



FACULTAD ARQUITECTURA E INGENIERIAS

Trabajo de fin de Carrera titulado:

**CARACTERIZACIÓN DE CONDICIONES DE CORTE POR
ARRANQUE DE VIRUTA EN DIFERENTES MADERAS NATIVAS
COMERCIALIZADAS EN EL ECUADOR PARA LA FABRICACIÓN DEL
MOLDE PROTOTIPO DE INYECCIÓN DE PLÁSTICO**

Realizado por:

Fabricio Salgado Parra

Director del proyecto:

Ing. Diana Belén Peralta Zurita, MSc, PhD (c)

Como requisito para la obtención del título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

QUITO, febrero del 2025

DECLARACIÓN JURAMENTADA

Yo, Fabricio Salgado Parra, ecuatoriano, con Cédula de ciudadanía N° 1727364133, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional, y se basa en las referencias bibliográficas descritas en este documento.

A través de esta declaración, cedo los derechos de propiedad intelectual a la

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, reglamento y normativa institucional vigente.



Fabricio Salgado Parra

C.I.: 1727364133

DECLARACIÓN DEL DIRECTOR DE TESIS

Declaro haber dirigido este trabajo a través de reuniones periódicas con el estudiante, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación.

Ing. Diana Belén Peralta Zurita, MSc, PhD (c)

LOS PROFESORES INFORMANTES:

Ing. Jaime Vinicio Molina Osejos, MSc

Ing. María Gabriela Mancheno Falconí, MSc

Después de revisar el trabajo presentado lo han calificado como apto para su defensa oral ante el tribunal examinador.

Ing. María Gabriela Mancheno Falconí, MSc

Ing. Jaime Vinicio Molina Osejos, MSc

Quito, 27 de febrero de 2025

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.



Fabricio Salgado Parra

C.I.: 1727364133

Resumen

El presente trabajo de titulación se centra en la caracterización de condiciones de corte por arranque de viruta en maderas nativas comerciales del Ecuador, con el objetivo de fabricar moldes prototipo de inyección de plástico para piezas automotrices. La investigación busca explorar alternativas no convencionales y económicas a los materiales tradicionales utilizados en la industria automotriz. La metodología empleada incluyó una revisión bibliográfica exhaustiva para identificar y evaluar las propiedades físico-mecánicas de cinco tipos de madera: Canelo, Colorado, Fernán Sánchez, Mascarey y Seike. Se inició un protocolo de secado basado en la normativa EN 13183-1, utilizando un horno de convección. Las condiciones de corte se determinaron mediante un diseño experimental, evaluando parámetros como velocidad de corte, avance y profundidad de corte. Para la madera de colorado, seleccionada como la especie óptima, se empleó velocidades de corte entre 26.38–120.63 m/min, avances por dientes de 0.03–0.07 mm y profundidades de corte de 1–8 mm, utilizando fresas HSS de 4 dientes. La rugosidad superficial se midió con un rugosímetro Mitutoyo Surftest SJ. Los resultados mostraron que la madera de colorado presentó el mejor acabado superficial, con una rugosidad promedio (R_a) de 2.806 micras, cumpliendo los estándares para moldes automotrices ($R_a < 3.2 \mu\text{m}$). Se fabricó un molde prototipo para la cubierta de bisagra de la puerta trasera del Chevrolet Grand Vitara SQ420 2.0 SUV 2WD utilizando mecanizado CNC en un centro Luyong VMC420. La prueba funcional del molde, realizada con resina MEKP, demostró un llenado uniforme y una reproducción precisa de los detalles del diseño, validando la presión de inyección aplicada (8–10 MPa) y el tiempo de curado (72 h). Esta investigación valida la viabilidad de utilizar maderas nativas del Ecuador en aplicaciones industriales de alta precisión, proporcionando una base

sólida para futuras investigaciones en la fabricación de moldes prototipo de inyección de plástico para la industria automotriz.

Palabras clave

Mecanizado CNC, parámetros de corte, moldes de inyección de plástico, manufactura automotriz.

Abstract

This thesis focuses on characterizing chip removal cutting conditions in commercial native woods of Ecuador, aiming to manufacture prototype plastic injection molds for automotive parts. The research explores unconventional and economical alternatives to traditional materials used in the automotive industry. The methodology included an exhaustive literature review to identify and evaluate the physical-mechanical properties of five wood types: Canelo, Colorado, Fernán Sánchez, Mascarey, and Seike. A drying protocol based on EN 13183-1 standard was initiated using a convection oven. Cutting conditions were determined through an experimental design, evaluating parameters such as cutting speed, feed rate, and cutting depth. For Colorado wood, selected as the optimal species, cutting speeds between 26.38–120.63 m/min, tooth feeds of 0.03–0.07 mm, and cutting depths of 1–8 mm were established, using 4-tooth HSS cutters. Surface roughness was measured using a Mitutoyo Surftest SJ roughness tester. Results showed that Colorado wood presented the best surface finish, with an average roughness (R_a) of 2.806 microns, meeting automotive mold standards ($R_a < 3.2 \mu\text{m}$). A prototype mold for the rear door hinge cover of the Chevrolet Grand Vitara SQ420 2.0 SUV 2WD was manufactured using CNC machining on a Luyong VMC420 center. The functional test of the mold, performed with MEKP

resin, demonstrated uniform filling and precise reproduction of design details, validating the applied injection pressure (8–10 MPa) and curing time (72 h). This research validates the feasibility of using native Ecuadorian woods in high-precision industrial applications, providing a solid foundation for future research in manufacturing prototype plastic injection molds for the automotive industry.

Keywords

CNC machining, cutting parameters, plastic injection molds, automotive manufacturing.

Lista de contenido

DECLARACIÓN JURAMENTADA.....	ii
DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE	v
Introducción	1
Antecedentes	4
Planteamiento del Problema	8
Justificación	10
Objetivos.....	12
Hipótesis	13
Estado del arte.....	14
Moldes de inyección de plástico	14
Caracterización de maderas	23
Fabricación, dimensionamiento y procesamiento de probetas.	35
Protocolo de secado y equipo empleado.	39
Condiciones de corte por arranque de viruta.....	42
Diseño de método experimental.....	48
Métodos y medidas de rugosidad.....	51
Diseño y simulación en software CAD/CAM.....	54
Mecanizado de moldes de inyección de plástico en la industria automotriz	56
Inyección de plástico procedimiento y aspectos técnicos clave	58

Comportamiento de materiales de inyección.....	61
Metodología	63
Caracterización de propiedades físicas - mecánicas de maderas	67
Delimitación de parámetros	67
Selección de maderas	70
Preparación de muestras	73
Elaboración y Dimensionamiento de Probetas	73
Etiquetado de probetas.....	75
Pesaje de muestras y elaboración de tabla de datos	76
Secado al horno de probetas mediante protocolo estipulado	77
Protocolo de secado	77
Configuración del horno	78
Colocación de probetas	78
Etapas de secado en horno de convección.....	79
Dsecación	80
Pesaje de muestras hasta alcanzar un peso constante.....	81
Caracterización de condiciones de corte	84
Diseño de método experimental.....	84
Diseño de molde y simulación.....	13
Mecanizado del molde prototipo	29
Inyección en frío y fabricación de pieza.	58
Resultados	64

Discusión de Resultados	88
Conclusiones	99
Recomendaciones	103
Referencias.....	106
Anexos	122

Lista de tablas

Tabla 1 <i>Polímeros en la industria automotriz</i>	15
Tabla 2 <i>Caracterización de maderas por propiedades físicas y mecánicas.....</i>	32
Tabla 3 <i>Caracterización de maderas por propiedades físicas y mecánicas.....</i>	72
Tabla 4 <i>Peso promedio, porcentajes de humedad antes y después de secado.....</i>	83
Tabla 5 <i>Tolerancia de rugosidad para moldes de inyección de plástico.....</i>	8
Tabla 6 <i>Resumen de rugosidad obtenida</i>	71
Tabla 7 <i>Condiciones de corte para madera con fresa HSS de 4mm</i>	77
Tabla 8 <i>Condiciones de corte para madera con fresa HSS de 10mm</i>	78
Tabla 9 <i>Condiciones de corte para madera con fresa HSS de 16mm</i>	79
Tabla 10 <i>Biblioteca de herramientas.....</i>	81

Lista de ilustraciones

Ilustración 1 <i>Eficiencia peso - combustible</i>	16
Ilustración 2 <i>Molde para inyección de termoplástico</i>	19
Ilustración 3 <i>Molde de madera</i>	24
Ilustración 4 <i>Tablones de madera nativa ecuatoriana</i>	35
Ilustración 5 <i>Probeta de madera según normativa específica</i>	37
Ilustración 6 <i>Horno de convección Daihan Scientific, modelo WOF-105</i>	40
Ilustración 7 <i>Desecador</i>	41
Ilustración 8 <i>Rugosímetro Mitutoyo Surfest SJ</i>	52
Ilustración 9 <i>Acabados superficiales de mecanizado CNC</i>	54
Ilustración 10 <i>Aserraderos locales ciudad de Quito</i>	71
Ilustración 11 <i>Dimensiones de probetas</i>	73
Ilustración 12 <i>Probeta de madera de Seike según normativa ASTM D143</i>	74
Ilustración 13 <i>Etiquetado de probetas</i>	76
Ilustración 14 <i>Distribución de probetas en horno de convección</i>	78
Ilustración 15 <i>Desecadores empleados en protocolo de secado</i>	80
Ilustración 16 <i>Probetas almacenadas en desecador</i>	81
Ilustración 17 <i>Código CNC empleado</i>	86
Ilustración 18 <i>Cortes en probeta con fresa de 4mm</i>	89
Ilustración 19 <i>Cortes en probeta con fresa de 10mm</i>	90

Ilustración 20	<i>Cortes en probeta con fresa de 16mm.....</i>	91
Ilustración 21	<i>Probeta en rugosímetro Mitutoyo Surfes SJ</i>	9
Ilustración 22	<i>Grafico comparativo de rugosidad</i>	11
Ilustración 23	<i>Boceto de tapa bisagra Chevrolet Grand Vitara</i>	13
Ilustración 24	<i>Sketch inicial de diseño de tapa</i>	14
Ilustración 25	<i>Diseño de parte delantera y trasera de tapa.....</i>	15
Ilustración 26	<i>Diseño de molde núcleo - cavidad</i>	17
Ilustración 27	<i>Ejes de centro de mecanizado</i>	19
Ilustración 28	<i>Configuraciones generales de herramental.</i>	20
Ilustración 29	<i>Configuraciones específicas de herramental</i>	20
Ilustración 30	<i>Configuraciones de condiciones de corte</i>	22
Ilustración 31	<i>Simulación de mecanizado sin errores.....</i>	30
Ilustración 32	<i>Centro de mecanizado de laboratorio industrial</i>	31
Ilustración 33	<i>Post procesamiento de código.....</i>	32
Ilustración 34	<i>Código de inicio y cierre compatibles con centro de mecanizado.....</i>	33
Ilustración 35	<i>Configuración de puerto de recepción de datos</i>	35
Ilustración 36	<i>Directorio de recepción de programas</i>	36
Ilustración 37	<i>Selección de programa a mecanizar</i>	37
Ilustración 38	<i>Apertura de programa a mecanizar</i>	38
Ilustración 39	<i>Delimitación de cero piezas</i>	40
Ilustración 40	<i>Montaje de material.....</i>	42
Ilustración 41	<i>Configuración de G54</i>	44

Ilustración 42 <i>Posicionamiento de husillo</i>	46
Ilustración 43 <i>Mecanizado de molde cavidad</i>	48
Ilustración 44 <i>Mecanizado de molde</i>	50
Ilustración 45 <i>Molde núcleo primera etapa</i>	51
Ilustración 46 <i>Molde núcleo y cavidad culminados</i>	53
Ilustración 47 <i>Prueba de funcionamiento</i>	54
Ilustración 48 <i>Prueba de funcionamiento con masa plástica</i>	55
Ilustración 49 <i>Prueba con masa plástica</i>	56
Ilustración 50 <i>Molde prototipo</i>	57
Ilustración 51 <i>Fabricación de barrenos</i>	58
Ilustración 52 <i>Encerado de moldes</i>	59
Ilustración 53 <i>Prueba de resina, estireno, cobalto y mek</i>	60
Ilustración 54 <i>Entrada de material</i>	61
Ilustración 55 <i>Molde sellado para solidificación</i>	62
Ilustración 56 <i>Pieza resultante antes y después de desmoldeo</i>	63
Ilustración 57 <i>Biblioteca de herramientas y operaciones</i>	80

Lista de ecuaciones

Ecuación 1 <i>Velocidad de husillo</i>	43
Ecuación 2 <i>Velocidad de corte</i>	43
Ecuación 3 <i>Avance de herramienta</i>	44
Ecuación 4 <i>Avance por diente</i>	44
Ecuación 5 <i>Profundidad de corte</i>	45

Lista de anexos

Anexo A <i>Tabla de control de secado de probetas</i>	122
Anexo B <i>Código NC Molde núcleo</i>	130
Anexo C <i>Código NC cavidad</i>	130