

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**



**MAESTRÍA EN MECÁNICA**  
**(COHORTE 2017)**

**TEMA:**

---

**DISEÑO DE UNA HERRAMIENTA DE FORMA PARA MECANIZADO DE  
CONTRASALIDAS EN MOLDES DE SUELAS DE CALZADO Y  
DETERMINACIÓN DE LOS REGÍMENES DE CORTE ADECUADOS**

---

Trabajo de Titulación

Previa a la obtención del Grado Académico de Magíster en Mecánica Mención Diseño

Autor: Ing. Juan Pablo Muquinche Puca

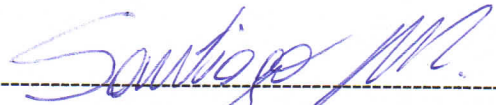
Director: Ing. Mauricio Carrillo, Mg.

Ambato- Ecuador

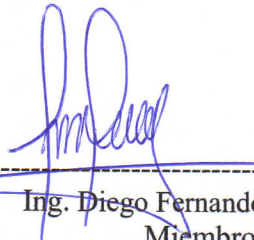
2019

**A la Unidad Académica de Titulación de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica**

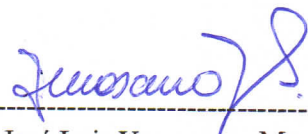
El tribunal receptor del Trabajo de titulación presidido por el Ing. Santiago Medina Mg., e integrado por los señores: Ing. Diego Fernando Núñez, Mg., Ing. José Luis Yunapanta, Mg., designados por la Unidad Académica de Titulación de la Universidad Técnica de Ambato, para receptor el Trabajo de Titulación con el tema: "DISEÑO DE UNA HERRAMIENTA DE FORMA PARA MECANIZADO DE CONTRASALIDAS EN MOLDES DE SUELAS DE CALZADO Y DETERMINACIÓN DE LOS REGÍMENES DE CORTE ADECUADOS.", elaborado y presentado por el señor: Ing. Juan Pablo Muquinche Puca, para optar por el Grado Académico de Magister en Diseño Mecánico; una vez escuchada la defensa oral del trabajo de titulación el tribunal aprueba y remite el trabajo para uso y custodia en las bibliotecas de la UTA.



Ing. Santiago Medina, Mg.  
Presidente del Tribunal



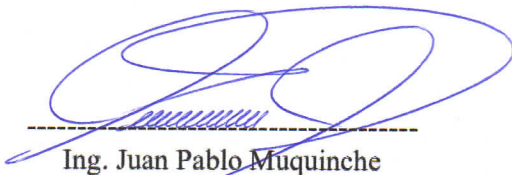
Ing. Diego Fernando Núñez, Mg.  
Miembro del Tribunal



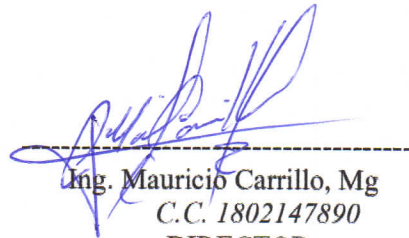
Ing. José Luis Yunapanta, Mg.  
Miembro del Tribunal

## AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

La responsabilidad de las opiniones, comentarios y críticas emitidas en el Trabajo de titulación presentado con el tema: "DISEÑO DE UNA HERRAMIENTA DE FORMA PARA MECANIZADO DE CONTRASALIDAS EN MOLDES DE SUELA DE CALZADO Y DETERMINACIÓN DE LOS REGÍMENES DE CORTE ADECUADOS." le corresponde exclusivamente al: Ingeniero Juan Pablo Muquinche Puca Maestrante, Autor bajo la Dirección del Ingeniero Mauricio Carrillo, Mg., Director del Trabajo de titulación; y el patrimonio intelectual a la Universidad Técnica de Ambato.



Ing. Juan Pablo Muquinche  
C.C. 1803900784  
AUTOR

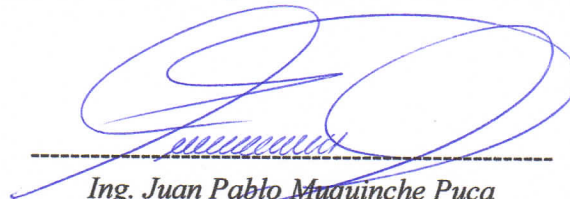


Ing. Mauricio Carrillo, Mg  
C.C. 1802147890  
DIRECTOR

## **DERECHOS DE AUTOR**

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que el trabajo de titulación, sirva como un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la institución.

Cedo los Derechos de mi trabajo, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de esta, dentro de las regulaciones de la Universidad.



-----  
*Ing. Juan Pablo Maquinche Puca*  
C.C. 1803900784



## DEDICATORIA

*Este trabajo de investigación se lo dedico a Dios, quien ha concedido los deseos de mi corazón, quien me ha brindado la sabiduría y fortaleza necesaria para salir adelante en cada instante de mi vida. Todo mi esfuerzo, logros y triunfos están dedicados a ti Padre Celestial.*

*Dedico también este logro a mi familia, en especial a mi madre por su amor incondicional, por su paciencia, por su lucha incondicional de verme bien siempre.*

*A mi hijo Juan Sebastián quien con su sonrisa me brindo fuerzas en mis momentos de debilidad.*

## **AGRADECIMIENTO**

*Agradezco principalmente a Dios por permitirme avanzar en mi entorno profesional, por iluminar mi camino y guiarme por sus sendas.*

*A mis padres Fanny y Nelson quienes han sido mi motivación y mi inspiración a ser mejor cada día. Su esfuerzo y trabajo han sido mi mayor ejemplo.*

*A mi esposa Lidia, por ser una mujer fuerte y guerrera al momento de enfrentar adversidades, gracias por el apoyo brindado en momentos difíciles.*

*A mi familia, por compartir cada triunfo y alegría, por ser una morada de descanso y motivación.*

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

PORTADA.....	I
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	III
DERECHOS DE AUTOR.....	IV
DEDICATORIA.....	V
AGRADECIMIENTO.....	VI
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	VII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIV
RESUMEN EJECUTIVO.....	XVII
ABSTRACT.....	XVIII
INTRODUCCIÓN.....	XIX
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>1</b>
1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	1
1.1. Tema.....	1
1.2. Planteamiento del problema.....	1
1.2.1. Contextualización.....	1
1.2.2. Análisis crítico.....	2
1.2.3. Prognosis.....	3
1.2.4. Formulación del problema.....	4
1.2.5. Preguntas directrices.....	4
1.2.6. Delimitación de la investigación.....	4
1.2.6.1. Delimitación temporal.....	4
1.2.6.2. Delimitación espacial.....	4
1.2.6.3. Delimitación de contenido.....	5
1.3. Justificación.....	5
1.4. Objetivos.....	6
1.4.1. Objetivo general.....	6
1.4.2. Objetivos específicos.....	6

<b>CAPÍTULO II</b> .....	7
2. MARCO TEÓRICO .....	7
2.1. Antecedentes investigativos.....	7
2.2. Fundamentación teórica.....	8
2.2.1. Proceso de manufactura.....	8
2.2.1.1. Mecanizado.....	9
2.2.1.2. Mecanizado con arranque de viruta.....	10
2.2.1.3. Mecanizado convencional.....	11
2.2.1.4. Mecanizado CNC.....	12
2.2.2. CAD/CAM/CAE.....	13
2.2.2.1. Diseño Asistido por Computadora (CAD).....	14
2.2.2.2. Ingeniería Asistida por Computadora CAE.....	15
2.2.2.3. Fabricación Asistida por Computadora CAM.....	16
2.2.3. Sistemas CNC.....	18
2.2.3.1. Centro de mecanizado de tres ejes.....	19
2.2.3.2. Centro de mecanizado de cuatro ejes.....	20
2.2.3.3. Centro de mecanizado de cinco ejes.....	21
2.2.4. Mecanizado de contrasalidas.....	22
2.2.4.1. Mecanizado de contrasalida convencional.....	23
2.2.4.2. Herramientas de contrasalidas.....	24
2.2.4.3. Estrategias de mecanizado.....	25
2.2.5. Diseño mecánico.....	26
2.2.5.1. Esfuerzos estáticos.....	27
2.2.5.2. Factores de diseño y seguridad.....	28
2.2.5.3. Fuerza de corte.....	28
2.2.5.4. Factores de durabilidad de la herramienta.....	29
2.2.6. Ciencia e ingeniería de los materiales.....	30
2.2.6.1. Acero rápido High Speed Steel (HSS).....	30
2.2.6.2. Carburo de tungsteno.....	32
2.2.6.3. Aluminio para moldes de suelas.....	33

2.2.7.	Modelación 3D herramienta .....	34
2.2.7.1.	Modelado de suelas de calzado.....	35
2.2.7.2.	Diseño de moldes de suelas .....	35
2.2.8.	Diseño de geometría de herramientas.....	37
2.2.8.1.	Afilador de Buriles.....	38
2.2.8.2.	Ángulos de corte de herramientas de mecanizado .....	39
2.2.8.3.	Parámetros de corte.....	40
2.3.	Fundamentación legal .....	42
2.4.	Fundamentación filosófica.....	42
2.5.	Categorías fundamentales .....	43
2.6.	Hipótesis .....	44
2.7.	Señalamiento de variables .....	44
2.7.1.	Variable independiente.....	44
2.7.2.	Variable dependiente .....	44
2.7.3.	Termino de relación.....	44
	<b>CAPÍTULO III</b> .....	<b>45</b>
3.	<b>METODOLOGÍA</b> .....	<b>45</b>
3.1.	Enfoque.....	45
3.2.	Modalidad básica de investigación .....	45
3.2.1.	De campo.....	45
3.2.2.	Bibliográfica.....	45
3.3.	Nivel o tipo de investigación .....	46
3.3.1.	Experimental .....	46
3.4.	Población y muestra.....	48
3.4.1.	Población .....	48
3.4.2.	Muestra.....	48
3.5.	Operacionalización de variables .....	49
3.5.1.	Variable independiente.....	49
3.5.2.	Variable dependiente .....	50
3.6.	Recolección de la información .....	51

3.6.1.	Observación.....	51
3.6.2.	Documental .....	51
3.7.	Procesamiento y análisis de información.....	51
3.7.1.	Plan de procesamiento de la información.....	51
<b>CAPÍTULO IV .....</b>		<b>53</b>
4.	<b>ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>53</b>
4.1.	Análisis de resultados .....	53
4.1.1.	Proyección de base a mecanizar .....	53
4.1.2.	Diseño CAD del molde .....	55
4.1.3.	Herramienta romboidal de mecanizado de contrasalida.....	57
4.1.4.	Medición de durabilidad de la herramienta .....	58
4.1.5.	Proceso de análisis de resultados.....	59
4.1.6.	Designación de probetas.....	60
4.1.7.	Características del metal base.....	60
4.1.8.	Preparación del ensayo .....	62
4.1.9.	Ejecución del ensayo .....	62
4.1.10.	Resultados de los ensayos.....	69
4.2.	Interpretación de resultados .....	76
4.2.1.	Vida útil de la herramienta .....	76
4.3.	Verificación de la hipótesis.....	79
4.3.1.	Planteamiento de la hipótesis .....	79
4.3.2.	Selección de datos .....	80
4.3.3.	Diseño experimental de profundidad de grabado lateral .....	80
4.3.4.	Interacción combinaciones del experimento .....	85
4.3.5.	Decisión estadística de aceptar o rechazar la hipótesis de nulidad .....	87
4.3.6.	Test de Tukey para profundidad de grabado lateral .....	87
<b>CAPÍTULO V .....</b>		<b>89</b>
5.	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>89</b>
5.1.	Conclusiones.....	89
5.2.	Recomendaciones .....	91

<b>CAPÍTULO VI</b> .....	93
6. PROPUESTA.....	93
6.1. Datos informativos.....	93
6.2. Antecedentes de la propuesta.....	94
6.3. Justificación de la propuesta .....	94
6.4. Objetivos.....	95
6.4.1. Objetivo general .....	95
6.4.2. Objetivo específico.....	95
6.5. Análisis de factibilidad .....	96
6.6. Fundamentación.....	96
6.7. Metodología.....	97
6.7.1. Diseño de la herramienta .....	97
6.7.2. ISO 13399 para diseño de herramientas .....	98
6.7.3. Ángulos de la herramienta de corte según ISO 13399 .....	98
6.7.3.1. Ángulo de corte.....	99
6.7.3.2. Ángulo de ataque .....	100
6.7.3.3. Ángulo de incidencia .....	101
6.7.3.4. Número de hélices o filos de corte.....	102
6.7.4. Diseño CAD herramienta .....	102
6.7.5. Procedimiento tallado de la herramienta de mecanizado de contrasalidas. ....	104
6.7.6. Análisis comparativo de costos .....	110
6.7.7. Análisis comparativo de diseño.....	114
6.7.8. Intención de patente para nuevos diseños industriales .....	129
6.7.9. Patentes a nivel nacional (SENADI) .....	131
6.8. Administración.....	133
6.9. Previsión de la evaluación .....	135
BIBLIOGRAFÍA .....	136
LISTA DE ANEXOS.....	140
ANEXO A. Especificaciones Centro de mecanizado Fadal VCM 15. 3 ejes.....	140
ANEXO B. Especificaciones del material de la herramienta HSS .....	142



ANEXO C. Especificaciones del aluminio, material del molde Aluminio.....	142
ANEXO D. Ensayo de dureza, Aluminio reciclado.....	143
ANEXO E. Matriz de consistencia .....	146
ANEXO F. Especificaciones de instrumento de medición .....	149
ANEXO G. Especificaciones del refrigerante de mecanizado (taladrina).....	150
ANEXO H. Especificaciones del polímero de inyección PVC .....	151
ANEXO I. Especificaciones de la inyectora.....	152
ANEXO J. Valores de distribución F.....	153
ANEXO K. Numero de filos de corte .....	154
ANEXO L. Final de filo de corte .....	154
ANEXO M. Fuerza de corte para diferentes materiales. ....	155
ANEXO N. Ensayos procesos experimental.....	156
ANEXO O. Planos de la herramienta .....	157

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 3. 1.</b> Matriz del experimento. ....	47
<b>Tabla 3. 2.</b> Matriz del experimento. ....	47
<b>Tabla 4. 1.</b> asignación de códigos para ensayo experimental.....	60
<b>Tabla 4. 2.</b> Resultados de ensayo N°1.....	71
<b>Tabla 4. 3.</b> Resultados de ensayo N°2.....	72
<b>Tabla 4. 4.</b> Resultados de ensayo N°3.....	73
<b>Tabla 4. 5.</b> Resultados de ensayo N°4.....	74
<b>Tabla 4. 6.</b> Resultados de ensayo N°5.....	75
<b>Tabla 4. 7.</b> Resultados de ensayo N°5.....	76
<b>Tabla 4. 8.</b> Tiempo de vida útil de la herramienta.....	76
<b>Tabla 4. 9.</b> Constantes del diseño factorial.....	80
<b>Tabla 4. 10.</b> Valores de profundidad de grabado lateral. ....	81
<b>Tabla 4. 11.</b> Interacción de AxBxC de profundidad de grabado lateral. ....	85
<b>Tabla 4. 12.</b> Interacción de AxB de profundidad de grabado lateral. ....	85
<b>Tabla 4. 13.</b> Interacción de AxC de profundidad de grabado lateral. ....	86
<b>Tabla 4. 14.</b> Interacción de BxC de profundidad de grabado lateral.....	86
<b>Tabla 4. 15.</b> Resultados del ANOVA para el desgaste de la herramienta.....	86
<b>Tabla 4. 16.</b> Cálculo de las medias del desgaste de la herramienta.....	87
<b>Tabla 4. 17.</b> Test de Tukey del desgaste de la herramienta.....	87
<b>Tabla 6. 1.</b> Costos herramienta propuesta. ....	111
<b>Tabla 6. 2.</b> Costos construcción molde herramienta anterior.....	112
<b>Tabla 6. 3.</b> Costos construcción molde herramienta propuesta.....	113
<b>Tabla 6. 4.</b> Costos totales de la investigación y propuesta.....	133
<b>Tabla 6. 5.</b> Costos totales recursos humanos.....	134
<b>Tabla 6. 6.</b> Costos varios. ....	134

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 2. 1.</b> Clasificación de los procesos de manufactura.....	8
<b>Figura 2. 2.</b> Operaciones de procesos de mecanizado con arranque viruta. ....	9
<b>Figura 2. 3.</b> Sección transversal de mecanizado con arranque de viruta. ....	10
<b>Figura 2. 4.</b> Clasificación de los procesos de mecanizado.....	11
<b>Figura 2. 5.</b> Molde de inyección CAD.....	14
<b>Figura 2. 6.</b> Análisis por medio de Elementos Finitos.....	15
<b>Figura 2. 7.</b> Diseño CAD CAM de moldes de suelas. ....	17
<b>Figura 2. 8.</b> Maquinaria CNC. ....	18
<b>Figura 2. 9.</b> Centro de mecanizado de tres ejes.....	19
<b>Figura 2. 10.</b> Centro de mecanizado de cuatro ejes. ....	20
<b>Figura 2. 11.</b> Centro de mecanizado de cinco ejes.....	21
<b>Figura 2. 12.</b> Mecanizado de contrasalidas.....	22
<b>Figura 2. 13.</b> Mecanizado de contrasalidas convencional.....	23
<b>Figura 2. 14.</b> Herramientas de mecanizado de contrasalida.....	24
<b>Figura 2. 15.</b> Herramientas de forma de contrasalida. ....	24
<b>Figura 2. 16.</b> Herramientas de mecanizado de contrasalida.....	25
<b>Figura 2. 17.</b> Análisis de elementos finitos en filo de corte.....	27
<b>Figura 2. 18.</b> Desgaste de filo en herramienta de mecanizado.....	29
<b>Figura 2. 19.</b> Composición Química del HSS (Bohler). ....	31
<b>Figura 2. 20.</b> Placas de aluminio Prodax (Ivanbohman).....	33
<b>Figura 2. 21.</b> Modelado 3D herramientas. ....	34
<b>Figura 2. 22.</b> Modelado 3D suelas. ....	35
<b>Figura 2. 23.</b> Modelado 3D molde de suelas.....	36
<b>Figura 2. 24.</b> Molde de suela mecanizado en CNC.....	37
<b>Figura 2. 25.</b> Afilador de buriles.....	38
<b>Figura 2. 26.</b> Ángulos de corte de herramientas de fresado.....	39
<b>Figura 2. 27.</b> Velocidades de corte y avance.....	41
<b>Figura 2. 28.</b> Categorías fundamentales.....	43
<b>Figura 3. 1.</b> Plan operativo de investigación.....	52

<b>Figura 4. 1.</b>	Sección transversal de mecanizado de contrasalidas laterales. ....	53
<b>Figura 4. 2.</b>	Suela de PVC modelos Victoria Deportivo Antelina. ....	54
<b>Figura 4. 3.</b>	Suela de PVC modelos Victoria Deportivo Antelina. ....	54
<b>Figura 4. 4.</b>	Molde para suela de PVC. ....	55
<b>Figura 4. 5.</b>	Molde CAD para suela de PVC. ....	56
<b>Figura 4. 6.</b>	Molde CAD para suela de PVC. ....	56
<b>Figura 4. 7.</b>	Herramienta de mecanizado de contrasalidas. ....	57
<b>Figura 4. 8.</b>	Herramienta de mecanizado de contrasalidas. ....	58
<b>Figura 4. 9.</b>	Diagrama de procesamiento de fase experimental. ....	59
<b>Figura 4. 10.</b>	Probetas para el procesamiento de fase experimental. ....	62
<b>Figura 4. 11.</b>	Ubicación y sujeción de bloques. ....	63
<b>Figura 4. 12.</b>	Ubicación y sujeción de bloques. ....	63
<b>Figura 4. 13.</b>	Programación CAM cavidades primera etapa. ....	64
<b>Figura 4. 14.</b>	Mecanizado cavidades base primera etapa. ....	64
<b>Figura 4. 15.</b>	Programación CAM segunda etapa. ....	65
<b>Figura 4. 16.</b>	Mecanizado de contrasalidas segunda etapa. ....	65
<b>Figura 4. 17.</b>	Desmontaje de la placa segunda etapa. ....	66
<b>Figura 4. 18.</b>	Resina utilizada para copiar el grabado segunda etapa. ....	66
<b>Figura 4. 19.</b>	Probetas de resina. ....	67
<b>Figura 4. 20.</b>	Medición de profundidad en probetas. ....	67
<b>Figura 4. 21.</b>	Medición de resultados en cavidades. ....	68
<b>Figura 4. 22.</b>	Dimensiones placa de ensayo N° 1. ....	69
<b>Figura 4. 23.</b>	Modelado 3D placa de ensayo N° 1. ....	69
<b>Figura 4. 24.</b>	Mecanizado CNC de placa de ensayo N° 1. ....	70
<b>Figura 4. 25.</b>	Medición de profundidades de la placa experimental. ....	70
<b>Figura 4. 26.</b>	Resultados de ensayo N°1. ....	77
<b>Figura 4. 27.</b>	Resultados de ensayo N°2. ....	77
<b>Figura 4. 28.</b>	Resultados de ensayo N°3. ....	78
<b>Figura 4. 29.</b>	Resultados de ensayo N°4. ....	78
<b>Figura 4. 30.</b>	Resultados de ensayo N°5. ....	79

<b>Figura 4. 31.</b> Prof. variación ángulos – 400mm/min, 0.12mm. ....	81
<b>Figura 4. 32.</b> Prof. variación ángulos – 400mm/min, 0.15mm. ....	82
<b>Figura 4. 33.</b> Prof. variación ángulos – 450mm/min, 0.12mm. ....	82
<b>Figura 4. 34.</b> Prof. variación ángulos – 450mm/min, 0.15mm. ....	83
<b>Figura 4. 35.</b> Prof. variación (X-Y) en ángulo 3° – avance 400mm/min.....	83
<b>Figura 4. 36.</b> Prof. variación (X-Y) en ángulo 3° – avance 450mm/min.....	84
<b>Figura 4. 37.</b> Prof. variación (X-Y) en ángulo 4.5° – avance 400mm/min.....	84
<b>Figura 4. 38.</b> Prof. variación (X-Y) en ángulo 4.5° – avance 450mm/min.....	85
<b>Figura 6. 1.</b> Ángulo de corte del diseño propuesto .....	99
<b>Figura 6. 2.</b> Ángulo de ataque del diseño propuesto .....	100
<b>Figura 6. 3.</b> Ángulo de incidencia del diseño propuesto.....	101
<b>Figura 6. 4.</b> Número de hélices de herramientas.....	102
<b>Figura 6. 5.</b> Diseño CAD herramienta de contrasalidas.....	103
<b>Figura 6. 6.</b> Proforma herramienta contrasalidas. ....	110
<b>Figura 6. 7.</b> a) Diseño anterior b) Nuevo diseño propuesto. ....	114
<b>Figura 6. 8.</b> Proceso de tramitación de una patente internacional.....	130

## RESUMEN EJECUTIVO

El proyecto de investigación se desarrolló dada la exigencia del mercado de manufactura de moldes para suela de calzado. Puesto que, uno de los principales problemas es la inexistencia de herramientas que cubran la demanda de programas de mecanizado por Control Numérico Computarizado (CNC); los cuales integran en sus últimas versiones estrategias de corte avanzado. Este tipo de tecnología ha evolucionado a través del tiempo. Además, las tendencias del mercado han exigido a los desarrolladores de programas integrar funciones que en el pasado no eran posibles. Sin embargo, las mejores estrategias de corte no son suficientes si no se integran herramientas que resistan y posean un diseño duradero. De acuerdo al estudio presentado y mediante un análisis experimental se provee un diseño adecuado de herramienta romboidal de contrasalidas. Así también, se establecen los parámetros de corte que garantizan una vida prolongada de la misma. Los factores relevantes en el proceso experimental son la velocidad de avance y la profundidad de pasada lateral. Dado que, desde la aparición de estrategias avanzadas de mecanizado se han determinado empíricamente. Por consiguiente, se generan pérdidas de material y tiempo en el desarrollo de moldes. El cambio continuo de tendencia de modelos de calzado demanda un proceso flexible de manufactura de moldes e implementación de herramientas de mecanizado adaptables. La propuesta de esta investigación incluye un manual de procedimiento de afilado, acorde al diseño de la herramienta propuesta y validada. El proceso de afilado se lo realiza mediante un equipo de desarrollo de herramientas a diferentes ángulos de sujeción. Además, se determinó el material adecuado de la herramienta, el cual posee flexibilidad para incrementar el porcentaje del valor de pasada lateral.

**Palabras clave:** mecanizado de contrasalida, diseño de herramienta, molde de suelas, Manufactura CNC.

## ABSTRACT

The research project was developed due to mold manufacturing market demand for shoes soles. Since, one of the main problems is the lack of tools that cover Computerized Numerical Control (CNC) machining programs' demand; which integrate advanced cutting strategies in their latest versions. This type of technology has evolved over time. In addition, market trends have required program developers to integrate functions that were not possible in the past. However, the best cutting strategies are not enough if resistant tools that have a durable design are not integrated. According to the presented study and through an experimental analysis, an adequate design of a rhomboidal counter-output tool is provided. Likewise, cutting parameters that guarantee a long life are established. The relevant factors in the experimental process are advanced speed and lateral pass depth. Since, machining advanced strategies appearance have been determined empirically. Consequently, material and time losses are generated during molds development. Trend continuous change of footwear models demands a flexible mold manufacturing process and implementation of adaptable machining tools. The proposal of this research includes a manual of sharpening procedure, according to proposed and validated design tool. Sharpening process is carried out by a tool development team at different clamping angles. In addition, the appropriate tool material was determined, which has flexibility to increase lateral pass value percentage.

**Keywords:** counter-output machining, tool design, sole mold, CNC manufacturing.



## INTRODUCCIÓN

Debido al alto nivel competitivo en el sector de calzado, empresas nacionales pretenden alcanzar estándares de calidad e innovación presentados por mercados internacionales y de amplia trayectoria. La facilidad de contar con equipos y herramientas para el proceso de manufactura siempre ha sido una limitante en la industria del calzado, considerando el factor económico el más relevante, seguido de insuficientes personal calificado y tecnologías de fabricación ambiguas.

El desarrollo tecnológico ha generado herramientas informáticas indispensables en diferentes campos industriales, la flexibilidad de acoplar sistemas computacionales a procesos de manufactura ha dado variedad de aplicaciones en procesos de mecanizado, en donde se integra herramientas convencionales con controles automatizados, denominados sistemas de control numérico computarizado CNC. Este nivel tecnológico se lo viene utilizando desde hace muchos años atrás en países desarrollados, actualmente estos procesos ya cuentan con sistemas de 4 y 5 ejes, lamentablemente en Ecuador esta tecnología esta rezagada, la mayor parte de empresas dedicadas a manufactura de moldes de calzado cuentan con maquinaria CNC de la década pasada, con movimiento en tres ejes.

Los avances tecnológicos vienen acompañados de softwares CAD CAM con funciones que se acoplan a la necesidad empresarial, estrategias de mecanizado inteligentes realizan operaciones que convencionalmente se venían desarrollando en máquinas de 4 o 5 ejes, estos avances implican contar con herramientas que se ajusten a las estrategias de mecanizado avanzado, siendo el motivo de la presente investigación satisfacer en cierta medida herramientas de mecanizado romboidal para procesos de mecanizado lateral o de contrasalidas.

El objetivo de la investigación es realizar un análisis de las herramientas utilizadas actualmente y la incidencia que estas tienen al momento de realizar un trabajo de corte lateral, a partir de este análisis se desarrolla un proceso experimental con diferentes

variables del proceso, con el fin de obtener parámetros de corte adecuados y ángulos de incidencia que permitan un acabado superficial considerable. Para el diseño experimental se toma en consideración el avance de trabajo, la profundidad de pasada y el ángulo de incidencia de la herramienta, se realizó el proceso de mecanizado para las diferentes combinaciones con el fin de obtener valores que garanticen una profundidad de grabado adecuado con mínimo desgaste la herramienta antes de concluir con el proceso.

Al momento que la herramienta de mecanizado lateral pierde el filo, se incurre en dos problemas principales, el primero, el grabado lateral carece de profundidad necesaria y se corrige este problema con herramientas de grabado manual, siendo un proceso que demanda demasiado tiempo y un alto nivel de habilidad por parte de la persona encargada del trabajo. El segundo problema parte de la dificultad de volver a retomar las trayectorias de corte en caso de que la herramienta pierde su filo y es necesario un reemplazo. El trabajo de investigación se divide en diferentes capítulos que son de sustento para llegar a la propuesta final y de donde se obtiene una respuesta a la hipótesis planteada.

**El capítulo 1**, prioriza el origen del problema, es donde se plantea el tema de investigación y se lleva a cabo una contextualización del problema, basado en un alcance a nivel Macro, donde se habla de un contexto a nivel mundial y la repercusión del mercado de calzado y suelas en los procesos de manufactura acorde a su nivel tecnológico, en el alcance a nivel Meso se hace énfasis en el mercado a nivel de Ecuador, en donde se observa la influencia de mercados internacionales y la capacidad de trabajar con sistemas de manufactura convencionales y CNC de capacidad media. En el alcance a nivel micro se habla del contexto problemático a nivel de Tungurahua en donde el mercado está constituido por empresas de renombre internacional.

Además, en este capítulo se detallan la justificación del proyecto, objetivos y delimitación del mismo.

**El capítulo 2**, presenta la fundamentación bibliográfica basado en una matriz de consistencia en donde se exponen las diferentes dimensiones de las variables, con el fin de fundamentar, tanto el proceso experimental, la operacionalización de variables y la propuesta final que se obtiene a base de resultados y con criterio de ingeniería. En este capítulo también se menciona publicaciones o proyectos de investigación similares o que de cierta forma puedan brindar datos iniciales para el desarrollo del proyecto investigativo.

**El capítulo 3**, detalla la metodología con la que se trabajó durante el proceso investigativo, además se encuentra la operacionalización de las variables en contexto al problema principal y basado en las dimensiones que influyen en cada una de las variables. La importancia de detallar adecuadamente la población y muestra del proceso investigativo, también se detalla en este capítulo.

**El capítulo 4**, se encuentra el análisis y la interpretación de resultados, referidos al desarrollo del proceso experimental, y tomando en cuenta diferentes parámetros previos a los ensayos, por otra parte, en este capítulo se detalla los criterios de aceptación y rechazo en cuanto a cuál de los parámetros es el más recomendable, según el diseño experimental, la interpretación de resultados va contemplados en este capítulo. Además, en este capítulo es donde se realiza la validación de la hipótesis planteada.

**El capítulo 5**, se encuentran las conclusiones y recomendaciones obtenidas a lo largo del todo el proyecto de investigación y principalmente enfocados a la propuesta y cómo influye en la solución del problema presentado.

**El capítulo 6**, presenta la propuesta de solución al problema, una vez que se obtuvieron los resultados del proceso experimental y mediante el sustento teórico se obtuvo un diseño de herramienta adecuado y que satisface las necesidades de acabado superficial presentadas en el proyecto.

# CAPÍTULO I

## 1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

### 1.1. Tema

DISEÑO DE UNA HERRAMIENTA DE FORMA PARA MECANIZADO DE CONTRASALIDAS EN MOLDES DE SUELAS DE CALZADO Y DETERMINACIÓN DE LOS REGÍMENES DE CORTE ADECUADOS

### 1.2. Planteamiento del problema

#### 1.2.1. Contextualización

Las grandes corporaciones de producción de calzado constituyen secciones de producción a gran escala, siendo los principales productores a nivel mundial la industria china e india por poseer una mano de obra más barata, también por contar con grandes avances tecnológicos en sistemas de diseño y manufactura asistida por computador. Países en los que también destacan la industrial de moldes y matrices para calzado están Italia, México y Brasil, siendo este último uno de los más fuertes en américa latina desde hace muchos años atrás. A más de contar con grandes avances tecnológicos en los países mencionados la producción está relacionada directamente con la tendencia en modelos impuestos por diferentes marcas principalmente del mercado de Estados Unidos, que influye a nivel mundial.

El mercado nacional en calzado ha sido un sector beneficiado por políticas que prioriza el consumo nacional, impidiendo la libre entrada de producto de otros países, además se ha visto alternativas de mejorar la producción mediante la importación de maquinaria y materia prima a menor costo y libre de tasas arancelarias. En Ecuador existen varias instituciones que pretenden agrupar al sector y de cierta manera suplir las necesidades del mismo, tal es el caso de la CALTU (Cámara Nacional de Calzado) que integra la asociación de varias de las empresas que su principal producción es el

calzado. Existe una amplia influencia del mercado peruano en modelos de suelas deportivas, siendo su fuerte la técnica de micro fundición, la misma que corresponde a la realización de maquetas del producto para luego obtener el molde de producción. Otro mercado influyente es el mercado colombiano en el que se puede mencionar la utilización de sistemas CAD CAM CNC para la elaboración de matrices de suelas similar el mercado de nuestro país.

La provincia de Tungurahua tiene una producción del 65% a nivel nacional, según últimas estadísticas presentadas por la Cámara Nacional de Calzado (CALTU), destacan empresas multinacionales como Plasticaucho Industrial y Liwi, [1], todo esto se traduce en componentes de calidad, principalmente del cuero y suelas, siendo estas últimas producidas en gran escala para satisfacer de cierta manera el mercado nacional. El mercado de suelas a nivel provincial es altamente competitivo, existen varios productores que cuentan con alta tecnología de producción y abarcan la mayor parte del sector, en los últimos años debido al crecimiento de empresas y el alto nivel de competencia, se han venido desarrollando nuevos diseños en suelas casual y deportivo, incrementando el nivel de mecanizado de las matrices para su producción. Por esta razón nace la necesidad de mecanizar en contrasaldas de mecanizado en máquinas CNC de 3 ejes de trabajo siendo Tungurahua los pioneros en este tipo de estrategia de corte y de herramientas utilizadas en este proceso.

### **1.2.2. Análisis crítico**

La utilización de nuevas tecnologías de manufactura en el sector industrial del país ha extendido en gran variedad las aplicaciones para diferentes industrias, siendo beneficiado principalmente el sector de calzado que se encuentra focalizado en ciudades como Ambato, Quito, Cuenca, en donde han destacado empresas con alto nivel competitivo, la capacidad de innovación de diseños de suelas de calzado es directamente proporcional al abastecimiento de herramientas que puedan trabajar en diferentes diseños de forma.

Existen varios métodos de elaboración de moldes de suelas, siendo uno de los más utilizados el método de micro fundición a un costo relativamente alto, existen además diferente tipo de maquinaria en el caso de que el mecanizado del molde contenga contrasalidas, en nuestro país existen limitaciones en este tipo de maquinaria principalmente por los costos. Una solución a este problema se ha presentado con la opción de mecanizar en estrategias de mecanizado de contrasalidas en 3 ejes. Siendo este un proceso de corte relativamente nuevo para cierto software CAM y teniendo en cuenta que no existen suficientes herramientas para cumplir con este tipo de trabajo

El proceso de mecanizado del molde se encarga de producir cientos y en muchos casos miles de productos de una sola matriz, por tal razón los moldes deben estar bajo estándares de calidad tanto en acabado superficial como en principio de inyección. Debido a la demanda de mecanizado en contrasalidas se ha visto la opción del afilado de herramientas de forma empírica mediante procesos tradicionales y sin tomar en cuenta ángulos de filo, lo que provoca pérdidas considerables de tiempos de producción al tener que afilar varias veces la herramienta para terminar el proceso de mecanizado de una sola cavidad, considerando también la dificultad de volver a retomar el mecanizado en el lugar donde terminó la herramienta o filo anterior.

### **1.2.3. Prognosis**

La situación actual del mercado en mecanizado de suelas se ha fortalecido en los últimos años en la industria nacional, sin embargo ante la demanda de matrices de nuevas tendencias y curvas que generan contrasalidas en los moldes, se ve la necesidad de proveer al mercado de herramientas que satisfagan la necesidad de herramientas, existen personas que se han especializado de manera empírica en el afilado de las mismas, siendo muy pocas personas las que dominan el tema y creando especulación de precios en el servicio prestado, es por tal razón la necesidad de desarrollar un diseño de herramientas de contrasalidas que pueda ser utilizado como aporte para el desarrollo del sector.

#### **1.2.4. Formulación del problema**

¿Es factible diseñar una herramienta de forma en HSS para el mecanizado de contrasalidas romboidal en moldes de suela de calzado con el fin de asegurar la exactitud requerida de los productos elaborados, mediante la definición de la geometría y el establecimiento de los regímenes de corte adecuados?

#### **1.2.5. Preguntas directrices**

¿Qué ángulos de corte son adecuados para una herramienta de mecanizado de contrasalidas romboidal en moldes de aluminio para suelas de calzado?

¿Como determinar la profundidad lateral de grabado superficial del proceso de mecanizado de contrasalidas romboidal en moldes de suelas de calzado?

¿Cómo determinar los regímenes de corte adecuados en el mecanizado de contrasalidas con herramienta de forma romboidal, para la manufactura de moldes de suelas de calzado?

#### **1.2.6. Delimitación de la investigación**

##### **1.2.6.1. Delimitación temporal**

El presente trabajo de investigación se realizará desde el mes de Julio del 2018 hasta el mes de Julio del 2019.

##### **1.2.6.2. Delimitación espacial**

El presente proyecto se desarrollará en los laboratorios de la facultad de Ingeniería Civil y Mecánica (FICM) de la Universidad Técnica de Ambato (UTA) y en dos talleres de empresa privada para evaluar los parámetros y por factibilidad de herramientas.



### **1.2.6.3. Delimitación de contenido**

La presente investigación se fundamenta en el campo de Ingeniería Mecánica en áreas como:

- Materiales.
- Modelación de sistemas mecánicos
- Sistemas CAD CAM CNC

### **1.3. Justificación**

Mediante el análisis de diferentes configuraciones de filo para herramientas de mecanizado de contrasalidas se pretende sustentar teórica y experimentalmente cuales son los ángulos que mejor repercusión tiene en función de parámetros de corte y del material del molde, es importante destacar que este tipo de herramientas no existen en el mercado local, pudiendo elaborarse en empresas especializadas fuera del país a costos más elevados y en tiempos de entrega relativamente altos, deteniendo la producción de la empresa o limitando los diseños a realizarse. La información obtenida de este proyecto de investigación sirve para poder fundamentar el diseño de nuevos diseños de herramientas de contrasalidas y de diferentes formas.

Tungurahua ha destacado desde hace años atrás en la producción de calzado a nivel nacional, es importante mencionar el desarrollo del sector en la parte de diseño y tecnificación de procesos de manufactura en moldes de suelas, sin embargo, existen aún altos índices de importación de suelas con cierto grado de complejidad. Los costos de inversión son altos y no están al alcance de medianas y pequeñas industrias que se encuentran relacionadas en el sector, según esta necesidad se ha optado por utilizar softwares con estrategias de mecanizado avanzados, siendo desarrollar métodos de mecanizado, diseño de herramientas improvisados que han ido evolucionando en los últimos años. La reducción de costos mediante esta implementación es notable, de igual

manera se ha visto la reducción de importación y la flexibilidad de imponer tendencias propias y no depender de diseños ya impuestos en otros mercados.

El tiempo de adquisición o importación de los moldes es otro factor relevante, en donde son principales proveedores mercados como el de Italia, México, China, Brasil, entre otros. Los altos requerimientos de suelas dependen del cambio constante de tendencias en el mercado y la rápida adaptación del productor a la demanda del cliente. Debido a este cambio el molde de suelas se lo construye en aluminio porque no tiene una producción considerable.

#### **1.4. Objetivos**

##### **1.4.1. Objetivo general**

Mejorar el proceso de mecanizado de contrasalidas en moldes de suelas de calzado con la utilización de sistemas CAD/CAM/CNC, mediante el diseño de una herramienta de forma y la determinación de los parámetros de corte adecuados para asegurar la exactitud requerida de los productos obtenidos.

##### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Identificar los ángulos de corte adecuados para una herramienta de mecanizado de contrasalidas romboidal en moldes de aluminio para suelas de calzado.
- Determinar la profundidad lateral de grabado superficial del proceso de mecanizado de contrasalidas romboidal en moldes de suelas de calzado.
- Establecer los regímenes de corte adecuados en el mecanizado de contrasalidas con herramienta de forma romboidal, para la manufactura de moldes de suelas de calzado

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes investigativos

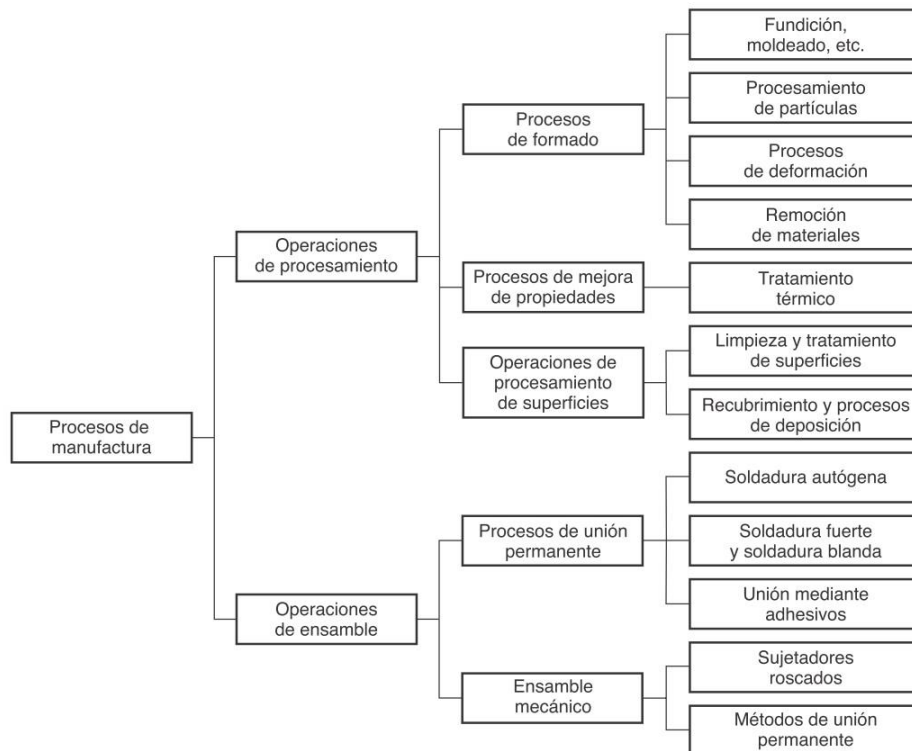
Como antecedentes de la presente investigación se ha encontrado artículos y trabajos científicos, como el presentado por [2] en donde se estudia el filo de una herramienta de corte en carburo de tungsteno de forma esférica, tomando en cuenta la demanda de este tipo de herramienta y calidad superficial requerida en los procesos de mecanizado en el sector militar ruso. El trabajo se desarrolló mediante la aplicación de sistemas CAD y CAE para el diseño y validación del filo de la herramienta, y el uso de sistemas CNC para el proceso de corte en el mecanizado. Se toma en consideración la importancia del impacto del mercado y la aplicabilidad empresarial para reducción de costos, además de la influencia general en la eficiencia de procesos al utilizar herramientas de corte que son correctamente diseñadas y con materiales resistentes al desgaste. Se deduce, también que el desarrollo tecnológico ha influenciado en la optimización de equipos y herramientas con el fin de facilitar el trabajo al operador.

Es importante mencionar la insuficiente investigación en el sector de moldes de suelas de calzado, siendo este mercado uno de los más fuertes en el país, sin embargo existen trabajos investigativos como el realizado por [3] en donde se analiza que los procedimientos de fabricación de las suelas de poliuretano, en base a moldes de compresión, transferencia e inyección, difieren por las características en el producto y el tipo de compuesto de poliuretano, siendo menos costosos los moldes de transferencia, a diferencia de los moldes de inyección, que debido al sistema de refrigeración tienden a ser más costosos, constituyéndose un factor condicionante de pre diseño e ingeniería del molde. Los trabajos mencionados sirven como referencia en la operación y diseño de herramientas de corte en HSS y la aplicación en moldes de suelas realizados en aluminio como material base. Las condiciones de corte difieren en función de diámetros y tipos de estrategias a utilizar para el mecanizado.

## 2.2. Fundamentación teórica

### 2.2.1. Proceso de manufactura

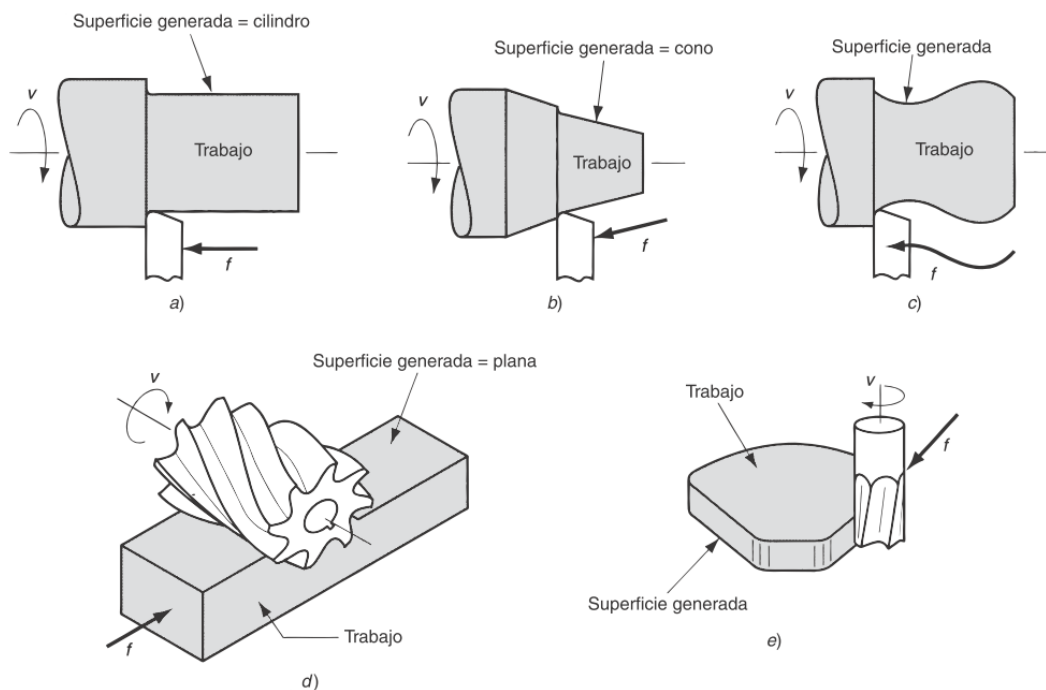
Los procesos de manufactura vienen evolucionando desde muchos años atrás, son el pilar fundamental de industrias en diferentes campos de aplicación, en términos generales se dividen en dos grandes grupos: 1) las operaciones del proceso, y 2) las de ensamblado. Las primeras hacen referencia a que un material de trabajo avance de un estado a otro con un nivel superior, llegando casi a un producto terminado. Durante el proceso se efectúan cambios a propiedades físicas de elemento, además puede cambiar su apariencia y propiedades estéticas. Para las operaciones de ensamblado es necesario juntar uno o más elementos que han sido sometidos o no a procesos de manufactura previos, con el fin de obtener un nuevo producto, en muchas ocasiones puede ser denominado como subensamblable, ya que un producto final puede estar compuesto de varios elementos individuales y subensamblables según el caso. En la figura 2.1 se puede ver una clasificación de los procesos de manufactura. [4]



**Figura 2. 1.** Clasificación de los procesos de manufactura.

### 2.2.1.1. Mecanizado

Existen varios procesos de mecanizado a nivel industrial, con arranque de viruta y sin arranque de viruta, ambos métodos son versátiles y precisos dentro de los procesos de manufactura por su capacidad de producir una amplia gama de elementos y características geométricas (por mencionar algunas: moldes de inyección, engranajes, roscas de diferentes grados de dificultad). Los procesos de mecanizado con arranque de viruta se dividen en rotacionales y no rotacionales, siendo más utilizados los primeros, dentro de estos procesos se encuentran principalmente el torneado y fresado. Su principio de funcionamiento es eliminar material mediante una herramienta de corte. [4]



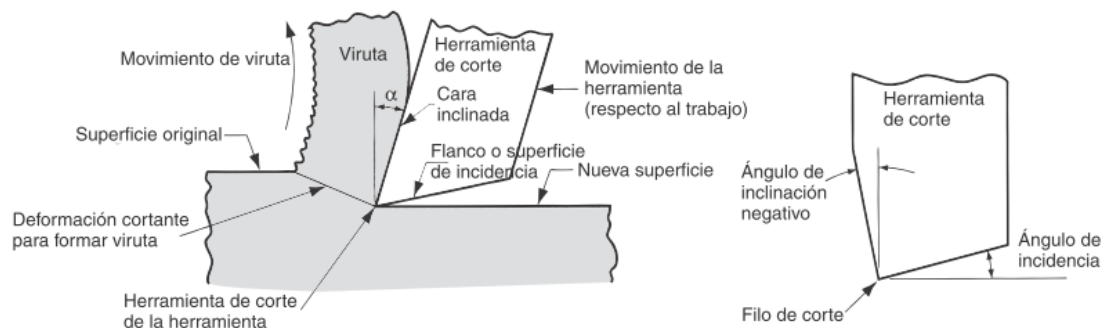
**Figura 2. 2.** Operaciones de procesos de mecanizado con arranque viruta.

Para los diferentes procesos de mecanizado se deben tomar en cuenta varios factores, los que tienen más relevancias están: velocidad de avance, número de revoluciones a las que trabaja el herramienta o el elemento, profundidad de pasada, entre otros. La consideración general es que todo proceso de mecanizado tiene variables que actúan

de manera directa a la calidad del producto terminado. Dichas variables interactúan de forma directa o indirecta durante el proceso.

### 2.2.1.2. Mecanizado con arranque de viruta

Los procesos de remoción de material mediante herramientas de corte son de la familia de operaciones de formado, presentadas en la figura 2.3. El proceso en sí, se basa en remover material desde un elemento inicial o en bruto, hasta llegar a la forma geométrica final. Todo esto se realiza mediante herramientas de corte monofilo o multifilo, acompañado de un sistema de refrigeración. En algunos procesos de mecanizado la refrigeración es opcional, el contacto entre la herramienta de corte y el elemento a mecanizar producen una concentración térmica que afecta el filo de corte y por consecuencia afecta el acabado superficial.



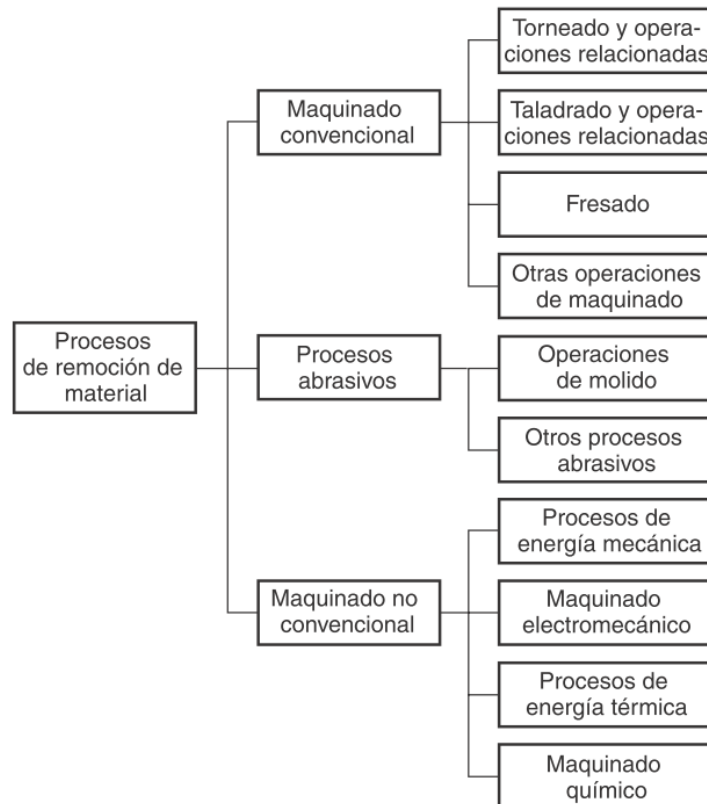
**Figura 2. 3.** Sección transversal de mecanizado con arranque de viruta.

El proceso más común de mecanizado por arranque de viruta se da en materiales ferrosos, habiendo empresas que se dedican a la manufactura industrial a base de los materiales mencionados, sin embargo, en los últimos años han aparecido nuevos materiales con nuevas aleaciones, por lo que se ha visto la necesidad de crear nuevas herramientas que sean capaces de resistir altas temperaturas y principalmente sean resistentes al desgaste. Una de las aleaciones principales de las herramientas de mecanizado es el cobalto, que sirve para recubrir con una capa delgada el filo de corte. Sin duda el mercado de herramientas ha cubierto la necesidad de todos los sectores

industriales, tomando en cuenta siempre principios geométricos que han sido desarrollados desde principios de siglo.

### 2.2.1.3. Mecanizado convencional

En la figura 2.4 se muestra la división principal de los procesos de remoción de material, donde se puede observar al mecanizado convencional como una subdivisión principal, siendo de las más importantes en el ámbito industrial. Gracias a los principios de funcionamiento de este tipo de maquinaria se han dado avances a partir de inicios de siglo, este tipo de maquinaria cuenta con sistemas de generación de movimiento en un solo sentido o posición, con el paso del tiempo se fueron añadiendo mecanismos que ayudaron al proceso de mecanizado convencional, agregando funciones y de alguna manera automatizando ciertos procesos. Para este tipo de mecanizado siempre se ha contado con el contacto directo entre la máquina de trabajo y el operador.



**Figura 2. 4.** Clasificación de los procesos de mecanizado.

Las habilidades de mecanizado son fundamentales para el proceso de mecanizado convencional, el desconocimiento puede incurrir en graves accidentes incluso de criticidad fatal.

#### **2.2.1.4. Mecanizado CNC**

El proceso de mecanizado CNC es un método sofisticado, versátil, que ha venido evolucionando acorde a diferentes avances tecnológicos en el área electrónica y de automatización industrial. Los diferentes elementos y actuadores que comprenden un sistema de mecanizado CNC, son los encargados de dar movimiento a los diferentes sistemas mecánicos, siendo capaces de generar ciclos de mecanizado con geométricas complejas y a niveles altos de operación automática. [5]

La aplicación de sistemas sofisticados de manufactura incurre en recursos tecnológicos avanzados, el proceso de mecanizado CNC se lo realiza mediante computadores que son capaces de interpretar codificación alfanumérica y traducirla a movimientos de corte para diferentes niveles de dificultad. Los procesos de manufactura CNC se han venido aplicando a diferentes procesos que se los venía realizando de forma convencional desde hace mucho tiempo atrás. Países industrializados fueron los pioneros en la utilización de este tipo de maquinaria

Una de las ventajas principales de este tipo de mecanizado es el mínimo contacto que tiene el operario con la máquina, la seguridad en el proceso beneficia al trabajador quién está en la obligación de cumplir los requerimientos específicos de la máquina. Para que el proceso CNC funcione de la mejor manera es necesario conocer los componentes esenciales de operación como es el control y la forma de corregir las alturas de los diferentes herramientas. [5]

La precisión sin duda es uno de los factores más relevantes que se pueden obtener en un proceso CNC, la exactitud de los motores hace que el proceso tenga una tolerancia relativamente baja, todo esto depende directamente de los sistemas mecánicos.



### 2.2.2. CAD/CAM/CAE

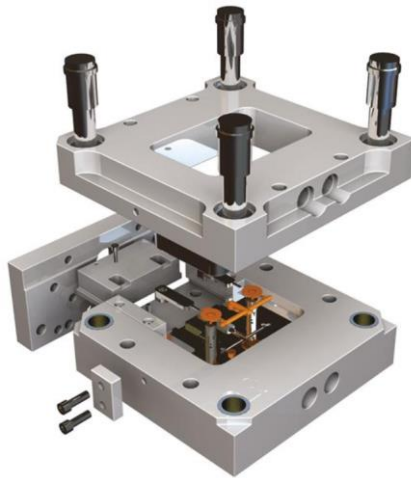
La industria nacional ha visto la necesidad de adaptarse a sistemas tecnológicos que facilitan de cierta forma los procesos de manufactura, la flexibilidad es una característica de los sistemas CAD CAM CAE, la capacidad de adaptarse a los requerimientos empresariales ha evolucionado diferentes procesos que se venían desarrollando de manera convencional, de cierta forma se ha podido simplificar, optimizar y elevar la calidad de los procesos de manufactura. [5]

Debido al crecimiento industrial se han elevado los niveles competitivos en varios sectores comerciales, la prioridad de la industria es reducir costos mediante herramientas de automatización de procesos con el fin de satisfacer al cliente. Una de las adaptaciones que sin duda ha tenido el área industrial es la implementación de sistemas de diseño asistido por computador CAD, que día a día han venido hasta llegar al punto de tener softwares que tienen la capacidad de modelar en 3 dimensiones incluso poder hacer simulaciones de movimientos, con el fin de predecir posibles fallos en el diseño final y posterior construcción.

De tal forma ha sido el impacto tecnológico que hoy en día se pueden integrar diferentes procesos de manufactura con sistemas computacionales, los recursos informáticos son totalmente necesarios en relación al proceso que se realiza. Hoy en día con un enlace de los sistemas mencionados, se puede realizar el diseño, al mismo tiempo someterlo a un análisis de validación de cargas y esfuerzos CAE, con el fin de predecir si va a resistir o no. A más de eso una vez realizada la validación de resistencias, se puede realizar una optimización topológica, avanzar a un proceso CAM, que consiste en generar trayectorias de corte para procesos de mecanizado en diferentes maquinarias. Cuando se habla de vincular los procesos, el objetivo es poder llegar al producto final y esto se logra mediante la utilización del Control numérico computarizado CNC, el mismo que se encarga de interpretar los códigos que son generados por el CAM, esto mediante un controlador que está integrado a la máquina de mecanizado. [5]

### 2.2.2.1. Diseño Asistido por Computadora (CAD)

El diseño asistido por computador CAD, sin duda hoy en día es una herramienta esencial para todo ingeniero inmerso en el área industrial y de procesos, normalmente los mencionados programas proveen una interfaz gráfica en donde se pueden visualizar mediante ventanas, los diferentes comandos y herramientas con los que se pueden realizar modelos en 2D y 3D. En la actualidad existe una amplia variedad de programas CAD para diferentes áreas y con herramientas específicas que ayudan a optimizar el tiempo de diseño y modelado. La mayoría de programas con entornos 3D tienen la capacidad de brindar resultados de propiedades físicas, como volumen masa, secciones, etc. al poder ingresar propiedades de materiales también se puede avanzar en procesamiento de predicción de fallas mediante métodos de elementos finitos. [6]



**Figura 2. 5.** Molde de inyección CAD.

### **Beneficios de los programas CAD**

A continuación, se muestran algunos del sin fin de beneficios de la utilización de programas CAD en la industria, pero entre los más relevantes tenemos los siguientes:

- Incrementar la productividad del ingeniero.
- Mejorar la calidad del diseño.
- Mejorar la comunicación a través de la documentación.

- Crear una base de datos para la manufactura.

#### 2.2.2.2. Ingeniería Asistida por Computadora CAE

La ingeniería asistida por computadora CAE, hacen referencia a softwares especializados, con estructuras de programación avanzadas, que hacen posibles resolver sistemas de ecuaciones altamente complejas en cuestión de segundos o incluso menos. Todo este proceso se lo realiza por medio de un método de elementos finitos, que consiste en dividir un elemento CAD en partes finitas, unidas por medio de nodos que procuran sistemas de ecuaciones.



**Figura 2. 6.** Análisis por medio de Elementos Finitos.

Mediante este principio existen diferentes aplicaciones para un sin número de casos de ingeniería, el denominado análisis multifísico en donde se involucran análisis estáticos y dinámicos entre los más utilizados para proyectos estructurales. Para determinados equipos investigativos que tienen un enfoque a la mecánica de fluidos, está el análisis CFD de las siglas en inglés (Computer Fluids Dynamics), que se encarga de predecir u obtener resultados en condiciones de fluido interno o externo, ideal para aplicaciones aerodinámicas, neumáticas e hidráulicas, la ingeniería asistida por computadora hoy por hoy provee una gran cantidad de información para la toma de decisiones en grupos de diseñadores que se dedican a la creación de un producto determinado. [7]

## **Parámetros usados en Ingeniería Asistida por Computadora (CAE)**

Para garantizar resultados adecuados en la utilización de métodos de elementos finitos es necesario identificar las condiciones de entrada y de salida de resultados. Las condiciones de entrada o iniciales proveen información de factores de carga, sujeciones, temperatura, o volumen según el análisis a realizar, una vez ejecutado el análisis, los resultados están en función de estas condiciones, según un método comparativo. Por lo general estos parámetros se introducen en el programa CAE para conocer de manera experimental si el elemento que se está siendo analizado puede soportar las limitaciones a las que se verá expuesto. [6]

En cualquier tarea de CAE existen tres fases principales las cuales son:

1. Preproceso, definir los parámetros necesarios del modelo, también los factores ambientales a los que se verá expuesto.
2. Análisis que resuelva el problema.
3. Posprocesamiento de resultados, donde podremos observar todos los resultados requeridos.

### **2.2.2.3. Fabricación Asistida por Computadora CAM**

La manufactura asistida por computadora CAM, entra el mercado como una necesidad de ingresar parámetros de mecanizado y poderlos automatizar con el fin de trabajar con diferentes máquinas de control numérico computarizado. Este tipo de software genera trayectorias de corte en función de condiciones iniciales como dimensiones de herramientas, velocidades de corte, etc.

Una herramienta de gran utilidad es la capacidad de simular el proceso desde entradas de herramienta, hasta el acabado final, esto nos ayuda a verificar que la herramienta no colisione con ningún elemento de sujeción o que la herramienta trabaje con sobrecarga en desplazamientos a máximas velocidades de trabajo. Además de proveer una estimación de tiempo de mecanizado total, siendo en muchos de los casos un valor

aproximado, ya que al contar con ciclos fijos de trabajo como el perforado o roscado, no se puede obtener un valor exacto de tiempo de mecanizado.

El objetivo principal de CAM es crear un proceso de producción ágil con herramientas muy precisas, y optimización del material. Años atrás antes de la implementación de CAM a la industria, un operador tenía la necesidad de entender las instrucciones antes de implementar el código en la máquina.

La introducción manual del código era de vital importancia ya que de esto dependía la calidad del producto final, este proceso por lo general era demorado y directamente relacionado con la complejidad del producto.



**Figura 2. 7.** Diseño CAD CAM de moldes de suelas.

La fabricación asistida por computadora es un proceso posterior a CAD y, en muchas ocasiones ocurre después de CAE, debido a que un modelo creado en CAD y analizado en CAE puede ingresar en un programa CAM, el mismo que se encargará de generar códigos alfanuméricos que serán interpretados por el controlador de la máquina CNC, la codificación se la realiza por medio de un postprocesador, el mismo que genera los códigos acorde a parámetros establecidos por el controlador. Existe una mínima diferencia entre la codificación necesaria para las diferentes máquinas de control numérico computarizado, a pesar que todas las marcas se basan en un ISO de programación CNC.

### 2.2.3. Sistemas CNC

Según [8], un sistema de manufactura avanzado y acorde a tendencias tecnológica, hace uso del conjunto integral de sistemas CAD y CAM previamente mencionados. La maquinaria que cuenta con controladores numéricos computarizados es aquella que llevan a realidad el proceso de diseño y posterior programación CNC, esto por medio de computadores que se encargan de interpretar la codificación alfanumérica obtenida en el postproceso del CAM. El computador interpreta la programación alfanumérica y la traduce en movimientos de los diferentes ejes de la maquinaria. Las características principales de los sistemas CNC podemos mencionar:

- Precisión dimensional del mecanizado
- Tiempos de mecanizado más rápidos
- Mínimo contacto con el operador
- Producción más eficiente

En la figura 2.8 se muestra algunos tipos de máquinas CNC más utilizadas en la industria manufacturera. Donde podemos destacar centros de mecanizado, Tornos CNC, centros de torneado, plasmas CNC, routers.



**Figura 2. 8.** Maquinaria CNC.

### 2.2.3.1. Centro de mecanizado de tres ejes

Este tipo de maquinaria corresponde a trabajos de mecanizado de tres ejes principales de movimiento, eje X, eje Y, eje Z. los mismos que son impulsados mediante actuadores denominados servomotores o también motores paso a paso, este tipo de elementos hacen que el mecanizado sea preciso y tenga la capacidad de cambiar de giro en cuestión de milisegundos. Los centros de mecanizado de 3 ejes han sido los que más se ha utilizado desde la aparición de sistemas integrales CAD CNC, trabajan en conjunto con un sistema de cambio de herramientas automatizado y de sujeción neumática, se las encuentran en diferentes dimensiones de desplazamiento de los ejes.

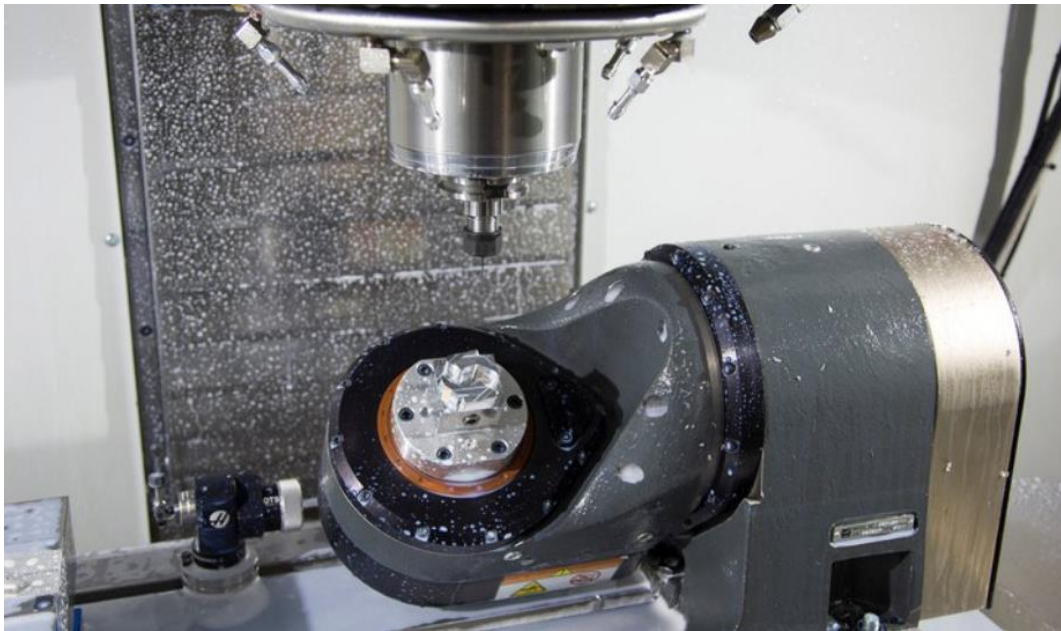


**Figura 2. 9.** Centro de mecanizado de tres ejes.

Una de las desventajas de este tipo de maquinaria es que no se puede mecanizar en contrasalidas, esto significa que no se puede realizar mecanizados de forma en paredes laterales debido a la limitación de movimiento de los ejes. Adicional se puede mencionar que cuando existe complejidad de mecanizado, es necesario buscar la forma de sujeción en caso de requerir un mecanizado por diferentes lados del elemento, provocando inexactitud de mecanizado y problemas dimensionales. Adicional se pueden encontrar routers CNC, que trabajan de igual manera en 3 ejes con la diferencia que este tipo de máquinas no cuentan con cambios de herramientas automáticos.

### 2.2.3.2. Centro de mecanizado de cuatro ejes

En este tipo de máquinas a más de contar con el movimiento de los tres ejes principales, se adiciona un eje adicional que corresponde al eje A, este eje gira alrededor del eje x, por lo que se necesita un aditamento especial para que genere este desplazamiento. La función del cuarto eje es utilizada principalmente para mecanizados de forma cilíndrica, en contrasalidas o de manera convencional en relieve. En la figura 2.10 se puede visualizar un centro de mecanizado de 4 ejes.



**Figura 2. 10.** Centro de mecanizado de cuatro ejes.

Una de las características principales de este tipo de máquina es que deben estar sincronizados correctamente los cuatro ejes para garantizar la precisión de mecanizado. En la industria de moldes de soplado se va la utilización de este eje adicional, pues la geometría de las cavidades son acordes al tipo de desplazamientos de la máquina. Además, es útil para procesos de mecanizado en donde es necesario mecanizar en ambos lados de un elemento, evitando realizar dos procesos de sujeción y que se desplace el cero pieza original al momento de girar. Cuando se utiliza este tipo de maquinaria es necesario verificar el movimiento del elemento mediante la información que proporciona el controlador, ya que este eje se mueve en dimensiones angulares.



### 2.2.3.3. Centro de mecanizado de cinco ejes

Este tipo de maquinaria ha revolucionado el mercado de manufactura en los últimos años, las ventajas son muchas, a más de contar con los movimientos esenciales de mecanizados, este tipo de máquina cuenta con el eje A y B al mismo tiempo, por lo que existe giro alrededor del eje X y alrededor del eje Y.

Ideal para trabajar en geometrías complejas que no se consiguen con tres ejes de trabajo convencionales. Una de las ventajas principales es el mecanizado de contrasalidas de formas complejas. La herramienta puede ingresar en las cavidades más pequeñas de mecanizado. La figura 2.11 muestra un centro de mecanizado de 5 ejes.



**Figura 2. 11.** Centro de mecanizado de cinco ejes.

Una de las principales ventajas de este tipo de maquinaria son los costos extremadamente elevados que incurre adquirir este tipo de maquinaria, empresas grandes optan por este tipo de maquinaria para trabajos específicos, sin embargo, deben contar con personal calificado para poder operar de manera adecuada, cualquier inconsistencia puede provocar fallar irreparables a la máquina.

#### 2.2.4. Mecanizado de contrasalidas

Este tipo de mecanizado realiza la operación de fresado con distintas herramientas de corte, la diferencia al mecanizado convencional es que la herramienta tiene un saliente que permite que entre de forma lateral en un plano de trabajo x, y, z. Este tipo de mecanizado, es utilizado en diferentes aplicaciones, como ranurados cilíndricos, retenedores, mecanizados de suelas entre otras. Para estas estrategias de corte se cuenta con herramientas especiales que tienen la forma de la contrasalida, el mecanizado tiende a ser utilizado con sistemas de manufactura CNC debido a la complejidad del proceso. En la figura 2.12 se puede apreciar el mecanizado de contrasalidas para una aplicación básica



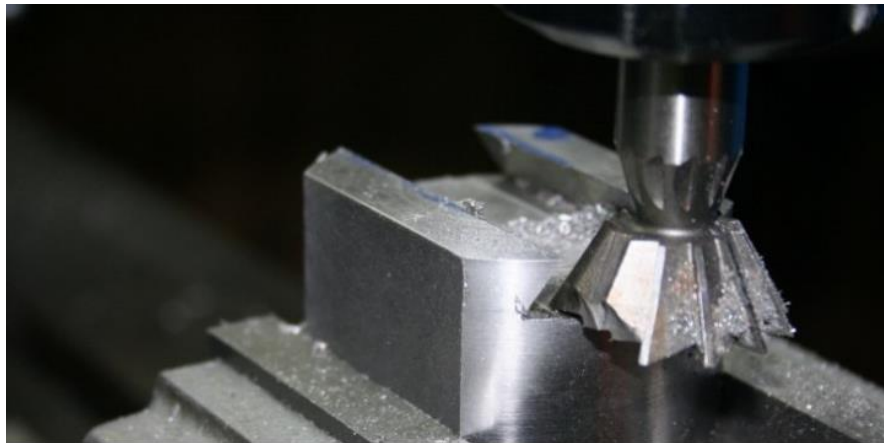
**Figura 2. 12.** Mecanizado de contrasalidas.

El mecanizado de contrasalidas ha sido un problema en la industria de manufactura desde hace muchos años, varios han sido los métodos utilizados para poder solventar este tipo de requerimiento. Se puede decir que existen diferentes grados de complejidad en el mecanizado de contrasalidas, mismos que pueden ser mecanizados desde máquinas de fresado convencional, trazando una línea recta como recorrido de la contrasalida, hasta utilizar mecanizado de contrasalidas en aplicaciones más complejas en donde la geometría de recorrido no se puede realizar de manera convencional. Hoy en día, mediante la implementación de sistemas de mecanizado avanzados CAM, se ve la posibilidad de poder trabajar en procesos de mecanizado de contrasalidas que

generan una forma lateral, esto quiere decir que mediante programación CNC se pueden crear grabados laterales como si se trabajara con máquinas de mecanizado de 4 o 5 ejes.

#### **2.2.4.1. Mecanizado de contrasalida convencional**

El método de mecanizado convencional de contrasalidas ha ido evolucionando desde el inicio de la revolución industrial, la fabricación de guías de sujeción fue una de las aplicaciones más utilizadas para mecanizado de contrasalida convencional. En la figura 2.13 se puede visualizar un mecanizado de cola de milano con configuración de contrasalida.

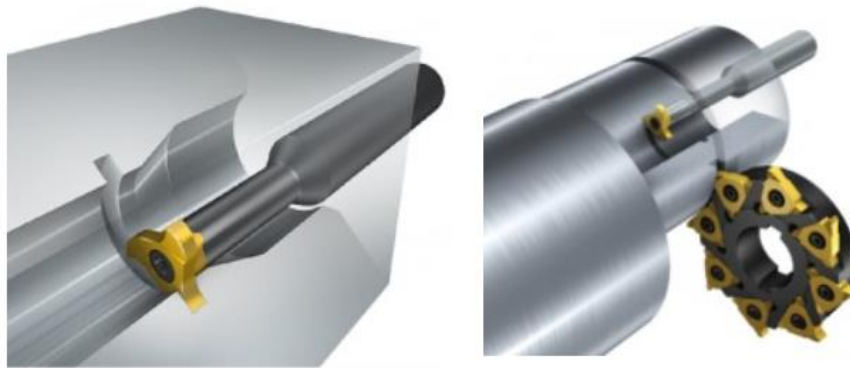


**Figura 2. 13.** Mecanizado de contrasalidas convencional.

En este tipo de proceso la herramienta recorre una trayectoria recta, dejando la forma definida de la guía, la desventaja de este tipo de mecanizado convencional es que la profundidad o geometría total de la guía es mecanizada en una sola pasada, deteriorando la herramienta por sobrecarga, en vista de esto se optó por aumentar el número de filos de corte del herramienta, reduciendo en un pequeño porcentaje el desgaste de la herramienta, razón por la cual este tipo de mecanizado es costoso, dependiendo del material de la herramienta, esta dura solamente para un trabajo en específico. Existe un sin número de aplicaciones para este tipo de mecanizado por lo que se lo utiliza aun hoy en día.

#### 2.2.4.2. Herramientas de contrasalidas

En el mercado existen diferentes distribuidores de productos de mecanizado, entre la gama extensa de herramientas de corte encontramos aquellas que sirven para procesos de contrasalidas, dentro de las marcas más conocidas podemos mencionar a Sandvik, la diversidad de herramientas es la característica principal de esta marca, se acomodan a cualquier tipo de necesidad en procesos de mecanizado, en la figura 2.14 podemos observar fresas de mecanizado para procesos de contrasalidas.



**Figura 2. 14.** Herramientas de mecanizado de contrasalida.

Una de las ventajas de este tipo de herramientas es la facilidad de cambios de insertos en caso de desgaste de los filos, para procesos más específicos se cuenta con herramientas de mecanizado más especializadas como las que se muestran en la figura 2.15.

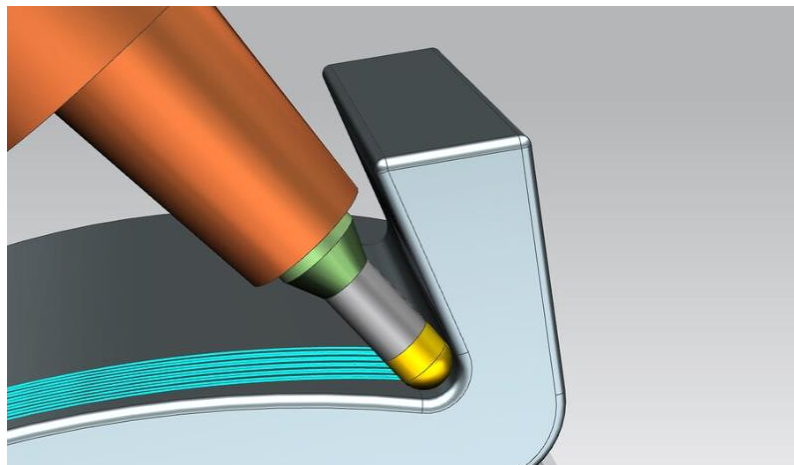


**Figura 2. 15.** Herramientas de forma de contrasalida.

Para operaciones de mecanizado que demandan geometrías específicas se desarrollan herramientas que cumplan con dicha función, tal es el caso de grabados laterales en contrasalida para diferentes formas o texturas en donde es necesario fabricar la herramienta a medida y en muchos casos de forma empírica. Como se muestra en la figura 2.15, estas herramientas se fabricaron para diferentes aplicaciones de mecanizado.

### 2.2.4.3. Estrategias de mecanizado

Si hablamos de procesos de mecanizado CNC es fundamental tratar temas de estrategias de mecanizado, en procesos convencionales existe un número limitado de estrategias, limitándose a movimientos lineales, y en el mejor de los casos utilizar instrumentos adicionales que permitan tomar formas un poco más complejas.



**Figura 2. 16.** Herramientas de mecanizado de contrasalida.

Dentro de los procesos de mecanizado CAM se puede encontrar gran variedad de estrategias de mecanizado en diferentes softwares que acompañados de programación computacional avanzada que permiten generar todo tipo de trayectoria de corte y parámetros que prolongan la vida útil de la herramienta. Existen diferentes tipos de softwares en el mercado, unos más avanzados que otros, en ciertos casos cuentan con estrategias para mecanizados complejos como el de contrasalidas, que permiten mecanizar áreas laterales en diferentes formas y bajo condiciones de trabajo óptimas,

esto es ingresar velocidades de trabajo y pasos de bajada conservadores. Dentro de los softwares de mecanizado avanzado podemos mencionar al Powermill, el mismo que ha destacado en los últimos años al desarrollar estrategias avanzadas para mecanizado en 3, 4 y 5 ejes.

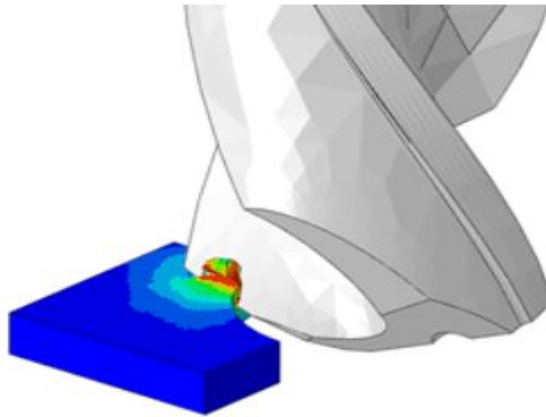
### **2.2.5. Diseño mecánico**

Existen diferentes ámbitos de la ingeniería en donde es necesario tener fundamentos de diseño mecánico, principalmente departamentos encargados de la producción y transformación de la materia prima, en donde es necesario diseñar diferentes mecanismos o equipos completos. Entre las bases disciplinarias que el profesional debe mantener actualizadas se encuentran: la mecánica de sólidos, de fluidos, la transferencia de masa y momento, los procesos de manufactura, la teoría eléctrica y de la información. El diseño en la ingeniería mecánica involucra todas las áreas mencionadas. [9]

Los problemas reales enfocados en este caso a matricería involucran conocimientos explícitos en mecánica de fluidos, transferencia de calor, fricción, transporte de energía, selección de materiales, tratamientos termomecánicos, descripciones estadísticas, etc. La construcción debe respetar el medio ambiente. Las consideraciones de refrigeración, cierre del molde, selección de materiales son principios fundamentales al momento de diseñar matrices, en especial cuando es producción en serie o a gran escala. Las condiciones de inyección juegan un papel predominante, existen diferentes variables que influyen en la calidad del producto, dentro de las principales tenemos: temperatura de inyección, presión, volumen, cantidad y tipo de material. [9]. Todas lo mencionado forma parte de procesos de diseño que debe mantener una fundamentación bibliográfica en este caso tomado del libro de E. Shigley, el mismo que se encuentra descrito en la bibliografía del presente documento. Es importante destacar la factibilidad de información relacionada con diseño y la disponibilidad en diferentes fuentes bibliográficas. [9]

### 2.2.5.1. Esfuerzos estáticos

En la actualidad, el ingeniero tiene una gran variedad de herramientas y recursos disponibles que le ayudan a solucionar problemas de diseño. Para poder validar diferentes configuraciones de modelos 3D sometidos a diferentes tipos de carga se utiliza el método de elementos finitos, el mismo que pretende determinar un estado de tensión en estructuras tridimensionales, básicamente consiste en dividir al modelo 3D en elementos tetraédricos conectados por nodos, en donde se presentan sistemas de ecuaciones que son resueltas por el solver integrado al software. Una vez que se realiza el análisis estático, se obtiene como resultados el esfuerzo máximo que se produce en el elemento, los desplazamientos máximos y la determinación de factores de seguridad que como sabemos están en función de la resistencia del material.



**Figura 2. 17.** Análisis de elementos finitos en filo de corte.

El análisis estático presenta resultados acertados cuando los valores y condiciones iniciales son ingresados correctamente, dentro de las condiciones iniciales se puede mencionar: fijaciones, desplazamientos, propiedades mecánicas del material analizar, etc. todo esto con el fin de que la validación presente resultados más precisos, otro factor predominante es la dimensión de la malla, la misma que debe ser creada según los recursos computacionales que se disponga, entre más fina la malla se procura mayor capacidad computacional.

### 2.2.5.2. Factores de diseño y seguridad

Uno de los alcances al que se pretende llegar en el diseño de elementos, y con parámetros generales del problema de la carga permisible contra la carga que actúa sobre el elemento, es el método del factor de diseño determinístico, al que algunas veces se le llama método clásico de diseño. La ecuación fundamental es la ecuación, donde  $n_d$  se conoce como factor de diseño. Deben analizarse todos los modos de pérdida de función, y el modo que conduzca al factor de diseño más pequeño será el modo gobernante. Después de terminar el diseño, el factor de diseño real puede cambiar como resultado de cambios como el redondeo a un tamaño estándar de una sección transversal o el uso de componentes recién lanzados con clasificaciones más altas en lugar de emplear lo que se había calculado usando el factor de diseño. En este caso, el factor se conoce como factor de seguridad,  $n$ , que tiene la misma definición que el factor de diseño, pero por lo general difiere en su valor numérico. [9]

$$n_d = \frac{\text{resistencia de pérdida de la función}}{\text{Esfuerzo permisible}}$$

### 2.2.5.3. Fuerza de corte

Dicha fuerza se encuentra presente como una de las fuerzas resultantes entre la herramienta y el material a mecanizar, su dirección está definida en razón transversal a la fuerza axial y la fuerza radial, mismas que influyen de manera directamente proporcional a los parámetros de corte de cada material, también influye el tipo de material de la herramienta con el que se va a trabajar.

Un valor adicional directamente relacionado, es la profundidad de pasada que se da al proceso, entre más fuerza de mecanizado, más posibilidad de fractura de la herramienta, además que un excesivo número de revoluciones de corte, se traduce en desgaste acelerado del filo de corte en condiciones normales de trabajo, esto quiere decir con un sistema adecuado de refrigeración.

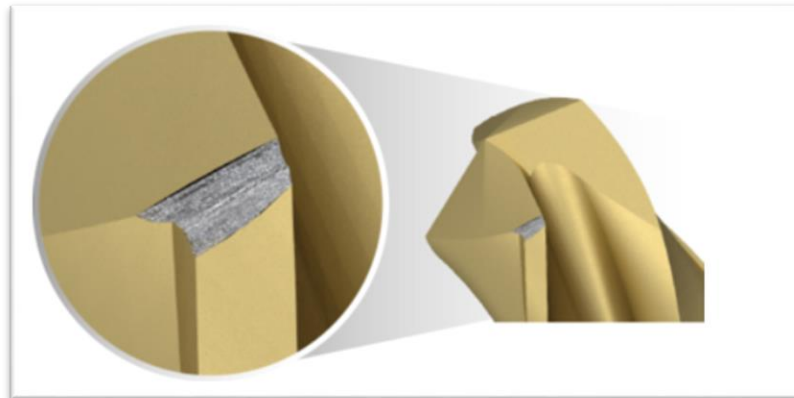


#### 2.2.5.4. Factores de durabilidad de la herramienta

Todo proceso de mecanizado tiene como resultado el desgaste de la herramienta en mayor o menor proporción, todo esto depende de diferentes factores, dentro de los cuales podemos mencionar:

**Material de la herramienta:** dentro de los materiales que componen las herramientas más usuales del mercado podemos citar: High Speed Steel o conocidos como aceros rápidos de alta velocidad

**Parámetros de corte:** Todos los materiales mecanizables tienen condiciones propias de corte, esto depende de las propiedades mecánicas del material a trabajar, en específico de la dureza del material



**Figura 2. 18.** Desgaste de filo en herramienta de mecanizado.

**Sujeciones:** una inadecuada sujeción, tanto en el material base, como en la herramienta, pueden provocar desplazamientos no deseados y resultar en roturas de la herramienta.

**Refrigeración:** para todo proceso de mecanizado por arranque de viruta se debe utilizar refrigerantes, el mismo que ayuda que mantener el calor entre la punta de la herramienta y el material que se va a mecanizar, otra característica del refrigerante, es la capacidad de evacuar oportunamente la viruta que desprende el proceso.

### **2.2.6. Ciencia e ingeniería de los materiales**

La ciencia de los materiales estudia la relación entre la estructura y constituyentes de los materiales y sus propiedades, así como la influencia de algunos de sus procedimientos de elaboración. Además del proceso de elaboración, selección y aplicación de materiales según la funcionalidad del elemento de acuerdo con las propiedades conocidas y deseadas. Agrega además el análisis técnico - estructural y consideraciones energéticas, económicas, ecológicas, de envejecimiento, etc. [10]

Tanto para la ciencia como para la ingeniería de los materiales, el concepto de propiedad fisicoquímicas como respuesta a un estímulo es sumamente importante. Las propiedades fisicoquímicas se pueden clasificar según el estímulo en los siguientes grupos: mecánicas, térmicas, electromagnéticas (en todo el espectro), químicas, y propiedades de dispersión.

También es competencia de la Ciencia de los Materiales proceder a la inversa: definido un conjunto de propiedades deseables, establecer qué tipo de material de diseño puede cumplirlas, aunque este no exista en la naturaleza. Son ejemplos notorios de este segundo caso los aceros inoxidables, la pulvimetalurgia, los materiales cerámicos con coeficiente de dilatación controlado (que incluso puede llegar a ser cero), plásticos conductores o con muy alta resistencia a la fricción (como los utilizados en algunos radomos de aviones) o vidrios con coeficiente de transmisión luminosa saturable. [10]

#### **2.2.6.1. Acero rápido High Speed Steel (HSS)**

Llamado también "HSS" High Speed Steel (acero de alta velocidad), son aceros especiales para herramientas, que conservan sus características tecnológicas, aun a temperaturas relativamente elevadas, permiten grandes velocidades de corte.

Estos aceros contienen siempre cromo, tungsteno, y con frecuencia vanadio. Si el porcentaje de tungsteno es superior al 18%, se denominan extra rápidos (o super rápidos).

A más del cromo y tungsteno los HSS por pertenecer a las aleaciones Fe C X, pueden contener manganeso, molibdeno, wolframio, y/o cobalto. Generalmente el componente X está presente en más de un 7%, y el C en más de 0,6%. Sin embargo, estos aceros requieren de un tratamiento térmico apropiado a altas temperaturas para convertirse en HSS.

Es el material generalmente utilizado en la fabricación de herramientas de corte como sierras, machuelos, tarrajas, brocas cuchillas de torno, fresas, punzones, etc. [11]

En la figura 2.19 se muestra los porcentajes de componentes que constituyen un HSS convencional, estas propiedades son tomadas de uno de los principales fabricantes de aceros conocidos a nivel internacional.

C	Si	Mn	Cr	Mo	V	W
0.90	0.25	0.30	4.10	5.00	1.80	6.40

**Figura 2. 19.** Composición Química del HSS (Bohler).

### **Influencia de los elementos de aleación en las propiedades del HSS**

**Carbono:** forma carburos, aumenta la resistencia al desgaste, es responsable de la dureza básica de la matriz.

**Tungsteno y Molibdeno:** Mejora la dureza roja, la retención de la dureza y la resistencia a altas temperaturas de la matriz, forma carburos especiales de gran dureza.

**Vanadio:** forma carburos especiales de dureza suprema, aumenta la resistencia al desgaste a altas temperaturas, la retención de la dureza y la resistencia a altas temperaturas de la matriz.

**Cromo:** promueve el endurecimiento profundo, produce carburos fácilmente solubles.

Aluminio: mejora la retención de la dureza y la dureza roja. Dado que es posible lograr propiedades específicas mediante un ajuste cuidadoso de estos elementos de aleación. [12]

#### **2.2.6.2. Carburo de tungsteno**

El carburo de tungsteno o carburo de wolframio, formado a base de wolframio y carbono, es un compuesto cerámico de gran dureza. Característica por la cual es una de los materiales más utilizados en la fabricación de máquinas, herramientas y productos utilizados en la fabricación y el trabajo del acero. [13]

Perteneciente al grupo de los carburos, este material también es conocido como ‘Widia’, un término que proviene de la expresión alemana ‘wie diamant’ (como el diamante), y está presente en un gran número de procesos de corte mecanizado dentro del sector industrial. [13]

#### **Propiedades del carburo de tungsteno (Wolframio)**

- Extremada dureza
- Resistencia al desgaste
- Resistencia a la corrosión
- Alta resistencia mecánica
- Con 6% Níquel, menor corrosión
- Con 6% Cobalto, mayor dureza

#### **Productos y aplicaciones**

- Piezas, Placas, Tubos, etc.
- Anillos, Rodillos, Barras, etc.
- Cuchillas, Boquillas, etc. [13]

### 2.2.6.3. Aluminio para moldes de suelas

Para el mecanizado de suelas se utiliza principalmente el duraluminio o prodax que es una aleación de aluminio de alta resistencia, laminado en caliente, que se entrega en barras redondas y placas, tratadas térmicamente. Las mismas son sometidas a una operación especial de estiramiento en frío para el máximo alivio de tensiones. Dado su alta resistencia y buena estabilidad, Prodax se ha convertido en un material ampliamente utilizado en la industria de moldes y matrices. Condición de entrega: Tratado térmicamente a 146 - 180 Brinell. [14]



**Figura 2. 20.** Placas de aluminio Prodax (Ivanbohman).

Prodax posee las siguientes características, que lo hacen apropiado para distintos tipos de herramientas, especialmente moldes para plásticos.

Excelente mecanizado: Altas velocidades de corte, tiempos de mecanizado reducidos, menos costo de herramental, entregas más rápidas.

Bajo Peso: Su bajo peso (aproximadamente la tercera parte del peso del acero), hace el manejo del herramental más fácil y sencillo. Su baja inercia hace posible acelerar el tiempo de cierre y apertura de los moldes. [14]

Alta Conductividad térmica: Se reduce el tiempo de los ciclos y se pueden utilizar sistemas de enfriamiento menos complicados.

Buena estabilidad: La operación especial de alivio de tensiones garantiza una deformación mínima durante y luego del mecanizado.

Buena resistencia a la corrosión: Buena resistencia contra ataques corrosivos en los plásticos habitualmente usados. [14]

### 2.2.7. Modelación 3D herramienta

La aplicación softwares CAD para modelado paramétrico en la industria abarca la elaboración de diferentes configuraciones de diseño, representación normalizada de piezas para su diseño y fabricación, representación volumétrica de modelos dinámicos en multimedia, análisis con elementos finitos, aplicaciones en realidad virtual, robótica, etc. Para la elaboración de cualquier tipo de herramienta de mecanizado es necesario contar con un diseño tridimensional que contenga todos los ángulos de corte a fin de verificar la factibilidad de fabricación y validación del mismo, en la figura 2.21 se muestra el modelado 3D de una herramienta con todos los filos de corte

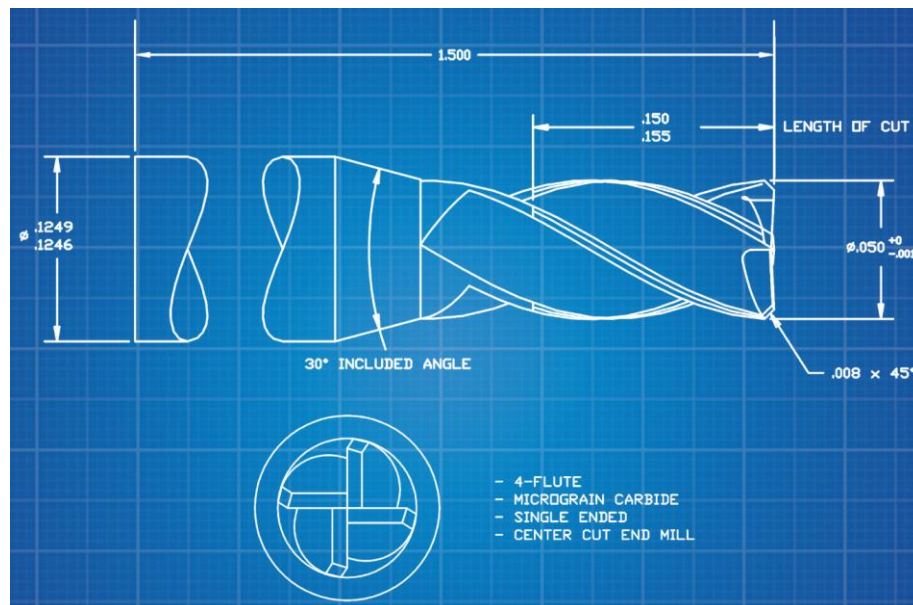


Figura 2. 21. Modelado 3D herramientas.

El CAD es una técnica de análisis, una manera de crear un modelo del comportamiento de un producto aun antes de que se haya construido.

### 2.2.7.1. Modelado de suelas de calzado

A medida del crecimiento de nuevas tecnologías en diseño, se han desarrollado herramientas específicas para diferentes sectores, la industria del calzado no ha quedado un lado, existen softwares que permiten detallar de forma paramétrica todos los componentes del mismo, esto ha beneficiado en gran manera a los productores que ven en este tipo de herramientas la facilidad de prever cualquier inconsistencia en un producto terminado. El proceso de diseño como en la mayoría de industrias comienza a partir de conceptos, los mismo que son plasmados en modelos 3D por medio de diseñadores que conocen las herramientas computacionales.

El proceso manufactura de uno de los componentes más importantes de calzado es el de la suela, el mismo que debe ser detallado tanto en materiales, en especificaciones de volumen y ergonomía, con el fin de tener un producto que cumpla requerimientos de peso, de resistencia y estéticos. En la figura 2.22 se muestra el diseño de una suela de calzado.

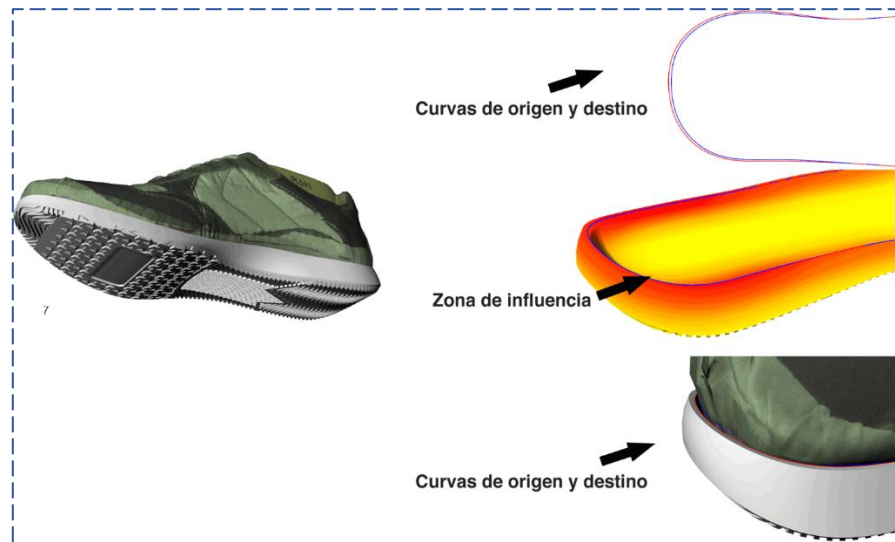


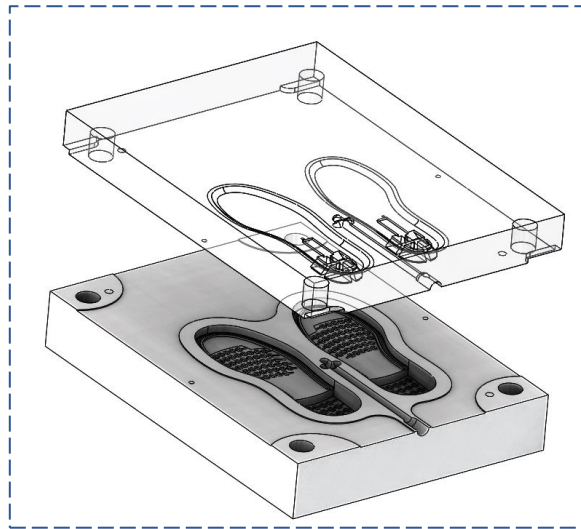
Figura 2. 22. Modelado 3D suelas.

### 2.2.7.2. Diseño de moldes de suelas

El proceso de modelado de suelas empieza a partir de tener un diseño terminado de la suela, se debe aprovechar todas las ventajas que provee un software de diseño CAD,

esto quiere decir: verificar interferencias, dimensionar elementos complementarios como guías bebedores etc. y mediante la ayuda del CAE o método de elementos finitos determinar los puntos de inyección de llenado del molde. Existen diferentes softwares de diseño de moldes en el mercado, siendo unos de los utilizados el Rhinoceros, SolidWorks, Nx de Siemens, entre otros. Todos con diferentes herramientas, pero con un mismo objetivo, proveer moldes que brinden un producto final de calidad.

En la figura 2.23 se muestra el diseño CAD de un molde de suelas, una vez terminado el proceso de diseño se pasa al proceso de manufactura con el mismo diseño.



**Figura 2. 23.** Modelado 3D molde de suelas.

Los procesos para la elaboración de moldes de suelas varían no en la tecnología de fabricación con relación al mecanizado, sino en el desarrollo tecnológico de manufactura del producto a obtenerse en este caso la suela y del material del que está compuesto la suela. En la figura 2.24 se muestra el mecanizado de un molde de suela a partir del modelado CAD 3D. es necesario contar con maquinaria CNC especial para cada proceso de obtención del molde, puede ser centros de mecanizado CNC o procesos de electroerosión.





**Figura 2. 24.** Molde de suela mecanizado en CNC.

### **2.2.8. Diseño de geometría de herramientas**

Frederick Winslow Taylor fue el primero en establecer una norma de estandarización y categorización de las primeras herramientas de corte, basándose exclusivamente en los diferentes tipos de materiales descubiertos por él.

La revolución industrial jugó un papel importante en la implementación de nuevos compuestos, a partir de nuevos materiales se crearon nuevos diseños de herramientas de mecanizado, con el fin de incrementar la producción y reducir costos operativos. Esta revolución en compuestos y materiales creó la necesidad de trabajar con máquinas más eficientes, capaces de estar a la par de los requerimientos de los nuevos herramientas diseñados.

Una de las características de este tipo de materiales es que debe ser utilizado a altas revoluciones, caso contrario tienden a romperse o producirse agrietamientos. Hoy en día se cuenta con diferentes compuestos para el proceso de elaboración de herramientas, pero tomando en cuenta siempre el diseño original de Taylor, los ángulos, parámetros de incidencia y desahogo de viruta.

Además, es importante destacar que hoy en día se puede diseñar cualquier tipo de herramienta para mecanizados personalizados, la capacidad tecnológica permite replicar cualquier herramienta en cuestión de segundos. A más de eso se tiene

herramientas como afiladores de herramientas que permiten obtener diferentes herramientas desde la comodidad de un taller.

### 2.2.8.1. Afilador de Buriles

Hoy en día se cuenta con equipos capaces de replicar filos de herramientas convencionales y adaptarlos a diferentes secuencias de corte. Un afilador de buriles crea herramientas a partir de barras circulares de Tungsteno o HSS, esto con el fin de abaratar costos en comparación a herramientas que cumplen la misma función. En la figura 2.25 se aprecia un afilador de buriles y una herramienta que se obtuvo a partir de equipo mencionado.



**Figura 2. 25.** Afilador de buriles.

El proceso de obtención de la herramienta es relativamente sencillo, pero debe ser bien estructurado, se debe contar con información adecuado de los ángulos de corte necesarios de una herramienta con el fin de que el proceso sea eficiente. El tener ángulos inadecuados se traduce en inadecuada calidad superficial y un desgaste de la herramienta prematuro. Para cada uno de los filos de herramientas se debe tener un manual de procedimiento de afilado con ángulos establecidos con el fin de que todas las réplicas de herramientas sean correctamente afiladas. Existen accesorios que

ayudan a recuperar el filo de otras herramientas de corte, ya sea en brocas, fresas de vástago convencional y hasta herramientas de torno.

### 2.2.8.2. Ángulos de corte de herramientas de mecanizado

Con el fin de alargar la vida útil de la herramienta es fundamental conocer los ángulos de corte de las herramientas. En el caso de fresas la figura 2.26 muestra los ángulos principales y cuáles de estos debería ser tomado en cuenta al momento de afilar una herramienta o crear herramientas que emulen diferentes filos de corte.

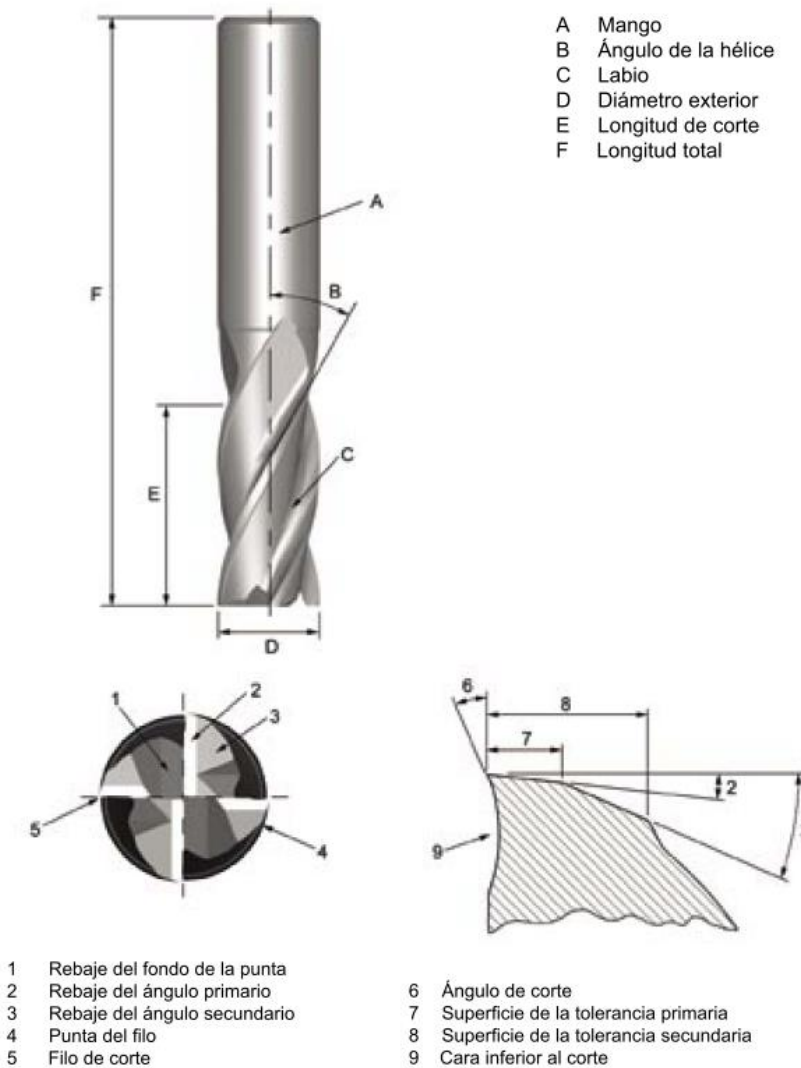


Figura 2. 26. Ángulos de corte de herramientas de fresado.

A partir de los ángulos presentados en la figura 2.26 se debería crear cualquier filo en geometrías equivalentes.

### 2.2.8.3. Parámetros de corte

Velocidad de corte,  $V_c$ : Indica la velocidad superficial a la que el filo mecaniza la pieza.

$$V_c \text{ (m/min)} = \frac{n \text{ (min}^{-1}) \pi D_c \text{ (mm)}}{1000 \left(\frac{\text{mm}}{\text{m}}\right)}$$

Donde;

$V_c =$  *Velocidad de Corte*

$n =$  *Velocidad de Rotación de la Herramienta*

$D_c =$  *Diámetro de la pieza*

A partir de esta ecuación se obtiene el número de revoluciones necesarias para el mecanizado. Por lo general la  $V_c$  se obtiene de tablas y cada material cuenta con su propia  $V_c$ .

Velocidad de corte efectiva o real,  $V_e$ : Indica la velocidad superficial en el diámetro efectivo ( $DC_{ap}$ ). Este valor es necesario para determinar los datos de corte reales en la profundidad de corte efectiva ( $a_p$ ). Se trata de un valor especialmente importante cuando se usan fresas de plaquita redonda, fresas de ranurar de punta esférica, todas las fresas con radios de punta más grandes y las fresas con un ángulo de posición inferior a 90 grados. [15]

Velocidad del husillo,  $n$ : El número de vueltas por minuto que realiza la herramienta de fresado en el husillo. Se trata de un valor orientativo que se calcula a partir de la velocidad de corte recomendada para la operación. [15]

Avance por diente,  $f_z$ : Un valor para calcular el avance de mesa. El valor del avance por diente se calcula a partir del valor recomendado para el grosor de viruta máximo.

Avance por revolución,  $f_n$ : Un valor auxiliar que indica cuánto se desplaza la herramienta en una rotación completa. Se usa específicamente para los cálculos de avance y, a menudo, para determinar la capacidad de acabado de una fresa. [15]

Avance por minuto,  $V_f$ : También se denomina avance de mesa, avance de máquina o velocidad de avance. Es el avance de la herramienta en relación a la pieza de trabajo en la distancia por unidad de tiempo relacionada con el avance por diente y el número de dientes en la fresa. El número de dientes de la fresa disponibles en la herramienta ( $z_n$ ) varía mucho y se utiliza para determinar el avance de mesa, mientras que el número efectivo de dientes ( $z_c$ ) es el número de dientes efectivamente activos en el corte. El avance por revolución ( $f_n$ ) en mm/rev (pulg. /rev) es un valor que se usa específicamente para los cálculos de avance y, a menudo, para determinar la capacidad de acabado de una fresa. [15]

		Ø de Fresa							
		1mm	2mm	3mm	4mm	6mm	8mm	10mm	
<b>Tabla de velocidades de Corte y Avance</b>	<b>Inox.</b>	Rpm. Avance mm/min.	9900/14400 140	4950/6600 140	3300/4400 160	2420/3300 175	1650/2200 175	1250/1650 175	990/1320 185
		Rpm. Avance mm/min.	16800/21600 180	9600/12000 220	5520/7200 230	4200/5400 230	2760/3600 230	2160/2760 230	1680/2160 230
	<b>AI</b>	Rpm. Avance mm/min.	33000 300	19800/30800 350	11000/19800 390	9900/15400 390	6600/9900 390	4950/7700 390	3960/6050 390
		Rpm. Avance mm/min.	25000 530	16000/25000 540	10000/16000 570	8000/12000 600	5000/8000 600	4000/6000 600	3200/5000 650
		Rpm. Avance mm/min.	33000 1000	22000/27500 1100	15500/19800 1300	11000/16500 1300	6600/9900 1500	5500/8250 1500	4400/6600 1500
			Ø de Fresa		3mm	4mm	6mm	8mm	10mm
	<b>Inox.</b>	Rpm. Avance mm/min.			7200 180	5400 230	3600 230	2700 230	2200 250
		Rpm. Avance mm/min.			10000 250	7500 280	5000 280	3750 280	2000 300
	<b>AI</b>	Rpm. Avance mm/min.			24000 1200	20000 1600	13000 2000	10000 2000	8500 2800
		Rpm. Avance mm/min.			18000 2000	13000 2000	9000 2500	8000 3000	6000 3000
	Rpm. Avance mm/min.			24000 4000	22000 4000	18000 5000	15000 5000	12000 5000	
				<b>Fresas Standard</b>					
				<b>Fresas SpeedCut</b> alto Rendimiento					

Figura 2. 27. Velocidades de corte y avance.

### **2.3. Fundamentación legal**

El presente proyecto investigativo se basa en los reglamentos de la Universidad Técnica de Ambato aprobados por consejo universitario, en donde manifiesta en el capítulo 5 los parámetros de los trabajos de titulación, características y aspectos generales. El artículo 35 detalla “El trabajo de titulación en especialización y maestría profesional deberá incluir necesariamente un componente de investigación de carácter descriptivo, analítico o correlacional y por tanto contener, como mínimo, la determinación del tema o problema, el marco referencial la metodología pertinente, el análisis y las conclusiones”.

Los programas de postgrado se basan en el reglamento de régimen académico superior, el mismo que reconoce en el artículo 10 la formación de cuarto nivel de postgrado en diferentes programas. Mediante todos los reglamentos de respaldo la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica ha ofertado diferentes programas de maestría.

### **2.4. Fundamentación filosófica**

La impresión de pensamiento postmoderno a nivel industrial, nos hace vivir a un ritmo acelerado, la competitividad nos ha llevado alcanzar estándares tecnológicos que no se han visto en miles de años, a partir de la revolución industrial se ha visto un crecimiento intenso a nivel de procesos de manufactura, la capacidad de producción se incrementó en función de la aparición de nuevos materiales. Máquinas y herramientas se beneficiaron de la aparición de nuevos procesos y nuevas aleaciones. Los procesos de corte han incrementado su eficiencia, nuevas aleaciones se traducen en menor desgaste y mayor resistencia. Acorde la evolución de herramientas también se ha visto una evolución significativa en sistemas de manufactura computarizada, trayendo consigo ventajas y desventajas sobre el ámbito laboral del hombre. No está por demás mencionar que a medida que va evolucionando la ciencia, la tecnología, cada vez se van terminando los recursos del planeta, el crecimiento poblacional está llegando a un punto en el que agotará las condiciones de vida adecuadas para el ser humano.

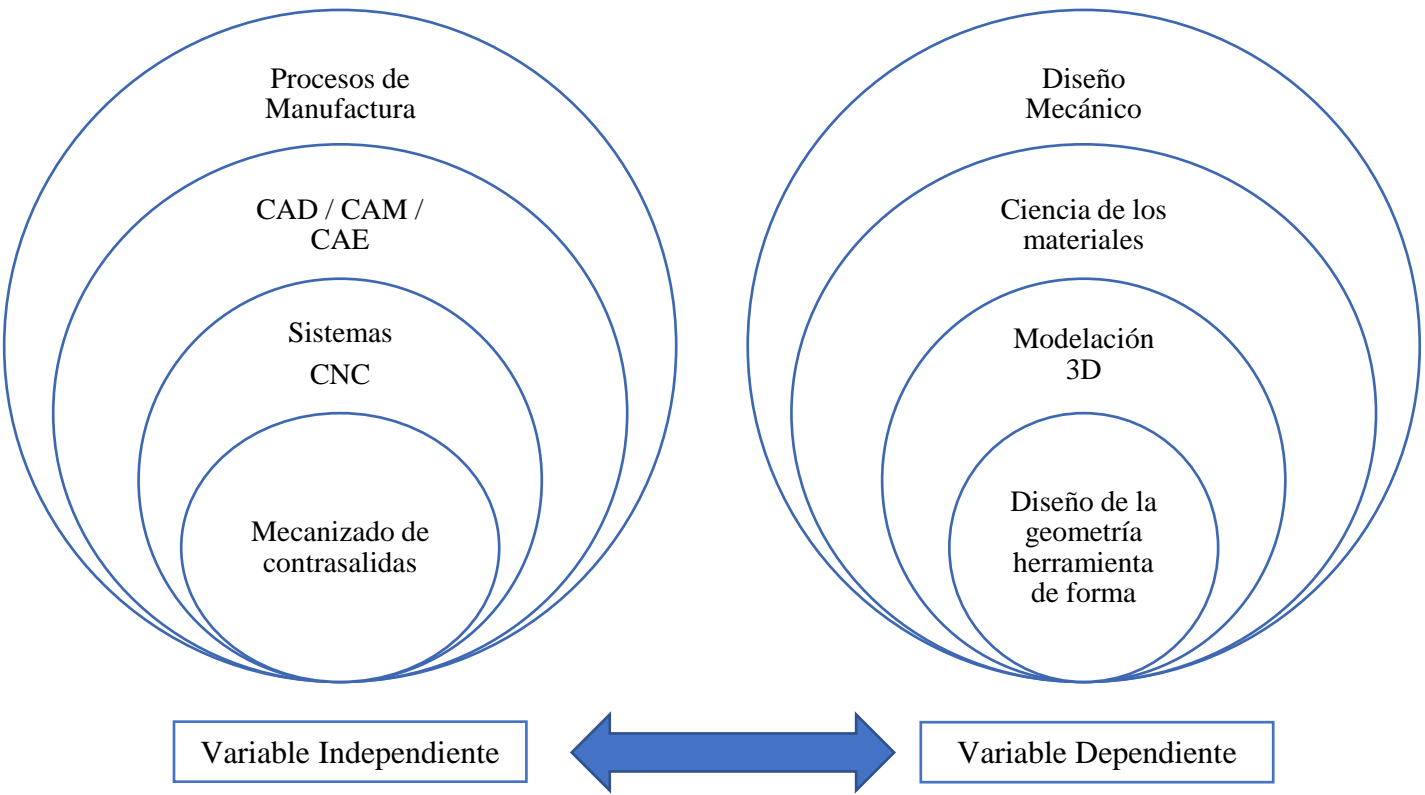


Figura 2.28. Categorías fundamentales

## **2.6. Hipótesis**

El diseño de una herramienta de forma en HSS y la determinación de los parámetros de corte adecuados permitirá mejorar el mecanizado de contrasalidas en moldes de suelas de calzado mediante la utilización de sistemas CAD CAM CNC

## **2.7. Señalamiento de variables**

### **2.7.1. Variable independiente**

Definición de la geometría de la herramienta, regímenes de corte en el proceso de mecanizado de contrasalida en moldes de suelas

### **2.7.2. Variable dependiente**

Diseño de la herramienta de forma en High Speed Steel (HSS)

### **2.7.3. Término de relación**

Incidencia



## **CAPÍTULO III**

### **3. METODOLOGÍA**

#### **3.1. Enfoque**

Para un desempeño adecuado de la herramienta es necesario determinar los parámetros de adecuados de corte, por lo que la información que se analizó corresponde a un enfoque cuantitativo donde se trabajó con datos de velocidades de avance, profundidad de corte por pasada, que varían en función de los ángulos de corte estudiados, todo esto con el fin de evaluar la profundidad de mecanizado lateral en la superficie de incidencia de la herramienta, una vez obtenidos los datos se realizó el análisis estadístico para verificar la hipótesis.

#### **3.2. Modalidad básica de investigación**

##### **3.2.1. De campo**

El proceso de mecanizado de suelas se lo realiza en instalaciones que cuentan con procesos de manufactura CNC y convencional. Para el desarrollo experimental se contó con la colaboración de una empresa ubicada en el parque industrial de la ciudad de Ambato, la misma que tiene amplia trayectoria en mecanizado de moldes de suelas con tecnología CAD CAM CNC, la mencionada empresa mostró interés por la investigación planteada, ya que ayudará a mejorar los procesos de construcción en sus diferentes diseños de moldes.

##### **3.2.2. Bibliográfica**

La presente investigación se sustenta en información obtenida de documentos, libros, revistas científicas actuales de relevancia, esto con el fin de tener un respaldo teórico adecuado en las dos variables estudiadas. Mediante la investigación bibliográfica es posible fundamentar factores importantes en el diseño de la herramienta, como son

ángulos de corte e incidencia, además de la selección adecuada de parámetros de corte con sus respectivas ecuaciones de aplicación.

### **3.3. Nivel o tipo de investigación**

#### **3.3.1. Experimental**

Llegar a un diseño adecuado de la herramienta con parámetros de corte óptimos, corresponde a realizar ensayos con diferentes velocidades de avance y profundidad de pasada, variando la geometría de la herramienta con sus diferentes ángulos de trabajo. El resultado de la investigación experimental proporcionó resultados en los cuales se garantiza la vida útil del herramental obteniendo una aceptable profundidad de grabado lateral en el trabajo de mecanizado de contrasalidas.

El número de repeticiones para el proceso experimental se consideró de acuerdo a los lineamientos que establece en el libro de Gutiérrez Pulido, el mismo que recomienda; El número de observaciones por tratamiento (n) debe escogerse con base en la variabilidad que se espera observar en los datos, así como en la diferencia mínima que el experimentador considera que es importante detectar. Con este tipo de consideraciones, por lo general se recomiendan entre 5 y 30 mediciones en cada tratamiento. Cuando es costoso o tardado se puede seleccionar un número menor de repeticiones, con lo cual sólo se podrán detectar diferencias grandes entre los tratamientos.

Según lo expuesto anteriormente y tomando en consideración los criterios que expone para determinar el número de repeticiones, para el presente diseño de experimento se ha estipulado como 5 el número de repeticiones, la matriz de experimento para el diseño factorial de dos a la tres con cinco repeticiones se puede apreciar en la tabla 3.1 la cual se presenta a continuación:

**Tabla 3. 1.** Matriz del experimento.

Ángulo de ataque [FACTOR A]	Velocidad de Avance (mm/min) [FACTOR B]							
	A				B			
	Profundidad por pasada (mm) [FACTOR C]							
	X		Y		X		Y	
1=Ángulo x1	1	<b>T1: 1AX</b>	1	<b>T2: 1AY</b>	1	<b>T3: 1BX</b>	1	<b>T4: 1BY</b>
	2		2		2		2	
	3		3		3		3	
	4		4		4		4	
	5		5		5		5	
2=Ángulo x2	1	<b>T5: 2AX</b>	1	<b>T6: 2AY</b>	1	<b>T7: 2BX</b>	1	<b>T8: 2BY</b>
	2		2		2		2	
	3		3		3		3	
	4		4		4		4	
	5		5		5		5	

Mediante la matriz de experimento detallada en la tabla 3.1 podemos realizar una matriz de codificación de probetas, a continuación, se muestra la tabla 4.1 en donde se asignaron valores al proceso experimental, dichos valores fueron tomados en base a datos de mecanizado obtenidos empíricamente y según experiencias de operadores.

**Tabla 3. 2.** Matriz del experimento.

Ángulo de ataque [FACTOR A]	Velocidad de Avance (mm/min) [FACTOR B]							
	A 400mm/min				B 450mm/min			
	Profundidad por pasada (mm) [FACTOR C]							
	X 0.12mm		Y 0.15mm		X 0.12mm		Y 0.15mm	
1=Ángulo 3°	1	<b>T1: 1AX</b>	1	<b>T2: 1AY</b>	1	<b>T3: 1BX</b>	1	<b>T4: 1BY</b>
	2		2		2		2	
	3		3		3		3	
	4		4		4		4	
	5		5		5		5	
2=Ángulo 4.5°	1	<b>T5: 2AX</b>	1	<b>T6: 2AY</b>	1	<b>T7: 2BX</b>	1	<b>T8: 2BY</b>
	2		2		2		2	
	3		3		3		3	
	4		4		4		4	
	5		5		5		5	

### **3.4. Población y muestra**

#### **3.4.1. Población**

Para la presente investigación se toma como población las diferentes herramientas utilizadas en el proceso de mecanizado del molde de una suela, siendo las determinantes herramientas de fresado para:

- Desbaste
- Semiacabado
- Acabado
- Contrasalidas (Triangular, Circular)

#### **3.4.2. Muestra**

Según las condiciones del proyecto se realizó un muestreo no probabilístico tomando a juicio propio las herramientas con las que se realizó los diferentes ensayos. Se tomó como muestra herramientas para contrasalidas de forma triangular, las mismas que generan grabado lateral en forma de rombo en el contorno lateral del molde. A partir de la muestra seleccionada se realiza el proceso experimental, en el mismo que se detallarán las diferentes combinaciones tomando como base los diferentes ángulos de corte de las herramientas.

- Herramienta romboidal ángulo de ataque x1
- Herramienta romboidal ángulo de ataque x2

### 3.5. Operacionalización de variables

#### 3.5.1. Variable independiente

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Técnicas e Instrumentos
El proceso de elaboración de moldes de suelas incurre en diferentes procesos de mecanizado como el desbaste, semiacabado y acabado con diferentes tipos de herramientas, la importancia de seleccionar adecuadamente los parámetros de corte influye directamente en el tiempo de vida útil de la herramienta y por ende en el acabado superficial. [10]	Parámetros de corte de fresado	<p>Velocidad de corte</p> <p>Profundidad de corte lateral</p> <p>Ángulo de corte de la herramienta</p>	<p>(60 – 150) m/min</p> <p><math>0.11 &lt; t &lt; 0.16</math> (mm)</p> <p>(4° - 5°) ángulo de incidencia</p>	<p>Experimental</p> <p>Programación en la máquina CNC</p> <p>Programación en la máquina CNC</p> <p>Medición calibradores</p> <p>Afilador de buriles</p> <p>Calibrador</p> <p>Galgas</p>

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Técnicas e Instrumentos
El diseño y optimización de herramientas de mecanizado ha sido una necesidad constante en el la industria de manufactura. La evolución de procesos de mecanizados de moldes ha incrementado la necesidad de herramientas que satisfagan las diferentes geometrías de corte y con máquinas accesibles para el sector. [16]	Vida útil de la herramienta	<p>Profundidad de cavidad lateral</p> <p>Material del molde (Aluminio)</p> <p>Refrigerante</p>	<p><math>0.8 &lt; e &lt; 1</math> (mm)</p> <p><math>90 \leq HB \leq 110</math></p> <p>Inundación</p>	<p>Calibrador de espesores</p> <p>Calibrador de profundidad</p> <p>Observación directa</p> <p>Durómetro</p> <p>Catálogo</p> <p>Observación directa.</p> <p>Experimental</p>

### **3.6. Recolección de la información**

Según el desarrollo de la operacionalización de las variables se obtiene información por medio del proceso experimental, basándose en velocidades de corte determinadas a base de experiencias previas, la profundidad de pasada, es el factor que más impacto tiene al momento de realizar el ensayo, ya que de este depende la integridad de los filos, una profundidad excesiva incurre en la rotura inmediata de la herramienta.

#### **3.6.1. Observación**

Para una adecuada tabulación de datos, es importante llevar a cabo un proceso de medición de la profundidad del grabado lateral. Esto se lo realizó mediante instrumentos de medición y técnicas de observación directa. Todos los datos obtenidos son tabulados según el diseño experimental.

#### **3.6.2. Documental**

Una vez realizado el proceso de mecanizado, es importante determinar la profundidad de grabado en las cavidades, para esto se tomó los datos en la parte inferior del tallado lateral que es en donde más influencia tiene el desgaste de la herramienta. Todo esto se registró y documentó en hojas de cálculo que posteriormente se utilizaron para procesamiento estadístico.

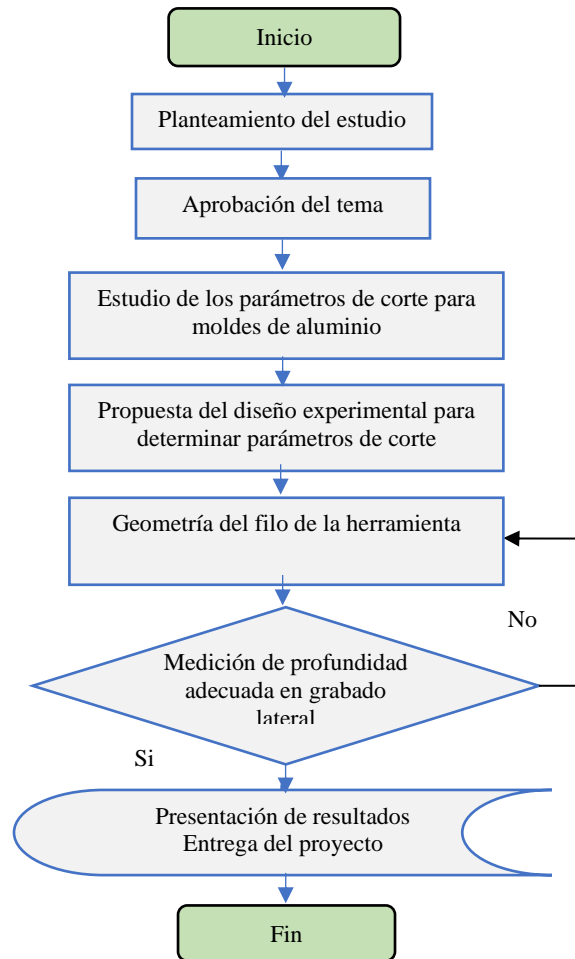
El registro documental tiene alta importancia para el proceso de verificación de hipótesis, datos incorrectos incurren en una validación inadecuada. Se ha tomado y registrado los datos de una manera ordenada y precisa.

### **3.7. Procesamiento y análisis de información**

#### **3.7.1. Plan de procesamiento de la información**

Debido a que la investigación se basa en un enfoque cuantitativo, el método estadístico con el que se desarrolló el procesamiento de información es inferencial y descriptivo,

debido a que se ordena, describe y resume un conjunto de datos obtenidos de la muestra específica. Para la interpretación adecuada de los datos se utilizaron gráficas, tablas comparativas, seguido de un proceso de estimación estadística.



**Figura 3. 1.** Plan operativo de investigación.

El plan operativo propuesto en la figura 3.1 se toma como base para la validación del proceso experimental y como fundamentación de la propuesta al proyecto de investigación. Cabe mencionar la importancia de llevar de forma planificada la ejecución de los ensayos, con el fin de tener los mejores resultados posibles en cada etapa del plan operativo.



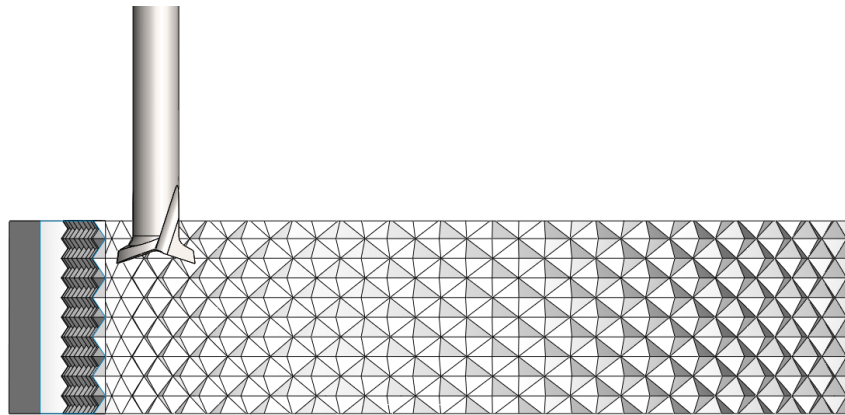
## CAPÍTULO IV

### 4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1. Análisis de resultados

##### 4.1.1. Proyección de base a mecanizar

Para poder realizar la experimentación y determinar parámetros de corte adecuados, se tomó una geometría de contrasalida en rombo en toda la cara lateral de molde, es importante que la forma de la herramienta se adapte a la cavidad lateral, cualquier inconsistencia en el mecanizado puede provocar que el filo de la herramienta se rompa o se desgaste muy rápido. En la figura 4.1 se puede visualizar como ingresa la herramienta a las paredes lateral de un molde con contrasalidas.



**Figura 4. 1.** Sección transversal de mecanizado de contrasalidas laterales.

Existen varias configuraciones de mecanizado de contrasalidas en diferentes geometrías, uno de los diseños que más demanda tiene es el calzado deportivo que incluye grabado en toda la pared lateral o solamente en la punta, el costo varía en lo mínimo por producción de la suela, mientras que el proceso de obtención del molde de suela es mucho más costoso, se debe destacar la utilización de softwares especializados que permitan ingresar a la herramienta en pequeños pasos de ingreso de corte o carga. Para realizar el ensayo experimental se cuenta con diferentes combinaciones entre los parámetros de corte y ángulos de incidencia de la herramienta.

En la figura 4.2 se puede visualizar el diseño de calzado con suela texturada en forma de rombo, la profundidad no es tan pronunciada, el proceso de mecanizado es el mismo.



**Figura 4. 2.** Suela de PVC modelos Victoria Deportivo Antelina.

La tendencia de texturas laterales viene desde hace algunos años atrás, principalmente en calzado deportivo, empresas multinacionales de calzado han optado por este modelo de suela para varios de sus diseños, para este tipo de producto es necesario optimizar el proceso de inyección y a la vez optimizar el desarrollo de moldes, la capacidad de producción está en función de la temporada y del diseño del calzado, ya que se puede utilizar la misma suela para diferentes diseños de capellada. En la figura 4.3 se muestra un texturado romboidal solamente en la puntera.



**Figura 4. 3.** Suela de PVC modelos Victoria Deportivo Antelina.

#### 4.1.2. Diseño CAD del molde

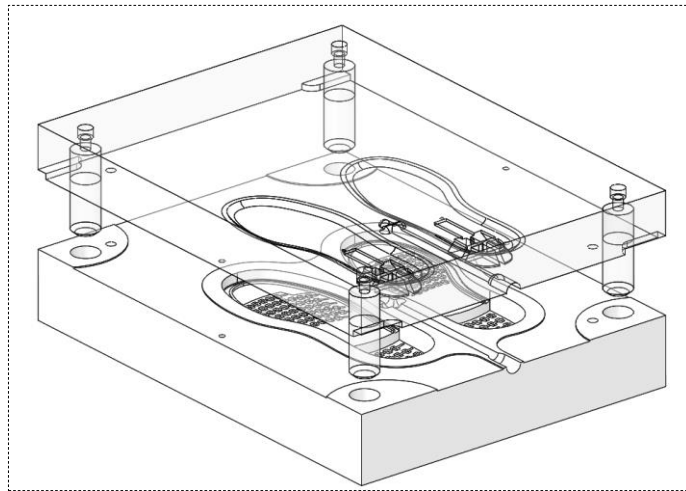
El diseño asistido por computador juega un papel importante en el proceso de manufactura de moldes de inyección, desde la implementación de los sistemas computacionales al proceso industrial se vio la forma de adaptarlos al área de matricería por el amplio número de ventajas que fueron aplicables. Desde entonces se han desarrollado softwares para cumplir ciertas necesidades del sector, como es el caso de analizar adecuadamente puntos de inyección y optimizar los cierres del molde. En la figura 4.4 se puede observar un molde de suelas de calzado y el producto que este obtiene en diferentes materiales.



**Figura 4. 4.** Molde para suela de PVC.

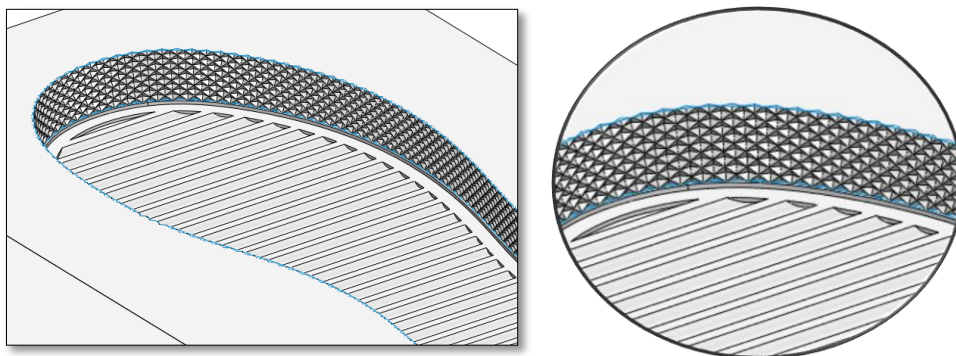
Cuando se trata de moldes de inyección de calzado se tienen aún muchas más ventajas y aplicaciones en base a procesos paramétricos y fundamentados en principios de patronaje de calzado. En base a la necesidad del mercado se debe escalar el mismo producto para diferentes medidas plantares o tallas, de igual manera sucede con los moldes, una vez que se escaló el producto, el software CAD automáticamente actualiza los núcleos y cavidades de los moldes, optimizando el proceso y dando movimiento comercial a la industria del plástico.

En la figura 4.5 se puede visualizar el diseño de un molde de inyección de PVC, todo realizado mediante herramientas CAD paramétricas. La capacidad de este tipo de software permite realizar el diseño de cualquier tipo de molde de inyección.



**Figura 4. 5.** Molde CAD para suela de PVC.

Para el diseño y manufactura CAM de moldes existen diferentes softwares, hoy en día existen herramientas que permiten crear texturas que hace años atrás eran muy difíciles de conseguir. A partir de esto se crean texturas en 3D que luego son mecanizadas con herramientas especiales. En la figura 4.6 se puede visualizar una textura creada a partir de módulos de diseño específico para calzado, unas de las desventajas de trabajar con este tipo de texturas, es que requieren mayores recursos computacional, pueden generar retrasos en la etapa de diseño y programación CAM en caso de trabajar con procesadores convencionales.



**Figura 4. 6.** Molde CAD para suela de PVC.

#### 4.1.3. Herramienta romboidal de mecanizado de contrasalida

Las herramientas para mecanizado son la clave de un proceso de calidad, influye directamente en la producción y la optimización industrial. Dependiendo del producto existen diferentes acabados superficiales en la cavidad molde, tal es el caso del proceso de inyección del Polietileno o del Polipropileno donde se necesita en muchos casos un terminado tipo espejo. Para el proceso de inyección de suelas de calzado se utiliza PVC, generalmente se lo realiza en molde de aluminio, en donde el acabado superficial no es de alta exigencia.

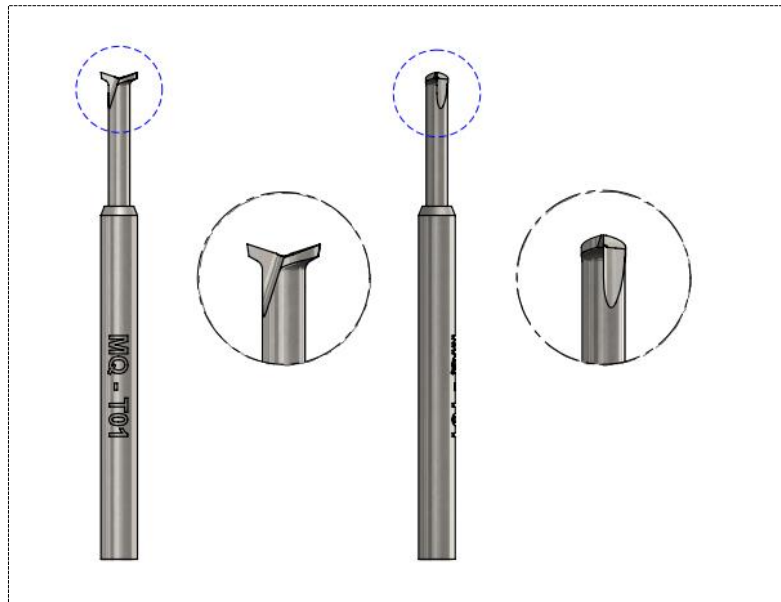
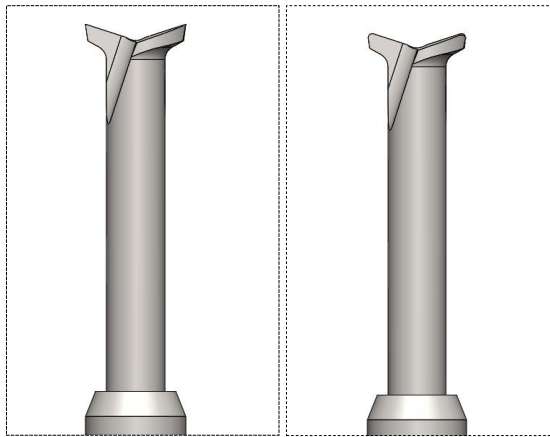


Figura 4. 7. Herramienta de mecanizado de contrasalidas.

En la figura 4.7 se muestra la herramienta de contrasalida con la que se realizó el diseño experimental, las dimensiones corresponden a un grabado lateral comúnmente utilizado en algunas aplicaciones, el éxito del grabado está relacionado de forma directa con el filo de corte, el mismo que es realizado por medio de un afilador de buriles, equipo que es utilizado para tallar diferentes filos de corte y recuperar herramientas que han sido sometidas a desgastes extremos o roturas. En el capítulo 6 de la presente investigación se detalla más a fondo el proceso de obtención del filo y las ventajas de obtener una herramienta a bajos costos y de fácil adquisición.

#### 4.1.4. Medición de durabilidad de la herramienta

Con el fin de preservar el filo de corte de la herramienta, se busca determinar los parámetros de corte adecuados. La calidad superficial de mecanizado se relaciona directamente con el filo del herramental, por esta razón es necesario medir la durabilidad de la herramienta. El método más sencillo en este caso es medir la profundidad de grabado lo que indica en qué condiciones se encuentra la cuchilla. En la figura 4.8 se puede visualizar una herramienta con el filo completo y una con el filo ya desgastado.



**Figura 4. 8.** Herramienta de mecanizado de contrasalidas.

La capacidad de una herramienta de soportar largas jornadas de trabajo y diferentes procesos de mecanizado, está determinado por varios factores, principalmente el material y filos de trabajo de la herramienta. Cuando se tienen que realizar trabajos con un grado de complejidad alto, como es el caso de contrasalidas en detalles muy pequeños y sobre curvas 3D, es importante considerar la durabilidad de la herramienta, la condición que debe cumplir, es que resista un ciclo de mecanizado completo en un molde de mecanizado lateral, y en condiciones de refrigeración normal, si con las herramientas afiladas empíricamente se puede mecanizar una cavidad, con la propuesta de nueva herramienta se pretende realizar el mecanizado de por lo menos un molde completo que es una ventaja del 100% en durabilidad, en condiciones normales de trabajo los parámetros de corte a determinarse juegan un papel importante.

#### 4.1.5. Proceso de análisis de resultados

En la figura 4.9 se puede definir el proceso de ejecución de la parte experimental, en donde es importante desarrollar un ciclo de trabajo completo, y en función de la profundidad de grabado lateral de la herramienta determinar los parámetros adecuados de corte.

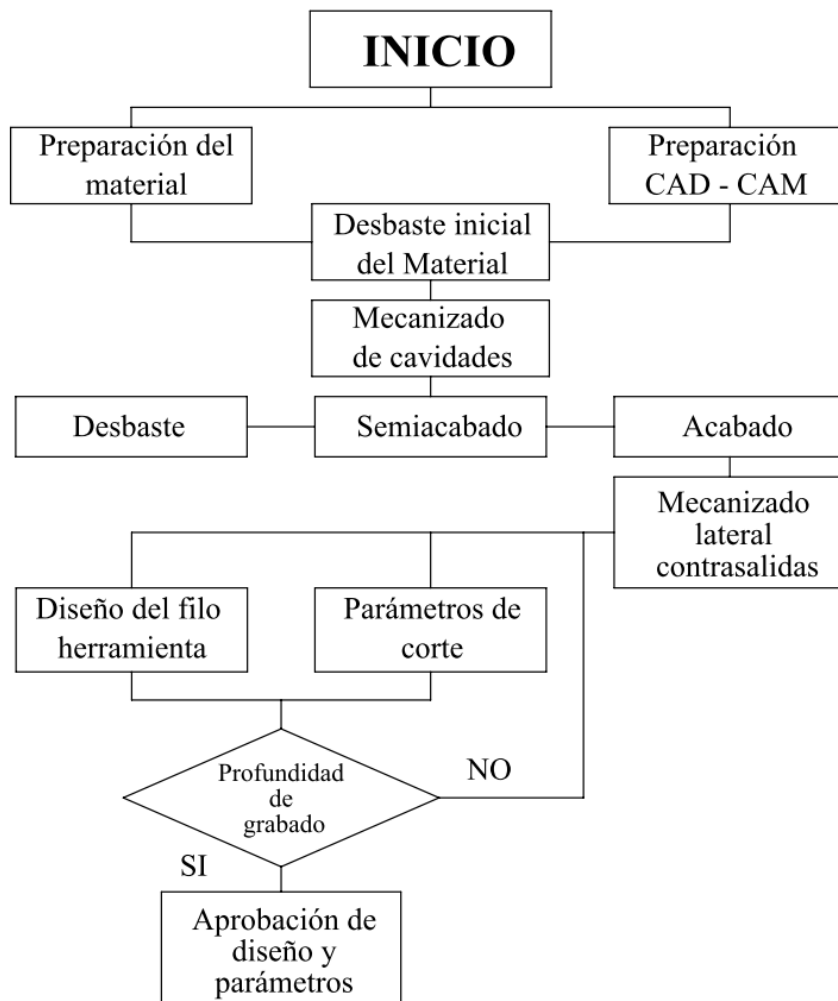


Figura 4. 9. Diagrama de procesamiento de fase experimental.

Con el fin de desarrollar un adecuado proceso experimental de mecanizado, se detalla el orden de procesos de operación, hasta dar con la aceptación o rechazo de los parámetros planteados, se debe mencionar que para esto se planteó un diseño experimental con diferentes combinaciones de trabajo.

#### 4.1.6. Designación de probetas

Con el fin de llevar un registro adecuado de las probetas a ensayar se asignó códigos para identificar las probetas según su combinación. En la tabla 4.1 se puede se muestra la codificación para el proceso experimental.

**Tabla 4. 1.** asignación de códigos para ensayo experimental.

Código	Combinación	N°. Probetas
T1	1AX	5
T2	1AY	5
T3	1BX	5
T4	1BY	5
T5	2AX	5
T6	2AY	5
T7	2BX	5
T8	2BY	5



#### 4.1.7. Características del metal base

Durante la fase experimental se toma en cuenta el material del molde, como un material re utilizado de fundición de aluminio, de propiedades mecánicas aceptables, con el fin de que cumpla requerimientos de dureza y de resistencia al desgaste. El material se lo obtiene a base fundición, y la forma del bloque mediante la utilización de un molde en forma de bloque triangular, tomando en cuenta la calidad de fundición, para evitar la aparición de poros y rechupes una vez que el aluminio ha sido colado.

La ventaja de reutilizar los moldes de aluminio tiene alta influencia en la reducción de costos de elaboración del producto, y es una manera rápida de cambiar de diseño debido al cambio constante de tendencia de diseño de calzado.



Características del ensayo y material a mecanizar

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
DATOS INFORMATIVOS MATERIAL DEL EXPERIMENTO					
<b>Dureza</b>	75 HB	<b>Autorizada por:</b>	Ing. Mauricio Carrillo	<b>Realizado por:</b>	Ing. Juan Muquinche
Lugar de realización		Mecanizados Figueroa		Fecha de ejecución	29/04/2019
ESPECIFICACIÓN DEL MATERIAL A MECANIZAR					
Especificaciones del material			Aluminio Fundido		
Tipo o grado:			Aluminio 1060		
Espesor:			30 mm		
Longitud de la probeta			500 mm x 600 mm		
Característica:			Bloque		
Material herramienta a mecanizar			HSS		
Máquina:			Centro de mecanizado FADAL		
ESPECIFICACIÓN DEL MATERIAL A MECANIZAR					
Velocidad de corte del aluminio					
<p>Indica la velocidad superficial a la que el filo mecaniza la pieza, y esta en función del diámetro de la herramienta. Según [17], recomienda una velocidad de corte de 61 m/min. para HSS, con este valor se tiene un numero de revoluciones igual a:</p> $n = 3236 \text{ rpm}$ <p>Siendo un valor muy bajo para el mecanizado con este diámetro de herramienta, sin embargo, [18] recomienda 160m/min para profundidades de mecanizados mas altos.</p> <p>Para el proceso experimental se tomo un valor promedio de 90 m/min obteniendo un numero de revoluciones igual a:</p> $n = 4775 \text{ rpm}$ <p>Utilizando este valor con el fin de preservar la herramienta y dada la experiencia de trabajar a este número de revoluciones.</p>					

#### 4.1.8. Preparación del ensayo

Para entender de mejor forma la parte de ensayos, se muestra a continuación el diseño con el que se van a llevar a cabo el proceso experimental, tomando en cuenta solamente un lado del molde, ya que en el proceso experimental se toma en cuenta que la herramienta concluya el mecanizado de una cavidad completa sin tener que hacer el cambio de herramienta. Además, en cada cavidad se asigna la codificación presente en la tabla 4.1

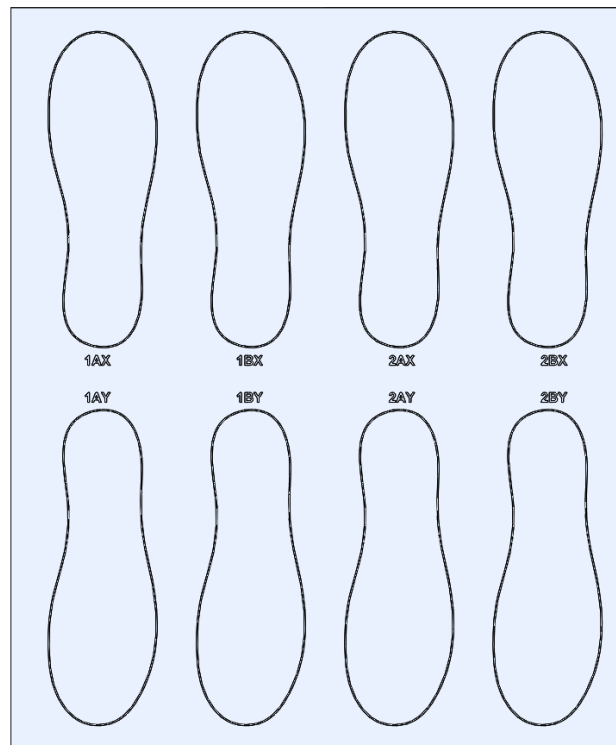


Figura 4. 10. Probetas para el procesamiento de fase experimental.

#### 4.1.9. Ejecución del ensayo

El desarrollo de los ensayos se los realizó en una empresa dedicada a la manufactura de diferentes moldes de inyección, la empresa cuenta con dos centros de mecanizado y máquinas de mecanizado convencional para la construcción de moldes. Además, cuentan con procesos de electroerosión para afinado de cavidades y equipos de afilado de herramientas.

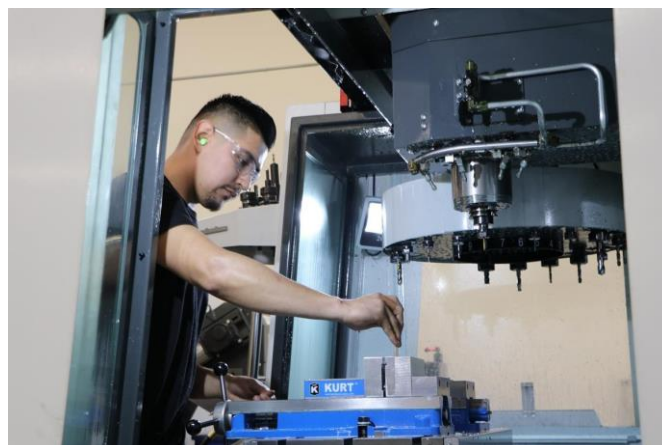
A continuación, se detalla paso a paso el proceso de mecanizado para el desarrollo experimental.

1.- Ubicación y sujeción de los bloques de aluminio en el centro de mecanizado. Las placas deben estar correctamente sujetas para evitar desplazamientos y con el fin de realizar perfilados es necesario ubicar las sujeciones por la parte inferior. En la figura 4.11 se puede visualizar como se sujetan las placas al centro de mecanizado.



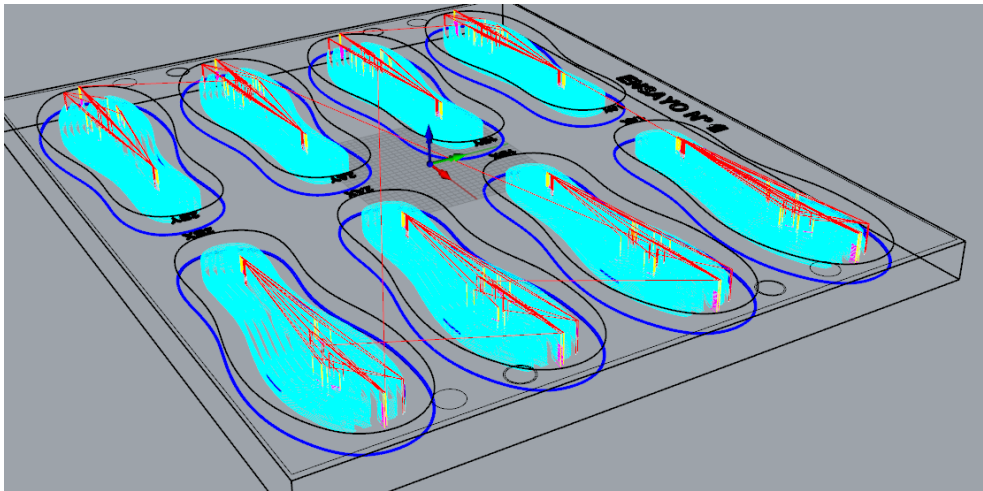
**Figura 4. 11.** Ubicación y sujeción de bloques.

2.- Montaje y referencia de herramientas (Offset). Con el fin de evitar colisiones, se ubica y compensa todas las herramientas que comprenden el proceso de mecanizado. Las características de la máquina los podemos encontrar en el Anexo A. En la figura 4.12 se puede visualizar el proceso de Offset de herramientas.



**Figura 4. 12.** Ubicación y sujeción de bloques.

3.- Con el diseño y programación CAM listos, se procede a postprocesar las trayectorias de corte con el fin de obtener los códigos alfanuméricos que serán interpretados por el controlador de la máquina CNC. Las estrategias de mecanizado para la primera etapa fueron definidas en función del elemento a mecanizar, para este caso se utilizó: mecanizado 3D, perfilado, pocket o cajera. En la Figura 4.13 se puede visualizar la etapa de programación CAM.



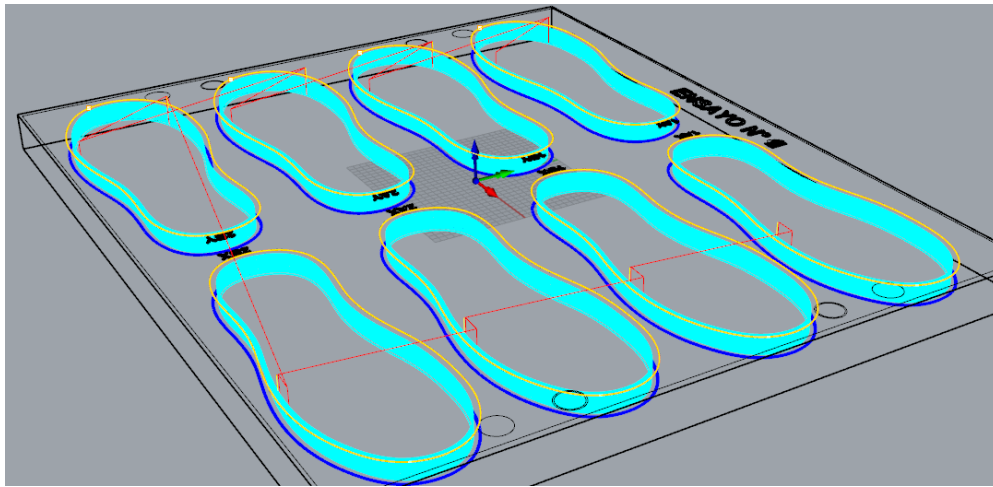
**Figura 4. 13.** Programación CAM cavidades primera etapa.

4.- Ejecución del programa CAM. Una vez que se ha postprocesado todas las estrategias de la primera etapa, estas son transferidas al control CNC para su ejecución.



**Figura 4. 14.** Mecanizado cavidades base primera etapa.

5.- Programación CAM de contrasalidas. Una vez realizado el proceso de desbaste y semiacabado se realiza el proceso de acabado lateral. Se generan estrategias que cubran las zonas de contrasalida. A partir del CAD se crean regiones que limitan el paso de la herramienta con el fin de optimizar el tiempo de mecanizado. Dentro de los parámetros CAM se debe establecer la profundidad de pasada determinada en el experimento, además de las diferentes velocidades de avance.



**Figura 4. 15.** Programación CAM segunda etapa.

6.- Mecanizado de contrasalidas. Para la etapa más importante del experimento se dispone de varias herramientas en óptimas condiciones.



**Figura 4. 16.** Mecanizado de contrasalidas segunda etapa.



El tiempo medio por cavidad mecanizada es de 4 horas, sin tomar en cuenta el proceso previo de desbaste y semiacabado, en donde aproximadamente se toma un tiempo estimado de 2 horas. Para el proceso de contrasalidas el tiempo de mecanizado depende de las velocidades de avance y profundidad de pasada por cada combinación del diseño experimental.

7.- Desmontaje de placas. Para proceder a la medición del grabado lateral en cada una de las cavidades, es necesario desmontar las placas atendiendo medidas de seguridad.



**Figura 4. 17.** Desmontaje de la placa segunda etapa.

8.- Medición de grabado lateral. Para el mencionado proceso se utilizó un método de moldeado en la cavidad, por medio de una resina que tiende a endurecerse luego de tomar la forma del perfil. En la figura 4.18 se puede apreciar la resina utilizada.



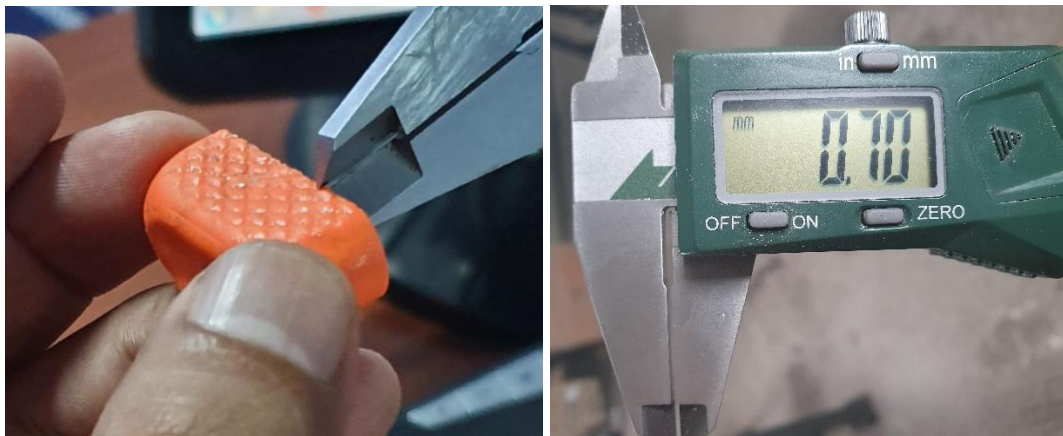
**Figura 4. 18.** Resina utilizada para copiar el grabado segunda etapa.

La mencionada resina es un compuesto plástico que al ser utilizado tiene una consistencia blanda moldeable, y luego de adquirir la forma esta tiende a endurecerse hasta el punto de tomar adecuadamente las mediciones.

9.- Medición de profundidad de las cavidades laterales. Con el fin de obtener resultados que validen el proceso experimental, se tomaron valores del grabado lateral en cada una de las diferentes combinaciones. La figura 4.19 muestra el proceso de medición con un instrumento de precisión para las 40 probetas ensayadas.



**Figura 4. 19.** Probetas de resina.



**Figura 4. 20.** Medición de profundidad en probetas.

Se puede apreciar en la figura 4.20 como el método planteado para la toma de datos ha funcionado correctamente, el objetivo es medir en cada uno de las combinaciones y determinar cuál de los parámetros de corte son los más adecuados para garantizar el filo de la herramienta como el acabado del producto final.

La medición de datos se realizó en la parte inferior de la pared lateral, que es en donde más afectación tiene el filo de la herramienta a un ciclo de trabajo de mecanizado completo de las paredes laterales.

Para el proceso de tabulación de resultados se tomaron datos a partir de las primeras cavidades codificadas, como se muestra en la figura 4.21. esto con el fin de llevar un orden adecuado de tabulación.



**Figura 4. 21.** Medición de resultados en cavidades.

10.- Resultados. A partir de los resultados obtenidos se procede hacer un análisis comparativo. Para las diferentes combinaciones se obtuvieron diferentes valores de profundidad, confirmando que tanto velocidades de trabajo como ángulos de la herramienta tienen alta influencia en la durabilidad de la herramienta. Todos los datos serán tabulados y comparados en función de la verificación de la hipótesis propuesta para el presente proyecto.



#### 4.1.10. Resultados de los ensayos

En la figura 4.22 se puede visualizar el diseño CAD de la probeta a ser mecanizada, se tienen las dimensiones principales de la placa y de la cavidad, para este proceso se tomó solamente el lado derecho de un modelo de suela de calzado.

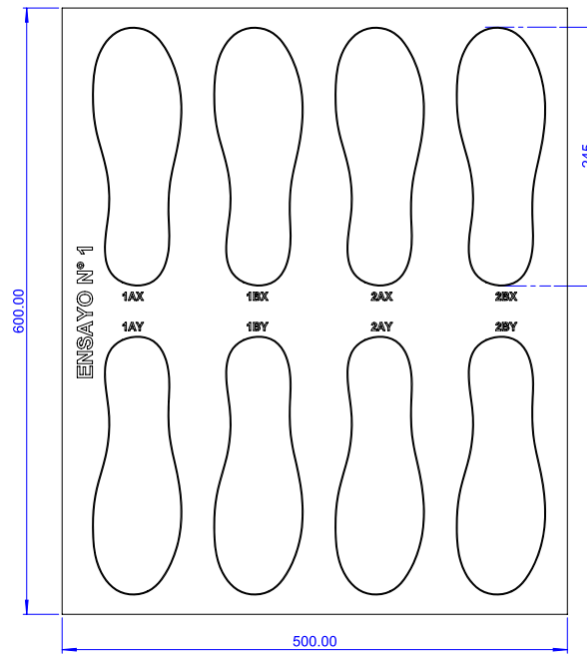


Figura 4. 22. Dimensiones placa de ensayo N°. 1.

Para tener una idea más clara de la placa mecanizada se presenta una imagen 3D presente en la figura 4.23.

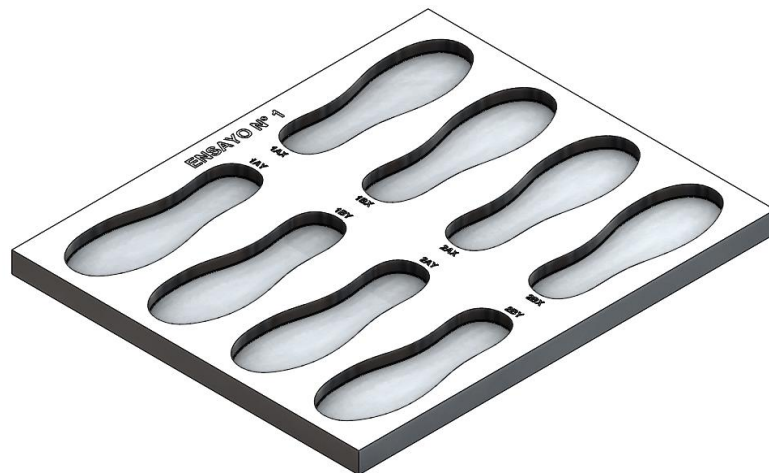


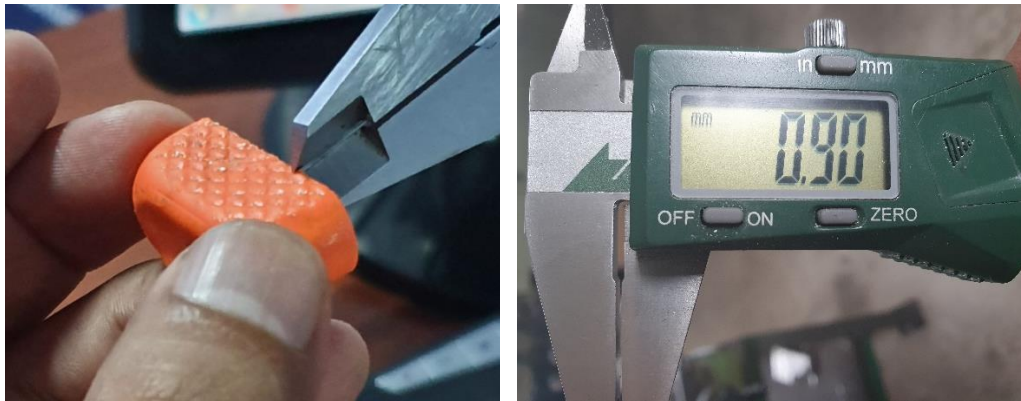
Figura 4. 23. Modelado 3D placa de ensayo N°. 1.

En la figura 4.24 se puede visualizar el proceso de grabado lateral de contrasalidas para cada una de las combinaciones. En el anexo N se ver el registro de probetas.



**Figura 4. 24.** Mecanizado CNC de placa de ensayo N°. 1.

Como proceso final se tiene el proceso de obtención de resultados en cada una de las combinaciones del experimento propuesto.



**Figura 4. 25.** Medición de profundidades de la placa experimental.

La tabla incluye el código de probeta, combinación, desgaste cualitativo de herramienta, así como el valor de profundidad. La profundidad requerida es de 1mm según el diseño propuesto, un valor aproximado a este indica un mecanizado correcto, y cuando el valor se encuentra por debajo de un 0.8 mm se puede decir que según experiencia este grabado no cumple con los requerimientos del diseño. A continuación, los datos experimentales desde la tabla 4.2 a la tabla 4.7.

Tabla 4.2. Resultados de ensayo N°1.

Código	Combinación	N° del ensayo	Causa	Consecuencia	Profundidad (mm)	Desgaste de filo de herramienta
T1	1AX	1	Desgaste mínimo de la herramienta	Profundidad lateral uniforme en todo el mecanizado	0.90	Irrelevante
T2	1AY	1	Desgaste de la herramienta antes de finalizar	Falta de profundidad lateral en la parte inferior del mecanizado	0.80	Significativo
T3	1BX	1	Fractura del filo de corte antes de finalizar	Falta de profundidad lateral, reemplazo herramienta	0.70	Significativo
T4	1BY	1	Fractura del filo de corte antes de finalizar	Falta de profundidad lateral, reemplazo herramienta	0.60	Significativo
T5	2AX	1	Desgaste mínimo de la herramienta	Profundidad uniforme en todo el lateral de mecanizado	0.95	Irrelevante
T6	2AY	1	Desgaste de la herramienta antes de finalizar	Profundidad lateral uniforme en todo el mecanizado	0.85	Medio
T7	2BX	1	Fractura del filo de corte antes de finalizar	Falta de profundidad lateral en la parte inferior del mecanizado	0.75	Significativo
T8	2BY	1	Fractura del filo de corte antes de finalizar	Falta de profundidad lateral, reemplazo herramienta	0.65	Significativo

**Tabla 4.3.** Resultados de ensayo N°2.

Código	Combinación	N° del ensayo	Causa	Consecuencia	Profundidad (mm)	Desgaste de filo de herramienta
T1	1AX	2	Desgaste mínimo de la herramienta	Profundidad lateral uniforme en todo el mecanizado	0.95	Irrelevante
T2	1AY	2	Desgaste de la herramienta antes de finalizar	Falta de profundidad lateral en la parte inferior del mecanizado	0.75	Significativo
T3	1BX	2	Fractura del filo de corte antes de finalizar	Falta de profundidad lateral, reemplazo herramienta	0.80	Significativo
T4	1BY	2	Fractura del filo de corte antes de finalizar	Falta de profundidad lateral, reemplazo herramienta	0.60	Significativo
T5	2AX	2	Desgaste mínimo de la herramienta	Profundidad uniforme en todo el lateral de mecanizado	0.95	Irrelevante
T6	2AY	2	Desgaste de la herramienta antes de finalizar	Profundidad lateral uniforme en todo el mecanizado	0.80	Significativo
T7	2BX	2	Fractura del filo de corte antes de finalizar	Falta de profundidad lateral en la parte inferior del mecanizado	0.80	Significativo
T8	2BY	2	Fractura del filo de corte antes de finalizar	Falta de profundidad lateral, reemplazo herramienta	0.60	Significativo

Elaborado por: Ing. Juan Mugquinche

Código	Combinación	N° del ensayo	Causa	Consecuencia	Profundidad (mm)	Desgaste de filo de herramienta
T1	1AX	3	Desgaste mínimo de la herramienta	Profundidad lateral uniforme en todo el mecanizado	0.85	Medio
T2	1AY	3	Desgaste de la herramienta antes de finalizar	Falta de profundidad lateral en la parte inferior del mecanizado	0.80	Medio
T3	1BX	3	Fractura del filo de corte antes de finalizar	Falta de profundidad lateral, reemplazo herramienta	0.75	Significativo
T4	1BY	3	Fractura del filo de corte antes de finalizar	Falta de profundidad lateral, reemplazo herramienta	0.65	Significativo
T5	2AX	3	Desgaste mínimo de la herramienta	Profundidad uniforme en todo el lateral de mecanizado	0.90	Irrelevante
T6	2AY	3	Desgaste de la herramienta antes de finalizar	Profundidad lateral uniforme en todo el mecanizado	0.85	Medio
T7	2BX	3	Fractura del filo de corte antes de finalizar	Falta de profundidad lateral en la parte inferior del mecanizado	0.75	Significativo
T8	2BY	3	Fractura del filo de corte antes de finalizar	Falta de profundidad lateral, reemplazo herramienta	0.60	Significativo

Tabla 4.5. Resultados de ensayo N°4.

Código	Combinación	N° del ensayo	Causa	Consecuencia	Profundidad (mm)	Desgaste de filo de herramienta
T1	1AX	4	Desgaste mínimo de la herramienta	Profundidad lateral uniforme en todo el mecanizado	0.90	Medio
T2	1AY	4	Desgaste de la herramienta antes de finalizar	Falta de profundidad lateral en la parte inferior del mecanizado	0.70	Significativo
T3	1BX	4	Fractura del filo de corte antes de finalizar	Falta de profundidad lateral, reemplazo herramienta	0.65	Significativo
T4	1BY	4	Fractura del filo de corte antes de finalizar	Falta de profundidad lateral, reemplazo herramienta	0.60	Significativo
T5	2AX	4	Desgaste mínimo de la herramienta	Profundidad uniforme en todo el lateral de mecanizado	0.95	Irrelevante
T6	2AY	4	Desgaste de la herramienta antes de finalizar	Profundidad lateral uniforme en todo el mecanizado	0.90	Medio
T7	2BX	4	Fractura del filo de corte antes de finalizar	Falta de profundidad lateral en la parte inferior del mecanizado	0.60	Significativo
T8	2BY	4	Fractura del filo de corte antes de finalizar	Falta de profundidad lateral, reemplazo herramienta	0.70	Significativo

Elaborado por: Ing. Juan Muquínche

Tabla 4.6. Resultados de ensayo N°5.

Código	Combinación	N° del ensayo	Causa	Consecuencia	Profundidad (mm)	Desgaste de filo de herramienta
T1	1AX	5	Desgaste mínimo de la herramienta	Profundidad lateral uniforme en todo el mecanizado	0.85	Medio
T2	1AY	5	Desgaste de la herramienta antes de finalizar	Falta de profundidad lateral en la parte inferior del mecanizado	0.75	Significativo
T3	1BX	5	Fractura del filo de corte antes de finalizar	Falta de profundidad lateral, reemplazo herramienta	0.70	Significativo
T4	1BY	5	Fractura del filo de corte antes de finalizar	Falta de profundidad lateral, reemplazo herramienta	0.55	Significativo
T5	2AX	5	Desgaste mínimo de la herramienta	Profundidad uniforme en todo el lateral de mecanizado	0.95	Irrelevante
T6	2AY	5	Desgaste de la herramienta antes de finalizar	Profundidad lateral uniforme en todo el mecanizado	0.80	Significativo
T7	2BX	5	Fractura del filo de corte antes de finalizar	Falta de profundidad lateral en la parte inferior del mecanizado	0.70	Significativo
T8	2BY	5	Fractura del filo de corte antes de finalizar	Falta de profundidad lateral, reemplazo herramienta	0.60	Significativo

Elaborado por: Ing. Juan Muquínche

## 4.2. Interpretación de resultados

A continuación, se muestra un resumen de todos los datos obtenidos, se realizaron 5 repeticiones para cada combinación propuesta en el ensayo. La tabla 4.7 muestra los resultados de los ensayos.

**Tabla 4. 7.** Resultados de ensayo N°5.

Profundidades (mm)					
	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 5
1AX	0.90	0.95	0.85	0.90	0.85
1AY	0.80	0.75	0.80	0.70	0.75
1BX	0.70	0.80	0.75	0.65	0.70
1BY	0.60	0.60	0.65	0.60	0.55
2AX	0.95	0.95	0.90	0.95	0.95
2AY	0.85	0.80	0.85	0.90	0.80
2BX	0.75	0.80	0.75	0.60	0.70
2BY	0.65	0.60	0.60	0.70	0.60

### 4.2.1. Vida útil de la herramienta

La vida útil de la herramienta se determina en función del tiempo de corte que puede operar la misma hasta alcanzar la plenitud de desgaste en los diferentes filos. La tabla 4.8. muestra el tiempo de mecanizado de la combinación con mejores resultados de profundidad lateral con el fin de determinar un valor promedio de trabajo en cada cavidad.

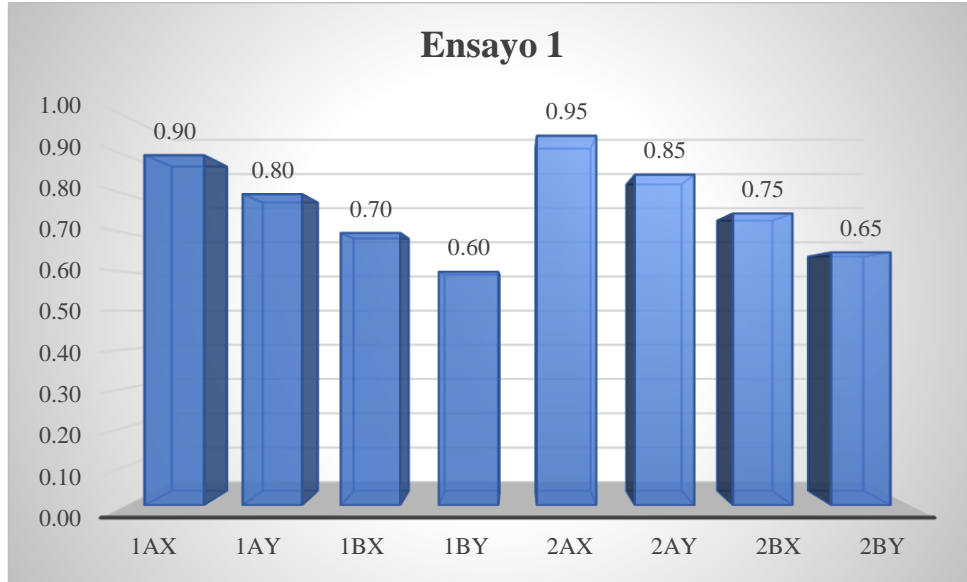
**Tabla 4. 8.** Tiempo de vida útil de la herramienta.

Tiempo de mecanizado (min)						
	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 5	Promedio
2AX	180	168	172	185	170	175

Los resultados del proceso experimental dan como resultado que la herramienta tiene una vida útil de 175 min hasta llegar a terminar por completo una cavidad entera y con un desgaste de filos irrelevante, coincidiendo en cada uno de los ensayos.

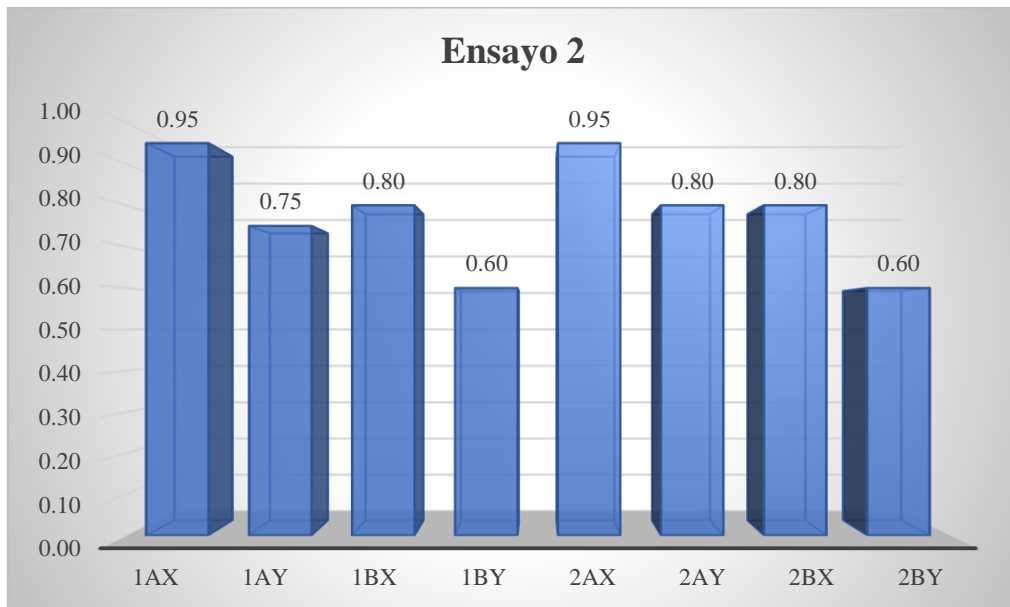


Los resultados presentes en la tabla 4.7 corresponden a todo el ensayo experimental. La figura 4.26 muestra una comparación para cada ensayo en función de cada combinación.



**Figura 4. 26.** Resultados de ensayo N°1.

La figura 4.27 muestra la comparación de valores de profundidad para el segundo ensayo y en función de la combinación de diseño experimental.



**Figura 4. 27.** Resultados de ensayo N°2.

La figura 4.28 muestra la comparación de valores de profundidad para el tercer ensayo y en función de la combinación de diseño experimental.

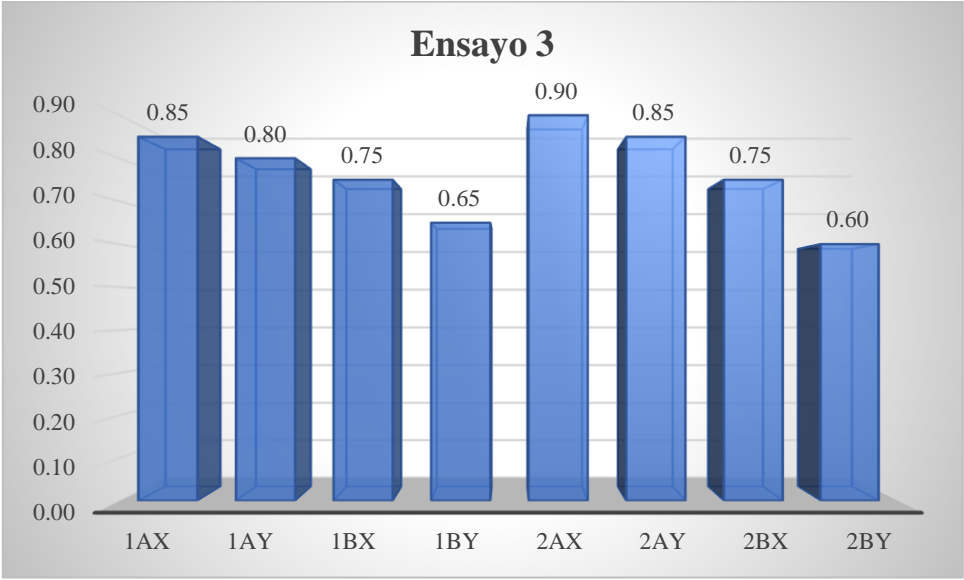


Figura 4. 28. Resultados de ensayo N°3.

La figura 4.29 muestra la comparación de valores de profundidad para el cuarto ensayo y en función de la combinación de diseño experimental.

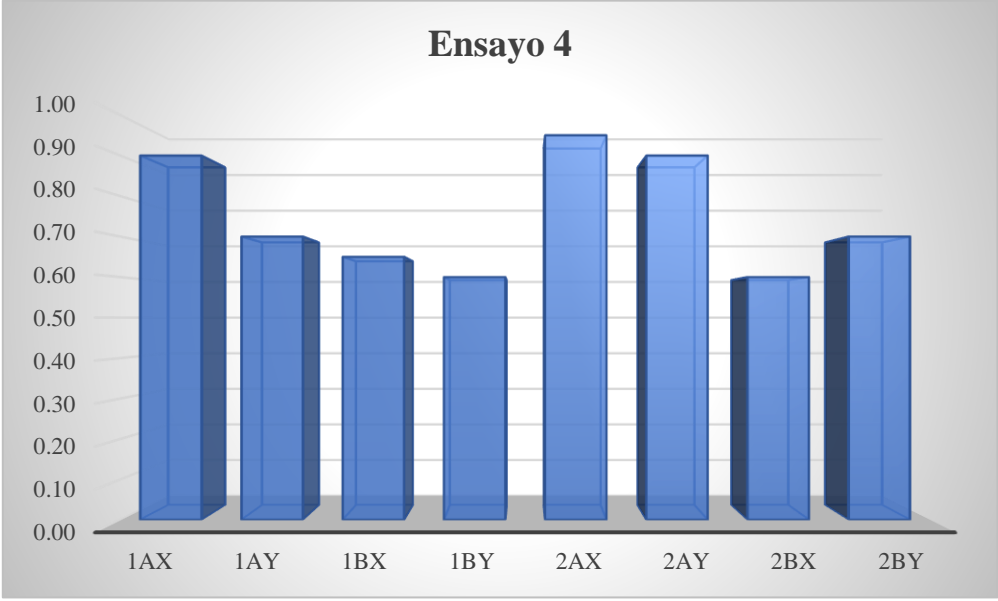


Figura 4. 29. Resultados de ensayo N°4.

La figura 4.30 muestra la comparación de valores de profundidad para el cuarto ensayo y en función de la combinación de diseño experimental.

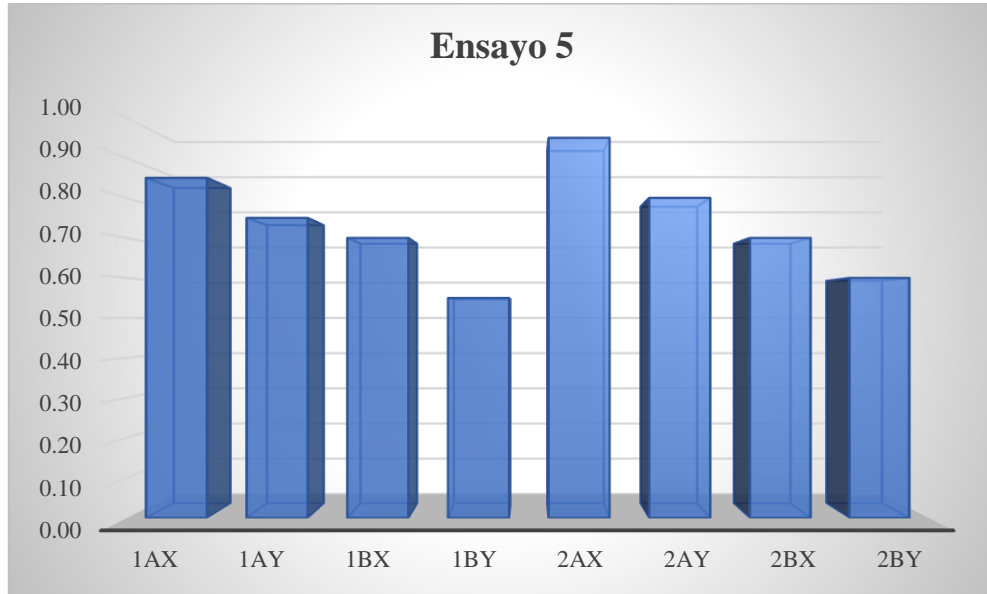


Figura 4. 30. Resultados de ensayo N°5.

### 4.3. Verificación de la hipótesis

Una vez desarrollado el proceso experimental se define mediante herramientas estadísticas si se acepta o rechaza las hipótesis planteadas, la variación de parámetros definen la durabilidad de la herramienta, en este caso se aplicó un diseño experimental factorial  $2^3$ , con el fin de evaluar las variables y que posible combinación entrega mejores resultados de profundidad de grabado lateral, todo esto ha sido desarrollado en probetas del mismo material que los utilizados en los moldes de inyección de calzado.

#### 4.3.1. Planteamiento de la hipótesis

Ha: El diseño de una herramienta de forma en HSS y la determinación de los parámetros de corte adecuados permitirá incrementar la exactitud de mecanizado de contrasalidas en moldes de suelas de calzado mediante la utilización de sistemas CAD CAM CNC

Ho: El diseño de una herramienta de forma en HSS y la determinación de los parámetros de corte adecuados no permitirá incrementar la exactitud de mecanizado de contrasalidas en moldes de suelas de calzado mediante la utilización de sistemas CAD CAM CNC

### **Nivel de significancia**

Se planteó un nivel de significancia de 5 % (0.05) para la verificación de la hipótesis presentada.

### **4.3.2. Selección de datos**

Los datos tomados para el proceso estadístico corresponden a los que fueron obtenidos del proceso experimental, se obtuvieron los datos de la manera más precisa posible, con el fin de obtener resultados reales. Se utilizó el método ANOVA y la verificación de distribución F y validación de Tukey para comparación de medias.

### **Estadístico de la prueba y nivel de significancia**

Para el presente proceso investigativo se planteó el diseño experimental factorial de  $2^k$ ,  $2^3$ , con el fin de determinar el nivel de significancia de los factores, es importante mencionar que las mediciones de profundidad están en mm.

### **4.3.3. Diseño experimental de profundidad de grabado lateral**

Para el desarrollo experimental se plantearon tres grupos de dos variables controlables, la tabla 4.9 y 4.10 muestran los niveles y total de tratamientos.

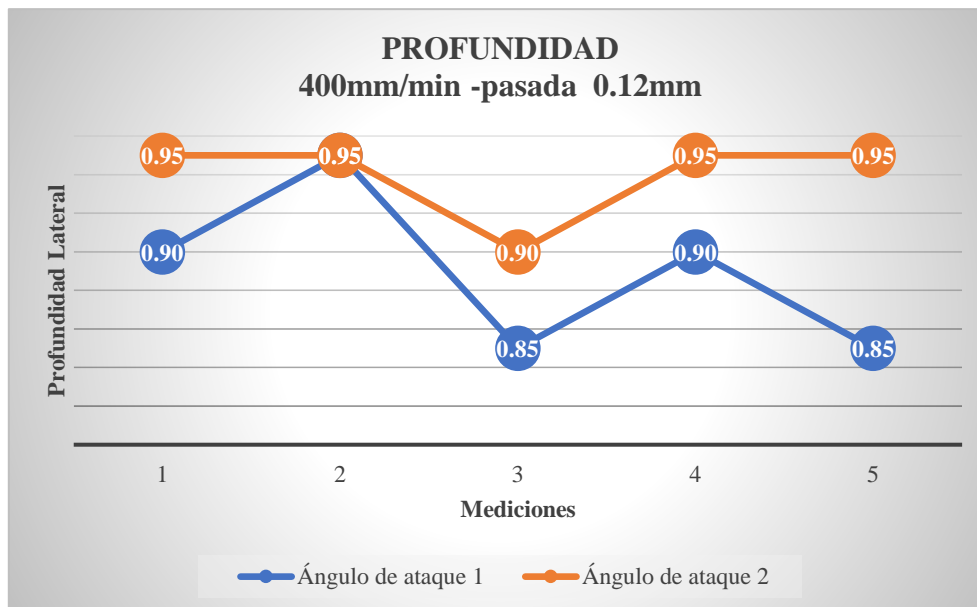
**Tabla 4. 9.** Constantes del diseño factorial.

Nivel Factor A	<b>a</b>	2
Nivel Factor B	<b>b</b>	2
Nivel Factor C	<b>c</b>	2
Numero de repeticiones	<b>r</b>	5
Total, de tratamientos	<b>N</b>	40

**Tabla 4. 10.** Valores de profundidad de grabado lateral.

Ángulo de ataque	Avance			
	(400 mm/min)		(450 mm/min)	
	Profundidad			
	X (0.12 mm)	Y (0.15mm)	X (0.12 mm)	Y (0.15mm)
1. Ángulo de ataque 3°	0.90	0.80	0.70	0.60
	0.95	0.75	0.80	0.60
	0.85	0.80	0.75	0.65
	0.90	0.70	0.65	0.60
	0.85	0.75	0.70	0.55
2. Ángulo de ataque 4.5°	0.95	0.85	0.75	0.65
	0.95	0.80	0.80	0.60
	0.90	0.85	0.75	0.60
	0.95	0.90	0.60	0.70
	0.95	0.80	0.70	0.60

La figura 4.31 muestra la comparación de valores de profundidad entre los diferentes ángulos de ataque en avance 400mm/min – 0.12 mm de profundidad de pasada.



**Figura 4. 31.** Prof. variación ángulos – 400mm/min, 0.12mm.

La figura 4.32 muestra la comparación de valores de profundidad entre los diferentes ángulos de ataque en avance 400mm/min – 0.15 mm de profundidad de pasada.

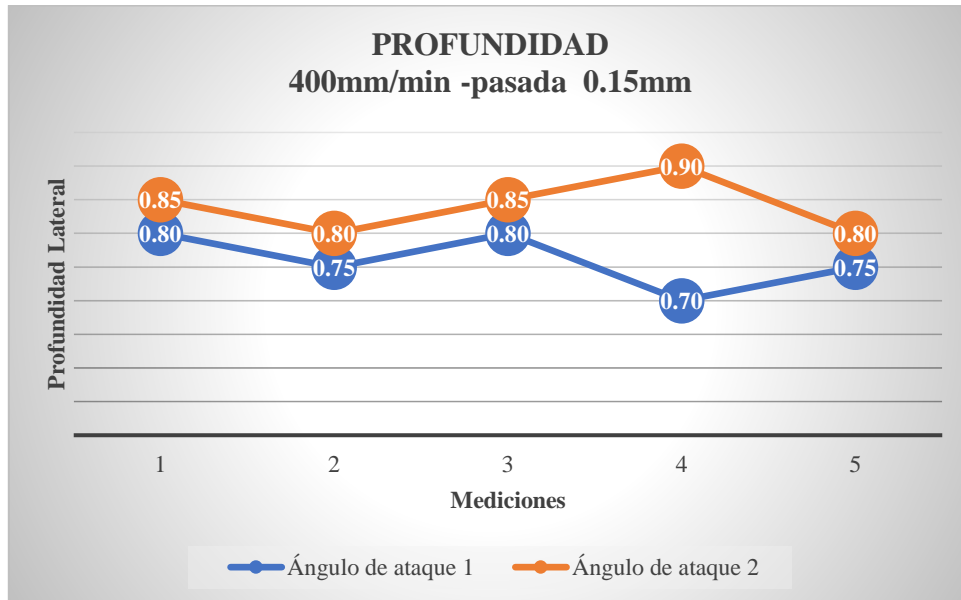


Figura 4. 32. Prof. variación ángulos – 400mm/min, 0.15mm.

La figura 4.33 muestra la comparación de valores de profundidad entre los diferentes ángulos de ataque en avance 450mm/min – 0.12 mm de profundidad de pasada.

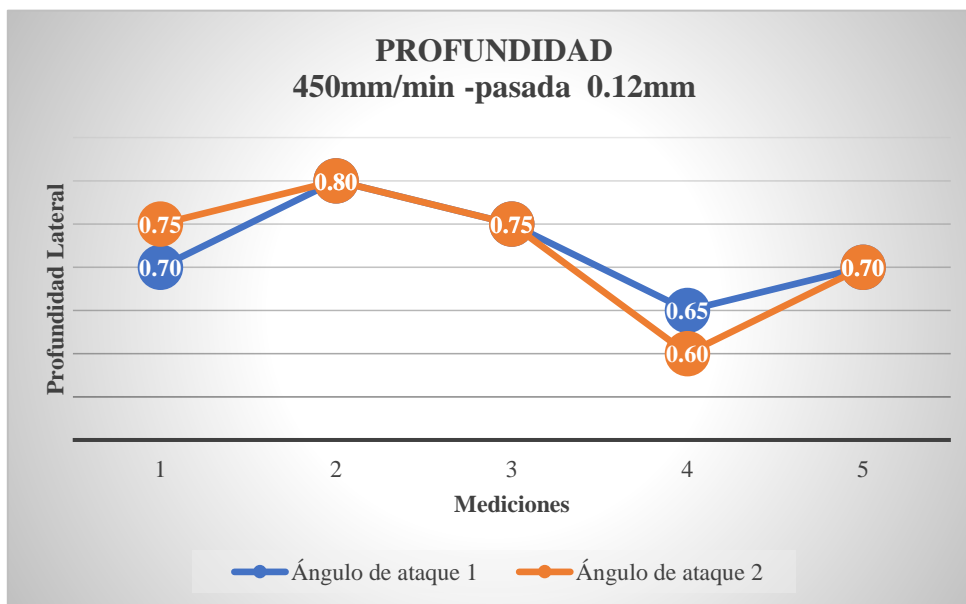


Figura 4. 33. Prof. variación ángulos – 450mm/min, 0.12mm.

La figura 4.34 muestra la comparación de valores de profundidad entre los diferentes ángulos de ataque en avance 450mm/min – 0.15 mm de profundidad de pasada.

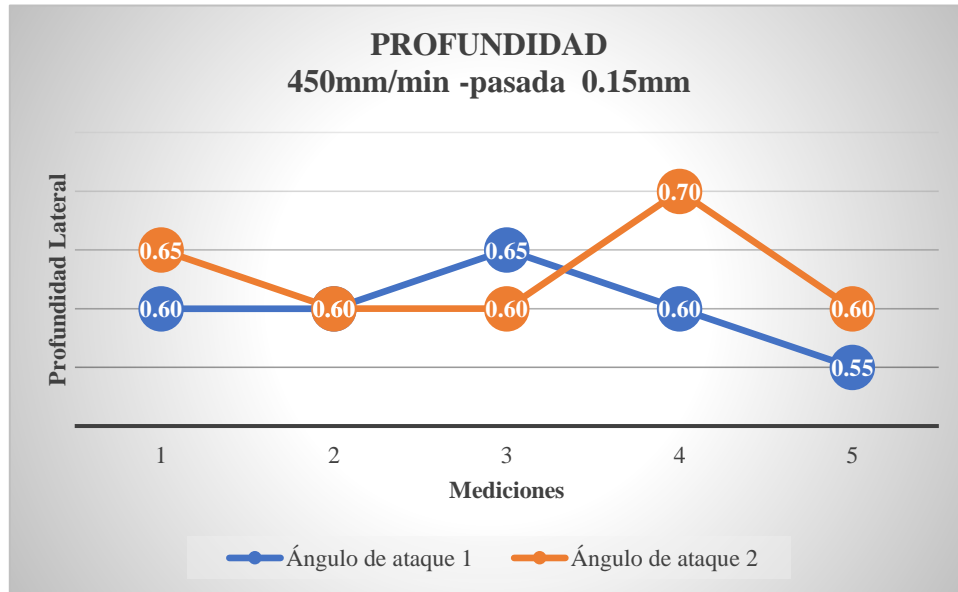


Figura 4. 34. Prof. variación ángulos – 450mm/min, 0.15mm.

La figura 4.35 muestra la comparación de valores de profundidad entre las diferentes profundidades de pasada (X-Y) en ángulo 3° – avance 400mm/min.

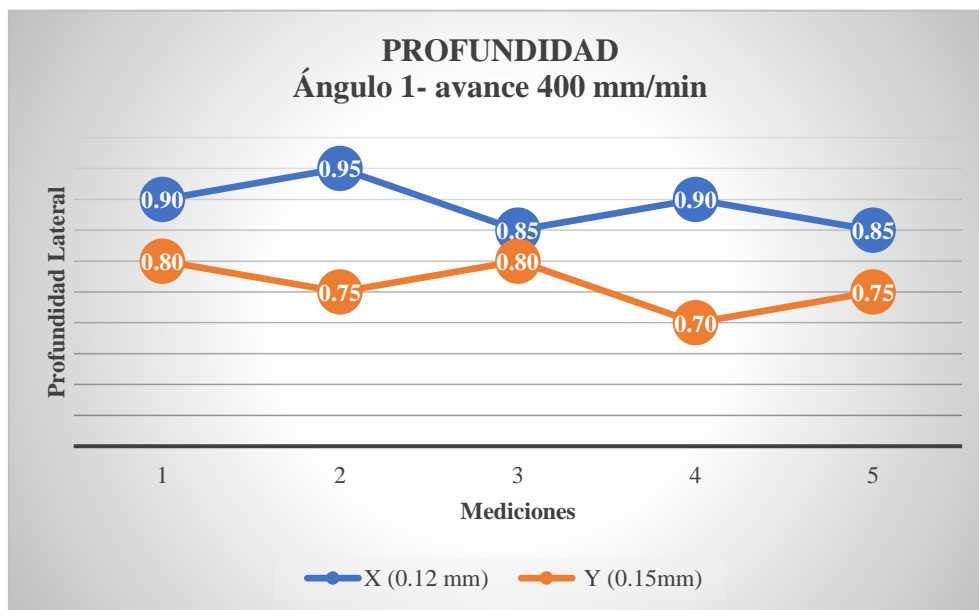


Figura 4. 35. Prof. variación (X-Y) en ángulo 3° – avance 400mm/min.

La figura 4.36 muestra la comparación de valores de profundidad entre las diferentes profundidades de pasada (X-Y) en ángulo 3° – avance 450mm/min.

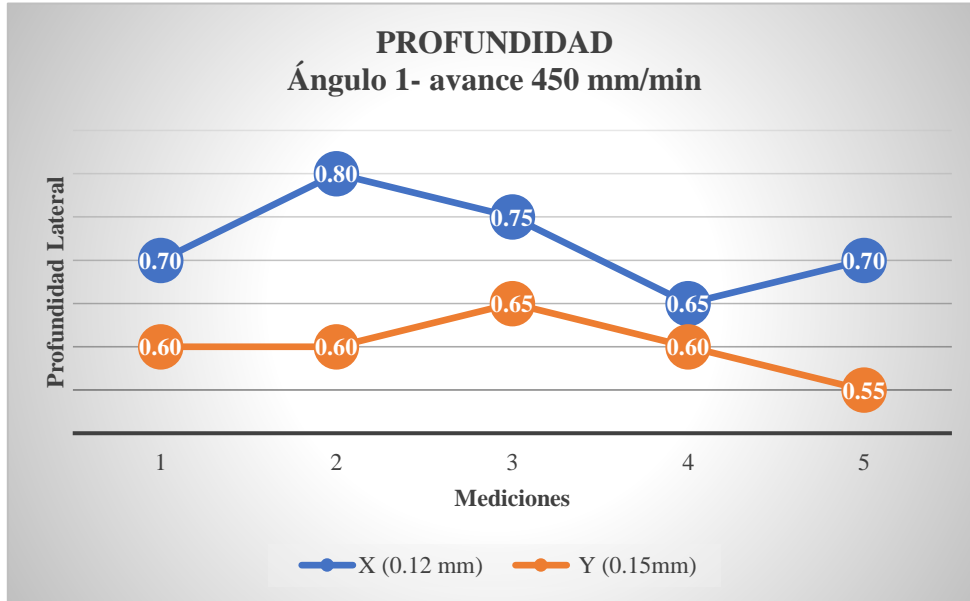


Figura 4. 36. Prof. variación (X-Y) en ángulo 3° – avance 450mm/min.

La figura 4.37 muestra la comparación de valores de profundidad entre las diferentes profundidades de pasada (X-Y) en ángulo 4.5° – avance 400mm/min.

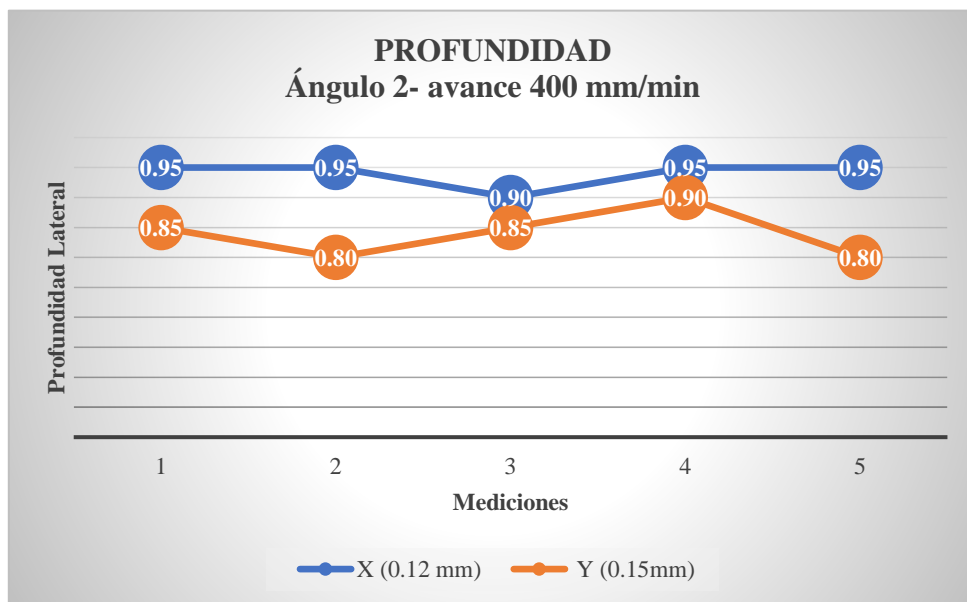


Figura 4. 37. Prof. variación (X-Y) en ángulo 4.5° – avance 400mm/min.



La figura 4.38 muestra la comparación de valores de profundidad entre las diferentes profundidades de pasada (X-Y) en ángulo 4.5° – avance 450mm/min.

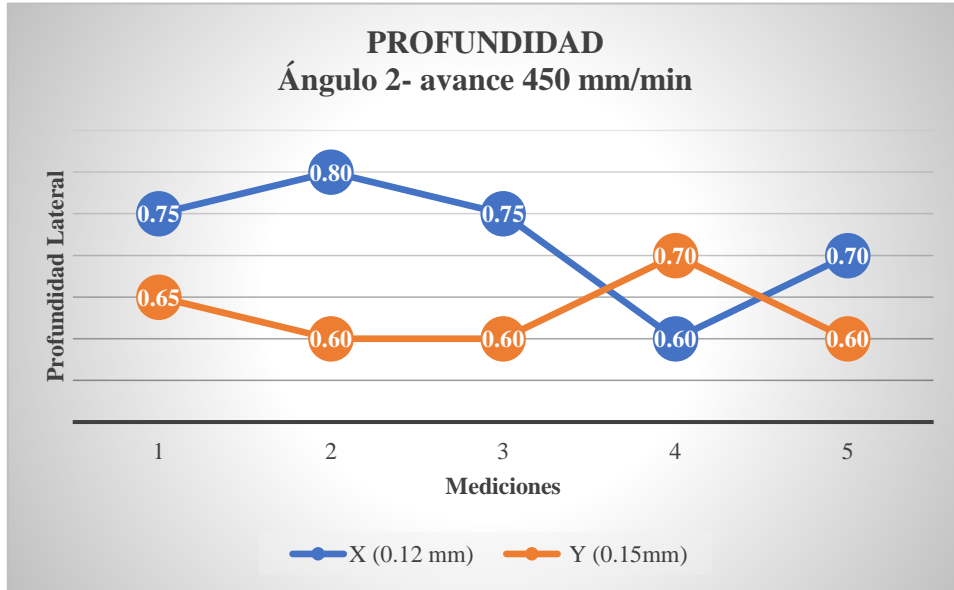


Figura 4. 38. Prof. variación (X-Y) en ángulo 4.5° – avance 450mm/min.

#### 4.3.4. Interacción combinaciones del experimento

De la tabla 4.11 a 4.14 se muestran las diferentes interacciones del experimento

Tabla 4. 11. Interacción de AxBxC de profundidad de grabado lateral.

AxBxC	Avance (400 mm/min)		Avance (450 mm/min)		TOTAL (A)
	X(0.12 mm)	Y(0.15mm)	X(0.12 mm)	Y(0.15mm)	
Ángulo de ataque 1	4.45	3.8	3.6	3	<b>14.85</b>
Ángulo de ataque 2	4.7	4.2	3.6	3.15	<b>15.65</b>

Tabla 4. 12. Interacción de AxB de profundidad de grabado lateral.

AxB	Avance (400-450) mm/min	
	X (0.12 mm)	Y (0.15mm)
Ángulo de ataque 1	8.05	6.8
Ángulo de ataque 2	8.3	7.35
<b>TOTAL (B)</b>	<b>16.35</b>	<b>14.15</b>

**Tabla 4. 13.** Interacción de AxC de profundidad de grabado lateral.

<b>AxC</b>	Avance (400 mm/min)	Avance (450 mm/min)
Ángulo de ataque 1	8.25	6.6
Ángulo de ataque 2	8.9	6.75
<b>TOTAL (C)</b>	<b>17.15</b>	<b>13.35</b>

**Tabla 4. 14.** Interacción de BxC de profundidad de grabado lateral.

<b>BxC</b>	Avance (400 mm/min)	Avance (450 mm/min)
X (0.12 mm) Ángulo de ataque 1	9.15	7.2
X (0.15 mm) Ángulo de ataque 2	8	6.15

Para la demostración de hipótesis se utilizó el método de análisis de varianza ANOVA, se basa en el enfoque en el cual el procedimiento utiliza las varianzas para determinar si las medias son diferentes. Se comparan las varianzas entre las medias de los grupos y la varianza dentro de los grupos como una manera de determinar si los grupos son todos parte de una población más grande o poblaciones separadas con características diferentes. La tabla 4.15 muestran los resultados del ANNOVA

**Tabla 4. 15.** Resultados del ANOVA para el desgaste de la herramienta.

<b>Fuente de Variación</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Cuadrado medio</b>	<b>Fo Calculado</b>	<b>F Tabla</b>
SC. Tratamiento A	0.016	1	0.016	7.111	4.149
SC. Tratamiento B	0.121	1	0.121	53.778	4.149
SC. Tratamiento C	0.361	1	0.361	160.444	4.149
SC (AB)	0.00225	1	0.00225	1.000	4.149
SC(AC)	0.00625	1	0.00625	2.778	4.149
SC(BC)	0.00025	1	0.00025	0.111	4.149
SC(ABC)	-7.11E-15	1	-7.10E-15	0.000	4.149
SCR (Error)	0.072	32	0.00225		
Total	0.57875	39	0.015		

En la Tabla 4.15 se muestra la lectura de F Tabla (Anexo K), para un nivel de significancia 5% y 1:32 es igual a 4.149 siendo el mismo para todos los casos de la fuente de variación.

#### 4.3.5. Decisión estadística de aceptar o rechazar la hipótesis de nulidad

Realizando los contrastes al nivel de significancia del 5% se concluye que para la profundidad de grabado lateral en el molde y según la Tabla 4.15, son significativos los factores A, B y C debido a que  $F_o$  es mayor al F de tablas, pero no son significativos los factores de todas las interacciones, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna.

De esta forma queda validada la parte estadística del proyecto, en donde la primera consideración a priori hacía referencia al impacto positivo del nuevo diseño y parámetros de corte.

#### 4.3.6. Test de Tukey para profundidad de grabado lateral

Se realizó el test de Tukey para determinar que factor es el más significativo de profundidad grabada en la probeta experimental de aluminio. La tabla 4.16 y 4.17 muestran los resultados de Tukey

**Tabla 4. 16.** Cálculo de las medias del desgaste de la herramienta.

Tipo de filo de herramienta	400 mm/min		450 mm/min	
	0.12 mm	0.15 mm	0.12 mm	0.15 mm
Ángulo 1	0.89	0.76	0.72	0.60
Ángulo 2	0.94	0.84	0.72	0.63

**Tabla 4. 17.** Test de Tukey del desgaste de la herramienta.

<b>q (0.05,2,32)</b>	2.88			
<b>Tukey</b>	0.027			
Tipo de filo de herramienta	400 mm/min		450 mm/min	
	0.12 mm	0.15 mm	0.12 mm	0.15 mm

**Tabla 4.17.** Test de Tukey del desgaste de la herramienta. (continuación)

$ X_1 - X_2 $	0.05	0.08	0	0.03
Diferencia entre las medias del tipo de ángulo	$0.05 > 0.027$	$0.08 > 0.027$	$0 < 0.027$	$0.03 > 0.027$

En la tabla 4.17, se puede observar que la mayoría de los factores son significativos en la profundidad de grabado lateral, debido a que  $T$  teórico es menor al valor de la diferencia de las medias y que la profundidad de grabado para el ángulo de incidencia  $4.5^\circ$  es mayor en el rango de 400mm/min y 450 mm/min con una profundidad de pasada de 0.12 mm, se puede apreciar también que se tiene la menor profundidad de grabado al utilizar el ángulo de  $3^\circ$  a un avance de 450 mm/min y con una profundidad de pasada de 0.15 mm.

## CAPÍTULO V

### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

Mediante el análisis experimental se determinó que la variación del ángulo de ataque en el filo de la herramienta influye directamente en la profundidad de grabado de contrasalida y por consecuencia en la calidad del producto final, es decir en la suela inyectada. Es importante mencionar que una de las conclusiones más relevantes del proyecto de investigación es documentar y por medio de un manual de procedimientos detallar paso a paso la obtención del filo de herramienta en los diferentes accesorios del afilador de buriles. Cada parámetro de afilado debe ser realizado según lo especificado para garantizar los mismos resultados que se obtuvieron en el presente estudio.

En el mercado existe gran variedad de diseños de suelas que incluyen contrasalidas, principalmente calzado deportivo, convencionalmente este tipo de trabajo se lo ha venido realizando por medio de procesos de manufactura más avanzados o procesos denominados de microfundición. Para muchos modelos de suela de tendencia juvenil se ha venido realizando mecanizado de contrasalida de forma romboidal, tendencia que no ha pasado de moda en los últimos años. En la variedad de este tipo de suela se puede apreciar que el grabado está presente en toda la cara lateral de la suela y en ocasiones solamente en la punta de la misma, esto depende del modelo que se quiera realizar. Mediante el análisis presentado se concluye que el proceso experimental se realizó en un diseño donde el grabado romboidal lateral se encuentra en toda la cara lateral, siendo este diseño el más crítico a mecanizar y obteniendo los resultados esperados.

Durante el proceso de cualquier tipo de mecanizado ya sea por métodos tradicionales o automatizados (CNC), es importante determinar valores de velocidades de avance y profundidades de pasada de la herramienta, con el fin de extender la vida útil de la herramienta. Existen tablas con valores recomendados de avances para diferentes

procesos de desbastes y acabados que están en función del diámetro de la herramienta, este tipo de información en muchos de los casos no se acomodan a la realidad del mecanizado en donde influyen muchos factores adicionales como son: refrigerantes, porcentajes de traslape, profundidad de pasada en función del avance y tipo de material de la herramienta. En el presente estudio se determinó los valores específicos para el mecanizado de contrasalidas en aluminio con una herramienta romboidal en el caso más crítico, en donde el grabado está en toda la cara lateral.

El material de la herramienta juega un papel determinante en el proceso de mecanizado, ya que inicialmente los trabajos de mecanizado de contrasalidas en moldes de aluminio se los realizaban con herramientas a base de carburo de tungsteno, notando ciertos inconvenientes al momento de trabajar en avances de corte, la herramienta al ser muy tenaz y resistente al desgaste tiende a ser muy frágil, incrementando el riesgo de rotura con valores muy altos de corte, por tal razón se optó para este tipo de mecanizado trabajar con herramientas HSS, que tienen una resistencia al desgaste menor al Carburo de tungsteno pero una flexibilidad más elevada, incrementando de esta manera los valores de corte lateral.

Se concluye, además, que mediante el proceso de investigación y gracias a la propuesta presentada los costos de construcción de este tipo de moldes bajarán en un 19%, después de analizar el proceso antes y después de la implementación de la herramienta. El trabajar en un proceso de contrasalidas para mecanizado romboidal incurre en tiempos elevados de trabajo para empresas de este sector. En muchas ocasiones es necesario proceder a un segundo proceso luego del mecanizado por CNC ya que el grabado no queda completamente definido. Uno de los objetivos del estudio fue garantizar la profundidad de grabado lateral del molde y mediante todo el proceso se ha podido presentar resultados que indican que la herramienta diseñada trabaja y garantiza que el mecanizado cumple con valores de grabado esperados. Durante el proceso investigativo se vio el interés de varias empresas involucradas en este tipo de proceso y la aplicación en el molde final que fue presentado al final de este proceso de investigación.

## 5.2. Recomendaciones

El proceso de mecanizado de contrasalidas ha evolucionado en los últimos años de tal forma que existen diferentes diseños comerciales, esto con el fin de dar realce al diseño de la suela, es importante que a partir del análisis de filo de la herramienta para mecanizado romboidal que se realizó en esta investigación, se vea la factibilidad de realizar el mismo procedimiento para otras geometrías de tallado, en aplicación el uso de herramientas de mecanizado romboidal son las más utilizadas pero para ciertos trabajos específicos sería importante tomar en cuenta la recomendación mencionada.

Para el proceso de forma de la herramienta es importante que se siga a cabalidad el manual de procedimiento detallado en la propuesta de investigación, cualquier variación de los ángulos del afilador de buriles, incurre en la geometría final de la herramienta, y más aún en los ángulos de incidencia que afectan directamente el acabado superficial del mecanizado. Para el tallado de la herramienta hay que tomar en cuenta trabajar con piedras abrasivas adecuadas, para desbaste y acabado, con el fin de dar un mejor acabado al filo principal del buril.

Durante el proceso de mecanizado es importante contar con refrigerante adecuado, la falta del mismo puede provocar el recalentamiento de la herramienta y el desahogo inadecuado de la viruta que se adhiere a los filos de corte y produce roturas en el vástago, dejando inservible la herramienta. Durante la refrigeración se puede trabajar bajo dos principios: el método de inundación que consiste en llenar la cavidad de refrigerante hasta que termine la estrategia de mecanizado, o trabajar con el sistema de refrigeración de mangueras, las mismas que mediante una bomba hidráulica irrigan de refrigerante al punto exacto de mecanizado.

Para reducción de costos en la producción de moldes de suelas se recomienda el reciclaje de los moldes una vez terminada la producción de ese diseño. El proceso de reutilización tiende a ser muy sencillo, el molde ya utilizado se lo segmenta y se lo funde en un proceso metalúrgico que involucra un correcto método de fusión y

temperatura de colada, además de componentes que evitan que se produzcan poros en los nuevos bloques fundidos. De acuerdo al nivel de producción, para evitar el desgaste se procura más dureza en los bloques agregando porcentajes de cobre, con el riesgo de incrementar poros.

Para el proceso final en donde se involucra la inyección en PVC dentro del molde, se deben considerar factores que garanticen un llenado adecuado en las cavidades principales y en las cavidades de detalle como son las de contrasalidas, el molde y el mecanizado puede estar en óptimas condiciones, pero si el proceso de inyección es deficiente, no se llenará adecuadamente el molde y ocurrirán defectos en la calidad superficial. Como recomendación es importante ajustar los parámetros de inyección y mediante la programación de la inyectora tener una referencia de parámetros establecidos.

Como recomendación final, es importante destacar el diseño final del molde, un inadecuado cierre produce que el material fugue por los costados, se debe destacar la ubicación de ahorradores en las suelas, que evitan utilizar demasiado material en la suela, además de diseñar mediante simuladores de llenado, los puntos de inyección, mismos que garantizan que el molde se llenó o no, para ciertos diseños se recomienda poner hasta dos puntos de inyección, además que para nuevos diseños los puntos de inyección son de tipo submarino y se puede intercambiar la huella del molde con el fin de ahorrar material y optimizar el tiempo de mecanizado de partes complementarias necesarias.



## CAPÍTULO VI

### 6. PROPUESTA

#### 6.1. Datos informativos

La utilización de nuevas tecnologías en procesos de manufactura, han revolucionado el proceso de fabricación de moldes de inyección, la precisión, rapidez y flexibilidad de poder mecanizar superficies complejas, son varias ventajas que se adaptan de forma efectiva a una producción que demanda diseños orgánicos y de exigentes tendencias comerciales.

Hace unos pocos años atrás parecía imposible mecanizar contrasalidas con flexibilidad de seguir curvas e incluso poder ingresar con profundidad variable de corte radial, todo esto en centros de mecanizado de tres ejes (x, y, z). Hoy en día contamos con software que integran CAD y CAM en una misma interfaz, facilitando el trabajo de mecanizado y adaptándose a geométricas complejas, además, se puede destacar el proceso de simulación de trayectorias de corte, en donde es posible verificar posibles colisiones por condiciones geométricas o por sobrecarga de desbaste.

El empleo de nuevos materiales ha facilitado en gran manera el desarrollo de nuevos productos y aplicaciones industriales. Para el presente proyecto investigativo se tomó en consideración el Acero Rápido o (HSS) debido a sus propiedades mecánicas. La facilidad de resistir al desgaste, altas temperaturas y su módulo elástico, mismas que permiten que la herramienta pueda adaptarse a zonas que con otras herramientas como el carburo de tungsteno no se podrían trabajar, por ser muy frágiles. La referencia de filos de herramienta está normalizada bajo recomendaciones de fabricantes y proyectos investigativos relacionados.

Mediante el presente proyecto investigativo y propuesta se pretende patentar el diseño de herramienta obtenido.

## **6.2. Antecedentes de la propuesta**

La innovación tecnológica, se traduce en aprovechamiento de recursos y el mejoramiento continuo de los productos, la tendencia comercial cambia a razón de tener una producción limitada de ciertos diseños. El tener ajustes de producción y mantener sistemas flexibles de trabajo, hacen que se desarrollen nuevos métodos y procesos de manufactura acordes a requerimientos de departamentos creativos cada vez más exigentes

Por tal razón se ha visto desde hace tiempo atrás como el personal encargado de mecanizados ha desarrollado métodos, mecanismos o herramientas que ayudan a satisfacer sistemas de producción, o en este caso crear herramientas que puedan realizar mecanizados no convencionales o de formas aún más complejas a las que comúnmente se desarrollaron en el pasado.

## **6.3. Justificación de la propuesta**

El sector industrial dedicado a mecanizado de moldes de inyección para calzado es el principal beneficiario de la implementación de nuevas propuestas, en este caso herramientas para mecanizado de contrasalidas, en donde se puede destacar la reducción de costos en operación y refacción de moldes por falta de profundidad del entalle lateral.

El preparar la herramienta convencional para el proceso de mecanizado, requiere una etapa de planificación y un alto grado de pericia por parte del operario para definir la geometría de la herramienta y ángulos de corte, el problema surge al momento en el que el filo empírico llega a desgastarse antes de terminar un ciclo completo de trabajo y es necesario un cambio de herramienta. Debido a la dificultad de poder recrear la geometría de filo anterior para poder continuar en donde se quedó la herramienta anterior, se ve la necesidad de contar con herramientas de filo uniforme y con la capacidad de resistir ciclos más prolongados de trabajo.

Cuando el filo ha sufrido desgaste prematuro y se utiliza una nueva herramienta, en muchas ocasiones va generando nuevas líneas de corte y se produce un desfase en el acabado final, otro inconveniente adicional es que hay que modificar la programación CAM para que continúe en la profundidad en donde se quedó la herramienta anterior, el software reorganiza la estrategia de corte y al no tener un dato certero de profundidad, el filo colisiona y sufre un deterioro total.

Resulta más complicado aún es cuando se tiene que retirar el molde para poder continuar con otros trabajos de mecanizado, una vez que se ha perdido el cero pieza, es casi imposible retomar la trayectoria de corte, y en ese caso se debe terminar el entalle de forma manual, con un punzón que tiene la forma del rombo y un martillo.

## **6.4. Objetivos**

### **6.4.1. Objetivo general**

Diseñar una herramienta de mecanizado en HSS de contrasalida y forma triangular para mecanizado de moldes de calzado, mediante un estudio de diferentes ángulos de corte en un proceso experimental, con el fin de determinar filos de corte adecuados y parámetros de corte que garanticen una prolongación de la vida útil de la herramienta.

### **6.4.2. Objetivo específico**

Elaborar una guía de procedimientos para la elaboración de la herramienta de mecanizado de contrasalidas romboidales, en base a los principales ángulos de corte estudiados y mediante un afilador de buriles universal.

Evaluar el impacto económico de la elaboración de la herramienta de mecanizado mediante la utilización de afilador de buriles, en comparación con una herramienta elaboradora en una empresa especializada.

Orientar sobre los procesos de obtención y registro de propiedad industrial, patentes y regalías para el diseño propuesto de la herramienta de mecanizado de contrasalidas romboidal.

### **6.5. Análisis de factibilidad**

Existen diferentes limitantes al momento de proponer y presentar alternativas de mecanizado en contrasalidas, uno de los principales se basa en contar con herramientas adecuados, según la necesidad del diseño a mecanizar. Una vez realizado el análisis del problema y con las propuestas de herramientas diseñados, se procede a fabricar la herramienta, con la ayuda de operarios experimentados y mediante planos de la misma, con el fin de evaluar costos. Es importante mencionar que los operarios encargados de elaboración de las herramientas manejan diferentes técnicas de afilado, calidad de filos y seguimiento de trabajo de los herramientas.

Por lo que podemos concluir en el análisis de factibilidad que contamos recursos tecnológicos, metodología experimental, maquinaria CNC etc., necesarios para cumplir un proceso investigativo que beneficia a un sector productivo que genera alto impacto comercial. La implementación de este tipo de proyectos, garantizan desde un nivel micro la optimización de recursos y poder crear diseños que generar alta competitividad en el mercado nacional e internacional.

### **6.6. Fundamentación**

El presente proyecto investigativo se fundamenta en principios de diseño mecánico, análisis dimensional mediante software de diseño CAD (Computer Aided Design), utilizado para diferentes etapas del proyecto debido a sus prestaciones en el desarrollo de proyectos de ingeniería. La parte CAD en la elaboración de moldes es utilizada desde el diseño conceptual del producto, creación de cavidades, ensamble completo del molde, obtención de planos de construcción y preparación para el análisis CAE. Además, se complementa con el CAM (Computer Aided Manufacturing), en donde se

puede verificar las trayectorias de corte y contemplar posibles fallos de sobrecarga o colisión de las herramientas.

El MEF (Método de Elementos Finitos) se utilizó para definir la forma y número de filos de corte en la herramienta, mediante la asignación de una carga, y la asignación de las propiedades mecánicas del HSS al estudio para tener datos más precisos.

La parte experimental se fundamenta en la variación de parámetros de corte, mismos que determinan la calidad de mecanizado lateral, todo esto con instrumentos de medición y bajo procedimientos establecidos que garanticen resultados fehacientes al proyecto de investigación. El proveer datos que determinen criterios de aceptación y rechazo para diferentes configuraciones de filos de corte, es el objetivo de llevar a cabo un proceso experimental. La utilización de geometrías recomendadas en la norma y catálogos, son la base para el desarrollo de la propuesta presentada.

## **6.7. Metodología**

### **6.7.1. Diseño de la herramienta**

Para el diseño de la herramienta se toma en cuenta los diferentes ángulos que comprenden los filos de fresado, con el fin de obtener los mejores resultados de mecanizado se diseña la punta de corte en referencia a geometrías estandarizadas de ángulos y dimensiones. Además, uno de los factores de alta relevancia es el material con el que se va a construir la herramienta de corte, entre los más utilizados podemos mencionar el HSS y el carburo de tungsteno. Según los requerimientos de trabajo y bajo ciertos antecedentes de mecanizado de contrasalidas, se ha tenido mejores resultados con el HSS, el mismo que ha entregado buenos resultados. Por otra parte, el carburo de tungsteno al ser un material más resistente al desgaste tiene como desventaja un alto riesgo de rotura por tenacidad, para este caso se necesitan longitudes largas del vástago por lo que la mejor opción presente es el HSS por su mejor flexibilidad frente al carburo de tungsteno.

### **6.7.2. ISO 13399 para diseño de herramientas**

ISO 13399 es una norma internacional sobre la información de las herramientas de corte. Cada herramienta de corte viene definida por una serie de parámetros estandarizados según la norma ISO 13399. El estándar ofrece información sobre la herramienta de corte en un formato neutro que es independiente de cualquier sistema individual o nomenclatura de una empresa concreta. Si contamos con herramientas que estén claramente definidas según un estándar, de modo que cualquier software pueda procesar la información, la calidad de la comunicación mejora y el intercambio electrónico de datos entre sistemas se desarrolla sin complicaciones. El proceso de recopilación de datos será más eficaz y de mejor calidad. En última instancia, este estándar ayuda a ahorrar tiempo y proporciona una garantía adicional de calidad. Un idioma común es algo muy valioso desde el punto de vista de la comunicación entre sistemas, pero también facilitará el día a día a los usuarios. Una vez que disponga de un sistema compatible con ISO 13399, no tendrá que interpretar de forma manual los datos procedentes de catálogos en papel e introducirlos posteriormente a mano en su sistema. [19]

### **6.7.3. Ángulos de la herramienta de corte según ISO 13399**

Según el tipo de herramienta que se va a utilizar existen diferentes ángulos de fresado, dentro de los cuales destacan: el ángulo de incidencia, ángulo de ataque y ángulos de corte. Con el fin de obtener los mejores resultados del diseño de herramienta se analiza la dificultad de obtener los tres ángulos mencionados en el afilador de buriles. Un diseño inadecuado crea inconsistencias en los ángulos de corte y por ende un deterioro acelerado de la herramienta.

A continuación, se detallan cada uno de los ángulos presentes en el diseño de la herramienta propuesta.

### 6.7.3.1. Ángulo de corte

Determina la facilidad de penetración de la herramienta en el material, la mayoría de herramientas de corte, ya sean para torneado o fresado utilizan el mencionado ángulo en función del trabajo a realizar. Es importante destacar que la geometría de la herramienta para este caso en particular debe entrar la cavidad romboidal, los ángulos de  $8^\circ$  y  $18^\circ$  son aquellos que están diseñados con el fin de que ingresen totalmente en la cavidad, sin dejar un filo demasiado pronunciado que provoque una rotura prematura de la misma.

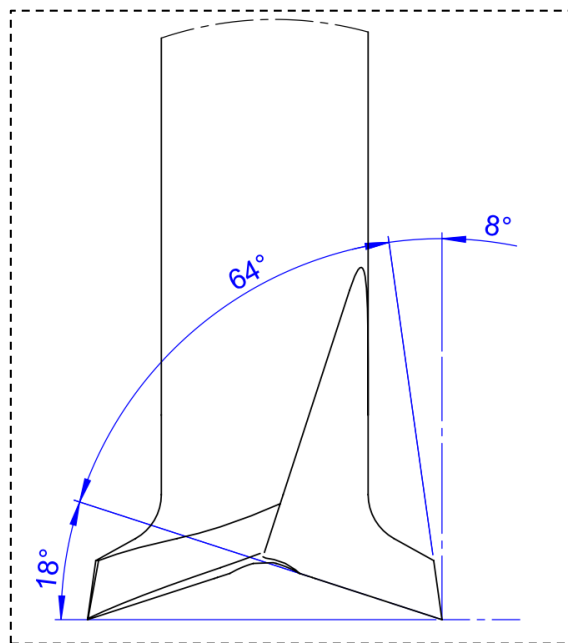
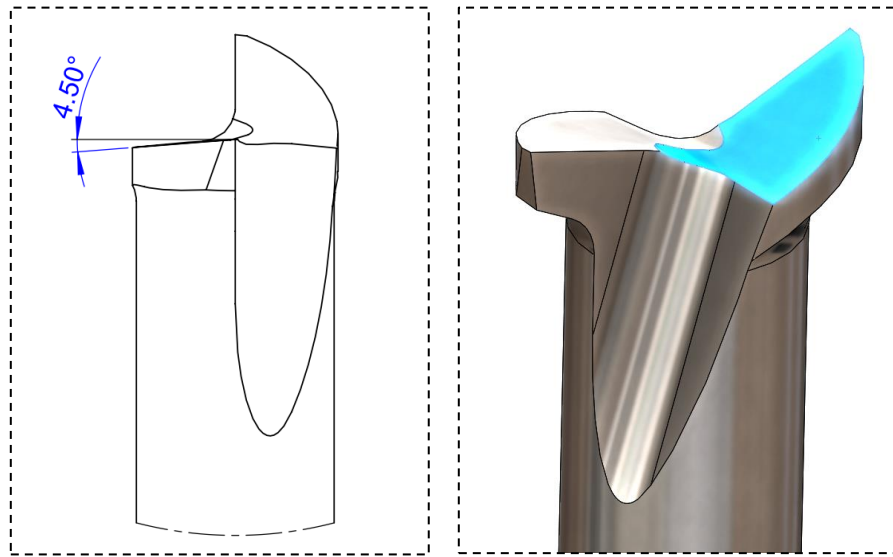


Figura 6. 1. Ángulo de corte del diseño propuesto

El ángulo de filo está relacionado directamente con el ángulo de ataque que se detallará más adelante, en la Figura 6.1 se puede verificar el ángulo de filo ( $64^\circ$ ) que está entre los dos ángulos de desahogo de  $8^\circ$  y  $18^\circ$ , la punta que forma este ángulo es el que más tiende a desgastarse con parámetros de corte inadecuados, otro factor relevante es el número de revoluciones, para esto se desarrolla un pequeño cálculo que está en función del diámetro menor del vástago y del material en que se va realizar el mecanizado, en caso de que la máquina no llegue a ese número de revoluciones se utilizan accesorios que elevan el número de revoluciones del centro de mecanizado.

### 6.7.3.2. Ángulo de ataque

Se puede decir que es el más influyente en la geometría de corte de la herramienta, la viruta al ser arrancada se apoya sobre la superficie que genera este ángulo y hace que el material desprendido sea evacuado más fácilmente. El trabajar con altas revoluciones en aluminio provoca que la herramienta se fracture por adhesión o quede comprometido el acabado superficial al mecanizar con viruta adherida a la punta de la herramienta.



**Figura 6. 2.** Ángulo de ataque del diseño propuesto

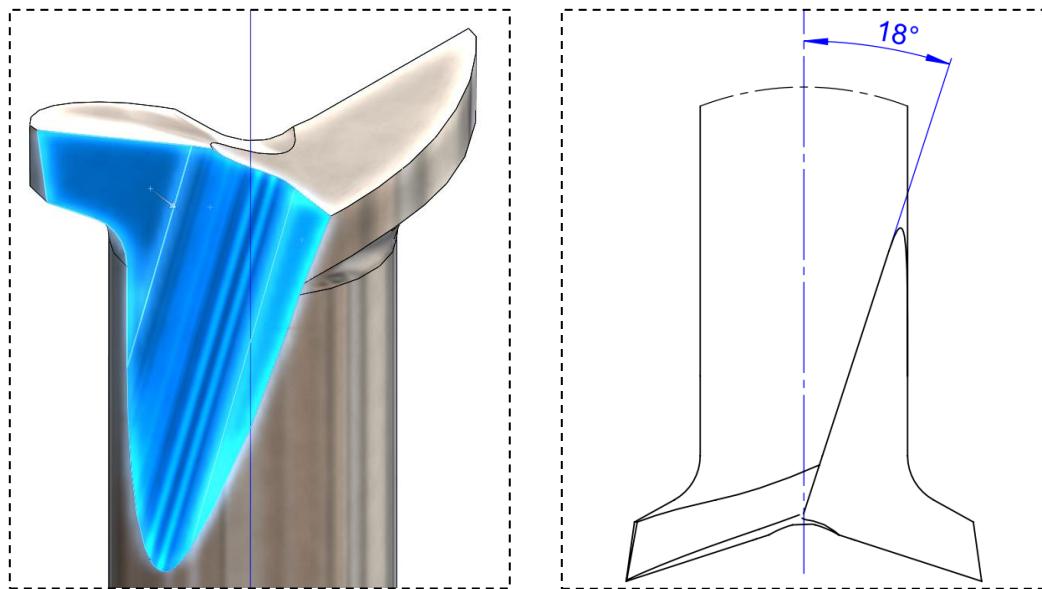
En ángulo de ataque se complementa con el ángulo de filo, en la figura 6.2 se puede visualizar como se forma el ángulo principal de la herramienta mediante estos dos ángulos mencionados (Filo – Ataque). El ángulo de ataque debe ser lo mayor posible, ya que disminuye los esfuerzos de corte, sin embargo, esto produce que el calor y concentraciones de esfuerzos en las zonas más débiles de la geometría de corte, aumentando el riesgo de rotura de la punta de la herramienta.

Para herramientas de diámetros más grandes este ángulo ayuda a reducir la potencia requerida de trabajo. Es importante mencionar que, para plasmar este ángulo en la elaboración de la herramienta, deben existir las diferentes configuraciones de giro en el afilador de buriles.



### 6.7.3.3. Ángulo de incidencia

Este ángulo hace referencia a la superficie de contacto entre la pieza a mecanizar y la herramienta de corte. Para la herramienta propuesta la superficie de incidencia se diseña mediante un filo a escuadra, el mismo que proporciona la facilidad de afilado del flanco principal de corte. Los diferentes filos finales de corte se pueden apreciar en el Anexo M. Una superficie de incidencia de diferente configuración puede incurrir en dificultados de afilado y por ende imprecisión del filo principal.



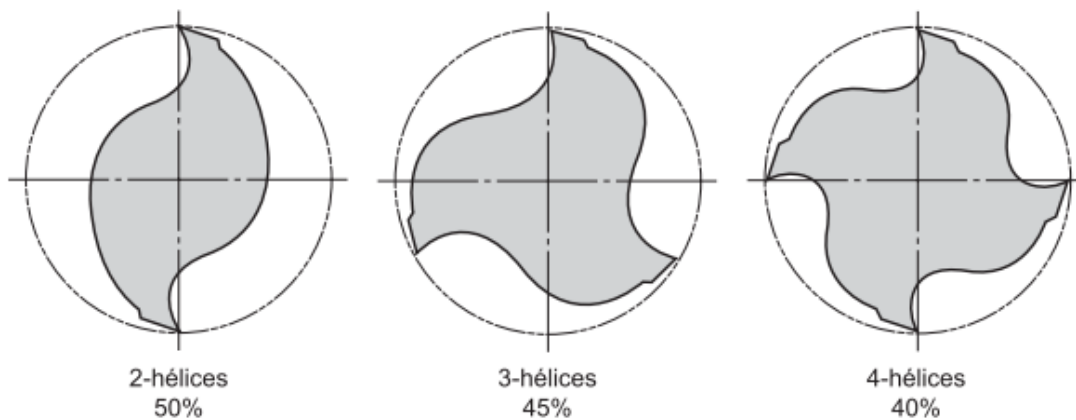
**Figura 6. 3.** Ángulo de incidencia del diseño propuesto

En la figura 6.3 se puede visualizar el ángulo de hélice, su función es desahogar el material desprendido y a la vez crear el ángulo de incidencia que en conjunto con el ángulo de ataque forman el filo principal. Mediante una sola operación de afilado se consiguen los dos filos, de la misma forma que fue diseñada deben ser ajustados los ángulos al afilador de buriles mediante los diferentes reguladores longitudinales que vienen marcados en décimas de milímetro. El ángulo de la hélice también puede variar, en la figura se muestra un ángulo de  $18^\circ$ , mientras que en fresas convencionales puede llegar a  $36^\circ$ , esto depende del diámetro del vástago, entre más pequeño el diámetro más pequeño debe ser el ángulo de hélice con el fin de no debilitar la herramienta.

#### 6.7.3.4. Número de hélices o filos de corte

Es importante definir el número de filos de la herramienta, entre más filos, más durabilidad de la misma. Para definir este parámetro se toma en cuenta que la herramienta es diseñada para mecanizado de aluminio y por lo general para este tipo de trabajo se utilizan dos filos de corte por la fácil evacuación de viruta.

Es importante destacar que, entre más número de hélices, se eleva la complejidad de tallar los filos de corte en el equipo. Entre más complejo se vuelve el proceso se puede incurrir en mayor imprecisión de afilado. En la figura 6.1 se puede verificar el número de hélices recomendado por fabricantes de herramientas



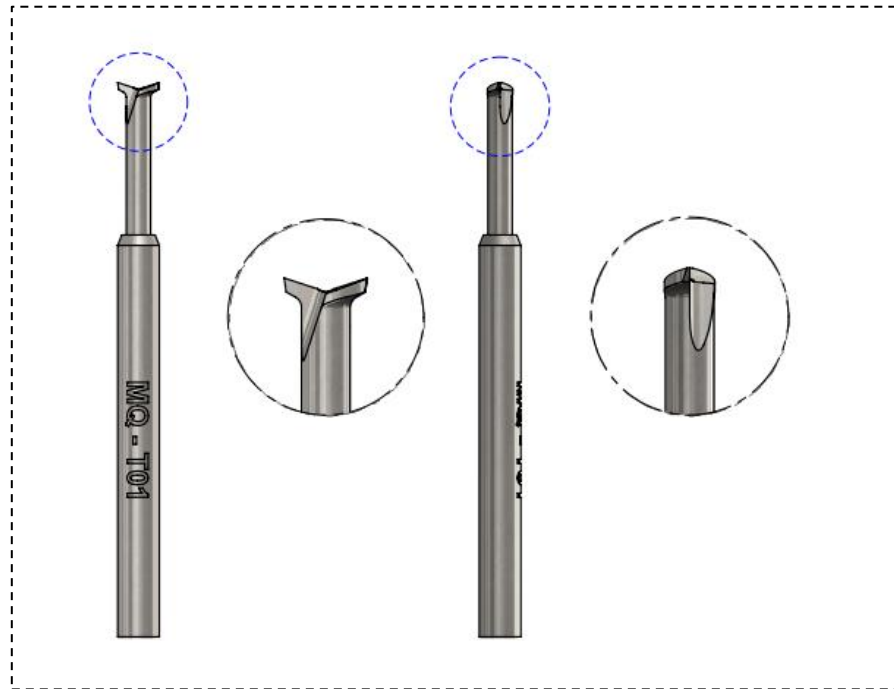
**Figura 6. 4.** Número de hélices de herramientas.

Según lo mostrado en la figura se puede verificar el número de hélices que se utilizó para aluminio y el porcentaje de área de desprendimiento de la viruta.

#### 6.7.4. Diseño CAD herramienta

Después de analizar los diferentes parámetros de diseño de herramienta se procede a modelarlo en un software CAD, todas las consideraciones analizadas anteriormente son la base para el diseño y posterior construcción de la misma, para obtener mejores resultados de diseño este se lo realizó en un software de modelado tridimensional y paramétrico, con el fin de obtener variaciones en todo el diseño de la herramienta en el

caso de existir cualquier variación adicional. En la figura 6.5 se puede observar el modelado de la herramienta ya terminado y además con un número de registro que será utilizado para el posterior proceso de patente del diseño.



**Figura 6. 5.** Diseño CAD herramienta de contrasalidas.

Las ventajas de los programas CAD son muchas, entre ellas tenemos la facilidad de crear modelos volumétricos y mediante bases de datos poder asignar propiedades físicas y mecánicas al modelado, se asignaron las propiedades del HSS al modelado con el fin de ejecutar posteriormente un análisis estático para saber los esfuerzos máximos producidos en la geometría de la herramienta y de ser el caso realizar un análisis de fatiga para medir una resistencia de vida aproximada.

Otra de las ventajas de la utilización de softwares de modelado CAD de tecnología avanzada, es la facilidad de obtener documentación técnica basada en parámetros normalizados, esto refiere a obtener planos que servirán de referencia para que se pueda replicar la herramienta cuantas veces sea posible, con el fin de solventar el problema de herramientas de contrasalidas en el mercado de elaboración de moldes de suelas.

**6.7.5. Procedimiento tallado de la herramienta de mecanizado de contrasalidas.**

	<p>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO. FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA. MAESTRÍA EN MECÁNICA</p>	
<p>Procedimiento para el tallado de la herramienta de mecanizado de contrasalidas en HSS.</p>		
<b>Lugar de ejecución:</b>	Mecanizados Figueroa	
<b>Operador:</b>	Rubén Figueroa	Fecha: 19/08/2019
<b>Elaborado por:</b>	<b>Revisado por:</b>	<b>Aprobado por:</b>
Ing. Juan Muquinche	Ing. Mauricio Carrillo Mg.	Ing. Mauricio Carrillo Mg.
<p><b>1.- OBJETIVO</b></p> <p>Construir herramienta para mecanizado de contrasalidas en HSS, mediante un afilador de buriles universal, con el fin de optimizar el proceso de mecanizado y reducir costos de herramientas.</p> <p><b>2.- ALCANCE</b></p> <p>El procedimiento presentado es aplicable en el campo de mecanizado de moldes de suelas de calzado, siendo una de las industrias que tiene alto impacto en la zona centro del país. Mediante el afilado de la herramienta y el debido sustento técnico, se pretende llegar a abastecer a departamentos de mecanizado CNC.</p> <p><b>3.- DOCUMENTACIÓN DE REFERENCIA</b></p> <p>El procedimiento presentado es aplicable previa sustención de un análisis experimental desarrollado en el capítulo 4 y tomando en cuenta consideraciones de diseños valoradas en el capítulo 6.</p>		



Procedimiento para el tallado de la herramienta de mecanizado de contrasalidas en HSS.

<b>Lugar de ejecución:</b>	Mecanizados Figueroa	
<b>Operador:</b>	Rubén Figueroa	Fecha: 19/08/2019
<b>Elaborado por:</b>	<b>Revisado por:</b>	<b>Aprobado por:</b>
Ing. Juan Muquinche	Ing. Mauricio Carrillo Mg.	Ing. Mauricio Carrillo Mg.

#### 4.- GENERALIZACIÓN

Construir herramienta para mecanizado de contrasalidas en HSS, mediante un afilador de buriles universal, con el fin de optimizar el proceso de mecanizado y reducir costos de herramientas.

#### 5.- REALIZACIÓN

El procedimiento presentado es aplicable en el campo de mecanizado de moldes de suelas de calzado. Mediante el afilado de la herramienta y el debido sustento técnico, se pretende llegar a abastecer a departamentos de mecanizado CNC.

##### a) Adquisición de las barras cilíndricas de HSS



Barras cilíndricas HSS.



Procedimiento para el tallado de la herramienta de mecanizado de contrasalidas en HSS.

<b>Lugar de ejecución:</b>	Mecanizados Figueroa	
<b>Operador:</b>	Rubén Figueroa	Fecha: 19/08/2019
<b>Elaborado por:</b>	<b>Revisado por:</b>	<b>Aprobado por:</b>
Ing. Juan Muquinche	Ing. Mauricio Carrillo Mg.	Ing. Mauricio Carrillo Mg.

b) Ubicación de la boquilla de diámetro 8mm en el afilador de buriles universal, según diseño propuesto.



Boquilla de afilador diam. 6 mm.

c) A continuación se ubica el disco de abrasión de diamante con el fin de evitar el desgaste inadecuado de otro tipo de abrasivos.



Disco de diamante.



Procedimiento para el tallado de la herramienta de mecanizado de contrasalidas en HSS.

<b>Lugar de ejecución:</b>	Mecanizados Figueroa	
<b>Operador:</b>	Rubén Figueroa	Fecha: 19/08/2019
<b>Elaborado por:</b>	<b>Revisado por:</b>	<b>Aprobado por:</b>
Ing. Juan Muquinche	Ing. Mauricio Carrillo Mg.	Ing. Mauricio Carrillo Mg.

d) Ubicación de los ángulos y topes de afilado para el primer diámetro de vástago. Y diámetro de la punta.



Preparación del afilador.

e) A continuación se tallan los diámetros de vástago y de punta, además de un pequeño bisel en la parte media del buril.



Tallado vástagos y diámetro de punta.

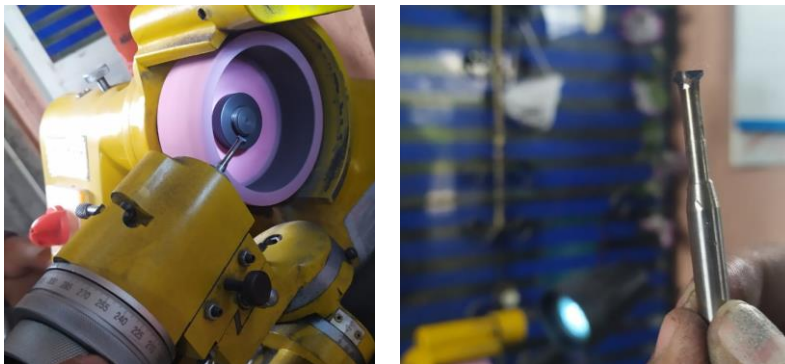




Procedimiento para el tallado de la herramienta de mecanizado de contrasalidas en HSS.

<b>Lugar de ejecución:</b>	Mecanizados Figueroa	
<b>Operador:</b>	Rubén Figueroa	Fecha: 19/08/2019
<b>Elaborado por:</b>	<b>Revisado por:</b>	<b>Aprobado por:</b>
Ing. Juan Muquinche	Ing. Mauricio Carrillo Mg.	Ing. Mauricio Carrillo Mg.

f) Tallado del ángulo de filo y ángulo de ataque, según especificaciones de diseño y ubicación de mencionados ángulos en el afilador



Tallado ángulos de filo.

g) Afinamiento del ángulo de ataque  $4.5^\circ$  con referencia al ángulo de filo alfa de  $18^\circ$ . En la imagen se muestra el ángulo de ataque colocado en el afilador



Ángulo de ataque.

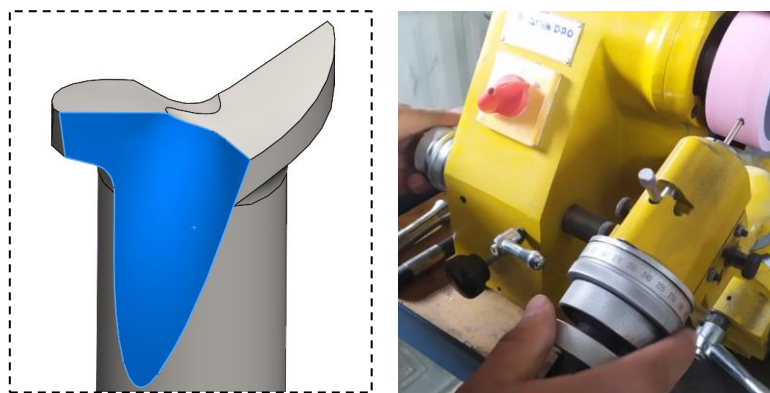




Procedimiento para el tallado de la herramienta de mecanizado de contrasalidas en HSS.

<b>Lugar de ejecución:</b>	Mecanizados Figueroa	
<b>Operador:</b>	Rubén Figueroa	Fecha: 19/08/2019
<b>Elaborado por:</b>	<b>Revisado por:</b>	<b>Aprobado por:</b>
Ing. Juan Muquinche	Ing. Mauricio Carrillo Mg.	Ing. Mauricio Carrillo Mg.

h) Tallado del ángulo de incidencia, que para este caso es de cero grados, al mismo tiempo se talla el ángulo de desahogo que tiene un ángulo de  $18^\circ$ .



Ángulo de incidencia.

i) Por último se realiza un pequeño redondeo en donde inicia el filo de corte. Esto con el fin de evitar concentración de tensiones.




Afinado de la herramienta.

### 6.7.6. Análisis comparativo de costos

Una de las ventajas de desarrollar una herramienta por medio de equipos de afilado, es sin duda la parte económica, en donde los costos varían significativamente en comparación con una herramienta desarrollada de forma personalizada en empresas dedicadas a esta labor.

En la figura 6.6 se muestra el valor cotizado de una herramienta que cumple las mismas características constructivas que la herramienta propuesta en este capítulo, la proforma se la realizó en Novoutils, una empresa española dedicada a la elaboración de herramientas personalizadas para mecanizado.



Casa matriz  
400 rue des bouleaux  
ZI des Pochons  
F - 74300 THYEZ

NIT 123456022  
No FACTURA: 911  
No AUTORIZACIÓN 2801035440

**PROFORMA COMERCIAL DE EXPORTACIÓN**  
SIN DERECHO A CRÉDITO FISCAL

Lugar y fecha: Madrid, 25 de agosto del 2019  
Nombre: Juan Mucuinche  
Dirección del Importador: Suite 400 reus des bouleaux  
NIT: 0  
INCOTERM Y Puerto Destino: CIF - Málaga  
Moneda de la Transacción Comercial: Dólar Americano TIPO DE CAMBIO: 0

DETALLE						
ITEM	NANDA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD DE MEDIDA	PRECIO UNITARIO	SUBTOTAL
1	0909510000	Herramienta de Mecanizado	1	Kg	80,00	80,00
					TOTAL Sus	80,00

Son: Ochenta Dólares Americanos

PRECIO O VALOR BRUTO	\$us 55,8
GASTOS DE TRANSPORTE HASTA FRONTERA	\$us 3,2
GASTOS DE SEGURO HASTA FRONTERA	\$us 1,15
TOTAL F.O.B - FRONTERA	\$us 60,15
TRANSPORTE INTERNACIONAL	\$us 16,04
SEGURO INTERNACIONAL	\$us 3,51
OTROS	\$us 0,00
TOTAL CIF - VANCOUVER	\$us 80,00

Código de Control:	E3-45RE-4E-12
Fecha Límite de Emisión:	10/10/2019

Figura 6. 6. Proforma herramienta contrasalidas.

Novoutils presenta los valores más accesibles para elaboración de herramientas de corte personalizadas. La tabla 6.1 muestra los valores que corresponden a elaborar una herramienta de mecanizado de contrasalidas elaborada por medio de equipos de afilado universales presentes en la mayoría de talleres de moldes.

**Tabla 6. 1.** Costos herramienta propuesta.

Descripción	Costo
Buril de HSS Ø 8mm	8.50
Afilado del Buril	5.00
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 13.50</b>

Como se puede apreciar los costos de realizar la herramienta por medio de la propuesta presentada son mucho más bajos que realizar la misma en empresas dedicadas ese tipo de trabajo. Sin tomar en cuenta el tiempo de importación y aranceles que son parte del proceso de adquisición en empresas extranjeras. La reducción de costos es significativa ya que el valor de la herramienta importada es de \$80 lo que representa un valor 5 veces mayor a la herramienta diseñada en la propuesta presente.

El análisis comparativo se lo realiza con el fin de poder analizar los costos antes y después de la implementación de la herramienta de mecanizado, la capacidad de resistir largos ciclos de mecanizado depende del material, al utilizar HSS se reducen los costos en comparación al carburo de tungsteno u otro material cerámico parecido. Una ventaja adicional de la utilización del HSS es la presencia un grado de flexibilidad mayor al carburo de tungsteno que se lo utilizaba anteriormente debido a su mayor resistencia al desgaste. En carburo de tungsteno se ve la elevada fragilidad de la herramienta para diámetros pequeños, ya sea para detalles de grabado o mecanizado de contrasalidas en diferentes formas. Dentro de los costos generales se debe mencionar también la utilización de accesorios adicionales que ayudan a aumentar el número de revoluciones del husillo, ya que herramientas con diámetros pequeños demandan elevadas RPM.

La tabla 6.2 presenta los costos de elaboración del molde de suelas con la utilización de herramientas anteriormente utilizadas, afilado empírico y con parámetros de corte no estudiados.

**Tabla 6. 2.** Costos construcción molde herramienta anterior.

<b>Descripción</b>	<b>Costo (\$)</b>	<b>Tiempo (horas)</b>
Diseño CAD - CAM	100	6
Cuadrado de placas	35	0.5
Perforaciones	30	0.5
Proceso de desbaste	70	1
Proceso de semiacabado	90	1.5
Proceso de acabado	110	2
Mecanizado contrasalidas	320	12
Canales de inyección	25	0.5
Bebedero	15	0.25
Puntos de inyección	25	1
Bocines	30	0.5
Columnas	40	0.5
Aireadores	10	0.25
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 900</b>	<b>26.5</b>

La recolección de información fue tomada de la empresa de mecanizado “Mecanizados Figueroa” en donde se ha realizado la mayor parte del proceso investigativo.

La tabla 6.3 muestra los costos de construcción del molde con la utilización de la herramienta de mecanizado diseñada y con los parámetros de corte obtenidos.

**Tabla 6. 3.** Costos construcción molde herramienta propuesta.

<b>Descripción</b>	<b>Costo</b>	<b>Tiempo (horas)</b>
Diseño CAD - CAM	100	6
Cuadrado de placas	35	0.5
Perforaciones	30	0.5
Proceso de desbaste	70	1
Proceso de semiacabado	90	1.5
Proceso de acabado	110	2
Mecanizado contrasalidas	150	6
Canales de inyección	25	0.5
Bebedero	15	0.25
Puntos de inyección	25	1
Bocines	30	0.5
Columnas	40	0.5
Aireadores	10	0.25
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 730</b>	<b>20.5</b>

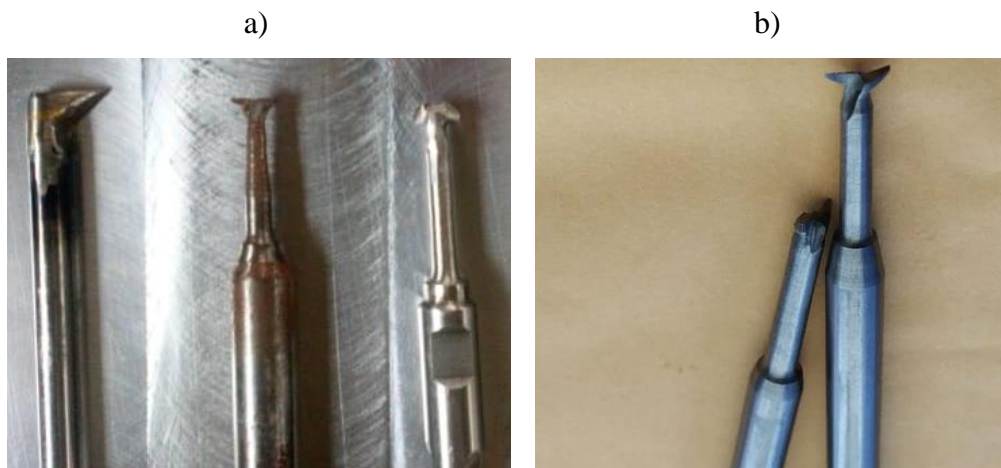
Se puede constatar una reducción de costos notable, tomando en cuenta que los valores presentados son solamente para un molde, por lo general se realizan moldes para todo el seriado comercial, desde la talla 36 hasta la 44, la reducción de costos es de

aproximadamente \$170 por cada molde, lo que equivale a una reducción del 19% por cada molde, al ser 9 moldes se tendría un ahorro de \$1530 por un seriado de moldes.

La reducción de costos se debe principalmente el utilizar una sola herramienta por cavidad del molde, anteriormente se utilizaba hasta tres herramientas por cada cavidad. Debido a la producción y utilización de las máquinas CNC, el molde de contrasalidas quedaba inconcluso, teniendo que ser terminado de forma manual por un operador, que con la ayuda de una herramienta de forma y un martillo daban el acabado lateral, el tiempo de rectificado manual tomaba de dos a tres días.

#### 6.7.7. Análisis comparativo de diseño

La figurara 6.7 muestra la comparación entre las herramientas utilizadas anteriormente para el mecanizado de contrasalidas y la nueva herramienta propuesta. En ambos casos las herramientas son construidas con HSS, es notable la calidad de elaboración de la herramienta propuesta, no obstante, no basta con tener un filo adecuado sino también trabajar con parámetros de corte adecuados.



**Figura 6. 7.** a) Diseño anterior b) Nuevo diseño propuesto.

A continuación, se muestra el proceso de construcción de un molde de suelas de calzado con contrasalidas romboidales con el fin de validar y justificar el diseño de la nueva herramienta propuesta, desde su planeación hasta el producto final, tomando en

cuenta que el objetivo de mencionada validación es comprobar también los parámetros de corte que fueron analizados.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO. FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA. MAESTRÍA EN MECÁNICA		
Mecanizado de contrasalidas aplicando diseño propuesto de herramienta, en un molde de producción de la empresa Mecanizados Figueroa			
<b>Lugar de ejecución:</b>	Mecanizados Figueroa		
<b>Operador:</b>	Rubén Figueroa	Fecha: 19/08/2019	
<b>Elaborado por:</b>	<b>Revisado por:</b>	<b>Aprobado por:</b>	
Ing. Juan Muquinche	Ing. Mauricio Carrillo Mg.	Ing. Mauricio Carrillo Mg.	
<p>1.- OBJETIVO</p> <p>Mecanizar grabado lateral en un molde de suelas, mediante la utilización de la herramienta de forma romboidal propuesta, con el fin de verificar el trabajo de la misma en un proceso de mecanizado real</p> <p>2.- ALCANCE</p> <p>Mediante la utilización de la herramienta de mecanizado, se pretende mejorar en si el proceso, optimizando tiempos y reduciendo costos de operación, una herramienta inadecuada se traduce en un producto final de mala calidad. La herramienta está diseñada para trabajar en ciclos de trabajo completos, con el fin de no tener que utilizar varias herramientas en una misma cavidad.</p> <p>3.- DOCUMENTACIÓN DE REFERENCIA</p> <p>El proceso de mecanizado de moldes estaba basado en los procedimientos utilizados en la empresa, que han sido tomados como referencia para el desarrollo de la etapa de acabado lateral.</p>			



Mecanizado de contrasalidas aplicando diseño propuesto de herramienta, en un molde de producción de la empresa Mecanizados Figueroa

<b>Lugar de ejecución:</b>	Mecanizados Figueroa	
<b>Operador:</b>	Rubén Figueroa	Fecha: 19/08/2019
<b>Elaborado por:</b>	<b>Revisado por:</b>	<b>Aprobado por:</b>
Ing. Juan Muquinche	Ing. Mauricio Carrillo Mg.	Ing. Mauricio Carrillo Mg.

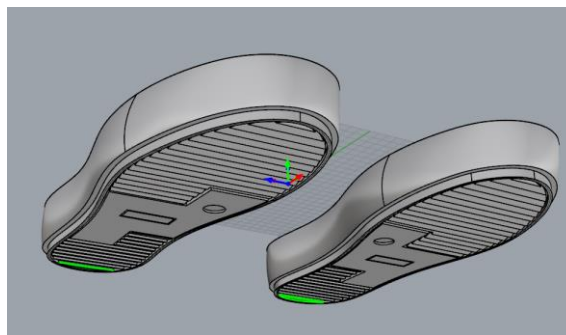
#### 4.- GENERALIZACIÓN

El proceso de mecanizado de moldes en aluminio está basado en sistemas CAD CAM CNC desde su etapa de planeación y diseño conceptual hasta obtener el molde y el producto final. La flexibilidad de estos sistemas hace que la producción de moldes sea tan rápida como el mercado lo demanda.

#### 5.- REALIZACIÓN

La planificación del proceso comprende estudiar las tendencias de mercado para que el producto resulte rentable y puede ser recuperada la inversión del molde. A continuación, se muestra las etapas hasta llegar al producto final.

##### a) Diseño del producto (Suela)



Diseño CAD producto.

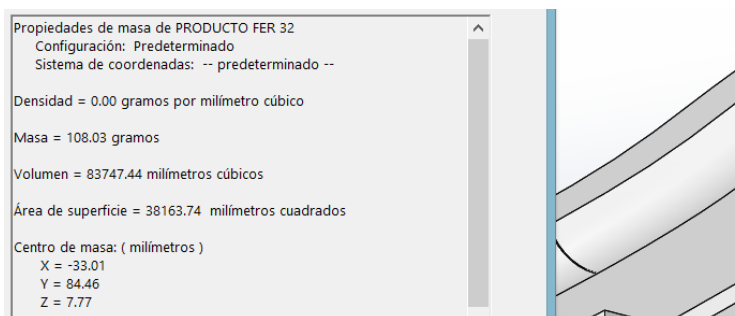




Mecanizado de contrasalidas aplicando diseño propuesto de herramienta, en un molde de producción de la empresa Mecanizados Figueroa

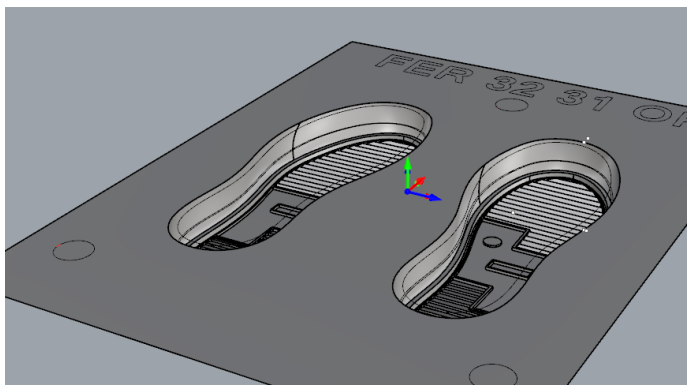
<b>Lugar de ejecución:</b>	Mecanizados Figueroa	
<b>Operador:</b>	Rubén Figueroa	Fecha: 19/08/2019
<b>Elaborado por:</b>	<b>Revisado por:</b>	<b>Aprobado por:</b>
Ing. Juan Muquinche	Ing. Mauricio Carrillo Mg.	Ing. Mauricio Carrillo Mg.

b) Medición de parámetros físicos de la suela como masa y volumen, con el fin de obtener un producto liviano cómodo y resistente.



Propiedades físicas del producto.

c) Obtención de los moldes a partir del diseño CAD del producto, tomando en cuenta la separación entre cavidades, contracción y puntos de inyección.



Molde del producto.



Mecanizado de contrasalidas aplicando diseño propuesto de herramienta, en un molde de producción de la empresa Mecanizados Figueroa

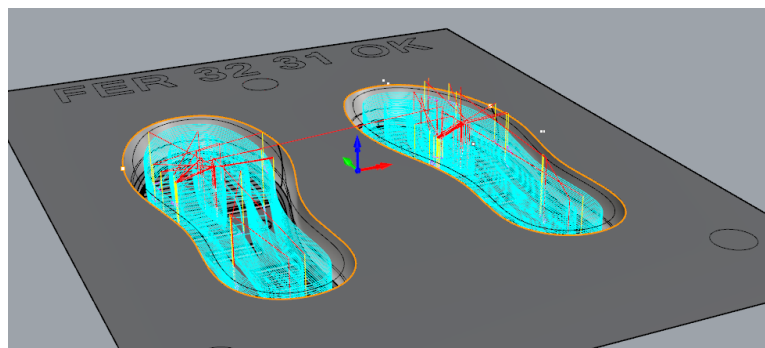
<b>Lugar de ejecución:</b>	Mecanizados Figueroa	
<b>Operador:</b>	Rubén Figueroa	Fecha: 19/08/2019
<b>Elaborado por:</b>	<b>Revisado por:</b>	<b>Aprobado por:</b>
Ing. Juan Muquinche	Ing. Mauricio Carrillo Mg.	Ing. Mauricio Carrillo Mg.

d) Verificación de estado y dimensiones de herramientas disponibles para realizar la programación CAM.



Herramientas de mecanizado.

e) Programación CAM de la cavidad y núcleo de molde de suelas. Desbaste, Semiacabado.



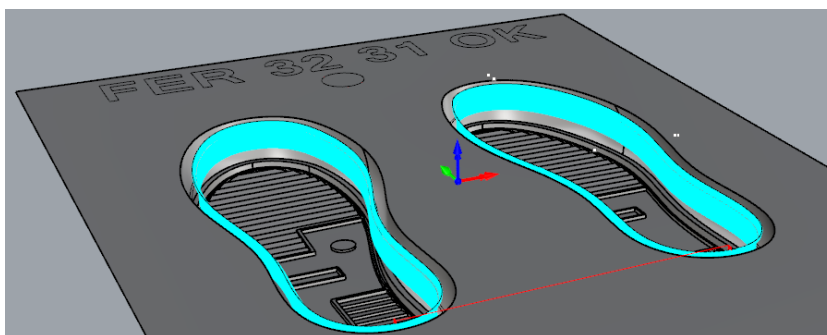
Programación CAM etapa de desbaste.



Mecanizado de contrasalidas aplicando diseño propuesto de herramienta, en un molde de producción de la empresa Mecanizados Figueroa

<b>Lugar de ejecución:</b>	Mecanizados Figueroa	
<b>Operador:</b>	Rubén Figueroa	Fecha: 19/08/2019
<b>Elaborado por:</b>	<b>Revisado por:</b>	<b>Aprobado por:</b>
Ing. Juan Muquinche	Ing. Mauricio Carrillo Mg.	Ing. Mauricio Carrillo Mg.

f) Programación CAM de contrasalidas lateral. Utilización de software especializado en contrasalidas.



Programación CAM etapa de acabado.

g) Generación de códigos alfanuméricos mediante postprocesador adecuado para el control Fadal.

```
%  
:O001  
(Horizontal Finishing)  
(CUTTER COMP OFF, CANCEL CYCLES, XY PLANE, ABS MODE)  
G0 G40 G80 G17 G90  
(0.3149606 DIA. TOOL)  
T02 M6  
(SELECT WORK OFFSET, START SPINDLE)  
G90 S4500 M3  
(SELECT HEIGHT ADJUST REGISTER)  
G0 G43 H02 Z0.0000  
G0 X2.6567 Y-4.1649  
Z0.0394  
G1 X2.6567 Y-4.1649 Z-0.0078 F59.1
```

Postprocesamiento CNC.



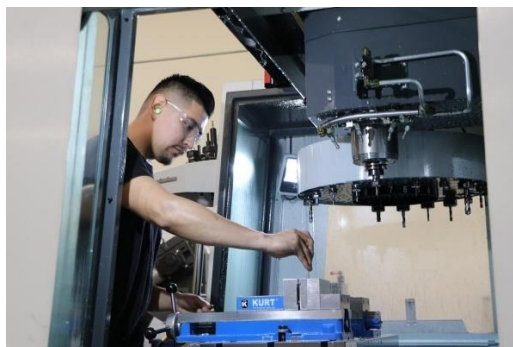
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO.  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
Y MECÁNICA.  
MAESTRÍA EN MECÁNICA



Mecanizado de contrasalidas aplicando diseño propuesto de herramienta, en un molde de producción de la empresa Mecanizados Figueroa

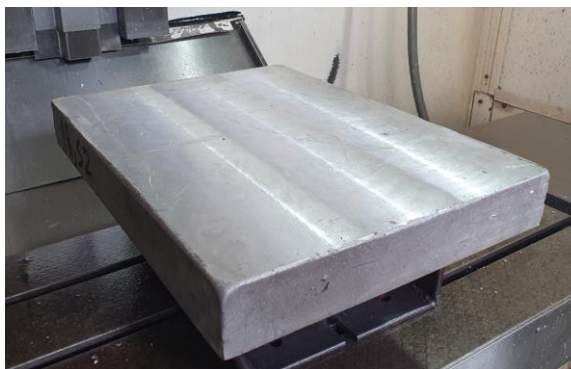
<b>Lugar de ejecución:</b>	Mecanizados Figueroa	
<b>Operador:</b>	Rubén Figueroa	Fecha: 19/08/2019
<b>Elaborado por:</b>	<b>Revisado por:</b>	<b>Aprobado por:</b>
Ing. Juan Muquinche	Ing. Mauricio Carrillo Mg.	Ing. Mauricio Carrillo Mg.

h) Colocación de herramientas en el magazine del centro de mecanizado según programación CAM ejecutada en el apartado e, f.



Ubicación de herramientas en magazine.

i) Ubicación y sujeción del material en bruto, placas de aluminio fundidas según dimensiones del diseño CAD.



Sujeción del material en máquina CNC.



Mecanizado de contrasalidas aplicando diseño propuesto de herramienta, en un molde de producción de la empresa Mecanizados Figueroa

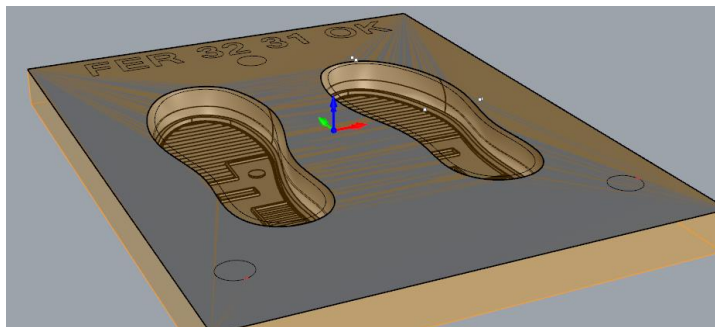
<b>Lugar de ejecución:</b>	Mecanizados Figueroa	
<b>Operador:</b>	Rubén Figueroa	Fecha: 19/08/2019
<b>Elaborado por:</b>	<b>Revisado por:</b>	<b>Aprobado por:</b>
Ing. Juan Muquinche	Ing. Mauricio Carrillo Mg.	Ing. Mauricio Carrillo Mg.

j) Rectificado de las placas que componen el molde. Planeado y perfilado de los contornos, con el fin de obtener dimensiones exactas.



Planeado y rectificado de placas.

k) Ubicación de cero - pieza en las placas, será en centro de las placas según programación CAM. El cero pieza se puede ubicar en cualquier ubicación.



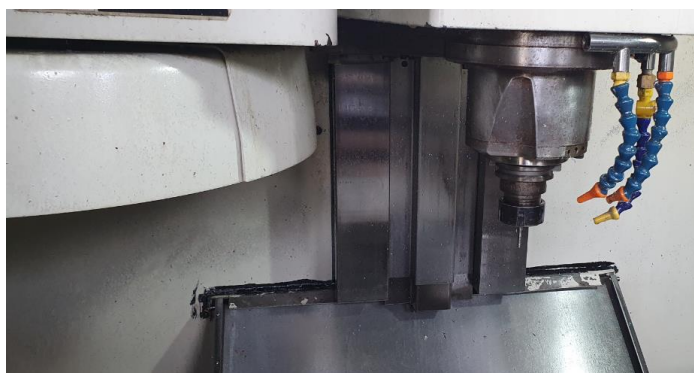
Ubicación cero pieza.



Mecanizado de contrasalidas aplicando diseño propuesto de herramienta, en un molde de producción de la empresa Mecanizados Figueroa

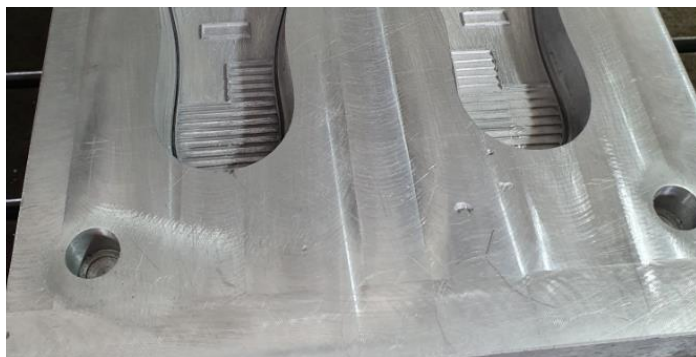
<b>Lugar de ejecución:</b>	Mecanizados Figueroa	
<b>Operador:</b>	Rubén Figueroa	Fecha: 19/08/2019
<b>Elaborado por:</b>	<b>Revisado por:</b>	<b>Aprobado por:</b>
Ing. Juan Muquinche	Ing. Mauricio Carrillo Mg.	Ing. Mauricio Carrillo Mg.

l) Compensación de alturas de las herramientas que comprenden el mecanizado.  
Offset según la primera herramienta.



Offset herramientas.

m) Ejecución del primer ciclo de mecanizado que corresponde a perforaciones del molde, estas corresponden a las guías del molde.



Mecanizado de perforaciones.

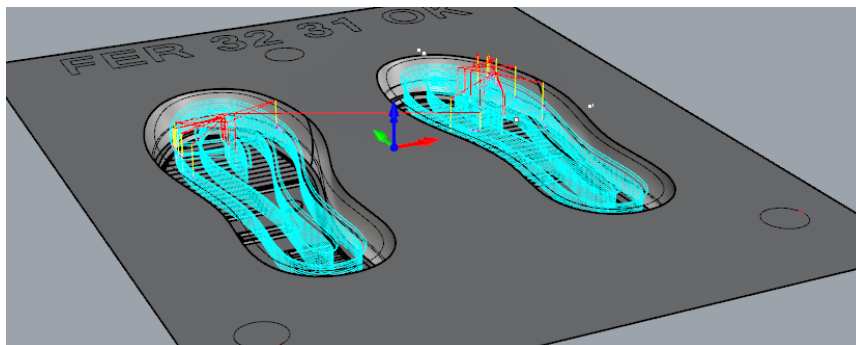




Mecanizado de contrasalidas aplicando diseño propuesto de herramienta, en un molde de producción de la empresa Mecanizados Figueroa

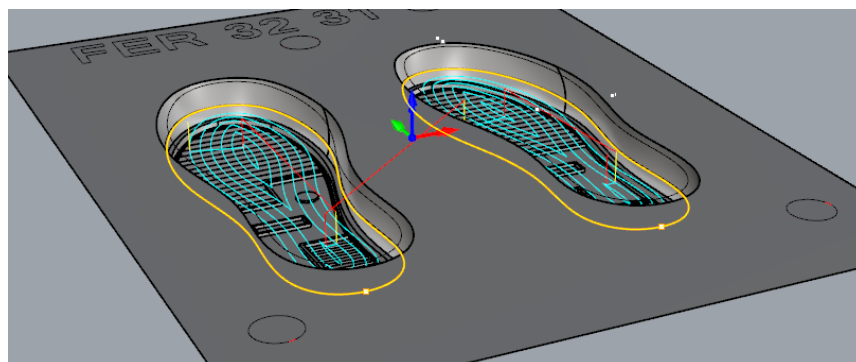
<b>Lugar de ejecución:</b>	Mecanizados Figueroa	
<b>Operador:</b>	Rubén Figueroa	Fecha: 19/08/2019
<b>Elaborado por:</b>	<b>Revisado por:</b>	<b>Aprobado por:</b>
Ing. Juan Muquinche	Ing. Mauricio Carrillo Mg.	Ing. Mauricio Carrillo Mg.

n) Ejecución del segundo ciclo de mecanizado que corresponde al desbaste de la cavidad y núcleo del molde. Sobre espesor 2mm



Mecanizado de desbaste.

o) Ejecución del segundo ciclo de mecanizado que corresponde al semiacabado, dejando un sobre espesor mínimo para el acabado lateral y piso



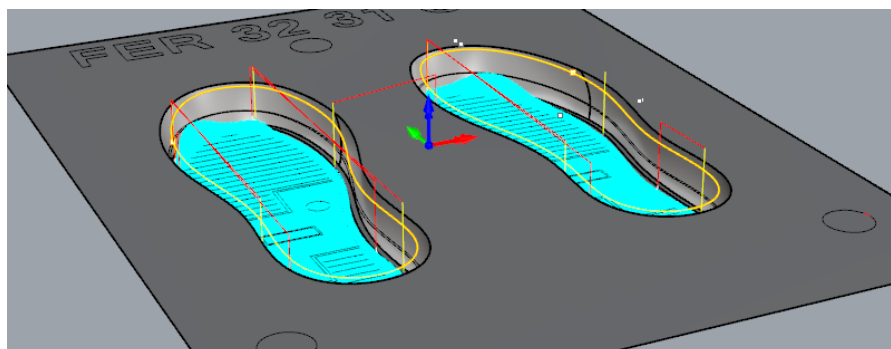
Mecanizado de semiacabado.



Mecanizado de contrasalidas aplicando diseño propuesto de herramienta, en un molde de producción de la empresa Mecanizados Figueroa

<b>Lugar de ejecución:</b>	Mecanizados Figueroa	
<b>Operador:</b>	Rubén Figueroa	Fecha: 19/08/2019
<b>Elaborado por:</b>	<b>Revisado por:</b>	<b>Aprobado por:</b>
Ing. Juan Muquinche	Ing. Mauricio Carrillo Mg.	Ing. Mauricio Carrillo Mg.

p) Mecanizado que corresponde a la huella de la suela en la cavidad del molde. Utilización de herramientas de acabado.



Mecanizado de la huella de la suela.

q) Mecanizado de los ahorradores de material en la parte del núcleo del molde. Utilización de herramientas de acabado.



Mecanizado de ahorros en núcleo.

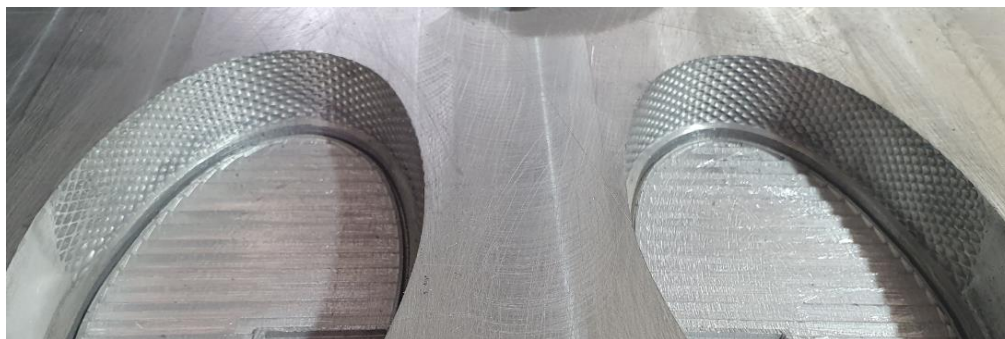




Mecanizado de contrasalidas aplicando diseño propuesto de herramienta, en un molde de producción de la empresa Mecanizados Figueroa

<b>Lugar de ejecución:</b>	Mecanizados Figueroa	
<b>Operador:</b>	Rubén Figueroa	Fecha: 19/08/2019
<b>Elaborado por:</b>	<b>Revisado por:</b>	<b>Aprobado por:</b>
Ing. Juan Muquinche	Ing. Mauricio Carrillo Mg.	Ing. Mauricio Carrillo Mg.

r) Mecanizado de contrasalidas laterales. Utilización de la herramienta diseñada y parámetros estudiados.



Mecanizado de contrasalidas.

s) Mecanizado de registros del molde. Corresponde a parámetros especificados en la INEN, además del número de suela y marca.



Mecanizado de registros.



Mecanizado de contrasalidas aplicando diseño propuesto de herramienta, en un molde de producción de la empresa Mecanizados Figueroa

<b>Lugar de ejecución:</b>	Mecanizados Figueroa	
<b>Operador:</b>	Rubén Figueroa	Fecha: 19/08/2019
<b>Elaborado por:</b>	<b>Revisado por:</b>	<b>Aprobado por:</b>
Ing. Juan Muquinche	Ing. Mauricio Carrillo Mg.	Ing. Mauricio Carrillo Mg.

t) Mecanizado de canales de inyección. La longitud corresponde a punto donde ingresa el material.



Mecanizado de canales de inyección.

u) Mecanizado del punto de inyección mediante la utilización de herramientas cónicas.



Mecanizado de puntos de inyección.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO.  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
Y MECÁNICA.  
MAESTRÍA EN MECÁNICA



Mecanizado de contrasalidas aplicando diseño propuesto de herramienta, en un molde de producción de la empresa Mecanizados Figueroa

<b>Lugar de ejecución:</b>	Mecanizados Figueroa	
<b>Operador:</b>	Rubén Figueroa	Fecha: 19/08/2019
<b>Elaborado por:</b>	<b>Revisado por:</b>	<b>Aprobado por:</b>
Ing. Juan Muquinche	Ing. Mauricio Carrillo Mg.	Ing. Mauricio Carrillo Mg.

v) Mecanizado de detalles finales



Mecanizado de detalles finales.

w) Verificación de cualquier inconsistencia y registro en paredes laterales del molde para producción.



Inspección del molde.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO.  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
Y MECÁNICA.  
MAESTRÍA EN MECÁNICA



Mecanizado de contrasalidas aplicando diseño propuesto de herramienta, en un molde de producción de la empresa Mecanizados Figueroa

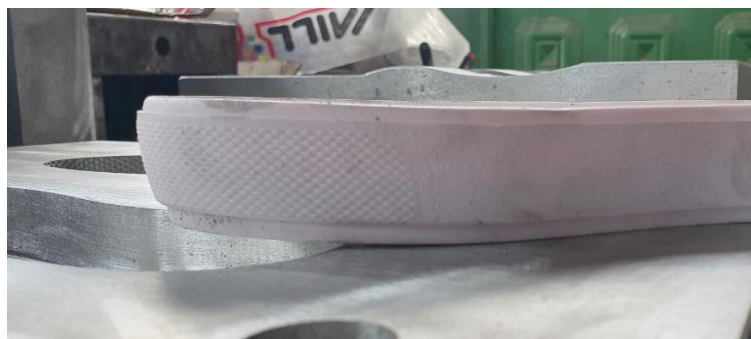
<b>Lugar de ejecución:</b>	Mecanizados Figueroa	
<b>Operador:</b>	Rubén Figueroa	Fecha: 19/08/2019
<b>Elaborado por:</b>	<b>Revisado por:</b>	<b>Aprobado por:</b>
Ing. Juan Muquinche	Ing. Mauricio Carrillo Mg.	Ing. Mauricio Carrillo Mg.

x) Ubicación del molde en la inyectora. Calibración de parámetros de inyección según polímero.



Calibración de inyectora.

y) Obtención y análisis del producto obtenido. Producto en óptimas condiciones y de buena calidad. Todo ok!



Producto terminado.

### **6.7.8. Intención de patente para nuevos diseños industriales**

Con el fin de evitar el plagio del diseño propuesto se pretende a futuro realizar la patente de la herramienta, basado en organizaciones nacionales e internacionales. La Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI, en inglés WIPO - World Intellectual Property Organization) es un organismo que tiene como objetivo desarrollar un sistema de propiedad intelectual internacional equilibrado, accesible y que recompense la creatividad, estimule la innovación y contribuya al desarrollo económico, salvaguardando a la vez el interés público.

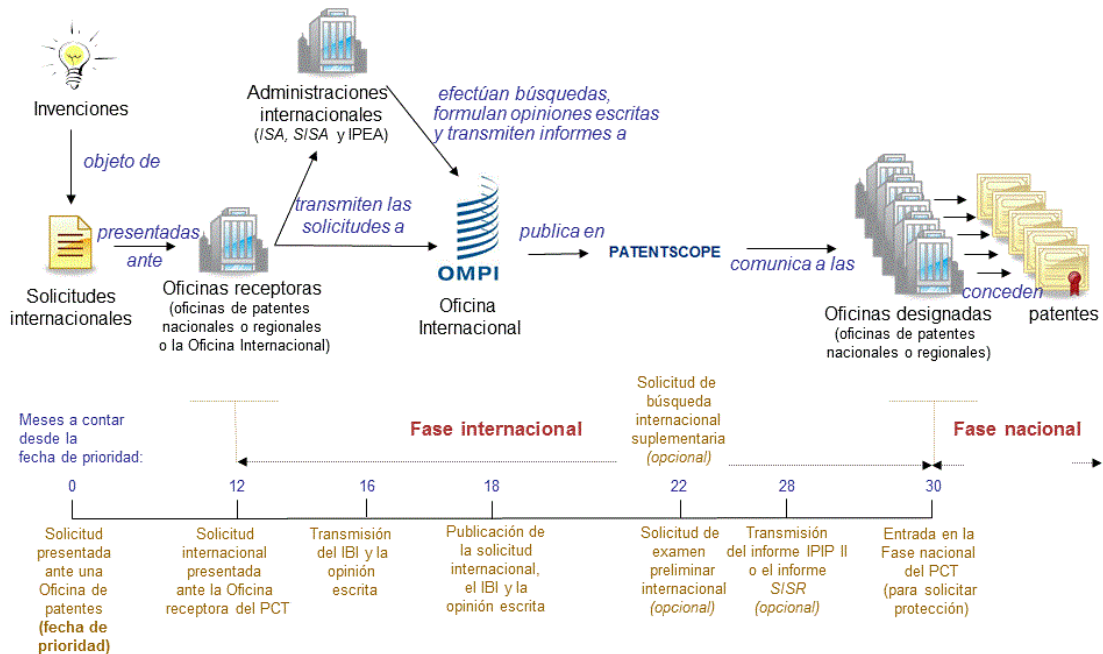
Los dibujos o modelos industriales se aplican a una amplia variedad de productos de la industria y la artesanía, que van desde instrumentos técnicos y médicos hasta relojes, joyas y otros artículos de lujo; desde electrodomésticos y aparatos eléctricos hasta vehículos y estructuras arquitectónicas, y desde materiales textiles hasta bienes recreativos. [20]

En la mayoría de los países, el dibujo o modelo debe registrarse a fin de estar protegido por la legislación que rige los dibujos y modelos industriales. Dependiendo de la legislación nacional de que se trate, y del tipo de dibujo o modelo, este también puede recibir protección como dibujo o modelo no registrado o como obra de arte en virtud del derecho de autor. [20]

En algunos países, coexiste la protección por derecho de autor con la protección de los dibujos y modelos industriales. En determinadas circunstancias, un diseño industrial también puede ser objeto de protección por las leyes de competencia desleal, si bien las condiciones de protección y los derechos y recursos ofrecidos pueden variar considerablemente. [20]

Para agilizar una patente internacional con impacto nacional se muestra un esquema desarrollado por el Tratado de Cooperación en materia de Patentes (PCT) planteadas a lo largo de la tramitación de una solicitud de patente.

La figura 6.8 muestra el proceso de tramitación requerido por el OMPI según el PCT para la obtención de la patente internacional y posterior homologación en el servicio nacional de derechos intelectuales (SENADI) de Ecuador.



**Figura 6. 8.** Proceso de tramitación de una patente internacional.

El procedimiento del PCT comprende las siguientes etapas:

**Presentación:** La persona solicitante presenta una solicitud internacional ante una Oficina nacional o regional de patentes o ante la OMPI, de conformidad con los requisitos del PCT, en un solo idioma y paga un único conjunto de tasas.

**Búsqueda internacional:** Una “Administración encargada de la búsqueda internacional” (ISA) (una de las principales Oficinas de patentes del mundo), tras identificar qué documentos publicados relativos a patentes y qué bibliografía técnica (sobre el estado de la técnica) pueden afectar la patentabilidad de la invención, emite una opinión escrita sobre la posibilidad de patentar dicha invención.

**Publicación internacional:** El contenido de la solicitud internacional se divulga públicamente apenas vencido el plazo de 18 meses a contar desde la fecha de presentación de la primera solicitud. [20]

**Búsqueda internacional suplementaria (facultativa):** A petición de la persona solicitante, otra ISA podrá rastrear aquellos documentos publicados que no localizó la primera administración encargada de la búsqueda principal, debido a la diversidad del estado de la técnica en una gran variedad de idiomas y campos técnicos. [20]

**Examen preliminar internacional (facultativo):** A pedido de la persona solicitante, una de las Administraciones encargadas de la búsqueda internacional podrá llevar a cabo un análisis adicional de patentabilidad, sobre la base de una versión modificada de la solicitud, por ejemplo. [20]

**Fase nacional:** Una vez finalizado el procedimiento del PCT, después de 30 meses a contar desde la fecha de presentación de la primera solicitud, cuya prioridad se reivindica, la persona solicitante solicitará a las oficinas nacionales (o regionales) de patentes de cada uno de los países en que desee obtener una patente que se le conceda la patente. [20]

#### **6.7.9. Patentes a nivel nacional (SENADI)**

El servicio nacional de derechos intelectuales (SENADI) de Ecuador es el ente encargado de extender derechos exclusivos nacionales sobre invenciones o marcas, en las patentes de invención menciona: “Una patente es un derecho exclusivo que concede el Estado para la protección de una invención, la que proporciona derechos exclusivos que permitirán utilizar y explotar su invención e impedir que terceros la utilicen sin su consentimiento. Si opta por no explotar la patente, puede venderla o ceder los derechos a otra empresa para que la comercialice bajo licencia. Se pueden patentar todas las invenciones, sean de producto o de procedimiento, en todos los campos de la



tecnología, siempre que sean nuevas, tengan nivel inventivo y sean susceptibles de aplicación industrial.” [21]

Dentro de los parámetros solicitados por el SENADI están: el diseño debe presentar un criterio novedoso, debe tener cierto nivel inventivo y debe tener una aplicación industrial.

Para realizar el trámite de ingreso de un nuevo producto o patente se debe presentar como requisito; creación de usuario en el sistema, crear un casillero virtual en donde se notificará el estado de los tramites, existen diferentes categorías en donde se debe ubicar la opción de patente y diseño industrial. [21]

Las solicitudes de patente encontramos:

- Patente de invención
- Patente de invención PCT fase nacional
- Modelo de utilidad
- Diseño industrial

Para el caso de la herramienta aplica la segunda opción en donde además se deben ingresar datos como:

- Título y clasificación internacional
- Solicitante - Inventores/Diseñadores
- Declaración (es) de Prioridad (cuando sea el caso)
- Represente legal o Apoderado
- Resumen
- Anexos: Tasa de mantenimiento (En caso de patente de invención/ modelo de utilidad el comprobante de tasa de mantenimiento correspondiente al primer año de anualidad lo genera el Área Financiera), Memoria Técnica (opcional Diseño



Industrial), Reivindicaciones (opcional Diseño Industrial) Dibujos Declaración Juramentada. [21]

Presentados estos documentos se da inicio al trámite de patente, el mismo que pasará por varios procesos de inspección.

## 6.8. Administración

Dentro de los gastos que corresponden al presente proyecto de investigación y propuesta están los detallados a continuación.

Es importante destacar el gasto más relevante que corresponde al desarrollo experimental, el mismo que se realizó en diferentes combinaciones de operación, resultando en costos elevados. Los mecanizados se realizaron en los talleres de mecanizado Figueroa, mismo que realizó el trabajo a un precio diferenciado gracias al interés de los resultados de la investigación. La tabla 6.4 también resume gastos operativos talento humano y varios que se hicieron presentes durante el desarrollo de la investigación.

**Tabla 6. 4.** Costos totales de la investigación y propuesta.

ITEM	Detalle	Cant.	Unid.	Costo Unitario	Costo Total
1	Buriles de Ø 8 mm	20	U	\$8.00	\$160.00
2	Afilado de buriles	40	U	\$2.50	\$100.00
3	Planchas aluminio 550x600mm	2	U	\$150.00	\$300.00
4	Mecanizado de planchas	4	U	\$250.00	\$1000.00
5	Piedras de pulido	2	U	\$5.00	\$10.00
6	Refrigerante taladrina	5	gal	\$10.00	\$50.00
7	Brocas centro	2	U	\$6.00	\$12.00
8	Fresa desbaste plana Ø16mm	1	U	\$40.00	\$40.00
9	Insertos para plato de widias	6	U	\$3.50	\$21.00
10	Fresa de semiacabado Ø6mm	1	U	\$25.00	\$25.00
11	Buriles de grabado	2	U	\$6.50	\$13.00
12	Guantes de mecanizado	1	Par	\$5.00	\$5.00

ITEM	Detalle	Cant.	Unid.	Costo Unitario	Costo Total
13	Gafas transparentes	1	U	\$2.00	\$2.00
14	Protectores auditivos.	1	U	\$1.00	\$1.00
15	Micrómetro de profundidad	1	U	\$60.00	\$60.00
16	Resina de yeso	4	Lb.	\$2.50	\$10.00
17	Pernos de sujeción Ø12mm	4	U	\$0.75	\$3.00
18	Lijas de agua #120	2	U	\$0.50	\$1.00
<b>COSTO TOTAL EN MATERIALES</b>					<b>\$1813.00</b>

La parte de recursos humanos hace referencia a personas que colaboraron de forma directa o indirecta en el proceso investigativo.

**Tabla 6. 5.** Costos totales recursos humanos.

RECURSO HUMANO					
19	Ayudante	1	U	\$50.00	\$50.00
20	Maestro Taller	1	U	\$100.00	\$100.00
21	Maquinista	1	U	\$80.00	\$80.00
22	Operador inyectora	1	U	\$50.00	\$50.00
<b>COSTO TOTAL DE RECURSO HUMANO</b>					<b>\$280.00</b>

Gastos varios, corresponde a gastos administrativos e imprevistos de baja relevancia dentro del proyecto de investigación.

**Tabla 6. 6.** Costos varios.

VARIOS					
23	Internet	1	U	\$40.00	\$40.00
24	Material de Escritorio	1	U	\$200.00	\$20.00
25	Transporte	6	U	\$25	\$150.00
26	Impresiones y empastado	5	U	\$20.00	\$100.00
<b>COSTO TOTAL VARIOS</b>					<b>\$340.00</b>
<b>TOTAL DE GASTOS PARA ESTE TIPO DE ESTUDIO</b>					<b>\$2433.00</b>

## **6.9. Previsión de la evaluación**

Es importante destacar los resultados favorables obtenidos en cada uno de los capítulos de la presente investigación, la previsión de resultados evaluados tiende a satisfacer la necesidad presente en la mayoría de empresas relacionadas con el medio de mecanizados de suelas. Los resultados han sido los esperados, teniendo en cuenta la baja inversión realizada en el momento de elaboración de una herramienta con los parámetros y diseño obtenidos en los resultados de esta investigación. La reducción de costos en comparación a realizar este tipo de herramientas en empresas que se dedican a esto es totalmente diferente. Los costos oscilan entre \$80 a \$150 más costos de envío, según proforma obtenida y referenciada en la figura 6.6, la herramienta que ha sido manufacturada en esta presente investigación tiene un valor de menos de \$20 y satisface a cabalidad con lo requerido con el productor de este tipo de trabajo. Como valor de referencia de la patente se tiene un aproximado de € 875 para un diseño industrial catalogado en la OMPI, el tiempo estimado es de 12 meses. Posterior a esto se realizaría el proceso de homologación en la SENADI, teniendo que asumir costos administrativos.

Se ha cumplido con los objetivos planteados tanto en el proceso investigativo, como también en la propuesta de solución al problema central de la investigación. El tener una herramienta de tan grandes beneficios dan como resultados un proceso de patentar la mencionada herramienta y evitar el lucro indebido de otros usuarios.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] E. telégrafo, «El 65% del calzado nacional se elabora en Tungurahua,» *El 65% del calzado nacional se elabora en Tungurahua*, Junio 2017.
- [2] K. Sungatov, Kinematics of Spherical Milling Cutters Forming, *Procedia Engineering*, 2017.
- [3] E. C. Caisaguano, DISEÑO DE UN MOLDE PARA FABRICACIÓN DE SUELAS FABYA TAMAÑO 37 DE POLIURETANO, UTILIZANDO INGENIERÍA CAD CAM CAE, Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2015.
- [4] M. P. Groover, Fundamentos de manufactura moderna, México: McGraw Hill, 2007.
- [5] A. García y F. Castillo, CIM: EL COMPUTADOR EN LA AUTOMATIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN, Cuenca, 2015.
- [6] C. Jensen, J. D. Helsel y D. R. Short, Dibujo y diseño en Ingeniería, México: McGraw Hill, 2016.
- [7] L. C. Palacios, Ingeniería de métodos, movimientos y tiempos, Bogotá: Ecoe Ediciones, 2009.
- [8] P. Comesaña y I. Propias, Mecanización de piezas con máquinas herramientas especializadas. Manual técnico de operaciones de mecanizado, España: Ideas Propias, 2004.
- [9] R. G. Budynas y J. K. Nisbett, Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley, México: The MacGraw Hill, 2008.
- [10] W. González y H. Mancini, Ciencia de los Materiales, Madrid: Grupo Planeta, 2003.
- [11] SMP, «SMP aleaciones especiales,» 2017. [En línea]. Available: <https://www.smp.es/carburoidetungsteno>.
- [12] Voestalpine, «Voestalpine,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.voestalpine.com/highperformancemetals/australia/en/home/products-brands/high-speed-steets/>.
- [13] CarboSystem, «CarboSystem,» 2019. [En línea]. Available: <http://carbosystem.com/carburoidetungsteno/>.
- [14] Ivanbohman, «Ivanbohman,» 2018. [En línea]. Available: <http://www.ivanbohman.com.ec/wp-content/uploads/2016/02/prodax.pdf>.

- [15] SandVik, «SandVik,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.sandvik.coromant.com/es-es/knowledge/machining-formulas-definitions/pages/milling.aspx>.
- [16] R. KHISAMUTDINOV, I. SUNGATOV y M. KHISAMUTDINOV, «Kinematics of Spherical Milling Cutters Forming,» *Procedia Engineering*, p. 6, 2017.
- [17] Metalmecánica, 2016. [En línea]. Available: <https://www.metalmecanica-facil.mahtg.com/velocidad-de-corte-maquinas-herramientas/>.
- [18] N. Larburu, Máquinas Prontuario, Thompson, 2001.
- [19] SandVik, «SandVik,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.sandvik.coromant.com/es-es/knowledge/milling/pages/groove-or-slot-milling.aspx>.
- [20] OMPI, «OMPI,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.wipo.int/portal/es/>.
- [21] SENADI, «SENADI,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.derechosintelectuales.gob.ec/>.
- [22] E. Ortiz, Mejoramiento de las propiedades mecánicas del aluminio de perfilera aplicando desgasificantes químicos, Ambato, 2017.
- [23] Tuferre, «Tuferre,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.tuferre.com/calibrador-digital-de-6-milimetrico-y-standard.html>.
- [24] Lenntech, «Lenntech,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.lenntech.es/polyvinyl-chloride-pvc.htm>.
- [25] M. Carbide, «Mitsubishi Carbide,» [En línea]. Available: [https://www.mitsubishicarbide.com/EU/es/product/pdf/c\\_n\\_other/c006s\\_n.pdf](https://www.mitsubishicarbide.com/EU/es/product/pdf/c_n_other/c006s_n.pdf).
- [26] L. Schwab, «Guía Didáctica,» *Máquinas Herramientas*, 2011.
- [27] «Haas,» Marzo 2019. [En línea]. Available: <https://www.haascnc.com/es/machines/vertical-mills.html>. [Último acceso: 20 Marzo 2019].
- [28] Grumeber, «Grumeber,» 07 2016. [En línea]. Available: <http://www.grumeber.com/mecanizado-piezas-proceso-gran-precision/>.
- [29] R. Pérez Rodríguez, R. Estrada, R. Simeón , P. Almaguer y Santana Raúl, Herramientas personalizadas de diseño fabricación e ingeniería asistidas por computadora (CAD/CAM/CAE) para el desarrollo de productos, Holguín: UHO, 2015.
- [30] L. Juiña, Implementación de un sistema de manufactura CAD CAM en la sección de matricería de la empresa, Quito, 2015.

- [31] GrupoCNC, «Fresadora CNC,» Julio 2010. [En línea]. Available: <http://gp3mp2010.blogspot.com/p/parametros-de-corte-del-fresado.html>. [Último acceso: 13 Julio 2018].
- [32] Metalmecanica-facil, «Velocidad de Corte,» 23 Diciembre 2016. [En línea]. Available: <https://www.metalmecanica-facil.mahtg.com/velocidad-de-corte-maquinas-herramientas/>. [Último acceso: 13 Julio 2018].
- [33] O. Rojas y L. Rojas, «Diseño Asistido por computador,» *Industrial Data*, p. 10, 2006.
- [34] D. m. y. herramientas, «De máquinas y herramientas,» 2014. [En línea]. Available: <http://www.demaquinasyherramientas.com/mecanizado/fresas-tipos-y-usos>.
- [35] SolidSolutions, «SolidSolutions,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.solidolutions.co.uk/solidworks-Industries/Design-Gallery/Industries/Mould-Tool-Die.aspx>. [Último acceso: 10 08 2019].
- [36] F. Grecon, «Fagus Grecon,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.fagus-grecon.com/es/soluciones/hormas-y-moldes-de-calzado/design/#c8190>.
- [37] B. Maquinaria, «BKB Maquinaria,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.bkbmaquinaria.com/maquinaria-cnc.html>.
- [38] T. Design, «Tech Design,» 2018. [En línea]. Available: <http://techdesign.com.ec/techw/maquinas-cnc-fresadoras-tornos-gsk-sinumerik/>.
- [39] Haas, «Haas F1 Team,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.haas.co.uk/rotaries-indexers/>.
- [40] AEC, «Ashhurst Engineering & Construction,» 2018. [En línea]. Available: [https://www.aec1989.co.nz/modules/SP\\_Gallery/gallery.php?gallery=7](https://www.aec1989.co.nz/modules/SP_Gallery/gallery.php?gallery=7).
- [41] Mongrat, «Mongrat,» 2019. [En línea]. Available: <http://mongrat.com/fabricacion-de-piezas-a-medida-a-traves-de-fresado/>.
- [42] T. U. Braunschweig, «Technische Universitat Braunschweig,» 2012. [En línea]. Available: <https://www.tu-braunschweig.de/iwf/fup/ft/dienstleistungen/simulationundberechnung>.
- [43] Advancedtool, «Advancedtool,» 2018. [En línea]. Available: <https://advancedtool.com/>.
- [44] R. Calzado, «Rd Calzado,» 2017. [En línea]. Available: <http://revistadelcalzado.com/tecnologia-cadcae-calzado-diseno-de-huellas-complejas-en-suelas/>.
- [45] IMAT, «IMAT,» 2016. [En línea]. Available: <https://imat.com.co/home/101-afiladora-universal-u2.html>.

- [46] Dormer, «Dormer,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.dormerpramet.com/es-es/products/milling/milling>.
- [47] S. Fresas, «Schneider Fresas,» 2017. [En línea]. Available: <http://www.schneiderfresas.com/velocidades-de-corte/>.
- [48] G. M. Luciani, «Gruppo Meccaniche Luciani,» 2019. [En línea]. Available: <https://gruppomeccanicheluciani.com/>.
- [49] W. C. Group, «WT Ceratizit Group,» [En línea]. Available: <https://www.wnt.com/es/herramientas-de-corte/wnt-restart-servicio-de-realilado/guia-restart-taladrado/tipos-de-desgaste-de-brocas-de-hss-y-mdi.html>.
- [50] S. Marysol, «Suelas Marysol,» 2019. [En línea]. Available: <http://www.suelasmarysol.com/>.

## LISTA DE ANEXOS

### ANEXO A. Especificaciones Centro de mecanizado Fadal VCM 15. 3 ejes

#### CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL CENTRO DE MECANIZADO VERTICAL FADAL 3016L

DESCRIPCIÓN	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS
MARCA	FADAL
MODELO	VMC 3016L
PROCEDENCIA	ESTADOS UNIDOS

#### CAPACIDAD DE MAQUINADO

Desplazamiento en el eje X	762 mm
Desplazamiento en el eje Y	406,4 mm
Desplazamiento en el eje Z	508 mm
Capacidad máxima de carga	1,241 kg

#### DIMENSIONES DE LA MESA DE TRABAJO

Tamaño de la mesa (X y Y)	990,6 x 406,4 mm
Ranuras T	3 x 14,25 mm x 110 mm
Distancia min. /máx. del centro de la mesa a la columna	22,5 min / 61 Max
Distancia de la mesa al piso	788 mm

#### HUSILLO PRINCIPAL

Potencia del Motor (pico):	11,2 KW
Potencia del Motor del husillo	11,2 KW
Max-Torque a la velocidad del motor (pico)	217 Nm
Fuerza de sujeción (portaherramientas)	907 kg
Cono interior	CAT ó BT 40
Distancia del husillo a la mesa (min. /máx.)	101,6 - 606,9 mm



Distancia del centro del husillo a la columna 406 mm

### **CAMBIADOR AUTOMATICO RÁPIDO DE HERRAMIENTAS**

Capacidad de almacenamiento 21 POSICIONES  
Selección de herramientas AL AZAR / BI-DIRECCIONAL  
Diámetro de la herramienta 76,2 mm  
Peso de herramienta 6,8 kg  
Longitud de herramienta 381 mm

### **PERFORMANCE**

Precisión de posicionamiento (viaje total)  $\pm 0,0050$  mm  
Repetitividad  $\pm 0,0025$  mm  
Resolución 0,0001 mm 0,0001° 0,0001"  
Movimiento rápido (X & Y) 22,8 (X / Y) 17,7 (Z) m/min  
Velocidad de avance ,01 - 10,16 m/min  
Otras potencialidades - Control de aceleración, - Refrigeración controlada en los 3 ejes, Guías modulares en X, Y, Z

### **DATOS GENERALES**

Altura 2,700 mm  
Ancho 2,490 mm  
Profundidad 1,955 mm  
Área de trabajo 762 mm x 406 mm  
Peso de la máquina 3,765 kg  
Potencia requerida (eléctrica) 40 / 45 Amp  
Voltaje 220 V TRIFASICO  
Frecuencia 60 Hz

## ANEXO B. Especificaciones del material de la herramienta HSS

### Mechanical properties

Young's modulus	221	-	232	GPa
Yield strength (elastic limit)	* 2e3	-	2,37e3	MPa
Tensile strength	* 2,23e3	-	2,58e3	MPa
Elongation	* 1,9	-	4,5	% strain
Compressive strength	* 2e3	-	2,37e3	MPa
Flexural modulus	* 221	-	232	GPa
Flexural strength (modulus of rupture)	* 2e3	-	2,37e3	MPa
Shear modulus	* 86	-	90	GPa
Bulk modulus	* 175	-	184	GPa
Poisson's ratio	0,285	-	0,295	
Shape factor	12			
Hardness - Vickers	700	-	840	HV
Hardness - Rockwell C	60	-	65	HRC
Fatigue strength at 10 <sup>7</sup> cycles	* 599	-	711	MPa
Fatigue strength model (stress range)	* 912	-	1,21e3	MPa

[Parameters:](#) Stress Ratio = -1, Number of Cycles = 2,5e4cycles

## ANEXO C. Especificaciones del aluminio, material del molde Aluminio

MATERIAL	RESISTENCIA A LA TENCIÓN(Kg/cm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA A LA CEDENCIA (Kg/cm <sup>2</sup> )	% DE ELONGACIÓN
<b>Al (Puro)</b>	457.40	175.92	60
<b>Al(Comercial)</b>	914.81	351.85	45
<b>Aleación de Al endurecida por solución solida</b>	1125.92	422.22	35
<b>Al trabajando en frio</b>	1688.88	1548.14	15
<b>Aleación de Al endurecida por dispersión</b>	2955.54	1548.14	35
<b>Aleación de Al endurecida por envejecimiento</b>	5840.72	175.92	11

Fuente: [22]

**ANEXO D. Ensayo de dureza, Aluminio reciclado**

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ENSAYO DE DUREZA			
<b>Tipo de estudio:</b>	Laboratorio	<b>Ensayo N°:</b>	1
Identificación del componente de estudio:		<b>Probeta N°:</b>	1
<b>Tipo de Arena:</b>	Nueva	<b>Humedad:</b>	8%
<b>Centro de estudio y análisis:</b>	Laboratorio de materiales - FICM		
<b>Solicitado por:</b>	UTA - FICM	<b>Fecha:</b>	05/04/2017
<b>Realizado por:</b>	Darwin Ortiz	<b>Supervisado por:</b>	Ing.Mg. Christian Castro
PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO			
<b>Lugar:</b>	Universidad Técnica de Ambato campus Huachi		
<b>Temperatura Ambiente:</b>	20°C	<b>Radiación:</b>	0.2W/m <sup>2</sup>
<b>Velocidad de aire circundante:</b>	0,1 m/seg	<b>Norma:</b>	ASTM E10

PARÁMETROS DE ENSAYO DE DUREZA				
<b>Método:</b>		Brinell		
<b>Tipo de Penetrador:</b>		2.5mm		
<b>Cantidad de carga aplicada</b>	612,9N (62,5Kgf)	<b>Tiempo de Ensayo</b>	25min	
DATOS DE LA PROBETA				
<b>Material:</b>	Aluminio			
<b>Químico usado</b>	Ninguno			
<b>Tiempo de acción del químico (min):</b>	Sin químico			
<b>Cantidad de químico:</b>	Ninguno			
<b>Dimensión (mm):</b>	30x30			
<b>Espesor (mm):</b>	6,23(1/4in)			
RESULTADOS DE ENSAYO				
Item	# de indentación	Ø de la indentación	Dureza HB	RESULTADOS
1	1	1,28	45,1	Diámetro de la huella 1,368, dureza de 40,18HB según catalogo
	2	1,47	33,4	
	3	1,4	37,1	
	4	1,28	45,1	
	5	1,41	40,2	

	Mínimo: 33,4	Máximo: 45,1	Promedio: 40,18	
Ítem	# de indentación	Ø de la indentación	Dureza HB	RESULTADOS
2	1	1,41	36,5	Diámetro de la huella 1,37, dureza de 38,66HB según catalogo
	2	1,42	36	
	3	1,29	44,4	
	4	1,33	41,5	
	5	1,44	34,9	
		Mínimo: 34,9	Máximo: 44,4	
3	1	1,38	38,3	Diámetro de la huella 1,336, dureza de 41,26HB según catalogo
	2	1,29	44,4	
	3	1,33	41,5	
	4	1,29	44,4	
	5	1,39	37,7	
		Mínimo: 37,7	Máximo: 44,4	

4	1	1,31	42,9	Diámetro de la huella 1,356, dureza de 40,14HB según catalogo
	2	1,28	45,1	
	3	1,32	42,2	
	4	1,39	37,7	
	5	1,48	32,8	
	Mínimo: 32,8	Máximo: 42,9	Promedio: 40,14	
5	1	1,49	32,3	Diámetro de la huella 1,46, dureza de 33,96HB según catalogo
	2	1,48	32,8	
	3	1,36	39,6	
	4	1,49	32,3	
	5	1,48	32,8	
	Mínimo: 32,3	Máximo: 39,6	Promedio: 33,96	
6	1	1,34	40,9	Diámetro de la huella 1,338, dureza de 41,28HB según catalogo
	2	1,23	49,2	
	3	1,4	37,1	
	4	1,36	39,6	
	5	1,36	39,6	
	Mínimo: 37,1	Máximo: 49,2	Promedio: 41,28	
7	1	1,41	36,5	Diámetro de la huella 1,372, dureza de 38,88HB según catalogo
	2	1,4	37,1	
	3	1,38	38,3	
	4	1,31	42,9	
	5	1,36	39,6	
	Mínimo: 36,5	Máximo: 42,9	Promedio: 38,88	

**Tabla 4-3:** Resultados de Ensayo de Dureza

Probeta sin adición de químico con arena nueva con Al puro al 8% de humedad								
Dureza Brinell	1	2	3	4	5	6	7	Promedio
	40,18	38,66	41,26	40,14	33,96	41,28	38,88	39,194HB

Fuente: [22]

**ANEXO E. Matriz de consistencia**

<b>PROBLEMAS</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>HIPÓTESIS</b>	<b>VARIABLES Y SUBVARIABLES</b>	<b>INDICADORES</b>	<b>METODOLOGIA TÉCNICAS E INSTRUMENTOS</b>
<b>PROBLEMA GENERAL</b>	<b>OBJETIVO GENERAL</b>	<b>HIPÓTESIS GENERAL</b>			Experimental Programación en la máquina CNC
Inadecuado <b>diseño de herramienta de forma</b> para mecanizado romboidal en <b>contrasalidas</b> en <b>moldes de suela</b> de <b>calzado</b> e inadecuados <b>parámetros de corte</b>	Mejorar el proceso de mecanizado de <b>contrasalidas</b> en <b>moldes de suelas de calzado</b> con la utilización de sistemas CAD/CAM/CNC, mediante el <b>diseño de una herramienta de forma</b> y la determinación de los <b>parámetros de corte adecuados</b> para asegurar la exactitud requerida de los productos obtenidos.	El <b>diseño de una herramienta de forma</b> en HSS y la determinación de los <b>parámetros de corte adecuados</b> permitirá incrementar la exactitud de mecanizado de <b>contrasalidas</b> en <b>moldes de suelas de calzado</b> mediante la utilización de sistemas CAD CAM CNC	Variable Independiente Parámetros de corte en aluminio para moldes de suela de calzado D1: Material del molde D2: Parámetros de corte D3: Profundidad de cavidad lateral	Velocidad de avance  Profundidad de corte lateral  Profundidad de cavidad lateral	Programación en la máquina CNC  Medición calibradores  Calibrador de espesores  Calibrador de profundidad  Observación directa.

PROBLEMA ESPECIFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECIFICOS			
<p>Los <b>ángulos de corte</b> son un factor determinante en una herramienta de mecanizado ya que un filo inadecuado produce una profundidad de cavidad lateral insuficiente en <b>moldes de aluminio</b>.</p> <p>Inadecuada <b>calidad superficial</b> en el mecanizado de contrasalidas romboidal en <b>moldes de suelas de calzado</b>.</p> <p>Inadecuados <b>parámetros de corte</b> provocan el desgaste prematuro de la herramienta que incide en un terminado inadecuado del <b>molde de calzado</b></p> <p>Insuficiente <b>número de filos</b> de la herramienta es causa de que la</p>	<p>Precisar <b>los ángulos de corte</b> son adecuados para una herramienta de mecanizado de contrasalidas romboidal en <b>moldes de aluminio</b> para suelas de calzado.</p> <p>Determinar la <b>calidad superficial</b> del proceso de mecanizado de contrasalidas romboidal en <b>moldes de suelas</b> de calzado.</p> <p>Establecer los <b>parámetros de corte</b> adecuados en el mecanizado de contrasalidas con herramienta de forma romboidal, para aumentar la vida útil de la herramienta en el proceso de mecanizado <b>moldes de suelas de calzado</b>.</p>	<p>La determinación de <b>ángulos adecuados de corte</b> en la herramienta permitirá desarrollar adecuadamente la cavidad del rombo en el <b>molde de calzado</b>.</p> <p>Es factible medir la <b>calidad superficial</b> de un mecanizado de contrasalida romboidal en <b>moldes de suelas de calzado</b>.</p> <p>Los <b>parámetros adecuados de corte</b> en mecanizado de contrasalidas con <b>herramientas de forma</b> romboidal influyen en la vida útil de la misma.</p> <p>Definir un <b>número de filos adecuada</b> para la herramienta de contrasalida lateral influirá en la</p>	<p>Variable Dependiente Diseño de la herramienta de forma romboidal D1: Ángulos de corte D2: Material herramienta D3: Número de filos</p> <p>Variable Interviniente Moldes de suelas de calzado</p>	<p>Ángulo de corte de la herramienta</p> <p>Material del molde (Aluminio)</p> <p>Refrigerante</p>	<p>Afilador de buriles Calibrador Galgas</p> <p>Durómetro Catálogo</p> <p>Observación directa. Experimental</p>

<p>herramienta se desgaste prematuramente y se produzca una profundidad de <b>cavidad de molde</b> inadecuada</p> <p><b>Material de la herramienta</b> de mecanizado inadecuada, entre más dureza de la herramienta se produce una rotura más rápida según los <b>parámetros de corte</b> utilizados</p>	<p>Definir la <b>profundidad de corte lateral</b> por pasada de la cavidad en función del número de <b>filos de la herramienta</b>.</p> <p>Determinar los <b>parámetros de corte</b> adecuados en función del material de la herramienta a utilizar para el mecanizado de <b>moldes de calzado en aluminio</b></p>	<p><b>profundidad de corte lateral</b> por pasada</p> <p>La selección de un <b>material de herramienta</b> adecuado permitirá determinar los <b>parámetros de corte</b> adecuados para el mecanizado de <b>molde de calzado en aluminio</b></p>			
--	--	---	--	--	--

Elaborado por: Ing. Juan Muquinche



## ANEXO F. Especificaciones de instrumento de medición



Tolerancia	0.002" (0.05mm)
Capacidad máxima	6" (150mm)
Capacidad mínima	0.005" (0.01mm)
Temperatura de operación	0 a 40 °C
Temperatura de almacenamiento	-20 °C a 70 °C
Longitud total	230 mm
Ancho de la bayoneta	3 mm
Batería	1,5 V
Empaque	Blister

Fuente: [23]

## ANEXO G. Especificaciones del refrigerante de mecanizado (taladrina)

# LUBRIPOWER SOLUBLE 100

### CARACTERISTICAS

Viscosidad 40°C	40+/-10
Apariencia	Líquido brillante color café
Densidad (25 °c g/ml)	0.9 + / - 0.05
PH @ 5% (agua destilada)	8.9 – 9.5

### CONDICIONES DE USO

Se usa en dilución con agua en concentraciones que varían del 5 al 10 % en volumen, dependiendo de la aplicación. Genera emulsiones lechosas, se puede adicionar directamente al depósito de la máquina con agitación (aceite al agua), premezclado, o utilizando equipo mezclador – dosificador.

Utilizar refractómetro: Para determinar la concentración de la emulsión se lee directamente de la escala que indique el refractómetro (en grados Brix). Asegurarse que el refractómetro este calibrado (0% al analizar agua destilada). Remover contaminantes gruesos de la emulsión de trabajo antes de analizarla.

### ALMACENAMIENTO, MANEJO Y PRECAUCIONES

Almacene en lugar seco y bajo techo; evite exponer el material a condiciones de temperatura extremas. Mantenga el contenedor cerrado cuando no esté en uso. Observar prácticas de higiene y seguridad generalmente aceptadas en todo momento durante su manejo (guantes, lentes de seguridad).

## ANEXO H. Especificaciones del polímero de inyección PVC

<b>Propiedades Físicas</b>	
Fuerza de Tensión	2.60 N/mm <sup>2</sup>
resistencia al Impacto con Muecas	2.0 - 45 Kj/m <sup>2</sup>
coeficiente Térmico de Expansión	80 x 10 <sup>-6</sup>
Max Cont Uso Temp	60 oC
Densidad	1.38 g/cm <sup>3</sup>
<b>Resistencia a Químicos</b>	
Ácido Diluido	Muy Buena
Alcalinos Diluidos	Muy Buena
Aceites y Grasas	Buena (variable)
Hidrocarburos Alifáticos	Muy Buena
Hidrocarburos Aromáticos	Poor
Hidrocarburos Halogenados	Moderada (variable)
Alcoholes	Buena (variable)

### Características del Cloruro de Polivinilo

Estas son algunas de las propiedades que hacen que el PVC sea apropiado para diferentes aplicaciones:

- Dureza, fuerza.
- Facilidad de mezcla, facilidad de procesamiento
- Resistencia al fuego y propiedades de prevención de incendios

Por ejemplo, el PVC es difícil de encender y en la ausencia de un factor inflamable externo no continuará quemándose. Esto es debido al componente de cloruro. Esto lo hace ideal para la construcción y el material de cableado.

- Es compatible con otros aditivos que pueden proporcionar claridad o color al PVC, rigidez o flexibilidad, etc.
- Excelentes propiedades de aislamiento eléctrico. Esto lo hace ideal para usar en cables.
- Fuerza contra impactos y resistencia a malas condiciones climáticas (ej. No se corroe y es muy durable), apropiado para ser usado como un material de construcción.
- Resistencia a grasas, aceites y productos químicos.
- El PVC es químicamente estable y no se despolimeriza.
- Densidad: 1,32 – 1,42 g/cc

Fuente: [24]

## ANEXO I. Especificaciones de la inyectora

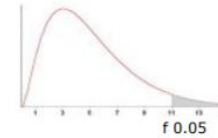
Modelo	JND1680	JND2280	JND2680	JND3280	JND3980
Unidad de inyección					
Diámetro de tornillo (mm)	50	60	70	75	80
Relación L/D de tornillo	25	25	25	25	25
Volumen de tiro (Teórico) (cm <sup>3</sup> )	491	780	1100	1502	1689
Peso de inyección (PET) (g)	520	826	1166	1590	1788
Índice de inyección (g/s)	175	273	380	350	446
Capacidad de plastificación (g/446s)	30	49	60	71	70
Presión de inyección (Mpa)	128	147	147	146	152
Velocidad de tornillo (rpm)	0-150	0-180	0-190	0-160	0-165
Unidad de sujeción					
Fuerza de sujeción (kn)	1680	2280	2680	3280	3980
Recorrido de placa de molde móvil (mm)	430	480	550	670	700
Especio entre barras de union (mm)	460x460	510x510	570x570	660x660	720x720
Altura máx. de molde (mm)	480	550	600	680	800
Altura mín. de molde (mm)	180	200	230	240	280
Recorrido de eyector (mm)	120	140	150	160	160
Fuerza de eyector (kN)	40	65	65	65	110
Número de eyector (Pieza)	5	9	9	13	13
Otros					
Presión máx. de bomba (Mpa)	16	16	16	16	16
Potencia de motor de bomba (kw)	15	22	30	37	37
Potencia de calentador (kw)	13	16.5	21.5	23.8	24.8
Dimensión de máquina (LxAxA) (m)	5.0x1.4x2.1	6.0x1.4x3.2	6.1x1.5x2.2	6.9x1.7x2.5	7.1x1.9x2.5
Peso de máquina (t)	5.4	6.9	8.0	12.0	15.7
Capacidad de tolva (L)	25	50	50	50	50
Capacidad de tanque de aceite (L)	250	320	580	730	750

Fuente: Empresa Figueroa

# ANEXO J. Valores de distribución F

Cátedra: Probabilidad y Estadística  
 Facultad Regional Mendoza  
 UTN

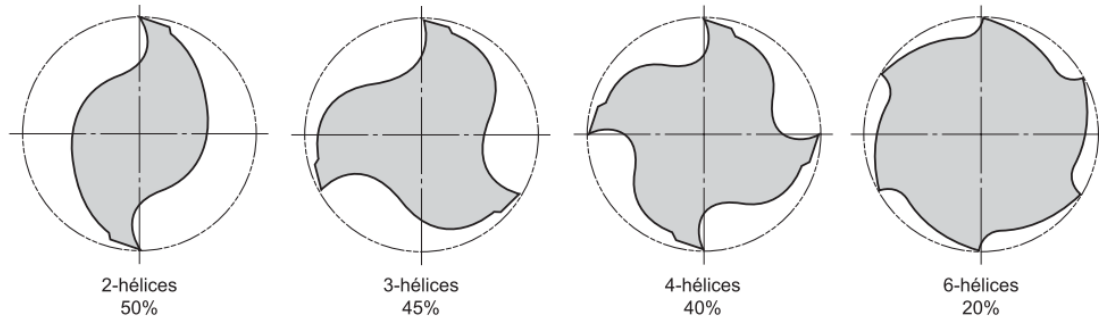
**Tabla D.9: VALORES CRÍTICOS DE LA DISTRIBUCIÓN F (0,05)**



g.d.l		Grados de libertad del Numerador														g.d.l	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14		15
Grados de libertad del Denominador	1	161,4	199,5	215,7	224,6	230,2	234,0	236,8	238,9	240,5	241,9	243,0	243,9	244,7	245,4	245,9	1
	2	18,513	19,000	19,164	19,247	19,296	19,330	19,353	19,371	19,385	19,396	19,405	19,413	19,419	19,424	19,429	2
	3	10,128	9,552	9,277	9,117	9,013	8,941	8,887	8,845	8,812	8,786	8,763	8,745	8,729	8,715	8,703	3
	4	7,709	6,944	6,591	6,388	6,256	6,163	6,094	6,041	5,999	5,964	5,936	5,912	5,891	5,873	5,858	4
	5	6,608	5,786	5,409	5,192	5,050	4,950	4,876	4,818	4,772	4,735	4,704	4,678	4,655	4,636	4,619	5
	6	5,987	5,143	4,757	4,534	4,387	4,284	4,207	4,147	4,099	4,060	4,027	4,000	3,976	3,956	3,938	6
	7	5,591	4,737	4,347	4,120	3,972	3,866	3,787	3,726	3,677	3,637	3,603	3,575	3,550	3,529	3,511	7
	8	5,318	4,459	4,066	3,838	3,687	3,581	3,500	3,438	3,388	3,347	3,313	3,284	3,259	3,237	3,218	8
	9	5,117	4,256	3,863	3,633	3,482	3,374	3,293	3,230	3,179	3,137	3,102	3,073	3,048	3,025	3,006	9
	10	4,965	4,103	3,708	3,478	3,326	3,217	3,135	3,072	3,020	2,978	2,943	2,913	2,887	2,865	2,845	10
	11	4,844	3,982	3,587	3,357	3,204	3,095	3,012	2,948	2,896	2,854	2,818	2,788	2,761	2,739	2,719	11
	12	4,747	3,885	3,490	3,259	3,106	2,996	2,913	2,849	2,796	2,753	2,717	2,687	2,660	2,637	2,617	12
	13	4,667	3,806	3,411	3,179	3,025	2,915	2,832	2,767	2,714	2,671	2,635	2,604	2,577	2,554	2,533	13
	14	4,600	3,739	3,344	3,112	2,958	2,848	2,764	2,699	2,646	2,602	2,565	2,534	2,507	2,484	2,463	14
	15	4,543	3,682	3,287	3,056	2,901	2,790	2,706	2,641	2,588	2,544	2,507	2,475	2,448	2,424	2,403	15
	16	4,494	3,634	3,239	3,007	2,852	2,741	2,657	2,591	2,538	2,494	2,456	2,425	2,397	2,373	2,352	16
	17	4,451	3,592	3,197	2,965	2,810	2,699	2,614	2,548	2,494	2,450	2,413	2,381	2,353	2,329	2,308	17
	18	4,414	3,555	3,160	2,928	2,773	2,661	2,577	2,510	2,456	2,412	2,374	2,342	2,314	2,290	2,269	18
	19	4,381	3,522	3,127	2,895	2,740	2,628	2,544	2,477	2,423	2,378	2,340	2,308	2,280	2,256	2,234	19
	20	4,351	3,493	3,098	2,866	2,711	2,599	2,514	2,447	2,393	2,348	2,310	2,278	2,250	2,225	2,203	20
	21	4,325	3,467	3,072	2,840	2,685	2,573	2,488	2,420	2,366	2,321	2,283	2,250	2,222	2,197	2,176	21
	22	4,301	3,443	3,049	2,817	2,661	2,549	2,464	2,397	2,342	2,297	2,259	2,226	2,198	2,173	2,151	22
	23	4,279	3,422	3,028	2,796	2,640	2,528	2,442	2,375	2,320	2,275	2,236	2,204	2,175	2,150	2,128	23
	24	4,260	3,403	3,009	2,776	2,620	2,508	2,422	2,355	2,300	2,255	2,216	2,183	2,155	2,130	2,108	24
	25	4,242	3,385	2,991	2,759	2,603	2,490	2,405	2,337	2,282	2,236	2,198	2,165	2,136	2,111	2,089	25
	26	4,225	3,369	2,975	2,743	2,587	2,474	2,388	2,321	2,265	2,220	2,181	2,148	2,119	2,094	2,072	26
	27	4,210	3,354	2,960	2,728	2,572	2,459	2,373	2,305	2,250	2,204	2,166	2,132	2,103	2,078	2,056	27
	28	4,196	3,340	2,947	2,714	2,558	2,445	2,359	2,291	2,236	2,190	2,151	2,118	2,089	2,064	2,041	28
	29	4,183	3,328	2,934	2,701	2,545	2,432	2,346	2,278	2,223	2,177	2,138	2,104	2,075	2,050	2,027	29
	30	4,171	3,316	2,922	2,690	2,534	2,421	2,334	2,266	2,211	2,165	2,126	2,092	2,063	2,037	2,015	30
	31	4,160	3,305	2,911	2,679	2,523	2,409	2,322	2,255	2,199	2,153	2,114	2,080	2,051	2,026	2,003	31
32	4,149	3,295	2,901	2,668	2,512	2,399	2,312	2,244	2,189	2,142	2,103	2,070	2,040	2,015	1,992	32	
33	4,139	3,285	2,892	2,659	2,503	2,389	2,302	2,235	2,179	2,133	2,093	2,060	2,030	2,004	1,982	33	
34	4,130	3,276	2,883	2,650	2,494	2,380	2,293	2,225	2,170	2,123	2,084	2,050	2,021	1,995	1,972	34	
35	4,121	3,267	2,874	2,641	2,485	2,372	2,285	2,217	2,161	2,114	2,075	2,041	2,012	1,986	1,963	35	
40	4,085	3,232	2,839	2,606	2,449	2,336	2,249	2,180	2,124	2,077	2,038	2,003	1,974	1,948	1,924	40	
60	4,001	3,150	2,758	2,525	2,368	2,254	2,167	2,097	2,040	1,993	1,952	1,917	1,887	1,860	1,836	60	
80	3,960	3,111	2,719	2,486	2,329	2,214	2,126	2,056	1,999	1,951	1,910	1,875	1,845	1,817	1,793	80	
90	3,947	3,098	2,706	2,473	2,316	2,201	2,113	2,043	1,986	1,938	1,897	1,861	1,830	1,803	1,779	90	
100	3,936	3,087	2,696	2,463	2,305	2,191	2,103	2,032	1,975	1,927	1,886	1,850	1,819	1,792	1,768	100	
120	3,920	3,072	2,680	2,447	2,290	2,175	2,087	2,016	1,959	1,910	1,869	1,834	1,803	1,775	1,750	120	

## ANEXO K. Numero de filos de corte

### COMPARACIÓN DE LA FORMA DEL ÁREA DE DESPRENDIMIENTO DE LA VIRUTA



### CARACTERÍSTICAS Y APLICACIONES DE LOS DIFERENTES NÚMEROS DE HELICES DE LAS FRESAS

		2-hélices	3-hélices	4-hélices	6-hélices
Características	Ventajas	Excelente desprendimiento de la viruta. El taladrado es fácil.	Excelente desprendimiento de la viruta. Aconsejable para trabajar en plunge.	Alta rigidez	Alta rigidez Mayor duración del filo de corte
	Fallos	Baja rigidez	No es fácil medir el diámetro.	Mal desprendimiento de la viruta.	Mala evacuación de virutas
Utilización		Ranurar, Fresado lateral, Plunge. Se utiliza todo el ancho.	Ranurar, Fresado Lateral Corte Fuerte , Acabado	Ranurado superficial, fresado canteado Acabado	Para material a mecanizar de gran dureza. Principalmente fresado lateral.

Fuente: [25]

## ANEXO L. Final de filo de corte

Tipo	Figura	Características
Acabado en escuadra (Con agujero en el centro)		Se utiliza generalmente para fresado lateral, ranurado y fresado escuadrado. No es posible el corte en plunge debido a que el agujero en el centro se utiliza para asegurar la precisión de afilado y reafileado de la herramienta.
Final en escuadra (Corte al centro)		Se utiliza generalmente para fresado lateral, ranurado y fresado escuadrado. El corte en plunge es posible para obtener mayor eficiencia en el corte y utilizando pocas hélices. Puede reafilearse el flanco frontal.
Final en punta de bola		Geometría muy aconsejable para fresado de superficies curvas. En la punta de la herramienta el canal de evacuación de la viruta es muy pequeña, luego hay una insuficiente evacuación de esta.
Final de radio con ángulo		Utilizado para radio con perfil y fresado con radio. Cuando el paso en fresado es con fresas de diámetros grandes y radios pequeños se puede utilizar de forma eficiente.

Fuente: [25]

## ANEXO M. Fuerza de corte para diferentes materiales.

### ■ FUERZA DE CORTE ( $P_c$ )

$$P_c = \frac{ap \cdot ae \cdot vf \cdot K_c}{60 \times 10^6 \times \eta}$$

$P_c$  (kW) : Potencia actual  
 $ae$  (mm) : Ancho de corte  
 $K_c$  (MPa) : Fuerza de corte específica  
 $ap$  (mm) : Profundidad de corte  
 $vf$  (mm/min) : Avance de mesa por min.  
 $\eta$  : (Coeficiente de máquina)

(Problema) ¿Cuál es la potencia requerida para el fresado de acero para herramientas a una velocidad de 80m/min.?

Cuando la profundidad de corte es 2mm, ancho de corte 80mm y el avance de mesa 280mm/min en una fresa de con 12 placas.

Coeficiente de máquina 80%.

(Contestación) Primero, calcule las revoluciones para obtener el avance por diente.

$$n = \frac{1000vc}{\pi D_1} = \frac{1000 \times 80}{3.14 \times 250} = 101.91 \text{ min}^{-1}$$

$$\text{Avance por diente } fz = \frac{vf}{z \times n} = \frac{280}{12 \times 101.9} = 0.228 \text{ mm/diente}$$

Sustituir la fuerza de corte específica en la fórmula.

$$P_c = \frac{2 \times 80 \times 280 \times 1800}{60 \times 10^6 \times 0.8} = 1.68 \text{ kW}$$

### ● $K_c$

Material	Resistencia a la tracción (MPa) y dureza	Fuerza de corte específica $K_c$ (MPa)				
		0.1mm/diente	0.2mm/diente	0.3mm/diente	0.4mm/diente	0.6mm/diente
Acero dulce	520	2200	1950	1820	1700	1580
Acero medio	620	1980	1800	1730	1600	1570
Acero duro	720	2520	2200	2040	1850	1740
Acero para herramientas	670	1980	1800	1730	1700	1600
Acero para herramientas	770	2030	1800	1750	1700	1580
Acero al cromo-manganeso	770	2300	2000	1880	1750	1660
Acero al cromo-manganeso	630	2750	2300	2060	1800	1780
Acero al cromo-molibdeno	730	2540	2250	2140	2000	1800
Acero al cromo-molibdeno	600	2180	2000	1860	1800	1670
Acero al cromo-niquel-molibdeno	940	2000	1800	1680	1600	1500
Acero al cromo-niquel-molibdeno	352HB	2100	1900	1760	1700	1530
Acero inoxidable austenítico	155HB	2030	1970	1900	1770	1710
Fundición	520	2800	2500	2320	2200	2040
Fundición dura	46HRC	3000	2700	2500	2400	2200
Fundición meehanita	360	2180	2000	1750	1600	1470
Fundición gris	200HB	1750	1400	1240	1050	970
Latón	500	1150	950	800	700	630
Aleación ligera (Al-Mg)	160	580	480	400	350	320
Aleación ligera (Al-Si)	200	700	600	490	450	390
Aleación ligera (Al-Zn-Mg-Cu)	570	880	840	840	810	720

Fuente: [25]



**ANEXO N. Ensayos procesos experimental**



Ensayos placa experimental N°1

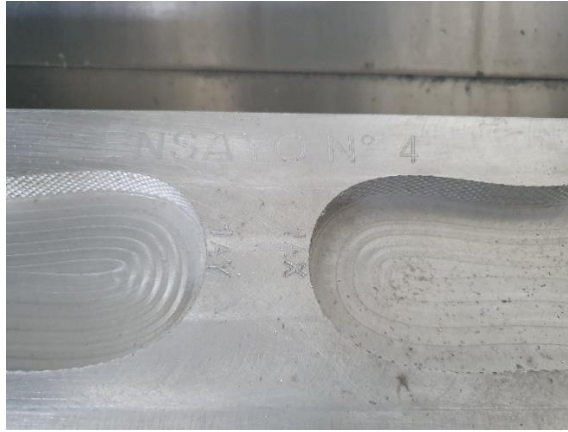


Ensayos placa experimental N°2

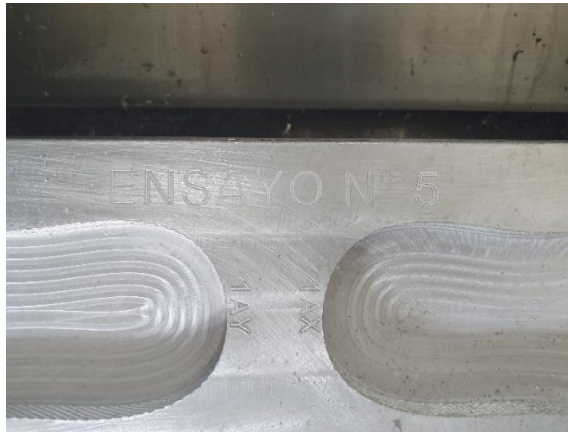


Ensayos placa experimental N°3





Ensayos placa experimental N°4



Ensayos placa experimental N°5

**ANEXO O. Planos de la herramienta**