DESARROLLO DE UN BIOPOLÍMERO A BASE DE COLÁGENO PARA APLICACIONES AUTOMOTRICES

TESIS

PARA OBTENER EL GRADO DE

DOCTOR EN
MANUFACTURA AVANZADA

PRESENTA

M.I. ROMÁN DANIEL ROMERO MITRE
ASESOR: DR. JOSÉ VÍCTOR GALAVIZ RODRÍGUEZ

CD. SAHAGÚN, HIDALGO, ABRIL, 2019.

CARTA DE LIBERACIÓN DEL ASESOR

CIATEQ

16 de noviembre de 2018

Mtro. Geovany González Carlos
Coordinador Académico

Los abajo firmantes, miembros del Comité Tutorial del alumno M.I. ROMAN DANIEL ROMERO MITRE, una vez revisada la Tesis o tesina titulada: " Diseño y fabricación de accesorio automatriz ajustable", autorizamos que el citado trabajo sea presentado por el alumno para la revisión del mismo con el fin de alcanzar el grado de Doctor en Manufactura Avanzada, durante el Examen de Titulación correspondiente.

Y para que así conste se firma la presente a los 16 días de noviembre del año 2018.

Dr. José Víctor Galaviz Rodríguez
Asesor Académico

Ing. Benjamín Hernández Torres
Asesor en Planta

CUERPO ACADÉMICO
Ingeniería de Procesos

CARTA DE LIBERACIÓN DEL REVISOR

CIATEQ

Santiago de Querétaro, Qro.de 12 de abril del 2019

Dra. María Guadalupe Navarro Rojero
Directora
Posgrado CIATEQ

Por medio de la presente me estoy dirigiendo a Ud. de la manera más atenta, de que fui designado como revisor del trabajo de tesis del (la) **M.I. Román Daniel Romero Mitre**, del trabajo titulado:

"DESARROLLO DE UN BIOPOLÍMERO A BASE DE COLÁGENO PARA APLICACIONES AUTOMOTRICES"

Después de haber leído, corregido e intercambiado información con el (la) estudiante antes mencionado(a), el trabajo de tesis que me fue entregado y haciendo resaltar que el (la) estudiante realizó todos los cambios que le fueron sugeridos a la tesis, ésta puede ser autorizada para su publicación y que de esta manera pueda iniciar los trámites correspondientes para iniciar el proceso de titulación.

Sin otro particular por el momento y en espera de que mis sugerencias sean tomadas en cuenta y en beneficio del estudiante y la institución, agradezco la atención que se sirva prestar a la presente.

Atentamente,

Raúl P.B.

Dr. Raúl Pérez Bustamante

CARTA DE LIBERACIÓN DEL REVISOR

CIATEQ

San Luis Potosí, S.L.P.
3 de abril del 2019

Dra. María Guadalupe Navarro Rojero
Directora
Posgrado CIATEQ
PRESENTE.

Por medio de la presente me estoy dirigiendo a Ud. de la manera más atenta, de que fui designado como revisor del trabajo de tesis del **M.I. ROMÁN DANIEL ROMERO MITRE**, del trabajo titulado:

"DESARROLLO DE UN BIOPOLÍMERO A BASE DE COLÁGENO PARA APLICACIONES AUTOMOTRICES"

Después de haber leído, corregido e intercambiado información con el estudiante antes mencionado, el trabajo de tesis que me fue entregado y haciendo resaltar que el estudiante realizó todos los cambios que le fueron sugeridos a la tesis, ésta puede ser autorizada para su publicación y que de esta manera pueda iniciar los trámites correspondientes para iniciar el proceso de titulación.

Sin otro particular por el momento y en espera de que mis sugerencias sean tomadas en cuenta y en beneficio del estudiante y la institución, agradezco la atención que se sirva prestar a la presente,

ATENTAMENTE

Dr. Isaías Emmanuel Garduño Olvera

AGRADECIMIENTOS

Agradezco el apoyo recibido por parte de los directivos de la empresa Plastimaq y de la Universidad Tecnológica de Tlaxcala para la realización de este trabajo, así como de las instituciones CIATEQ y CONACYT, que me permitieron cursar el Doctorado en Manufactura Avanzada por medio de la beca de la que fui beneficiario.

También agradezco de manera particular la asesoría otorgada por parte del Doctor José Víctor Galaviz Rodríguez y los consejos y recomendaciones que me hicieron los Doctores Raúl Pérez Bustamante e Isaías Emmanuel Garduño Olvera, ya que me permitieron mejorar de manera significativa el contenido de la tesis.

Por último, agradezco el apoyo de mi esposa la Ing. María Angélica Rodríguez Carmona por sus consejos para tomar este reto y concluirlo de manera exitosa.

RESUMEN

El tema de investigación de esta tesis es el desarrollo de un material de origen polimérico sustentable proveniente de los huesos y cartílagos de las aves de corral de los cuales se obtiene el colágeno que es esencial para hacer la polimerización por condensación, que pueda ser aplicado en la manufactura de partes automotrices. El problema que se quiere resolver con este trabajo es reducir el impacto que representan las autopartes fabricadas con polímeros de origen fósil desde su obtención, procesamiento hasta su desecho, tal problemática involucra un alto consumo de recursos energéticos en sus primeras etapas del ciclo de vida y un consumo de energía adicional en su reciclaje además de la contaminación ambiental que producen las partes que no se reciclan.

Los biopolímeros a base de colágeno no se han usado en autopartes debido a que no se ha considerado el uso de materiales que ayuden a mejorar sus propiedades mecánicas y térmicas. Para resolver este problema se usó el bórax, la grenetina y un retardante a la flama, en conjunto con los parámetros de tiempo y temperatura controlados para obtener las resistencias deseadas. La investigación se realizó en base a los fundamentos de la polimerización que en junto con la metodología diseño de experimentos se logró obtener la mejor combinación de los principales componentes del biopolímero.

Los mayores hallazgos fueron la buena resistencia mecánica y térmica del biopolímero ligeramente superior a un polímero de uso automotriz como el polipropileno. La aportación de este trabajo es la obtención de un material amigable con el medio ambiente que cumple con normas automotrices en lo referente a la flamabilidad, envejecimiento y resistencia al calor, el cual se aplicó en el diseño y la manufactura de una cortina automotriz, como una opción al problema de la incandescencia que produce la luz del sol al conducir o de viajar en coche.

Palabras clave: biopolímeros; manufactura sustentable; automotriz; Tecnología de vehículos de motor, accesorios y recambios; Tecnología e ingeniería mecánicas, máquinas herramienta y accesorios.

ABSTRACT

The investigation theme of this thesis is the development of a material of sustainable polymeric origin coming from poultry bones and cartilage of which obtains the collagen that is essential to make the step condensation in order to apply it in automotive parts manufacturing. The problem that wants to solve with this work is reducing the impact that represents the automotive parts fabricated of fossil origin polymers from their obtaining, processing and disposal, such problem involves a high consumption of energetic resources in their first stages of lifecycle and an additional consumption of energy in their recycling besides of the environmental pollution that produce the automotive part that do not recycle. The biopolymers based on collagen have not used in automotive parts due to it has not considered the using of materials that help theirs mechanical and thermal properties. To solve this problem, it used borax, grenetin and a flame retarder altogether with controlled time and temperature parameters to obtain the desired strengths. The investigation made based on polymerization fundamentals that together with design of experiments methodology, it achieved to get the best combination of the main components of the biopolymer. The major findings were the good mechanical and thermal strength of the biopolymer slightly superior to an automotive polymer like polypropylene. The contribution of this work is the obtaining of an environmental friendly material that meets the automotive standards regarding to flammability, aging and thermal strength, which applied in the design and manufacture of an automotive blind, as an option to the incandescence that sunlight produces when driving or traveling by car.

Keywords: Biopolymers, Sustainable manufacture, Automotive.

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN II
ABSTRACT III
ÍNDICE DE CONTENIDO IV
ÍNDICE DE FIGURAS VI
ÍNDICE DE TABLAS X
GLOSARIO XI
1. CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN 1
1.1 ANTECEDENTES 2
1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA 5
1.3 JUSTIFICACIÓN 6
1.4 OBJETIVOS 7
1.5 HIPÓTESIS 7
2. CAPÍTULO 2. POLÍMEROS, POLIMERIZACIÓN Y DISEÑO-MANUFACTURA INDUSTRIAL 8
2.1 POLÍMEROS 8
2.2 POLIMERIZACIÓN 20
2.3 PRINCIPIOS DEL DISEÑO INDUSTRIAL 25
2.4 FUNDAMENTOS DE LA INGENIERÍA ASISTIDA POR COMPUTADORA (CAE) 46
2.5 FUNDAMENTOS DE MANUFACTURA 50
2.6 PRINCIPIOS DEL ANÁLISIS Y DISEÑO DE EXPERIMENTOS 60
2.7 MATERIALES USADOS EN EL DISEÑO Y LA MANUFACTURA 65
2.8 NORMA AUTOMOTRIZ FMVSS 302 (FEDERAL MOTOR VEHICLE SAFETY STANDARDS 302) 69
3. CAPÍTULO 3. PROCEDIMIENTO DE INVESTIGACIÓN 72
3.1 ECODISEÑO APLICADO EN EL DESARROLLO DEL BIOPOLÍMERO 73
3.2 DESARROLLO DEL BIOPOLÍMERO 80
3.3 DISEÑO MECÁNICO DE LOS COMPONENTES QUE INTEGRAN LA APLICACIÓN DEL BIOPOLÍMERO 87
3.4 ENSAMBLE VIRTUAL DE LA APLICACIÓN AUTOMOTRIZ 90
3.5 VALIDACIÓN DEL DISEÑO MECÁNICO MEDIANTE EL MÉTODO DEL ELEMENTO FINITO USANDO LA INGENIERÍA ASISTIDA POR COMPUTADORA 91
3.7 MANUFACTURA DE HERRAMENTALES 114
3.8 PRUEBAS PARA EL CUMPLIMIENTO DE NORMAS AUTOMOTRICES DE APLICACIÓN DE POLÍMEROS EN INTERIORES 119

3.9 COMPONENTES FABRICADOS Y ENSAMBLADOS DEL PROTOTIPO 120
3.10 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE LA APLICACIÓN DEL BIOPOLÌMERO 121
4. CAPÍTULO 4. RESULTADOS 124
4.1 RESISTENCIA DEL BIOPOLÍMERO A LA TRACCIÓN 124
4.2 RELACIÓN DE VOLUMEN DE COLÁGENO-MASA DE GRENETINA 127
4.3 PARÁMETROS DE PROPIEDADES DEL BIOPOLÍMERO 128
4.4 APROBACIÓN DE NORMAS AUTOMOTRICES 128
4.5 APLICACIÓN DE BIOPOLÍMERO 130
4.6 PELETIZACIÓN DEL BIOPOLÍMERO 134
4.7 HERRAMENTALES FABRICADOS PARA LA APLICACIÓN DEL BIOPOLÍMERO ... 134
4.8 ENSAMBLE COMPLETO DE LA APLICACIÓN DEL BIOPOLÍMERO 136
4.9 ACCESORIO AUTOMOTRIZ AJUSTABLE APLICADO 137
4.10 COMPARACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DEL BIOPOLÍMERO CON TERMOPLÁSTICOS CONVENCIONALES 139
CONCLUSIONES 141
APORTACIÓN DE LA TESIS 142
RECOMENDACIONES 143
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 145
ANEXOS

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. a. Poli (ácido láctico), b. Ácido poliláctico. Fuente: Niaounakis, 2015.....14
Figura 2.2. Cruz de Malta en gránulos de almidón observados bajo luz polarizada. Fuente: Bertolini, 2009. 15
Figura 2.3. Preparación completa de fibrillas de colágeno manchadas negativamente para mostrar el patrón de banda periódico D. Fuente: Fratzl, 2008. 17
Figura 2.4. Modelo para un compuesto reforzado de fibra (a) y estructura de panal de abejas (b). La fase de matriz está mostrada en la parte inferior. Las fibras en (a) están indicadas por círculos y los agujeros en (b) por hexágonos. Fuente: Fratzl, 2008.....19
Figura 2.5. Polimerización por condensación. Fuente: Ghosh, 2008. 21
Figura 2.6. Reacción en cadena usando un iniciador radical libre. Fuente: Ghosh, 2008. 24
Figura 2.7. Espacio de soluciones de diseño. Fuente: Haik, 2007.....26
Figura 2.8. Procedimiento de diseño iterativo. Fuente: Narayan, 2008.....27
Figura 2.9. Etapas en el proceso de diseño. Fuente: García, 2004.....30
Figura 2.10. Fases del proceso de diseño que reconocen múltiples retroalimentaciones e iteraciones. Fuente: Budynas, 2012.....30
Figura 2.11. Ciclo de vida del producto. Fuente: Sánz, 2014. 32
Figura 2.12. Matriz de priorización para el análisis FODA. Fuente: Adaptado del Manual de Ecodiseño en Centroamérica, 2001, Mimeo. 35
Figura 2.13. Matriz de ecomercado. Fuente: Manual de Ecodiseño en Centroamérica, 2001, Mimeo. 36
Figura 2.14. Criterios de selección de un producto. Fuente: Carrillo, 2006. 37
Figura 2.15. Matriz MET. Fuente: Manual de Ecodiseño en Centroamérica, 2001, Mimeo. 38
Figura 2.16. Rueda de Estrategias para el Diseño. Fuente: Manual de Ecodiseño en Centroamérica, 2001, Mimeo. 39
Figura 2.17. Interrelación de estrategias y requerimientos del sistema. Fuente: Gestión de proyectos empresariales, 2000.....40
Figura 2.18. Etapas para el desarrollo del prototipo. Fuente: Gestión de proyectos empresariales, 2000. 41
Figura 2.19. Estímulos internos para el ecodiseño. Fuente: Sánz, 2014. 43
Figura 2.20. Estímulos externos para el ecodiseño. Fuente: Sánz, 2014. 44
Figura 2.21. Relación de parte, ensamble y plano en CAD. Fuente: Planchard, 2018. 46
Figura 2.22. Sección esférica discretizada en varios elementos. Fuente: Quek, 2003. 47
Figura 2.23. Nodos del perfil de un álabe de turbina. Fuente: Huebner, 2001. 48
Figura 2.24. Simulación de esfuerzos. Fuente: Elaboración propia, 2018. 49
Figura 2.25. Esquema de manufactura. Fuente: Rodríguez, 2006.....53
Figura 2.26. Representación general de un proceso industrial. Fuente: Baca, 2014. ..54
Figura 2.27. Diversos procesos de fundición. Fuente: Hernández, 2015. 56
Figura 2.28. Diversos procesos de deformación. Fuente: Hernández, 2015.....56
Figura 2.29. Diversos procesos de trabajo en lámina. Fuente: Hernández, 2015.....57
Figura 2.30. Procesos de inyección y moldeo de plásticos. Fuente: Hernández, 2015. 57

Figura 2.31. Procesos de desprendimiento de material y acabado. Fuente: Hernández, 2015. 58
Figura 2.32. Procesos de unión. Fuente: Hernández, 2015. 58
Figura 2.33. Simulación de barrenado en software CAD/CAM. Fuente: Manton, 2007. 60
Figura 2.34. Relación de los temas del marco teórico con el proyecto. 71
Figura 3.1. Biopolímero compuesto de matriz de almidón reforzado con fibra de coco. 72
Figura 3.2. Biopolímero compuesto matriz de almidón reforzado con fibra de coco y teñido con colorante vegetal negro. 72
Figura 3.3. Matriz de ecomercado para seleccionar el producto. 77
Figura 3.4. Muestra de biopolímero obtenido por condensación. 82
Figura 3.5. Molde de inyección para probetas de acuerdo a la norma ASTM D638-10. 84
Figura 3.6. Probeta hecha con el material biopolímero a base de colágeno. 84
Figura 3.7. Variables que integran la probeta. Fuente: Norma ASTM D638-10. 85
Figura 3.8. Probeta puesta en máquina universal. 85
Figura 3.9. Probeta rota en máquina universal. 85
Figura 3.10. Introducción de datos a Minitab. 86
Figura 3.11. Versión de cortina con dos puntos de sujeción. 88
Figura 3.12. Ensamble virtual de cortina sustentable. Fuente: Propia 2018. 89
Figura 3.13. Ventosa para los apoyos. 90
Figura 3.14. Ventosa para la cortina. 90
Figura 3.15. Ventosa para los apoyos. 90
Figura 3.16. Rodamiento. 90
Figura 3.17. Ensamble parcial de accesorio automotriz ajustable. 91
Figura 3.18. Reporte de grados de libertad y números de nodos. 94
Figura 3.19. Selección de sujeción (geometría fija). 95
Figura 3.20. Definición de geometría de sujeción. 95
Figura 3.21. Definición de geometría de aplicación de la carga y su magnitud. 96
Figura 3.22. Selección de densidad de malla. Fuente: SolidWorks, 2018. 96
Figura 3.23. Mallado de cortina. 97
Figura 3.24. Resultados de la simulación de esfuerzos. 97
Figura 3.25. Simulación de deformaciones en la cortina. 98
Figura 3.26. Selección de material para eje. Fuente: SolidWorks, 2018. 99
Figura 3.27. Definición de puntos de sujeción de eje. 99
Figura 3.28. Definición de magnitud, punto de aplicación y dirección de la carga. 100
Figura 3.29. Mallado de eje. 100
Figura 3.30. Resultados de los esfuerzos en el eje. 101
Figura 3.31. Resultados de las deformaciones en el eje. 101
Figura 3.32. Definición de sujeción de apoyo. 102
Figura 3.33. Definición de magnitud, punto de aplicación y dirección de la carga. 102
Figura 3.34. Mallado de apoyo. 103
Figura 3.35. Simulación de esfuerzos en apoyo. 103
Figura 3.36. Simulación de deformaciones en apoyo. 103
Figura 3.37. Plano de cortina. 105
Figura 3.38. Plano de eje. 105
Figura 3.39. Plano de apoyo. 106

Figura 3.40. Diseño de cavidad en software de CAM. 107
Figura 3.41. Selección de herramienta y captura de parámetros para operación de desbaste. 109
Figura 3.42. Determinación de distancias de referencia y sobrematerial para la operación de desbaste..... 110
Figura 3.43. Definición de parámetros de distancia entre pasadas y profundidad de corte. 111
Figura 3.44. Definición de parámetros de avances y rpm para operación de acabado. 111
Figura 3.45. Definición de parámetro de distancia entre pasadas de la operación de acabado. 112
Figura 3.46. Simulación de maquinado de molde para fabricar los apoyos. 112
Figura 3.47. Simulación de maquinado de molde de eje de cortina. 113
Figura 3.48. Inicio de programa CNC de operación de desbaste editado para su uso en Centro de Maquinado Vertical..... 113
Figura 3.49. Centro de maquinado vertical CNC. 114
Figura 3.50. Simulación de maquinado de cajas para alojamiento de pernos guía. 116
Figura 3.51. Molde de apoyos (dos cavidades). 116
Figura 3.52. Perno guía maquinado en torno convencional. 117
Figura 3.53. Simulación de maquinado de cavidad para troquel de cortina. 117
Figura 3.54. Simulación de maquinado de cajas para alojamiento de pernos guía en cavidad. 118
Figura 3.55. Simulación de maquinado de punzón para troquel de cortina. 118
Figura 3.56. Simulación de maquinado de cajas para alojamiento de pernos guía en punzón. 118
Figura 3.57. Eje prototipo. 120
Figura 3.58. Apoyo prototipo. 120
Figura 3.59. Cortina troquelada. 120
Figura 3.60. Subensamble de apoyo con ventosa..... 121
Figura 3.61. Subensamble de cortina-ventosa. 121
Figura 3.62. Diagrama de flujo de manufactura del accesorio automotriz. 123
Figura 4.1. Gráfica de probabilidad normal. 126
Figura 4.2. Gráfica de intervalos de la respuesta. 126
Figura 4.3. Diagrama de cajas de la respuesta. 127
Figura 4.4. Probeta de bioplástico Col-Gren después de la prueba de resistencia al calor. 130
Figura 4.5. Versión final de cortina con un punto de sujeción. 131
Figura 4.6. Vista frontal de cortina final. 132
Figura 4.7. Modelado del eje de la cortina. 132
Figura 4.8. Modelado de apoyo para sujetar cortina. 133
Figura 4.9. Ensamble completo virtual de la aplicación del biopolímero..... 133
Figura 4.10. Pellet de bioplástico Col-Gren. 134
Figura 4.11. Molde de apoyos con pernos guía. 135
Figura 4.12. Molde de eje (dos cavidades). 135
Figura 4.13. Punzón de troquel fabricado. 135
Figura 4.14. Cavidad de troquel fabricada. 136
Figura 4.15. Ensamble de accesorio automotriz ajustable. 137

Figura 4.16. Accesorio automotriz ajustable, ensamblado en el vidrio de un automóvil. 137
Figura 4.17. Ajuste del accesorio en la parte superior. 138
Figura 4.18. Ajuste del accesorio en la parte media. 138
Figura 4.19. Ajuste del accesorio en la parte inferior. 139

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Tipos de polímeros. Fuente: Niaounakis, 2015. 12
Tabla 2.2. Clasificación de biopolímeros. Fuente: Niaounakis, 2015. 13
Tabla 2.3. Aplicaciones comerciales de PLA. Fuente: Niaounakis, 2015. 14
Tabla 2.4. Componentes de tejido conectivo en animales maduros. Fuente: Nimmi, 2018. 17
Tabla 2.5. Módulos de elasticidad para componentes ECM basados en medidas esfuerzo-deformación elástica. Fuente: Fratzl, 2008. 20
Tabla 2.6. Principales propiedades y características de los materiales de aplicación industrial. Fuente: Salán, 2005. 67
Tabla 2.7. Tipos de propiedades. Fuente: Salán, 2005. 68
Tabla 3.1. Comparativo de recursos. Fuente: Speight, J. - Propia. 74
Tabla 3.2. Temperaturas de fusión de polímeros tradicionales. Fuente: Kalpakjian, 2002. 75
Tabla 3.3. Análisis FODA del proyecto. 76
Tabla 3.4. Matriz MET del proyecto. 78
Tabla 3.5. Parámetros constantes del experimento. 81
Tabla 3.6. Número de corridas del experimento. 83
Tabla 3.7. Generación de números aleatorios para ejecutar el experimento. 83
Tabla 3.8. Variables y parámetros de probeta. Fuente: Norma ASTM D638-10. 85
Tabla 3.9. Parámetros para determinar la convergencia de malla. 93
Tabla 4.1. Parámetros de pruebas de tensión. 124
Tabla 4.2. Parámetros de propiedades mecánicas y térmicas del biopolímero a base de colágeno. 128
Tabla 4.3. Resultado de prueba a la flamabilidad. 128
Tabla 4.4. Parámetros de resistencia a la tracción de PP, PEBD y PEAD. Fuente: Tripathi, 2002. 139

GLOSARIO

Accesorio: El término accesorio hace referencia a todo aquel elemento u objeto que se utiliza para complementar otra cosa y que es opcional tener en cuenta.

Ajuste: Es el acoplamiento de dos piezas entre sí, en las cuales, como norma general, si los contactos que presentan son exteriores, se llamará a la pieza, ej. y si son interiores, agujero. Éstas pueden tener formas diversas, tales como: cilíndricas, cónicas, prismáticas, etc.

ANOVA: Siglas en inglés de Análisis de Varianza, (Analysis of Variance).

Barreno: Agujero hecho con una barrena o un barreno.

Biopolímero: Es un polímero derivado de recursos naturales renovables o bien polímeros biodegradables.

CAD: Siglas en inglés de Diseño Asistido por Computadora, (Computer Aided Design).

CAE: Siglas en inglés de Ingeniería Asistida por Computadora, (Computer Aided Engineering).

CAM: Siglas en inglés de Manufactura Asistida por Computadora, (Computer Aided Manufacturing).

Caracterizar: Presentar o describir una cosa con sus rasgos característicos de manera que resulte inconfundible.

CNC: Siglas en inglés de Control Numérico Computarizado, (Computer Numerical Control).

Configuración: Forma particular de una cosa, determinada por la disposición de las partes que la componen.

Contracción de pieza plástica: Es el cambio de volumen que sufre una pieza cuando se enfría una vez transformada.

Discretización: División de un sistema físico en series de elementos que están conectados por puntos nodales.

Diseño: Actividad creativa que tiene por fin proyectar objetos que sean útiles y estéticos.

Diseño de experimentos: Esta metodología sirve para diseñar las condiciones ideales de un producto, proceso o servicio para que cumpla con nuestras expectativas usando el mínimo número de experimentos o pruebas.

Ecodiseño: Es la metodología para el diseño de productos industriales en que el Medio ambiente es tenido en cuenta durante el proceso de desarrollo del producto como un factor adicional a los que tradicionalmente se utilizan para la toma de decisiones: diseño estético, coste, calidad etc.

Efecto: El efecto de un factor es el cambio en la respuesta debido al cambio en el nivel del factor.

Ensamble virtual: Se refiere a la simulación de ensamble de piezas en un software de CAD.

Error experimental: Es la variación en la respuesta cuando el mismo experimento es repetido, causado por condiciones no controladas en el experimento.

Especificación del producto: Es un conjunto de atributos o características tangibles e intangibles bajo una forma fácilmente reconocible e identificable que el comprador puede aceptar para satisfacer sus necesidades.

Factor: Una variable o atributo el cual influencia o se sospecha de influenciar la característica siendo investigada.

FODA: Siglas de Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas, se refiere a una matriz que toma en cuenta estos conceptos.

Innovación: La innovación, es una de las características de la tecnología que supone la creación de nuevos dispositivos, en muchos casos, a partir de la modificación de elementos ya existentes.

Iterativo. Es el acto de repetir un proceso con el objetivo de alcanzar una meta deseada, objetivo o resultado.

Malla: Los elementos finitos están conectados entre sí por puntos, que se llaman nodos o puntos nodales. Al conjunto de todos estos ítems – elementos y nodos – se lo denomina malla.

Método del Elemento Finito: Es un método numérico para resolver ecuaciones diferenciales por medio de aproximaciones discretas.

Métodos Taguchi: Estos métodos se centran en la robustez del proceso de diseño de un producto o servicio con el fin de acercarse a las especificaciones deseadas.

Modelado 3D: Proceso por el cual se crean objetos tridimensionales de forma virtual usando tecnología de cómputo.

Niveles de un factor: Los valores de un factor/variable independiente siendo examinados en un experimento.

Norma técnica: Una norma técnica es un documento aprobado por un organismo reconocido que establece especificaciones técnicas basadas en los resultados de la experiencia y del desarrollo tecnológico, que hay que cumplir en determinados productos, procesos o servicios.

Óptimo: Que es extraordinariamente bueno o el mejor, especialmente en lo que se refiere a las condiciones o características de una cosa, por lo cual resulta muy difícil o imposible encontrar algo más adecuado.

Pascal: Unidad de medida de presión o esfuerzo que corresponde a 1 N/m^2.

Parámetro: Se conoce como parámetro al dato que se considera como imprescindible y orientativo para lograr evaluar o valorar una determinada situación.

Prototipo: Primer ejemplar que se fabrica de una figura, un invento u otra cosa, y que sirve de modelo para fabricar otras iguales, o molde original con el que se fabrica.

Respuesta: El resultado/salida obtenida de una prueba de un experimento. Es también llamado variable dependiente.

Resistencia última a la tensión: La resistencia última de tensión es una medida de la carga máxima que puede soportar un material bajo condiciones de carga uniaxial.

Sustentabilidad: La sustentabilidad se refiere a los sistemas biológicos que pueden conservar la diversidad y la productividad a lo largo del tiempo.

Tolerancias geométricas: Las tolerancias geométricas se especifican para aquellas piezas que han de cumplir funciones importantes en un conjunto, de las que depende la fiabilidad del producto. Estas tolerancias pueden controlar formas individuales o definir relaciones entre distintas formas.

Tratamiento: Un conjunto de niveles de todos los factores empleados en una prueba experimental dada.

Unidad experimental: Instalación con la cual una prueba experimental es conducida tales como muestras de material, persona, animal, planta, etc.

Varianza: La varianza es la media aritmética del cuadrado de las desviaciones respecto a la media de una distribución estadística.

1. CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

La temática de esta tesis radica en el desarrollo de un biopolímero que pueda usarse como materia prima de las autopartes interiores, las cuales deben resistir las condiciones de temperatura que se generan por su exposición a los rayos solares, así como las fuerzas mecánicas que se aplican a las mismas para su funcionamiento, como es el caso de la tensión, compresión y cortante a la que se encuentran sujetas y en caso de accidente, deben ser capaces de tener una resistencia a la flamabilidad, está última definida por la norma FMVSS 302.

Este trabajo se realiza para contribuir a la reducción del impacto ambiental que generan los polímeros tradicionales en lo referente a la sustentabilidad, lo que significa que se depende de contar con las reservas petroleras suficientes para la manufactura de los productos que se extraen de él, como es el caso de los polímeros tradicionales. Otro motivo para el desarrollo del biopolímero es dar solución a las problemáticas siguientes, como lo indica [1]:

- El uso de polímeros de larga vida para aplicaciones de corta duración (por ejemplo: empaque, restauración, cirugía, higiene y otros) no es conveniente.
- Los polímeros no renovables son la mayor fuente de contaminación, cuando están dispersos en el medio ambiente.

Una forma de minimizar esta problemática es la aplicación del reciclaje, el cual tiene el problema de requerir material virgen para que sea funcional el producto, debido a que en el re-procesamiento, los materiales poliméricos tradicionales pierden propiedades físico-mecánicas que no los hacen aptos para aplicaciones donde los requerimientos de calidad son altos, como es el caso de la industria automotriz.

Esta tesis está pensada en la utilización de materiales sustentables como lo es el colágeno que se obtiene de los desechos animales, como son los cartílagos de aves de corral, ya que son subproductos de alta producción, como lo indica el dato proporcionado por el INEGI donde indica una producción de 341.3 millones de

cabezas en 2017, lo cual representa una cantidad importante de producto sustentable aprovechable.

Para hacer esto se recurrió al uso de la metodología de diseño de experimentos, la cual permite establecer relaciones en forma paramétrica de las variables utilizadas y de forma estadística con el uso software comercial determinar por medio de la interpretación de resultados de las mejores combinaciones de las variables utilizadas.

Las limitaciones de este trabajo son el tiempo y los recursos destinados para tal efecto.

1.1 ANTECEDENTES

Para tener una visión de los temas que se aplican en esta tesis se investigó la información que tiene que ver con el proyecto.

De acuerdo con [2] hay muchos problemas de sustentabilidad los cuales han conducido al desarrollo de monómeros y polímeros biodegradables a partir de recursos de plantas renovables. Algunos de los problemas más conocidos por el público incluyen el costo de la materia prima tradicional que tiene como fuente al petróleo, el calentamiento global y el daño ambiental. Un problema menos comprendido es el alcance de la contaminación al final del ciclo de vida causada por objetos plásticos. De todos los plásticos, metales y papeles recolectados para reciclaje, solamente se estima que el 25% realmente se reutiliza. El resto es desechado porque la contaminación lo hace inusable.

La industria automotriz usa grandes cantidades de plásticos, especialmente polietileno (PE), policloruro de vinilo (PVC) y acrilonitrilo butadieno estireno (ABS), los cuales son derivados de fuentes de petróleo. Los niveles de plásticos reciclados son tan bajos como 30% (por peso) el resto son polímeros vírgenes. Cuando un automóvil es desechado, el porcentaje de plástico reciclado de él es tan bajo como el 20%. Esto significa que un gran volumen de plásticos automotrices eventualmente termina contaminando el medio ambiente [2].

Un problema pobremente direccionado es la contaminación por contenedores, bolsas, botellas, juguetes y otros objetos plásticos que ensucian los bordes de los caminos y han encontrado su camino a los océanos. El peso estimado de plástico en el océano Pacifico es de 3.5 millones de toneladas. Una limpieza de la basura en los océanos es impráctica ya que un pedazo típico de pieza plástica requiere de 600 años de exposición a los elementos atmosféricos antes de que se degrade completamente. La acción más práctica ha sido enfocarse en la reducción de desechos plásticos y el desarrollo de plásticos biodegradables, con vidas relativamente cortas. Idealmente un plástico biodegradable completamente hecho de plantas se descompondría en dióxido de carbono y agua después de una exposición corta a los elementos del clima. Sería dióxido de carbono neutro al ser derivado de planta [2].

Otros conceptos básicos que se desarrollan en este trabajo se muestran a continuación.

De acuerdo con [3], el modelo clásico de ingeniería de diseño-manufactura ha sido usado por mucho tiempo y aunque algunos elementos de sustentabilidad han sido practicados, existe la mentalidad y la presión sobre muchos ingenieros modernos para diseñar el producto que pueda ser manufacturado a bajo costo.

Bajo circunstancias normales, el ingeniero de diseño recibiría una solicitud y crearía unas especificaciones, las cuales a menudo no son más que una lista de deseos. Esto da al diseñador o al equipo de diseño un objetivo hacia el cual dirigirse [3].

Aunque los diseñadores normalmente trabajan en un nivel práctico de creación de productos, objetivos de alto nivel necesitan ser llevados a cabo como sigue [3]:
Objetivo 1: Crear ganancias para la compañía.
Objetivo 2: Crear un producto que mejorará el estilo de vida de otros seres humanos.
Objetivo 3: Lograr el diseño y la manufactura sustentable.

Por su parte [4] indica que la manufactura sustentable es un elemento relativamente poco conocido e importante del desarrollo sostenible que incluye tres elementos funcionales: productos, procesos y sistemas sustentables. Es importante desarrollar modelos predictivos cuantitativos para el diseño y la manufactura de productos sustentables para entender el papel integral de estos elementos de la sustentabilidad en la manufactura de productos.

Uno de los mayores retos para la industria es el diseño y la manufactura de productos amigables ambientalmente. Tal proceso involucra enfoques y soluciones complejas interdisciplinarias. De acuerdo a la definición de sustentabilidad, los productos sustentables son completamente compatibles con el medio ambiente en todo el ciclo de vida [4].

Asimismo, [5] mencionan que los procesos de manufactura deben exceder más allá de sus requerimientos tradicionales de funcionalidad, costo, desempeño y tiempo de lanzamiento al mercado, considerando también la sustentabilidad.

Para llevar a cabo la manufactura de productos, es necesario definir los materiales a procesar para lo cual existe una amplia variedad disponible en el mercado. Se dice que existen más de 50 000 materiales disponibles para el ingeniero. En el diseño de una estructura o dispositivo, ¿cómo elegirá el ingeniero entre un menú tan amplio el material más adecuado? [5].

De acuerdo con [6], a menudo el problema que se presenta es la elección del material más idóneo de entre los muchos miles de materiales disponibles. Existen varios criterios en los cuales se basa normalmente la decisión final. En primer lugar, deben caracterizarse las condiciones en que el material prestará servicio, y se anotarán las propiedades requeridas por el material para dicho servicio.

Continuando con el tema de los materiales [7] establece que la mayoría de los materiales de ingeniería pueden clasificarse en una de las tres categorías básicas: 1) metales, 2) productos cerámicos y 3) polímeros, tanto sus características químicas

como sus propiedades físicas y mecánicas son diferentes; estas diferencias afectan los procesos de manufactura que se usan para transformarlos en productos finales. Además de estas tres categorías básicas existe otra 4) materiales compuestos, los cuales son mezclas no homogéneas de los otros tres tipos básicos de materiales, en lugar de una categoría única.

Los materiales seleccionados para la fabricación de un producto cumplirán con su proceso de transformación, se usarán para lo que fueron diseñados y finalmente terminará su ciclo de vida, para lo cual se debe prever en la fase de diseño la disposición final del producto para que afecte en la menor medida de lo posible al medioambiente, como lo establece el desarrollo sustentable.

Como se observa, el diseño es la fase en la que se define el impacto que tendrá el producto en su interrelación con el medio ambiente, para lo cual se propone que, para minimizar este impacto, se trabaje con el enfoque de que la sustentabilidad puede ser mejorada mediante el reciclaje de materiales, el reúso de accesorios, la reparación de componentes y la reducción del uso de materiales.

Por otra parte, el interés en realizar este trabajo parte de la premisa que tiene en este caso la investigación tecnológica, que se realiza como parte del trabajo, que una vez consolidada puede ser explotada a nivel comercial.

Quien motivó a realizar este proyecto fue el jefe inmediato del centro de trabajo, al solicitar que se desarrollara un producto de aplicación automotriz con algún grado de innovación, ya que es algo necesario debido a la naturaleza de la actividad profesional.

1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El problema radica en la utilización de recursos no renovables para la fabricación de accesorios automotrices, como lo son los polímeros tradicionales, los cuales dejan una huella de carbono que es perjudicial para el medio ambiente, además de que en

algún momento su disponibilidad tenderá a ser escasa y eventualmente a agotarse por provenir de un recurso no renovable, como lo indica [8] que ya se han presentado las primeras manifestaciones de que la producción petrolera mundial llega al pico o producción máxima, tras lo cual, una vez traspasada, seguirá una caída en la producción.

Por otra parte, la cantidad de energía y recursos que se utilizan en la transformación de la materia prima de los polímeros provenientes de recursos fósiles en un producto terminado es mayor en comparación con lo que se requiere para un polímero natural. Los recursos básicos para llevar a cabo la reacción de polimerización de monómeros derivados del petróleo son: un reactor, un intercambiador de calor y una bomba, con su correspondiente consumo de energía que en el caso de una planta de polipropileno con capacidad de 100 000 ton/año liberaría una energía promedio de 7300 kJ/s como lo indica [9], en el caso de un biopolímero sólo se requiere un horno industrial, lo cual hace una gran diferencia entre ambos procesos de obtención de los respectivos polímeros.

1.3 JUSTIFICACIÓN

Una cuestión importante que justifica este desarrollo es el potencial que tiene el material para sustituir a partes automotrices basadas en el petróleo, como lo son el polipropileno que se aplica en un alto porcentaje de este tipo de productos.

Por otra parte, un argumento de justificación es que existen beneficiarios de este proyecto los cuales son:

- La sociedad en general al contar con una opción de material amigable con el medio ambiente.
- Las personas que intervengan en el proceso de diseño, producción y comercialización de productos con el material desarrollado.

1.4 OBJETIVOS

La definición de los objetivos se integra por dos rubros, que son el objetivo general y los objetivos específicos, el primero enuncia la solución final a un problema detectado a través de una de las áreas de la manufactura avanzada, y los segundos integran los componentes que dan forma al objetivo general.

1.4.1 Objetivo general

Desarrollar un biopolímero para una aplicación automotriz.

1.4.2 Objetivos específicos

- Aplicar el diseño de experimentos para obtener un biopolímero de uso automotriz.
- Caracterizar las propiedades del material biodegradable.
- Diseñar mediante CAD un parasol ajustable para las ventanillas de los automóviles compactos.
- Investigar la normatividad, que deben cumplir los accesorios automotrices, para fundamentar el desarrollo del material orgánico en cuestión de propiedades mecánicas y térmicas.
- Fabricar el accesorio automotriz a nivel prototipo, para verificar su funcionalidad física en un vehículo automotor.

1.5 HIPÓTESIS

Es factible la manufactura de accesorios automotrices de manera sustentable para reducir el impacto ambiental mediante el uso de polímeros orgánicos.

2. CAPÍTULO 2. POLÍMEROS, POLIMERIZACIÓN Y DISEÑO-MANUFACTURA INDUSTRIAL

El presente marco teórico contiene los principios de los polímeros, la polimerización y el diseño-manufactura industrial que sustentan el desarrollo de un producto, así como las investigaciones más recientes sobre estas disciplinas, las teorías sobre las cuales se fundamenta la tesis y como se relaciona este trabajo con lo que ya se ha hecho al respecto.

2.1 POLÍMEROS

Se utiliza el término polímero para describir una molécula muy grande constituida por unidades moleculares que se repiten. Dichas unidades reciben el nombre de monómeros y la reacción en la que los monómeros se unen entre sí se llama polimerización. Un mejor conocimiento de las reacciones de polimerización y una mayor complejidad de las técnicas empleadas han hecho posible la fabricación de polímeros con propiedades físicas de gran interés como lo indica [10].

De acuerdo con [11], los polímeros se clasifican de muy diversas formas: según su estructura, su origen, su mecanismo de polimerización, su composición química, sus aplicaciones, o sus propiedades mecánicas, químicas, ópticas o eléctricas.

Según su estructura se clasifican en:

- Polímeros filiformes: Estos son polímeros lineales en los que las unidades monoméricas se unen de un modo regular estando la cadena en una única dimensión.
- Polímeros ramificados: Cuando los monómeros tienen más de dos puntos de enlace pueden producirse ramificaciones en la molécula, dando lugar a estructuras bidimensionales.
- Polímeros entrecruzados: Los enlaces entre cadenas poliméricas se conocen como entrecruzamientos. Pueden formarse durante el proceso inicial de polimerización o mediante una reacción posterior de las cadenas poliméricas.

- Polímeros reticulares: Hace referencia a polímeros que se extienden en redes tridimensionales.

Según su origen se clasifican en:

- Polímeros naturales: Son los que se encuentran en la naturaleza como las biomoléculas, el caucho natural, la lana, la seda, la celulosa o la lignina.
- Polímeros semisintéticos: Se obtienen por transformación de polímeros naturales. Por ejemplo, la nitrocelulosa, y el caucho vulcanizado.
- Polímeros sintéticos: Los obtenidos industrialmente a partir de los monómeros, como nylon, poliestireno, policloruro de vinilo o polietileno.

Según su mecanismo de polimerización se clasifican en:

- Polímeros formados por etapas: En estos, cada enlace del polímero se forma independientemente de los demás, por ejemplo, es el caso del nylon 6-6.
- Polímeros formados por crecimiento en cadena: En estos es añadido un iniciador que genera un producto reactivo. Este reacciona de nuevo con otro monómero y así sucesivamente como es el caso del polietileno.

Una clasificación que cada día tiene más desarrollo es el agrupamiento en función de sus aplicaciones, que a su vez están relacionadas con su comportamiento mecánico. Cada vez está más extendida porque desde el punto de vista práctico es muy útil. Así se encuentran elastómeros, plásticos, fibras, recubrimientos y adhesivos.

Esta clasificación desde el punto de vista químico está muy relacionada con la clasificación según la estructura.

- Elastómeros: Estos polímeros con elasticidad baja pero una alta extensibilidad. Son materiales que se deforman bajo fuerzas, pero recuperan su forma inicial cuando cesan. Una de sus propiedades importantes de estos es la resiliencia.
- Plásticos: Son materiales poliméricos que se deforman irreversiblemente por acción de una fuerza.

- Fibras: Las fibras tienen como propiedad característica una alta elasticidad y una baja extensibilidad. Estas son cualidades que permiten tejer materiales con estabilidad dimensional.
- Recubrimientos: Son líquidos a temperatura ambiente que presentan una gran adherencia. El tratamiento de superficies con estos polímeros proporciona una gran resistencia a la abrasión.
- Adhesivos: Presentan fuerzas de cohesión altas, lo que permite unir dos superficies.

Asimismo, se clasifican según la naturaleza química de la cadena molecular. Entre ellos se encuentran los polímeros orgánicos vinílicos, como son los poliolefinas, estirénicos, y vinílicos halogenados; los polímeros no vinílicos como poliéster, poliamidas policarbonatos y poliuretanos; y los inorgánicos como polisulfuros, siliconas, etc.

La clasificación más habitual se realiza según su comportamiento térmico. Se agrupan en ella los polímeros termoplásticos y termoestables. Estos se describen a continuación:

- Termoplásticos: Licuan con el aumento de temperatura y solidifican al bajarla. Suelen ser polímeros lineales. Por ejemplo, el polietileno, polipropileno o policloruro de vinilo.
- Termoestables: Al calentarlos se descomponen. Suelen ser polímeros reticulares.

2.1.1 Biopolímeros

De acuerdo con [12] la principal propiedad que distingue a los biopolímeros de los polímeros derivados del petróleo es su sustentabilidad, especialmente cuando se combina con la biodegradabilidad. Los polímeros biodegradables de fuentes renovables han sido sintetizados para proveer alternativas en sustitución de los polímeros tradicionales. A menudo estos son sintetizados del almidón, azúcar, fibras naturales u otros componentes biodegradables orgánicos en composiciones diversas. Los biopolímeros son degradados por la exposición a las bacterias en el suelo,

composta o sedimento marino. Cuando los polímeros biodegradables son sujetos a los depósitos de basura al utilizar su característica de ser degradables por las bacterias en el suelo, se reducen significativamente las emisiones de CO_2 comparadas con la incineración convencional.

Los polímeros biodegradables ofrecen la promesa de resolver el problema del desecho de los polímeros convencionales. En principio, no es necesario recolectar artículos hechos de polímeros biodegradables después del fin de su vida útil porque ellos pueden ser dejados que se degraden en el medio ambiente. Ellos ofrecen muchas ventajas tales como incrementar la fertilidad del suelo, reducir la acumulación de materiales plásticos en el medio ambiente y la reducción en los costos de la administración de los desechos.

De acuerdo con [13] los biopolímeros pueden ser divididos en dos amplios grupos que son biodegradables y no biodegradables. Alternativamente los biopolímeros pueden ser clasificados de acuerdo a su origen ya sean bio-basados o basados en el petróleo. Los polímeros bio-basados pueden ser producidos de plantas, animales o microorganismos. Hay muchos más polímeros bio-basados no degradables que biopolímeros bio-basados degradables.

La tabla 2.1 presenta las categorías principales para distinguir entre los diferentes tipos de biopolímeros. Algunos de los biopolímeros mencionados pueden ser derivados tanto de recursos bio-basados como de basados en el petróleo, tales como PLA, PBS, PTT (politrimetileno tereftalato), etc. Aunque el PLA es en gran parte producido por fermentación de fuentes renovables tales como el almidón y el azúcar de caña. Puede ser sintetizado también del petróleo.

Los biopolímeros pueden ser también clasificados en base a cómo responden al calor como termoplásticos, termofijos o elastómeros.

Origen	Biodegradable	No biodegradable
Bio-basado	CA, CAB, CAP, CN, P3HB, PHBHV, PLA, almidón, quitosano	PE (LDPE), PA11, PA12, PET, PTT
Parcialmente bio-basado	PBS, PBAT, mezclas de PLA, mezclas de almidón	PBT, PET, PTT, PVC, SBR, ABS, PU, resina epóxica
Basados en el petróleo	PBS, PBSA, PBSL, PBST, PCL, PGA, PTMAT, PVOH	PE (LDPE, HDPE), PP, PS, PVC, ABS, PBT, PET, PA 6, PA 6.6, PU, resina epóxica, caucho sintético

Tabla 2.1. Tipos de polímeros. Fuente: Niaounakis, 2015.

Los biopolímeros también son clasificados en base a su composición como mezclas, compuestos o laminados. Los biopolímeros mezclas combinaciones de polímeros de diferente origen tales como el producto comercial Ecovio (BASF AG) el cual es una mezcla de PLA y PBAT. Otro grupo son los biocompuestos, los cuales son biopolímeros o polímeros reforzados con fibras naturales tales como sisal, lino, cáñamo, plátano, madera y varios pastos y/o rellenos y aditivos. Los nuevos biocompuestos están basados en una matriz polimérica biodegradable reforzada con fibras naturales.

La tabla 2.2 presenta las principales categorías para distinguir a los diferentes tipos de biopolímeros.

Biodegradable				**No bio-degradable**
Bio-basado			Basado en el petróleo	Bio-basado
Plantas	Microorganismos	Animales		
Celulosa y sus derivados (polisacárido)	PHAs (P3HB, P4HB, PHBHV, PHBHHx)	Quitina (polisacárido)	Poli (alquileno, dicarboxilatos, ejemplos PBA, PBS, PBSA, PBSE, PEA, PES, PESE, PESA, PPF, PPS, PTA, PTMS, PTSE, PTT	PE (PEAD, PEBD), PP, PVC
Lignina	PHF	Quitosano (polisacárido)	PGA	PET, PPT
Almidón y sus derivados (monosacárido)	Celulosa bacterial	Hialorunano (polisacárido)	PCL	PU
Alginato (polisacárido)	Hialorunano (polisacárido)	Caseína	PVOH	PC
Lípidos (triglicéridos)	Xantana (polisacárido)	Suero	POE	Poliéter, Poliéster
Trigo, maíz, chícharo, papa, soya	Curdlano (polisacárido)	Colágeno (proteína)	Polianhídridos	Poliamidas (PA 11, PA 410, PA 610, PA 1010, PA 1012)
Gomas (cis 1,4 poliisopreno)	Pululano (polisacárido)	Albumina (proteína)	PPHOS	Poliéster amidas
Carragenano	Seda (proteína)	Queratina, PFF (proteína)		Poliéster insaturado
PLA (del almidón o la caña de azúcar)		Cuero (proteína)		Epoxy
				Resinas fenólicas

Tabla 2.2. Clasificación de biopolímeros. Fuente: Niaounakis, 2015.

El PLA es el biopolímero más común en el mercado actualmente. Como tal tiene una variedad de marcas asociadas con él, como se observa en la tabla 2.3, asimismo el PLA es un alifático lineal poli (α-éster) o α- hidroxialcanoico poliéster acido-derivado como se muestra en la figura 2.1.

Biopolímero	Nombre comercial	Fabricante	Aplicación
PLA/Poliéter, copolímero	Ecodear series V554R10 V554X51 V554X52 V751X52 V751X53	Industria Toray (Japón)	Electrodomésticos, películas, bolsas, fibras, empaques de comida, empaques no alimenticios
PLA Mezcla copoliéster	Bio-Flex series: Bio-Flex A 4100 CL Bio-Flex F 1110 Bio-Flex F 1130 Bio-Flex F 1137 Bio-Flex F 2110	FKur Kunststoff GmbH (Alemania)	Envoltura de flores, empaque de concha de almeja, almohada de aire, saco, bolsa de basura, bolsa de compras, empaque de congelado profundo, red
PLA	Revode 100 series Revode 200 series	Zhejiang Hisun Biomaterials (China)	Placas de hueso, tornillos de hueso, suturas quirúrgicas, hilado

Tabla 2.3. Aplicaciones comerciales de PLA. Fuente: Niaounakis, 2015.

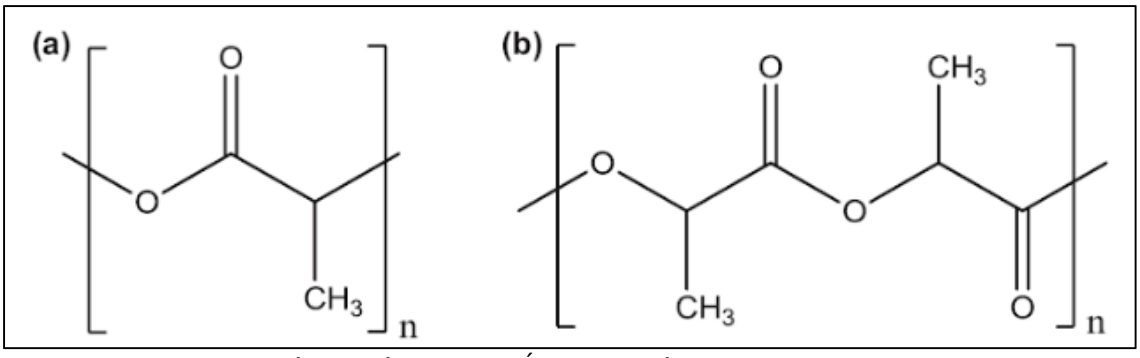


Figura 2.1. a. Poli (ácido láctico), b. Ácido poliláctico. Fuente: Niaounakis, 2015.

Otro grupo de biopolímeros importante es el que se obtiene del almidón el cual está organizado en partículas discretas, gránulos cuyo tamaño, forma, morfología, composición y estructura supramolecular dependen de la fuente botánica, como lo indica [14]. Los diámetros de los gránulos generalmente abarcan un rango desde menos de 1 micras hasta más de 100 micras, y formas que pueden ser regulares (por ejemplo, esférica, ovoide o angular) o bastante irregular. Los gránulos de almidón son partículas cristalinas parcialmente compuestas principalmente de dos homopolímeros de glucopirosa con diferentes estructuras: amilosa, la cual está compuesta de unidades de glucosa D unidas a través de eslabones α-D-(1-4) y amilopectina, el

polímero ramificado, compuesto de α-D-(1-4)-eslabonado segmentos de glucosa conteniendo unidades en ramificaciones de α-D-(1-6).

La amilosa es esencialmente un polímero lineal, aunque la evidencia ha sugerido algunas ramificaciones en su estructura. La amilosa también presenta una hélice hidrofóbica, permitiendo la formación de un complejo con ácidos grasos libres, componentes de ácido graso de glicéridos, algunos alcoholes y yodo. La amilopectina es más grande que la amilosa y sus cadenas están clasificadas como cadenas pequeñas con un grado promedio de polimerización (GP) de alrededor de 15 y grandes cadenas en las cuales el GP es mayor de 45. Esta configuración única ordenada en el arreglo del empaquetamiento contribuye a la naturaleza cristalina del gránulo de almidón. Esta cristalinidad refleja la organización de las moléculas de la amilopectina dentro de los gránulos de almidón mientras la amilosa forma la mayoría de los materiales amorfos que están distribuidos aleatoriamente entre los grupos de amilopectina. Bajo luz polarizada el gránulo de almidón muestra una característica cruz de Malta, como se observa en la figura 2.2 reflejando su estructura birrefringente, la cual fue sugerida como una correlación entre los ejes molecular y principal óptico subrayando que el empaquetado de amilosa y amilopectina es radial.

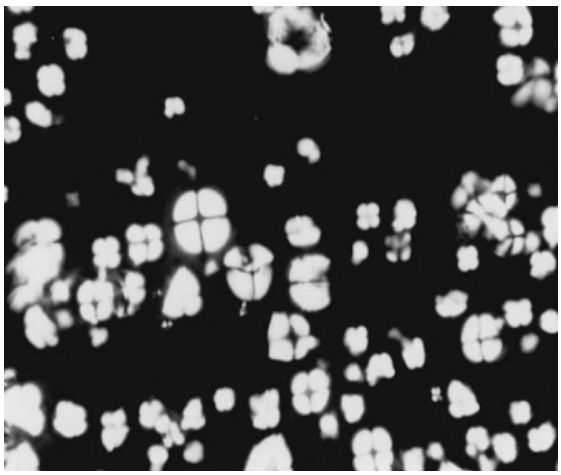


Figura 2.2. Cruz de Malta en gránulos de almidón observados bajo luz polarizada. Fuente: Bertolini, 2009.

Consecuentemente, la arquitectura o estructura de un gránulo de almidón es influenciada en parte por las finas estructuras y relaciones de las moléculas de amilosa y amilopectina. Finalmente, la arquitectura granular en turno determina la accesibilidad de la estructura del almidón al agua y reactivos químicos, afectando los patrones de reacción molecular y las propiedades de los almidones modificados.

El colágeno por su parte como lo indica [15] es una proteína fibrosa ubicua, es la mayor proteína componente de todas las especies vertebradas y ha sido estimado que representa alrededor del 25 % de las proteínas del cuerpo en mamíferos. Esto ocurre en una variedad de formas macroscópicas en tejidos tan diversos como la piel, los tendones, los vasos sanguíneos, los cartílagos, huesos, córnea, humor vítreo y membrana basal y está presente en el entramado y los intersticios de todos los otros tejidos y órganos con excepción de la sangre, linfa y tejido queratinoso. En la mayoría de los casos, el papel principal del colágeno es proporcionar al tejido su integridad, la principal característica que permite al colágeno desempeñar este rol de apoyo es su alta resistencia a la tensión de sus fibrillas. Esta propiedad es debida a su conformación molecular única, la cual es conferida sobre su ella por las unidades de repetición regular en la secuencia del aminoácido, el alineamiento altamente específico y empaque de las moléculas en las fibrillas y la cohesión axial y lateral proporcionado por la formación de enlaces covalentes intermoleculares.

En la tabla 2.4 se muestran los porcentajes de los componentes de los tejidos conectivos en animales maduros.

	Porcentaje de composición			
Tejido	**Colágeno**	**Elastina**	**GAG's**	**Agua**
Tendón/ligamento	30	1.5	0.03- 0.3	65
Piel	30	0.2	0.03 – 0.35	60 – 72
Fibrocartílago	20	0.1 – 0.2	0.6	75
Cartílago elástico	16	5 - 7	3 - 4	70
Cartílago hialino	5 - 18	< 0.1	5 - 11	75
Hueso	5 - 20	-	0.4	30 – 50
Cornea	12 – 15	-	0.2 – 1.0	80
Aorta	5 - 15	7 - 15	0.2 – 2.5	70 – 75
Ligamento elástico	9	35		55
Humor vítreo	0.25	-	0.02	99

Tabla 2.4. Componentes de tejido conectivo en animales maduros. Fuente: Nimmi, 2018.

Como se observa en la tabla 2.4 el colágeno es el segundo componente más abundante en diversos tejidos de animales maduros, de los cuales se puede hacer uso para la fabricación del biopolímero.

No todos los tipos de colágeno genéticamente diferentes han sido caracterizados a la fecha para formar fibrillas. El colágeno tipo IV, por ejemplo, forma un enrejado de 800 nm de lado; este está diseñado para impedir el movimiento de células y la migración de macromoléculas de peso molecular alto. Las moléculas tipo I, II y III sin embargo forman fibrillas. Tales fibrillas son fácilmente reconocibles en el microscopio electrónico por su estructura de banda periódica vista en su sección longitudinal, el así llamado período D de 67 nm de longitud como se muestra en la figura 2.3.

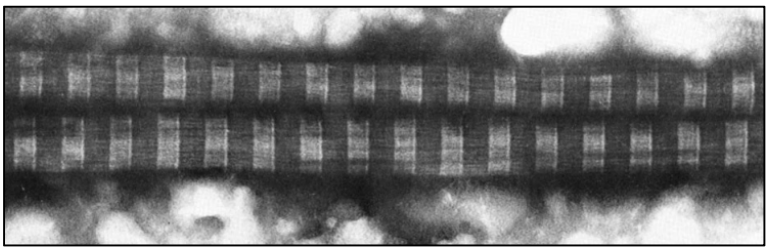


Figura 2.3. Preparación completa de fibrillas de colágeno manchadas negativamente para mostrar el patrón de banda periódico D. Fuente: Fratzl, 2008.

El colágeno tipo I es la proteína más abundante en los mamíferos. Confiere estabilidad mecánica, resistencia y tenacidad para un rango de tejidos desde tendones y ligamentos hasta la piel, cornea, hueso y dentina. Estos tejidos tienen requerimientos mecánicos bastante diferentes, algunos necesitan ser elásticos o almacenar energía mecánica y otros necesitan ser rígidos y tenaces [16]. Esto muestra la versatilidad del colágeno como un material de construcción. Mientras en otros casos (hueso y dentina) la rigidez es incrementada por la inclusión de mineral, las propiedades mecánicas, son en general adaptadas por una modificación de la estructura jerárquica más que por una diferente composición química.

Asimismo, [16] indica que desde un punto de vista mecánico los tejidos fibrosos son muy especiales. Tales materiales son usualmente más fuertes en la dirección de la fibra que perpendicular a ésta. Como consecuencia sus propiedades son anisotrópicas las cuales pueden ser reducidas a principios de construcción tales como la madera contrachapada que se ensambla para formar laminados. De hecho, una gran variedad de la mayoría de las propiedades, pueden ser llevadas a cabo fácilmente por el ensamble inteligente de fibras. Sabemos de nuestra experiencia diaria como basados en fibras es posible hacer cuerdas fuertes para cargas uni-axiales o tejidos de alta o baja elasticidad dependiendo del tejido. En un modo muy similar los tejidos y los órganos mayores están construidos con fibras por ensamble jerárquico conduciendo a una gran variedad de propiedades mecánicas. El entendimiento de la estructura jerárquica de materiales biológicos es por lo tanto la clave para la comprensión de sus propiedades mecánicas. El colágeno no es la excepción a esto, ya que se encuentran estructuras jerárquicas muy complejas con propiedades bastante diferentes tales como piel elástica, cartílago suave, y hueso y tendón duro.

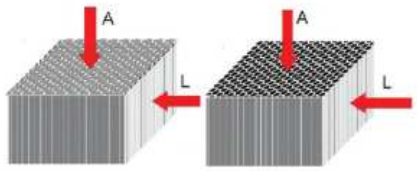
La estructura jerárquica tiene la ventaja de permitir la optimización y la adaptación mecánica en cada nivel estructural. Para la mayoría de los materiales biológicos incluyendo a las plantas la arquitectura interna determina el comportamiento mecánico más de lo que la composición química lo hace. Para ilustrar esto se toman dos ejemplos extremadamente simples. El primero es un compuesto de fibras rígidas en una matriz suave y el segundo es una estructura de un panal de abejas. Usando el

modelo de Voigt y Reuss para un compuesto de fibra como se muestra en la figura 2.4 donde la fracción de volumen de la fase de la matriz es llamada Φ, el módulo de Young en direcciones axial y lateral está dado como una función de los módulos E_m y E_f de la matriz y las fibras respectivamente, por la ecuación 2.1.

$$E_A = \Phi E_m + (1 - \Phi) E_f, \text{ y } E_L = \Phi E_m^{-1} + (1 - \Phi) E_f^{-1})^{-1} \qquad (2.1)$$

Si los módulos de Young de la matriz y la fibra son muy diferentes, estas dos expresiones predicen un comportamiento mecánico extremadamente diferente del compuesto cargado en direcciones axial y lateral. Similarmente, considerando una estructura de panal de abejas como la mostrada en la figura 2.4 (b), los módulos de elasticidad en las direcciones axial y lateral pueden ser calculados como se indica en la ecuación 2.2.

$$E_a/E_m \; \alpha \; \Phi \text{ , y } El/Em \; \alpha \; \Phi^3 \qquad (2.2)$$



(a) (b)

Figura 2.4. Modelo para un compuesto reforzado de fibra (a) y estructura de panal de abejas (b). La fase de matriz está mostrada en la parte inferior. Las fibras en (a) están indicadas por círculos y los agujeros en (b) por hexágonos. Fuente: Fratzl, 2008.

Otra vez con paredes delgadas en la estructura de panal de abejas (esto es $\Phi << 1$), la diferencia entre las propiedades mecánicas axiales y laterales pueden ser órdenes de magnitud. Estos dos ejemplos muestran qué por simple estructuración, las propiedades mecánicas pueden variar enormemente, incluso aunque la composición química sea la misma. En particular, la orientación de fibra local juega un rol mayor para adaptar las propiedades mecánicas de la mayoría de los materiales biológicos.

En lo que respecta al tendón, una primera aproximación del comportamiento de este tejido refleja la elasticidad de sus fibras de colágeno constituyentes. El comportamiento puede ser modelado como un resorte elástico en paralelo con un elemento viscoso. El resorte elástico representa el estiramiento elástico de las triples hélices de colágeno, mientras que el elemento viscoso representa el deslizamiento de las fibrillas de colágeno más allá de cada una en la red. El módulo de elasticidad para moléculas de colágeno y fibrillas en el tendón ha sido estimado desde la pendiente correcta desde su curva esfuerzo-deformación elástica. Los valores del módulo elástico de una molécula de colágeno han sido determinados para el tendón de la cola de rata y tendón de pata de pavo mineralizada y están indicados en la tabla 2.5. Estos valores caen entre 4.2 y 7.69 GPa, dependiendo del tejido investigado.

Molécula	**Tejido**	**Módulo de elasticidad (GPa)**
Colágeno tipo I	Tendón de cola de rata	7.69
Colágeno tipo I	Tendón de pavo (no mineral)	4.2
Colágeno tipo I	Tendón de pavo (0.245 de contenido mineral)	7.22
Colágeno tipos I y I	Piel	4.4
Colágeno tipo II	Cartílago articular (paralelo a la superficie)	7.0
Colágeno tipo II	Cartílago articular (perpendicular a la superficie)	2.21
Colágeno tipo II	Cartílago articular (todo paralelo)	4.91
Colágeno tipo II	Cartílago articular (todo perpendicular)	1.52
Colágeno tipo II	Cartílago osteoartrítico (todo perpendicular)	0.092
Elastina	Piel	0.040
Elastina	Pared del vaso	0.01

Tabla 2.5. Módulos de elasticidad para componentes ECM basados en medidas esfuerzo-deformación elástica. Fuente: Fratzl, 2008.

2.2 POLIMERIZACIÓN

La polimerización puede ser generalmente definida como la reacción intermolecular entre compuestos bi-funcionales o multifuncionales evitando la formación de anillos o estructuras cíclicas y de manera que haga al proceso funcionalmente capaz de tender al infinito. Los grupos funcionales o átomos a través de la desaparición de los cuales las polimerizaciones de diferentes tipos tienen lugar son: el átomo de hidrógeno

reactivo (-H), el grupo hidroxilo (-OH), el grupo carboxilo (-COOH), el grupo amino (-NH2), el grupo halógeno (-Cl, -Br), el grupo isocianato (-NCO), el grupo aldehído (-CHO), el doble enlace (C=C), etc. [17].

Asimismo, define que la polimerización o crecimiento del polímero usualmente tiene lugar por dos mecanismos básicamente diferentes. Dependiendo del modo de formación, una clase de polimerización es llamada polimerización por condensación o polimerización por etapas y la otra es conocida como polimerización por adición o polimerización por reacción en cadena.

La polimerización por condensación tiene lugar bajo condiciones adecuadas permitiendo a moléculas bi-funcionales o multifuncionales condensar intermolecularmente de manera que el crecimiento de la molécula o extensión de cadena tiene lugar en pasos distinguibles controlados y el proceso está normalmente asociado con la formación de enlaces químicos inter-unitarios condensados y la liberación de pequeños subproductos tales como H_20, HCl, etc., en cada etapa de la reacción. La formación de un poliéster mediante la polimerización por condensación es un caso típico, cuyas etapas se muestran en la figura 2.5.

1er Paso HOROH + HOOCR'COOH → HOROOCR'COOH

(monómeros) Producto del primer paso de la reacción

+ H_20

Subproducto de la condensación (2.3)

2do Paso

HOROOCR'COOH + HOROH → HOROOCR'COOROH

Producto del segundo paso de la reacción

+ H_20

Subproducto de la condensación (2.4)

O

HOOCR'COOH + HOROOCR'COOH → HOOCR'COOROOCR'COOH + H_20 (2.5)

Figura 2.5. Polimerización por condensación. Fuente: Ghosh, 2008.

El proceso de condensación más allá del primer paso no necesariamente involucra reacción con uno de los monómeros. Los productos de condensación de todos los

pasos sucesivos retienen el carácter bi-funcional y cada especie bi-funcional formada y permaneciendo en el sistema en cualquier punto del tiempo o grado o reacción es capaz de reaccionar con cualquier otra especie bi-funcional incluyendo otro de su mismo tamaño o una molécula monómera no reaccionada y la eliminación de una molécula de H_20 como subproducto, en cada etapa permanece como una característica común. Un paso más de la condensación resulta en la pérdida de una o más especies bi-funcionales y como una consecuencia dos grupos funcionales, uno de cada tipo es perdido en cada etapa. La formación de una molécula de cadena larga de grado de polimerización n, donde n tiene un valor grande puede ser expresado en la ecuación 2.6, combinando (2n – 1) etapas sucesivas de condensación.

$$n\ HOROH + n\ HOOCR'COOH \rightarrow HO\ –[-ROOCR'COO-]_n – H + (2n – 1)\ H_2O \qquad (2.6)$$

El proceso de crecimiento de cadena en cualquier punto del tiempo puede ser representado por la ecuación 2.7.

$$\Sigma M_n + \Sigma M_m \rightarrow \Sigma M_{n+m} + H_2O \qquad (2.7)$$

Donde n y m pueden tener cualquier valor entero entre 1 y α. Para el monómero, el valor de n o m es 1.

Por otra parte, la polimerización por adición es un proceso por el cual monómeros insaturados son convertidos a polímeros de alto peso molecular, exhibiendo las características de una reacción en cadena típica. Un gran número de diferentes clases de monómeros insaturados, tales como el etileno ($CH_2 = CH_2$) la más simple olefina, alfa olefinas ($CH_2 = CHR$, donde R es un grupo alquilo) compuesto de vinil ($CH_2 = CHX$, donde X = Cl, Br, I, alcoxi, CN, COOH, COOR, C_6H_5, etc., átomos o grupos) y diolefinas conjugadas (>C = C – C = C<) fácilmente experimentan este tipo de polimerización mecánicamente caracterizada como polimerización de crecimiento de cadena o simplemente polimerización en cadena.

La polimerización por adición o por reacción en cadena, como otras reacciones en cadena típicas son reacciones rápidas tipificadas por tres etapas normalmente diferentes, verbigracia (i) iniciación del proceso en cadena, (ii) propagación de la cadena o proceso de crecimiento de la cadena, y (iii) suspensión del crecimiento de la cadena.

La iniciación de la polimerización en cadena puede ser activada e inducida por calor, luz, radiaciones de alta energía o aditivos químicos conocidos como iniciadores o catalizadores para la polimerización. La iniciación es usualmente una consecuencia directa de la generación o introducción de especies altamente reactivas R* a través de la disociación o degradación de algunas moléculas monómeras (M) bajo la influencia de tales agentes físicos como calor, luz, radiación, etc. o como una consecuencia de la disociación o descomposición del iniciador o moléculas catalíticas presentes como se muestra en la ecuación 2.8.

$$I \rightarrow R^* \tag{2.8}$$

Las especies reactivas pueden ser un radical libre, catión o anión el cual fácilmente ataca la molécula del monómero insaturado si las condiciones son favorables, se añade a sí mismo a la molécula del monómero abriendo el enlace π para formar un centro reactivo nuevo (radical, centro de catión o anión) dependiendo de la naturaleza de R* y el medio ambiente químico predominante. El nuevo centro reactivo se añade a molécula de monómero, M y el proceso es repetido en sucesión rápida llevando a muchas más moléculas de monómero a añadirse a las mismas especies en crecimiento en su reactivo o centro de crecimiento para seguir la propagación del proceso en cadena como se indica en la ecuación 2.9.

$$R^* + M \rightarrow R - M^* \xrightarrow{+\,M} R - M - M^* \xrightarrow{+\,M} R - [M]_{n-1} - M^* \tag{2.9}$$

Para un monómero de vinil (M, estructuralmente escrito como $CH_2 = CHX$) la cadena de crecimiento de tamaño n puede ser escrita como $R - [CH_2 = CHX]n\text{-}1 - CH_2 - {}^*CHX$. La cadena de crecimiento es terminada en algún punto por la aniquilación del centro reactivo o mecanismo más conveniente y apropiado altamente dependiente del tipo

de centro reactivo (radical, catión o anión), de la naturaleza del monómero M y sobretodo del ambiente y condición de la reacción.

La polimerización por adición o en cadena es también conocida comúnmente como polimerización de vinilo y afines, en vista del hecho de que la mayoría de los monómero involucrado generalmente contienen el grupo químico (CH_2 = CH-), comúnmente identificado como grupo vinilo. En polimerización radical o radical libre, la cadena que se propaga es un radical libre y el proceso es usualmente iniciado usando un radical libre.

La polimerización de un vinil o monómero afín M, inducido en presencia de un iniciador radical libre, puede ser expresada esquemáticamente en la figura 2.6.

Descomposición del iniciador:

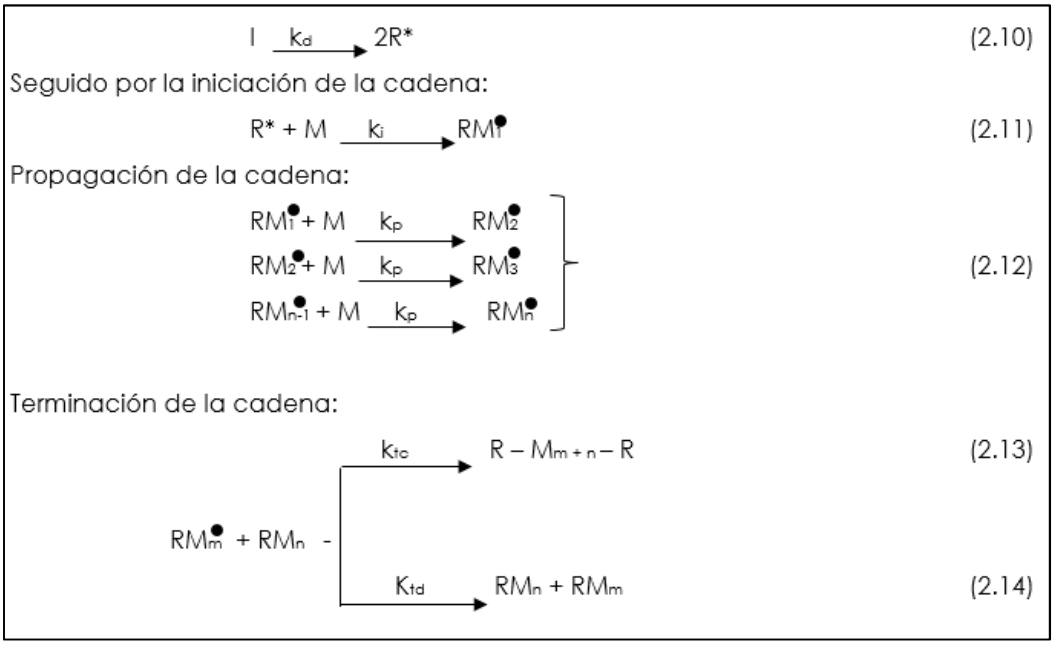


Figura 2.6. Reacción en cadena usando un iniciador radical libre. Fuente: Ghosh, 2008.

Donde R* es un radical generado desde el iniciador I y RM_1, RM_2, RM_3, etc. son las cadenas del polímero de crecimiento, cada uno soportando una valencia libre o centro radical en el extremo de la cadena y $RM_{n'}$, $RM_{m'}$, $R – M_{n+m} – R$, son las moléculas del polímero obtenidas.

Es evidente de la figura 2.6 que los fragmentos del iniciador en la forma de radical R* son atrapados como grupos extremos en la estructura del polímero, sellando uno o ambos extremos de las cadenas del polímero.

2.3 PRINCIPIOS DEL DISEÑO INDUSTRIAL

Para entender el alcance del diseño industrial, es necesario definirlo, para lo cual se presentan diferentes conceptos, el primero de ellos lo establece [18] que indica que el diseño abarca muchos campos y puede ser descrito como un proceso creativo que trae a un nuevo producto, concepto o proceso usando medios subjetivos o cualitativos.

Otro concepto de este tema lo mencionan, [19] al decir que un problema de diseño es la caracterización de una necesidad social y este tiene típicamente varias soluciones y todas las soluciones posibles constituyen el espacio de la solución de diseño. Algunas de estas soluciones pueden ser (1) de alta, media o baja tecnología, (2) caras o económicas, (3) eficientes o deficientes, (4) manuales o automatizadas, (5) desarrolladas por gente que tiene conocimientos teóricos limitados, pero tienen una rica experiencia (por ejemplo, la mano de obra), y (6) soluciones aceptables de acuerdo a algún criterio. Las soluciones aceptables cumplen varios requerimientos mientras que las soluciones óptimas o cercanas a lo óptimo cumplen con la mayoría de los requerimientos. En la figura 2.7 se muestra este concepto.

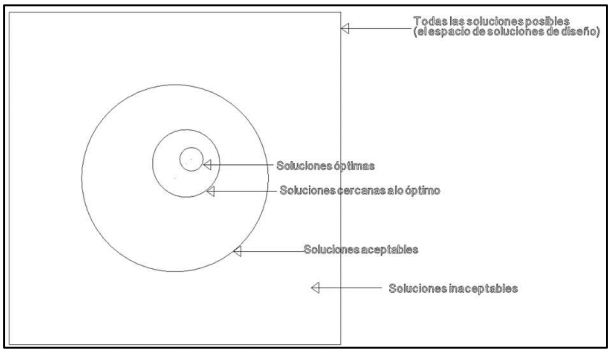


Figura 2.7. Espacio de soluciones de diseño. Fuente: Haik, 2007.

Los retos del diseño son: definición del problema e identificación de la solución. Cuando uno de estos no está bien hecho, el diseño puede fallar en producir los resultados esperados.

La ingeniería de diseño es la aplicación de conocimientos científicos para la solución de problemas técnicos y la optimización de esas soluciones dentro de los requerimientos y las restricciones establecidas por lo materiales, la tecnología, la legalidad, el medio ambiente y las consideraciones de las relaciones humanas [20].

Por su parte [21] indican que, el proceso de la ingeniería de diseño es a menudo descrito como una secuencia de fases empezando con una necesidad percibida y terminando con una descripción detallada de un producto o sistema particular. Dependiendo del producto, las fases pueden ser etiquetadas de diferentes maneras y llevadas a cabo en paralelo con el diseño de un proceso de manufactura apropiado. Cada fase puede ser considerada como un proceso de diseño en sí mismo, consistiendo en un conjunto de pasos iterativo.

Otro concepto importante lo establecen [22], al mencionar que el proceso de diseño es un procedimiento iterativo como se muestra en la figura 2.8. Un diseño preliminar es hecho en base a la información disponible y es mejorado conforme más información es generada.

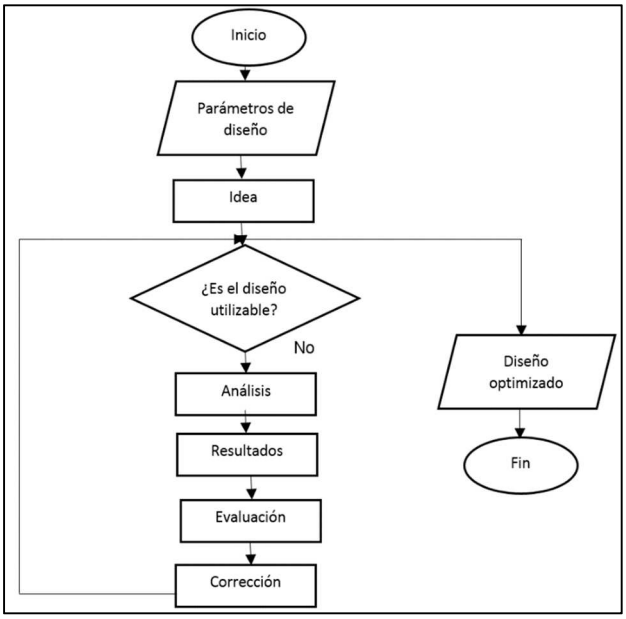


Figura 2.8. Procedimiento de diseño iterativo. Fuente: Narayan, 2008.

La habilidad para diseñar requiere tanto de ciencia como de arte. La ciencia puede ser aprendida a través de un proceso sistemático, experiencia y técnica de solución de problemas. El arte puede ser ganado por la práctica y una total dedicación para ser competente [23].

El diseño de un dispositivo o sistema puede ser hecho de dos maneras:

1. Cambio evolutivo. Un producto es permitido que se desarrolle sobre un periodo de tiempo con una ligera mejora. Esto es hecho cuando no hay competencia. Las capacidades creativas del diseñador son limitadas.
2. Innovación. El crecimiento científico rápido y los crecimientos tecnológicos, así como la competencia entre compañías por su parte en el mercado han colocado una gran oferta o énfasis de nuevos productos los cuales se arrastran pesadamente sobre la innovación. Las habilidades creativas y analíticas del ingeniero de diseño juegan un papel importante.

De acuerdo con [24] el diseño es el proceso de la traducción de una idea en información detallada desde la cual un producto puede ser manufacturado. Cada una de sus etapas requiere de decisiones acerca de los materiales de los cuales el

producto debe ser hecho y del proceso para hacerlo. El costo entra tanto en la selección del material como en la manera en que el material es procesado. Los materiales son derivados de recursos naturales: minerales para los metales, petróleo para los polímeros, minerales para cerámicas y vidrios y muchos de esos recursos son finitos.

Por otra parte, [25] menciona que el diseño para el medio ambiente es "la consideración sistemática del desempeño del diseño con respecto al medio ambiente, la salud, y los objetivos de seguridad sobre todo el producto y el proceso del ciclo de vida. El diseño para el medio ambiente como otras técnicas de ingeniería concurrente busca direccionar cuidados del ciclo de vida del producto en la fase de diseño. El diseño para el medio ambiente combina varios tópicos relacionados con el diseño: desensamble, recuperación, reciclaje, eliminación de desechos, cumplimiento normativo, salud humana y minimización de material peligroso.

De acuerdo a [26] hay aproximadamente cuatro etapas del proceso de diseño, las cuales son:

1. El diseño conceptual. Es la parte del proceso de diseño por la identificación de los problemas esenciales, por el establecimiento de función y por la búsqueda de los principios de trabajo apropiados y su combinación, la solución básica es obtenida a través de la elaboración de un principio de solución.
2. Diseño preliminar. Esta etapa (diseño de viabilidad) puede ser considerada como una parte del diseño conceptual, la disposición preliminar es obtenida por el refinamiento de los diseños conceptuales y la categorización de ellos de acuerdo a las especificaciones de diseño y seleccionando el mejor como el diseño preliminar.
3. Diseño de encarnación es la parte del proceso de diseño en la cual, empezando desde la estructura de trabajo o concepto de un producto técnico, el diseño es desarrollado de acuerdo con criterios técnicos y económicos y en la luz de información adicional hasta el punto donde el subsecuente diseño de detalle puede llevar directamente a la producción.

4. Diseño de detalle es la parte del proceso de diseño la cual completa la encarnación de productos técnicos con instrucciones finales acerca de la disposición, formas, dimensiones y propiedades de superficies de todos los componentes individuales, la selección definitiva de materiales, procedimientos de operación y costos.

Por su parte [27] indica que el proceso de diseño como se aprecia en la figura 2.9 comienza con una identificación de las necesidades que deben ser satisfechas por una solución dada. La importancia y la variedad de estas necesidades provienen de dos fuentes generales:

- Formales: requerimientos funcionales para el producto.
- Informales: requerimientos sugeridos por el consumidor.

Esta fase permite al diseñador una mejor conceptualización del problema de ingeniería, permitiendo realizar una correcta formulación del mismo, al tiempo que logra una limitación en las decisiones de aceptación. Es claro que sin un completo entendimiento del problema es casi imposible identificar la solución correcta o soluciones.

Es importante reconocer que un problema específico debe ser correctamente formulado si se desea alcanzar una solución específica. Por esta razón el problema debe estar definido en forma de objetivos, que deben ser alcanzados por cualquier solución viable.

Las respuestas a las siguientes interrogantes pueden ser de gran utilidad en la correcta formulación del problema:

- ¿El problema definido difiere del problema inicialmente concebido o presentado y en qué forma?
- ¿Conoce quién o cuál es la fuente?
- ¿Qué objetivos tienen más relevancia?
- ¿Conoce los criterios de diseño?

- ¿Conoce las especificaciones del diseño?
- ¿Con qué recursos se cuenta para alcanzar una solución?

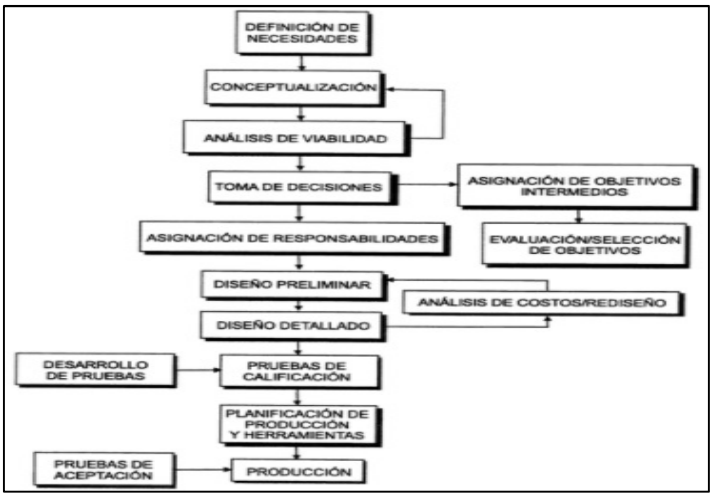


Figura 2.9. Etapas en el proceso de diseño. Fuente: García, 2004.

Según [28] el proceso de diseño completo, de principio a fin, que a menudo se bosqueja como se muestra en la figura 2.10, comienza con la identificación de una necesidad y la decisión de resolverla, después de muchas iteraciones, termina con la presentación de los planes para satisfacerla. De acuerdo con la naturaleza de la tarea de diseño, algunas fases se repiten durante la vida del producto, desde la concepción hasta la terminación.

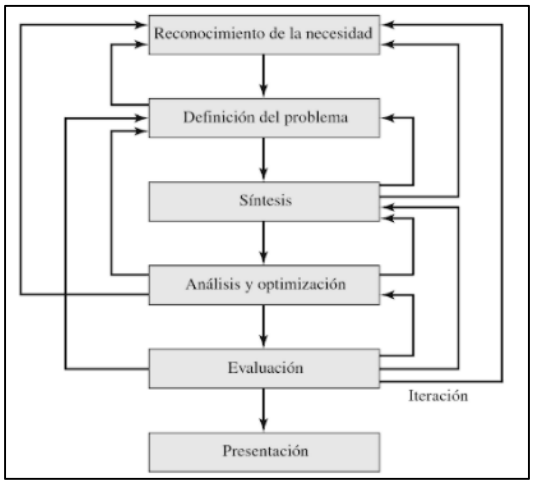


Figura 2.10. Fases del proceso de diseño que reconocen múltiples retroalimentaciones e iteraciones. Fuente: Budynas, 2012.

Por otra parte, en el proceso de diseño primero se aborda la naturaleza del diseño en general, luego el diseño en ingeniería mecánica en particular. El diseño es un proceso iterativo con muchas fases interactivas. Existen muchos recursos para apoyar al diseñador, entre los que se incluyen muchas fuentes de información y una gran abundancia de herramientas de diseño por computadora. El ingeniero de diseño no sólo necesita desarrollar competencia en su campo, sino que también debe cultivar un fuerte sentido de responsabilidad y ética de trabajo profesional.

Hay funciones que deben realizarse mediante códigos y normas, por la siempre presente economía, por seguridad y por consideraciones de responsabilidad legal del producto. La supervivencia de un componente mecánico se relaciona con el esfuerzo y la resistencia. Los aspectos de incertidumbre siempre han estado presentes en el diseño de ingeniería y típicamente se abordan mediante el factor de diseño y el factor de seguridad, ya sea en la forma determinista (absoluta) o en un sentido estadístico. El enfoque estadístico se refiere a la confiabilidad del diseño y necesita datos estadísticos confiables.

En el diseño mecánico existen otras consideraciones que incluyen las dimensiones y las tolerancias, unidades y cálculos [28].

Estos principios se relacionan con el proyecto en lo referente a la forma de solucionar una problemática de carácter funcional a través de la ingeniería del diseño principalmente en la cuestión mecánica y la metodología que se ha establecido y ha probado ser efectiva, como se puede observar en los desarrollos de elementos mecánicos industriales y automotrices.

2.3.1 Conceptos del ecodiseño

Como parte de la propuesta de innovación en la cuestión del desarrollo y definición de parámetros de las propiedades principales de un biopolímero en el presente proyecto, se presentan conceptos que tienen que ver con una forma de alternativa de diseño llamada ecodiseño el cual consiste en integrar los aspectos ambientales en

la concepción y desarrollo de un producto, con el objetivo de mejorar su calidad y, a la vez, reducir los costos de fabricación, a través de metodologías basadas en el estudio de todas las etapas de su vida (ciclo de vida del producto) desde la obtención de materias primas y componentes hasta su eliminación y reciclado una vez desechado.

En el ecodiseño, el medio ambiente tiene el mismo "status" que otros valores más tradicionales como los beneficios, la funcionalidad, la estética, la ergonomía, la imagen o la calidad y además contribuye a integrar la conciencia medioambiental dentro de la actividad de la empresa y más concretamente, en su proceso de desarrollo de productos [29].

El ecodiseño permite reducir la degradación de los ecosistemas, el impacto directo en la salud humana y el agotamiento de los recursos naturales.

En la figura 2.11 se muestra el ciclo de vida del producto, desde la obtención de materias primas y componentes hasta su eliminación una vez desechado.

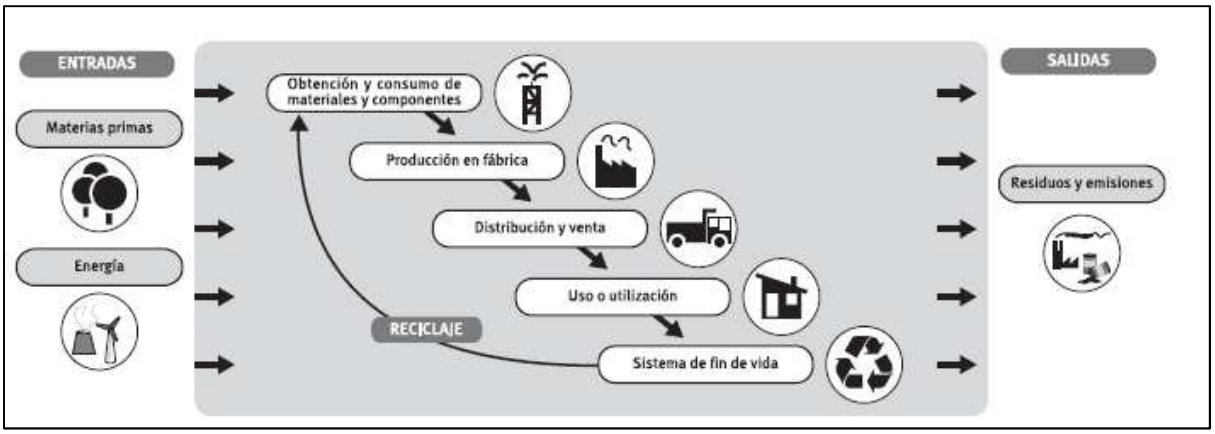


Figura 2.11. Ciclo de vida del producto. Fuente: Sánz, 2014.

La importancia del planteamiento de todo el ciclo de vida del producto radica en que permite identificar de un modo claro todas las entradas y salidas del proceso que suponen un impacto ambiental (no sólo las producidas en la propia fábrica o en una etapa concreta del ciclo). El siguiente paso será reducir al mínimo la cantidad y la

toxicidad de las entradas (materiales y energía) y las salidas (emisiones y residuos) en cada fase, buscando el balance adecuado para minimizar el impacto global del producto, así tenemos que:

- Al reducir el consumo de energía se mejora la gestión ambiental y se reducen costos de producción.
- Al minimizar la cantidad de material utilizado y utilizar materiales renovables o más fáciles de reciclar, se reduce el consumo de recursos y el costo de la materia prima.
- Al optimizar las técnicas de producción, se reduce el tiempo de entrega, se minimiza el impacto ambiental de los procesos y además la empresa mejora su capacidad innovadora.
- Optimizar el volumen y el peso de un producto, junto con el empleo racional del embalaje repercute en un consumo menor de materiales y menor gasto de energía en el transporte con la consiguiente disminución de costos.
- Al reducir consumibles y energía durante el uso del producto, se reducen emisiones y el costo al usuario.
- Al favorecer el mantenimiento y la reparación se alarga el ciclo de vida útil del producto y se consumen menos recursos.
- Al reducir el contenido de los componentes tóxicos y peligrosos, se reduce el impacto directo sobre la salud humana.
- Al disminuir las emisiones (sobre el agua, el aire y el suelo) se reduce la degradación de los ecosistemas.
- Al favorecer el uso de productos más ecológicos, se contribuye a mejorar el ecosistema, así como a conservar los recursos naturales.

Estos conceptos se relacionan con este trabajo de investigación en lo que respecta a la reducción del consumo de energía para el procesamiento de un accesorio automotriz, ya que, al tratarse de un producto hecho de materiales orgánicos, es menor su requerimiento de energía de procesamiento, como se menciona en el planteamiento del problema.

2.3.1.1 El ecodiseño instrumento sustentable en la planeación de proyectos

La metodología para el ecodiseño se estructura en seis pasos [30]:

1. Organización y estrategia empresarial
2. Elección de un producto
3. Análisis del producto
4. Creación de nuevas ideas
5. Desarrollo del concepto
6. Evaluación de resultados

Esta metodología propone que el ecodiseño se considere como una oportunidad para ver el producto desde un ángulo diferente, que empuje hacia la creatividad equilibrando los requerimientos ecológicos con los económicos; esto ha sido probado en Europa, garantizando una reducción entre 30 y 50 por ciento del deterioro ambiental en el corto y mediano plazo.

Los pasos de este método se presentan a continuación.

1. Organización y estrategia empresarial.

En este paso se definen las prioridades para el proyecto como la conformación del equipo de trabajo, donde la participación y compromiso del gerente o dueño son esenciales. En segundo lugar, se considera la posición del ambiente dentro de la filosofía de la empresa y, se propone la realización de un análisis de fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas (FODA) desde el punto de vista del proyecto de ecodiseño incorporando los estímulos internos y externos que dirigirán el rumbo del proceso.

El análisis FODA propone la construcción de una matriz de prioridades, la información se obtiene a partir de entrevistas con los empleados y el gerente donde se expresan las fortalezas y debilidades que perciben en cada una de sus áreas de trabajo, en la figura 2.12 se señalan algunos ejemplos y aspectos a considerar en cada caso, en donde se identifican los elementos del contexto externos (oportunidades y amenazas)

en las columnas; y los aspectos internos a la organización (fortalezas y debilidades) que se identifican en las filas.

Análisis Externo / Análisis Interno	OPORTUNIDADES		AMENAZAS	
	Crecimiento del mercado (9)	Diferenciación productos verdes (6)	Productos chinos a bajo precio (5)	Ley ambiental (1)
FORTALEZAS Capacidad de innovación en la empresa (10)	5	3	1	1
DEBILIDADES Poco capital para invertir (11)	4	3	4	0

Figura 2.12. Matriz de priorización para el análisis FODA. Fuente: Adaptado del Manual de Ecodiseño en Centroamérica, 2001, Mimeo.

Una vez definidos estos aspectos, se establece una escala de calificación de 0 a 5 que ubica el impacto o importancia de cada uno de los elementos internos en función de las situaciones externas.

2. Elección de un producto.

En esta fase el primer paso es definir los criterios de selección entre varias posibilidades, lo cual ayuda a tomar mejores decisiones y permite la definición de intereses. Para analizar el potencial del mercado y la aportación que se derivará del concepto a desarrollar en la estrategia de mercadeo es conveniente aplicar la matriz de ecomercado (figura 2.13), la cual permite visualizar la posición que ocupan cada uno de los productos considerados respecto al mercado y su impacto sobre el medio ambiente. En esta matriz, se visualiza las posibilidades de aceptación por parte de los consumidores potenciales y se vincula con los beneficios ambientales que se derivarían de la transformación. La ubicación de los bienes ofrecidos en los distintos cuadrantes de la matriz se define a partir del resultado de las discusiones entre el personal de la empresa que trabaja en el proyecto de ecodiseño y de ser posible con

la participación de un consultor ambiental. En el esquema, cada estrella, de diferente color, representaría un producto distinto.

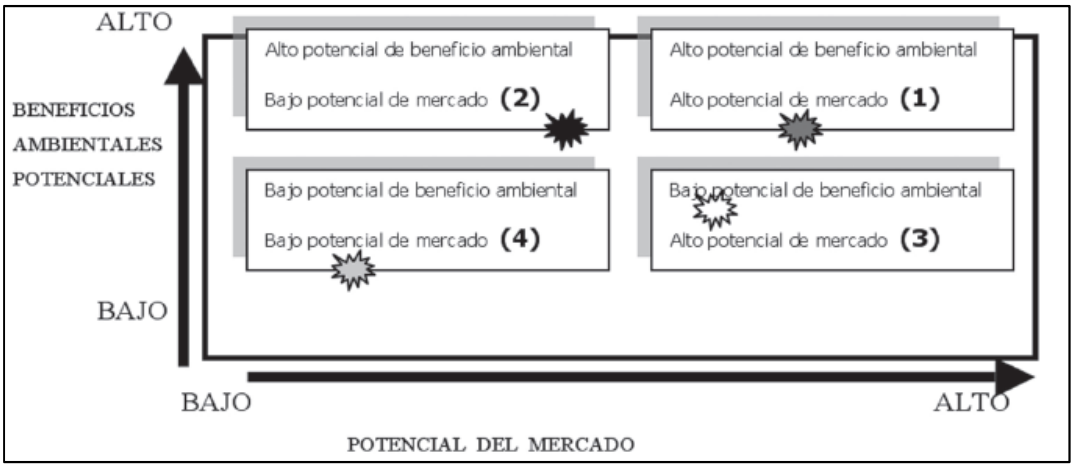


Figura 2.13. Matriz de ecomercado. Fuente: Manual de Ecodiseño en Centroamérica, 2001, Mimeo.

Con estas consideraciones se procede a definir algunos criterios que complementen la posición en la matriz, para ello se establece una escala cualitativa y una cuantitativa, mismas que otorgan una calificación a cada uno de los criterios seleccionados entre los cuales se considera la cercanía al cuadrante 1 de la matriz de ecomercado e incluye aspectos como el costo de manufactura; la complejidad de elaboración; las posibilidades de combinar innovación con beneficio ambiental; criterios con los que evaluarán las distintas opciones. Posteriormente se hace una suma de calificaciones y el producto que resulte con mayor puntaje será seleccionado.

Un aspecto importante en la elección es identificar todo el "sistema de producción", el cual consiste en considerar el contexto necesario para el buen desempeño ambiental y funcional del producto y no verlo de manera aislada.

En la figura 2.14 se observan los criterios de selección de un producto.

	Producto X		Producto Y		Producto Z	
Criterio	*Cuantitativo*	*Cualitativo*	*Cuantitativo*	*Cualitativo*	*Cuantitativo*	*Cualitativo*
Costoso	4	+++	5	+	8	- -
Complejo	3	-	6	++	4	+
Innovador	7	++	9	-	6	--
Impacto amb.	5	---	8	+++	3	++

Figura 2.14. Criterios de selección de un producto. Fuente: Carrillo, 2006.

3. Análisis del producto

En este paso se desarrolla un análisis integral del objeto a desarrollar que permita establecer la mejor estrategia de ecodiseño que se seguirá a lo largo del proyecto. Para ello las preguntas básicas son: ¿Qué puede hacer la organización? ¿Qué quiere hacer? y ¿Qué debe hacer? El análisis se basa en la información detectada en los pasos anteriores: la incidencia de los factores externos e internos, la matriz de prioridades para el análisis FODA y la matriz de ecomercado, a partir de ellas se propone elaborar hojas de trabajo que arrojen la mayor información del producto.

Las Hojas de Trabajo serán creadas de acuerdo con el criterio y las necesidades del experto, éstas consisten en una serie de registros ordenados de toda la información que ha logrado reunirse. Posteriormente se sugiere analizar específicamente el perfil ambiental del bien seleccionado a través de otra matriz, la matriz MET (Materiales, Energía y emisiones Tóxicas), ésta ayudará a concentrar la atención en todas y cada una de las etapas del producto y en los efectos medioambientales que este tiene respecto al consumo y generación de materiales, energía y residuos o emisiones.

En esta matriz (figura 2.15) se establece la entrada y salida de las variables MET en cada una de las etapas del ciclo de vida y posteriormente se establece una escala para definir el grado de impacto ambiental en casos específicos.

Por ejemplo:

A= Impacto alto; M = Impacto medio; B = Impacto bajo

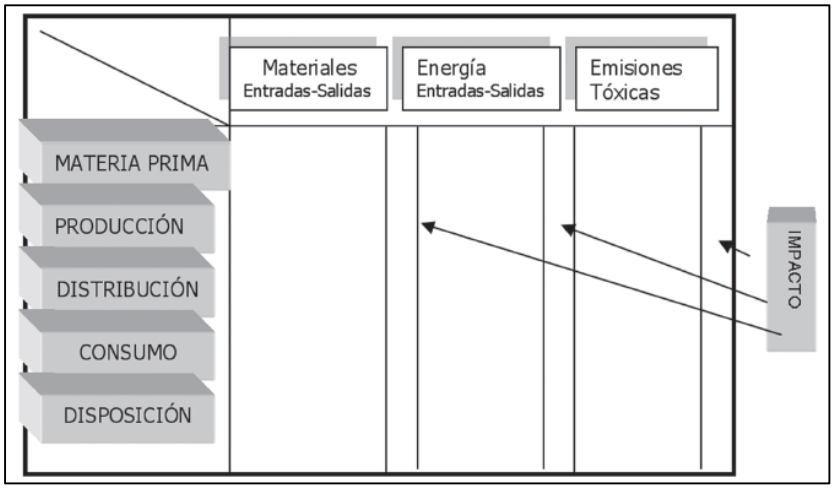


Figura 2.15. Matriz MET. Fuente: Manual de Ecodiseño en Centroamérica, 2001, Mimeo.

Al analizar el producto en esta matriz se consideran tanto éste como los materiales consumibles necesarios para que funcione adecuadamente durante su vida útil. En las columnas delgadas que se ubican entre cada uno de los conceptos se coloca la letra que señala el grado de impacto ambiental que genera cada componente dentro de las distintas etapas del ciclo de vida. De este proceso se desprende una lista de control por etapa, lo que permitirá plantear cuestionamientos sobre la funcionalidad y la aceptación del bien en cuestión considerando tres aspectos: ecodiseño, costos y calidad.

4. Creación de nuevas ideas

En este paso se contribuye a crear opciones de mejora con base en la información generada, para ello es recomendable apoyarse en la rueda de estrategias para el diseño en el ciclo de vida. La rueda de estrategias permite visualizar que estrategias de ecodiseño son posibles de seguir, analizar, y como se encuentra el producto frente a estas estrategias, las que quedan consideradas en tres aspectos: nivel de componentes, nivel de la estructura y nivel del sistema, en cada uno de los puntos se pueden desglosar opciones.

Desarrollo de un nuevo concepto:

a) <u>Niveles de componentes</u>

   1. Materiales con bajo impacto ambiental

2. Reducción de materiales

b) <u>Nivel de estructura</u>

3. Mejores técnicas de producción
4. Distribución eficiente
5. Reducción del impacto durante el uso

c) <u>Nivel del sistema</u>

6. Optimización de la vida útil
7. Optimización al final de la vida útil

Estos criterios se representan gráficamente en la figura 2.16, que es una gráfica polar, la cual revela que entre más próxima al centro se ubique una variable, más se cumple con el criterio elegido.

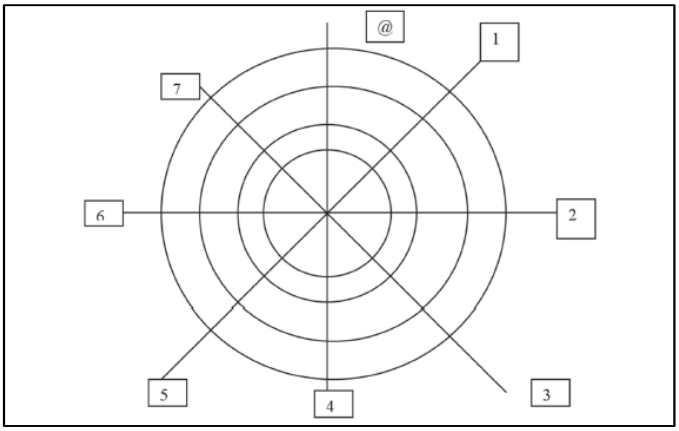


Figura 2.16. Rueda de Estrategias para el Diseño. Fuente: Manual de Ecodiseño en Centroamérica, 2001, Mimeo.

Cada uno de los aspectos queda comprendido en alguna de las variables:

1. Selección de materiales de bajo impacto ambiental, las opciones serían: más limpio, renovable, reciclado, reciclable, con bajo contenido de energía.
2. Reducción en el uso de materiales: en peso o en volumen.
3. Optimizar técnicas de producción: técnicas alternativas, reducir el proceso, menos desechos.
4. Óptimo sistema de distribución: empaque ligero, vehículos eléctricos, rutas más cortas.

5. Menor impacto durante su uso: bajo consumo de energía, fuentes alternas de energía.
6. Vida óptima del producto: más durabilidad, estructura modular.
7. Optimización del fin de vida: reutilización del material.

Posteriormente a la definición de los criterios en el gráfico se recomienda organizar una sesión de lluvia de ideas para identificar esas opciones en cada punto, observando los ocho ejes de la rueda de estrategias, hasta definir elementos de mejora para finalmente estudiar la factibilidad técnica, financiera y oportunidades de mercado de las opciones identificadas.

5. Desarrollo del concepto del producto.

La creación de conceptos surgirá de la combinación de ideas de mejora. Cada combinación generará un nuevo concepto o al menos una aproximación, un ejemplo se señala en la figura 2.17.

Estrategia de ecodiseño	Necesidades del sistema	Interrelación
Reutilización del producto	Más ventas	No
Reciclado de materiales	Buena imagen ambiental	Sí
Más eficiente en uso de energía	Reducción de costos	Sí

Figura 2.17. Interrelación de estrategias y requerimientos del sistema. Fuente: Gestión de proyectos empresariales, 2000.

Con la interrelación mostrada en la figura 2.17, se propone identificar si las estrategias que se derivan del proyecto de ecodiseño están relacionadas directamente con las necesidades de la empresa y el entorno en el que ésta se desempeña. Una vez desarrollado el ejercicio de interrelación de variables, los conceptos creados se evalúan con el fin de seleccionar el mejor, buscando que esté en línea con la estrategia de la empresa, cumpla con los requerimientos del proyecto y mejore el desempeño del producto en las áreas prioritarias que marca la rueda de estrategias.

Una vez seleccionado el concepto se detalla cada etapa de su ciclo de vida, como se observa en la figura 2.18.

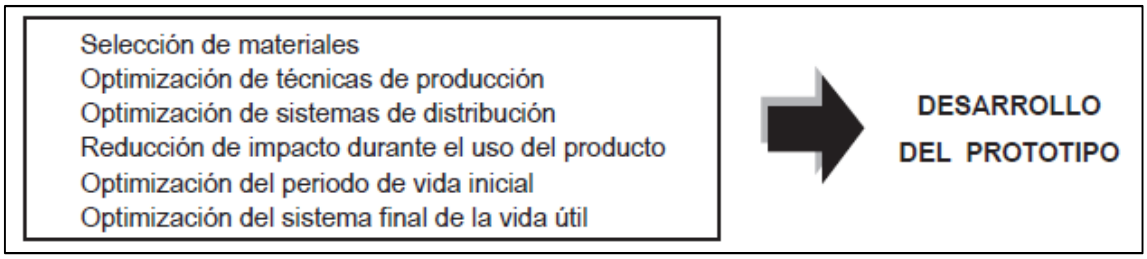


Figura 2.18. Etapas para el desarrollo del prototipo. Fuente: Gestión de proyectos empresariales, 2000.

En este paso ya se tiene una visión integral del diseño y es posible probarlo a partir de un prototipo. La finalidad será comparar el desempeño del nuevo producto ecodiseñado con otros que fabrica la misma empresa o los competidores, al tiempo que se realizan ajustes y mejoras antes de iniciar la producción del nuevo diseño.

6. Evaluación de resultados.

La creación de conceptos surgirá de la combinación de ideas de mejora. Cada combinación generará un nuevo concepto o al menos una aproximación, un ejemplo se señala en la figura 2.17.

En esta etapa final se exploran dos fases de la evaluación, la del producto y la del proyecto, con el fin de establecer actividades de seguimiento para la integración formal del ecodiseño a las operaciones regulares de la empresa; esto preferiblemente se hace mediante un sistema de gestión ambiental o de aseguramiento de la calidad para que el ecodiseño se desarrolle bajo esquemas estables y de mejora continua.

a) *Evaluación del producto*: considera los beneficios ambientales y económicos que se obtienen de la nueva propuesta. Aunque sólo se evalúa adecuadamente una vez que está en el mercado, es posible hacer algunas estimaciones sobre el prototipo con el fin de diseñar la estrategia para que el ecodiseño se convierta en una práctica formal y se aprovechen las ventas para el establecimiento de una

estrategia de *mercadeo verde*. Para esto son pertinentes preguntas, como ¿Cuáles son los nuevos impactos ambientales? ¿El nuevo producto cumple de la manera más eficiente su función? ¿Qué tan drástico fue el rediseño? o ¿Qué tan radical fue el cambio respecto a los de la competencia? Es muy importante aprovechar las ventajas que se presentan y darlas a conocer por el mercadeo verde, el cual se expresa mediante estrategias de promoción que explican los beneficios, y de programas de ecoetiquetado que faciliten su posicionamiento.

b) *Evaluación del proyecto*: es muy importante evaluar la forma en que se desarrolló el proyecto y el proceso de aprendizaje para establecer un plan de trabajo que permita incorporar o mejorar el sistema de gestión ambiental de la organización. Lo que se busca detectar son las debilidades, los aspectos positivos y las oportunidades que el proyecto ofrece para estimar las posibilidades de rediseño de otros conceptos en la compañía.

Como se observa, el ecodiseño tiene una metodología que permite trabajar un proyecto de la manufactura sustentable para que sea exitoso, por lo que este proyecto se relaciona con este concepto en lo referente a la metodología indicada en este apartado.

2.3.1.2 Ecodiseño – oportunidad competitiva

Aquellas empresas que consideren el ecodiseño como una oportunidad para aumentar su competitividad deben buscar estímulos dentro y fuera de la empresa.

Existen distintos estímulos internos que motivan a una organización a pensar y trabajar en ecodiseño como parte de su proceso de desarrollo e innovación de productos (figura 2.19) y que se exponen a continuación:

- Necesidad de reducir costos (menos material, mayor eficiencia energética, menor consumo de agua y materias auxiliares, menor generación de residuos).
- Necesidad de mejorar la calidad en factores como funcionalidad, fiabilidad, durabilidad, facilidad de mantenimiento y reparación.

- Necesidad de mejorar la imagen del producto y la corporativa (ecoetiqueta, opinión favorable del consumidor).
- Necesidad de innovación pudiendo conducir a cambios radicales a nivel del producto y a penetrar en nuevos nichos de mercado.
- El sentido de responsabilidad de los directivos resulta fundamental para fomentar iniciativas en el personal y su motivación.

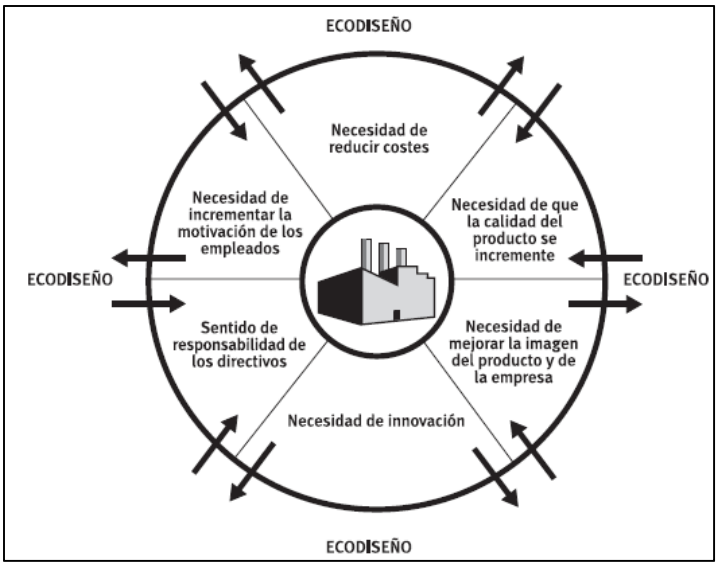


Figura 2.19. Estímulos internos para el ecodiseño. Fuente: Sánz, 2014.

Existen varios factores que impulsan las mejoras ambientales en el medio en que opera cualquier empresa, como los mostrados en la figura 2.20, entre los que destacan la demanda del mercado (clientes y consumidores), la competencia, los gobiernos (mediante leyes y regulaciones), la normalización (ISO 14001, EMAS, ecoetiqueta), el entorno social y los proveedores.

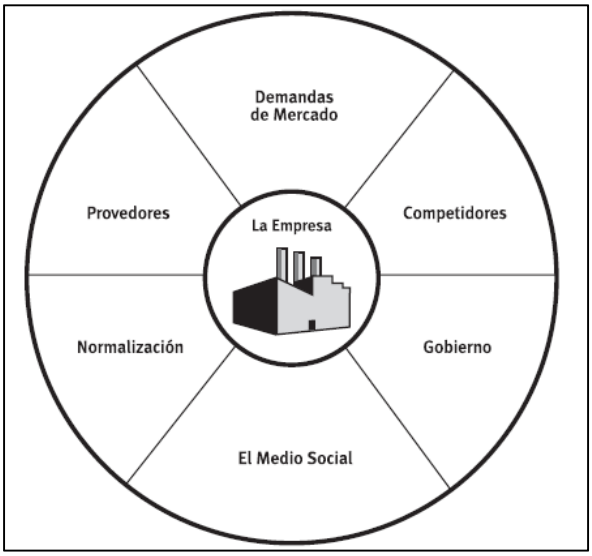


Figura 2.20. Estímulos externos para el ecodiseño. Fuente: Sánz, 2014.

En lo referente al ecodiseño – oportunidad competitiva, existe una relación con el proyecto en lo referente a la reducción de costos por procesamiento de la materia prima, mejora de la funcionalidad e innovación.

2.3.2 Conceptos básicos del diseño asistido por computadora (CAD)

Dentro del tema de diseño [31] menciona que el diseño asistido por computadora permite agilizar la definición de geometrías y especificaciones técnicas que se deben plasmar en un plano para permitir la fabricación del producto, por lo que se presentan los conceptos básicos que dan forma al presente proyecto.

El diseño asistido por computadora (CAD por sus siglas en inglés), es un sistema computarizado para ayudar a los ingenieros en el diseño, desarrollo y revisión del trabajo. Los ingenieros necesitan diseñar nuevos productos, y modificar los productos existentes según los requisitos. A menudo se necesita optimizar los diseños para reducir los costos del producto. En adición, la reducción del tiempo de diseño es también un requerimiento vital para cumplir con el calendario del proyecto. El CAD provee excelentes comodidades a los diseñadores para cumplir su objetivo. Sus muchas comodidades incluyen una excelente visualización del producto diseñado para un mejor entendimiento, análisis en diferentes condiciones de carga y generación de

dibujos más rápida. El CAD facilita el trabajo en diferentes disciplinas de la ingeniería en el mismo proyecto y asegura la integración de todos los datos para el compartimiento, la verificación y la generación de dibujos. El CAD añade algunas ventajas incluyendo la automatización del trabajo repetitivo, análisis de mecanismos y trazado de curvas y animación para la presentación.

Por su parte [32] indican que los sistemas CAD apoyan el proceso de detallado con el objetivo de generar la documentación técnica terminada de una solución la cual puede ser usada para la manufactura y el ensamble. Las actividades en la producción de una solución técnica terminada son resumidas como sigue:

1. Producción del diseño orientado a la manufactura y el ensamble del producto (proceso de diseño).
2. Información tecnológica (proceso de detalle).
    - Dimensiones y tolerancias
    - Forma y tolerancias geométricas
    - Definición de superficies de acabado
    - Disposición de procedimientos de control de calidad
    - Determinación del material
    - Instrucciones textuales sobre cuestiones técnicas y organizacionales
3. Generación del dibujo técnico
    - Plano de manufactura
    - Plano de ensamble
4. Optimización y control
    - Análisis de tolerancias
    - Control de integridad y corrección
    - Control del uso de partes estandarizadas
    - Orden de liberación para producción

En general la solución técnica concebida bajo los aspectos de funcionalidad y eficiencia son optimizados y dispuestos para el diseño para la manufactura y el ensamble. De este modo la funcionalidad completa y la eficiencia del producto es mantenida.

El software de diseño actual, permite a través de la definición de geometrías en dos dimensiones y su posterior modelado en tres dimensiones la generación de partes, ensambles y planos, los cuales están relacionados de tal manera que un cambio en alguno de estas fases de diseño, se refleja en los otros, como se muestra en la figura 2.21 [33].

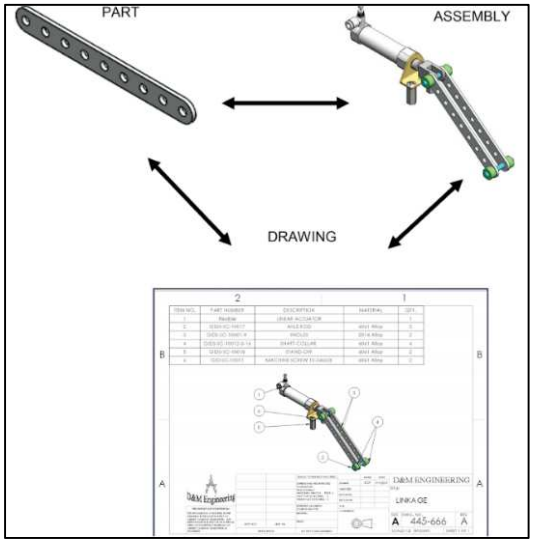


Figura 2.21. Relación de parte, ensamble y plano en CAD. Fuente: Planchard, 2018.

Estos conceptos se relacionan con el proyecto en la cuestión de que el diseño del accesorio automotriz se realiza mediante el uso de un software de CAD en primera instancia en la cuestión de modelado de cada componente del producto, en el ensamble virtual de las partes y en la generación de los planos de fabricación, donde se definen las especificaciones técnicas.

2.4 FUNDAMENTOS DE LA INGENIERÍA ASISTIDA POR COMPUTADORA (CAE)

La manera en que un diseño es confiable desde el punto de vista estructural se logra mediante la utilización de la ingeniería asistida por computadora (CAE), que de acuerdo con [34] es el uso de software computacional para simular el desempeño y así poder hacer mejoras a los diseños de productos o por otra parte apoyar a la resolución de problemas de ingeniería para una amplia gama de industrias. Esto

incluye la simulación, validación y optimización de productos, procesos y herramientas de manufactura.

El CAE se fundamenta en el Método del Elemento Finito el cual de acuerdo con [35] es un método numérico que busca una solución aproximada de la distribución de variables de campo en el dominio del problema que es difícil obtener analíticamente. Esto se hace dividiendo el dominio del problema en varios elementos como se muestra en la Figura 2.22.

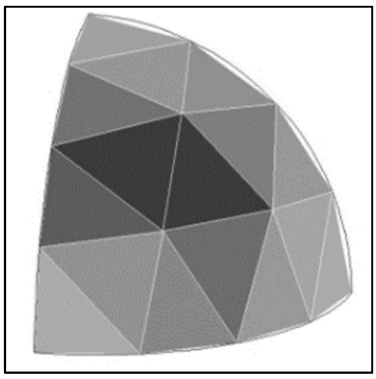


Figura 2.22. Sección esférica discretizada en varios elementos. Fuente: Quek, 2003.

De acuerdo con [36], los procedimientos de discretización del elemento finito reducen el problema a un número finito de incógnitas al dividir la región solución en elementos y expresar la variable del campo de las incógnitas en términos de funciones de aproximación asumidas dentro de cada elemento. Las funciones de aproximación están definidas en términos de los valores de las variables de campo en puntos especificados llamados nodos o puntos nodales. Los nodos usualmente caen en las fronteras del elemento donde los elementos adyacentes están conectados, como se observa en la Figura 2.23.

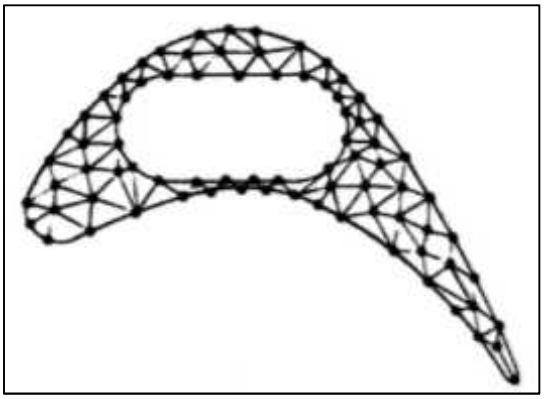


Figura 2.23. Nodos del perfil de un álabe de turbina. Fuente: Huebner, 2001.

El método del elemento finito es un procedimiento numérico que puede ser aplicado para obtener soluciones a varios problemas de ingeniería.

Por su parte [37] indican que cuando se usan métodos numéricos en el modelado matemático, el consiguiente modelo computarizado generalmente consiste de pre-procesamiento, procesamiento y post-procesamiento. En la parte del pre-procesamiento del modelo, se requieren datos para resolver el problema que son generados o leídos.

Los datos de entrada incluyen: la geometría del dominio, las condiciones iniciales y de frontera, los coeficientes y las constantes para el problema particular, el valor de las constantes universales, la red de información (mallado del elemento finito) y varias opciones referentes al problema tales como análisis uni- bi- o tri-dimensional, estado estable o transitorio.

En la parte de procesamiento está la simulación real del problema con el modelo de referencia terminado. Esto incluye la generación de las matrices de elementos el ensamble de las ecuaciones del elemento, la imposición de las condiciones de frontera y la solución del sistema de ecuaciones.

En la parte del post-procesamiento los resultados obtenidos son procesados en términos de tablas, gráficas, contornos, gráficas de barras, etc.

En la fase final de este procedimiento, el ingeniero se enfrenta a la difícil tarea de interpretar los resultados. Por ejemplo, en un análisis de esfuerzos, el ingeniero puede querer saber si un sólido bajo un conjunto de cargas externas fallará [38]. Para responder a esta pregunta el ingeniero debe decidir sobre un criterio de falla apropiado e investigar cuidadosamente los campos de esfuerzos en el sólido.

Por otra parte, los paquetes de CAD como CATIA, SOLIDWORKS y NX, tienen un módulo de elemento finito que puede ser usado para determinar los esfuerzos y deformaciones que ocurren en las piezas sólidas o huecas sometidas a cargas estáticas y dinámicas, las cuales sirven para evaluar en base a las propiedades mecánicas de dichos materiales y determinar posteriormente las secciones transversales óptimas para dichas piezas. En la figura 2.24 se muestra un ejemplo de simulación de esfuerzos, usando el método de elemento finito de una pieza sometida a carga estática, modelada en SOLIDWORKS.

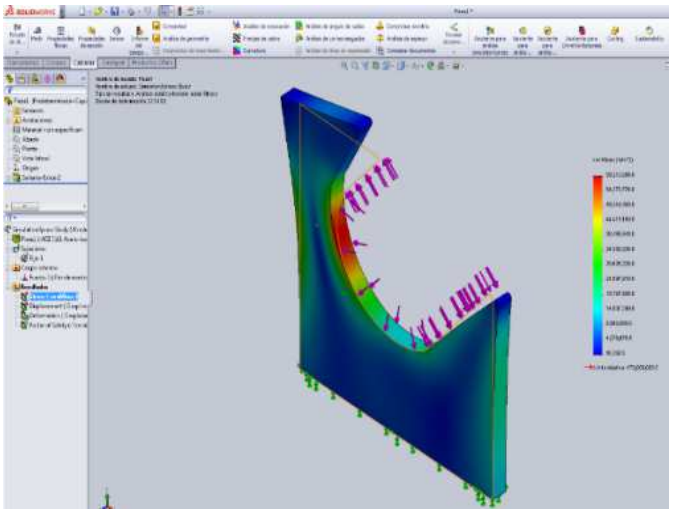


Figura 2.24. Simulación de esfuerzos. Fuente: Elaboración propia, 2018.

El método de elemento finito es una opción que se encuentra en un software de CAD/CAE, el cual facilitará la evaluación de los esfuerzos y las deformaciones que sufrirá el producto que se desarrolla en esta tesis y en consecuencia ayudará en la determinación de las dimensiones necesarias para que el diseño cumpla con su función en lo referente a resistencia y rigidez.

2.5 FUNDAMENTOS DE MANUFACTURA

El otro eje de este proyecto es la fabricación o la manufactura del producto diseñado, para lo cual se presentan los fundamentos de esta disciplina de la siguiente manera.

De acuerdo con [39], en el contexto moderno la manufactura involucra a productos hecho a partir de materia prima mediante el uso de varios procesos que comprenden el uso de herramientas manuales, maquinaría e incluso computadoras. Por lo tanto, es un estudio de los procesos requeridos para hacer partes y ensamblarlas. La ingeniería de proceso en su aplicación a las industrias de ingeniería muestra que tan diferentes problemas relacionados al desarrollo de varias máquinas pueden ser resueltos por un estudio físico, químico y otras leyes que gobiernan el proceso de manufactura. El estudio de manufactura revela aquellos parámetros que pueden ser más eficientes siendo influenciados para incrementar la producción y elevar su precisión.

Por otra parte, [40] concibe a la manufactura como la fabricación de productos a partir de la materia prima usando varios procesos, equipos, operaciones y mano de obra de acuerdo a un plan detallado.

Durante el procesamiento la materia prima se somete a cambios que le permiten convertirse en una parte de un producto o productos. Una vez procesado debe tener un valor en el mercado. El valor añadido al material durante el procesamiento debe ser mayor que el costo de procesamiento para permitir a la organización hacer dinero o lucrar.

La manufactura es la fabricación de bienes y artículos. Durante los dos últimos siglos claramente ha sido el motor del desarrollo económico. Ahora que estamos en la era de la información, podría parecer que está perdiendo su importancia. Cierto, la manufactura parece haberse estabilizado en cerca del 20% del producto interno bruto en las naciones desarrolladas, mientras que el sector de servicios crece constantemente. Sin embargo, gran parte de él existe sólo porque soporta un sector

de manufactura cada vez más complejo. La manufactura aún proporciona los bienes para nuestra existencia, nuestra vivienda, transporte, ocio, necesidades de salud, e incluso para la tecnología de la información [41].

Otro concepto lo establece [42], al indicar que la manufactura puede fabricar productos discretos, es decir, partes individuales o productos continuos. Los clavos, engranes, bolas para rodamientos, latas para bebidas y monobloques para motores son ejemplos de partes discretas, aunque se producen en altos volúmenes y capacidades de producción. En cambio, el alambre, las hojas metálicas y los tubos y tuberías de plástico son productos continuos que después se cortan en piezas individuales y se convierten así en productos discretos.

Por lo general, la manufactura es una actividad compleja que comprende una amplia variedad de recursos y actividades, como las siguientes:

- Diseño del producto.
- Maquinaria y herramienta.
- Planeación del proceso.
- Materiales.
- Compra.
- Manufactura.
- Control de la producción.
- Servicios de soporte.
- Mercadeo.
- Ventas.
- Embarque.
- Servicios al cliente.

Es fundamental que las actividades de la manufactura respondan a las diversas demandas y tendencias:

1. Un producto debe satisfacer totalmente los requisitos de diseño, especificaciones y normas.

2. Un producto debe manufacturarse mediante los métodos más económicos y amigables con el medio ambiente.
3. La calidad debe integrarse al producto en cada etapa, desde el diseño hasta el ensamblado, en vez de confiar sólo en las pruebas de calidad después de haberlo manufacturado.
4. En el ambiente actual altamente competitivo, los métodos de producción deben ser lo suficientemente flexibles para responder a las demandas cambiantes del mercado, a los tipos de productos y a las capacidades de producción, a fin de asegurar una entrega oportuna al cliente.
5. Los desarrollos continuos en materiales, métodos de producción e integración a las computadoras, tanto de las actividades tecnológicas como de las administrativas en una organización manufacturera, deben evaluarse constantemente con miras a su implantación apropiada, oportuna y económica.
6. Las actividades de manufactura deben verse como un gran sistema, cuyas partes se relacionan entre sí en grados variables. Estos sistemas se pueden modelar para estudiar el efecto de factores como los cambios en las demandas del mercado, el diseño del producto, los materiales y los métodos de producción tanto en la calidad como en el costo de los productos.
7. El fabricante debe trabajar con el cliente para obtener retroalimentación oportuna y conseguir así una mejora continua del producto.
8. Una organización manufacturera debe luchar constantemente por obtener mayores niveles de productividad, que se define como el uso óptimo de todos sus recursos: materiales, máquinas, energía, capital, mano de obra y tecnología. Debe maximizarse la producción por empleado por hora en todas las fases.

Por su parte [43] conciben a la manufactura como la aplicación de procesos químicos y físicos que alteran la geometría, propiedades o aspecto de un material para obtener piezas o productos finales, estos procesos son los procesos industriales, y generan un aumento del valor del material de partida, empleando mano de obra, máquinas y herramientas. En la figura 2.25 se muestra este concepto.

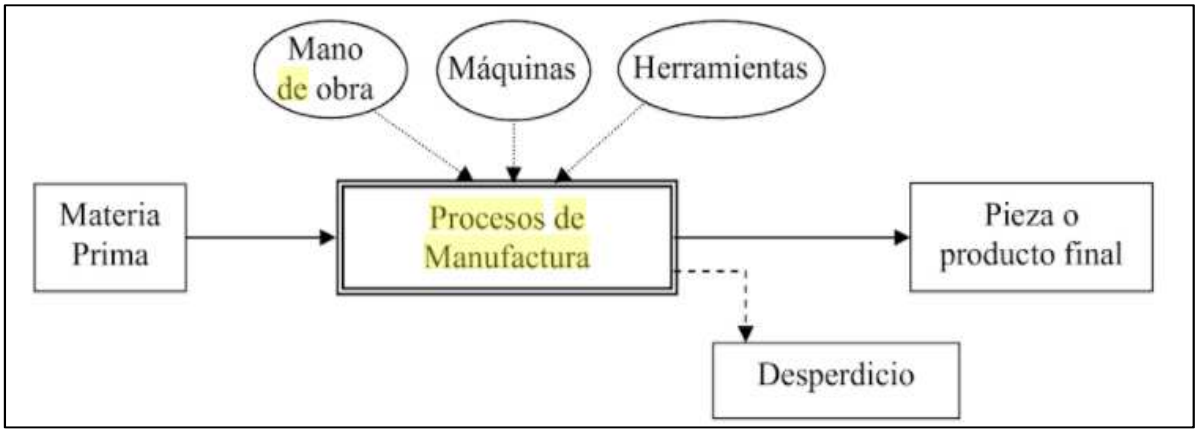


Figura 2.25. Esquema de manufactura. Fuente: Rodríguez, 2006.

Muchos procesos generan desperdicio, parte del material de partida es desperdiciado o reconducido al inicio para formar parte de una nueva materia prima, pero no deja de ser un inconveniente y una reducción en el incremento de valor. Los procesos más modernos intentan minimizar los residuos, fabricando la pieza final directamente o reduciendo el número de piezas (por ejemplo, piezas de polímero).

El desarrollo de la tesis se relaciona con los conceptos de la manufactura en lo referente a la fabricación del accesorio que empieza con la transformación de la materia prima.

2.5.1 Generalidades de los procesos industriales

En general, un proceso se define como la aplicación de una serie de etapas lógicas y ordenadas que persigue un objetivo común. Si a este término se le agrega la palabra industrial, entonces se refiere a cualquier conjunto de actividades o serie de trabajos físicos y/o químicos que provoca un cambio físico o químico en la materia prima, con la finalidad de generar productos de valor comercial.

De acuerdo con [44] quienes mencionan que todo proceso industrial se caracteriza por el uso de insumos y suministros que, sometidos a una transformación, generan productos, subproductos y residuos, como el agua residual, emisión de gases o

material peligroso. En la figura 2.26 se observa una representación general de un proceso industrial en forma de diagrama.

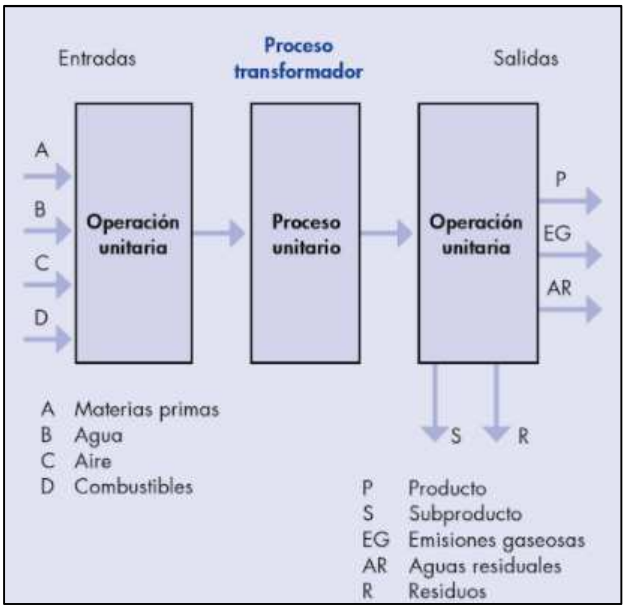


Figura 2.26. Representación general de un proceso industrial. Fuente: Baca, 2014.

Según [45] las diversas transformaciones que reciben los materiales durante el proceso de fabricación se realizan según una secuencia temporal predefinida y organizada. Se llama proceso de fabricación al conjunto de transformaciones que se realizan sobre una materia prima hasta obtener el producto final determinado. También se llama proceso de fabricación a cada uno de los procesos tecnológicos responsables de tales transformaciones; por ejemplo, la estampación de chapa, el torneado, el recocido, son algunos de los procesos de fabricación habituales.

La organización de los procesos de fabricación se basa en la subdivisión de éste en una secuencia lógica y adecuada a los fines perseguidos. Es habitual utilizar la siguiente secuencia:

- Fase: Es un conjunto de transformaciones tecnológicamente afines que se llevan a cabo sobre el producto en la misma máquina, instalación, equipo o puesto de trabajo o, a veces en un conjunto de ellos. Por ejemplo, una fase del

proceso podría ser el mecanizado o, si se considera una misma máquina, las fases de torno, fresado y cepillado.

- Subfase: A veces se distinguen dentro de una fase distintas etapas. Para el caso de una misma máquina, por ejemplo, la fase torno podrían ser subfases diferentes dos distintos posicionados de la pieza o diferentes tipos de operaciones.
- Operación: Se denomina así a cada una de las tareas elementales que se pueden llevar a cabo en una máquina o puesto de trabajo que realiza un proceso determinado. Las operaciones pueden ser productivas, cuando producen efectivamente transformaciones en los materiales (por ejemplo, una embutición o un cilindrado), o no productivas, cuando se trata de operaciones necesarias para el proceso, pero no producen modificaciones en los materiales; por ejemplo, movimientos o cambios de herramientas, operaciones de almacenaje o preparación de las máquinas.

Los procesos de manufactura implican una combinación de máquinas herramienta, energía y trabajo manual. Por lo común la manufactura se ejecuta como una secuencia de operaciones, cada una de las cuales acerca más el material al estado final deseado [46].

Lograr el estado final deseado requiere seguir un proceso de manufactura específico, el cual se clasifica según la actividad de transformación. Las figuras 2.27 a 2.32 catalogan en detalle los procesos de manufactura.

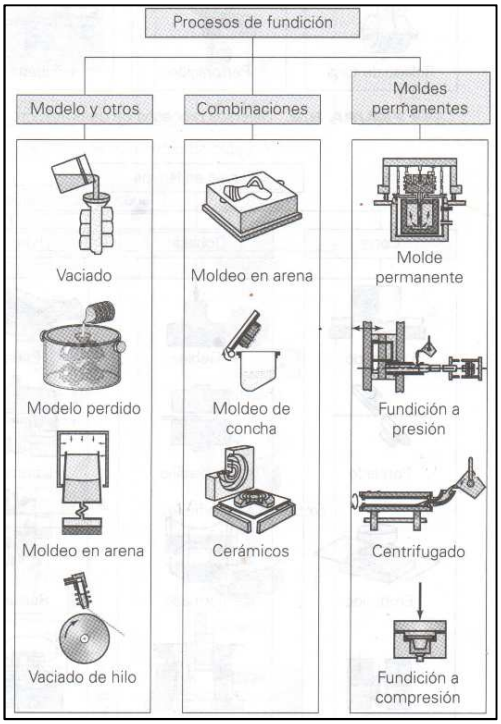


Figura 2.27. Diversos procesos de fundición. Fuente: Hernández, 2015.

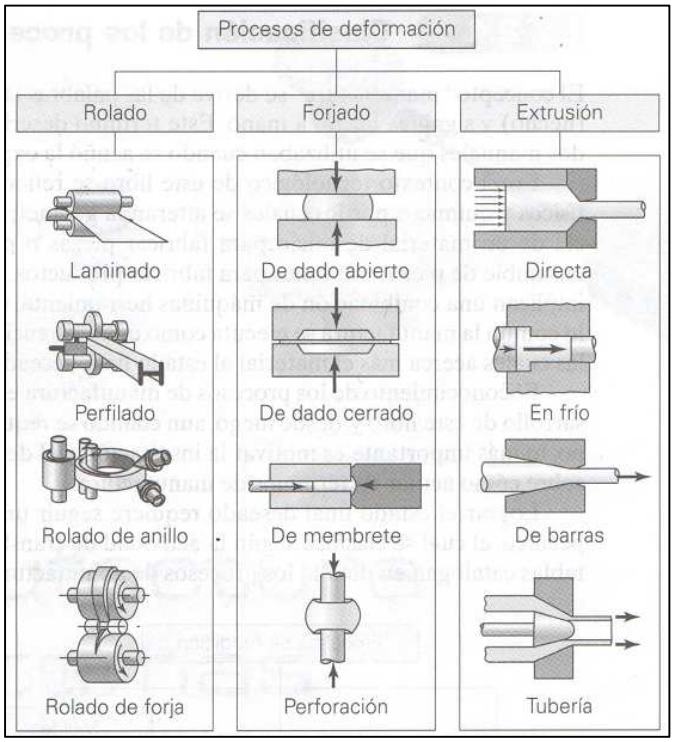


Figura 2.28. Diversos procesos de deformación. Fuente: Hernández, 2015.

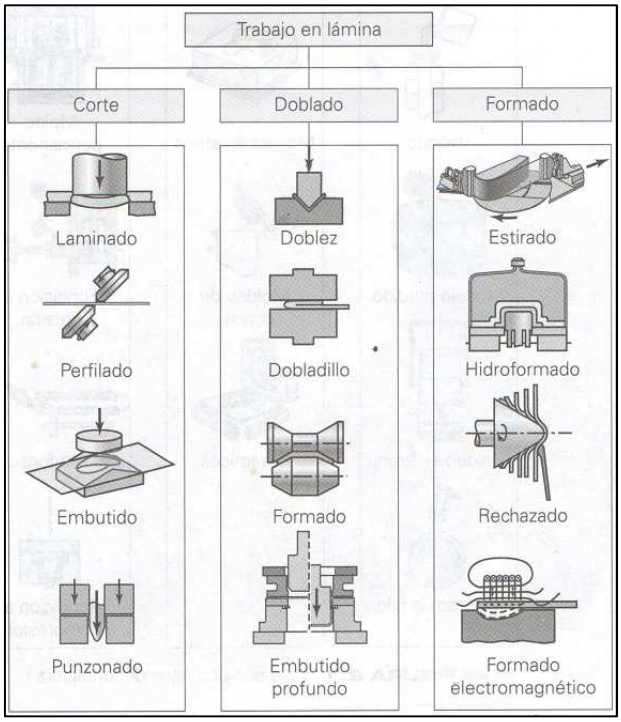


Figura 2.29. Diversos procesos de trabajo en lámina. Fuente: Hernández, 2015.

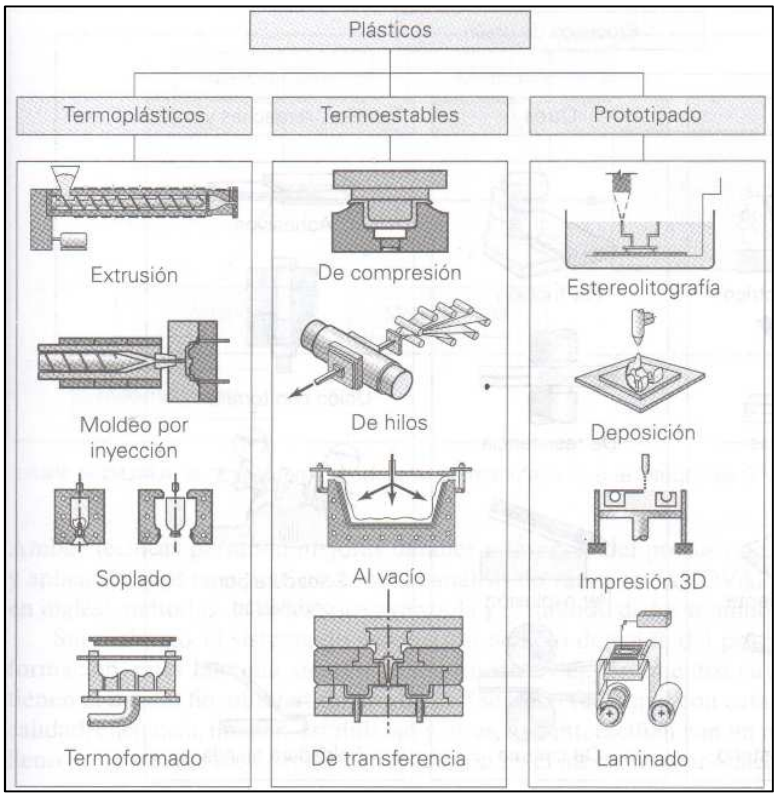


Figura 2.30. Procesos de inyección y moldeo de plásticos. Fuente: Hernández, 2015.

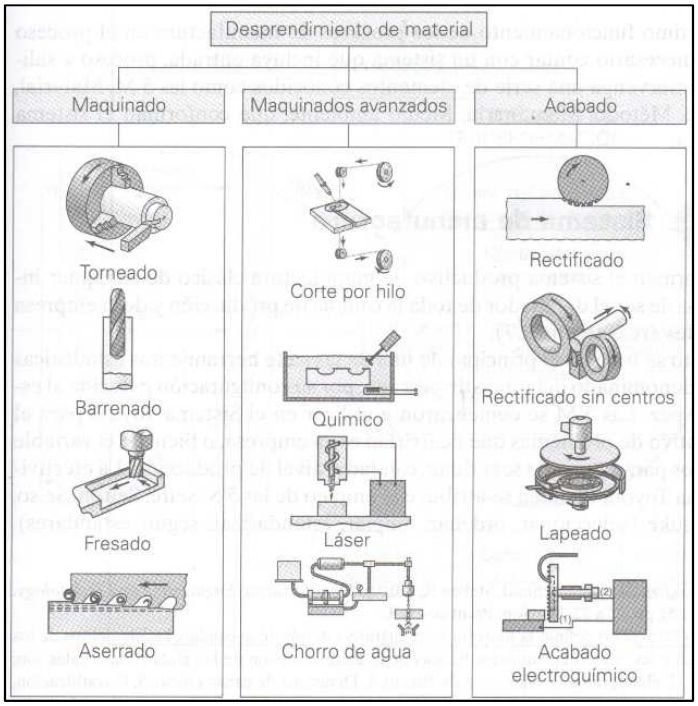


Figura 2.31. Procesos de desprendimiento de material y acabado. Fuente: Hernández, 2015.

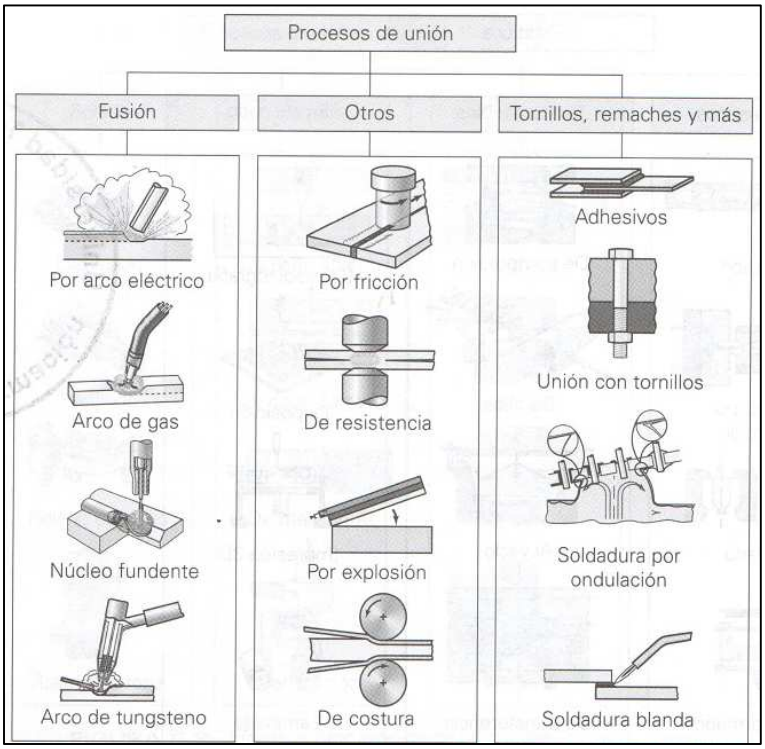


Figura 2.32. Procesos de unión. Fuente: Hernández, 2015.

Estos conceptos tienen relación con la parte de la manufactura que se presenta en esta tesis.

2.5.2 Manufactura Asistida por Computadora (CAM)

De acuerdo con [47] quienes mencionan que la Manufactura Asistida por Computadora (CAM) puede ser definida como el uso de sistemas computacionales para planear, administrar y controlar las operaciones de una planta de manufactura a través de una interface computacional directa o indirecta con los recursos de producción de la planta.

La base CAD/CAM se usa extensamente en la manufactura de componentes y en control de las siguientes áreas:

a) Diseño de herramientas y accesorios de sujeción para fabricar un componente.
b) Programación de las partes mediante control numérico.
c) Planeación robótica.
d) Tecnología de grupos.
e) Sistemas flexibles de manufactura.
f) Planeación de procesos asistida por computadora.
g) Inspección asistida por computadora.

Por otra parte [48] indica que la manufactura asistida por computadora es el control computarizado del proceso de manufactura. El control numérico puede considerarse una forma de CAM, y la robótica es una modalidad más moderna de CAM. El concepto CAM, sin embargo, en su concepción más amplia implica la coordinación automática de los diferentes procesos involucrados en la manufactura de un producto. En particular, si la manufactura automática se integra al diseño asistido por computadora, se obtiene el concepto CAD/CAM, el cual se apoya en interfaces que permiten generar las instrucciones de maquinado en la máquina de control numérico a partir de las especificaciones de diseño desarrolladas en el sistema CAD.

Para aplicar la tecnología CAD/CAM en la fabricación de piezas, es necesario utilizar un software de esta clase, en el cual se definen las geometrías a trabajar, mediante una serie de líneas y dimensiones que conforman la geometría, la cual una vez terminada se guarda en un archivo, para posteriormente definir un tipo de máquina con el que se fabricará la pieza, entre las opciones de máquina comunes se encuentra la fresadora, el torno y la electroerosionadora de hilo, una vez definido esto, se seleccionan las operaciones y las herramientas a usar en la manufactura, así como los parámetros del proceso., toda esta información se conjunta en la simulación de las operaciones seleccionadas, como se observa en la figura 2.33 para finalmente realizar un procesamiento posterior que permite generar los códigos de control numérico que servirán para hacer funcionar la máquina CNC que manufacturará la pieza [49].

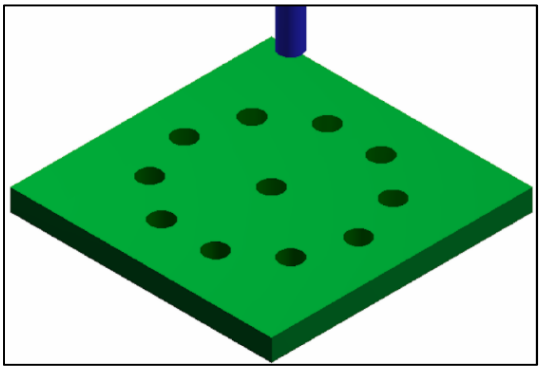


Figura 2.33. Simulación de barrenado en software CAD/CAM. Fuente: Manton, 2007.

La manufactura asistida por computadora tiene mucho que ver en el desarrollo de este trabajo en lo relacionado con la fabricación del herramental que permitirá la producción del accesorio propuesto.

2.6 PRINCIPIOS DEL ANÁLISIS Y DISEÑO DE EXPERIMENTOS

Como aportación de innovación en el contexto de la materia prima (bioplástico), el material a usar en la fabricación del accesorio automotriz, se desarrolla mediante la metodología del diseño de experimentos, para lo cual se presentan sus principios.

La observación de un sistema o proceso mientras está en operación es una parte importante del proceso de aprendizaje y es una parte integral del entendimiento y el aprendizaje acerca de cómo trabajan los sistemas y procesos. Para entender lo que sucede en un proceso cuando se cambian ciertos factores de entrada, se hace más que observar [50]. Esto significa que para entender realmente las relaciones causa-efecto en un sistema, se deben cambiar deliberadamente las variables de entrada del sistema y observar los cambios en la salida del sistema, que esos cambios de entrada producen. En otras palabras, se necesitan conducir experimentos en el sistema. Las observaciones sobre un proceso o sistema pueden llevar a teorías o hipótesis, acerca de cómo funciona el sistema, pero los experimentos son requeridos para demostrar que esas teorías son correctas.

El propósito de experimentos diseñados estadísticamente es recolectar los datos apropiados los cuales serán analizados por métodos estadísticos resultando en conclusiones válidas y objetivas. Los dos aspectos del problema experimental son:

1. El diseño del experimento, y
2. El análisis estadístico de los datos.

Por su parte [51] mencionan que los siguientes principios básicos son usados en la planeación/diseño de experimentos.

Réplica: La réplica involucra la repetición del experimento y la obtención de la respuesta desde la misma preparación una vez más sobre diferentes unidades experimentales (muestras). Una unidad experimental puede ser un material, animal, persona, máquina, etc. El propósito de la réplica es obtener la magnitud del error experimental. Este error estimado (varianza de error) es usado para probar estadísticamente la diferencia observada en los datos experimentales. Las réplicas también permiten al experimentador obtener una estimación precisa del efecto de un factor estudiado en el experimento. Finalmente, la réplica no es una medida repetida. Suponiendo en un experimento cinco mediciones de dureza son obtenidas sobre cinco muestras de un material particular usando la misma punta para hacer la indentación. Estas cinco medidas son cinco réplicas.

Aleatoriedad: El uso de métodos estadísticos requiere aleatoriedad en cualquier experimento. La asignación de unidades experimentales (muestras) para conducir el experimento, así como el orden de experimentación debe ser aleatorio. Los métodos estadísticos requieren que las observaciones (o errores) son variables aleatorias distribuidas independientemente. Esto cumple el requerimiento. También ayuda en el promediar los efectos de efectos extraños que pueden estar presentes durante la experimentación. Cuando la aleatoriedad no es posible, los métodos de diseño apropiados deben ser usados para atajar la restricción de la aleatoriedad.

Bloqueo: El bloqueo es una técnica de diseño usada para mejorar la precisión del experimento. Principalmente es usado para reducir o eliminar el efecto de factores de molestias o de factores de ruido. Un bloque es una porción del material experimental que debe ser más homogénea que el conjunto completo de material o bloque es un conjunto de material más o menos homogéneo de condiciones experimentales. Es también una restricción sobre una aleatorización completa.

El experimentador debe definir claramente el propósito y el alcance del experimento. El objetivo del experimento puede ser, por ejemplo, determinar las condiciones de operación óptimas de un proceso para evaluar los efectos relativos en el desempeño del producto de diferentes fuentes de variabilidad o para determinar si un nuevo proceso es superior al existente. El experimento será planeado apropiadamente para recolectar datos para aplicar los métodos estadísticos para obtener conclusiones válidas y objetivas. El procedimiento siguiente de siete pasos puede ser seguido:

1. Establecimiento del problema.
2. Selección de factores, niveles y rangos.
3. Selección de la variable de respuesta.
4. Elección del diseño experimental.
5. Conducción del experimento.
6. Análisis de datos.
7. Conclusiones y recomendaciones.

Por su parte [52] indica que los experimentos son realizados hoy en día en muchas organizaciones de manufactura para incrementar el entendimiento y conocimiento de varios procesos de manufactura. Los experimentos en las compañías de manufactura son conducidos a menudo en series de pruebas los cuales producen resultados cuantificables. Para la mejora continua en la calidad del producto/proceso, es fundamental entender el comportamiento del proceso, la cantidad de variabilidad y su impacto en el proceso. En un ambiente de ingeniería, los experimentos son conducidos a menudo para explorar, estimar o confirmar. La exploración se refiere al entendimiento de datos del proceso. La estimación se refiere a determinar los efectos de las variables del proceso o a factores sobre la característica de desempeño del resultado. La confirmación implica la verificación de los resultados predichos del experimento.

En los procesos de manufactura, a menudo es de interés principal explorar las relaciones entre las variables clave de entrada del proceso (o factores) y las características de desempeño (o características de calidad). Por ejemplo, en una operación de corte de metales, la velocidad de corte, el avance, el tipo de refrigerante, la profundidad de corte., pueden ser tratados como variables de entrada y el acabado superficial o la parte acabada pueden ser considerados como la característica de desempeño del resultado.

Para los procesos industriales modernos, la interacción entre los factores o parámetros del proceso son un asunto prioritario para muchos ingenieros y gerentes, de aquí que deben ser estudiados, analizados y entendidos apropiadamente para la resolución de problemas y el proceso de optimización. Para muchos problemas de optimización del proceso en las industrias, la causa raíz del problema es a menudo debida a la interacción entre los factores en vez de los efectos individuales de cada factor sobre la característica de desempeño del resultado (o respuesta). De aquí que la característica de desempeño es la característica de un producto/servicio, el cual es lo más crítico para los clientes.

Muchas situaciones experimentales y de campo algunas de las variables son controladas mientras que otras no son controladas. Los factores no controlados son referidos como ruido. El efecto de estos factores no puede ser controlado. Aún si el efecto de las causas de variación puede ser minimizado, entonces el producto resultante o servicio tendrá el mínimo de defectos. El profesor Taguichi introdujo en concepto de diseño robusto. El proveyó el mecanismo para encontrar los mejores arreglos que reducen la variación e incrementan la robustez. Un producto es robusto si es resiliente a las variaciones en el ambiente de trabajo [53].

Muchos experimentos son de naturaleza exploratoria en el siguiente sentido. El investigador está interesado en descubrir que factores tienen una influencia sobre la salida de un cierto proceso. Por ejemplo, uno podría estar interesado si o en a qué grado los factores de concentración de un compuesto químico, tiempo de horneado, temperatura del horno, grado de enfriamiento y cantidad de presión tienen un efecto ya sea individual y/o colectivamente sobre la fragilidad de cierto tipo de utensilio de cocina. El procedimiento obvio a seguir es la variación de "niveles" de estos factores y comparar el desempeño de las varias combinaciones de niveles. Como es hecho esto exactamente no es tan obvio. Para llevar a cabo el experimento se deben tomar muchas decisiones tales como: la elección y el número de niveles de varios factores, posiblemente seleccionado un subconjunto de todas las combinaciones factibles, la elección del plan experimental determinado parcialmente por las condiciones físicas y estadísticas. La elección de la medida de desempeño y la elección del análisis estadístico más apropiado para sacar conclusiones para el propósito destinado.

Algunos de los diseños de experimentos clásicos incluyen a:

- Diseños factoriales.
- Análisis de varianza (ANOVA).
- Métodos Taguchi.
- Modelado de respuesta de superficie.

Asimismo, [54] menciona que los tipos de experimentos o situaciones para las cuales estos métodos son más adecuados incluyen a aquellos con error experimental

aleatorio, relativamente pocos factores y relativamente pocos niveles de factor. Adicionalmente los enfoques de diseño de experimentos clásicos requieren aleatoriedad, réplicas y bloqueo.

El error experimental es la variación aleatoria y no controlable de una variable de respuesta. Más específicamente para la misma combinación factor-nivel, la respuesta tendrá alguna variación natural y una respuesta no determinística. Debido a este error experimental, una práctica común es expandir puntos de diseño para obtener estimaciones más precisas del efecto del factor. Estas técnicas experimentales están a menudo limitadas a pocos factores y factores-niveles porque a menudo son usadas para probar sistemas o procesos físicos y probar tales sistemas requiere tiempo, mano de obra y dinero y todas estas cosas colocan restricciones a un número de corridas experimentales que pueden ser llevadas a cabo.

2.7 MATERIALES USADOS EN EL DISEÑO Y LA MANUFACTURA

Todo diseño y fabricación de productos involucra el uso de materiales, por lo que se presentan los conceptos de los mismos.

Desde el punto de vista funcional, entendemos por material a todo aquello que el ser humano necesita para construir cosas. Esta definición incluye a los sólidos, pero también a líquidos y aún a gases utilizables en situaciones más específicas. En realidad, cualquier materia prima utilizada por una industria podría ser incluida dentro de esta clasificación, pero usando la palabra material en sentido restringido se consideran a aquellos materiales cuyas propiedades no sean un estricto reflejo de las que poseen los elementos que lo componen [55].

Por su parte [56] establece que los materiales sólidos se clasifican en tres grupos: metales, cerámicas y polímeros. Este esquema se basa en la composición química y en la estructura atómica. Por lo general, la mayoría de los materiales encaja en un grupo u otro, aunque hay materiales intermedios. Además, existen otros dos grupos de importantes materiales técnicos: materiales compuestos (composite) y

semiconductores. Los materiales compuestos constan de combinaciones de dos o más materiales diferentes, mientras que los semiconductores se utilizan por sus extraordinarias características eléctricas.

A pesar de los espectaculares progresos en el conocimiento y en el desarrollo de los materiales en los últimos años, el permanente desafío tecnológico requiere materiales cada vez más sofisticados y especializados. Desde la perspectiva de los materiales se pueden comentar algunos extremos.

La energía constituye una preocupación constante. Se reconoce la necesidad de nuevas y económicas fuentes de energía y el uso racional de las actuales fuentes. Los materiales desempeñan un papel preponderante en esta cuestión.

La calidad medioambiental depende de nuestra habilidad para controlar la contaminación del aire y del agua. Las técnicas de control de la contaminación emplean diversos materiales. Además, los procedimientos de fabricación de los materiales deben producir mínima degradación ambiental, esto es, mínima contaminación y mínima destrucción del paisaje en aquellos lugares de donde se extraen las materias primas.

Los transportes consumen cantidades significativas de energía. La disminución del peso de los vehículos de transporte (automóviles, trenes, etc.) y el aumento de la temperatura de funcionamiento de los motores mejoran el rendimiento del combustible. Es necesario desarrollar nuevos materiales con elevada resistencia y baja densidad, así como materiales capaces de soportar elevadas temperaturas, para fabricar componentes de motores.

La mayoría de los materiales que utilizamos proceden de fuentes no renovables; es decir, no son capaces de regenerarse. Entre ellos se encuentran los polímeros, cuya principal fuente es el petróleo. Estas fuentes no renovables se empobrecen paulatinamente, por lo que es necesario descubrir nuevas reservas o desarrollar nuevos materiales con propiedades comparables y con menos impacto ambiental.

Esta última alternativa constituye el mayor reto para los ingenieros y científicos de materiales.

En base a este dilema [57] indica que, para tomar una decisión informada en el diseño o la selección de un material, primero se debe saber que propiedades son importantes para la aplicación específica, al mismo tiempo que se debe reconocer que la lista de propiedades deseadas se puede volver más extensa y más complicada según las necesidades de evolución del producto.

Algunas de las características de los materiales de aplicación industrial derivan de su naturaleza, es decir, de su composición (elementos constituyentes) y del tipo de unión entre estos (enlace atómico), como sería el caso de la densidad, la conductividad térmica o eléctrica, o la resistencia a la temperatura entre otras.

La selección de los distintos materiales se realiza tomando como criterio estas características, si bien los aspectos mecánicos (resistencia, dureza, tenacidad, etc.) son también de importancia capital. Además, aspectos como el precio o la disponibilidad acaban de decidir en la selección final de un material u otro [58].

A modo de resumen, en la tabla 2.6 se recogen algunas de las características más relevantes de los principales materiales de aplicación industrial, separados por grupos en función de su naturaleza y tipo de enlace (metales, polímeros y cerámicos).

Tipo de material / *Características*	*Metales y Aleaciones*	*Plásticos*	*Materiales Cerámicos*
Resistencia	↑	↓ (débiles)	↑
Rigidez	↑	↓ (flexibles)	↑↑
Tenacidad	↑	↓	↓↓ (frágiles)
Dureza	↑	↓ (blandos)	↑↑
Sensibilidad a la temperatura	↑	↑↑	↓ (refractarios)
Conductividad térmica	↑	↓	↓↓ (aislantes)
Conductividad térmica	↑	↓↓ (sin aditivos) ↓ (con aditivos)	↓↓ (aislantes)
Densidad	↑	↓	↓
Resistencia a la corrosión	↓ (salvo aleaciones inoxidables)	↑	↑

Tabla 2.6. Principales propiedades y características de los materiales de aplicación industrial. Fuente: Salán, 2005.

En la tabla 2.7 se listan las propiedades de los materiales que debe considerar el diseñador a la hora de elegir un material.

Económicas	Precio y disponibilidad Reciclabilidad
Físicas	Densidad
Mecánicas	Módulos Límite elástico y resistencia a la tracción Dureza Tenacidad a la fractura Resistencia a la fatiga Resistencia a la fluencia Amortiguamiento de las vibraciones
Térmicas	Conductividad térmica Calor específico Coeficiente de expansión térmica
Eléctricas y magnéticas	Resistividad Constante dieléctrica Permeabilidad magnética
Interacción con el entorno	Oxidación Corrosión Desgaste
Producción	Facilidad de fabricación Unión Acabado
Estéticas	Color Textura Aspecto

Tabla 2.7. Tipos de propiedades. Fuente: Salán, 2005.

La mayoría de los componentes de ingeniería están fabricados de metales y aleaciones, más que con ningún otro tipo de material. Pero, de forma creciente, los polímeros son cada vez más atractivos para el diseñador a causa de que ofrecen una buena combinación de propiedades. Las cerámicas aún en desarrollo en el mundo, son un tipo de material de ingeniería emergente que permite fabricar motores más eficientes desde el punto de vista térmico, cuchillos más afilados y cojinetes con menos fricción. El ingeniero puede combinar las mejores de estas propiedades para producir materiales compuestos que también ofrecen un atractivo conjunto de propiedades. Y finalmente no podemos ignorar los materiales naturales como la madera o la piel, que poseen propiedades que - incluso con los desarrollos científicos actuales en ciencia de materiales – son difíciles de superar.

En este contexto [59] establece que gran parte de los productos orgánicos naturales están constituidos mayoritariamente por macromoléculas complejas en las que se repiten ciertos grupos de átomos con idéntica disposición relativa, unidos por enlaces covalentes. Los organismos vivos los sintetizan a partir de unidades más pequeñas o monómeros, originando los denominados polímeros naturales o biopolímeros entre los

que se encuentran por ejemplo el almidón, la celulosa, el caucho natural, las vitaminas., etc. Los mecanismos de las reacciones bioquímicas que dan origen a estos biomateriales son muy complejos, sin embargo, la tecnología química ha permitido primero modificar la estructura molecular de estos materiales y después llegar a producir polímeros sencillos, substituyendo en numerosas aplicaciones, a veces con ventaja, a los polímeros naturales e incluso a otros materiales entre ellos el acero, a algunas aleaciones y al vidrio.

Estos conceptos de materiales de ingeniería sirven de base para la determinación de los materiales a partir de los cuales se fabricará el accesorio automotriz.

2.8 NORMA AUTOMOTRIZ FMVSS 302 (FEDERAL MOTOR VEHICLE SAFETY STANDARDS 302)

De acuerdo con [60], la norma referente al fuego FMVSS 302 fue creada para evaluar el potencial de expansión del fuego en un automóvil.

Para que una pieza de carácter polimérico sea susceptible de usarse como componente automotriz interior, es necesario que cumpla con normas automotrices obligatorias, como es el caso de la norma a la flamabilidad FMVSS 302.

Esta norma especifica [61] los requerimientos de resistencia al calor para materiales usados en el interior de vehículos automotores.

El propósito de esta norma es reducir las muertes y lesiones de los usuarios de automóviles, causadas por fuego de fuentes provenientes tales como cerillos o cigarros. La norma aplica a los vehículos compactos, vehículos de pasajeros multipropósito, camiones y autobuses.

La norma especifica que se debe usar una probeta de 102 mm de ancho por 356 mm de longitud con el espesor igual al de la pieza a fabricarse, la cual debe cortarse en la dirección que proporcione los resultados más adversos de la prueba.

Se usa un mechero bunsen con un tubo de 10 mm de diámetro. Se ajusta la válvula de gas para proveer una flama con el tubo vertical de 38 mm de altura. Se cierra la entrada de aire al mechero. El gas suministrado al mechero debe tener una temperatura de flama equivalente a la de gas natural.

El procedimiento para realizar la prueba consiste en:

a) Montar la probeta de manera que ambos lados y un extremo son sostenidos por el marco U y un extremo está emparejado con extremo abierto del marco. Donde el máximo ancho disponible no es mayor a 51 mm
b) Se coloca la probeta montada en posición horizontal en el centro del gabinete.
c) Con la flama ajustada se posiciona el mechero y la probeta de manera que el centro de la punta de la flama esté a 19 mm abajo del borde inferior del extremo abierto de la probeta.
d) Se expone la probeta a la flama por 15 segundos.
e) Se empieza a cronometrar (sin referencia al periodo de aplicación de la flama del mechero) cuando la flama de la probeta ardiendo alcance un punto de 38 mm desde el extremo abierto de esta.
f) Se mide el tiempo que toma a la flama alcanzar el punto de 38 mm desde el extremo sujetado de la probeta. Si la flama no alcanza el extremo especificado, se cronometra hasta el punto donde se apaga.
g) Se calcula el índice de quemadura con la ecuación 2.15

$$B = 60 \times (D/T) \tag{2.15}$$

Donde:

B = índice de quemadura en milímetros por minuto

D = Longitud que viaja la flama en milímetros

T = Tiempo en segundo que viaja la flama.

El valor máximo aceptable de B es de 100 mm/min, si el material probado cumple con esto o menos, se considera apto para ser aplicado en interiores automotrices en lo referente a materiales poliméricos, o si un material para de arder antes de 1 minuto y

no ha ardido más de 50.8 mm, se debe considerar que cumple con los requerimientos de esta norma.

Las condiciones de prueba de esta norma son:

- Temperatura 70°F ± 10°F.
- Humedad relativa 50% +10% -0% H.R.
- Presión atmosférica 28 a 32 pulgadas de mercurio.

Este tipo de prueba la realiza un laboratorio especializado para que sea válida. Esta norma se relaciona con el presente trabajo, en lo referente a que se debe considerar para que el accesorio automotriz la cumpla con se indica en la misma.

En la figura 2.34 se muestra la relación de los temas referenciados en este marco teórico con el objeto del proyecto de esta tesis.

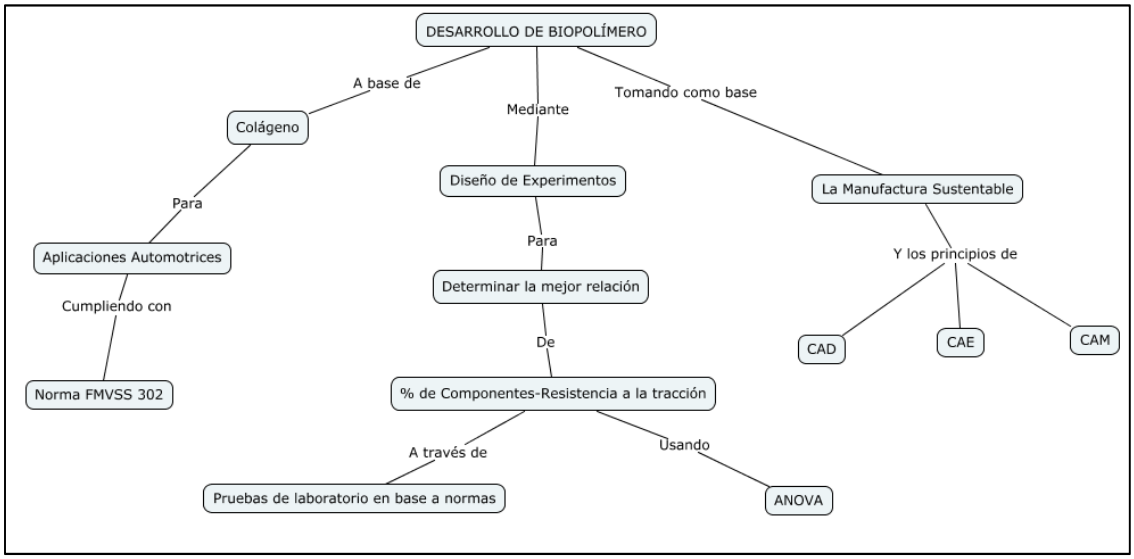


Figura 2.34. Relación de los temas del marco teórico con el proyecto.

3. CAPÍTULO 3. PROCEDIMIENTO DE INVESTIGACIÓN

El material orgánico a desarrollar inicialmente se componía de un biopolímero a base de almidón y fibra de coco, del cual se tomaron varias muestras como se observa en las figuras 3.1 y 3.2. En la primera de estas figuras se nota la matriz polimérica indicada por la flecha roja y la fibra de coco por la flecha azul.

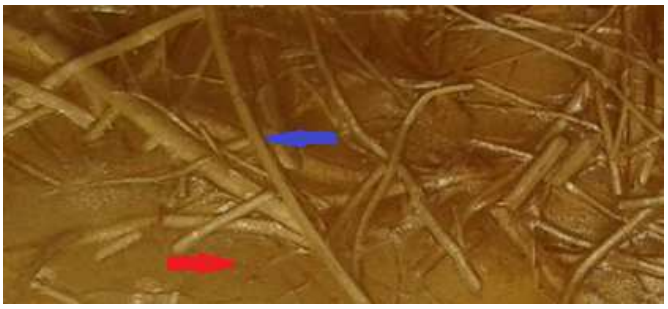


Figura 3.1. Biopolímero compuesto de matriz de almidón reforzado con fibra de coco.

Figura 3.2. Biopolímero compuesto matriz de almidón reforzado con fibra de coco y teñido con colorante vegetal negro.

El proceso de polimerización del almidón se realizó a base de condensación, el problema de este material consistió en que su resistencia era baja en lo que respecta a la matriz polimérica y la adición de la fibra era irregular debido a la diferencia de diámetros de las fibras y su difícil tratamiento para uniformizar estas dimensiones, además de que el almidón se obtenía de un producto procesado, lo cual lo encarecía y al mismo tiempo no es conveniente usar productos de carácter alimenticio en aplicaciones diferentes a los mismos, por lo que se buscó otra

alternativa, la cual resultó ser muy resistente y de fácil procesamiento, la cual se presenta a continuación.

El procedimiento de investigación consta de cinco apartados principales, los cuales son:

- Desarrollo de un material biopolímero para ser aplicado en la manufactura de un accesorio automotriz ajustable.
- Diseño mecánico de los componentes del accesorio automotriz ajustable a nivel modelado y ensamble virtual.
- Validación del diseño mecánico mediante el método del elemento finito usando la ingeniería asistida por computadora.
- Diseño de herramentales para la fabricación masiva de los componentes.
- Manufactura del prototipo.

3.1 ECODISEÑO APLICADO EN EL DESARROLLO DEL BIOPOLÍMERO

El ecodiseño en este trabajo es aplicado al integrar los aspectos ambientales en la concepción y desarrollo de una cortina automotriz teniendo como base que el material a usar es un biopolímero desarrollado para tal efecto. Los aspectos ambientales incluyen:

- La obtención de la materia prima.
- Su procesamiento.
- Su desecho.

Con respecto al primer aspecto ambiental, la obtención de la materia prima se realiza a partir de desechos orgánicos animales, que en este caso son los huesos y cartílagos de aves de corral, lo cual a diferencia de los polímeros tradicionales que son obtenidos a partir de la extracción del petróleo tiene un carácter sustentable y requiere de un menor uso de recursos. El comparativo cualitativo de los recursos mayores para estas dos maneras de obtención de materia prima se muestra en la tabla 3.1, los datos de recursos de los polímeros tradicionales se toman de [62].

Polímero basado en el petróleo	Biopolímero	Recursos	Costo del recurso (Alto, Medio, Bajo)
X		Torre petrolera	Alto
X		Tanques de almacenamiento	Alto
X		Refinería	Alto
	X	Horno industrial	Bajo

Tabla 3.1. Comparativo de recursos. Fuente: Speight, J. - Propia.

Como se observa en la tabla 3.1, el uso de recursos para la obtención del biopolímero es menor al que se requiere en la obtención de los polímeros tradicionales, lo cual es fundamental en el ecodiseño, ya que una parte importante del mismo es la definición de la materia prima, que en este caso se trata de un material sustentable.

En lo que respecta al procesamiento de la materia prima tomando en cuenta los principios del ecodiseño, el biopolímero tiene un mejor comportamiento en lo que respecta a la cantidad de energía requerida para su procesamiento, la cual es directamente proporcional a su punto de fusión para poder transformar los pellets en productos de utilidad.

En la tabla 3.2 se muestra, los datos de la temperatura de fusión de los polímeros mencionados los cuales se obtuvieron de [63], los cuales, comparados con la temperatura del punto de fusión del biopolímero desarrollado, la cual se muestra en la tabla 4.2, se observa que es menor a la de los polímeros tradicionales, por lo que se cumple con el principio del ecodiseño en lo referente a la reducción de recursos para la transformación de la materia prima, en la etapa de proceso.

Material	Temperatura de fusión (°C)
Nylon 6,6	265
Policarbonato	265
Poliéster	265
Polipropileno	176
Poliestireno	239
Politetrafluoroetileno	327
Cloruro de Polivinilo	212

Tabla 3.2. Temperaturas de fusión de polímeros tradicionales. Fuente: Kalpakjian, 2002.

Por otra parte en lo que respecta al desecho del producto una vez que concluye su vida útil, los polímeros tradicionales se pueden reciclar hasta un cierto porcentaje, lo cual implica el uso de recursos como el acopio y transporte hasta los centros de reciclado, lo cual en el caso del biopolímero no aplica ya que se puede biodegradar al exponerse a condiciones de humedad que proporciona el medio ambiente y el suelo en donde se coloque, por lo que no se requiere de un uso de recursos especial para su reintegración a la tierra, esto tiene que ver con el ecodiseño nuevamente con la reducción de costos al no utilizar recursos que tienen un costo.

En lo referente al status del medio ambiente en el ecodiseño, se encuentra al mismo nivel que el resto de los principios del diseño tradicional como son: la funcionalidad, la estética, la ergonomía, la imagen, la calidad y además contribuye a integrar la conciencia medioambiental dentro de la actividad de la empresa y más concretamente, en su proceso de desarrollo de productos. En este caso el medio ambiente es tomado en cuenta al hacer uso de un biopolímero como el elemento central de una aplicación automotriz, esta consideración se refleja tanto en la obtención, procesamiento y disposición del mismo de manera que el impacto hacia el medio ambiente se reduce en comparación con los polímeros tradicionales lo mismo que la cuestión de agotamiento de recursos naturales al ser un material sustentable, lo cual cumple con estos principios del ecodiseño.

Por otra parte, en lo referente a la metodología para el ecodiseño mencionada en el marco teórico de este trabajo, se desglosa a continuación cada uno de sus pasos.

1. Organización y estrategia empresarial: Para este punto se realiza el análisis FODA del proyecto, como se muestra en la tabla 3.3.

	OPORTUNIDADES		**AMENAZAS**	
	Creación de nuevos productos	Desarrollo de productos sustentables	Competencia desleal	Encarecimiento de la materia prima
FORTALEZAS				
Conocimientos de metodologías de investigación	4	4	1	1
DEBILIDADES				
Limitaciones económicas	3	3	3	1

Tabla 3.3. Análisis FODA del proyecto.

2. Elección de un producto: Para elegir el producto se selecciona de entre 4 opciones las cuales son:
   (a) Charola automotriz portaobjetos.
   (b) Cortina automotriz.
   (c) Portavasos.
   (d) Tapete automotriz.
   Para la elección de cual producto sería el mejor, se usa la matriz de ecomercado, como se muestra en la figura 3.3.

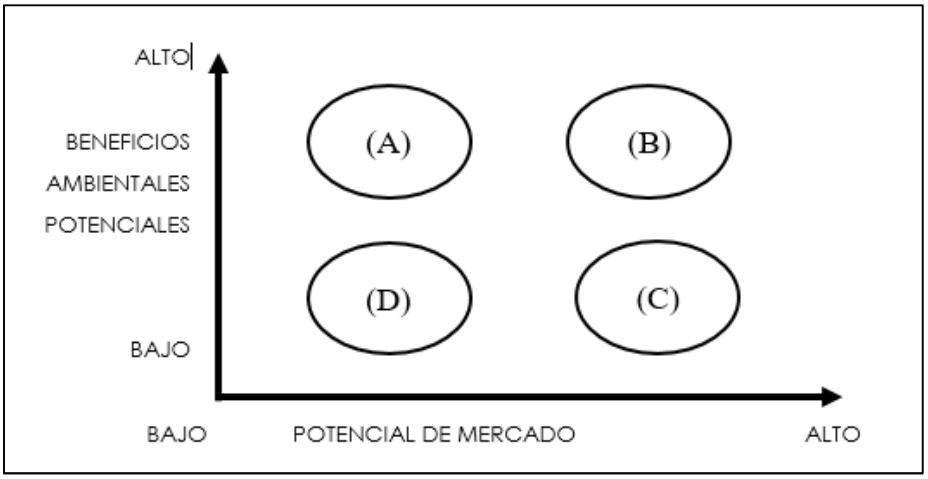


Figura 3.3. Matriz de ecomercado para seleccionar el producto.

Las razones por las que se selecciona el producto de cortina automotriz son:

- Su utiliza como material principal un biopolímero, lo que le da un alto beneficio ambiental potencial.
- El producto es altamente utilizado como protección contra la incandescencia solar, la cual es representa una incomodidad al viajar durante horas del día tanto en autopista como en ciudad.

En lo que respecta a los otros productos, se menciona que la charola automotriz portaobjetos también tiene como base un biopolímero, pero su aplicación es para automóviles de lujo, lo cual restringe su potencial de mercado, ya que además requiere de mecanismos automatizados para su implementación, lo cual también lo encarece.

En el caso del portavasos la materia prima a usar es un polímero tradicional de alto uso automotriz como lo es el polipropileno, lo que le resta valor en el aspecto ambiental, más sin embargo existe un alto potencial de mercado por ser un accesorio de amplio uso para los automovilistas.

Y en el caso del tapete automotriz, el material adecuado para el mismo es el caucho sintético como lo son: SBR Estireno Butadieno, TR Caucho de Polisulfuro, NBR Acrilonitrilo Butadieno, HNBR Caucho Nitrílico Hidrogenado, XNBR Caucho

Nitrílico Carboxilado, CR Poli cloropreno (Neopreno), EPM/EPDM Etileno Propileno, FEPM Tetrafluoretileno y Propileno, IIR Isobutileno Isopreno (Butyl), AME Etileno Acrilato, ACM Caucho Acrílico, los cuales provienen del petróleo, por lo cual no son amigables con el medio ambiente y su potencial de mercado es relativamente bajo al ser suministrado como un accesorio estándar por parte de los fabricantes de automóviles nuevos.

3. Análisis del producto: En este punto se da respuesta a las preguntas ¿Qué puede hacer la organización? ¿Qué quiere hacer? y ¿Qué debe hacer? En este caso la empresa puede hacer el desarrollo de un accesorio automotriz de alto consumo usando como elemento innovador a la materia prima principal que se define como un biopolímero, también la empresa quiere hacer un producto atractivo al cliente de manera que el cliente lo pueda usar de manera cómoda para resolver el problema de la incandescencia es molesta para los conductores de automóviles y sus acompañantes y por último debe hacer la inversión de recursos materiales y humanos para que en primera instancia se desarrolle el material biopolimérico y posteriormente se diseñe y elabore el prototipo del producto. También se realiza la matriz MET (Materiales, Energía, Emisiones Tóxicas), la cual se muestra en la tabla 3.4, en donde se muestra el impacto de estos conceptos en cada fase del ciclo de vida del producto, donde A= Impacto alto, M = Impacto medio, B = Impacto bajo al medio ambiente.

	Materiales Entradas-Salidas	**Energía Entradas - Salidas**	**Emisiones Tóxicas**
Materia Prima	B	B	B
Producción	B	B	B
Distribución	A	A	A
Consumo/Uso	B	B	B
Disposición	B	B	B

Tabla 3.4. Matriz MET del proyecto.

En la cuestión de materiales-materia prima-producción, energía-materia prima-producción y emisiones tóxicas- materia prima-producción el impacto es bajo

debido a que se trata de un material de fácil obtención como materia prima, además de su sustentabilidad, que requiere de poca cantidad de energía para su procesamiento y las emisiones tóxicas en ambos conceptos es baja ya que no se presentan emisiones de ninguna clase contaminante, lo que se emite básicamente en la parte de producción es la evaporación del agua en el proceso de condensación.

En la cuestión de distribución sin embargo si hay un impacto medio en el rubro de distribución al hacer uso de vehículos automotores de combustión interna, los cuales emiten gases contaminantes al medio ambiente.

Y en la parte de consumo/uso y disposición, el impacto es bajo, el uso del producto solamente requiere de su manipulación manual la cual no consume energía ni emite gases a la atmósfera.

4. Creación de nuevas ideas: En este paso se contribuye a crear opciones de mejora con base en la información generada, para ello es recomendable apoyarse en la rueda de estrategias mostrada en la figura 2.16 para el diseño en el ciclo de vida. Los siguientes puntos integran este rubro:
    a. Selección de materiales de bajo impacto ambiental, las opciones serían: más limpio, renovable, reciclado, reciclable, con bajo contenido de energía. En este caso el biopolímero a base de colágeno es la opción más viable, ya que es sustentable, limpio y su procesamiento requiere de un bajo contenido de energía comparado con los polímeros tradicionales.
    b. Reducción en el uso de materiales: Para este proyecto se hizo uso del diseño iterativo en el cual se redujo principalmente un componente que consistía en saques que permitía el ajuste de la cortina en posiciones definidas de 50 mm entre cada una, como puede observarse en la figura 3.11.
    c. Optimizar técnicas de producción: La optimización del proceso principal consiste en el control de la temperatura de la solución de colágeno para mezclar con los demás componentes, lo cual se logra por medio de la programación del horno industrial.

d. Óptimo sistema de distribución: empaque ligero, vehículos eléctricos, rutas más cortas. En este caso el empaque ligero es la única variable que se puede aplicar, al hacerlo del mismo biopolímero.
e. Menor impacto durante su uso: bajo consumo de energía, fuentes alternas de energía. El uso del producto no requiere de un consumo de energía eléctrica o de alguna otra forma, ya que se usa de manera manual, por lo que no hay impacto.
f. Vida óptima del producto: más durabilidad, estructura modular. La vida del producto se estima en al menos 2 años, debido a que hasta el momento las primeras muestras que se han estado probando en condiciones de uso automotriz no dan muestras de desgaste por concepto de exposición al calor, las cuales fueron fabricadas hace ese tiempo.
g. Optimización del fin de vida: reutilización del material. En este caso la optimización consiste en que el producto se puede reintegrar al suelo bajo condiciones de humedad.

5. Desarrollo del concepto: Para esto se presenta la metodología que abarca el resto del capítulo de esta tesis.

6. Evaluación de resultados: Estos se muestran en el capítulo 4 de este trabajo.

3.2 DESARROLLO DEL BIOPOLÍMERO

Para desarrollar en primera instancia el material biopolímero se hace uso de la metodología de diseño de experimentos, para lo cual se fija el parámetro de una variable y la otra es cambiada a diferentes valores dentro de un rango para integrar diferentes niveles.

Estos experimentos mantienen como constante los parámetros de las variables que se observan en la tabla 3.5, las cuales integran la base de este experimento:

Parámetro –Variable	Motivo para permanecer constante
5 ml de ácido cítrico.	Sólo sirve como catalizador.
Temperatura ambiente de secado.	La adición de temperatura afecta la polimerización al grado de que el material se vuelve quebradizo.
24 horas de tiempo de polimerización.	Es el tiempo en el cual se observa la formación del bioplástico con la condición de temperatura ambiente.
10% de retardante a la flama.	Por recomendación del fabricante del retardante a la flama en polímeros convencionales.
2 g de colorante vegetal.	Sólo sirve para darle color al producto.
1 g de bórax.	Se agrega para darle plasticidad al biopolímero

Tabla 3.5. Parámetros constantes del experimento.

La fórmula del ácido cítrico es ($C_6H_8O_7$) de acuerdo con [62], el cual tiene la función de iniciar la reacción de la preparación del colágeno tipo I el cual está formado por unidades de tropocolágeno constituidas por dos cadenas $\alpha1(I)$ y una cadena $\alpha2(I)$, por lo que su fórmula molecular es $[\alpha1(I)_2\,\alpha2(I)]$, como lo menciona [63] con la grenetina, la cual es una proteína compleja, es decir un polímero compuesto por aminoácidos. Esta proteína carece de los principales aminoácidos esenciales para la nutrición humana como valina, tirosina y triptófano, y por, lo tanto no tiene valor como alimento. Como sucede con los polisacáridos, el grado de polimerización, la naturaleza de los monómeros y la secuencia en la cadena proteica determinan sus propiedades generales. Una notable propiedad de esta molécula es su comportamiento frente a temperaturas diferentes: se derrite con el agua caliente y se solidifica nuevamente y se hincha con el agua fría.

Con base en estas referencias, se mezclan en agua los ingredientes descritos arriba, haciendo la aclaración que el colágeno se obtiene de los desechos de las aves de corral, especialmente de las patas y se calientan en un recipiente metálico hasta obtener una mezcla uniforme.

Se corre un diseño de experimentos de manera aleatoria, con dos factores que son: grenetina y colágeno cada uno con tres niveles y se realizan cuatro réplicas.

En la figura 3.4 se observa una muestra del material polimerizado mediante condensación.

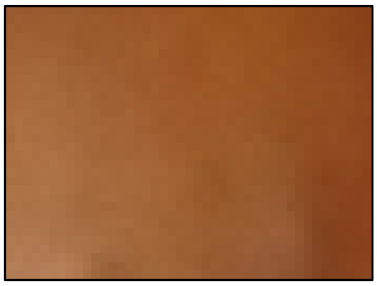


Figura 3.4. Muestra de biopolímero obtenido por condensación.

Para esto se genera la tabla 3.6 en donde se muestra el número de corrida experimental, que consta de 36 en total.

Todos los experimentos se realizan en recipientes de polipropileno para poder desmoldear la lámina que se obtiene con el proceso de polimerización por condensación. Ya que en un recipiente metálico no es posible desmoldearlo porque se queda pegado.

La lámina obtenida tiene un espesor de 0.2 mm, el cual es idóneo para la aplicación que se desarrolla en esta tesis.

Esta idoneidad es debido a que no se requiere de un proceso de ningún tipo para conformarlo a ese espesor, y por lo mismo se evita un proceso de calandrado que consumiría energía adicional para lograr el espesor deseado.

Por otra parte, se generan números aleatorios, para establecer la secuencia de las corridas, esto se hace para evitar que los efectos de variables desconocidas que afecten los resultados, estos números se generan en Excel usando la función aleatoria entre y entre paréntesis el rango de números, que en este caso son 36, los cuales se muestran en la tabla 3.7.

	Preparación de colágeno (mL)					
Grenetina (g)	250		500		750	
3	1	2	3	4	5	6
	7	8	9	10	11	12
6	13	14	15	16	17	18
	19	20	21	22	23	24
9	25	26	27	28	29	30
	31	32	33	34	35	36

Tabla 3.6. Número de corridas del experimento.

Corrida	**Número Aleatorio**	**Corrida**	**Número Aleatorio**	**Corrida**	**Número Aleatorio**	**Corrida**	**Número Aleatorio**
1	**11**	10	**32**	19	**7**	28	**4**
2	**34**	11	**21**	20	**1**	29	**14**
3	**23**	12	**33**	21	**9**	30	**27**
4	**15**	13	**19**	22	**30**	31	**24**
5	**31**	14	**6**	23	**20**	32	**29**
6	**16**	15	**26**	24	**10**	33	**35**
7	**25**	16	**13**	25	**5**	34	**8**
8	**3**	17	**22**	26	**12**	35	**28**
9	**18**	18	**36**	27	**2**	36	**17**

Tabla 3.7. Generación de números aleatorios para ejecutar el experimento.

En el orden de los números aleatorios se realizan los experimentos, es decir el primer experimento corresponde a la corrida 20 en donde se mezclan 250 mL de colágeno con 6 g de grenetina, el segundo corresponde a la corrida 27 en donde se mezclan 500 mL de colágeno con 9 g de grenetina y así sucesivamente.

Una vez obtenidas las muestras, se realiza la aplicación de fuerzas de tracción, en una máquina universal cuyas especificaciones se encuentran en el anexo A, para lo cual previamente se peletiza la mezcla en las mismas proporciones varias veces para obtener la cantidad necesaria de materia prima para inyectar en un molde hecho especialmente para probetas de acuerdo la norma D638-14 Standard Test Method for

Tensile Properties of Plastics de la ASTM [64], para determinar su resistencia a la tensión, que es el esfuerzo al cual va a estar sujeta la pieza ya en funcionamiento.

En la figura 3.5 se muestra el molde donde se inyecta el material peletizado, en la figura 3.6 se observa la probeta inyectada, la cual tiene las dimensiones indicadas en la norma 638 arriba indicada, en la figura 3.7 se observan las variables que la integran y en la tabla 3.8 se indican sus parámetros respectivos los cuales corresponden al tipo I, el cual es el adecuado para los polímeros rígidos y semirrígidos, en la figura 3.8 se observa la probeta puesta en la máquina universal y en la figura 3.9 se ve la probeta una vez finalizada la prueba.

Los resultados de la prueba de tensión realizada a las probetas se muestran en la figura 4.1 del capítulo de resultados.

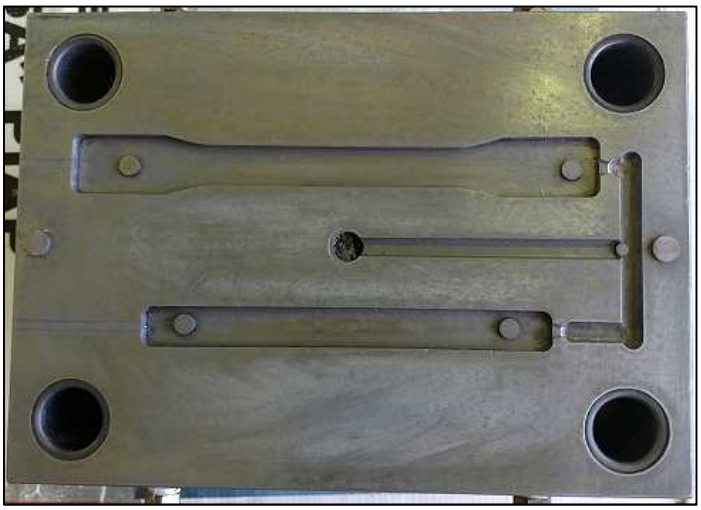


Figura 3.5. Molde de inyección para probetas de acuerdo a la norma ASTM D638-10.

Figura 3.6. Probeta hecha con el material biopolímero a base de colágeno.

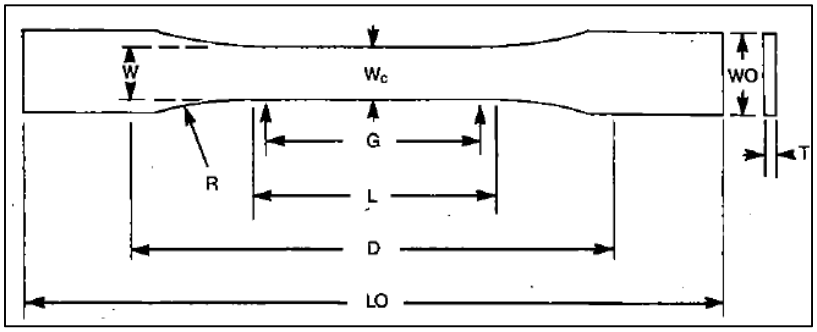


Figura 3.7. Variables que integran la probeta. Fuente: Norma ASTM D638-10.

Variable	Parámetro (mm)
W- Ancho de la sección estrecha	13
L – Longitud de la sección estrecha	57
WO – Ancho total	19
LO – Longitud total	165
G – Longitud calibrada	50
D – Distancia entre mordazas	115
R – Radio de filete	76
T – Espesor	3.2

Tabla 3.8. Variables y parámetros de probeta. Fuente: Norma ASTM D638-10.

Figura 3.8. Probeta puesta en máquina universal.

Figura 3.9. Probeta rota en máquina universal.

Los resultados obtenidos en las pruebas de tensión, se procede a analizarlos en el software Minitab, para verificar el comportamiento de estas variables en relación con las propiedades investigadas.

Los datos que se introducen al software se agrupan en forma de réplicas, como se muestra en la figura 3.10, para determinar el efecto de las variables sobre los resultados de la resistencia a la tensión.

Worksheet 1 ***

↓	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
	Grenetina1	Colageno1	Resistencia1	Grenetina2	Colageno2	Resistencia2	Grenetina3	Colageno3	Resistencia3
1	3	250	36.1	3	500	34.0	3	750	32.5
2	3	250	35.8	3	500	33.8	3	750	33.3
3	3	250	37.5	3	500	34.8	3	750	32.7
4	3	250	36.7	3	500	35.2	3	750	32.8

orksheet 1 ***

C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18
Grenetina4	Colageno4	Resistencia4	Grenetina5	Colageno5	Resistencia5	Grenetina6	Colageno6	Resistencia6
6	250	33.1	6	500	38.2	6	750	32.9
6	250	32.1	6	500	39.0	6	750	33.6
6	250	34.2	6	500	39.3	6	750	34.2
6	250	33.5	6	500	39.6	6	750	33.2

C19	C20	C21	C22	C23	C24	C25	C26	C27
Grenetina7	Colageno7	Resistencia7	Grenetina8	Colageno8	Resistencia8	Grenetina9	Colageno9	Resistencia9
9	250	32.2	9	500	33.6	9	750	38.2
9	250	31.5	9	500	32.9	9	750	39.3
9	250	32.1	9	500	34.9	9	750	39.2
9	250	32.6	9	500	33.7	9	750	39.4

Figura 3.10. Introducción de datos a Minitab.

Se corrió un análisis de varianza para determinar la correlación entre las variables dependientes (colágeno y grenetina) e independiente (resistencia última a la tracción), cuyos resultados se encuentran en el capítulo 4, en donde se muestra la mejor relación de estas variables.

3.3 DISEÑO MECÁNICO DE LOS COMPONENTES QUE INTEGRAN LA APLICACIÓN DEL BIOPOLÍMERO

Posterior a la obtención de la mejor combinación de colágeno/grenetina obtenida en el diseño de experimentos, se procede al diseño de las partes que conforman al ensamble de una aplicación automotriz, que en este caso es una cortina ajustable, estas partes son:

- Cortina.
- Eje de cortina.
- Apoyos.

Otros componentes de la aplicación son materiales que se fabrican de manera estándar, por lo cual, solamente se seleccionan, con su respectiva metodología, los cuales son:

- Resorte.
- Ventosas de los soportes.
- Ventosa de la cortina.
- Rodamientos.

Como primer paso del diseño de la cortina se tomó como referencia una medida estándar de una cortina comercial cuyas dimensiones son de 570 x 400 mm y sobre esa se modificó la funcionalidad y forma de sujeción.

Se agregaron los componentes necesarios para lograr que la cortina se pudiera ajustar a cualquier altura deseada por el usuario de una manera fácil, esto se logró mediante la definición del punto de referencia, el cual se ubicó en el punto medio inferior de la cortina, ya que presenta la ventaja de que en un solo movimiento se ajusta el accesorio a la posición deseada.

En esta configuración se define también una parte fija que se ubica en la parte superior del accesorio, la cual consta del eje que sostiene a la cortina ya sea en la posición cerrada, abierta o parcialmente cerrada.

La parte fija consta del eje, que es donde se enrolla la cortina, sobre el cual se ensamblan los rodamientos para hacer girara el eje y el cual se ensambla a los apoyos mediante un ajuste 6.35 H7 que corresponde a la parte hueca del eje que permite asegurar la rigidez del ensamble, también, los apoyos tienen un barreno que recibe la ventosa que a su vez permite la fijación al vidrio de la puerta del automóvil.

Por otra parte, se usan dos apoyos, los cuales se localizan en los extremos horizontales del eje.

Se consideraron otras configuraciones, como la mostrada en la figura 3.11, en donde se observa que los puntos de referencia para ajustar la cortina se encuentran en los extremos, lo cual tiene la desventaja de que el usuario tenga que usar las dos manos y nivelar la altura de ambas para que la cortina se cierre de manera uniforme con respecto a la horizontal y esto complica la operación de ajuste.

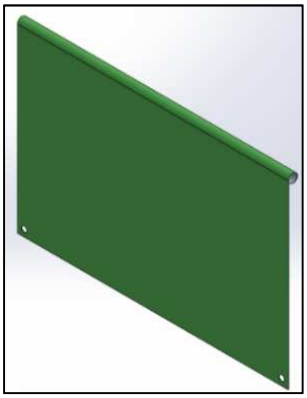


Figura 3.11. Versión de cortina con dos puntos de sujeción.

La otra opción que se analizó, fue la mostrada en la figura 3.12. La desventaja de esta configuración, fue que el mecanismo de ajuste solo tiene la opción de que moverse en tramos de 50 mm de distancia en el eje vertical, además de que para nivelar la cortina se tenían contemplados saques y ranuras, estas últimas formaban parte de la cortina y los saques eran independientes y su ensamble en la ventana del automóvil requería de una operación adicional por parte del usuario. La nivelación de la cortina se complicaba por el hecho de que se tenían que meter los saques en las ranuras por

parte del usuario y se requería el uso de ambas manos, lo cual era incómodo y se necesitaba tiempo para hacer esto.

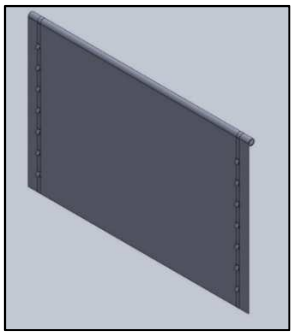


Figura 3.12. Ensamble virtual de cortina sustentable. Fuente: Propia 2018.

Como siguiente paso se realizó el diseño del eje en base a la longitud de la cortina y su correspondiente ensamble en el vidrio de un automóvil compacto, el material seleccionado fue el mismo para la cortina, en su versión peletizada.

El procedimiento para realizar el diseño en CAD es mediante la aplicación del croquis del eje y la ejecución de operaciones de extrusión y corte para cada sección que integra a las geometrías que alojan los apoyos, el resorte y los rodamientos.

El otro elemento diseñado es el apoyo, el cual sirve para sostener al eje en la posición horizontal y al mismo tiempo ensamblarse con las ventosas que hacen la fijación del accesorio al vidrio del automóvil, este apoyo se ensambla en los extremos del eje, por lo que se requieren de dos piezas por accesorio, el material de esta pieza también es el biopolímero peletizado.

El procedimiento de diseño en CAD es la croquización de las secciones, su extrusión y el corte circular para recibir a las ventosas.

En lo que respecta a las partes de compra, ya que se ofrecen en el mercado y que son las ventosas, los resortes y el rodamiento, se muestran en las figuras 3.13, 3.14, 3.15 y 3.16 respectivamente.

Se investigaron las características de los materiales que se fabrican de manera estándar (los dos tipos de ventosas, el resorte y el rodamiento), los cuales fueron seleccionados en base a:

- Sus dimensiones para ensamblar en los apoyos y el eje.
- Su funcionalidad.
- Su costo.
- Su disponibilidad.

Figura 3.13. Ventosa para los apoyos.

Figura 3.14. Ventosa para la cortina.

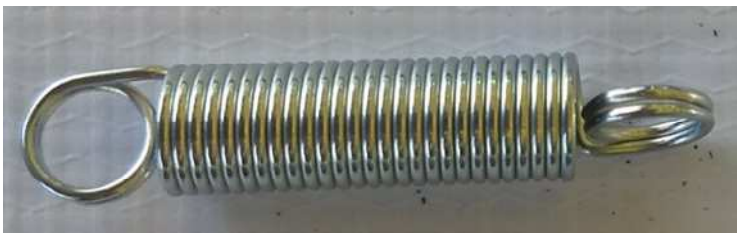


Figura 3.15. Ventosa para los apoyos.

Figura 3.16. Rodamiento.

3.4 ENSAMBLE VIRTUAL DE LA APLICACIÓN AUTOMOTRIZ.

El ensamble virtual de estos componentes se realiza en el software de CAD, para verificar que no haya interferencias por concepto de dimensiones, para lo cual se hace uso de las relaciones de posición, que en este caso se ocupan las de concentricidad y coincidencia.

El procedimiento para llevar a cabo el ensamble virtual se hace definiendo a un apoyo como el primer elemento, que en consecuencia permanecerá fijo y permitirá el movimiento simulado de la cortina, posteriormente se van adicionando los demás elementos como son:

- Eje.
- Resorte.
- Rodamiento.
- Ventosas.
- Cortina.

En la figura 3.17 se muestra el ensamble parcial, integrado por el eje, los apoyos y las ventosas.

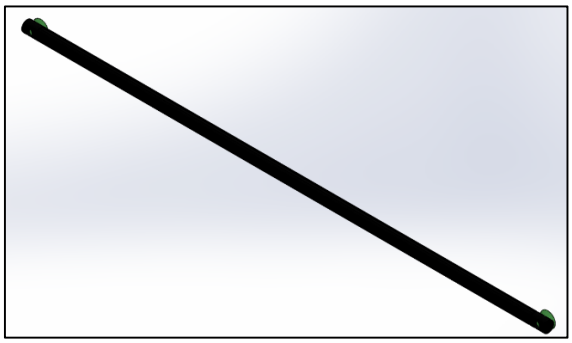


Figura 3.17. Ensamble parcial de accesorio automotriz ajustable.

3.5 VALIDACIÓN DEL DISEÑO MECÁNICO MEDIANTE EL MÉTODO DEL ELEMENTO FINITO USANDO LA INGENIERÍA ASISTIDA POR COMPUTADORA

Para verificar la resistencia del material en base a la carga a la cual va a estar sujeto, se procede a la simulación de esfuerzos en un software de CAD/CAE, del cual se presentan las fases del mismo.

El estudio a realizar es estático, el cual consta de las siguientes fases:

- Aplicación de material
- Definición de geometría(s) de sujeción
- Definición de geometría de aplicación, dirección y magnitud de fuerzas

- Selección del nivel de mallado
- Simulación de deformación
- Obtención de resultados
- Análisis de resultados
- Optimización de sección transversal, si aplica

El estudio que se presenta es de carácter estático debido a que la carga la realiza el resorte que tiene como función restablecer la cortina a su posición original y en conjunto con la ventosa tensar al accesorio para proteger al usuario del calor del sol a la altura que este último desee.

Como dato importante, se tiene que, en el desarrollo del material biodegradable, se definieron los parámetros de las propiedades mecánicas, ya que se usan como datos en la simulación de esfuerzos y deformaciones.

Estos parámetros se obtuvieron en base a las pruebas realizadas en base a las normas aplicables a polímeros. Estos parámetros se presentan en el capítulo 4 como parte de los resultados de este trabajo.

Las normas ASTM que sirvieron de referencia para determinar las propiedades son:

- ASTM D790-03 para el módulo de elasticidad, esfuerzo máximo, coeficiente de Poisson y límite elástico [65].
- ASTM D792-08 para la densidad [66].
- ASTM D5930–01 para la conductividad térmica [67].
- ASTM D955–00 para la contracción [68].
- ASTM D2117–15 para la temperatura de fusión [69].

Estas pruebas se realizan a nivel laboratorio, para la obtención correcta de datos, los resultados de esto se muestran en el capítulo 4.

3.5.1 Procedimiento para realizar la simulación de esfuerzos en software de CAD/CAE

La convergencia de malla se realiza a partir de un nivel del nivel medio de malla, debido a que fue necesario realizar un corte plano en el círculo de la cortina con una profundidad de 0.25 mm, y una longitud de 4 mm, para poder simular la aplicación de la carga. Al hacer esto e intentar correr la simulación de esfuerzos a un nivel bajo de malla, el software SOLIDWORKS indica un error, debido a que el tamaño de la malla es muy grande, por lo que se realizó esta operación a diferentes niveles de malla, encontrándose que, a partir del nivel medio, ya no se presentaba el error.

Para determinar la convergencia de malla se realizaron varios estudios, los cuales se muestran en la tabla 3.9.

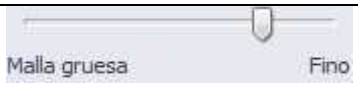
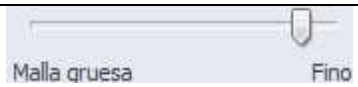
Densidad de malla	Esfuerzo máximo (N/m^2)	Grados de libertad	Número de nodos	Condiciones de frontera (mm)
	535 091.4	65 964	22 249	Inicial u = 0 Final u = 5.116×10^{-3}
	496 406.3	83 448	28 101	Inicial u = 0 Final u = 5.088×10^{-3}
	570 499.6	78 372	26 457	Inicial u = 0 Final u = 5.251×10^{-3}
	653 111.2	137 403	46 164	Inicial u = 0 Final u = 5.359×10^{-3}
	673 672.6	205 839	69 048	Inicial u = 0 Final u = 5.382×10^{-3}
	585 082.8	273 888	91 785	Inicial u = 0 Final u = 5.471×10^{-3}
	629 473.6	298 026	99 855	Inicial u = 0 Final u = 5.501×10^{-3}

Tabla 3.9. Parámetros para determinar la convergencia de malla.

Figura 3.18. Reporte de grados de libertad y números de nodos.

La convergencia de mallas se observa en el quinto nivel de la tabla 3.5, en donde tanto los resultados del esfuerzo como el desplazamiento se diferencian poco del nivel 4, cosa que no ocurre con otros niveles.

En la figura 3.18, se muestra el reporte de los grados de libertad y del número de nodos que calcula el software.

El procedimiento para ejecutar el análisis, consiste en que una vez definido el material, se selecciona la geometría correspondiente a la sujeción de la pieza, en este caso se selecciona la opción de geometría fija, ya que se trata de una configuración de tipo estructural, como se muestra en la figura 3.19.

Figura 3.19. Selección de sujeción (geometría fija).

Esto va a servir de sujeción, que en este caso es la parte superior de la cortina, ya que ahí es donde se sostiene en el eje, esta definición se muestra en la figura 3.20, (las flechas verdes indican esta geometría).

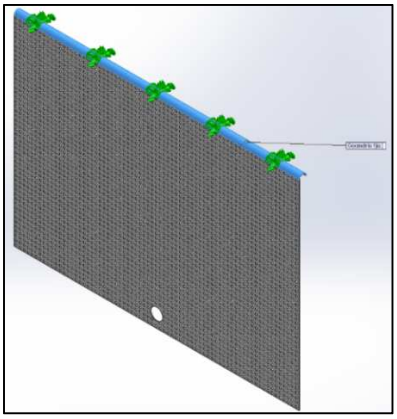


Figura 3.20. Definición de geometría de sujeción.

Enseguida se define el lugar de aplicación de la carga, es decir de la fuerza necesaria para mover la cortina de su posición original (enrollada alrededor del eje) o de cualquier otra posición a la posición de ajuste, para lo cual se considera que la geometría en donde se aplica es en la parte inferior y la magnitud de 5 N, esto es tomando como base la fuerza del resorte que es la resistencia a vencer, y, en la figura 3.21 se muestra esto.

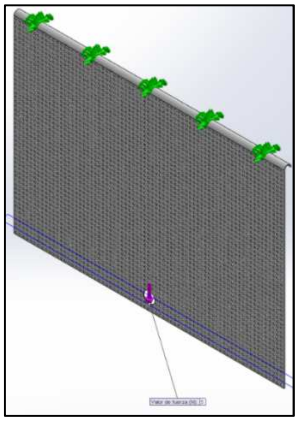


Figura 3.21. Definición de geometría de aplicación de la carga y su magnitud.

Se selecciona la densidad de mallado, en este caso se coloca al nivel 5 de la tabla 3.5, y se procesa, como se muestra en la figura 3.22.

Posteriormente se crea el mallado de la pieza, como se observa en la figura 3.23.

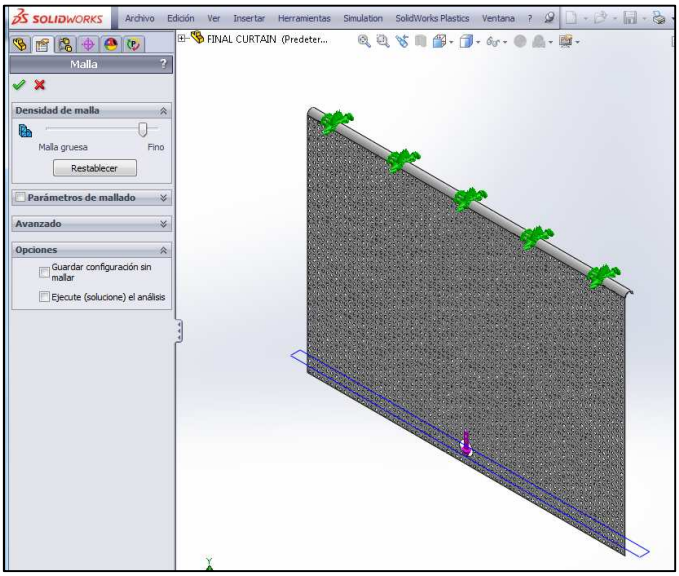


Figura 3.22. Selección de densidad de malla. Fuente: SolidWorks, 2018.

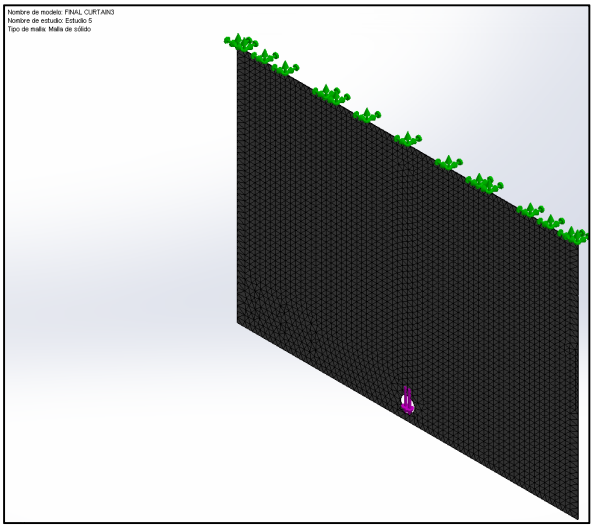


Figura 3.23. Mallado de cortina.

Con esto se puede correr la simulación de esfuerzos, los cuales se evalúan para determinar si el material resiste la carga y asegurar la funcionalidad de la cortina, para lo cual se verifican los resultados de las tensiones que van de la mínima, en este caso ese valor corresponde a 3.6 Pascales y el valor máximo que es de 673 672.6 Pascales, lo cual comparado con el límite elástico del material que es de 26.4 X 10^6 Pascales, indica que el máximo esfuerzo generado es muy bajo comparado con la resistencia del material, por lo que es seguro usarlo, sin temor a que falle por un esfuerzo de tensión, incluida una sobrecarga que puede ser hecha por el usuario. La figura 3.24 muestra el resultado de los esfuerzos simulados.

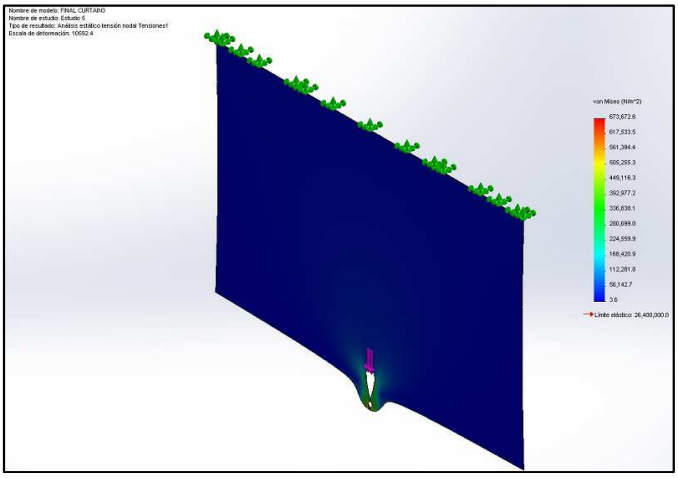


Figura 3.24. Resultados de la simulación de esfuerzos.

En lo que respecta a las deformaciones, también se puede visualizar la simulación de las mismas, lo cual se muestra en la figura 3.25 en donde se observa una deformación máxima de 5.382 x 10^{-3} mm, la cual es muy baja y además se encuentra dentro de la zona elástica del material, lo que significa que en cuanto se deje de aplicar la carga de ajuste, el material regresa a su forma original.

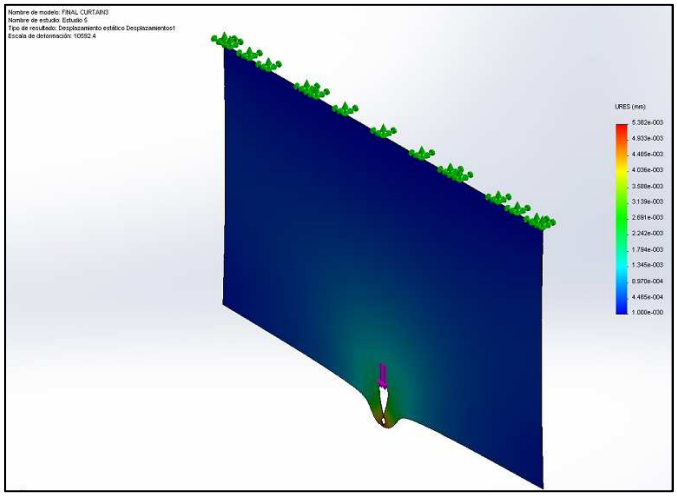


Figura 3.25. Simulación de deformaciones en la cortina.

Una vez validado el diseño de la cortina por el método del elemento finito en el software de CAD/CAE, se procede a evaluar al eje diseñado de la aplicación automotriz del biopolímero.

Primero se selecciona el material de la biblioteca del software, que en este caso corresponde al biopolímero previamente definido, como se observa en la figura 3.26, en donde se selecciona el nuevo material dado de alta (Bioplástico Col-Gren).

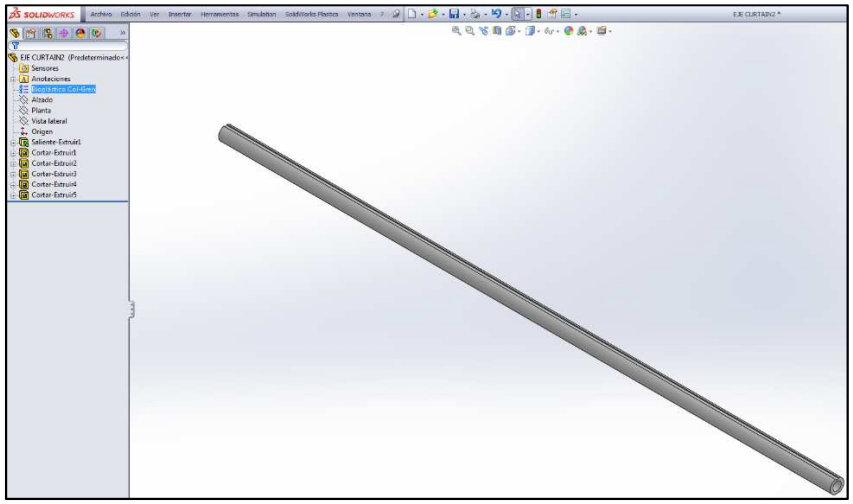


Figura 3.26. Selección de material para eje. Fuente: SolidWorks, 2018.

Enseguida se definen los puntos de sujeción, como se observa en la figura 3.27, los cuales corresponden a los extremos, ya que es donde se sostiene el eje, sobre los apoyos.

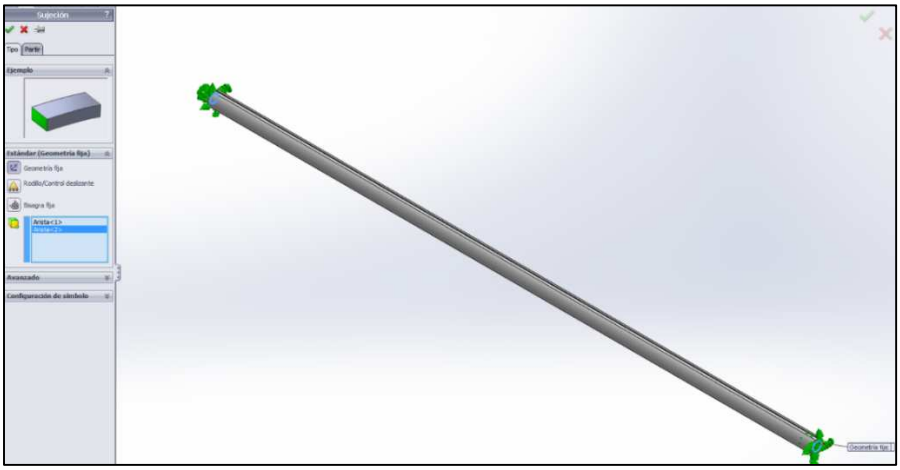


Figura 3.27. Definición de puntos de sujeción de eje.

Posteriormente se define la magnitud de la carga, el punto de aplicación y la dirección, como se muestra en la figura 3.28.

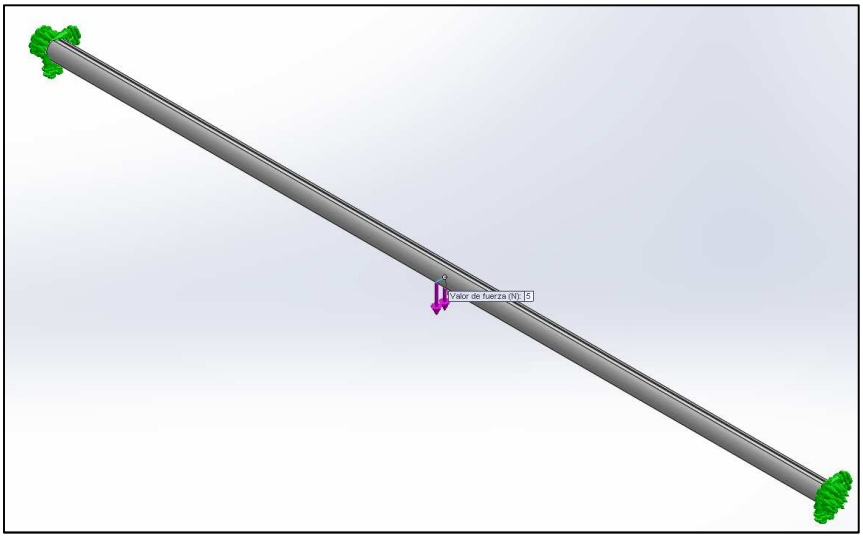


Figura 3.28. Definición de magnitud, punto de aplicación y dirección de la carga.

Enseguida se define la densidad del mallado, definida por la convergencia de mallas, de igual manera como se realizó para la cortina y se ejecuta el proceso, el resultado de esto se observa en la figura 3.29.

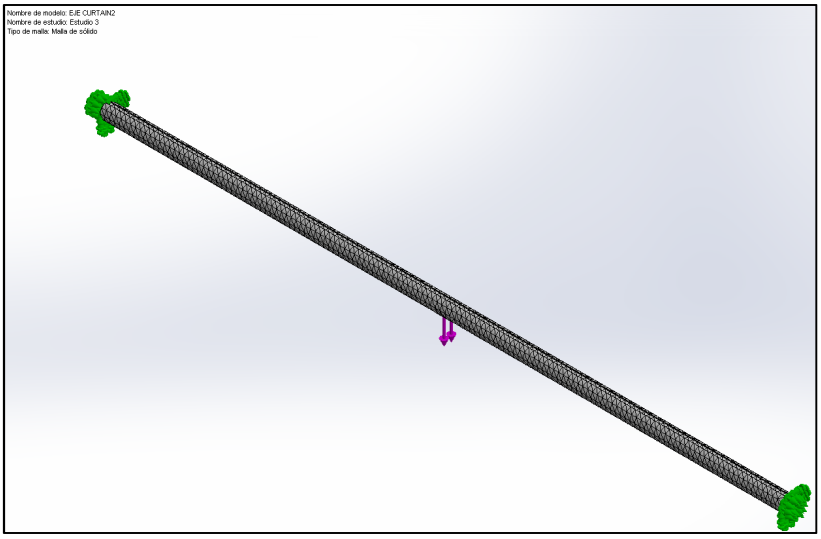


Figura 3.29. Mallado de eje.

Para finalizar el procedimiento de esta parte, se ejecuta la simulación de esfuerzos y deformaciones para realizar su análisis, esto se observa en las figuras 3.30 y 3.31.

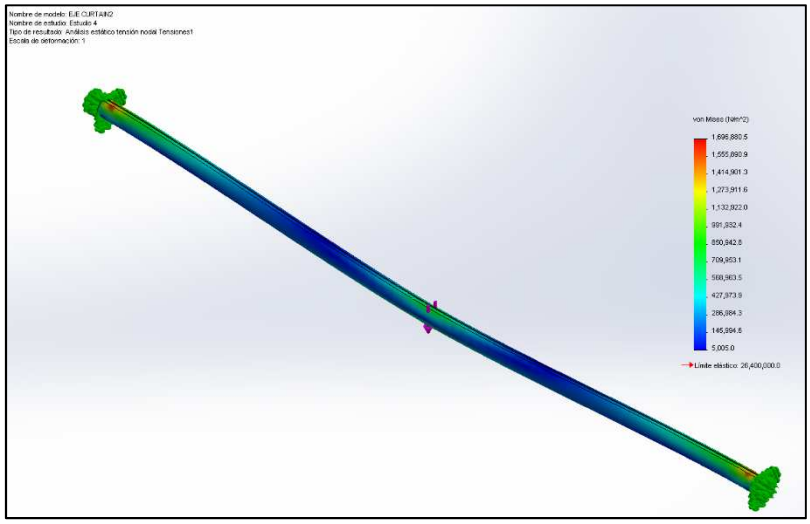


Figura 3.30. Resultados de los esfuerzos en el eje.

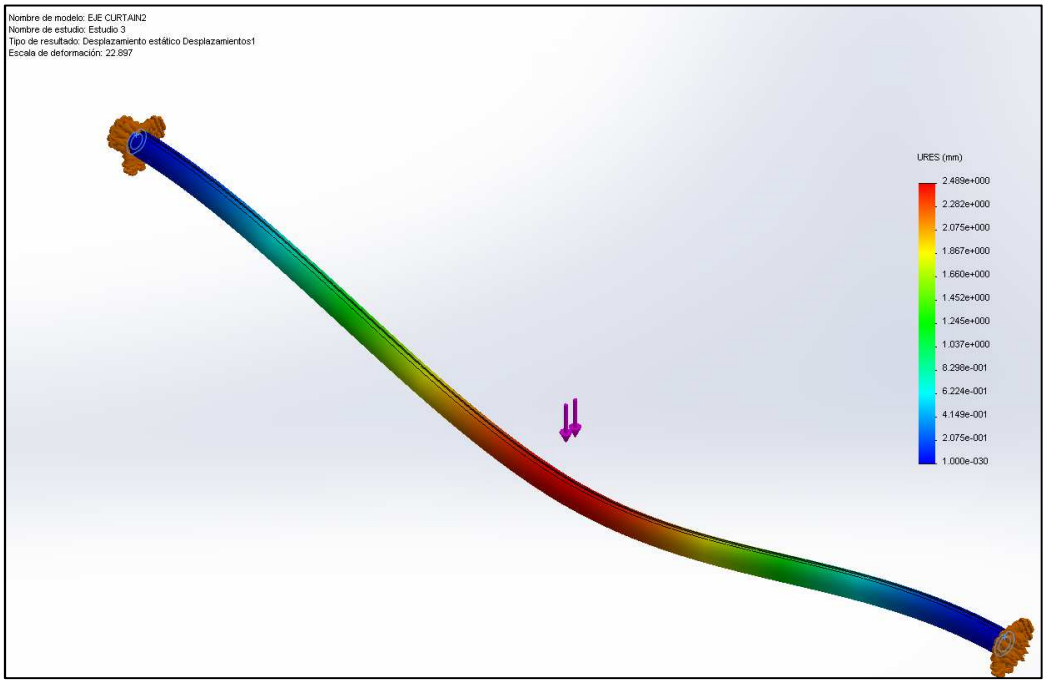


Figura 3.31. Resultados de las deformaciones en el eje.

El análisis para esta pieza indica que el esfuerzo máximo generado por la carga es de 1 696 880.5 Pascales y el límite elástico de este material se muestra en la figura 3.30 que es de 26.4 X 10^6 Pascales, lo que significa que la pieza puede resistir sin problemas los esfuerzos a los que va a estar sujeta, además de resistir sobrecargas que pueden aparecer por el mal uso, que de acuerdo con [70], la fuerza que un hombre puede

aplicar tanto para jalar como para empujar es de 350 a 540 N en posición sentado y con restricciones, como ocurriría en el interior de un automóvil.

En cuanto a las deformaciones, la máxima que se observa de 2.489 mm, lo cual no representa una cantidad importante, ya que esto se observa dentro de una longitud de 400 mm, como se observa en la figura 3.31.

En cuanto a la validación del diseño de los apoyos, usa el mismo material y el procedimiento de esto, es similar al del eje, en las figuras 3.32 a 3.36, se muestra la definición de las sujeciones, las cargas, el mallado y los resultados.

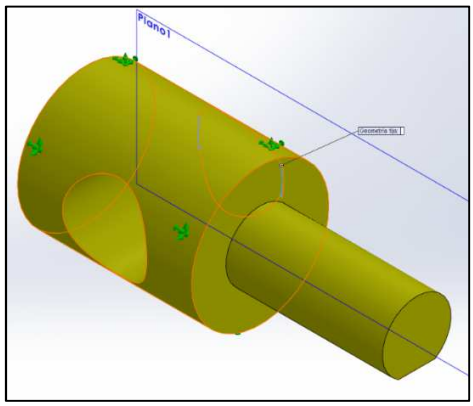


Figura 3.32. Definición de sujeción de apoyo.

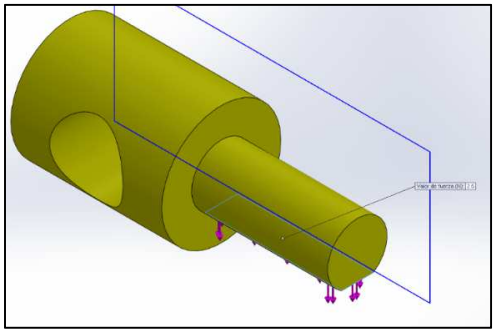


Figura 3.33. Definición de magnitud, punto de aplicación y dirección de la carga.

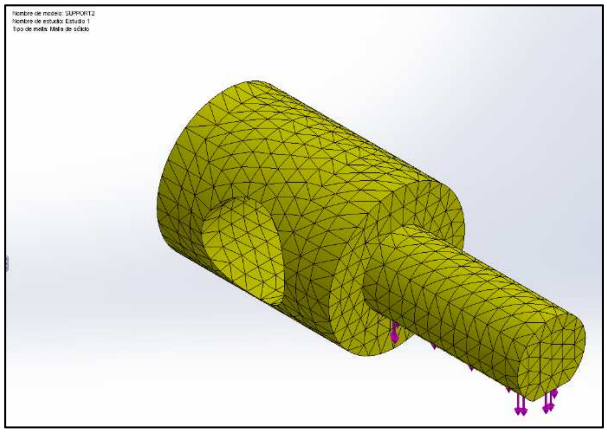


Figura 3.34. Mallado de apoyo.

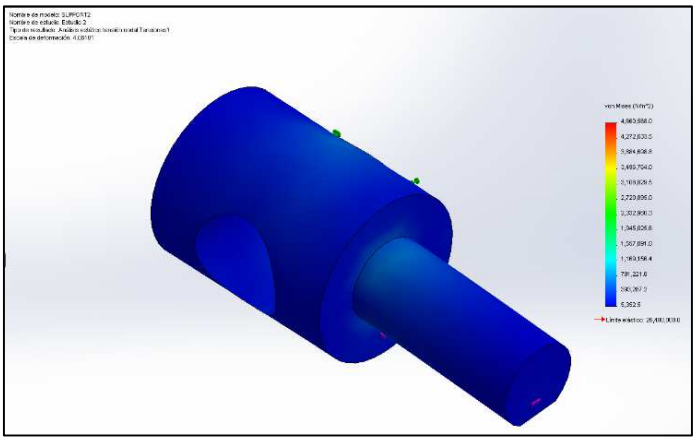


Figura 3.35. Simulación de esfuerzos en apoyo.

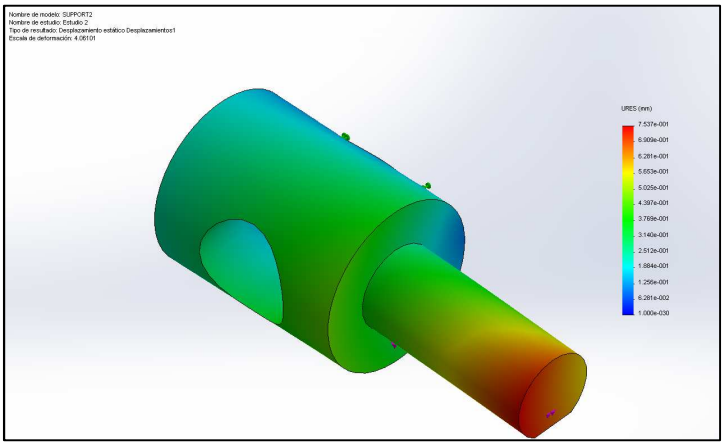


Figura 3.36. Simulación de deformaciones en apoyo.

En lo que respecta al análisis de esfuerzos, se observa un esfuerzo máximo de 4 660 568 Pascales, y en comparación con el esfuerzo de cedencia que es de 26.4 X 10^6 Pascales, se determina que este se encuentra dentro del rango elástico, el cual va de 0 a 26.4 Pascales, y tiene un excedente de material para soportar una sobrecarga.

Por lo que atañe a las deformaciones, la máxima que se observa es de 7.537 x 10^{-1} mm, lo cual no afecta la funcionalidad de la pieza.

La carga considerada en esta pieza es de 2.5 N, ya que al ser dos las que resisten la carga total y por ser simétricas, se reparten de manera equitativa la carga total de 5 N.

Una vez finalizadas las evaluaciones de los esfuerzos producidos en los componentes, se procede a la realización de los planos de los tres componentes, ya que de esta manera se asegura que no hay problemas de resistencia mecánica y por lo tanto se puede proceder a esta actividad que sirve de referencia para la manufactura, en caso de haber surgido un problema de resistencia, se optimiza la parte correspondiente y se somete a una nueva evaluación. Los planos mencionados se muestran en las figuras 3.37 a 3.39, en donde se observa la información técnica referente a:

- Las acotaciones.
- Las vistas principales.
- Las tolerancias geométricas.
- Las tolerancias dimensionales.
- Las tolerancias generales dimensionales y angulares.
- El sistema de proyección.
- El cuadro de referencias.
- Las normas a cumplir.

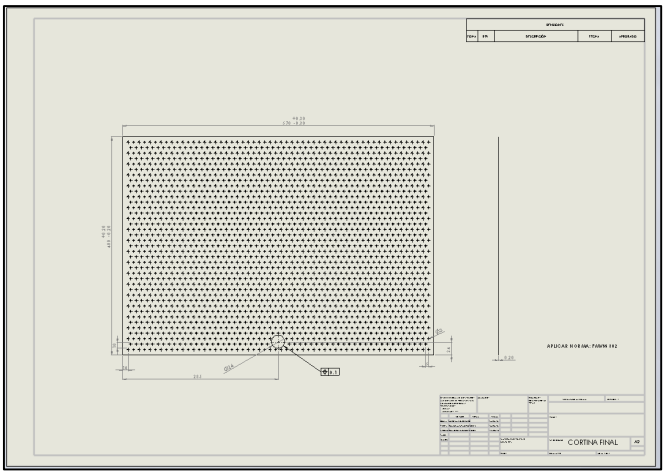


Figura 3.37. Plano de cortina.

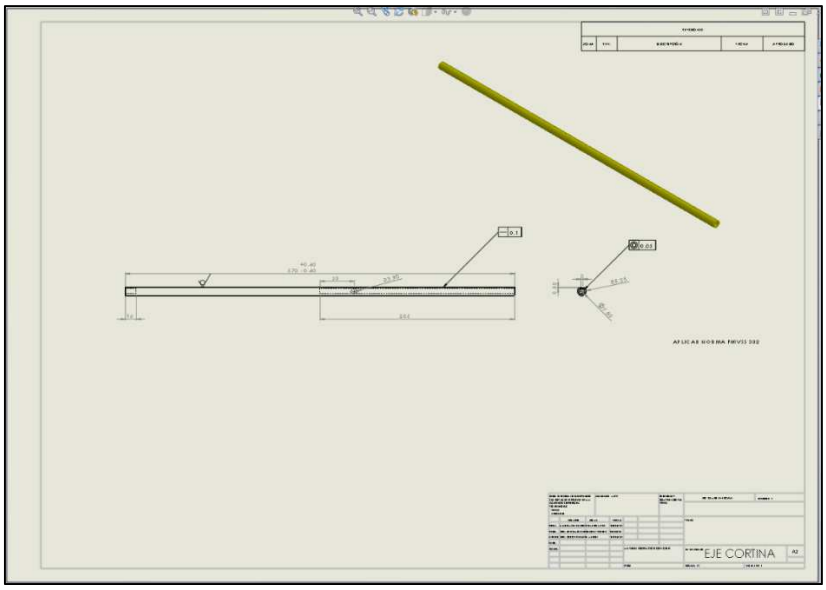


Figura 3.38. Plano de eje.

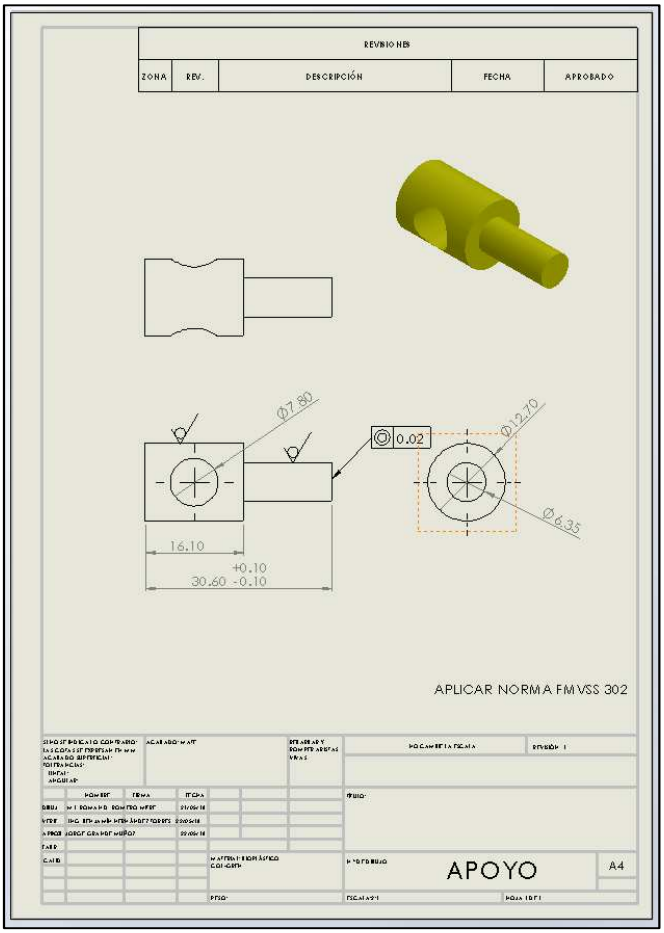


Figura 3.39. Plano de apoyo.

3.6 DISEÑO DE HERRAMENTALES PARA FABRICACIÓN MASIVA DE COMPONENTES

Para que la aplicación automotriz del biopolímero se pueda producir de manera masiva, es necesario diseñar y manufacturar los respectivos herramentales.

El diseño de los herramentales parte del diseño de las piezas validadas, que en este caso son:

- Apoyos.
- Eje de cortina.
- Cortina.

La decisión de fabricar los dos primeros componentes mediante el proceso de inyección de plástico obedece a la geometría del diseño y al material seleccionado, además de la alta productividad que se tiene con este proceso.

Por otra parte, en lo que respecta a la parte del troquelado de la cortina, se diseña un molde que permita hacer los barrenos en una sola operación y al mismo tiempo cortar la materia prima a la medida de la cortina.

El diseño del molde de los apoyos se realiza en un software de CAM, para lo cual se toma en cuenta el porcentaje de contracción que en este caso es del 2% cuyo valor se determinó en base a la norma ASTM D955 – 00, con lo cual se generan las cavidades, utilizando la opción de superficies, como se muestra en la figura 3.40. Esto se realiza en base a las operaciones de revolución con que cuenta este software, por tratarse de una pieza de carácter cilíndrico.

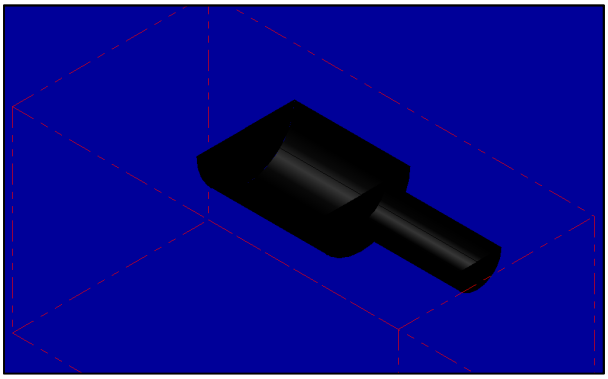


Figura 3.40. Diseño de cavidad en software de CAM.

Una vez definida la cavidad, es necesario definir la máquina y las operaciones que se requieren para generar el programa de CNC.

En este caso las operaciones necesarias son:

- Desbaste de las cavidades usando la estrategia de maquinado paralelo.
- Acabado de las cavidades mediante la misma estrategia.

En el primer caso se usa un cortador vertical plano con un diámetro de 3 mm de pulgada y en el segundo caso, se emplea un cortador vertical de bola de 2 mm de diámetro.

Esta diferencia de herramientas es debido a que en la operación de desbaste es necesario remover la mayor cantidad de material en el menor tiempo posible, lo cual se logra con una herramienta de mayor tamaño, sin sobrepasar de manera excesiva las dimensiones de la cavidad y de esta manera eliminar en la mayor medida de lo posible el material que con la operación de acabado se logran las dimensiones finales de la cavidad, lo cual se consigue con la herramienta de bola, ya que debido a su geometría es posible lograr maquinar el material, que en este caso se trata de un acero 4140 (acero aleado al cromo-molibdeno), es cual es recomendable para la fabricación de moldes de inyección de plástico, como lo indica [71].

La definición de los parámetros de maquinado para la manufactura de estas piezas se realiza en base a 3.1 y 3.2 publicadas por [72], que corresponden a las revoluciones por minuto a las cuales debe girar la fresa y al avance de corte de acuerdo con las recomendaciones del fabricante de la herramienta, que corresponden a la velocidad de corte, tanto para la operación de desbaste como de acabado.

$$n = (Vc \times 1000)/(\pi \times D) \qquad 3.1)$$

En este caso las variables de esta ecuación son:
n = Revoluciones por minuto de la herramienta
Vc = Velocidad de corte recomendada por el fabricante de la herramienta
D = Diámetro de la herramienta en mm

$$Vf = Fz \times z \times n \qquad (3.2)$$

Donde:
Vf = Velocidad de corte en mm/min.
Fz = Avance por diente recomendado por el fabricante de la herramienta.
z = Número de dientes de la herramienta.

De esta manera se asegura el uso correcto de la herramienta, en lo que respecta a los parámetros de estas variables.

Por otra parte, otro parámetro importante a definir es la profundidad de corte, la cual se selecciona en base al diámetro de la herramienta y al grado de acabado a obtener, para lo cual, en la fase de desbaste, se definen 0.3 mm y en la de acabado 0.1 mm, con lo cual se obtiene un acabado adecuado, ya que los moldes pasan a una fase de pulido posteriormente.

En la figura 3.41 se muestra la selección de la herramienta de desbaste y sus correspondientes parámetros de avance (Feed rate), revoluciones por minuto (Spindle speed) y avance de entrada al material (Plunge rate), los dos primeros de acuerdo a las arriba mencionadas, el tercer parámetro es determinado en base al manejo de este tipo de proceso de manufactura, el valor es bajo (20 mm/min) debido a que con ello se evita un desgaste mayor de la herramienta.

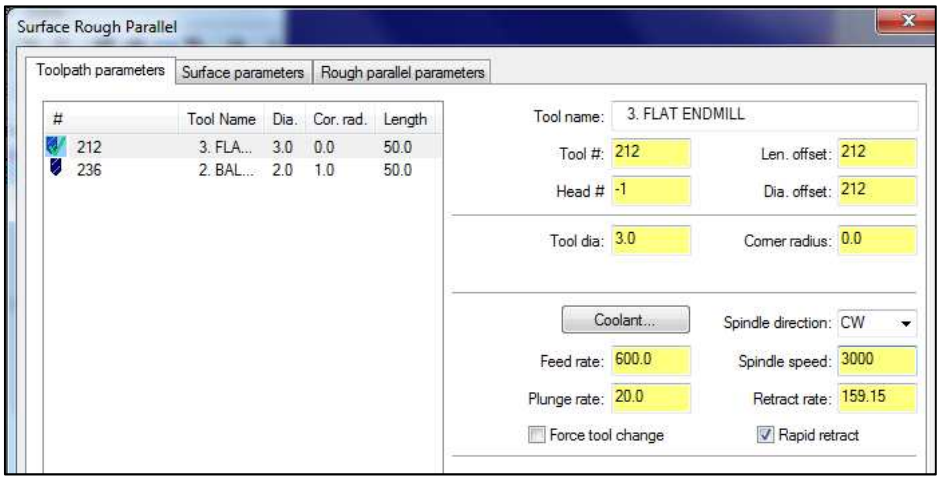


Figura 3.41. Selección de herramienta y captura de parámetros para operación de desbaste.

Enseguida se determinan las distancias de referencia inicial en el eje Z (Clearance), la de retracción (Retract), la de seguridad (Feed plane) y la cantidad de sobrematerial a dejar en la pieza (Stock to leave on drive y Stock to leave on check), esto se muestra en la figura 3.42.

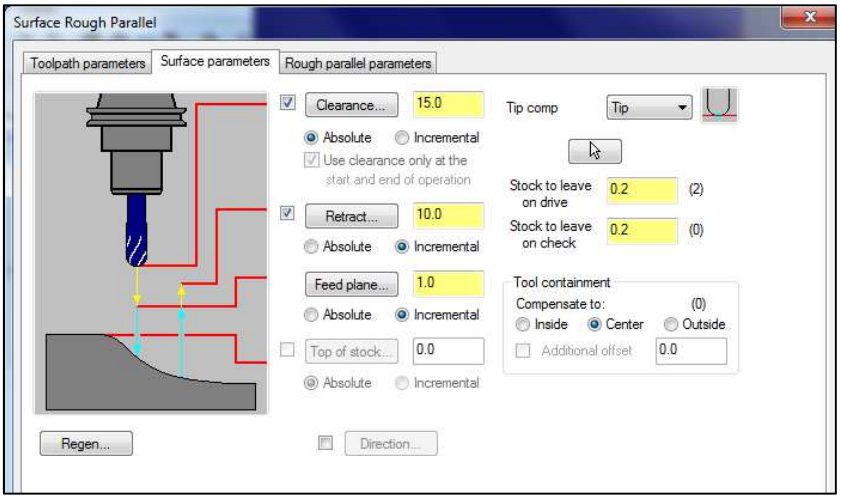


Figura 3.42. Determinación de distancias de referencia y sobrematerial para la operación de desbaste.

La determinación de estos parámetros se fundamenta en el caso de las distancias en las dimensiones de la pieza, que en este caso son menores a 10 mm, con la finalidad de reducir el tiempo de maquinado, especialmente en el caso de la distancia de seguridad que es de 1 mm, y por lo que respecta a la cantidad de sobrematerial, es la mínima para que en la operación de maquinado exista material para trabajar.

En lo que respecta a la distancia entre pasadas (Max. Stepover) y a la profundidad de corte (Max. Stepdown), también se definen en base al grado de desbaste requerido, con el objetivo de no dejar mucho material para trabajar en la operación de acabado, esto se muestra en la figura 3.43.

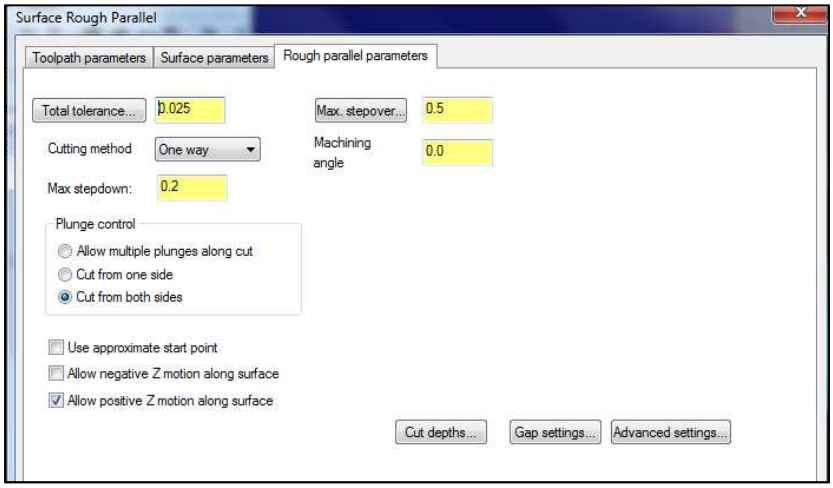


Figura 3.43. Definición de parámetros de distancia entre pasadas y profundidad de corte.

Enseguida se capturan los parámetros de la operación de acabado, los cuales en lo que respecta al avance de corte (Feed rate) y revoluciones por minuto (Spindle speed), se calculan en base a las fórmulas (3.1) y (3.2), esto se muestra en la figura 3.44, en esta operación se define un cortador vertical de bola de 2 mm de diámetro, debido a que con esta geometría es posible obtener el acabado requerido.

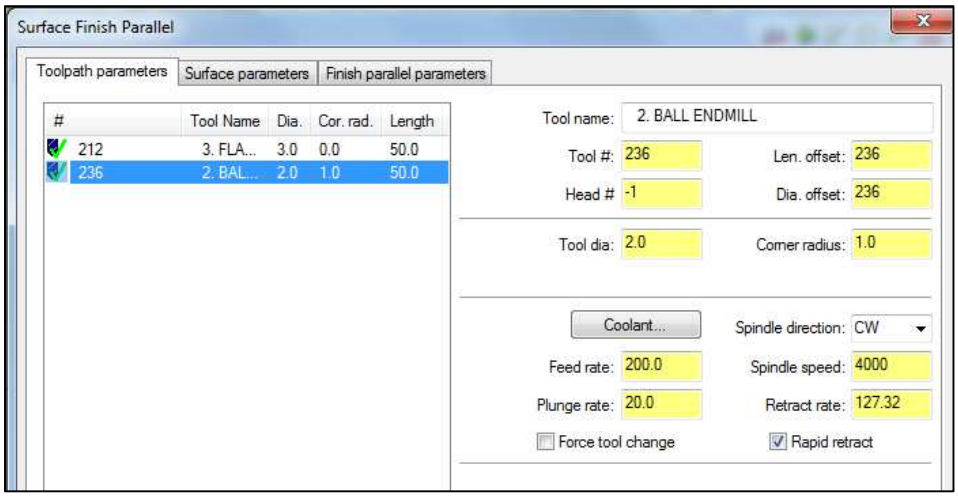


Figura 3.44. Definición de parámetros de avances y rpm para operación de acabado.

Asimismo, se determinan las distancias de referencia de esta operación, de manera similar a la operación de desbaste con la diferencia de que ya no se especifica ninguna cantidad de sobrematerial.

Finalmente se define el parámetro de distancia entre pasadas, en este caso de 0.1 mm para obtener una superficie lista para una operación de pulido, esto se muestra en la figura 3.45.

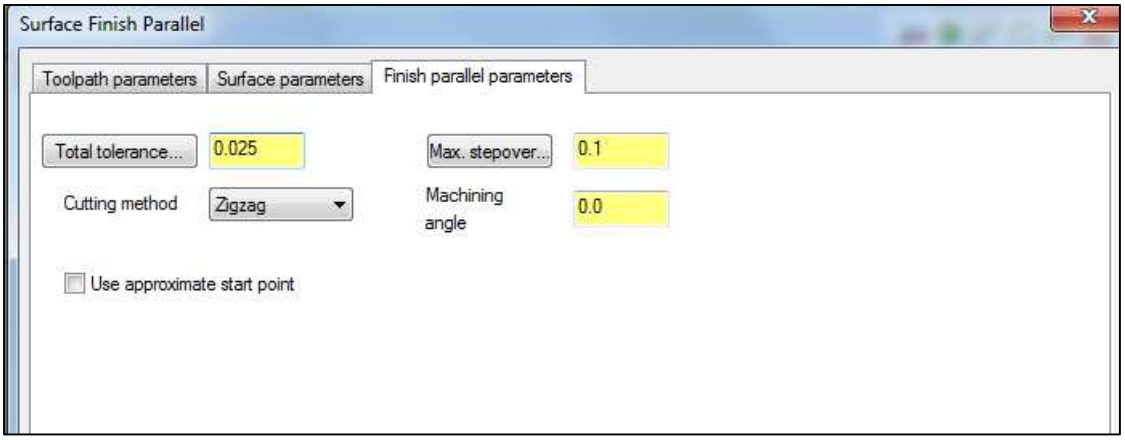


Figura 3.45. Definición de parámetro de distancia entre pasadas de la operación de acabado.

Una vez definidas las operaciones, las herramientas y los parámetros, es posible simular las operaciones de desbaste y acabado, lo cual sirve para verificar si los parámetros son los adecuados para la fabricación de las cavidades.

Este mismo procedimiento se realiza para las cavidades del molde del eje.

En las figuras 3.46 y 3.47 se muestran las simulaciones de maquinado de las cavidades de los apoyos y del eje.

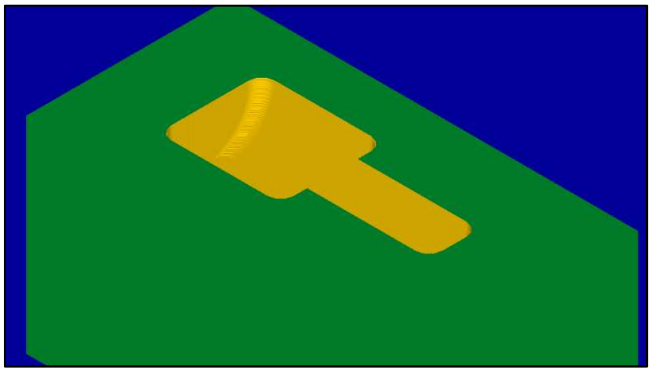


Figura 3.46. Simulación de maquinado de molde para fabricar los apoyos.

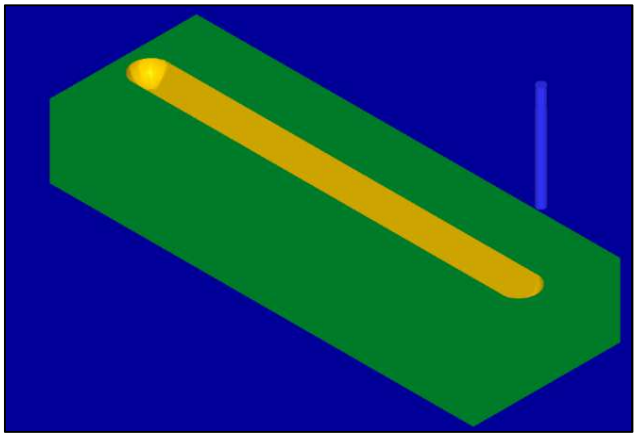


Figura 3.47. Simulación de maquinado de molde de eje de cortina.

Una vez verificada la simulación, se procede a la programación del control numérico el cual se realiza de manera automática por medio del post procesado de la geometría, dimensiones, definición de herramientas, selección de operaciones y determinación de parámetros de maquinado, entre los que se encuentran, el avance de corte, el avance de entrada, las revoluciones por minuto de la herramienta y la profundidad de corte entre los más importantes.

Los programas de CNC son órdenes en forma de códigos G y M, en donde se indican las coordenadas con precisión de micras, como se muestra en la figura 3.48.
El programa generado por el software, es necesario editarlo de acuerdo al protocolo del respectivo centro de maquinado en donde se mecaniza el molde.

MOLDE SOPORTE: Bloc de notas

Archivo Edición Formato Ver Ayuda

```
%2
(MOLDE SOPORTE)
(DATE=DD-MM-YY - 16-07-18 TIME=HH:MM - 14:03)
(MCX FILE - F:\TITULACION DOCTORADO\EVALUACION SEMINARIO V\MOLDE SOPORTE.MCX-5)
(NC FILE - C:\USERS\ESTUDIANTE\DOCUMENTS\MY MCAMX5\MILL\NC\MOLDE SOPORTE.NC)
(MATERIAL - ALUMINUM MM - 2024)
( T212 |    3. FLAT ENDMILL | H212 | XY STOCK TO LEAVE - .2 | Z STOCK TO LEAVE - 0. )
N100 G21
N102 T1 M6
N104 M3 S3000
N106 G0 G90 G54 X-7.497 Y-4.578 M8
N108 G43 H1 Z40.
N110 Z1.2
N112 G1 Z0. F20.
N114 X6.57 F600.
N116 G0 Z1.
N118 Z25.
N120 Z25.2
N122 X-7.497 Y-4.283
N124 Z1.2
N126 G1 Z0. F20.
N128 X6.235 F600.
N130 G0 Z1.
N132 Z25.
N134 Z25.2
N136 X-7.497 Y-3.987
N138 Z1.2
N140 G1 Z0. F20.
N142 X6.022 F600.
N144 G0 Z1.
N146 Z25.
N148 Z25.2
N150 X-7.497 Y-3.692
```

Figura 3.48. Inicio de programa CNC de operación de desbaste editado para su uso en Centro de Maquinado Vertical.

Esto se realiza de igual manera para la operación de acabado del molde del soporte y para las operaciones de desbaste y acabado del molde del eje.

3.7 MANUFACTURA DE HERRAMENTALES

Las principales operaciones para la manufactura de los herramentales (moldes), son las de fresado y torneado.

Las operaciones de fresado se realizan en un centro de maquinado vertical CNC con capacidad de 700 mm de carrera en el eje X, 400 mm de carrera en el eje Y y 400 mm de carrera en el eje Z, en el anexo B, se encuentran las especificaciones de esta máquina.

En la figura 3.49 se muestra esta máquina.

Figura 3.49. Centro de maquinado vertical CNC.

Se inicia con las operaciones de fresado en un centro de maquinado vertical, para esto se realiza el siguiente procedimiento:

1. Alineación de prensa en mesa de centro de maquinado vertical, mediante el uso de base magnética e indicador de carátula.
2. Nivelación de la placa de acero 4140 previamente planeada y escuadrada.

3. Fijación de la materia prima en prensa sobre la mesa del centro de maquinado vertical.
4. Determinación del centro de la placa mediante el uso de pernos primero en el eje Y, para ello se maneja la máquina en modo manual primeramente con avances de 1 mm y posteriormente conforme el perno se acerca a la placa, se reducen los avances progresivamente a 0.1, 0.01 y finalmente a 0.001 mm hasta hacer contacto con la placa mediante un testigo de pintura previamente aplicada sobre el perno, una vez realizado esto, se toma el dato de la coordenada alcanzada, este mismo procedimiento se realiza en el extremo opuesto del eje Y, una vez obtenidas las coordenadas de los extremos del eje Y, se realiza la operación de diferencia la cual se divide entre dos y se suma el último valor al menor valor de la coordenada del eje Y, el resultado obtenido es el centro de la placa con respecto al eje Y, este mismo procedimiento se realiza para el eje X.
5. Una vez calculadas las coordenadas del centro de la pieza, se capturan en el control del centro de maquinado vertical.
6. Posteriormente se define la altura de cada herramienta a usar en el programa de CNC, que en este caso son dos, para esto se acerca la punta de la herramienta a la placa y se hace contacto con la misma hasta una precisión de micras, con esto se captura esa coordenada en el tablero de control del centro de maquinado vertical.
7. Enseguida se coloca la memoria USB de la máquina que contiene al programa CNC y se selecciona el programa correspondiente, el cual se verifica en el modo de simulación, para detectar errores de edición, en caso de haberlo se corrigen, en caso contrario, se ejecuta el programa, el cual hace el cambio de herramienta de manera automática y se detiene cuando termina de maquinar.

Para el caso de las cajas que alojan los pernos guía y los bujes guía del molde, se realiza el diseño de estos como se muestra en la figura 3.50, las cajas de los pernos guía se maquinan en la placa del lado fijo de la máquina inyectora de plástico y las de los bujes en la placa que va del lado móvil de la máquina inyectora de plástico. En el primer caso se considera un ajuste 9.525 R8, para poder insertar a presión los pernos y en el segundo caso un ajuste 9.525 E6, para tener un juego entre perno y

bujes, que permita alinear las dos partes del molde cuando se realice el proceso de inyección.

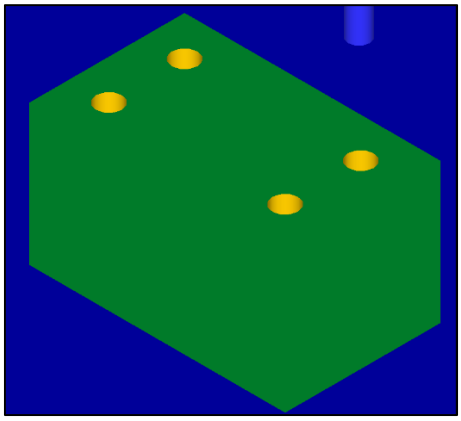


Figura 3.50. Simulación de maquinado de cajas para alojamiento de pernos guía.

El resultado de las operaciones de desbaste, acabado de cavidades y maquinado de cajas, se muestra en las figuras 3.51.

Figura 3.51. Molde de apoyos (dos cavidades).

La fabricación de los pernos guía se realiza en base a una medida estándar de 3/8 de pulgada de una barra cilíndrica de acero 1045, a la cual se le realizan las operaciones de careado, chaflanado, ranurado y tronzado, la primera de estas operaciones tiene como finalidad servir de asentamiento en las placas de manera uniforme, la segunda sirve para guiar al perno para su ensamble en las cajas de alojamiento y en los bujes guía, la tercera operación sirve para la lubricación de los pernos y la último para dar la longitud de la pieza.

Estas operaciones se realizan en un torno convencional, el resultado de estas operaciones se observa en la figura 3.52.

Figura 3.52. Perno guía maquinado en torno convencional.

Para realizar el perforado de la lámina del biopolímero, se fabrica un troquel en el centro de maquinado vertical, el cual se compone de cavidad y punzón cuyas simulaciones se muestran en las figuras 3.53 y 3.54. Es necesario el maquinado de cajas para alojar pernos guía para alinear las dos partes del molde, por lo que se realizó la simulación de maquinado de estas partes, lo cual se puede ver en las figuras 3.55 y 3.56.

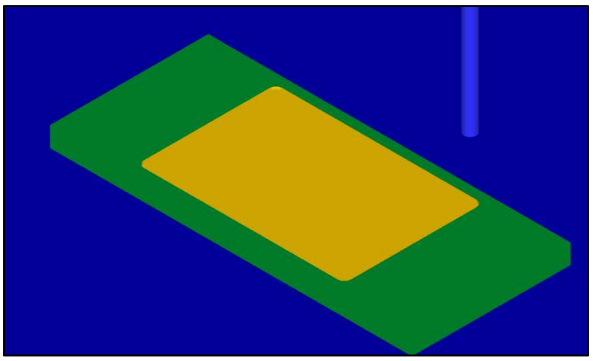


Figura 3.53. Simulación de maquinado de cavidad para troquel de cortina.

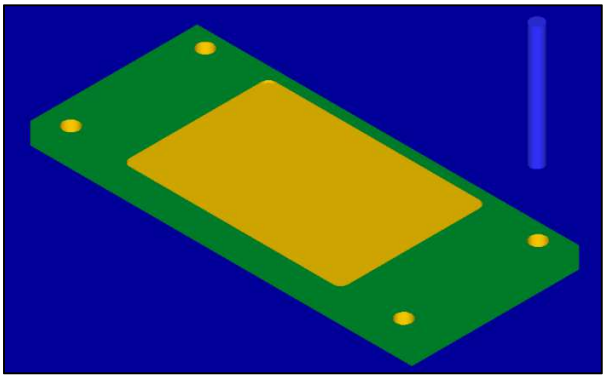


Figura 3.54. Simulación de maquinado de cajas para alojamiento de pernos guía en cavidad.

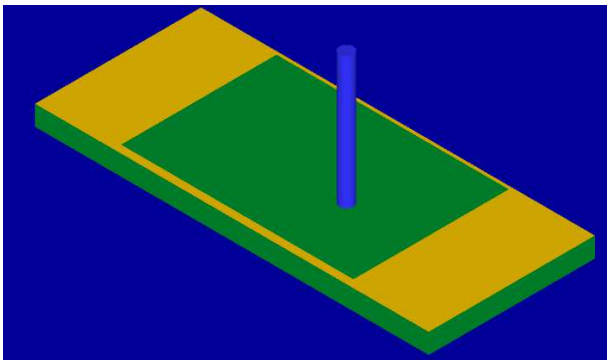


Figura 3.55. Simulación de maquinado de punzón para troquel de cortina.

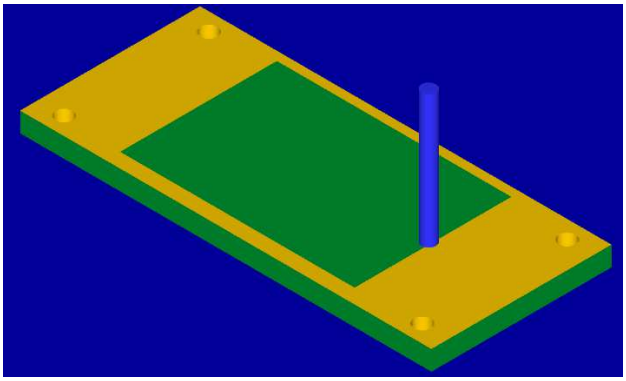


Figura 3.56. Simulación de maquinado de cajas para alojamiento de pernos guía en punzón.

Con las simulaciones verificadas y la generación de los respectivos programas de control numérico computarizado, se fabrican estos herramentales que sirven para la producción de la cortina.

Finalmente, en lo que respecta a la fabricación de los componentes principales del molde, se menciona el punto de inyección, el cual se realiza con una broca recta cuya medida es del diámetro de la boquilla de la máquina de inyección y posteriormente se taladra con una broca cónica, para poder expulsar la colada del molde, estas operaciones se realizan en el centro de maquinado vertical.

Por otra parte, los canales de refrigeración se maquinan en un taladro radial, con una broca de 21/64 de pulgada para poder machuelar una rosca M10X1.5 que sirve para recibir los coples roscados que conectan con las mangueras del chiller de la máquina de inyección de plástico.

3.8 PRUEBAS PARA EL CUMPLIMIENTO DE NORMAS AUTOMOTRICES DE APLICACIÓN DE POLÍMEROS EN INTERIORES

Dentro del desarrollo hecho en el producto, se incluye el cumplimiento de la norma FMVSS 302 (Norma a la flamabilidad), la cual es indispensable para que pueda ser usado como un accesorio interior automotriz, cuyo parámetro es de 100 mm/min, si el material probado cumple con esto o menos, se considera apto para ser aplicado en interiores automotrices en lo referente a materiales poliméricos, o si un material para de arder antes de 1 minuto y no ha ardido más de 50.8 mm, se debe considerar que cumple con los requerimientos de esta norma.

El producto está integrado por la cortina como principal componente, los soportes y el eje.

Estas tres piezas debido a que se encuentran dentro del interior del automóvil y son de naturaleza plástica, deben cumplir con la norma mencionada arriba.

Los resultados de las pruebas se muestran en el capítulo 4.

3.9 COMPONENTES FABRICADOS Y ENSAMBLADOS DEL PROTOTIPO

Los componentes fabricados y ensamblados del prototipo son:

- El eje contiene al resorte en su parte hueca, la cual se une a la cortina (figura 3.57).
- El apoyo barrenado para recibir a la ventosa (figura 3.58).
- La cortina troquelada (figura 3.59)
- El subensamble apoyo-ventosa (figura 3.60)
- El subensamble cortina-ventosa (figura 3.61)

Figura 3.57. Eje prototipo.

Figura 3.58. Apoyo prototipo.

Figura 3.59. Cortina troquelada.

Figura 3.60. Subensamble de apoyo con ventosa.

Figura 3.61. Subensamble de cortina-ventosa.

3.10 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE LA APLICACIÓN DEL BIOPOLÌMERO

Como parte final de la investigación y con la finalidad de tener un panorama más detallado del proceso de producción que puede implementarse para la fabricación de la aplicación del biopolímero , se presenta el diagrama de flujo del proceso (figura 3.62), el cual consiste en la preparación de la solución del colágeno en su respectiva estación de trabajo, la cual se integra de un horno industrial a gas, en el cual se lleva al punto de ebullición la mezcla de agua – colágeno hasta obtener una consistencia uniforme a la cual se le agrega el ácido cítrico y la grenetina, la cual se vierte en moldes de polipropileno en donde a lo largo de 24 horas se realiza la polimerización por condensación a temperatura ambiente, una vez obtenida la lámina del

biopolímero, se divide en dos procesos, el de peletización para la inyección en moldes de los soportes y el eje y en el proceso de corte y troquelado de la cortina.

Una vez peletizado el material, se alimenta a la tolva de la máquina de inyección de plástico, usando una máquina inyectora (se realiza la producción de un producto y posteriormente se cambia el molde para él segundo), en este caso se requiere de una máquina de inyección de 100 toneladas de fuerza de cierre, debido al gramaje de las piezas que es de 9 g para el apoyo y 85 g para el eje.

En lo que respecta a la verificación, se checa dimensionalmente y se libera para ensamble o se retrabaja y en caso de que no proceda lo anterior se recicla.

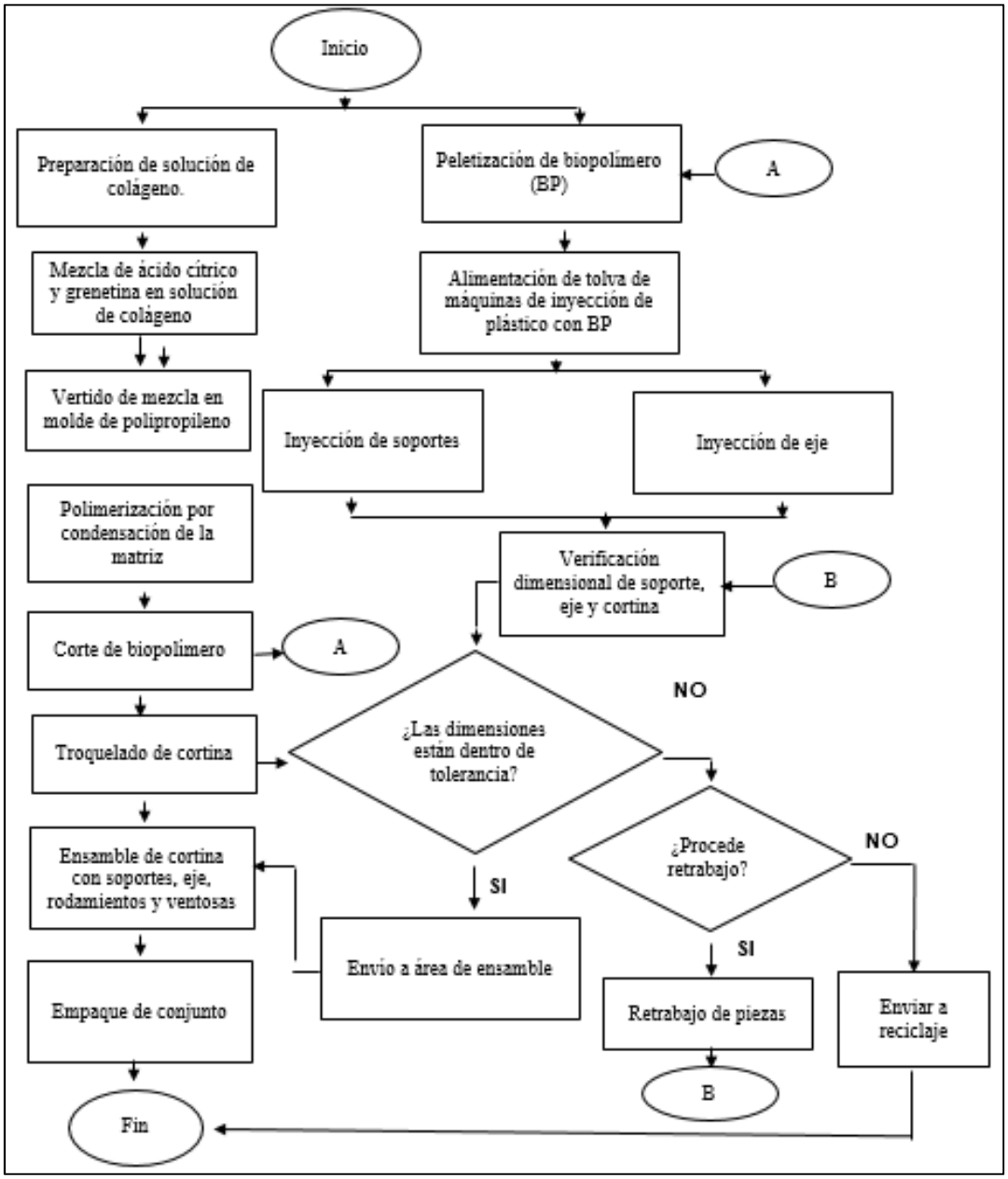


Figura 3.62. Diagrama de flujo de manufactura del accesorio automotriz.

4. CAPÍTULO 4. RESULTADOS

Los resultados de esta tesis se dividen en pruebas de tensión realizadas al biopolímero, relación de volumen de colágeno-masa de grenetina, parámetros de propiedades del biopolímero y aprobación de normas automotrices.

4.1 RESISTENCIA DEL BIOPOLÍMERO A LA TRACCIÓN

Los resultados obtenidos en esta tesis inician con la prueba a la tensión hecha en una máquina universal, en la tabla 4.1 se muestran estos datos.

Número de corrida	Resistencia última a la tensión (MPa)	Número de corrida	Resistencia última a la tensión (MPa)
1	36.1	19	34.2
2	35.8	20	33.5
3	34.0	21	39.3
4	33.8	22	39.6
5	32.5	23	34.2
6	33.3	24	33.2
7	37.5	25	32.2
8	36.7	26	31.5
9	34.8	27	33.6
10	35.2	28	32.9
11	32.7	29	38.2
12	32.8	30	39.3
13	33.1	31	32.1
14	32.1	32	32.6
15	38.2	33	34.9
16	39.0	34	33.7
17	32.9	35	39.2
18	33.6	36	39.4

Tabla 4.1. Parámetros de pruebas de tensión.

Se observa que en las corridas 15, 16, 21, 22, 29, 30, 35 y 36 se lograron los valores más altos de la resistencia última. Para analizar de manera estadística estos resultados, se procedió a correr un análisis de varianza, el cual se presenta a continuación:

En donde se observa la hipótesis nula: Todas las medias son iguales y la hipótesis alterna: Al menos una media es diferente, con un porcentaje de confianza del 95%.

Los resultados que se observan son las medias, que todas son diferentes, por lo tanto, la hipótesis alterna es la que resulta, también se obtiene desviación estándar de cada experimento y las gráficas de este reporte, de las cuales en la figura 4.1 se observa la prueba de probabilidad normal, la cual se cumple, ya que la gráfica tiene la forma de una línea aproximadamente recta, en la figura 4.2 se presentan los intervalos de la respuesta, así como en la figura 4.3 se muestra el diagrama de cajas.

One-way ANOVA: Resistencia1, Resistencia2, Resistencia3, Resistencia4, Resistencia5, ...

Method

Null hypothesis All means are equal
Alternative hypothesis At least one mean is different
Significance level a = 0.05

Equal variances were assumed for the analysis.

Factor Information
Factor Levels Values
Factor 9 Resistencia1, Resistencia2, Resistencia3, Resistencia4, Resistencia5, Resistencia6, Resistencia7, Resistencia8, Resistencia9

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Factor	8	220.44	27.5551	65.82	0.000
Error	27	11.30	0.4186		
Total	35	231.74			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.647002	95.12%	93.68%	91.33%

Means

Factor	N	Mean	StDev	95% CI
Resistencia1	4	36.525	0.750	(35.861, 37.189)
Resistencia2	4	34.450	0.661	(33.786, 35.114)
Resistencia3	4	32.825	0.340	(32.161, 33.489)
Resistencia4	4	33.225	0.877	(32.561, 33.889)
Resistencia5	4	39.025	0.602	(38.361, 39.689)
Resistencia6	4	33.475	0.562	(32.811, 34.139)

Resistencia7 4 32.100 0.455 (31.436, 32.764)
Resistencia8 4 33.775 0.830 (33.111, 34.439)
Resistencia9 4 39.025 0.556 (38.361, 39.689)

Pooled StDev = 0.647002

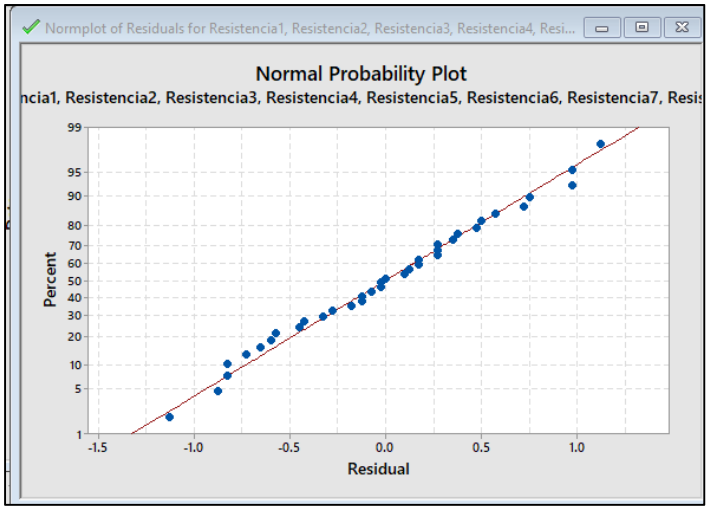


Figura 4.1. Gráfica de probabilidad normal.

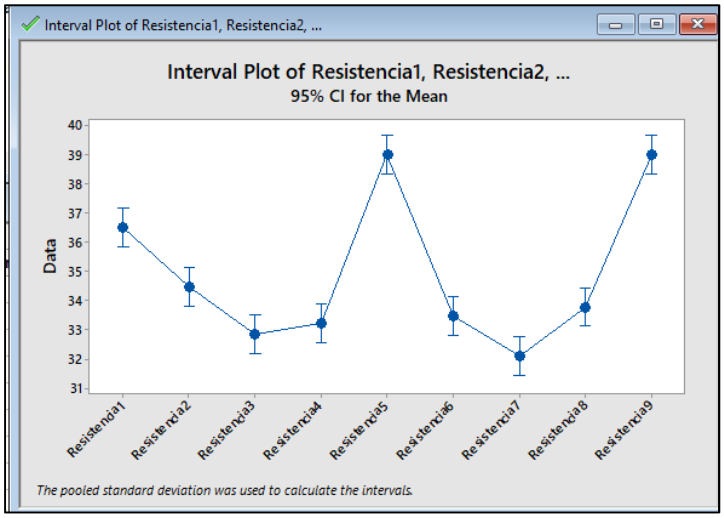


Figura 4.2. Gráfica de intervalos de la respuesta.

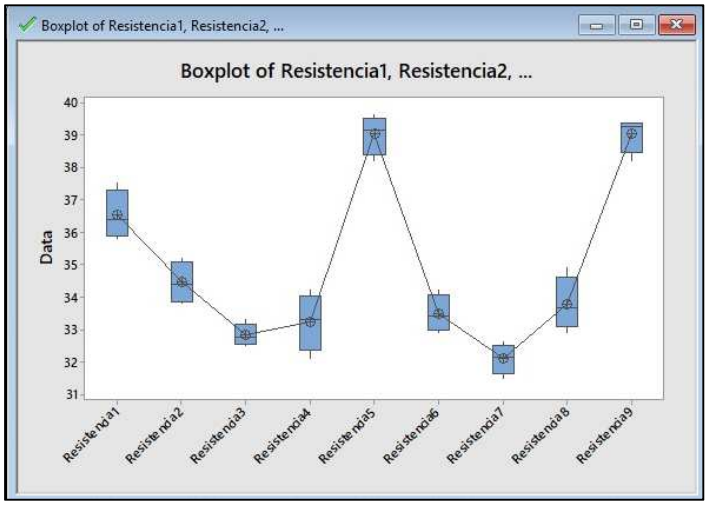


Figura 4.3. Diagrama de cajas de la respuesta.

4.2 RELACIÓN DE VOLUMEN DE COLÁGENO-MASA DE GRENETINA

Como conclusión del análisis de los resultados que arroja el software, se determina que la relación de los factores grenetina y colágeno alcanza su mejor combinación para lograr una mayor resistencia del polímero, cuando es de 83.3 mL/g aproximadamente, ya que esto se nota en las figuras 4.2 y 4.3, lo cual corresponde a las resistencias 1, 5 y 9 que son los mayores valores de resistencia con respecto a las otras combinaciones.

El dato de la relación se obtiene de la división de:

$$250 \text{ mL}/3 \text{ g} = 500 \text{ mL}/6 \text{ g} = 750\text{mL}/9 \text{ g} = 83.3 \text{ mL/g}$$

La máxima resistencia alcanzada en las pruebas es de 39.6 MPa, correspondiente a la cuarta réplica del quinto experimento. Este valor es bastante bueno ya que se observa una resistencia semejante a la de un polietileno de alta densidad, el cual, de acuerdo con Primo, E. [73] tiene una resistencia de 280 kg/cm^2 lo que equivale a 27.4 MPa.

4.3 PARÁMETROS DE PROPIEDADES DEL BIOPOLÍMERO

Otro resultado son los parámetros de las propiedades del biopolímero obtenidos mediante la realización de pruebas conforme a norma, las cuales se mencionan en el capítulo 3. Estos resultados se muestran en la tabla 4.2.

No.	Propiedad	Parámetro	Unidades
1	Módulo de elasticidad	4.3×10^9	N/m^2
2	Coeficiente de Poisson	0.43	-----
3	Densidad	1.03	kg/m^3
4	Límite de tracción (esfuerzo máximo)	39×10^6	N/m^2
5	Límite elástico	26.4×10^6	N/m^2
6	Conductividad térmica	0.49	W/(mK)
7	Contracción	2	%
8	Temperatura de fusión	165	°C

Tabla 4.2. Parámetros de propiedades mecánicas y térmicas del biopolímero a base de colágeno.

4.4 APROBACIÓN DE NORMAS AUTOMOTRICES

Un resultado fue el cumplimiento de la norma FMVSS 302 que se verifica por medio del ensayo hecho a la probeta del bioplástico y cuyo resultado se muestra en la tabla 4.3, donde se observa que el material no alcanzó a arder ni un minuto, ni tampoco ardió más de 2 pulgadas, por lo que el material cumple con esta norma. Esta prueba se realiza en laboratorio con el equipo correspondiente calibrado. La norma establece que el máximo valor permisible de la velocidad de quemadura de la probeta es de 101.6mm/min.

No	Pieza	Distancia quemada (mm)	Tiempo (min)	Valor de referencia (mm/min)/Probeta ardiendo menos de un minuto en una distancia menor a 2 pulgadas.	Pasa /No Pasa
1	Probeta de biopolímero	30.48	0.25	101.6	Pasa

Tabla 4.3. Resultado de prueba a la flamabilidad.

Otro resultado fue la aprobación de la norma automotriz TL 496: 2011 – 10, sobre ensayo en climas alternos, en esta prueba según PV 1200 [74], se realiza un ensayo de 50 ciclos, en la cual no deben aparecer alteraciones visibles respecto al estado de suministro, como por ejemplo burbujas, deformación, torsiones, desestratificaciones, desprendimientos, distorsión de contornos y radios, separación de uniones, decoloración, alteración del grado de brillo ni desprendimiento de piezas adosadas.

Este ensayo consta de almacenamiento bajo temperatura y clima controlados, con el fin de determinar el grado de resistencia a los cambios de temperatura a los que pudiera estar sometido el material dentro del automóvil, como se observa abajo en donde se indican las temperaturas, son extremas.

Las probetas se someten sucesivamente a las siguientes cuatro condiciones. Después de cada almacenamiento se evalúan las piezas. El almacenamiento 3 no se inicia hasta que estén secas las piezas.

Los almacenamientos son los siguientes:

Primero: 16 h a -30°C.
Segundo: 48 h a +55°C y 95% de humedad relativa del aire.
Tercero: 16 h a +90°C.
Cuarto: 16 h a +100°C (sólo para evaluar la zona de exposición).

En lo que respecta a esta prueba, la probeta aprobó las condiciones climáticas.

Otra prueba que se realizó al material, de carácter obligatorio fue la correspondiente a PV496 [75] correspondiente a la resistencia al calor de partes, plásticas al interior de un automóvil, la cual fue aprobada por la probeta que fue sometida a 48 h a +90°C, la probeta no sufrió ningún resquebrajamiento ni deformación, como puede observarse en la figura 4.4. Cabe destacar que el comportamiento del material en presencia de calor es comparable al de un material compuesto tradicional como el PP con ABS, lo cual fue destacado por el laboratorio que realizó la prueba. Los

parámetros de estos últimos materiales son de acuerdo con [76] de 90 a 99°C como temperatura de servicio continuo.

El laboratorio que realizó todas las pruebas mencionadas en este trabajo es parte de una empresa del giro automotriz de inyección de plástico de nivel 1, por lo que cuenta con el equipo y personal calificado para esta actividad.

Figura 4.4. Probeta de bioplástico Col-Gren después de la prueba de resistencia al calor.

4.5 APLICACIÓN DE BIOPOLÍMERO

Otro resultado es la aplicación del biopolímero, por lo que una vez determinada la mejor relación de los factores que influyen en la resistencia del material, se procede a diseñar un accesorio ajustable automotriz.

La configuración final del diseño se muestra en la figura 4.5 en donde la manipulación de la cortina solo requiere de usar una mano, el ajuste es uniforme ya que el punto de apoyo se encuentra en el centro de la cortina y en su parte más baja, lo que permite que el movimiento vertical ya sea hacia arriba o hacia abajo se haga de manera equilibrada al tener como pivote un solo punto central inferior.

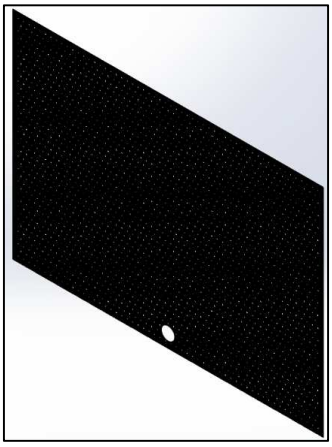


Figura 4.5. Versión final de cortina con un punto de sujeción.

Por otra parte, para que la cortina funcione es necesario agregar un resorte que haga que retorne a su posición original, el cual se coloca en el interior del eje que sostiene a la cortina en su parte superior.

También se realiza la modificación de la cortina en lo referente a que debe ser perforada y en color negro, por lo que se presenta en la figura 4.6 la vista frontal de la última versión del modelado de la misma. La razón de esto es que los parasoles automotrices no deben obstruir la visibilidad por completo.

Por lo que se optó por usar la geometría y el color tradicional de los parasoles comerciales.

La diferencia es el material y los componentes que integran el montaje del mismo. En lo que respecta al material, al ser hecho a partir de un biopolímero, es posible que se pueda reintegrar a la tierra sin causar mayores problemas de contaminación ambiental.

Las condiciones para reintegrar este biopolímero a la tierra son la exposición del mismo a la humedad directamente en el suelo durante 1 mes para espesores de 0.2 mm, ya que en ambientes secos se mantiene estable.

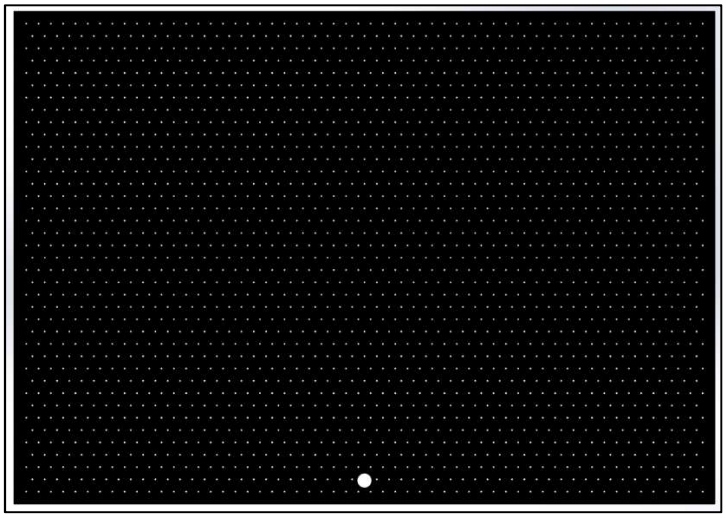


Figura 4.6. Vista frontal de cortina final.

El diseño del eje se realizó en base a la longitud de la cortina y su correspondiente ensamble en el vidrio de un automóvil compacto, el material seleccionado fue el mismo para la cortina, en su versión peletizada.

El diseño del eje en la versión de modelado se presenta en la figura 4.7. La característica del eje es que cuenta con una ranura en la parte superior para fijar la cortina de manera uniforme y cuenta con alojamientos circulares para recibir los apoyos y el resorte que permite el retorno de la cortina, así como de un refrentado para alojar los rodamientos que permite el giro del mismo.

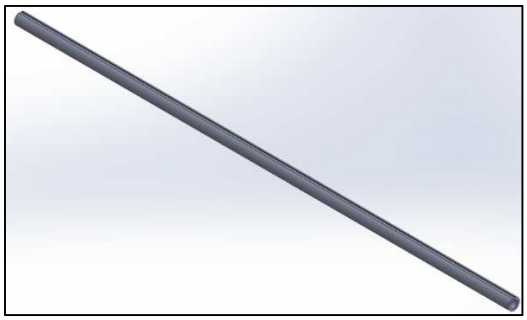


Figura 4.7. Modelado del eje de la cortina.

En la figura 4.8 se muestra el modelado de la pieza denominada apoyo.

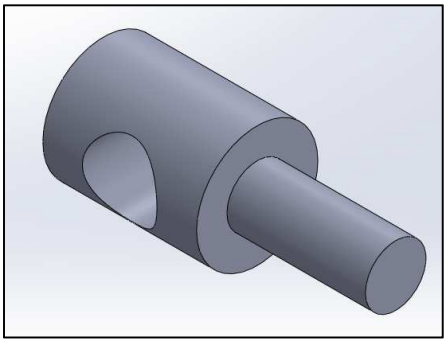


Figura 4.8. Modelado de apoyo para sujetar cortina.

Una vez definidos los componentes del ensamble de la cortina, se usa el módulo de ensamble virtual como se muestra en la figura 4.9, aquí se observa que se requieren de tres ventosas para que el accesorio sea funcional, así como la función de los apoyos que consiste en servir de soporte en los extremos, además de que permiten que la cortina se enrolle y desenrolle libremente sobre el eje para hacer el ajuste a la altura que se requiera por parte del usuario.

También se observa que la cortina debe enrollarse sobre el eje desde el momento de su fabricación y el posterior ensamble de apoyos y ventosas se facilita al estar acotada esta dimensión horizontal sobre el eje.

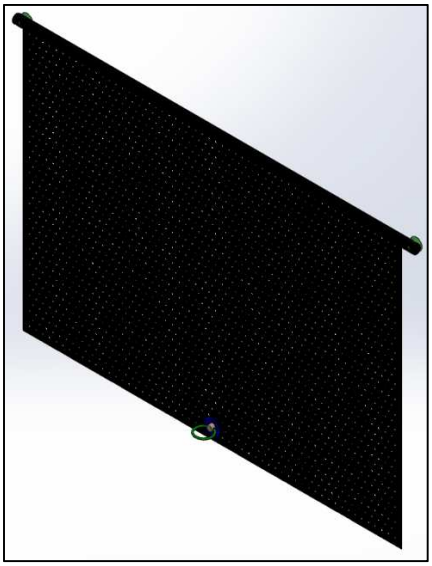


Figura 4.9. Ensamble completo virtual de la aplicación del biopolímero.

4.6 PELETIZACIÓN DEL BIOPOLÍMERO

Otro punto importante es la factibilidad de peletizar el biopolímero para poder usarlo en otros procesos de transformación de plástico como lo son: inyección, soplado y extrusión. Esta factibilidad se fundamenta en el hecho de que, con el simple corte en una cizalladora, en tamaños de 5 x 5 mm de las láminas de 0.2 mm obtenidas en el proceso de polimerización, se pueden usar en los procesos mencionados. A diferencia de los polímeros tradicionales que requieren de maquinaria especializada para producir los pellets desde la obtención del polímero. En la figura 4.10 se muestra un pellet de este material, sin pigmentar.

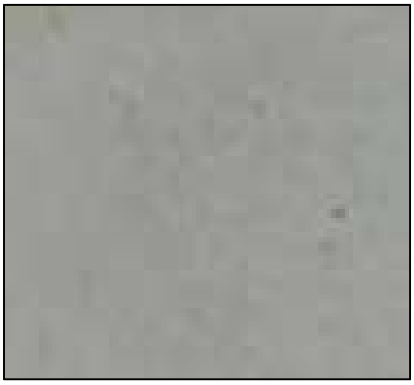


Figura 4.10. Pellet de bioplástico Col-Gren.

4.7 HERRAMENTALES FABRICADOS PARA LA APLICACIÓN DEL BIOPOLÍMERO

Una vez ejecutadas las operaciones de fresado y torneado en las placas y las partes cilíndricas, así como del ensamble, se obtuvieron las piezas de los herramentales, algunas de las cuales se muestran en las figuras 4.11 a 4.14.

En la figura 4.11 se observa el molde de los apoyos maquinado y con los pernos guía ensamblados.

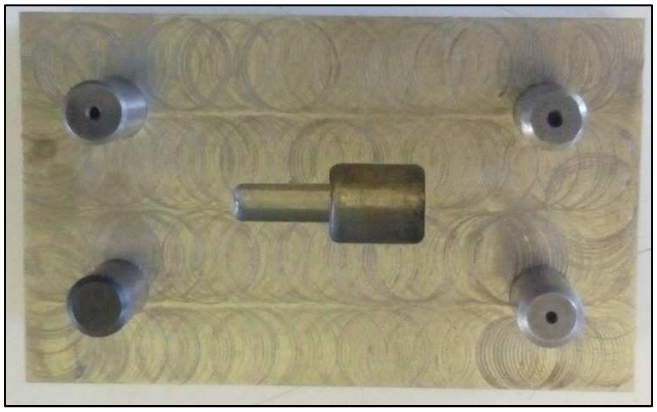


Figura 4.11. Molde de apoyos con pernos guía.

Figura 4.12. Molde de eje (dos cavidades).

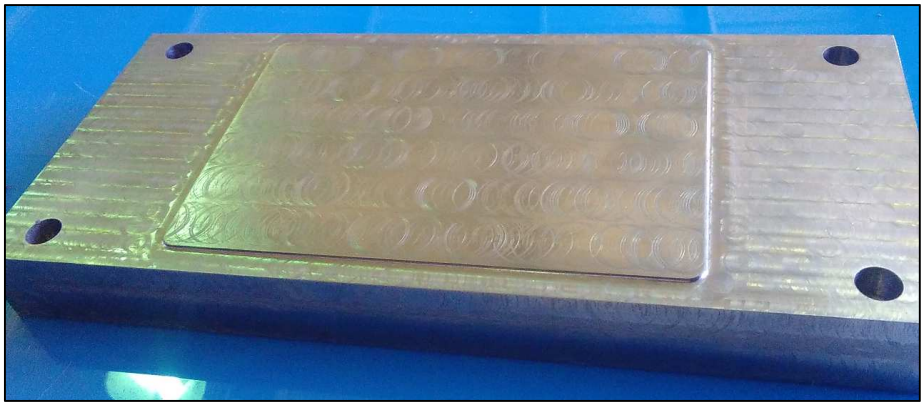


Figura 4.13. Punzón de troquel fabricado.

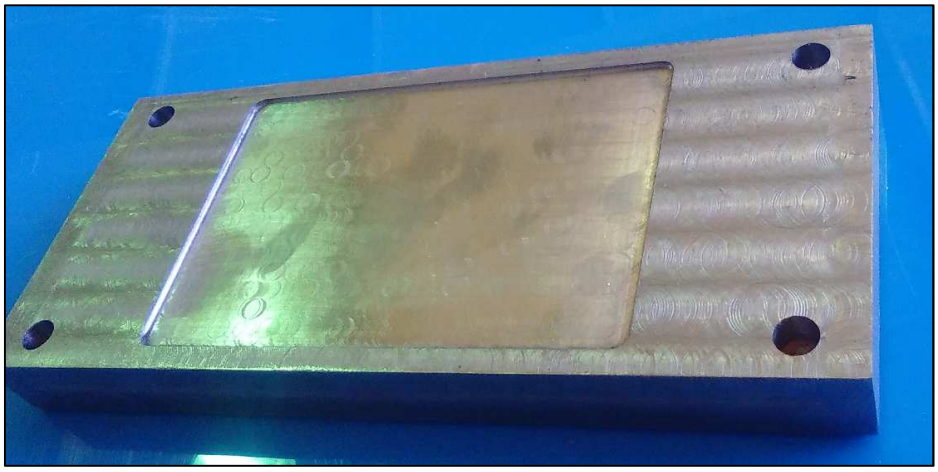


Figura 4.14. Cavidad de troquel fabricada.

4.8 ENSAMBLE COMPLETO DE LA APLICACIÓN DEL BIOPOLÍMERO

Como resultado de la fabricación de piezas de la aplicación del biopolímero y del ensamble de las mismas se obtiene el prototipo de una cortina automotriz ajustable, la cual se muestra en la figura 4.15, la cual se integra por:

- La cortina.
- Un eje.
- Dos soportes.
- Dos ventosas para los soportes.
- Un rodamiento (ensamblado internamente).
- Un resorte (ensamblado internamente).
- Una ventosa para el ajuste de la altura de la cortina.

Figura 4.15. Ensamble de accesorio automotriz ajustable.

4.9 ACCESORIO AUTOMOTRIZ AJUSTABLE APLICADO

El accesorio automotriz se ensambla y se presenta en la ventanilla de un automóvil compacto, como se muestra en la figura 4.16. En donde se observa su utilidad, ya que se puede ajustar a cualquier altura de manera sencilla y rápida.

En las figuras 4.17 a 4.19 se muestran las diferentes posiciones de ajuste del accesorio desarrollado.

Figura 4.16. Accesorio automotriz ajustable, ensamblado en el vidrio de un automóvil.

Figura 4.17. Ajuste del accesorio en la parte superior.

Figura 4.18. Ajuste del accesorio en la parte media.

Figura 4.19. Ajuste del accesorio en la parte inferior.

4.10 COMPARACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DEL BIOPOLÍMERO CON TERMOPLÁSTICOS CONVENCIONALES

Una de las ventajas del biopolímero es su resistencia a la tracción derivada de la naturaleza del colágeno, por lo que se presenta en la tabla 4.4 un comparativo de los parámetros de resistencia a la tracción con respecto a otros polímeros derivados de los hidrocarburos.

De acuerdo con [77], la resistencia a la tracción del polipropileno, polietileno de baja densidad y polietileno de alta densidad es:

	Polipropileno (PP)	Polietileno de baja densidad (PEBD)	Polietileno de alta densidad (PEAD)
Resistencia a la tracción (MPa) (Esfuerzo máximo)	33	10	32

Tabla 4.4. Parámetros de resistencia a la tracción de PP, PEBD y PEAD. Fuente: Tripathi, 2002.

Estos tres materiales tienen un amplio uso comercial, y en particular el polipropileno se usa en la fabricación de componentes interiores automotrices.

De la tabla 4.2 se observa que el parámetro de resistencia a la tracción (esfuerzo máximo) para el biopolímero desarrollado es de 39 MPa, lo cual representa una ligera ventaja con respecto al polipropileno y al polietileno de alta densidad, pero tiene una ventaja significativa con respecto al polietileno de baja densidad.

CONCLUSIONES

La combinación de los fundamentos de la polimerización por condensación con el ecodiseño y el diseño de experimentos conllevaron a la obtención de un biopolímero a base de colágeno que cumple con las normas automotrices de flamabilidad y resistencia mecánica y térmica, el cual tiene la ventaja de tener un carácter sustentable por provenir de una fuente renovable como lo son las aves de corral y al mismo tiempo cuenta con el beneficio de ser biodegradable bajo condiciones ambientales de humedad.

Por otra parte la aplicación del biopolímero se pudo realizar en dos variantes de procesos de manufactura como lo son el troquelado y la inyección debido a que por su naturaleza es factible obtenerlo en forma laminar y usarlo como tal con operación de corte para obtener la geometría deseada y/o peletizarlo para que mediante una máquina inyectora de plástico y un molde se puedan fabricar piezas de mayor espesor y formas de cualquier tipo, con respecto a esto la inyección es uno de los procesos más ampliamente usados en la manufactura de partes interiores automotrices, por lo que el potencial de este biopolímero a base de colágeno es enorme para este tipo de aplicaciones.

El éxito de este trabajo consistió en la conjunción del desarrollo del biopolímero con la aplicación de diferentes áreas de la manufactura avanzada como lo son el CAD/CAE/CAM, lo cual da un carácter integral al proyecto, al pasar de una idea hasta la obtención de un producto tangible.

APORTACIÓN DE LA TESIS

La aportación de esta tesis radica principalmente en el desarrollo de un biopolímero basado en las propiedades de componentes de origen renovable y la caracterización del mismo, así como en la implementación de la metodología de diseño de experimentos en el desarrollo de este. Otra aportación es la referente a la innovación en la forma de ajuste vertical de arriba hacia abajo del accesorio automotriz en cuestión ya que permite de manera fácil ajustar la cantidad de luz que el usuario requiera. En este aspecto, es importante mencionar que la diferencia del accesorio diseñado y fabricado en comparación con otros productos existentes en el mercado es que, al ajustar la cantidad de obturación de luz hacia el interior del automóvil de esta manera, se proporcionan las siguientes ventajas:

- Generalmente la luz solar molesta de manera significativa el rostro, la cual proviene de la parte superior de la ventanilla, por lo que, al ajustar hasta la altura deseada, se elimina este problema.
- La visibilidad de los espejos laterales exteriores del automóvil puede ser controlada mediante el ajuste a la altura correspondiente.

Una aportación importante es la ligera ventaja que tiene la resistencia mecánica del biopolímero a base de colágeno con respecto al polipropileno el cual es un material de extenso uso automotriz.

RECOMENDACIONES

Se recomienda seguir trabajando en el desarrollo de polímeros de origen natural, ya que, al tener un carácter renovable, es posible lograr la sustentabilidad de los productos a los que pueden dar origen.

La búsqueda de este tipo de materiales debe basarse en el aprovechamiento de recursos que actualmente no son utilizados de manera importante, tales como:

- Desechos de origen animal, tales como:
    - Huesos.
    - Cartílagos.
    - Vísceras.
    - Cáscaras (de huevo).
- Desechos de origen vegetal, tales como:
    - Cáscaras.
    - Fibras.
- Materiales de origen vegetal sin aplicación significativa tales como:
    - Zacate.
    - Hojas.
    - Tallos.
    - Plantas sin uso comestibles que no requieren de cuidados especiales tales como:
        - Lechuguilla.
        - Ortiga.
        - Lirio acuático.
        - Polocote.

Por mencionar algunas de la vasta variedad de recursos naturales de los que es necesario investigar sus propiedades y definir aplicaciones.

Al hacer uso de estos recursos y mediante el adecuado tratamiento de los mismos para aplicaciones de utilidad para la sociedad, es posible lograr un mejor equilibrio de los recursos renovables y no renovables, de los cuales los últimos se pueden usar para casos en los que por sus características no puedan ser sustituidos por los recursos renovables y de esta manera hacer un uso más racional de ambas fuentes de materia prima.

Para finalizar también se recomienda trabajar en el desarrollo de materiales compuestos, los cuales se pueden integrar de una matriz polimérica y una fibra que en conjunto pueden alcanzar mayores resistencias que de manera individual, las fibras que pudieran trabajarse como refuerzo puede provenir de:

- Cáscara de coco.
- Cáñamo.
- Henequén.
- Tallo de la planta de maíz.

Por lo que existe un amplio campo de oportunidades que pueden revolucionar a la manufactura actual hacia una manufactura sustentable.

Para finalizar este trabajo se puede afirmar que contribuye a la ciencia en lo referente a la obtención de un nuevo material a base de colágeno y grenetina el cual exhibe buenas propiedades mecánicas y térmicas aptas para la aplicación en el ámbito automotriz y en general para una gran cantidad de aplicaciones para otros productos que requieran de las características presentadas en esta tesis.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] HAMAIDE, T. DETERRE, R. FELLER, J.F. Environmental Impact of Polymers, John Wiley and Sons, Inc. 2014.

[2] EBNESAJJAD, S. Handbook of biopolymers and biodegradable Plastics, Elsevier, 2013.

[3] JOHNSON, A., GIBSON, A. Sustainability in Engineering Design, Academic Press, 2014.

[4] DAVIM, J.P. Green Manufacturing Processes and Systems, Berlin. : Springer-Verlag Berlin Heidelbergh 2013. 2 p.

[5] ASHBY, M.F., JONES, D.R.H. Materiales para Ingeniería 1, Introducción a las propiedades, las aplicaciones y el diseño, Reverté, 2005 2 p.

[6] CALLISTER, W.D. Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales 1, Reverté, 2007.

[7] GROOVER, M.P. Fundamentos de Manufactura Moderna Materiales, Procesos y Sistemas, Prentice-Hall Hispanoamericana, 1997.

[8] VARGAS, R., VALDEZ, J.L., Recursos Naturales Estratégicos: los hidrocarburos y el agua, UNAM, 2006.

[9] DHODAPKAR, S., PRADEEP, J. Designing polymerization reaction systems, 2016.

[10] ALLINGER N. Química Orgánica, Editorial Reverté, 1984.

[11] LÓPEZ, J. Transformación de materiales termoplásticos. IC Editorial, 2014.

[12] NIAOUNAKIS, M. Biopolymers: Reuse, Recycling and Disposal, Elsevier, 2013.

[13] NIAOUNAKIS, M. Biopolymers: Applications and Trends, Elsevier, Inc. 2015.

[14] BERTOLINI, A. Starches: Characterization, Properties and Applications, CRC Press, 2009.

[15] NIMMI, M. Collagen: Volume II: Biochemistry and Biomechanics, CRC Press, 2018.

[16] FRATZL, P. Collagen Structure and Mechanics, Springer, 2008.

[17] GHOSH, P. Polymer Science and Technology, Plastics, Rubber, Blends and Composites, Tata Mc Graw Hill Publishing Company Limited, 2008.

[18] JOHNSON, A., GIBSON, A. Sustainability in Engineering Design, Academic Press, 2014.

[19] HAIK, Y., SIVALOGANATHAN, S., SHAIN, T., Engineering Design Process, CENGAGE Learning, 2018.
[20] PAHL, G., BEITZ, W., FELDHUSEN, J., GROTE, K.H. Engineering Design A Systematic Approach Third Edition, 2007.
[21] HALES, C., GOOCH, S. Managing Engineering Design, Springer, 2004.
[22] LALIT NARAYAN, K. MALLIKARJUNA, K., RAO, M.M.M. Computer Aided Design and Manufacturing, Prentice Hall of India Private Limited, 2008.
[23] HAIK, Y, SHAIN, T. Engineering Design Process Second Edition, CENGAGE Learning, 2011
[24] ASHBY, F.M. Materials Selection in Mechanical Design, Butterworth-Heinemann, 2017.
[25] KUTZ, M. Environmentally Conscious Mechanical Design, John Wiley and Sons, 2007.
[26] MASTINU, G., GOBBI, M., MIANO, C. Optimal Design of Complex Mechanical Systems with Applications to Vehicle Engineering, Springer, 2006.
[27] GARCÍA, J.I. Fundamentos del diseño mecánico, Programa Editorial Universidad del Valle, 2004.
[28] BUDYNAS, R.G., NISBETT, J.K. Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley, Mc Graw Hill, 2012.
[29] SANZ, F.A., Ecodiseño Un Nuevo Concepto en el Desarrollo de Productos, Universidad de la Rioja, 2014.
[30] CARRILLO GONZALEZ, G., GONZALEZ PARODI, G., Gestión de Proyectos Empresariales: El Ecodiseño, un Instrumentos para la sostenibilidad, 2006.
[31] SARKAR, J. Computer Aided Design A Conceptual Approach, CRC Press Taylor and Francis Group, 2015.
[32] REMBOLD, U., DILLMANN, R. Computer Aided Design and Manufacturing Methods and Tools, Springer-Verlag, 2012.
[33] PLANCHARD, D.C. SolidWorks 2018 Tutorial with video instruction A step by step project based approach Utilizing 3D Solid Modeling, SDC Publications. 2018.
[34] SINGIRESU S. RAO, The Finite Element Method in Engineering, Elsevier Science and Technology Books, 2004.
[35] QUEK, S.S., LIU G.R. Finite Element Method, Butterworth-Heinemann, 2003.

[36] HUEBNER H. K., The Finite Element Method for Engineers, John Wiley & Sons, 2001.
[37] DESAI, Y.M., ELDHO, T.I., SHAH, A.H., Finite Element Method with Application in Engineering, Pearson, 2011.
[38] GOSZ, M. R. Finite Element Method Applications in Solids, Structures, and Heat Transfer, Taylor and Francis Group, 2006.
[39] SINGH, R. Introduction to Basic Manufacturing Process and Workshop Technology, New Age International, 2006.
[40] SCALLAN, P. Process Planning The Design/Manufacture Interface, Butterworth-Heinemann, 2003.
[41] SCHEY, J.A. Procesos de manufactura, McGraw Hill Interamericana Editores, S.A. de C.V. 2002.
[42] KALPAKJIAN, S., SCHMID, S.R., Manufactura, ingeniería y tecnología, Pearson Educación, 2008.
[43] RODRIGUEZ, J., CASTRO, L., DEL REAL, J.C. Procesos Industriales para Materiales Metálicos, Editorial Visión Net, 2006.
[44] BACA, G., CRUZ, M., CRISTÓBAL, M.A., Introducción a la Ingeniería Industrial Segunda Edición, Grupo Editorial Patria, 2014.
[45] HENAR, M.M., CANTERO, J.L., CANTELI, J.A., FILIPPONE, J.G., Problemas resueltos de Tecnología de la Fabricación, Paraninfo, 2005.
[46] HERNÁNDEZ, G., MENDOZA, J. Fundamentos y Planeación de la Manufactura Automatizada Un Enfoque de los Sistemas Integrados de Manufactura, Pearson Educación de México, 2015.
[47] ELANCHEZHIAN, C., SUNDER, T., SHANMUGA, G. Computer Aided Manufacturing, Laxmi Publications (P) Ltd, 2007.
[48] MUÑOZ, D.F. Administración de operaciones. Enfoque de administración de procesos de negocios, Cengage Learning, 2009.
[49] MANTON, M. WEIDINGER, D., Mastercam X2 Training Guide Mill, Widder Publishing, 2007.
[50] MONTGOMERY, D. C. Design and Analysis of Experiments, John Wiley and Sons, Inc. 2017.
[51] KRISHNAIAH, K. SHAHABUDEEN, P. Applied Design of Experiments and Taguchi Methods, PHI Learning Private Limited, 2012.

[52] ANTONY, J. Design of Experiments for Engineers and Scientist Second Edition, Elsevier, Ltd. 2014.
[53] REKAB, K., SHAIKH, M. Statistical Design of Experiments with Engineering Applications, Chapman and Hall Taylor & Francis Group, 2005.
[54] GATTI, C. Design of Experiments for Reinforcement Learning, Springer, 2015.
[55] GONZÁLEZ, W., MANCINI, H. Ciencia de los Materiales, Editorial Ariel, 2003.
[56] CALLISTER, W.D. Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales, Editorial Reverté, 2007.
[57] NEWELL, J. Ciencia de Materiales Aplicaciones en Ingeniería, 2016.
[58] SALÁN, N.M., Tecnología de Proceso y Transformación de Materiales, Ediciones UPC, 2005.
[59] PANCORBO, F.J. Corrosión, degradación y envejecimiento de los materiales empleados en la edificación, Marcombo, 2011.
[60] WILKIE, C.A., MORGAN, A.B. Fire Retardancy of Polymeric Materials, CRC Press, 2010.
[61] NATIONAL HIGHWAY TRAFFIC SAFETY ADMINISTRATION, Laboratory Test Procedure for FMVSS 302, U.S. Department of Transportation, 1991.
[62] SOSA, P. Conceptos base de la química, México: Universidad Nacional Autónoma de México Colegio de Ciencias y Humanidades, 2007, pp 62.
[63] TEIJÓN, J.M. Fundamentos de Bioquímica Estructural, Madrid: Editorial Tebar 2006.
[64] ASTM INTERNATIONAL, D638 – 14 Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics, 2014.
[65] ASTM INTERNATIONAL, D790-03 Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials, 2003.
[66] ASTM INTERNATIONAL, D792-08 Standard Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement, 2008.
[67] ASTM INTERNATIONAL, D5930 -01 Standard Test Method for Thermal Conductivity of Plastics by Means of a Transient Line Source Technique, 2001.
[68] ASTM INTERNATIONAL, D955 -00 Standard Test Method of Measuring Shrinkage from Mold Dimensions of Thermoplastics, 2000.
[69] ASTM INTERNATIONAL, D2117 -00 Standard Test Method of Melting Point for Semicrystalline Polymers by the Hot Stage Microscopy Method

[70] KARWOWSKI, W, International Encyclopedia of Ergonomics and Human Factors Volume 1, CRC Press, 2006.

[71] ROSATO D. Injection Molding Handbook 3rd Edition, Springer Science+Business Media, LLC, 2000.

[72] GOMÉZ, T. Mecanizado básico para electromecánica transporte y mantenimiento de vehículos, México: Paraninfo, 2011, 304 pp.

[73] PRIMO, E. Química Orgánica Básica y Aplicada De la Molécula a la Industria, Reverté, 1996.

[74] KONZERNORM, Ensayo de la Resistencia a Climas Alternos PV 1200, 2004.

[75] KONZERNORM, Ensayo de la Resistencia al Calor PV 496, 2000.

[76] COLLYER, A. A Practical Guide to the Selection of High Temperature Engineering Thermoplastics, Elsevier Advanced Technology, 1990.

[77] TRIPATHI. D. Practical Guide to Polypropilene, Rapra Technology, 2002.

ANEXOS

Especificaciones de máquina universal usada (Marca SATEC, modelo T20000).

Capacidad	22,000 libras
Requerimientos de potencia	230 Volts, trifásico, 60 Hertz
Espacio de prueba vertical	50.75 pulgadas
Espacio de prueba horizontal	22 pulgadas
Carrera de la máquina	0 a 48 pulgadas
Velocidad de prueba	20 pulgadas/min
Dimensiones de la máquina	38.25 pulgadas de ancho x 29 pulgadas de profundidad x 91 pulgadas de altura
Software y versión	NuVision II V04.03.002

Especificaciones del centro de maquinado vertical utilizado (Marca HAAS, modelo VF2).

RECORRIDOS	**MÉTRICO**
Eje X	700 mm
Eje Y	400 mm
Eje Z	400 mm
Plato adaptador a superficie de mesa (~ máx.)	610 mm
Plato adaptador a superficie de mesa (~ mín.)	102 mm
MESA	**MÉTRICO**
Longitud	914 mm
Anchura	356 mm
Anchura de ranuras en T	16 mm
Distancia entre ejes de ranura en T	125.0 mm
Número de ranuras en T estándares	3
Peso máx. en mesa (distribuido uniformemente)	1361 kg
HUSILLO	**MÉTRICO**
Potencia máx.	22.4 kW
Velocidad máx.	8100 rpm
Par máx.	122 Nm @ 2000 rpm
Sistema de accionamiento	Inline Direct-Drive
Par máx. con caja de engranajes opc.	339 Nm @ 450 rpm
Cono	CT or BT 40
Lubricación de los rodamientos	Air/Oil Injection
Refrigeración	Liquid Cooled
AVANCES	**MÉTRICO**
Rápidos en X	25.4 m/min
Rápidos en Y	25.4 m/min
Rápidos en Z	25.4 m/min
Corte máx.	16.5 m/min

MOTORES DE LOS EJES	MÉTRICO
Empuje máx. X	11343 N
Empuje máx. Y	11343 N
Empuje máx. Z	18683 N
CAMBIADOR DE HERRAMIENTAS	**MÉTRICO**
Tipo	Carousel (SMTC Optional)
Capacidad	20
Diámetro máx. de herramienta (ocupado)	89 mm
Peso máx. de herramienta	5.4 kg
CARACTERÍSTICAS GENERALES	**MÉTRICO**
Aire necesario	113 L/min, 6.9 bar
Capacidad de refrigeración	208