ingresados al sistema MRP interno y enviados al área de planeación de producción y a su vez esta área proporciona un programa de producción a los 3 proveedores de materias primas designados y se inicia el surtimiento de los materiales necesarios para la elaboración de los productos.

La información del proceso de material fluye de izquierda a derecha, y esta inicia desde el momento en que el proveedor envía la materia prima.

A continuación, el flujo continua cuando el material se recibe en el almacén de materia prima, este se almacena, y en esta etapa del proceso se ejecuta un proceso de inspección mediante un muestreo y se coloca en espera de ser surtido de acuerdo con el programa de producción.

Una vez recibidas las ordenes de producción, el material es identificado y marcado (de acuerdo con los requerimientos del cliente) y surtido al proceso de producción a la máquina con la familia designada a producir (espiga, tuerca, casco).

En el proceso de maquinado se realiza el montaje del número de parte surtido y se procesa el material de acuerdo con las especificaciones del cliente, cada operador de maquinado realiza una Puesta a punto e inspección de la pieza producida, para finalizar esta etapa, el material se coloca en una canastilla, se identifica y se envía a la siguiente operación.

La siguiente operación en el flujo del material es el proceso de recubrimiento, las familias de espigas y tuercas son enviados a un proveedor externo aprobado.

La familia de cascos sin recubrimiento se envía a un proceso de tratamiento térmico también con un proveedor externo, para eliminar los esfuerzos provocados por el maquinado, para después continuar también con el proceso de recubrimiento.

El material procesado con los proveedores externos es recibido en el área de recibo e inspección, donde se inspecciona la calidad de los procesos externos.

Seguidamente el material es liberado y enviado a la estación de ensamble y empaque, donde se engargolan el casco y la tuerca al niple para continuar con el etiquetado y empaque del producto terminado.

En el proceso final, el producto terminado es entregado al almacén de producto terminado, donde se surten los pedidos colocados por el cliente y se embarcan directo a los distribuidores donde el cliente recibe los productos.

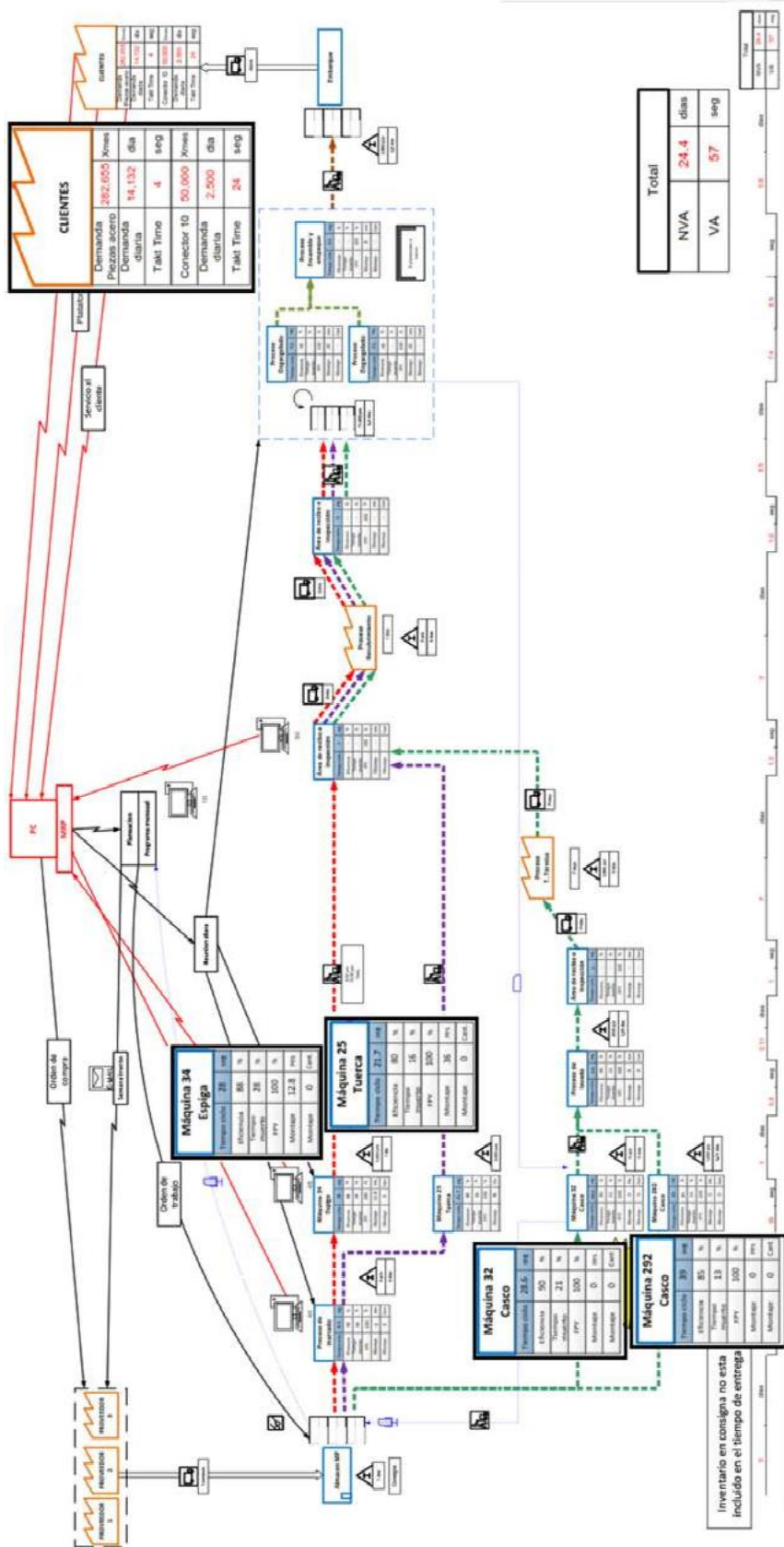


Figura 25. Value Stream Map de área de maquinado, áreas de oportunidad

Fuente: Elaboración propia

En el mapa de valor de la figura 25 se aprecia que las máquinas que fabrican la espiga, el casco y la tuerca tienen que estar trabajando en forma simultánea para tener los componentes disponibles para el ensamble del producto terminado. El casco se fabrica en 2 máquinas diferentes al mismo tiempo para cumplir el volumen de fabricación mensual.

Máquina 34 Espiga		
Tiempo ciclo	28	seg
Eficiencia	88	%
Tiempo muerto	28	%
FPY	100	%
Montaje	12.8	Hrs
Montaje	0	Cant.

Máquina 32 Casco		
Tiempo ciclo	28.6	seg
Eficiencia	90	%
Tiempo muerto	21	%
FPY	100	%
Montaje	0	Hrs
Montaje	0	Cant.

Máquina 25 Tuerca		
Tiempo ciclo	21.7	seg
Eficiencia	80	%
Tiempo muerto	16	%
FPY	100	%
Montaje	36	Hrs
Montaje	0	Cant.

Máquina 292 Casco		
Tiempo ciclo	39	seg
Eficiencia	85	%
Tiempo muerto	13	%
FPY	100	%
Montaje	0	Hrs
Montaje	0	Cant.

Figura 26. Value Stream Map de área de maquinado, detalle de máquinas

Fuente: Elaboración propia

En el cuadro de métricos de las máquinas, figura 26, se puede notar que la máquina 34 que fabrica la espiga tiene el porcentaje de tiempo muerto más alto, con 28%. En conclusión se enfocó en trabajar en mejorar los métricos de esta máquina.

3.3 Equipo de enfoque

Se formó el equipo de trabajo con integrantes de diferentes áreas, de diferentes niveles que tuvieran en común el interés en mejorar los métricos.

Los integrantes del equipo caminaron el proceso para tener el mismo conocimiento de este.

Se definieron roles y responsabilidades de cada miembro.

Tabla 11. Integrantes del equipo de enfoque

Fuente: Elaboración propia

Integrantes del Equipo	
Dorian Martínez, Ingeniero de proceso - Lider	Jorge García, Operador multihusillo - Miembro
Fernando Palma, Supervisor producción - Facilitador	Raúl Trujillo, Operador multihusillo - Miembro
Ricardo García, Control de calidad - Miembro	Victor Flores, Operador multihusillo - Miembro
Enrique Mendieta, Herramientas - Miembro	Francisco Alaniz, Operador multihusillo - Miembro
Miguel González, Mantenimiento - Miembro	

Definición de reglas de equipo:

- Participación activa de todos los integrantes.
- Enfocarse en el problema, no en la persona.
- Iniciar y terminar a tiempo las reuniones.
- Reconocer y celebrar los logros como persona y equipo.
- Valorar la retroalimentación proporcionada a algún integrante.
- Cumplir con todas las tareas asignadas.

El equipo trabajó como una máquina bien engrasada altamente productiva y eficiente.

3.4 Identificar las causas potenciales

El diagrama de causa y efecto se realizó mediante una sesión de lluvia de ideas con el equipo con los siguientes beneficios:

- Se obtuvieron varias ideas en un corto tiempo.
- Todos los participantes tuvieron la oportunidad de contribuir.
- Las ideas se generaron libres de críticas.

A continuación en la figura 27 se muestra el diagrama de causa efecto como resultado del análisis:

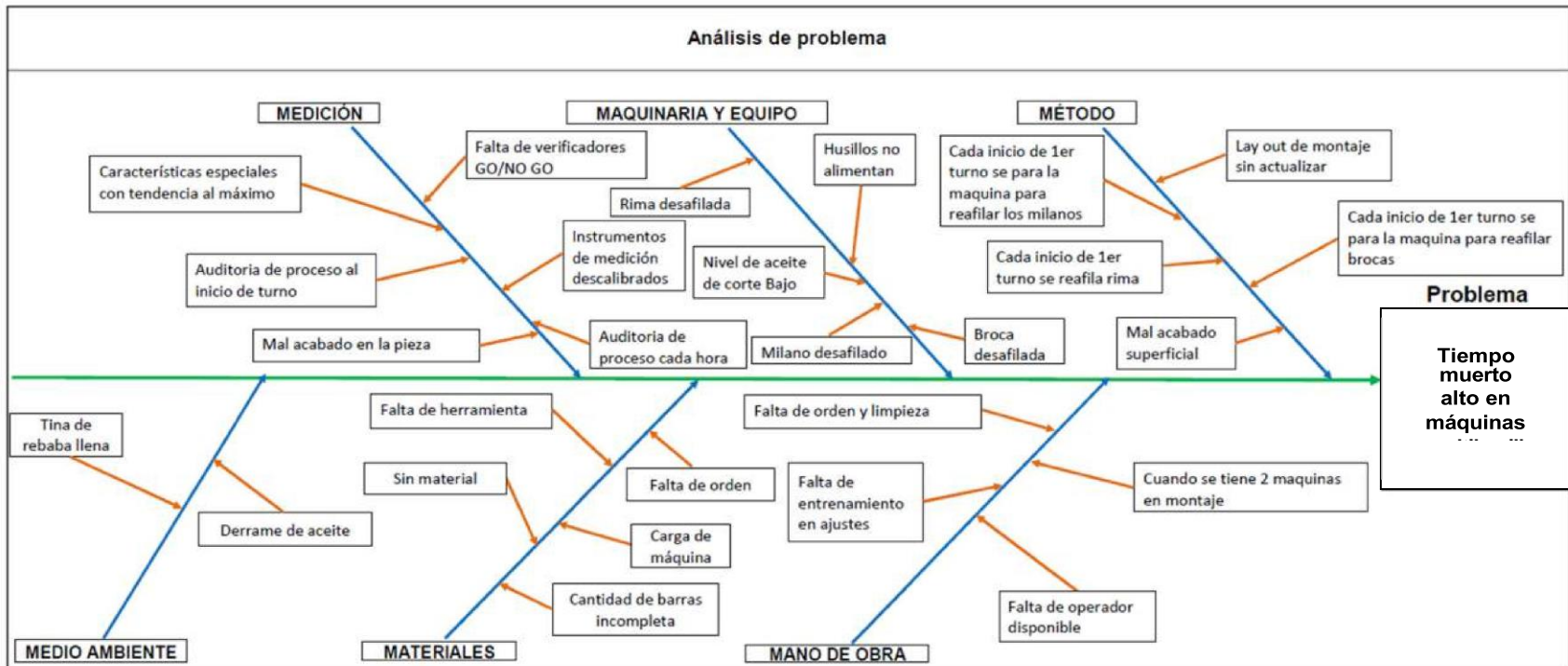


Figura 27. Diagrama de causa y efecto

Fuente: Elaboración propia

3.5 Método de priorización F.O.G.

El método para priorizar los resultados del proceso de lluvia de ideas donde cada persona categorizo su entrada con una F, O o G, para:

Fact: Hecho- Declaración de verdad, comprobada o confirmada con datos. Se alinea con las necesidades y requisitos identificados en el paso 2.

Opinion: Opinión- Punto de vista o creencia que se origina a partir de una experiencia complementaria. Se puede probar o refutar mediante la recopilación de datos relevantes.

Guess: Suposición- especulación, sentimiento o estimación de la que puede ser difícil obtener datos.

Como resultado se obtuvo la siguiente priorización de causas probables de tiempo muerto en célula de maquinado de latón, ver figura 28.

Equipo de alto desempeño	Operador Francisco Alaniz	Operador Victor Flores	Operador Raúl Trujillo	Operador Jorge García	Mantto. Miguel Gorzlez	Herramientas Enrique Mendieta	Calidad Ricardo Garca	Supervisor Fernando Palma	Ingeniería Dorian Martínez	Totales
Principales causas detectadas										
Al principio de primer turno se "para" máquina para reafilar milanos	3	3	3	3	3	3	3	3	3	27
Cada primer turno se "para" máquina para reafilado de brocas	2	1	3	2	2	3	2	1	1	17
Cada primer turno se "para" máquina para reafilado de rima	2	1	3	2	2	3	2	1	1	17
Falta de herramienta	2	2	1	3	2	1	3	0	2	16
										0

Efecto mayor 3
 Efecto medio 2
 Efecto menor 1
 Sin Efecto 0

Figura 28. Causas probables de tiempo muerto

Fuente: Elaboración propia

3.6 Plan de acción

La figura 29 muestra el plan derivado del análisis de causas probables, el cual incluyó las principales actividades realizadas, el responsable de realizarlo, así como la fecha de entrega.

3.7 Reunión con todos los involucrados del proyecto

Se logró el compromiso de la gerencia, el gerente proveyó soporte y seguimiento al proyecto. Transmitió el liderazgo al resto del equipo, se aseguró que todos los involucrados cumplieran con la asistencia a la junta y concientizó los beneficios que se obtendrían al finalizar el proyecto.

3.8 Implementar las acciones seleccionadas

Definición de máquina y número de parte para la implementación

Se involucró al departamento de planeación de la producción para contar con la disponibilidad de la máquina para realización del proyecto.

Definición de objetivos, responsables y fechas de entrega

Se definieron roles, objetivos, responsabilidades y fechas de entrega para todo el equipo involucrado, el equipo se formó por personal de todas las áreas para poder analizar desde todos los puntos el proyecto, por ejemplo, gerente de área, compras, calidad, ingeniería, planeación, producción, almacén, mantenimiento, etc.

3.9 Revisión de información técnica (planos, especificaciones, manuales)

Se investigaron los beneficios al utilizar carburo en el proceso de torneado, condiciones de maquinado, tipo de material a maquinar, velocidades de corte. Se solicitó al departamento de compras el tipo de carburo y dimensiones requeridas para que se gestionara la compra de esta materia prima. La fecha de entrega de la materia prima definió la fecha de entrega del proyecto.

Se investigó el uso de carburo y Acero T15 en la fabricación de insertos de corte, dependiendo la aplicación de cada material se definió utilizar carburo para los insertos de acabado y el acero para los insertos de aproximar, en ambos casos se analizó la propuesta de usar algún recubrimiento para mejorar las condiciones de apariencia en la pieza a maquinar.

Planificador de proyectos

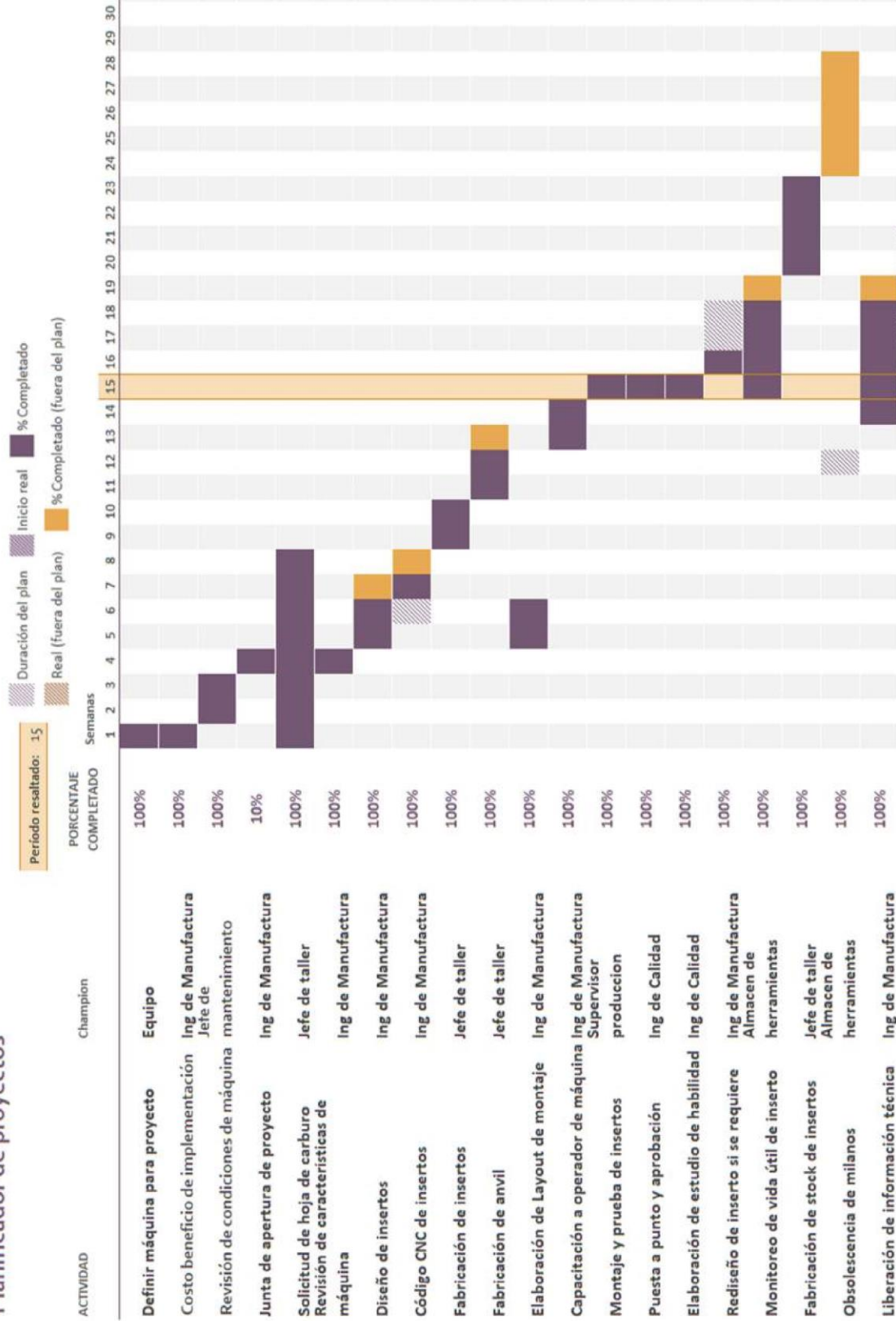


Figura 29. Plan de acción

Fuente: Elaboración propia

3.10 Proceso de fabricación de herramienta de forma: Milano.

El proceso de fabricación de un milano depende de la maquinaria con la que se cuente en el taller de herramientas, a continuación, se describe brevemente el proceso de maquinado de un milano en un taller medianamente equipado, ver figura 30.

La materia prima usada para la fabricación del milano es el acero M2. Las aplicaciones típicas para este acero de alta velocidad son fabricación: brocas helicoidales, escariadores, herramientas de brochado, herramientas de fresado, herramientas de corte, cuchillas, etc.

El acero se compra en barras rectangulares cortadas de tal manera se puedan fabricar 10 piezas de milano por cada barra.

Maquinado cola de milano. El primer maquinado al hacer, es el cepillado, en el cual se asegura que todas las caras sean ortogonales entre ellas (escuadre), este proceso es el más largo debido a la longitud de cada barra de M2, posteriormente se empieza a maquinar una aproximación de la cola de milano a lo largo de toda la barra de acero.

Corte de blank de milano. En el paso siguiente, se procede a cortar cada barra de acero en 10 partes iguales llamados: blanks, se realiza el corte mediante una cierra cinta, para nuestro caso el corte se hace a 12° , el cual define el ángulo de corte.

Tratamiento térmico. En términos generales todos los aceros grado herramienta deben recibir un tratamiento térmico para alcanzar una elevada dureza, resistencia a la abrasión, poca deformabilidad. Para nuestros blanks, son enviados a tratamiento térmico para poder alcanzar una dureza de 60-65 HrC.

Rectificado de cola de milano. Como siguiente operación a nuestro blank, se realiza el terminado de la cola de milano (ángulo 30°), se máquina la dimensión final con ayuda de una rectificadora. Este maquinado permite que el portaherramientas pueda mantener siempre en la misma posición al milano durante el proceso de corte en la máquina multihusillos.

Definición del perfil del milano. El diseño del perfil de corte del milano se realiza de forma paralela a todo el proceso de fabricación del blank, el software utilizado para el diseño del perfil es

AutoCAD®. Cuando el perfil está definido, se procede a generar el código NC usando el software Edgecam®,

Erosionar Milano. Para maquinar el perfil del milano se utiliza una máquina electro-erosionadora (EDM) MV1200R, ver anexo A. Se va maquinando milano por milano, uno a la vez.

Afilado de milano. Este proceso prepara una de las caras del milano para poder cortar o desbastar, la calidad de este afilado define la calidad de corte de la herramienta. La máquina usada para este proceso es una rectificadora plana.

Marcado de número de parte. Finalmente, en el milano se marca el número de parte de la herramienta en una de sus caras para su correcta identificación. El milano ya está listo para trabajar al terminar este paso. El diagrama de flujo del proceso de fabricación de un milano se muestra en la figura 32.



Figura 30. Proceso de fabricación de milano

Fuente: Elaboración propia



Figura 31. Herramienta milano

Fuente: Elaboración propia

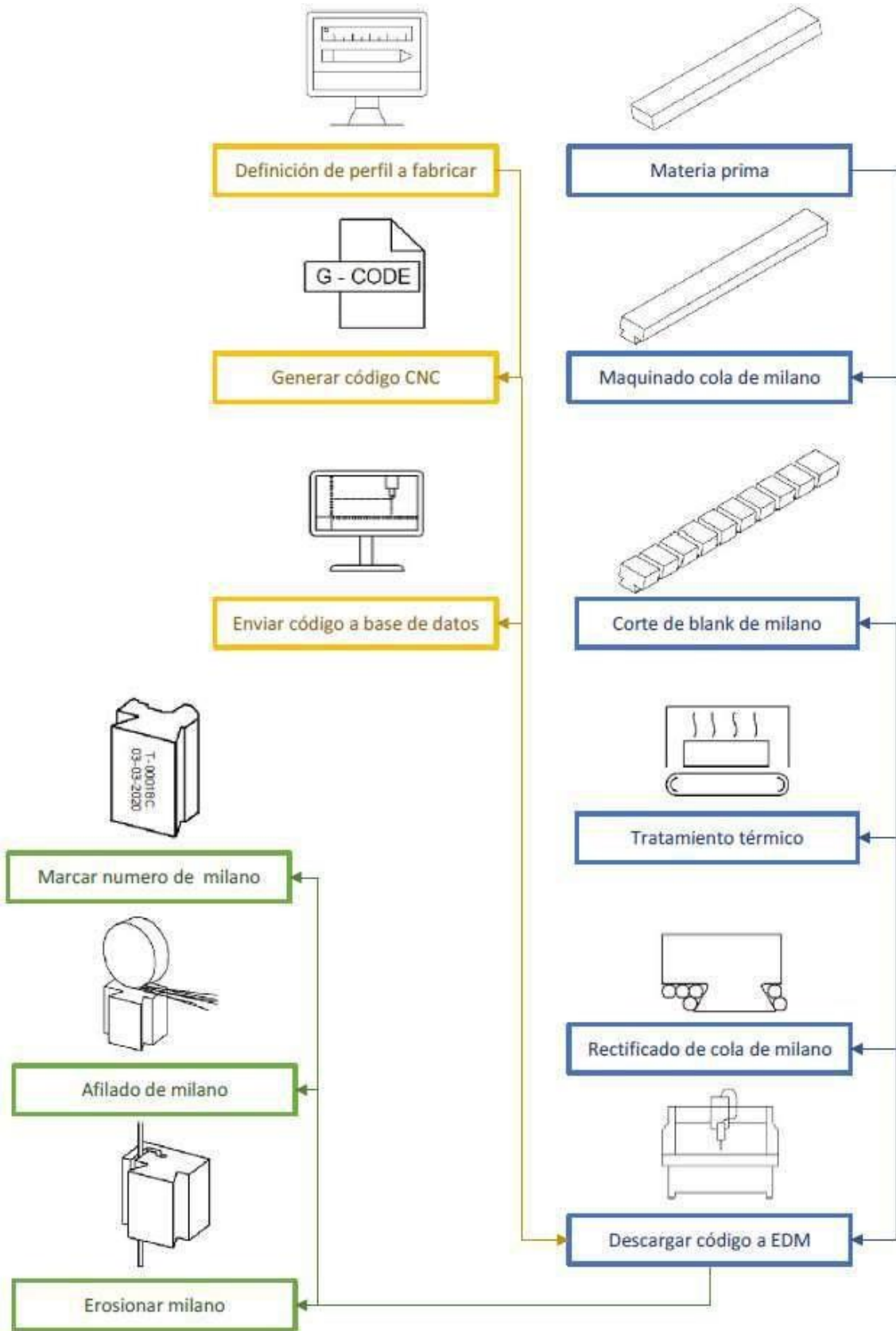


Figura 32. Proceso de fabricación de un milano

Fuente: Elaboración propia

3.11 Proceso de afilado de milano

La característica que tiene la herramienta de forma milano, que es el ángulo de corte de 12° y que se encuentra a lo largo de toda la longitud de la herramienta, permite que una vez que el filo de la herramienta se encuentra desgastado, el milano se puede reafilar usando una rectificadora recta mostrada en la figura 33. El número de afilados depende de la altura mínima de sujeción del milano.

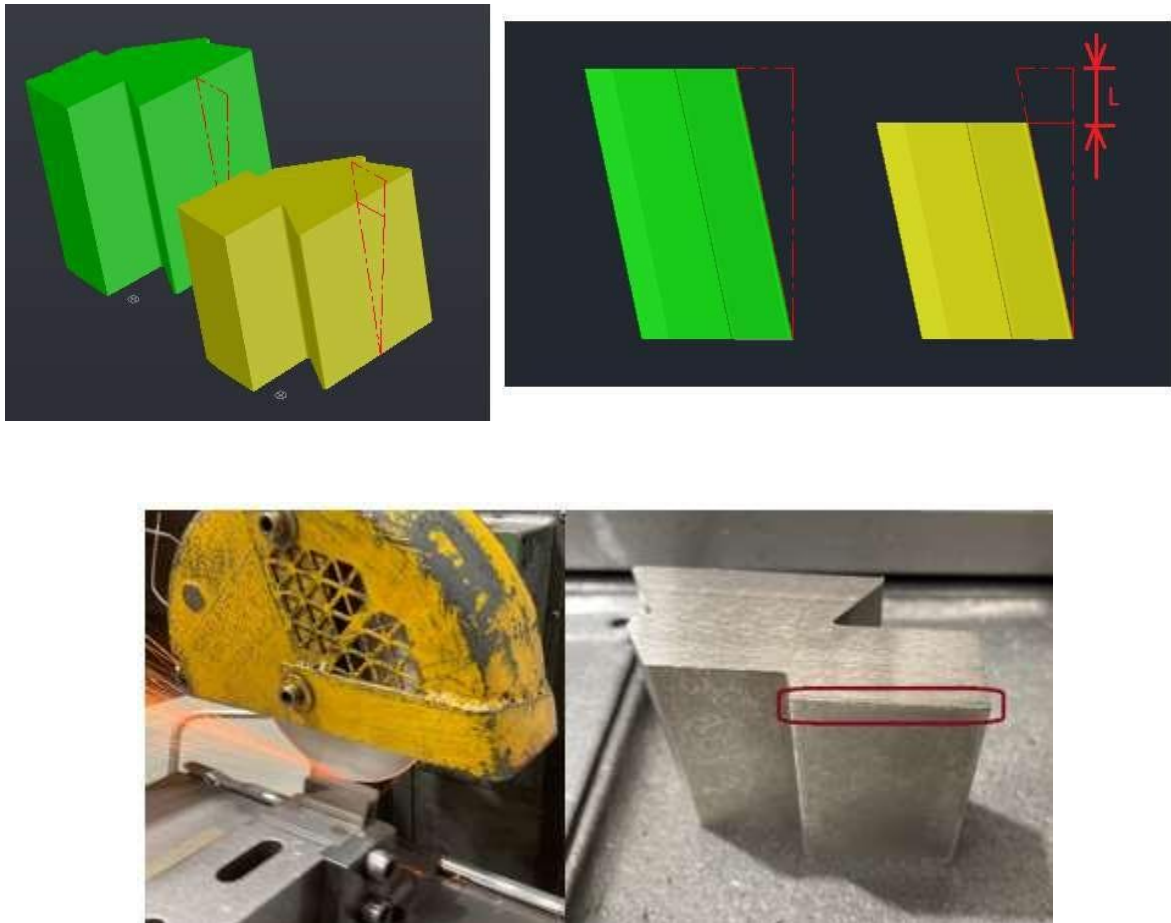


Figura 33. Reafilado de milano

Fuente: Elaboración propia

3.12 Fabricación de herramientas

El material que se seleccionó para fabricar los insertos de forma fue el CARBURO, se decidió utilizar este material debido a su desempeño como herramienta de corte y sus grandes ventajas respecto al material usado para la fabricación de milanos M2 (acero de alta velocidad: habilidad que tienen en cortar metales a altas velocidades).

Fabricación de los herramientas de corte

Una herramienta se diseña con bordes cortantes con el fin de minimizar el contacto entre la herramienta y la pieza de trabajo [29].

General

Todos los parámetros proporcionados son de propósito general y se aplican la mayor parte del tiempo, pero hay excepciones para casos especiales.

3.12.1 Diseño general de herramientas: Insertos

a) Verificar el número de husillos y de posiciones de la máquina, por ejemplo una máquina con 6 husillos cuenta con 6 posiciones para colocar herramientas, para nuestro caso usamos una máquina de 8 husillos, por lo que se cuenta con 8 posiciones para colocar herramientas, para el modelo de máquina Acme-Gridley, siempre en la última posición se encuentra la alimentación de la materia prima.

b) Estudiar el plano de la pieza a fabricar y los documentos que describan las especificaciones de la parte.

El plano describe el tamaño y forma de la pieza requerida y el material del que se va a fabricar, también brinda detalles de la calidad de las piezas, tolerancias dimensionales, requisitos de acabado superficial concentricidad entre diámetros, especificaciones de tratamientos térmicos, etc.

c) Dividir la parte en superficies elementales de corte.

El tamaño y la forma de la pieza se puede considerar que está formada por una serie de superficies elementales, como chaflanes, roscas, diámetros, cuellos, agujeros planos, escariados, caras, etc.

d) Definición de “layer”.

Se propuso utilizar diferentes “layers”. Los “layers” en AutoCAD® cuentan con una propiedad que permite establecer para ellas el estado de visibilidad de los objetos que han sido creados bajo cada una de ellas. Si la capa está activa los objetos estarán visibles, si está inactiva estarán ocultos. Esto es útil para manejar la información presentada en un dibujo, es decir, podríamos tener una cantidad de “layers”, cada una con una información específica pero que, según se activen o desactiven, podrán generar diferentes «versiones» de un mismo dibujo. Inclusive para el mismo proceso de creación del dibujo, desactivar capas de objetos ya existentes, permite “enfocarnos” con mayor facilidad en los objetos que estamos dibujando, sin interferir con los ya creados, la figura 34 muestra un ejemplo específico de definición de layers.

Los “layers” se definieron de la siguientes manera:

- Un “layer” para la pieza principal: color “cyan”, tipo de línea “Continuous”
- Un “layer” para las líneas de centro: color “red”, tipo de línea “Center”
- Un “layer” para líneas ocultas: color “magenta”, tipo de línea “Hidden”
- Un “layer” para las líneas del inserto: color “blue”, tipo de línea “Continuous”
- Un “layer” para el cero pieza: color “30”, tipo de línea “Continuous”
- Un “layer” para el cero herramienta: color “green”, tipo de línea “Continuous”

S.	Name	O.	F.	L.	P.	Color	Linetype	Lineweig...	Transp...	N.
	All Used Layers					BYLAYER	*Varies	— Defa...	0	
	0					white	CONTINUOUS	— Defa...	0	
	CERO HERRAM					green	CONTINUOUS	— Defa...	0	
	CERO PZA					30	CONTINUOUS	— Defa...	0	
	DEFPOINTS					white	CONTINUOUS	— Defa...	0	
	INSERTO					blue	CONTINUOUS	— Defa...	0	
	L CENTRO					red	CENTER	— Defa...	0	
	L OCULTA					magenta	HIDDEN	— Defa...	0	
	PIEZA					cyan	CONTINUOUS	— Defa...	0	

Figura 34. Definición de layers

Fuente: Elaboración propia

- e) Dibujar el perfil de la pieza a fabricar, escala 1:1, en plano (X, Y) como se muestra en la figura 35.

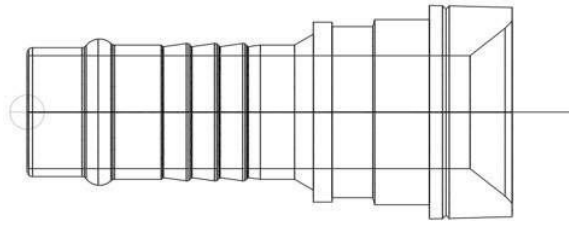


Figura 35. Geometría de pieza a fabricar

Fuente: Elaboración propia

- f) Definir Cero pieza y cero máquina de acuerdo con el “Datum” definido para la máquina. Ver figura 36.

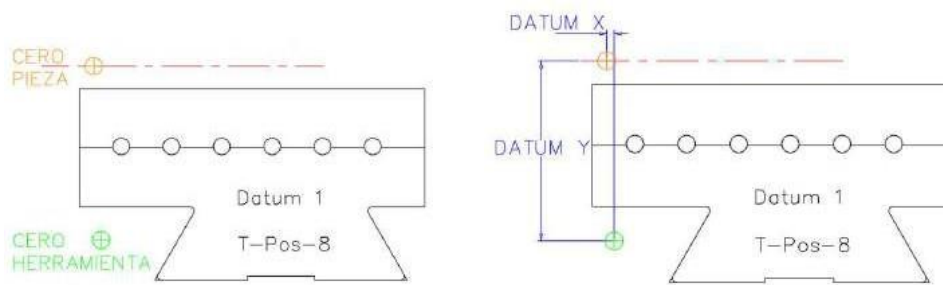


Figura 36. Definición de ceros

Fuente: Elaboración propia

- g) Ubicar el perfil de la pieza en el dibujo del portaherramientas. Ver figura 37

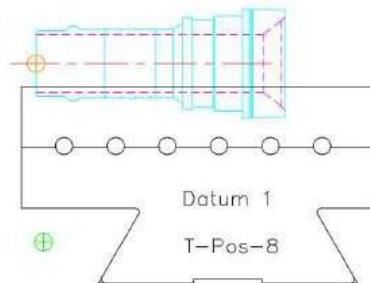


Figura 37. Ubicación de perfil de la pieza

Fuente: Elaboración propia

- h) Determinar el tipo básico de cortes de mecanizado necesarios para cada superficie.

Cada superficie elemental está relacionada con su tipo de operación de corte de metales. Aquí se deben considerar los requisitos de calidad de tolerancias, acabado superficial y concentricidad. Para mantener tolerancias cerradas, las superficies deben tener un corte preliminar (desbaste) y luego un corte de acabado. Para mantener un acabado extremadamente bueno, se debe agregar un corte de rasurado, un corte biselado o un bruñido después del corte de acabado.

3.13 Diseño de herramientas, definición de geometría de cada inserto por posición

Una vez generada la geometría o perfil de la pieza terminada, escala 1:1, en el software de diseño AutoCAD®, se determinó cuantos insertos son necesarios para el formado de la pieza en conjunto con las características de nuestra máquina multihusillos, para este caso en particular la máquina disponible fue un torno multihusillo marca Acme-Gridley de 8 Husillos.

Es deseable formar la pieza con una sola herramienta a medida que el diseño lo permita, esto simplifica montaje y ajustes, sin embargo, si la longitud de la pieza es mayor al diámetro del material, el formado debe ser distribuido entre 2 o 3 herramientas, para nuestro caso se utilizó 4 herramientas, mismas que se describen a detalle más adelante.

3.13.1 Herramientas de aproximado

Las herramientas de aproximado o desbaste se usan cuando las dimensiones finales son producidas por una herramienta de afeitado (Shaving tool) o una herramienta de acabado, como se puede ver en la figura 38, estas herramientas generalmente son usadas para eliminar las aristas de los materiales hexagonales o cuadrados. A continuación, se muestra el diseño final del inserto de aproximar para realizar el montaje de este en 8va posición del torno multihusillo. Las herramientas de desbaste deben dejar suficiente material para que la siguiente herramienta de acabado pueda cortar o limpiar, de 0.020" a 0.030" es adecuado.

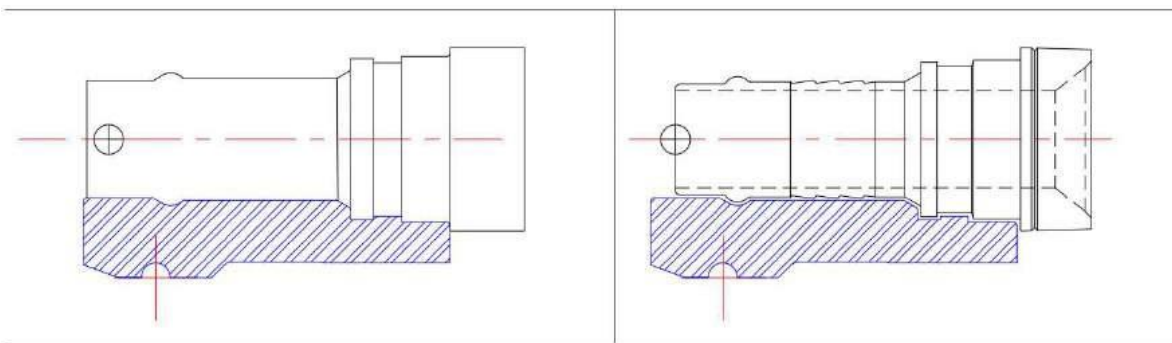


Figura 38. Perfil de inserto para aproximar 8va Posición, físico vs teórico

Fuente: Elaboración propia

3.13.2 Herramientas de acabado

Las herramientas de acabado están diseñadas para producir la pieza exactamente a las dimensiones especificadas. Las herramientas de acabado generalmente se usan para cortar blank de las roscas, chaflanes hexagonales, partes frontales.

El inserto de acabado de 1er posición se diseñó para formar la geometría de la pieza más alejada del husillo; inserto derecho, esto es para evitar que existan vibraciones o que el blank de la pieza se pueda trozar. La figura 39 muestra el diseño del inserto de acabado derecho.

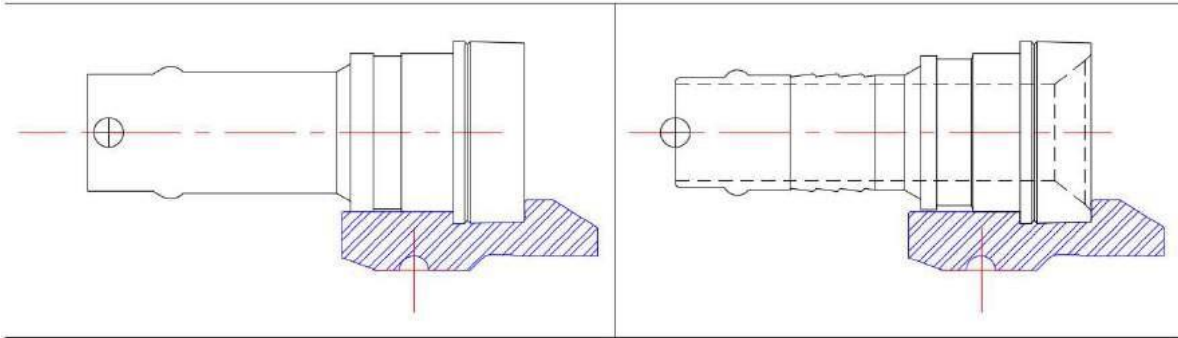


Figura 39. Perfil de inserto para acabado 1er Posición, físico vs teórico

Fuente: Elaboración propia

El inserto de acabado en segunda posición se diseñó para formar la geometría media de la pieza, en la figura 40 se muestra el resultado:

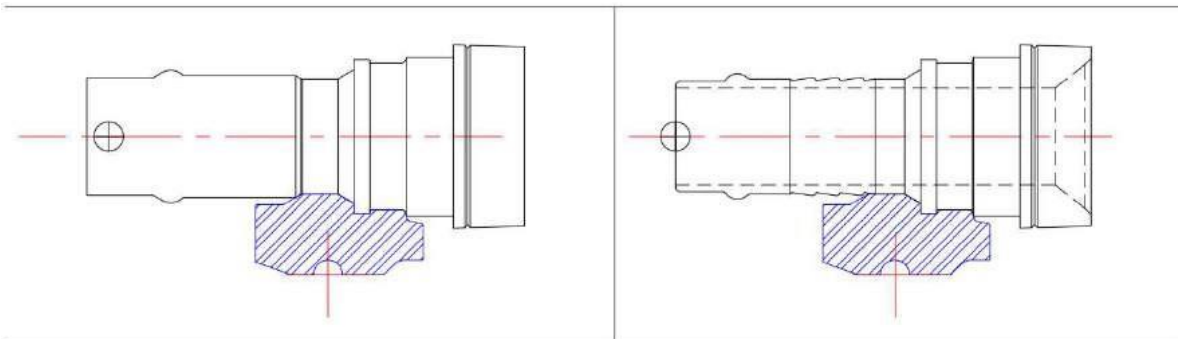


Figura 40. Perfil de inserto para acabado 2a Posición, físico vs teórico

Fuente: Elaboración propia

El inserto de tercera posición se diseñó para formar la geometría izquierda de la pieza, este es el lado más cercano al husillo; inserto izquierdo. El principal problema en esta posición es que la pieza puede ser trozada al reducirse la pared del material. En la figura 41 se puede notar que la geometría de la pieza se encuentra completa.

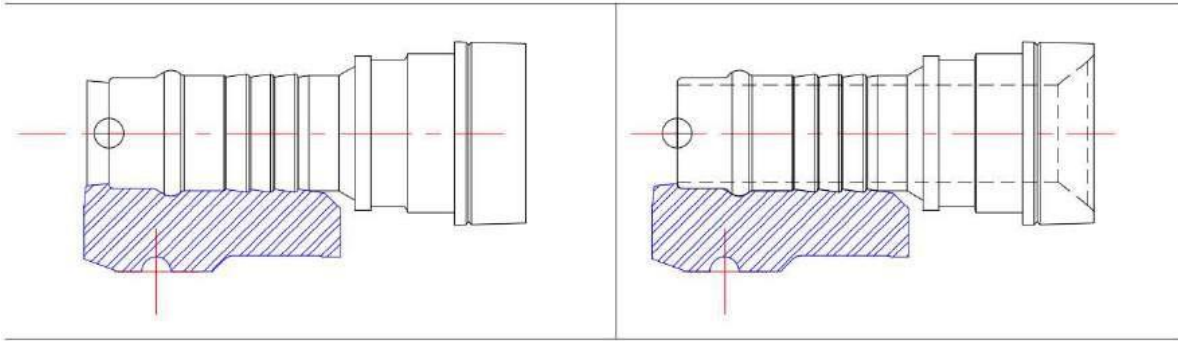


Figura 41. Perfil de inserto para acabado 3er Posición, físico vs teórico

Fuente: Elaboración propia

3.14 Generar código NC

El siguiente procedimiento tiene como fin generar un código NC para la manufactura de insertos de carburo con ángulo de ataque de 17°.

La materia prima usada para fabricar los insertos es Carburo (Cemented Carbide, Cobalt Chloride).

El alambre usado para realizar el corte de los insertos es de latón con diámetro de 0.010 pulgadas con las características:

Tabla 12. Características del alambre de latón

Fuente: Elaboración propia

Core Material	Coating Material	Tensile Strenght	Elongation	Color
CuZn37	paraffin-free	900 N/mm ² 148,000 PSI	1%	Golden

El código NC generado se usa en una máquina EDM: marca Mitsubishi, modelo: MV1200R.

El software utilizado para generar el código NC es Edgecam®.

Software utilizado para diseño de la herramienta: AutoCAD®

3.15 Configuración de software

- 1- Edgecam® tiene que estar configurado en el entorno de “Wire”, con un diámetro de herramienta de 0.010” (diámetro de alambre).
- 2- Post Procesador. Se utilizó un post-procesador el cual compensa todas las coordenadas en Y con coseno de 17° (ángulo de corte del inserto).

3.16 Cargar archivo con el perfil del inserto

- 3- Seleccionar archivo. Abrir el archivo CAD en 2D de la base de datos con la geometría del inserto a maquinar. (File\Open). Figura 42.

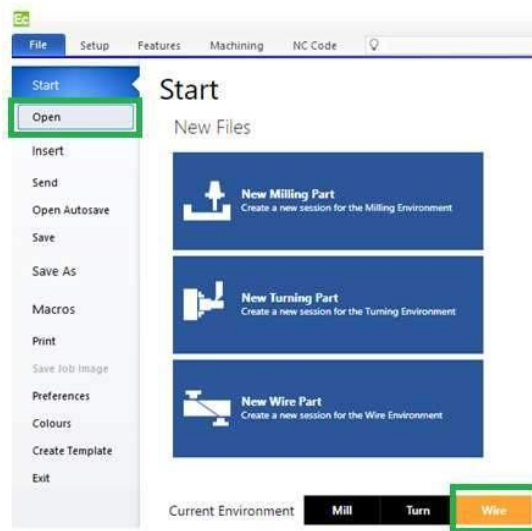


Figura 42. Seleccionar archivo: File\Open

Fuente: Elaboración propia

- 4- Si el perfil del inserto no se muestra en la pantalla completa o se ve muy alejado utilizar el icono “Zoom to the extents of the models” para visualizar la geometría en su totalidad. Figura 43 y figura 44.

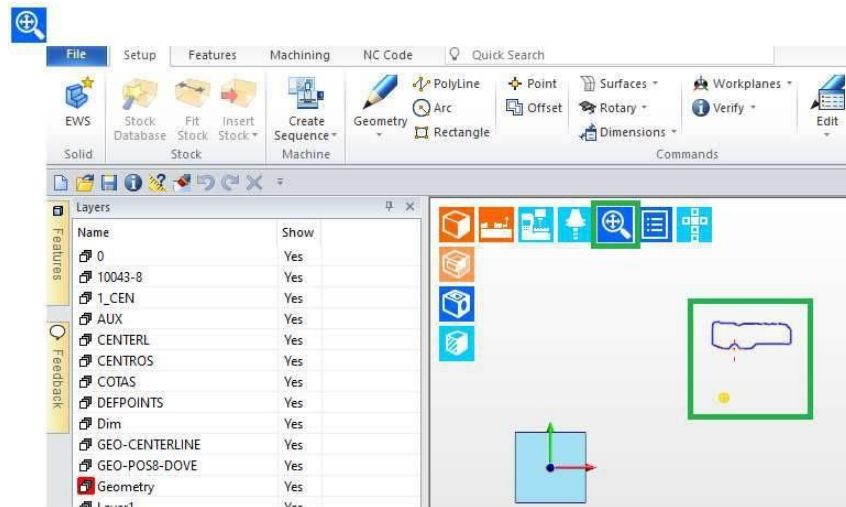


Figura 43. Visualizar geometría: Zoom to the extents

Fuente: Elaboración propia

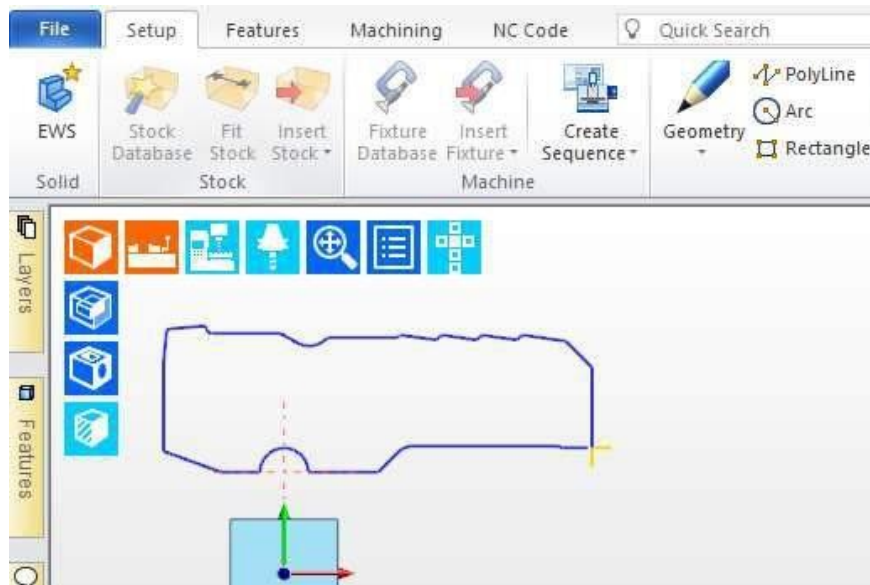


Figura 44. Geometría de inserto

Fuente: Elaboración propia

3.17 Definir cero pieza y cero máquina

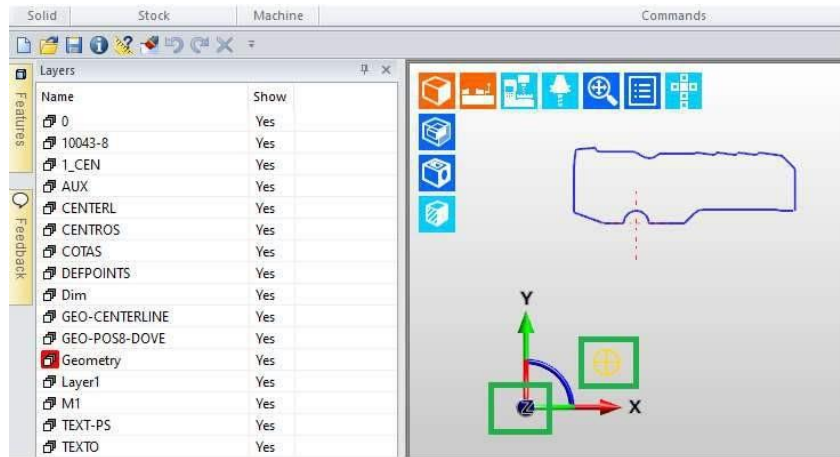


Figura 45. Cero pieza diferente del cero máquina

Fuente: Elaboración propia

- 5- Verificar que el “cero pieza” (circulo amarillo) del inserto coincida con el “cero máquina” (ejes coordenados X, Y), de no ser así, se debe trasladar el cero pieza. Seleccionar menú “Edit\Transform\Traslate”, activar casilla “Dynamic”, clic en botón “OK”. Ver figura 45.

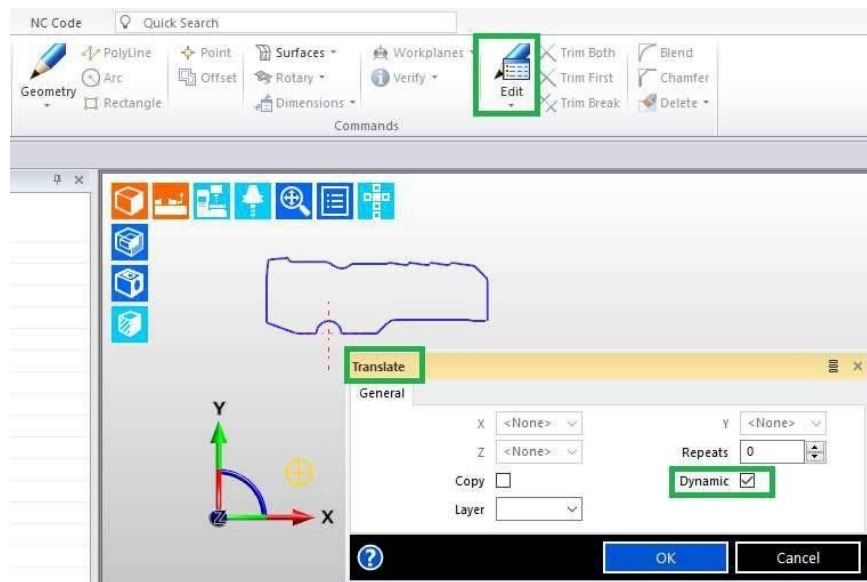


Figura 46. Menu Translate

Fuente: Elaboración propia

Seleccionar el perfil incluyendo el cero pieza, manteniendo presionado clic izquierdo y seleccionar la geometría incluyendo el cero pieza, aceptar con clic derecho. El perfil debe cambiar a líneas punteadas y debe permitirse mover en cualquier dirección moviéndose con el puntero. Figura 46, 47 y figura 48.

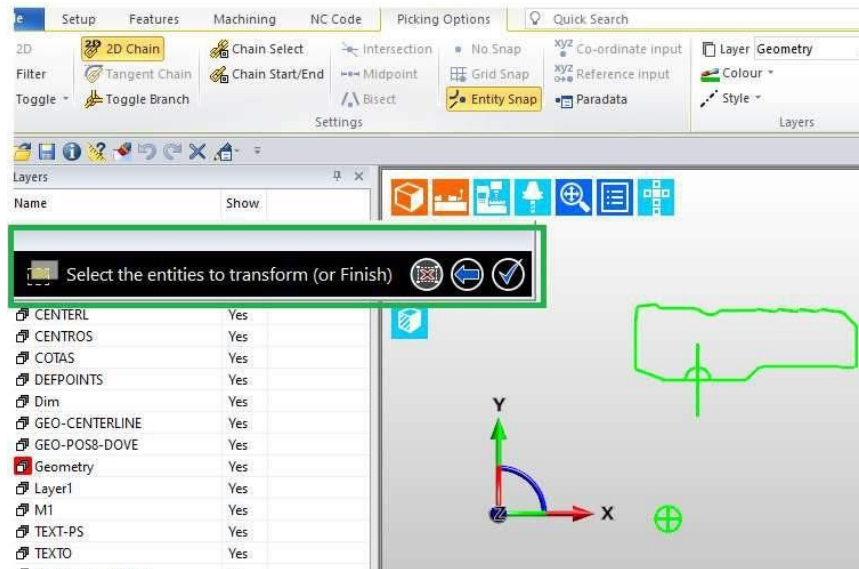


Figura 47. Selección de perfil a trasladar

Fuente: Elaboración propia

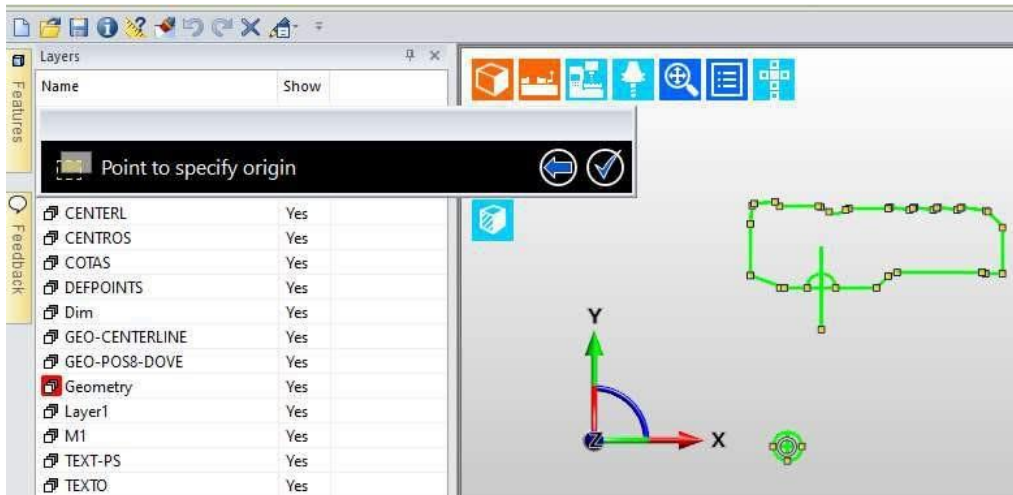


Figura 48. Especificar Punto de origen

Fuente: Elaboración propia

Para definir el punto de destino teclear directamente en el teclado, la letra “X” entonces Se activará el cuadro de coordenadas y en el campo “command” teclear la coordenada “x0y0” y seleccionar botón Ok. En este paso el cero pieza debe coincidir con el cero pieza. Figura 49, 50 y 51.

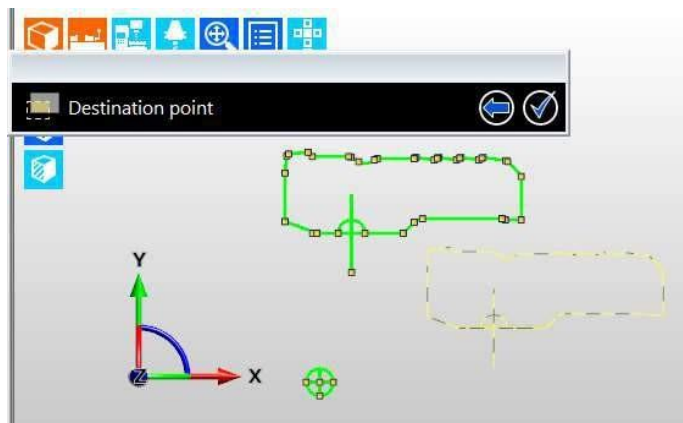


Figura 49. Especificar Punto de destino

Fuente: Elaboración propia

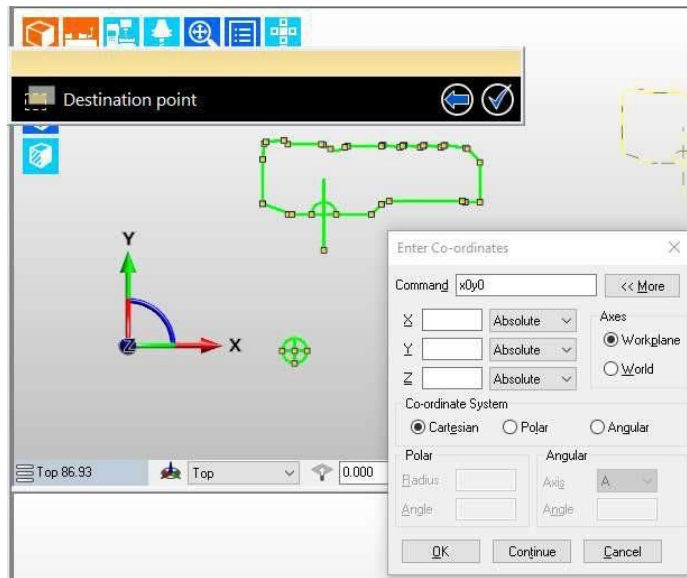


Figura 50. Especificar Punto de origen, X, Y

Fuente: Elaboración propia

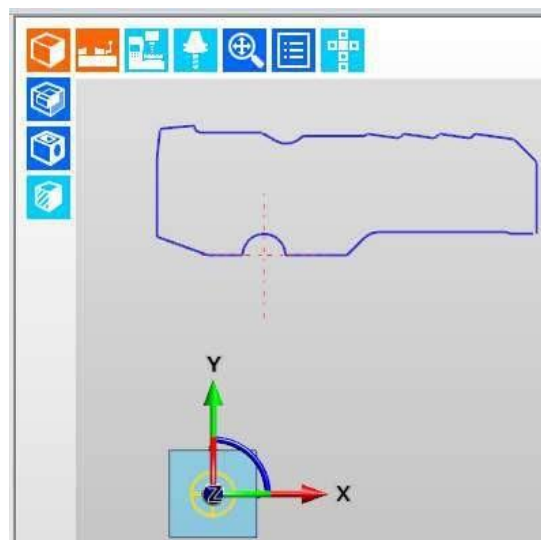


Figura 51. Cero pieza y cero máquina

Fuente: Elaboración propia

3.18 Cargar el post procesador

Seleccionar File\Macros y en el campo PCI seleccionar el archivo con extensión “. pci” y teclear botón \Run para iniciar la secuencia de programación. Figura 52.

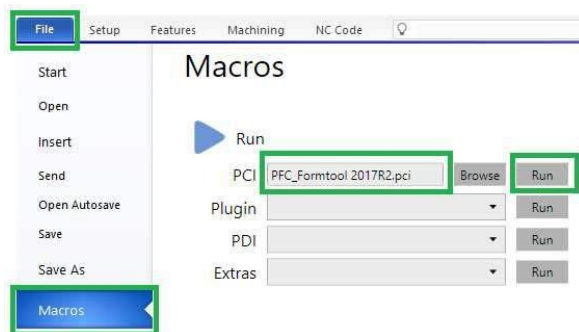


Figura 52. Cargar el post procesador

Fuente: Elaboración propia

3.19 Secuencia de programación

- a) Form closest to Center line

Seleccionar el punto más cercano a la línea de centro (Punto más alto del perfil) dando clic izquierdo sobre él punto. Figura 53.

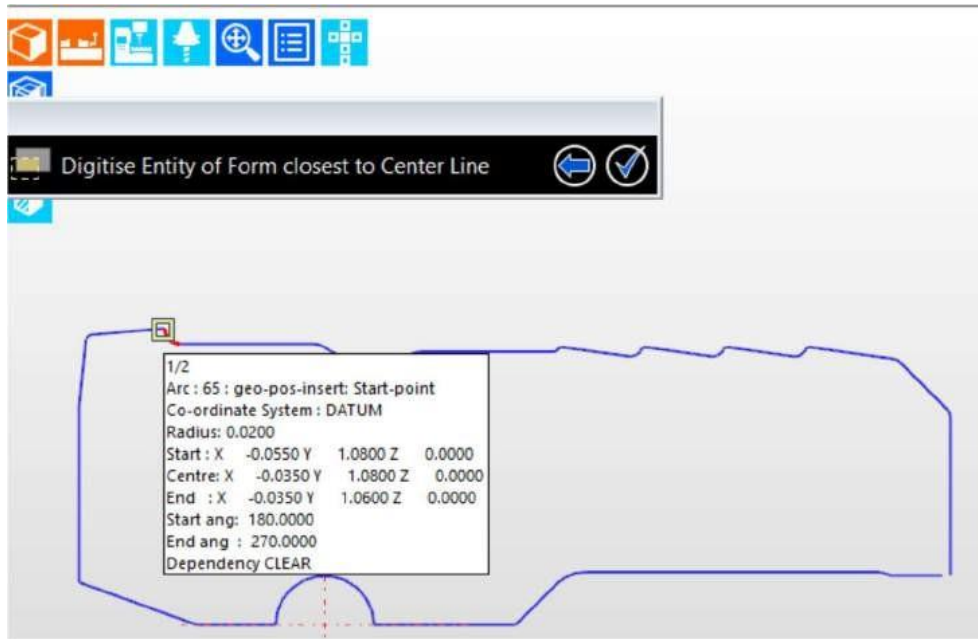


Figura 53. Punto más cercano a línea de centros

Fuente: Elaboración propia

b) Encabezado del programa (Header)

A continuación, Se solicitarán los datos del encabezado del programa: Program number, Tool Description, Programmer, Tool Type. Alimentar los campos con la información y terminar seleccionando el botón OK.

c) Parámetros de herramienta (Tool)

Colocar Clearance Angle = 12° y Rake Angle = 5° figura 54.

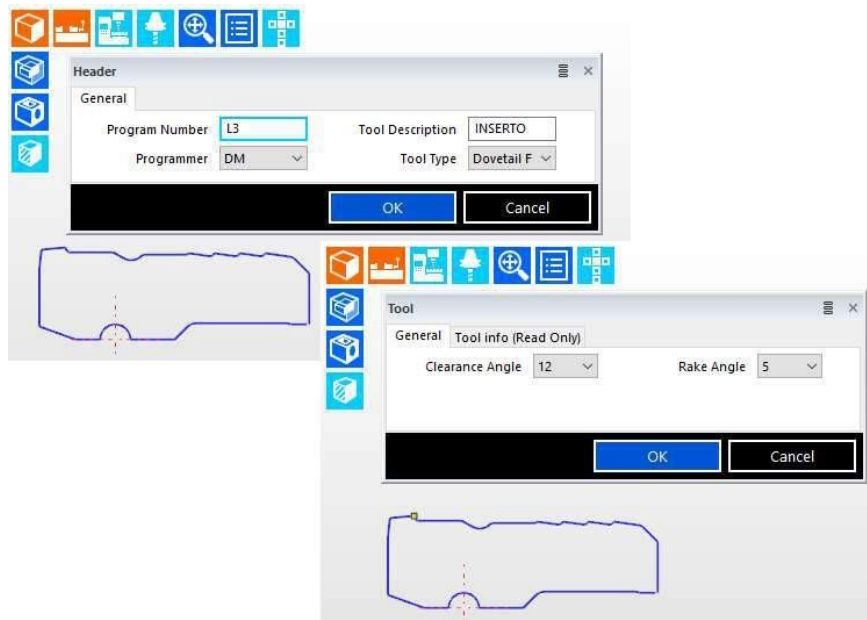


Figura 54. Encabezado del programa y ángulo de corte

Fuente: Elaboración propia

Tool info

Se debe revisar la información de la herramienta, si el cero pieza y el cero máquina son los mismos, los valores X datum value y Y datum value deben aparecer en valor “cero”, de lo contrario regresar al paso número 5, seleccionar Ok para confirmar. Ver figura 55.

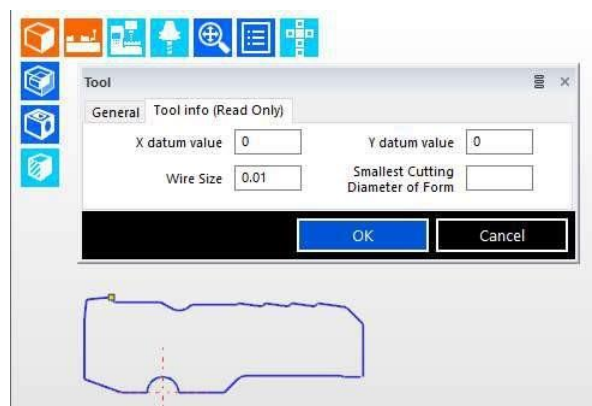


Figura 55. Información de la herramienta

Fuente: Elaboración propia

d) Definir punto de inicio en eje X.

(XMIN) (XMAX)

Definir Limites en X. Determinar los limites en eje X (Xmin, XMax), Seleccione el extremo del eje “x” donde iniciara el corte con el hilo. Recuerde que el corte inicia desde la parte izquierda del perfil del inserto. Es el punto más cercano al origen del perfil. Seleccione el extremo del eje “x” donde terminara el corte con el hilo. Esto es, el punto más alejado en el eje “x” del perfil del inserto. Ver figura 56.

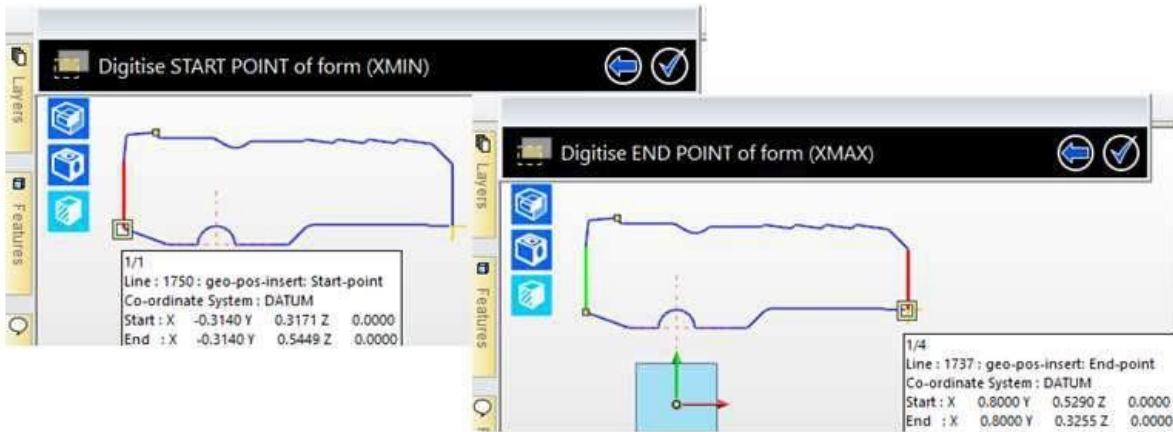


Figura 56. Limites en eje X

Fuente: Elaboración propia

e) Definir punto de corte en el eje Y. Determinar un punto en el eje Y

En este punto se debe seleccionar un punto aleatorio del perfil en el eje Y, ver figura 57.

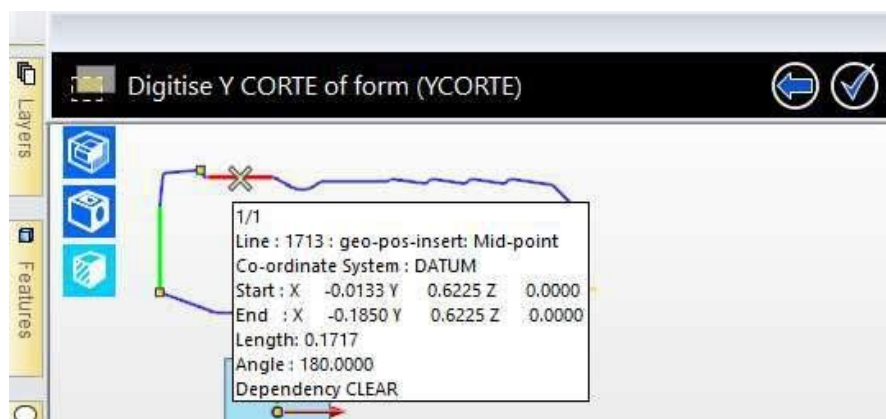


Figura 57. Limites en eje Y

Fuente: Elaboración propia

f) Ciclo de desbaste (corte en sentido horario)

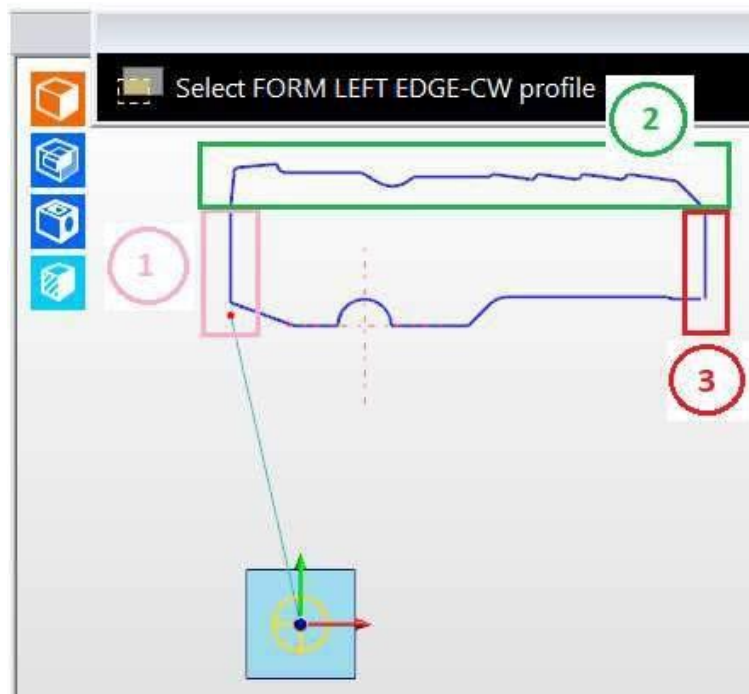


Figura 58. Ciclo de desbaste

Fuente: Elaboración propia

Seleccionar corte de desbaste. Se inicia la secuencia de desbaste del inserto en sentido horario. Seleccione las líneas de perfil izquierdo en el orden 1, 2, 3 de izquierda a derecha incluyendo radios, hasta que se colorean en verde y de click en botón derecho posicionándose sobre las líneas que seleccionó. Se mostrarán una flecha color amarilla indicando la dirección de corte y un punto color rojo que nos muestra el término del primer recorrido del hilo. Para confirmar esta secuencia vuelva a dar clic derecho fuera de las líneas y una figura en forma de estrella aparece. Vuelva a dar clic fuera de las líneas y la flecha, los puntos y la estrella desaparecerán. Usted podrá ver que el primer segmento del perfil de corte cambia de color. Ver figuras 58 y 59.

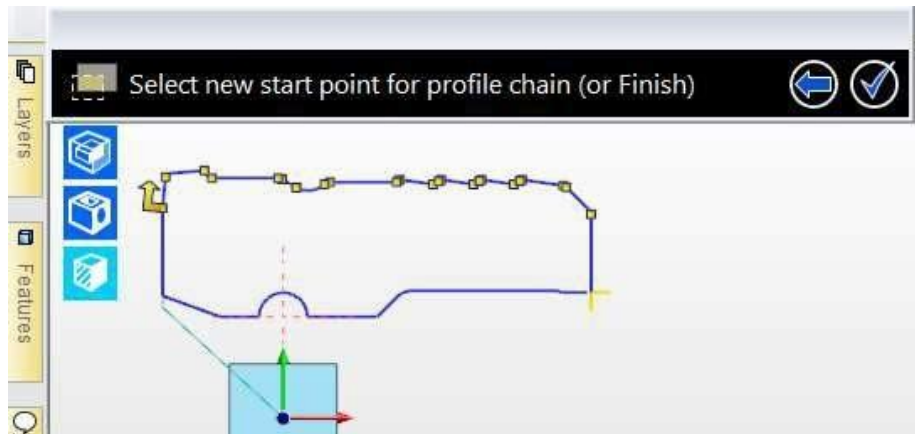


Figura 59. Trayectoria de desbaste

Fuente: Elaboración propia

g) Ciclo de acabado (sentido antihorario)

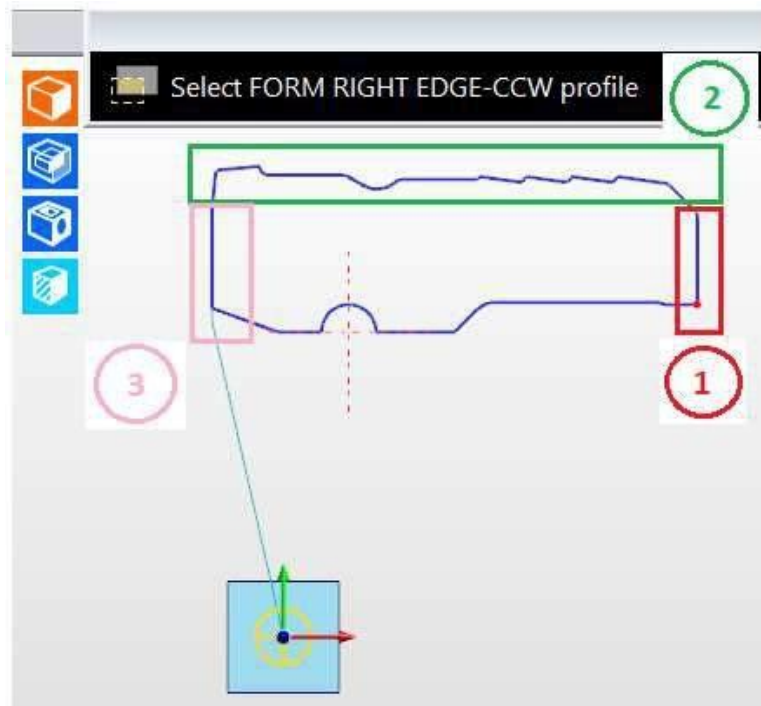


Figura 60. Ciclo de acabado

Fuente: Elaboración propia

Seleccionar corte de acabado. Para la secuencia de acabado se usa el sentido antihorario. Edgcam® nos pedirá indicar el corte de regreso del hilo. Seleccionar el perfil en el orden 1,

Figura 62. Simulación de proceso de corte

Fuente: Elaboración propia

3.21 Generar código NC

- i) Generar Código. Como último paso se procede a generar el código CNC, seleccionando el botón “Generate NC”. Desplegara un cuadro de dialogo solicitando la ubicación donde se desea guardar el archivo. Dar clic en aceptar. Inmediatamente se abre una ventana con el código en CNC creado. De clic en OK en el cuadro de dialogo que aparece. Figura 63

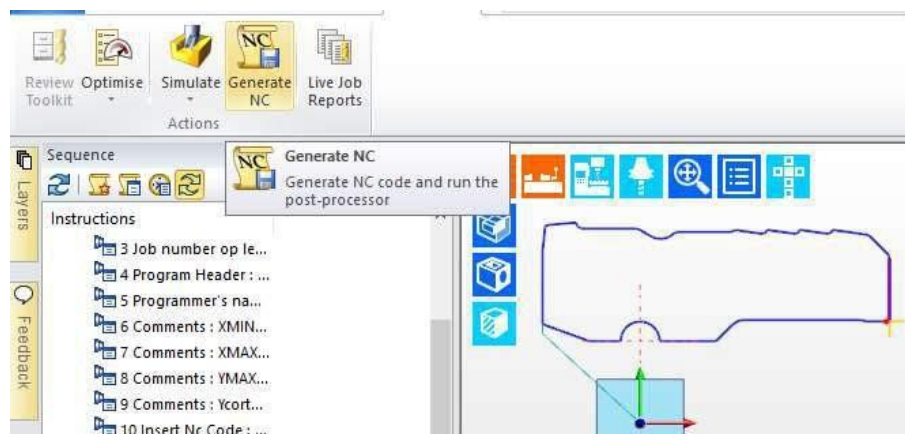


Figura 63. Generar código NC

Fuente: Elaboración propia

3.22 Cargar archivos a máquina EDM

El archivo que se genera tiene como extensión “.nc”, se carga a la Máquina de electroerosión MV1200R por cualquier medio de almacenamiento, para continuar con el maquinado del inserto, como se aprecia en la figura 64.

```

%
L3/INSERTO
(Sequence Name INSERTO 3a POS)
(DATE : 06/03/2020 AT 11:03:11)
(Mitsubishi EDM)
(PROGRAMMED BY : DM)
N10 (XMIN -0.314)
(XMAX 1.0914675)
(YMAX 0.6425)
(Ycorte 0.6125)
M20
M78
M80
M82
M84
G90
H1=0.008
E2811 F.2
G90
G41 G01 X0.0 Y0.0
X-0.314 Y0.2871
(drop on)
(ROUGH PASS)
X-0.314 Y0.2997
X-0.314 Y0.3288
X-0.314 Y0.5488
X-0.3058 Y0.6262
G02 X-0.2968 Y0.6348 R0.01
G01 X-0.205 Y0.6425
G03 X-0.185 Y0.6225 R0.02
G01 X-0.0133 Y0.6233
G02 X-0.0033 Y0.6207 R0.02
G01 X0.034 Y0.6001
G03 X0.065 Y0.5921 R0.062
X0.1077 Y0.6084 R0.062
G02 X0.1214 Y0.6137 R0.02
G01 X0.295 Y0.6137
X0.2995 Y0.6181
G02 X0.3031 Y0.6195 R0.005
G01 X0.3038 Y0.6194
X0.3893 Y0.6081
X0.3913 Y0.6079
G03 X0.4043 Y0.6151 R0.015
G01 X0.4055 Y0.6171
G02 X0.4098 Y0.6195 R0.005
G01 X0.4105 Y0.6194
X0.4942 Y0.6081
X0.4963 Y0.6079
G03 X0.5093 Y0.6151 R0.015
G01 X0.5105 Y0.6171
G02 X0.5148 Y0.6195 R0.005
G01 X0.5155 Y0.6194
X0.5992 Y0.6081
X0.6013 Y0.6079
G03 X0.6143 Y0.6151 R0.015
G01 X0.6155 Y0.6171
G02 X0.6198 Y0.6195 R0.005
G01 X0.6205 Y0.6194
X0.7275 Y0.6049
G02 X0.736 Y0.6008 R0.015
G01 X0.7956 Y0.5436
G02 X0.8 Y0.5334 R0.015
(drop off)
G01 X0.8 Y0.3255
M01 Y0.30
(1ST SKIM)
G42
G04 X2.0
E2812 F.2 H1=0.0056
(drop on)
X0.8 Y0.3255
X0.8 Y0.5334
G03 X0.7956 Y0.5436 R0.015 H01
G01 X0.736 Y0.6008
G03 X0.7275 Y0.6049 R0.015
G01 X0.6205 Y0.6194
X0.6198 Y0.6195
G03 X0.6155 Y0.6171 R0.005
G01 X0.6143 Y0.6151
G02 X0.6013 Y0.6079 R0.015
G01 X0.5992 Y0.6081
X0.5155 Y0.6194
X0.5148 Y0.6195
G03 X0.5105 Y0.6171 R0.005
G01 X0.5093 Y0.6151
G02 X0.4963 Y0.6079 R0.015
G01 X0.4942 Y0.6081
X0.4105 Y0.6194
X0.4098 Y0.6195
G03 X0.4055 Y0.6171 R0.005
G01 X0.4043 Y0.6151
G02 X0.3913 Y0.6079 R0.015
G01 X0.3893 Y0.6081
X0.3038 Y0.6194
X0.3031 Y0.6195
G03 X0.2995 Y0.6181 R0.005
G01 X0.295 Y0.6137
X0.1214 Y0.6137
G03 X0.1077 Y0.6084 R0.02
G02 X0.065 Y0.5921 R0.062
X0.034 Y0.6001 R0.062
G01 X-0.0033 Y0.6207
G03 X-0.0133 Y0.6233 R0.02
G01 X-0.185 Y0.6233
G02 X-0.205 Y0.6425 R0.02
G01 X-0.2968 Y0.6348
G03 X-0.3058 Y0.6262 R0.01
G01 X-0.314 Y0.5488
(drop off)
X-0.314 Y0.3171
E2811 F0.2 H1=0.0056 (CORTE PARTE DE ATRAS)
X-0.1635 Y0.2625
X-0.063 Y0.2625
G02 X0.0 Y0.3255 R0.063
X0.063 Y0.2625 R0.063
G01 X0.2437 Y0.2625
X0.2957 Y0.3144
G02 X0.3345 Y0.3305 R0.055
G01 X0.71 Y0.3305
X0.725 Y0.3255
X0.79 Y0.3255
G40 X0.79 Y0.3255
G23
M02
%

```

Figura 64. Código NC para máquina MV1200R

Fuente: Elaboración propia

3.23 Proceso de fabricación de herramienta de forma: inserto

La materia prima que se utilizó para la fabricación de los insertos fue carburo HM01, se compra en hojas rectangulares con el espesor 1/8", esta materia prima no requiere algún maquinado antes del erosionado.

Definición del perfil del inserto. El diseño del perfil de corte del inserto se realiza con ayuda del software de diseño AutoCAD®. Cuando el perfil está definido, se procede a generar el código NC usando el software Edgecam®,

Erosionar Inserto. Para maquinar el perfil del inserto se utiliza una máquina electro-erosionadora (EDM) MV1200R, ver anexo 1. Se puede maquinar varios insertos al mismo tiempo, solo basta colocar las placas de carburo apiladas, regularmente se maquinan cinco insertos al mismo tiempo. La base donde se fijan dichas placas tiene un ángulo de inclinación de 17°, el cual define el ángulo de ataque del inserto, ver figuras 65, 66, 67 y 68.

Marcado de numero de parte. Finalmente, en el inserto se marca el número de parte de la herramienta en una de sus caras para su correcta identificación. El inserto está listo para trabajar al terminar este paso.



Figura 65. Placas de carburo y máquina MV1200R.

Fuente: Elaboración propia

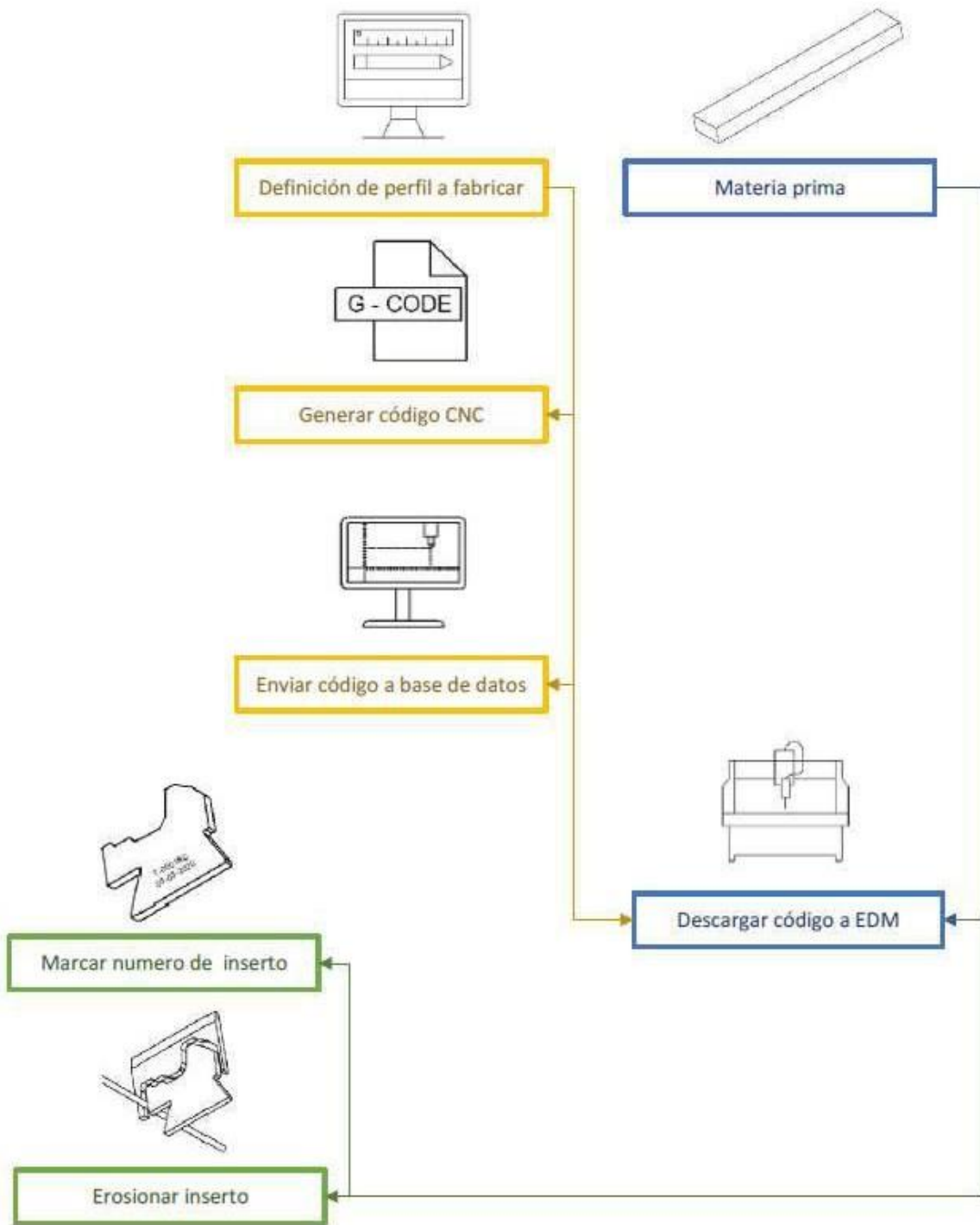


Figura 66. Proceso de fabricación de un inserto

Fuente: Elaboración propia



Figura 67. Corte de insertos, mecanizado con alambre de latón de 0.010 in

Fuente: Elaboración propia

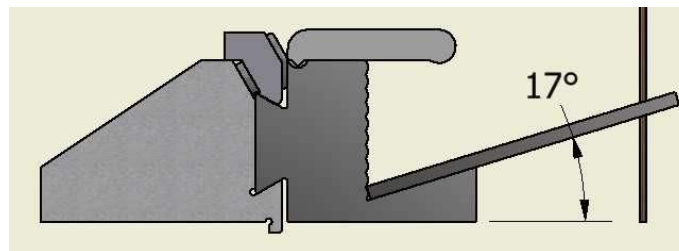


Figura 68. Angulo de corte 17°

Fuente: Elaboración propia

3.24 Proceso de fabricación del respaldo (anvil) del inserto

La materia prima que se utilizó para la fabricación del respaldo (anvil) fue acero comercial, este tiene exactamente la geometría del inserto y se fabrica inmediatamente después de fabricar los insertos, aquí se utilizan placas de acero con espesor de 1/4", en la figura 69 se muestra la diferencia entre un inserto y el respaldo (anvil) del mismo número de parte.



Figura 69. Inserto Vs Anvil

Fuente: Elaboración propia

Definición del perfil del respaldo. El diseño del perfil de corte del respaldo se realiza con el mismo código NC generado en Edgcam® el cual se utilizó para el inserto. La única diferencia es el E-pack para corte de acero.

Erosionar respaldo. Para maquinar el perfil del respaldo se utiliza también la máquina (EDM) MV1200R. ver anexo A. Se puede maquinar varios respaldos al mismo tiempo, solo basta colocar las placas de acero apiladas, regularmente se maquinan 3 respaldos al mismo tiempo. La base donde se fijan dichas placas tiene un ángulo de inclinación de 17° , mismo que el inserto de carburo.

Marcado de número de parte. Finalmente, en el respaldo se marca el número de parte de la herramienta en una de sus caras para correcta identificación. El respaldo en este punto ya está listo para usarse.

3.25 Comparación entre un milano y un inserto

Como puede apreciarse en la siguiente figura, la diferencia en dimensiones entre un milano e inserto para el mismo número de parte es demasiado grande, en dimensiones, en peso.



Figura 70. Milano Vs Inserto

Fuente: Elaboración propia

Resultados

Se reviso a detalle el flujo de operaciones de maquinado en el VSM actual, por las cuales las piezas pasan hasta llegar a la operación de ensamble y empaque, se determinó que el mayor tiempo muerto se encuentra en las actividades de ajuste, que se originan por el reafilado de la herramienta y las actividades de montaje del siguiente número de parte.

Como resultado del proceso de solución de problemas de 10 pasos. Se propuso el cambio de herramientas de forma de milanos de acero grado herramienta a insertos de carburo. Este cambio realizado de primera mano se puede ver demasiado fácil, pero para llegar al resultado obtenido, se realizaron varias pruebas piloto de fabricación de insertos hasta llegar al diseño final, los problemas presentados fueron en la variación en las dimensiones finales de la pieza y la fractura de los insertos.

Los resultados que se obtuvieron de la Optimización del proceso de maquinado en tornos multihusillo usando insertos de forma, fueron muy sobresalientes al obtenerse un ahorro directo al cambiar de una herramienta a otra, a continuación se muestran los números:

Comparación de costo de herramienta milano versus inserto

Numero de partes asignados a la máquina	12	
Numero de herramienta milanos requeridos	48 (x 2 Backups)	
Inventario de milanos	$48 \times 2 \times 110.115 =$	10571.04 Dls
Números de insertos requeridos	48 (x 2 Backups)	
Números de portaherramientas requerido	4	
Inventario de Insertos	$48 \times 2 \times 6.242 =$	599.232 Dls
Inventario de portaherramientas	$4 \times 455.46 =$	1821.84 Dls
Ahorro en inventario		8149.968 Dls
Cálculo de costo para herramienta de milano		
Blank		94.646 Dls
EDM maquinado		15.470 Dls
Reafilado (50x)		2.063 Dls
Tiempo de cambio de herramienta	15 min	5.150 Dls
TOTAL POR FILO		7.213 Dls

Cálculo de costo para herramienta de INSERTO

Carburo		3.148 Dls
EDM maquinado	9 min	3.094 Dls
Tiempo cambio de herramienta	3 min	1.031 Dls
TOTAL POR FILO		1.031 Dls
Ahorro estimado herramientas		
afilado de milanos (2X)	semanal 10	anual 520
Ahorro por reafilado		6.182 Dls
Total de afilado		3214.64 Dls
Ahorro total		11364.608 Dls

Los tiempos ciclos de maquinado del número de parte terminado se redujeron de 28 segundos como punto de partida mostrados en el layout del anexo P, hasta lograr obtener un tiempo ciclo de 15.67 segundos con las características definidas en el layout del anexo Q. Esta reducción en el tiempo ciclo se obtuvo debido a las propiedades del carburo del cual se fabricaron los insertos, que permite que la velocidad de la maquina en RPMs pueda ser incrementada sin sacrificar calidad y acabados de la pieza terminada.

Los tiempos muertos por reafilados de los milanos se eliminan en su totalidad ya que el inserto al ser de un solo uso, no requiere ningún afilado, una vez que el inserto llega al final de su vida útil, este debe ser reemplazado por un nuevo inserto.

Conclusiones

En esta tesis se optimizó el proceso de maquinado en tornos multihusillo mediante el uso de insertos de forma y se eliminaron los milanos en 100%.

En esta tesis se redujo el tiempo ciclo de maquinado en 44% superando el 30% propuesto.

En esta tesis se disminuyó el tiempo muerto por reafilado de herramientas de forma obteniendo un ahorro de 3214 Dólares.

En esta tesis se aumentó la productividad en el maquinado de herramientas de forma de 4.5 piezas a 50 piezas por turno.

En esta tesis se logró un ahorro total de 8149 Dólares en inventario de herramientas al implementar los insertos de forma.

Se cumplió con los objetivos propuestos y a pesar de tener varias limitaciones en este tipo de máquinas como lo es la falta de servomotores y controles digitales.

El planteamiento de este documento tuvo como objetivo optimizar el proceso de maquinado en tornos multihusillos usando insertos de forma, con base en un proceso de solución de problemas sustentados por las herramientas de manufactura esbelta, se puede concluir que todos los procesos pueden optimizarse aun cuando ya todo este hecho o implementado, sin importar que las maquinas no cuenten con tecnología de punta.

Para asegurar que las acciones implementadas fueran efectivas, siempre se consultó con el equipo de producción.

Los resultados indican que fue un proyecto bien analizado y ejecutado en el equipo de enfoque, por lo que la dirección de la empresa propuso implementar en todas las máquinas que tengan la misma familia de productos.

Referencias

- [1] M. Ghosh, Lean Manufacturing performance in indian manufacturing plants, *Journal of Manufacturing Technology Management Review*, 2013.
- [2] M. Imai, *Kaizen: La clave de la Ventaja Competitiva Japonesa*, DF, México: CECSA, 1986.
- [3] G. Koenigsaecker, *Leading the Lean Enterprise Transformation*, New York, USA: CRC Press, 2009.
- [4] G. G. y. M. P. R. Bergmiller, Lean and sustainability programs: Evidence of operational synergy for lean manufacturers and logical growth toward sustainability, *Review of Business Research*, 2011.
- [5] J. y. C. G. Liker, *The Toyota way to lean leadership*, New York, USA: CRC Press, 2011.
- [6] F. B. a. J. Jelinek, *Quick changeover simplified The Managers Guide to Improving Profits with SMED*, New York: Productivity Press, 2007.
- [7] S. G.S., *Fundamentals of Metal Cutting and Machine Tools*, 1987.
- [8] B. Schumacher, «After 60 years of EDM the discharge process remains still disputed,» *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 149, n° 1-3, pp. 376-381, 2004.
- [9] M. e. a. Kunieda, «Advancing EDM through Fundamental Insight into the Process,» *CIRP Annals – Manufacturing Technology*, vol. 54, n° 2, pp. 64-87, 2005.
- [10] R. S. F. a. D. D. Snoeys, «Adaptive Control Optimization as Basis for Intelligent EDM Die Sinking Machines,» *Advances in Non-Traditional Machining*, vol. 22, pp. 63-78, 1986.
- [11] N. F. M. G. G. Kinoshita, «Control of Wire-EDM Preventing Electrode from Breaking,» *Annals of the CIRP*, vol. 31, n° 1, pp. 111-114, 1982.
- [12] Y. e. a. Jiang, «Monitoring of EDM gap discharge status with wavelet transform method,» *Proceedings of the 16th ISEM*, pp. 211-216, 2010.
- [13] A. W. & C. C. H. Hsue, «Effective Pulses Discriminator and Direct-Drive Jump Control for High Efficiency Electrical Discharge Machining (EDM) Processes,» *In Proceedings of the 16th International Symposium on Electro machining*, pp. 175-182, 2010.
- [14] M. e. a. Fujiki, «Gap control for near-dry EDM milling with lead angle,» *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, vol. 51, n° 1, pp. 77-83, 2011.
- [15] A. L. P. a. M. G. Khanra, «Application of new tool material for electrical discharge machining (EDM),» *Bulletin of Materials Science*, vol. 32, n° 4, pp. 401-405, 2009.

- [16] R. e. a. Tanabe, «Development of peeling tool for micro-EDM,» *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, vol. 60, n° 1, pp. 227-230, 2011.
- [17] L. L. L. Z. W. a. R. K. P. Gu, «Electrical Discharge Machining of Ti6Al4V with Bundled Electrode,» *International Journal of Machine Tools and Manufacturing*, vol. 53, pp. 100-106, 2012.
- [18] M. G. Y. a. X.-M. Y. Jianhong Zhao, «Performance of Bunched Electrode in EDM,» *Key Engineering Materials*, Vols. %1 de %2447-448, pp. 282-286, 2010.
- [19] Z. Xianghua Liu, «Experimental Investigation on Air- Aided Water EDM,» *Advanced Materials Research* , Vols. %1 de %2148-149, pp. 471-474, 2010.
- [20] H. J. W. a. X. L. Chuanzhen Huang, «Powder Mixed near Dry Electrical Discharge Machining,» *Advanced Materials Research*, vol. 500, n° Advances in Materials Processing X, 2012.
- [21] B. Kim, «Electrical Discharge Machining of Carbon Nanofiber for Uniform Field Emission,» *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, vol. 56, n° 1, pp. 233-236, 2007.
- [22] J. P. S. L. F. L. L. B. Kruth, «Study of the White Layer of a Surface Machined by Die-Sinking Electro- Discharge Machining,» *Annals of the CIRP*, vol. 44, n° 1, pp. 169-172, 1995.
- [23] H.-T. R. W. P. T. T.-Y. H. F.-C. Lee, «Surface Integrity in Micro-Hole Drilling Using Micro-Electro Discharge Machining,» *Materials Transaction*, vol. 44, n° 12, pp. 2718-2722, 2003.
- [24] D. K. S. S. L. B. A. E. W. G. Aspiwall, «Workpiece Surface Roughness and Integrity after WEDM of Ti- 6Al-4V and Inconel 718 Using Minimum Damage Generator Technology,» *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, vol. 57, n° 1, pp. 187-190, 2008.
- [25] K. P. P. a. P. V. R. Patel, «Surface integrity and material removal mechanisms associated with the EDM of Al₂O₃ ceramic composite,» *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, vol. 27, n° 5, pp. 892-899, 2009.
- [26] A. G. Y. B. K. F. Klink, «Surface Integrity Evolution of Powder Metallurgical Tool Steel by Main Cut and Finishing Trim Cuts in Wire-EDM,» *1st CIRP Conference on Surface Integrity Procedia Engineering*, vol. 19, pp. 178-183, 2011.
- [27] F. W. D. D. J. K. A. Klocke, «Titanium Parts for Medical Sector Made by Wire-EDM,» de *Proceedings of the 1st International Conference on Design and Processe*, 2012.
- [28] F. W. D. D. J. Klocke, «Comparison of grinding and Wire EDM Concerning Fatigue Strength and Surface Integrity of Machined Ti6Al4V Components,» *1st CIRP Conference on Surface Intigrity*, vol. Procedia Engineering 19, pp. 184-189, 2011.
- [29] Descripcion general; Que es autocad?, disponible en <https://www.autodesk.mx/products/autocad/overview?plc=ACDIST&term=1-YEAR&support=ADVANCED&quantity=1>.

- [30] What Is AutoCAD?, https://study.com/what_is_auto_cad.html.
- [31] EdgeCam, <https://www.autodesk.com/developer-network/certified-apps/edgecam>.
- [32] E. G. Hoffman, «Fundamentals of tool design,» *Society of manufacturing engineers*, vol. Third edition, 1991.
- [33] L. L. Toussaint. J. S. y Berry, The Promise of Lean in health care (on line), Mayo clinic proceedings, 2013.
- [34] T. K. K. B. S. y. K. M. S. Murugesan, Competitive advantage of world class manufacturing system (WCMS)-A study of manufacturing companies in south India, *European Journal of Social Sciences*, 2012.
- [35] S. y. D. J. Vinodh, Structural equation modeling of lean manufacturing practices, *International Journal of Production Research*, 2012.
- [36] R. y. M. B. Cooper, How to manage through worse-before better, *MIT Sloan Management Review*, 2008.
- [37] S. B.M., «After 60 years of EDM the discharge process remains still disputed,» *Journal of Materials Processing Technology*, Vols. % 1 de %2149(1-3), pp. 376-381, 2004.
- [38] Z. Y. R. K. P. N. J. Yu, «Effect of Machining Parameters on Micro EDM and Surface Integrity,» de *Proceeding of the 18th Annual Meeting of American Society for Precision Engineering*, Portland, Oregon, 2003.
- [39] R. D. D. a. K. J. P. Snoeys, «Improved Adaptive Control System for EDM,» *Annals of the CIRP*, vol. 29, n° 1, pp. 97-101, 1980.
- [40] K. P. W. W. M. Rajurkar, «A New Model Reference Adaptive Control of EDM,» *Annals of the CIRP*, vol. 38, n° 1, pp. 183-186, 1989.
- [41] K. P. W. W. M. Rajurkar, «Real Time Stochastic Model and Control of EDM,» *Annals of the CIRP*, vol. 39, n° 1, pp. 183-186, 1990.
- [42] Y. S. H. J. T. C. Y. H. Liao, «A Study to Achieve a Fine Surface Finish in Wire EDM,» *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 149, n° 13, pp. 165-171, 2004.

Anexos

Anexo A. Características de máquina de electroerosión EDM MV1200R.

Máquina de electroerosión (EDM) por hilo

Marca: Mitsubishi

Modelo: MV1200R

Tipo de Bastidor: Cuadrado (tipo mesa), 640 mm x 540 mm

Dimensiones: Altura 2015 mm, Ancho 1910 mm, Largo 2702 mm

Frecuencia de la red: 50/60 Hz \pm 1 Hz

Tensión de entrada: 3-fases 200/220 V \pm 10%

Factor de potencia: 91%


Max, dimensiones de trabajo: Espesor 800 mm, Profundidad 600 mm, Altura 215 mm

Movimiento de ejes: X=400 mm Y=300 mm Z=220 mm




Fuente: Elaboración propia

Anexo B. Referencia de E-pack para corte de acero

		MV-R SERIES EXTENDED VIEW DATASHEET																			
MATERIAL TYPE	PROCESS	WIRE TYPE	WIRE DIAMETER	MATERIAL THICKNESS		Cup Clearance															
				2.50	IN	Upper	Lower														
STEEL	STANDARD	HARD BRASS	0.010 in																		
CUTTING PROCESS																					
SETTINGS		Start Up	Rough Cut	Skim 1	Skim 2	Skim 3	Skim 4	Skim 5	Skim 6	Skim 7	Skim 8										
E-pack Number	Eno	954	1291	1292	1293	1294	1295	1296													
Power Supply	PS	RH	RH	MP	HL	LC	LC	LC													
Servo Mode	SV	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM													
Voltage Open	Vo	7	5	10	8	11	10	9													
Power Setting	IP	8	12	17	12	3.0	3.0	2.0													
IP adjust	ΔIP	11	11	12	10	*	*	*													
Off Time	OFF	6	4	1	10	10	8	4													
Stabilizer A	SA	3	6	2	1	2	2	1													
Stabilizer B	SB	7	4	8	10	3	3	2													
Stabilizer C	SC	7	3	1	1	1	1	1													
Stabilizer E	SE	4	5	1	1	1	1	1													
Voltage Gap	VG	50	42	72	58	100	65	42													
Fine Machining	FM	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	ON													
Digital AE	DAE	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF													
Wire Speed	WS	8	8	9	9	9	9	9													
Wire Tension	WT	9	10	13	14	14	14	14													
Pre-Tension	PT	14	14	14	14	14	14	14													
Flow Balance	FB	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM													
Liquid Quantity	LQ	11	14	4	4	4	4	4													
Liquid Resistivity	LR	8	8	8	8	8	8	8													
Feedrate Address	FA	0.025	0.040	0.145	0.135	0.160	0.140	0.120													
Offset No.	H	*	01	02	03	04	05	06													

Fuente: Elaboración propia

Anexo C. Referencia de E-pack para corte de carburo

		MV-R SERIES EXTENDED VIEW DATASHEET									
MATERIAL TYPE	PROCESS	WIRE TYPE	WIRE DIAMETER	MATERIAL THICKNESS		Cup Clearance					
					IN	Upper	Lower				
CARBIDE	STANDARD	HARD BRASS	0.010 in	2.00	IN			0.008"	0.008"		
CUTTING PROCESS											
SETTINGS		Start Up	Rough Cut	Skim 1	Skim 2	Skim 3	Skim 4	Skim 5	Skim 6	Skim 7	Skim 8
E-pack Number	Eno	953	2881	2882	2883	2884	2885	2886			
Power Supply	PS	RH	RL	MP	HL	LC	LC	LC			
Servo Mode	SV	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM			
Voltage Open	Vo	7	4	12	12	12	12	11			
Power Setting	IP	8	12	12	10	3.0	3.0	2.0			
IP adjust	ΔIP	11	12	14	14	*	*	*			
Off Time	OFF	6	5	1	10	8	6	3			
Stabilizer A	SA	3	8	1	1	2	1	1			
Stabilizer B	SB	7	4	12	10	6	3	2			
Stabilizer C	SC	7	3	1	1	1	1	1			
Stabilizer E	SE	4	4	1	1	1	1	1			
Voltage Gap	VG	50	38	75	65	90	40	35			
Fine Machining	FM	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	ON			
Digital AE	DAE	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF			
Wire Speed	WS	8	9	9	9	9	9	9			
Wire Tension	WT	9	10	13	13	13	13	13			
Pre-Tension	PT	14	14	14	14	14	14	14			
Flow Balance	FB	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM			
Liquid Quantity	LQ	11	14	4	4	4	4	4			
Liquid Resistivity	LR	8	8	8	8	8	8	8			
Feedrate Address	FA	0.030	0.040	0.080	0.060	0.080	0.080	0.080			
Offset No.	H	*	01	02	03	04	05	06			

Fuente: Elaboración propia

Anexo D. Principales códigos usados en EDM Mitsubishi

CODIGO	DESCRIPCION
M20	Enhebrar Alambre
M78	Llenado rápido de la tina
M80	Fluido dieléctrico encendido
M82	Alimentación de alambre encendido
M84	Maquinado encendido
G90	Coordenadas absolutas
H1	Valor de compensación, primera pasada
E-2811	E-pack
G41	Compensación a la izquierda
G01	Interpolación lineal
F	Velocidad (avance)
G02	Interpolación circular sentido Horario
G03	Interpolación circular sentido Anti-Horario
R	Radio de la interpolación circular
M01	Paro opcional
G42	Compensación a la derecha
G04	Retardo, en segundos
G40	Cancelar compensación
G23	Subprograma Control
M02	Fin de Programa

Fuente: Elaboración propia

Anexo E. Código NC para EDM Mitsubishi

```

%
L3/INSERTO
(Sequence Name INSERTO 3a POS)
(Date : 06/03/2020 AT 11:03:11)
(Mitsubishi EDM)
(PROGRAMMED BY : DM)
N10 (XMIN -0.314)
(XMAX 1.0914675)
(YMAX 0.6425)
(Ycorte 0.6125)
M20 _____ENHEBRAR ALAMBRE
M78 _____LLENADO RAPIDO
M80 _____FLUIDO ENCENDIDO
M82 ALIMENTACION DE ALAMBRE
M84 _____MAQUINADO ENCENDIDO
G90 _____COORDENADAS ABSOLUTAS
H1=0.008 _____VALOR DE COMPENSACION
E2811 F.2 _____E-PACK Y AVANCE
G90
G41 G01 X0.0 Y0.0_____COMP. IZQUIERDA
X-0.314 Y0.2871
(drop on)
(ROUGH PASS)
X-0.314 Y0.2997
X-0.314 Y0.3288
X-0.314 Y0.5488
X-0.3058 Y0.6262
G02 X-0.2968 Y0.6348 R0.01
G01 X-0.205 Y0.6425
G03 X-0.185 Y0.6225 R0.02
G01 X-0.0133 Y0.6233
G02 X-0.0033 Y0.6207 R0.02
G01 X0.034 Y0.6001
G03 X0.065 Y0.5921 R0.062
X0.1077 Y0.6084 R0.062
G02 X0.1214 Y0.6137 R0.02
G01 X0.295 Y0.6137
X0.2995 Y0.6181
G02 X0.3031 Y0.6195 R0.005
G01 X0.3038 Y0.6194
X0.3893 Y0.6081
X0.3913 Y0.6079
G03 X0.4043 Y0.6151 R0.015
G01 X0.4055 Y0.6171
G02 X0.4098 Y0.6195 R0.005
G01 X0.4105 Y0.6194
X0.4942 Y0.6081
X0.4963 Y0.6079
G03 X0.5093 Y0.6151 R0.015
G01 X0.5105 Y0.6171
G02 X0.5148 Y0.6195 R0.005
G01 X0.5155 Y0.6194
X0.5992 Y0.6081
X0.6013 Y0.6079
G03 X0.6143 Y0.6151 R0.015
G01 X0.6155 Y0.6171
G02 X0.6198 Y0.6195 R0.005
G01 X0.6205 Y0.6194
X0.7275 Y0.6049
G02 X0.736 Y0.6008 R0.015
G01 X0.7956 Y0.5436
G02 X0.8 Y0.5334 R0.015
(drop off)
G01 X0.8 Y0.3255
M01 Y0.30 _____PARO OPCIONAL
(1ST SKIM)
G42 _____COMP. DERECHA
G04 X2.0 _____RETARDO
E2812 F.2 H1=0.0056
(drop on)
X0.8 Y0.3255
X0.8 Y0.5334
G03 X0.7956 Y0.5436 R0.015 H01
G01 X0.736 Y0.6008
G03 X0.7275 Y0.6049 R0.015
G01 X0.6205 Y0.6194 _____INTERPOLACION LINEAL
X0.6198 Y0.6195
G03 X0.6155 Y0.6171 R0.005
G01 X0.6143 Y0.6151
G02 X0.6013 Y0.6079 R0.015 _____INTERPOLACION
CIRCULAR HORARIO
G01 X0.5992 Y0.6081
X0.5155 Y0.6194
X0.5148 Y0.6195
G03 X0.5105 Y0.6171 R0.005 _____INTERPOLACION
CIRCULAR ANTI-HORARIO
G01 X0.5093 Y0.6151
G02 X0.4963 Y0.6079 R0.015
G01 X0.4942 Y0.6081
X0.4105 Y0.6194
X0.4098 Y0.6195
G03 X0.4055 Y0.6171 R0.005 _____RADIO
G01 X0.4043 Y0.6151
G02 X0.3913 Y0.6079 R0.015
G01 X0.3893 Y0.6081
X0.3038 Y0.6194
X0.3031 Y0.6195
G03 X0.2995 Y0.6181 R0.005
G01 X0.295 Y0.6137
X0.034 Y0.6001 R0.062
G02 X0.065 Y0.5921 R0.062
G03 X0.1077 Y0.6084 R0.02
G02 X0.065 Y0.5921 R0.062
X0.034 Y0.6001 R0.062
G01 X-0.0033 Y0.6207
G03 X-0.0133 Y0.6233 R0.02
G01 X-0.185 Y0.6233
G02 X-0.205 Y0.6425 R0.02
G01 X-0.2968 Y0.6348
G03 X-0.3058 Y0.6262 R0.01
G01 X-0.314 Y0.5488
(drop off)
X-0.314 Y0.3171
E2811 F0.2 H1=0.0056 (CORTE PARTE DE ATRAS)
X-0.1635 Y0.2625
X-0.063 Y0.2625
G02 X0.0 Y0.3255 R0.063
X0.063 Y0.2625 R0.063
G01 X0.2437 Y0.2625
X0.2957 Y0.3144
G02 X0.3345 Y0.3305 R0.055
G01 X0.71 Y0.3305
X0.725 Y0.3255
X0.79 Y0.3255
G40 X0.79 Y0.3255 _____CANCELAR COMP.
G23
M02 _____FIN PROGRAMA
%

```

Fuente: Elaboración propia

```

%
L8/INSERTO
(Sequence Name INSERTO)
(Date : 04/07/2022 AT 15:30:10)
(Mitsubishi EDM)
(PROGRAMMED BY : DM)
N10 (XMIN -0.314)
(XMAX 1.281)
(YMAX 0.6075)
(Ycorte 0.5975)
M20
M78
M80
M82
M84
G90
H1=0.008
E2811 F.2
G90
G41 G01 X0.0 Y0.0
X-0.314 Y0.2871
(drop on)
(ROUGH PASS)
X-0.314 Y0.2986
X-0.314 Y0.3277
X-0.314 Y0.5931
G02 X-0.299 Y0.6075 R0.015 H01
G01 X-0.0119 Y0.6075
X0.0265 Y0.5862
G03 X0.065 Y0.5763 R0.077
X0.1194 Y0.5979 R0.077
G01 X0.785 Y0.5979
G02 X0.7925 Y0.596 R0.015
G01 X0.8405 Y0.5693
G02 X0.848 Y0.5569 R0.015
G01 X0.848 Y0.5162
X0.948 Y0.5162
X0.948 Y0.5321
X1.0697 Y0.5321
X1.0697 Y0.5066
X1.266 Y0.5066
G02 X1.281 Y0.4922 R0.015
(drop off)
G01 X1.281 Y0.3255
M01 Y0.30
(1ST SKIM)
G42
G04 X2.0
E2812 F.2 H1=0.0056
(drop on)
X1.281 Y0.3255
X1.281 Y0.4922
G03 X1.266 Y0.5066 R0.015 H01
G01 X1.0697 Y0.5066
X1.0697 Y0.5321
X0.948 Y0.5321
X0.948 Y0.5162
X0.848 Y0.5162
X0.848 Y0.5569
G03 X0.8405 Y0.5693 R0.015
G01 X0.7925 Y0.596
G03 X0.785 Y0.5979 R0.015
G01 X0.1194 Y0.5979
G02 X0.065 Y0.5763 R0.077
X0.0265 Y0.5862 R0.077
G01 X-0.0119 Y0.6075
X-0.299 Y0.6075
G03 X-0.314 Y0.5925 R0.015
(drop off)
G01 X-0.314 Y0.3171
E2811 F0.2 H1=0.0056 (CORTE PARTE DE ATRAS)
X-0.1635 Y0.2625
X-0.063 Y0.2625
G02 X0.0 Y0.3255 R0.063
X0.063 Y0.2625 R0.063
G01 X0.2437 Y0.2625
X0.2957 Y0.3144
G02 X0.3345 Y0.3305 R0.055
G01 X0.71 Y0.3305
X0.725 Y0.3255
X1.281 Y0.3255
G40 X1.281 Y0.3255
G23
M02
%

```

Fuente: Elaboración propia


```

%
L1/INSERTO
(Sequence Name INSERTO)
( DATE : 04/07/2022 AT 15:47:58)
(Mitsubishi EDM)
(PROGRAMMED BY : DM)
N10 (XMIN -0.314473089)
(XMAX 0.799999952)
(YMAX 0.56775)
(Ycorte 0.5175)
M20
M78
M80
M82
M84
G90
H1=0.008
E2811 F.2
G90
G41 G01 X0.0 Y0.0
X-0.3145 Y0.2872
(drop on)
(ROUGH PASS)
X-0.3145 Y0.2974
X-0.3145 Y0.3265
X-0.3145 Y0.5099
G02 X-0.3045 Y0.5195 R0.01 H01
G01 X0.171 Y0.5195
X0.171 Y0.4688
X0.191 Y0.4688
X0.2202 Y0.47
X0.233 Y0.4824
X0.2452 Y0.4707
X0.48 Y0.4766
X0.4819 Y0.4975
X0.482 Y0.4993
X0.48 Y0.5528
X0.48 Y0.5533
G02 X0.495 Y0.5677 R0.015
G01 X0.6029 Y0.5678
G02 X0.6109 Y0.5655 R0.015
G01 X0.7947 Y0.4554
(drop off)
X0.8 Y0.442
X0.8 Y0.3255
M01 Y0.30
(1ST SKIM)
G42
G04 X2.0
E2812 F.2 H1=0.0056
(drop on)
X0.8 Y0.3255
X0.8 Y0.442
G03 X0.7947 Y0.4554 R0.01 H01
G01 X0.6109 Y0.5655
G03 X0.6029 Y0.5678 R0.015
G01 X0.495 Y0.5677
G03 X0.48 Y0.5528 R0.015
G01 X0.48 Y0.5528
X0.482 Y0.4993
X0.4819 Y0.4975
X0.48 Y0.4766
X0.2452 Y0.4707
X0.233 Y0.4824
X0.2202 Y0.47
X0.191 Y0.4688
X0.171 Y0.4688
X0.171 Y0.5195
X-0.3045 Y0.5195
G03 X-0.3145 Y0.5099 R0.01
(drop off)
G01 X-0.3145 Y0.3172
E2811 F0.2 H1=0.0056 (CORTE PARTE DE ATRAS)
X-0.1635 Y0.2625
X-0.063 Y0.2625
G02 X0.0 Y0.3255 R0.063
X0.063 Y0.2625 R0.063
G01 X0.2437 Y0.2625
X0.2957 Y0.3144
G02 X0.3345 Y0.3305 R0.055
G01 X0.425 Y0.3305
X0.44 Y0.3255
X0.79 Y0.3255
G40 X0.79 Y0.3255
G23
M02
%

```

Fuente: Elaboración propia

```

%
L2/INSERTO
(Sequence Name INSERTO)
(Date : 04/07/2022 AT 16:39:43)
(Mitsubishi EDM)
(PROGRAMMED BY : DM)
N10 (XMIN -0.314473089)
(XMAX 0.414999952)
(YMAX 0.6125)
(Ycorte 0.544)
M20
M78
M80
M82
M84
G90
H1=0.008
E2811 F.2
G90
G41 G01 X0.0 Y0.0
X-0.3145 Y0.2872
(drop on)
(ROUGH PASS)
X-0.3145 Y0.2989
X-0.3145 Y0.328
X-0.3145 Y0.5594
G02 X-0.3045 Y0.569 R0.01 H01
G01 X-0.198 Y0.569
G03 X-0.1905 Y0.571 R0.015
G01 X-0.119 Y0.6106
G02 X-0.1115 Y0.6125 R0.015
G01 X0.043 Y0.6125
X0.113 Y0.5737
X0.113 Y0.5309
X0.183 Y0.5309
X0.183 Y0.5467
X0.3197 Y0.5467
G02 X0.339 Y0.5325 R0.02
G01 X0.3451 Y0.5103
G03 X0.3564 Y0.5 R0.015
G01 X0.4032 Y0.4901
G02 X0.415 Y0.476 R0.015
(drop off)
G01 X0.415 Y0.3255
M01 Y0.30
(1ST SKIM)
G42
G04 X2.0
E2812 F.2 H1=0.0056
(drop on)
X0.415 Y0.3255
X0.415 Y0.476
G03 X0.4032 Y0.4901 R0.015 H01
G01 X0.3564 Y0.5
G02 X0.3451 Y0.5103 R0.015
G01 X0.339 Y0.5325
G03 X0.3197 Y0.5467 R0.02
G01 X0.183 Y0.5467
X0.183 Y0.5309
X0.113 Y0.5309
X0.113 Y0.5737
X0.043 Y0.6125
X-0.1115 Y0.6125
G03 X-0.119 Y0.6105 R0.015
G01 X-0.1905 Y0.571
G02 X-0.198 Y0.569 R0.015
G01 X-0.3045 Y0.569
G03 X-0.3145 Y0.5594 R0.01
(drop off)
G01 X-0.3145 Y0.3172
E2811 F.2 H1=0.0056 (CORTE PARTE DE ATRAS)
X-0.1635 Y0.2625
X-0.063 Y0.2625
G02 X0.0 Y0.3255 R0.063
X0.063 Y0.2625 R0.063
G01 X0.2437 Y0.2625
X0.2907 Y0.3094
G02 X0.3295 Y0.3255 R0.055
G01 X0.415 Y0.3255
G40 X0.415 Y0.3255
G23
M02
%

```

Fuente: Elaboración propia

Anexo F. Tabla de engranes para máquina multihusillo Acme 1-1/4 RB8

ACME 1-1/4 RB8

REFERENCE ONLY
USE GEAR CHART
FURNISHED WITH MACHINE

SPINDLE CHANGE GEAR CHART PULLEY SPEED 1000 R.P.M.		FINE FEED		COARSE FEED		FEED CHANGE GEAR CHART-FINE FEED												FEED CHANGE GEAR CHART-COARSE FEED											
						FEEDS PER ONE REV. OF SPINDLE-FOR STANDARD TOOLBLADE CABS												FEEDS PER ONE REV. OF SPINDLE-FOR STANDARD TOOLBLADE CABS											
W	M	1/2"	1"	1-1/2"	2"	2-1/2"	3"	3-1/2"	4"	4-1/2"	5"	5-1/2"	6"	6-1/2"	7"	7-1/2"	8"	8-1/2"	9"	9-1/2"	10"	10-1/2"	11"	11-1/2"	12"				
24	72	0004	0012	0018	0024	0030	0036	0042	0048	0054	0060	0066	0072	0078	0084	0090	0096	0102	0108	0114	0120	0126	0132	0138	0144				
26	78	0007	0013	0020	0026	0033	0040	0046	0053	0059	0066	0072	0079	0085	0092	0098	0105	0111	0118	0124	0131	0137	0144	0150	0157				
28	84	0009	0015	0022	0030	0037	0044	0051	0058	0065	0072	0079	0086	0093	0100	0107	0114	0121	0128	0135	0142	0149	0156	0163	0170				
30	90	0011	0017	0024	0032	0040	0048	0056	0064	0072	0080	0088	0096	0104	0112	0120	0128	0136	0144	0152	0160	0168	0176	0184	0192				
32	96	0013	0020	0028	0036	0044	0052	0060	0068	0076	0084	0092	0100	0108	0116	0124	0132	0140	0148	0156	0164	0172	0180	0188	0196				
34	102	0015	0022	0030	0038	0046	0054	0062	0070	0078	0086	0094	0102	0110	0118	0126	0134	0142	0150	0158	0166	0174	0182	0190	0198				
36	108	0017	0024	0032	0040	0048	0056	0064	0072	0080	0088	0096	0104	0112	0120	0128	0136	0144	0152	0160	0168	0176	0184	0192	0200				
38	114	0019	0026	0034	0042	0050	0058	0066	0074	0082	0090	0098	0106	0114	0122	0130	0138	0146	0154	0162	0170	0178	0186	0194	0202				
40	120	0021	0028	0036	0044	0052	0060	0068	0076	0084	0092	0100	0108	0116	0124	0132	0140	0148	0156	0164	0172	0180	0188	0196	0204				
42	126	0023	0030	0038	0046	0054	0062	0070	0078	0086	0094	0102	0110	0118	0126	0134	0142	0150	0158	0166	0174	0182	0190	0198	0206				
44	132	0025	0032	0040	0048	0056	0064	0072	0080	0088	0096	0104	0112	0120	0128	0136	0144	0152	0160	0168	0176	0184	0192	0200	0208				
46	138	0027	0034	0042	0050	0058	0066	0074	0082	0090	0098	0106	0114	0122	0130	0138	0146	0154	0162	0170	0178	0186	0194	0202	0210				
48	144	0029	0036	0044	0052	0060	0068	0076	0084	0092	0100	0108	0116	0124	0132	0140	0148	0156	0164	0172	0180	0188	0196	0204	0212				
50	150	0031	0038	0046	0054	0062	0070	0078	0086	0094	0102	0110	0118	0126	0134	0142	0150	0158	0166	0174	0182	0190	0198	0206	0214				
52	156	0033	0040	0048	0056	0064	0072	0080	0088	0096	0104	0112	0120	0128	0136	0144	0152	0160	0168	0176	0184	0192	0200	0208	0216				
54	162	0035	0042	0050	0058	0066	0074	0082	0090	0098	0106	0114	0122	0130	0138	0146	0154	0162	0170	0178	0186	0194	0202	0210	0218				
56	168	0037	0044	0052	0060	0068	0076	0084	0092	0100	0108	0116	0124	0132	0140	0148	0156	0164	0172	0180	0188	0196	0204	0212	0220				
58	174	0039	0046	0054	0062	0070	0078	0086	0094	0102	0110	0118	0126	0134	0142	0150	0158	0166	0174	0182	0190	0198	0206	0214	0222				
60	180	0041	0048	0056	0064	0072	0080	0088	0096	0104	0112	0120	0128	0136	0144	0152	0160	0168	0176	0184	0192	0200	0208	0216	0224				
62	186	0043	0050	0058	0066	0074	0082	0090	0098	0106	0114	0122	0130	0138	0146	0154	0162	0170	0178	0186	0194	0202	0210	0218	0226				
64	192	0045	0052	0060	0068	0076	0084	0092	0100	0108	0116	0124	0132	0140	0148	0156	0164	0172	0180	0188	0196	0204	0212	0220	0228				
66	198	0047	0054	0062	0070	0078	0086	0094	0102	0110	0118	0126	0134	0142	0150	0158	0166	0174	0182	0190	0198	0206	0214	0222	0230				
68	204	0049	0056	0064	0072	0080	0088	0096	0104	0112	0120	0128	0136	0144	0152	0160	0168	0176	0184	0192	0200	0208	0216	0224	0232				
70	210	0051	0058	0066	0074	0082	0090	0098	0106	0114	0122	0130	0138	0146	0154	0162	0170	0178	0186	0194	0202	0210	0218	0226	0234				
72	216	0053	0060	0068	0076	0084	0092	0100	0108	0116	0124	0132	0140	0148	0156	0164	0172	0180	0188	0196	0204	0212	0220	0228	0236				

SPINDLE AND FEED CHANGE GEARS

W	M	LIST NO.	TYPE
24	72	82243	RH
26	78	82244	RH
28	84	82245	RH
30	90	82246	RH
32	96	82247	RH
34	102	82248	RH
36	108	82249	RH
38	114	82250	RH
40	120	82251	RH
42	126	82252	RH
44	132	82253	RH
46	138	82254	RH
48	144	82255	RH
50	150	A-38256	LH
52	156	82258	LH
54	162	82259	LH
56	168	82260	LH
58	174	82261	LH
60	180	82262	LH
62	186	82263	LH
64	192	82264	LH
66	198	82265	LH
68	204	82266	LH
70	210	82267	LH
72	216	82268	LH

SPINDLE AND FEED CHANGE GEARS

W	M	LIST NO.	TYPE
24	72	82269	RH
26	78	82270	RH
28	84	82271	RH
30	90	82272	RH
32	96	82273	RH
34	102	82274	RH
36	108	82275	RH
38	114	82276	RH
40	120	82277	RH
42	126	82278	RH
44	132	82279	RH
46	138	82280	RH
48	144	82281	RH
50	150	82282	RH
52	156	82283	RH
54	162	82284	RH
56	168	82285	RH
58	174	82286	RH
60	180	82287	RH
62	186	82288	RH
64	192	82289	RH
66	198	82290	RH
68	204	82291	RH
70	210	82292	RH
72	216	82293	RH

CHANGES:

A WHITE ADDED 7/1/81

B R.P.M. SPEEDS REPEATED

THE NATIONAL ACME CO., CLEVELAND, OHIO
GEAR CHART
 AM-040

Anexo G. Referencia de SFM usadas en proceso de torneado

MATERIAL ALEACION 12L14 290 SFM

OPERACIÓN	S.F.M.	HERRAMIENTA DE FORMA		HERRAMIENTA DE TRONZADO	
		ANCHO	AVANCE	ANCHO	AVANCE
BROCA	204-252				
RIMA	210-270	0.500	0.0036	0.062	0.0018
FORMA	330-390	0.750	0.0032	0.125	0.0028
TRONZADO	390-438	1.000	0.0027	0.156	0.0034
CUERDA	24-102	1.500	0.0022	0.187	0.0041
CAJA	210-270	2.000	0.0017	0.250	0.0049

BROCAS

TAMAÑO	AVANCE	TAMAÑO	AVANCE	TAMAÑO	AVANCE
1/16"	0.0024	1/4"	0.0048	1/2"	0.0094
1/8"	0.0032	5/16"	0.0064	3/4"	0.0116
3/16"	0.0038	3/8"	0.0072	1"	0.0126

MATERIAL LATON 600-1000 SFM

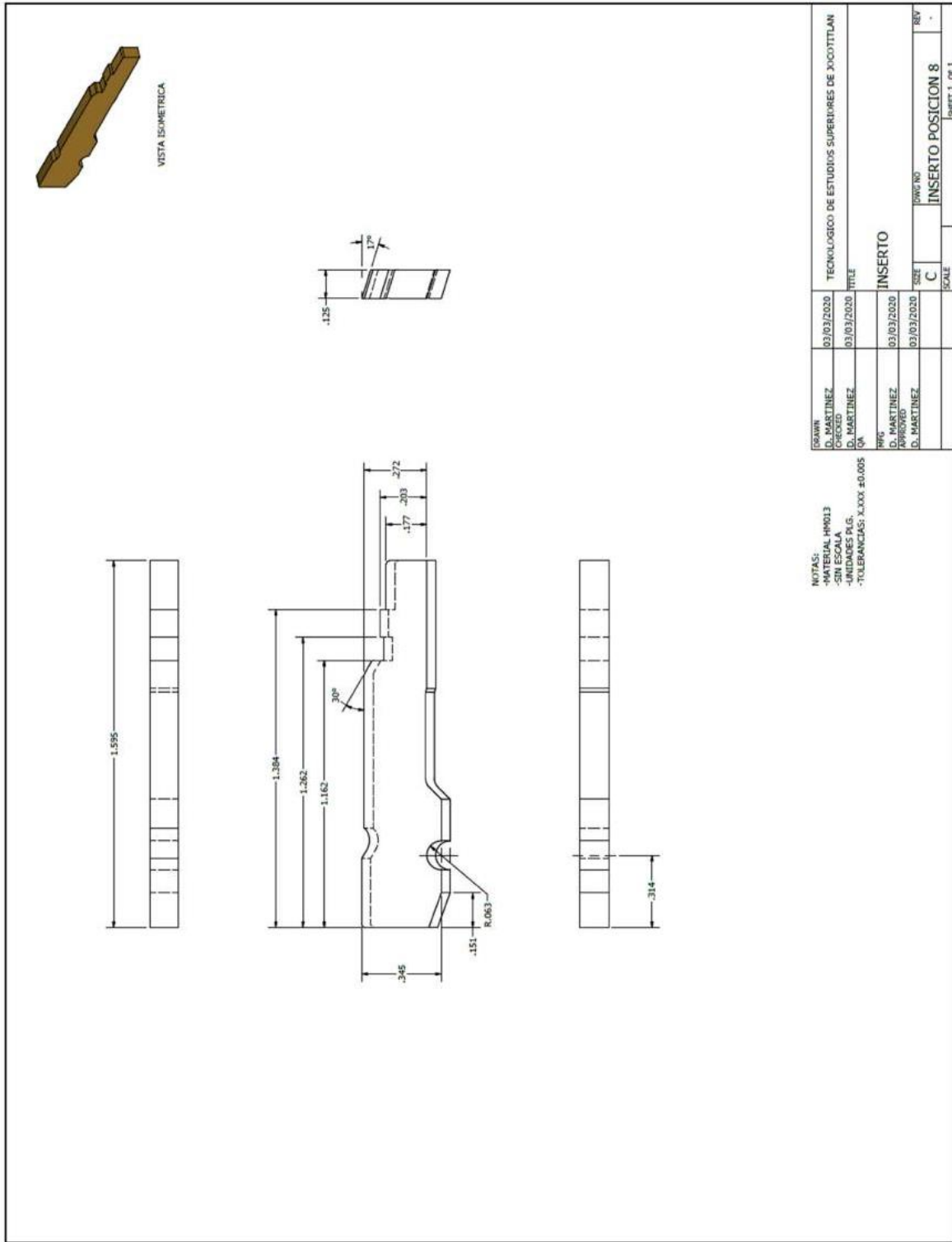
OPERACIÓN	S.F.M.	HERRAMIENTA DE FORMA		HERRAMIENTA DE TRONZADO	
		ANCHO	AVANCE	ANCHO	AVANCE
BROCA	204-252				
RIMA	210-270	0.500	0.0036	0.062	0.0018
FORMA	330-390	0.750	0.0032	0.125	0.0028
TRONZADO	390-438	1.000	0.0027	0.156	0.0034
CUERDA	24-102	1.500	0.0022	0.187	0.0041
CAJA	210-270	2.000	0.0017	0.250	0.0049

BROCAS

TAMAÑO	AVANCE	TAMAÑO	AVANCE	TAMAÑO	AVANCE
1/16"	0.0044	1/4"	0.0086	1/2"	0.0149
1/8"	0.0060	5/16"	0.0103	3/4"	0.0179
3/16"	0.0072	3/8"	0.0124	1"	0.0214

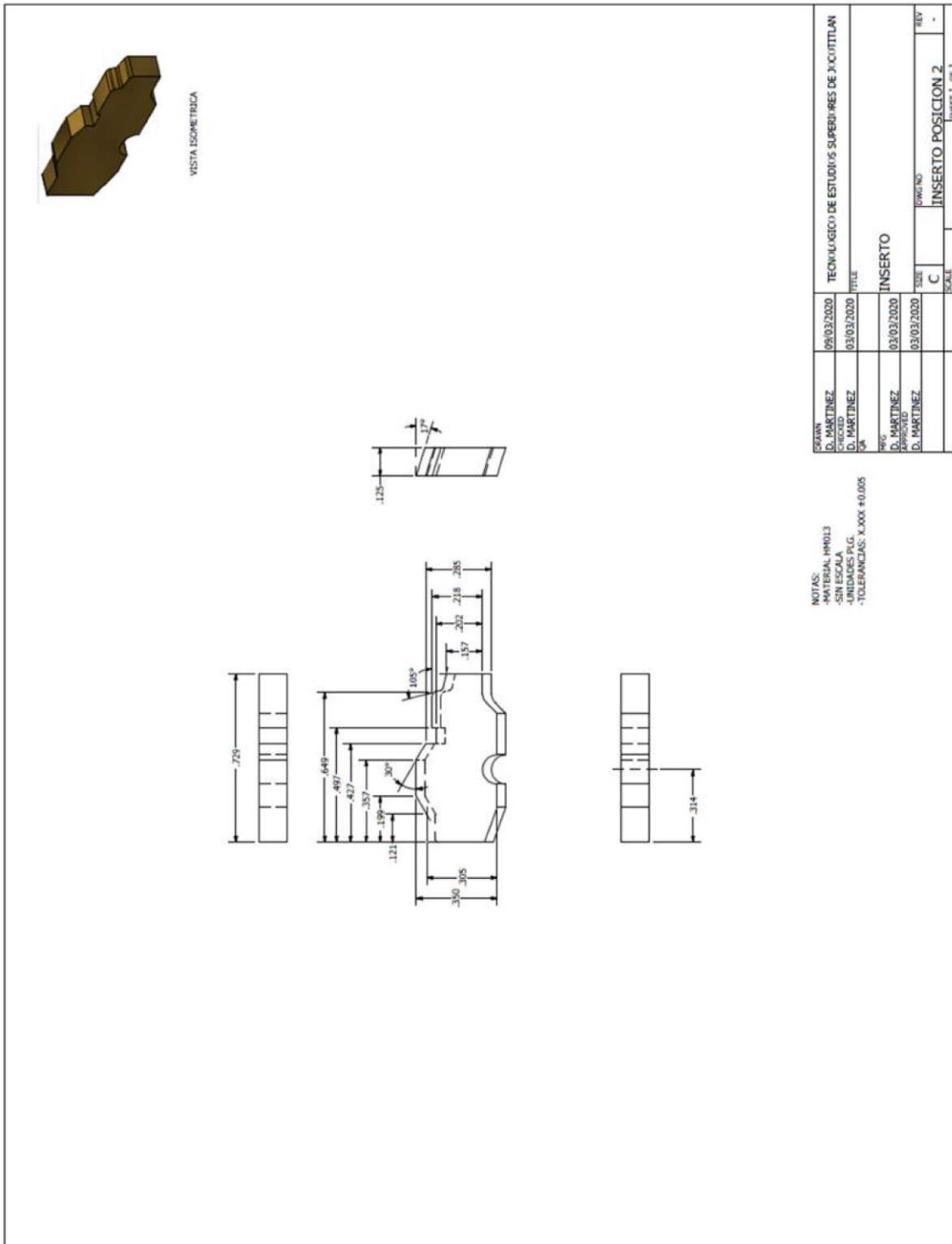
Fuente: Elaboración propia

Anexo H. Inserto Posición 8



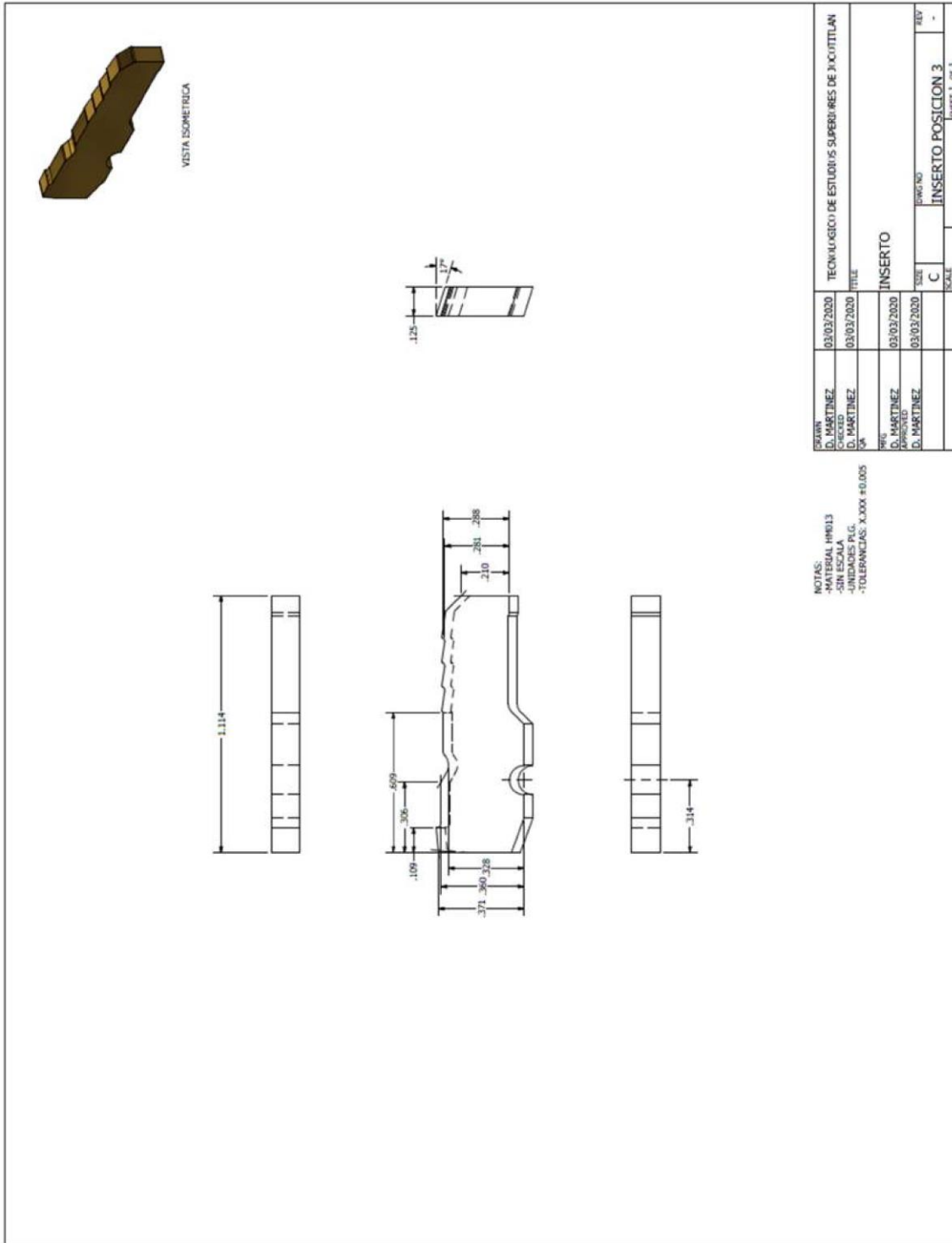
Fuente: Elaboración propia

Anexo J. Inserto posición 2



Fuente: Elaboración propia

Anexo K. Inserto posición 3



Fuente: Elaboración propia

Anexo L. Ensamble de inserto posición 8

VISTA ISOMETRICA

LISTA DE PARTES			
ITEM	CANT.	NUMERO DE PARTE	DESCRIPCION
1	1	Holder	Porta Inserto
2	1	Anvil	Soporte de Inserto
3	1	Inserto	Inserto
4	1	Grapa	Sujetador de Inserto
5	1	Pieza a fabricar	Pieza a fabricar

DESIGN	D. MARTINEZ	03/03/2020	TECNOLÓGICO DE ESTUDIOS SUPERIORES DE JIJO TITILAN
PROYECTO	D. MARTINEZ	03/03/2020	TITULO
CA	D. MARTINEZ		
REG	D. MARTINEZ	03/03/2020	ENSAMBLE DE HOLDER-INSERT POSICION 6
PROYECTO	D. MARTINEZ	03/03/2020	USE
SCALE	C	PROYECTO	POSICION 8
SCALE			SHEET 1 OF 1

Fuente: Elaboración propia

Anexo M. Ensamble de inserto posición 1

VISTA ISOMETRICA

LISTA DE PARTES			
ITEM	CANT.	NUMERO DE PARTE	DESCRIPCION
1	1	Holder	POSB Inserto
2	1	Pin	Soporte de Inserto
3	1	Insert	Inserto
4	1	Grub	Superficie de Inserto
5	1	Pin	Para a Receiver

DATE	03/03/2020	TECNOLÓGICO DE ESTUDIOS SUPERIORES DE XICUITLÁN
DRAWN	D. MARTINEZ	
CHECKED	D. MARTINEZ	
DATE	03/03/2020	TITLE
DATE	03/03/2020	ENSAMBLE DE HOLDER-INSERT POSICION 1
DATE	03/03/2020	SCALE
DATE	03/03/2020	POSITION 1
DATE	03/03/2020	SHEET 1 OF 1

Fuente: Elaboración propia

Anexo P. Layout antes de la optimización (milanos)

NIP-1201						
MAQUINA:	34	CAPACIDAD:	1 1/4"	TIPO:	RB8	ACME
FECHA DE ELABORAC	03/02/2020	NO. PARTE:	NIP-1201	RPM:	1000	MAQUINAS EQUIVALENTES
NIVEL DE REVISIÓN:	EMISIÓN	REV. DE DIBUJO	C	ENGRANES:	32-64	
N.L.I.T	-	MATERIAL:	11/16" REDONDO	AVANCE:	0.0033	28 SEG
ELABORO:	D.MARTINEZ	CICLO (segundos) :	28.00	ENGRANES:	46-50	
REVISÓ:	D.MARTINEZ	PZA/HR.	128	LEVA (in):	1	
APROBÓ:	D.MARTINEZ	NO. DE PROGRAMA	N/A			
POSICIÓN	OPERACIONES	PTOS. REF	OFFSET	No. DE HERRAMIENTA	DESCRIPCIÓN DE HERRAMIENTAS.	
8a	ALIMENTACION			TOPE STD	TOPE DE ALIMENTACION	
	FORMAR/TORNEAR			XXX1	MILANO	
	BARRENAR			#8	BROCA DE CENTROS	
1a	FORMAR/TORNEAR			XXX2	MILANO	
2a	FORMAR/TORNEAR			XXX3	MILANO	
	BARRENAR			27/64"	BROCA DE PROFUNDIDAD	
3a	FORMAR/TORNEAR			XXX4	MILANO	
	BARRENAR			27/64"	BROCA DE PROFUNDIDAD	
4a	-			-	-	
5a	BARRENAR			RM-1	RIMA ESPECIAL	
6a	BARRENAR			27/64"	BROCA DE PROFUNDIDAD	
7a	TRONZAR			3/32X11/16X5	CUCHILLA DE TRONZADO	

Anexo Q. Layout después de la optimización (insertos)

NIP-1201						
MAQUINA:	34	CAPACIDAD:	1 1/4"	TIPO:	RB8	ACME
FECHA DE ELABORAC	05/09/2020	NO. PARTE:	NIP-1201	RPM:	1097	MAQUINAS EQUIVALENTES
NIVEL DE REVISIÓN:	A	REV. DE DIBUJO	C	ENGRANES:	34-62	
N.L.I.T	-	MATERIAL:	11/16" REDONDO	AVANCE:	0.004	15.67 SEG
ELABORO:	D.MARTINEZ	CICLO (segundos) :	15.67	ENGRANES:	50-46	
REVISÓ:	D.MARTINEZ	PZA/HR.	230	LEVA (in):	1	
APROBÓ:	D.MARTINEZ	NO. DE PROGRAMA	N/A			
POSICIÓN	OPERACIONES	REF	OFFSET	No. DE HERRAMIENTA	DESCRIPCIÓN DE HERRAMIENTAS.	
8a	ALIMENTACION			TOPE STD	TOPE DE ALIMENTACION	
	FORMAR/TORNEAR			XXX1	INSERTO	
	BARRENAR		2.500"	#8	BROCA DE CENTROS	
1a	FORMAR/TORNEAR			XXX2	INSERTO	
2a	FORMAR/TORNEAR			XXX3	INSERTO	
	BARRENAR		2.235"	27/64"	BROCA DE PROFUNDIDAD	
3a	FORMAR/TORNEAR			XXX4	INSERTO	
	BARRENAR		1.425"	27/64"	BROCA DE PROFUNDIDAD	
4a	-			-	-	
5a	BARRENAR		2.500"	RM-1	RIMA ESPECIAL	
6a	BARRENAR		0.980"	27/64"	BROCA DE PROFUNDIDAD	
7a	TRONZAR			3/32X11/16X5	CUCHILLA DE TRONZADO	

Anexo R. Constancia de satisfacción

18 de febrero de 2020

Asunto: Constancia de Satisfacción

LIC. ALEJANDRO B. CARMONA PRANTL
DIRECTOR DEL TECNOLÓGICO DE ESTUDIOS SUPERIORES DE JOCOTITLÁN
PRESENTE

AT'N: JAVIER MOLINA GONZÁLEZ
SUBDIRECTOR DE ESTUDIOS PROFESIONALES

Parker Hannifin se puede encontrar alrededor de todo lo que se mueve. La compañía emplea a aproximadamente 58,000 personas en 49 países de todo el mundo, con ventas anuales que superan los \$ 13 mil millones de dólares. Parker es el fabricante diversificado líder mundial de tecnologías y sistemas de control y movimiento, y ofrece soluciones de ingeniería de precisión para una amplia variedad de mercados móviles, industriales y aeroespaciales. El enfoque de Parker en resolver algunos de los mayores desafíos de ingeniería del mundo despierta nuestra pasión por la innovación y asegura nuestro crecimiento futuro. Nuestra experiencia tecnológica crea un futuro más sostenible para todos nosotros.

Como parte de nuestra estrategia de crecimiento, Parker Hannifin en conjunto con el Tecnológico de Estudios Superiores de Jocotitlán se propuso el desarrollo del prototipo/proyecto Optimización del proceso de maquinado en tornos multihusillo usando insertos de forma, por el Mtro Israel Becerril Rosales e Ing. Dorian Martínez Rubio de la Maestría en Ingeniería con número de control 20182011, ambos docente y alumno respectivamente, de la institución que usted destacadamente dirige, y que EL PROTOTIPO/PROYECTO CUBRE y SATISFACE LOS OBJETIVOS PLANTEADOS AL INICIO DEL PROYECTO ya que contribuyó a la mejora de un proceso de manufactura en el cual se realiza el maquinado de conexiones neumáticas en tornos multihusillo, reduciendo el tiempo ciclo de maquinado, eliminando tiempos muertos por reafileado e impactando el inventario de herramientas al ser una mejora más costeable, mediante la optimización: diseño, desarrollo e implementación de insertos de forma fabricados en carburo, en dichas máquinas, resultado de nuestra cultura enfocada a la mejora continua que nos distingue como empresa.

Agradeciendo sus atenciones, quedo de ustedes

INGENIEROS DE METALES
S.A. DE C.V.
GERENCIA

MTRO VICTOR MANUEL BUSTAMANTE VILCHIS
GERENTE DE INGENIERÍA FLUID CONNECTORS MÉXICO



ENGINEERING YOUR SUCCESS.