

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

Facultad de Arquitectura e Ingeniería

Maestría en Diseño Mecánico

Mención en Fabricación De Autopartes De Vehículos

Diseño mediante simulación de una matriz, para troquelar chapas de cobre de interconexión de celdas de baterías de alta tensión de vehículos híbridos

Ing. Wilson Fabián Ayala Vega

Nota del Autor

Fabián Ayala, Facultad de Arquitectura e Ingeniería, Universidad Internacional SEK.

Director: Ing. Diego Bustamante Msc

Codirector: Ing. Santiago Celi MBA

Cualquier correspondencia concerniente a este trabajo puede dirigirse a:

wayala.mdm@uisek.edu.ec

Declaración Juramentada

Yo, Wilson Fabian Ayala Vega con cédula de identidad 1713415386, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado a calificación profesional; y que se ha consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente. La presente investigación pertenece al programa de investigación Desarrollo Tecnológico y se encuentra alineado a la línea de investigación Desarrollo en el Diseño.

Wilson Fabian Ayala Vega

CI: 1713415386

Índice de Contenido

Declaración Juramentada	2
Índice de Contenido	3
Índice de Figuras	6
Índice de Tablas	12
Índice de anexos	15
Resumen	16
Abstract	17
Introducción	18
Estado del Arte	24
Procesos de Conformado	30
Operaciones de corte	30
Operaciones de doblado	31
Operaciones de embutido	32
Troqueles y prensas	33
Proceso de troquelado	34
Lineamientos a tener presente en el diseño de una matriz	34
Partes de una matriz	34
Clasificación de troqueles	36

Materiales para la fabricación de moldes	36
Método de Elementos Finitos (MEF)	45
Método directo	45
Método variacional	45
Método de residuos ponderados	45
Método explícito	46
Método implícito,.....	46
Desarrollo del proceso.	47
Método	50
Diseño de la geometría	51
Selección del troquel.....	55
Mecanismo de alimentación	57
Aprovechamiento de la plancha de cobre	60
Cálculo de la holgura entre punzón y matriz	63
Cálculo del centro de gravedad para la matriz pequeña	64
Etapas del troquel progresivo	64
Diseño de las piezas que conforman la matriz.....	65
Diseño del ensamble de la matriz	75
Modelado de una matriz simple para analisis MEF y analitico	76
Ubicación del material útil en las piezas de la matriz	78

Análisis en la matriz	80
Resultados	88
Resultados de Ensayos por el Método de Elementos Finitos (MEF)	88
Aplicación de resultados MEF comparativos con el análisis matemático.....	102
Resultados analíticos con el Acero K100	102
Resultados analíticos con el Acero AISI 1045	107
Resultados analíticos con el Acero AISI 4340	112
Resultados analíticos con el Acero AISI 4140	116
Resultados analíticos con el Acero AISI 1018	121
Validación de la simulación con el acero K100, por nivel de mallado	125
Análisis y discusión de resultados.....	149
Conclusiones y recomendaciones	157
Conclusiones.....	157
Recomendaciones	159
Referencias	160
Anexos.....	163
Planos	177

Índice de Figuras

Figura 1. Ventas de vehículos Híbridos en los últimos 3 años	18
Figura 2. Chapas de Cobre sulfatadas en un batería de Toyota Prius	19
Figura 3. Partes de un Troquel	20
Figura 4. Chapas de Cobre de baterías de alta tensión de Toyota Prius	21
Figura 5. Piezas de cobre de interconexión.....	24
Figura 6. Cobre en estado nativo,.....	29
Figura 7, planchas de cobre Cu-FRHC	30
Figura 8. Cizallado entre dos bordes cortantes. (Domingo, J. 2013)	31
Figura 9. a) Doblado en V, b) Doblado de bordes	32
Figura 10. Embutido de una pieza.....	33
Figura 11. a) Doblado y b) Enderezado en la operación de embutido	33
Figura 12. Partes de la matriz.....	35
Figura 13. Diagrama de Revenido vs Dureza.	38
Figura 14. Diagrama de Banda de Templabilidad.	40
Figura 15. Diagrama de Banda de Templabilidad.	42
Figura 16. Procedimiento del Método de los Elementos Finitos.	48
Figura 17. Funciones de los módulos Finitos Delgado (2016).	49
Figura 18. Chapas de cobre de baterías híbridas para toma de medidas	52
Figura 19. Medición del ancho de la chapa.....	52
Figura 20. Medición del largo de la chapa	53
Figura 21. Medición de distancia entre orificios.....	53
Figura 22. Medición de la distancia entre orificio y contorno de la chapa	54

Figura 23. Chapas de cobre de interconexión de celdas de baterías	55
Figura 24. Troquel JG23-40 marca Meister	56
Figura 25. Alimentación manual de troquel para conexiones de cobre	58
Figura 26. Ensamble de Matriz simple para baja producción	58
Figura 27. renderizado de la primera propuesta de matriz de baja producción	59
Figura 28. Alimentación manual para troquelado de cobre	59
Figura 29. Alimentador neumático de lámina para troquel.....	60
Figura 30. Ubicación de las chapas en la placa de cobre	62
Figura 31. Modelado de la Placa Inferior.....	65
Figura 32. Modelado de las Placas Porta Matriz.....	66
Figura 33. Modelado de las Placas de la Matriz de Corte.....	66
Figura 34. Modelado de la Placa Superior	66
Figura 35. Modelado de las Placas Porta Punzones principales y secundarios.....	67
Figura 36. Modelado del Punzón Primario	67
Figura 37. Modelado del punzón secundario	67
Figura 38. Modelado prensa chapas	68
Figura 39. Modelado de la Columna de Ø25 mm.....	68
Figura 40. Modelado de Buje de Ø45 mm.....	68
Figura 41. Modelado del Tope Corte Frontal.....	69
Figura 42. Modelado del Tope de Primer Corte.....	69
Figura 43. Modelado de la Paralela.....	69
Figura 44. Modelado de la Fija Ø8 mm	70
Figura 45. Modelado de la Guía Frontal	70

Figura 46. Modelado de la Guía Posterior	70
Figura 47. Modelado del Resorte Prensa Chapas.....	71
Figura 48. Modelado del Resorte Tope 1er Corte.....	71
Figura 49. Modelado de Perno Allen 1 – 4 x 1 ¾” UNC	73
Figura 50. Modelado de Perno Allen 3/16 x 1” UNC.....	73
Figura 51. Modelado de Perno Allen 3/16 x 3/4” UNC	73
Figura 52. Modelado de Perno Allen ¼ x 1” UNC	74
Figura 53. Modelado de Perno Allen ¼ x 2” UNC	74
Figura 54. Modelado de Perno Allen Cabeza Plana 3/16 x 1/2” UNC	75
Figura 55. Modelado de la Matriz para Troquelar Chapa de Cobre	75
Figura 56. Despiece de la matriz.....	76
Figura 57. Modelado de una matriz simple para análisis MEF.....	77
Figura 58. Modelado placa de corte de matriz simple y punzón	77
Figura 59. Características del ASTM A36.	78
Figura 60. Características del K100. Mostrado en el programa de simulación	78
Figura 61. Pestaña Complementos de SOLIDWORKS	83
Figura 62. Ventana SOLIDWORKS Simulation	83
Figura 63. Pestaña Simulation.....	84
Figura 64. Ventana del Nuevo Estudio	84
Figura 65. Selección de Estudio.....	85
Figura 66. Análisis estático	85
Figura 67. Definición de restricciones y cargas en la Matriz de Corte	86
Figura 68. Mallado de la Matriz de Corte	86

Figura 69. Resultado de análisis estático con Acero K100	89
Figura 70. Resultado de análisis deformación unitaria con Acero K100	89
Figura 71. Resultado de análisis deformación máxima con Acero K100	90
Figura 72. Resultado de análisis factor de seguridad con Acero K100	91
Figura 73. Resultado de análisis estático de la tensión con Acero AISI 1045	92
Figura 74. Resultado de análisis deformación unitaria con Acero AISI 1045	92
Figura 75. Resultado de análisis deformación máxima con Acero AISI 1045	93
Figura 76. Resultado de análisis factor de seguridad Acero AISI 1045.	93
Figura 77. Resultado de análisis estático de la tensión con Acero AISI 4340	94
Figura 78. Resultado de análisis deformación unitaria con Acero AISI 4340	95
Figura 79. Resultado de análisis deformación máxima con Acero AISI 4340	95
Figura 80. Resultado de análisis factor de seguridad con Acero AISI 4340.....	96
Figura 81. Resultado de análisis estático de la tensión con Acero AISI 4140.	97
Figura 82. Resultado de análisis deformación unitaria con Acero AISI 4140.	98
Figura 83. Resultado de análisis deformación máxima con Acero AISI 4140.	98
Figura 84. Resultado de análisis factor de seguridad con Acero AISI 4140.....	99
Figura 85. Resultado de análisis estático de la tensión con Acero AISI 1018	100
Figura 86. Resultado de análisis deformación unitaria con Acero AISI 1018	101
Figura 87. Resultado de análisis deformación máxima con Acero AISI 1018	101
Figura 88. Resultado de análisis factor de seguridad con Acero AISI 1018.....	102
Figura 89. Grafica de resultados % de error del acero K100	106
Figura 90. Grafica % error acero 1045.....	111
Figura 91. Grafica 5 error con el acero 3440	115

Figura 92. Grafica % error acero 4140.....	120
Figura 93. Grafica % error acero 1018.....	124
Figura 94. Mallado Acero K100 con 102782 nodos	125
Figura 95. Resultado de análisis estático Acero K100 con 102782 nodos	126
Figura 96. Resultado de análisis deformación con Acero K100 con 102782 nodos.....	126
Figura 97. Resultado deformación máxima con Acero K100 con 102782 nodos.....	127
Figura 98. Resultado factor de seguridad con Acero K100 con 102782 nodos	127
Figura 99. Mallado con Acero K100 con 201783 nodos	128
Figura 100. Resultado de análisis estático con Acero K100 con 201783 nodos.....	128
Figura 101. Resultado deformación unitaria on Acero K100 con 201783 nodos	129
Figura 102. Resultado deformación máxima con Acero K100 con 201783 nodos	129
Figura 103. Resultado factor de seguridad Acero K100 con 201783 nodos.....	130
Figura 104. Mallado de la Matriz con Acero K100 con 298213 nodos	130
Figura 105. Resultado de la tensión con Acero K100 con 298213 nodos	131
Figura 106. Resultado deformación unitaria con Acero K100 con 298213 nodos	132
Figura 107. Resultado deformación máxima con Acero K100 con 298213 nodos	132
Figura 108. Resultado factor de seguridad con Acero K100 con 298213 nodos	133
Figura 109. Mallado de la Matriz con Acero K100 con 403759 nodos	133
Figura 110. Resultado de análisis estático con Acero K100 con 403759 nodos.....	134
Figura 111. Resultado de análisis deformacióncon Acero K100 con 403759 nodos.....	134
Figura 112. Resultado deformación máxima con Acero K100 con 403759 nodos	135
Figura 113. Resultado factor de seguridad Acero K100 con 403759 nodos.....	135
Figura 114. Mallado de la Matriz con Acero K100 con 501763 nodos	136

Figura 115. Resultado de análisis estático de la tensión Acero K100 con 501763 nodos	136
Figura 116. Resultado deformación unitaria con Acero K100 con 501763 nodos	137
Figura 117. Resultado deformación máxima con Acero K100 con 501763 nodos	137
Figura 118. Resultado factor de seguridad con Acero K100 con 501763 nodos	138
Figura 119. Validación de la convergencia de resultados por nivel de mallado	139
Figura 120. Curva – 0 ($R=-1$).....	140
Figura 121. Ciclo de Vida Útil de la Placa Matriz de Corte	141
Figura 122. Mallado del punzón y matriz de corte en Análisis Dinámico.....	145
Figura 123. Configuración del Análisis de Caída del Punzón y Matriz de Corte.	146
Figura 124. Análisis de la Deformación Máxima en el Análisis de Caída	147
Figura 125. Análisis de Tensión en el Análisis de Caída.....	147
Figura 126. Grafica de Factores de seguridad entre los aceros analizados	149

Índice de Tablas

Tabla 1 Características químicas del acero K100	37
Tabla 2 Composición Química del Acero 1045	39
Tabla 3 Composición Química del Acero AISI 4340	43
Tabla 4 Composición Química del Acero AISI 4140	44
Tabla 5 Medidas para la geometría propuesta.....	54
Tabla 6 Características Troquel Modelo JG23-40 marca Meister	57
Tabla 7 Características de los resortes aplicados a cargas repetidas.....	72
Tabla 8 Resultado obtenido por el Método de Elementos Finitos con el Acero K100	88
Tabla 9 Resultado obtenido por el Método de Elementos Finitos con el Acero AISI 1045d ..	91
Tabla 10 Resultado obtenido por el Método de Elementos Finitos con el Acero AISI 4340 ..	94
Tabla 11 Resultado obtenido por el Método de Elementos Finitos con el Acero AISI 4140. .	97
Tabla 12 Resultado obtenido por el Método de Elementos Finitos con el Acero AISI 1018	100
Tabla 13 Comparación de resultados de MEF y Analítica con Acero K100	107
Tabla 14 Comparación de resultados de MEF y Analítica con Acero AISI 1045	111
Tabla 15 Comparación de resultados de MEF y Analítica con Acero 4340.....	116
Tabla 16 Comparación de resultados de MEF y Analítica con el Acero AISI 4140.	120
Tabla 17 Comparación de resultados de MEF y Analítica con el Acero AISI 1018.	125
Tabla 18 de resultadosde MEF con el Acero AISI K100 con diferentes nodos.....	139
Tabla 19. Análisis financiero	142
Tabla 20. análisis de costos de la centena de chapas	143
Tabla 21. Análisis del costo de la materia prima	144
Tabla 22 Comparación de Factores de Seguridad de los distintos materiales.	150

Tabla 23 Comparación de Errores de Resultados	151
Tabla 24 Factor de seguridad	153
Tabla 25 Comparación de Factores de Seguridad.....	154
Tabla 26 Comparación AISI K100 con diferentes nodos.	155

Índice de Ecuaciones

Ecuación 1 Separación entre piezas	61
Ecuación 2 Paso mínimo PL	61
Ecuación 3 Paso mínimo PA.....	61
Ecuación 4 Rendimiento de la plancha de cobre.....	63
Ecuación 5 Holgura entre punzón y matriz de corte	63
Ecuación 6 Centro de gravedad para troqueles progresivos	64
Ecuación 7 fuerza de corte primario	80
Ecuación 8 fuerza de corte total	81
Ecuación 9 fuerza de extracción	81
Ecuación 10 Presión del proceso.....	82
Ecuación 11 Momento flector.....	103
Ecuación 12 Calculo de inercia.....	104
Ecuación 13 Esfuerzo de tracción	104
Ecuación 14 Desplazamiento en Y	105
Ecuación 15 Deformación unitaria.....	105
Ecuación 16 Factor de seguridad	106

Índice de anexos

ANEXO 1. Boletín de servicio Toyota, Fallas de Baterías de alta tensión.....	163
ANEXO 2.Boletín de servicio Toyota, inspección cables de salida de alta tensión.....	164
ANEXO 3.Boletín de servicio Toyota, inspección de las celdas	165
ANEXO 4.Boletín de servicio Toyota, inspección de las chapas de cobre	166
ANEXO 5.Boletín de servicio Toyota, chapas de cobre de interconexión de celdas	167
ANEXO 6. Licencia Solid Works	168
ANEXO 7. Troquel Maister	169
ANEXO 8. Proforma de Troquel disponible en el mercado local	170
ANEXO 9 . Normas DIN9861 para punzones	171
ANEXO 10. Normas DIN catalogo pernos 2014.....	172
ANEXO 11. Catálogo resortes de esfuerzo leve	173
ANEXO 12. Catálogo resortes carga pesada	174
ANEXO 13. Proforma construcción de matrices propuestas.....	175
ANEXO 14. Proforma construcción matrices propuestas.....	176

Resumen

El propósito de esta investigación se centró, en el diseño mediante simulación de una matriz, para troquelar chapas de cobre de interconexión de celdas de baterías de alta tensión de vehículos híbridos, dichas piezas de cobre, se utilizan para la interconexión de celdas de baterías de alta tensión de vehículos híbridos, en estas placas, se presenta un fenómeno químico, que produce sulfatación en las mismas, generando el requerimiento de estas piezas de refacción, para mantenimientos preventivos como correctivos, se presentó así la necesidad y la oportunidad de negocio de fabricarlas a nivel local. Se utilizó el método de elementos finitos del programa SOLID WORKS 2017, para seleccionar el acero con las mejores cualidades, dando como resultado el acero K100 por presentar una tensión de 414.4MPa con un factor de seguridad de 2, una deformación máxima de 0.018mm y una deformación unitaria de 0.001158mm, que fue usado en el modelado del macho y hembra de la matriz, se utilizó la hembra de la matriz para el análisis a través de un método correlacional cuantitativo, ya que permitió, usar los datos del software para comparar con los resultados matemáticos, de la misma manera, se realizó la simulación con varios niveles de mallado, para de esta manera asegurar la fiabilidad del proceso de la misma y garantizar los resultados de la presente investigación.. Para finalizar, con ayuda de la simulación computacional se logró proponer dos matrices, de las cuales se determinó que la matriz de baja producción de 7200 piezas por día es la más rentable para el mercado local y otra matriz que puede aumentar la producción a 57600 piezas por día para un mercado más amplio o para exportación del producto final, por tanto, se realizó el modelado de las piezas que conforman la presente matriz.

Palabras claves: matriz, troquel, chapas de cobre, baterías híbridas

Abstract

The purpose of this investigation was focused, in the design by simulation of a matrix, to die copper sheets of interconnection of cells of high voltage batteries of hybrid vehicles, said pieces of copper, are used for the interconnection of cells of batteries of high voltage hybrid vehicles, in these plates, there is a chemical phenomenon, which produces sulfation in them, generating the requirement of these spare parts, for preventive maintenance as corrective, thus presented the need and the business opportunity to manufacture them locally. The finite elements method of the SOLID WORKS 2017 program was used to select the steel with the best qualities, resulting in the K100 steel having a tension of 414.4MPa with a safety factor of 2, a maximum deformation of 0.018mm and a unit deformation of 0.001158mm, which was used in the modeling of the male and female of the matrix, the female of the matrix was used for the analysis through a quantitative correlation method, since it allowed, using the software data to compare with the mathematical results, in the same way, the simulation was carried out with several meshing levels, in order to ensure the reliability of the same process and guarantee the results of the present investigation. Finally, with the help of the simulation computational was able to propose two matrices, of which it was determined that the matrix of low production of 7200 pieces per day is the most profitable for the local market I and another matrix that can increase the production to 57600 pieces per day for a wider market or for export of the final product, therefore, the modeling of the pieces that make up the present matrix was carried out.

Keywords: matrix, die, copper plates, hybrid batteries

Introducción

La demanda de vehículos híbridos en el Ecuador está en ascenso, comenzando el ingreso de estos autos en el 2009, desde esa fecha hasta la presente se han colocado 12.989 unidades, la exoneración de impuestos en las importaciones de estos vehículos, permitió el crecimiento en ventas. (El Universo, 2018)

Desde enero del 2016 hasta enero del 2019 las ventas de esta gama de autos se registraron en 7343 unidades, como podemos observar en la figura 1. Lo que demuestra un aumento significativo en la aceptación de las nuevas tecnologías automotrices desde su ingreso en el 2009.

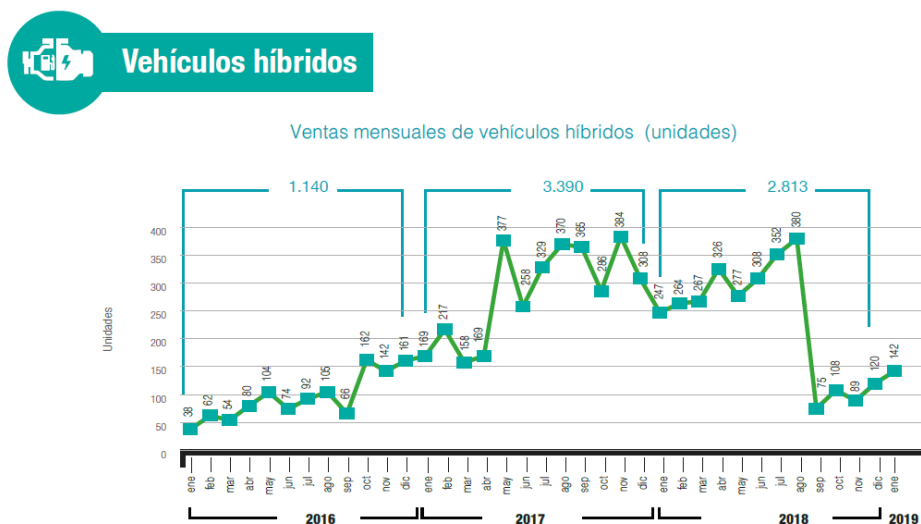


Figura 1. Ventas de vehículos Híbridos en los últimos 3 años, fuente (AEADE,2019)

Como se menciona, la demanda de vehículos híbridos en el Ecuador, está en ascenso, dichos autos, poseen baterías de alta tensión, que son, un conjunto de celdas de baja tensión conectadas en serie, las cuales utilizan chapas de cobre para su interconexión, en estas placas se presenta un fenómeno químico, que produce sulfatación en las mismas, generando el requerimiento de estas

piezas de refacción para mantenimientos preventivos como correctivos, puesto que las baterías de alta tensión se venden completamente armadas, se presenta la necesidad y la oportunidad de negocio de fabricarlas a nivel local.

La importancia de la preservación del medioambiente, ha llevado a muchos fabricantes de autos a incursionar en los vehículos híbridos, en los últimos años se ha visto un aumento del parque automotor de esta gama de vehículos en nuestro país, los mismos que, necesitan reparaciones en sus componentes. En la figura 2, se observa las chapas sulfatadas, este es el problema que se busca resolver al proveer de piezas de recambio fabricadas en el país.



*Figura 2.*Chapas de Cobre sulfatadas en un batería de Toyota Prius

La matriz como se indica en la Figura 3, permite realizar varias operaciones a la vez como el cizallado, doblado, estampado o embutido, entre otras, optimizando los procesos derivados a través de una matriz de corte, las cuales pueden ser simples, compuestas o progresivos, donde se utilizan materiales apropiados en las diferentes partes de mecanismos como el K100, el AISI 1045 y 4340, así como el ASTM A36, comúnmente aplicados para la manufacturación del macho y hembra, para la placa y la contra placa, así como las guías y columnas, respectivamente. Las cuales deben cumplir con varias exigencias como, la resistencia a compresión, la

temperatura elevada, la abrasión, etc. Donde la mecanización del molde se dará por arranque de viruta, donde el material es cortado con una herramienta establecida generando viruta conocida por dos fases como son:

1. Por proceso de pulido, donde se da la eliminación de exceso del material el cual no requiere exigencia alguna.
2. Por proceso de acabado, donde se origina la eliminación de material con mucha precisión.

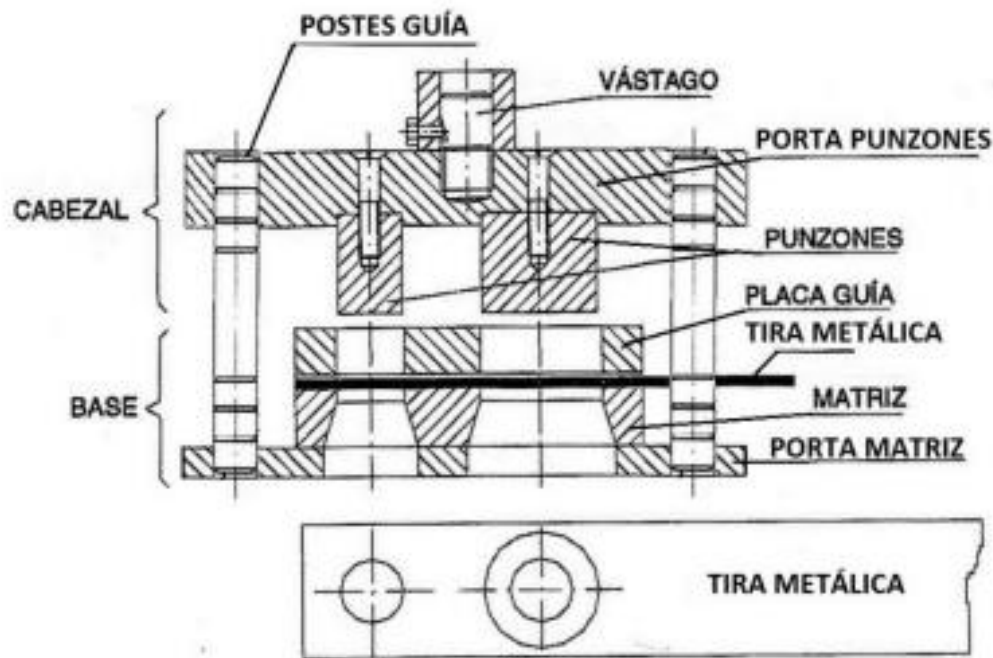


Figura 3. Partes de un Troquel

(Archundia, Diseño y manufactura de un troquel de corte con fines didácticos, 2015)

Enfocándose en el mantenimiento de baterías de alta tensión de vehículos híbridos, la mayoría de problemas que presentan, son causados por la sulfatación de las chapas de cobre (ver anexo 1) que interconectan las celdas que componen dicha batería, estos elementos de interconexión no

están disponibles a la venta como pieza de recambio, por lo tanto, cuando necesitan mantenimiento se les practica una limpieza química (ver anexo 2), seguida por un pulido o lijado, al realizar este trabajo, estas piezas de cobre presentan rayaduras y esto causa que se sulfaten rápidamente, teniendo por tanto, viable la manufactura de estos elementos de interconexión. Al disponer de estas piezas nuevas de recambio, la reparación de una batería híbrida sería más rápida. Este motivo se ha presentado como oportunidad de incursionar en la producción, así como en el avance tecnológico, desde su etapa de diseño y aplicación de software especializado para diseñar y simular, hasta la etapa de producción del producto, facilitando el crecimiento de la industria de autopartes. En la siguiente figura se observan las chapas sulfatadas y las que son limpiadas por pulimento.



Figura 4. Chapas de Cobre de baterías de alta tensión de Toyota Prius

La Misión del Ministerio de industrias y productividad, es formular y ejecutar políticas, para la transformación del patrón de especialización industrial, que genere condiciones favorables para el Buen Vivir.

Apoyándose en el objetivo 10 del Plan Nacional del Buen Vivir, recomienda “Impulsar la transformación de la matriz productiva, los desafíos actuales deben orientar la conformación de nuevas industrias y la promoción de nuevos sectores con alta productividad, competitivos, sostenibles, sustentables y diversos, con visión territorial y de inclusión económica en los encadenamientos que genere. Se debe impulsar la gestión de recursos financieros y no financieros, profundizar la inversión pública como generadora de condiciones para la competitividad sistemática, impulsar la contratación pública y promover la inversión privada”. (PNBV, 2013-2017)

Los vehículos híbridos TOYOTA sobre pasan de los 7 millones de unidades vendidas en el mundo. Al 30 de septiembre del 2014. Estados Unidos, Japón y países de la Unión Europea apoyan el uso de la tecnología híbrida y en América Latina, Ecuador es el país que más apoya la comercialización de vehículos híbridos en la región. A la fecha se ha podido evitar que más de 49 millones de toneladas de CO₂ contaminen el aire al usar de vehículos híbridos de Toyota. El estimado de ahorro de gasolina es de 5 millones de galones, comparando el consumo con los vehículos de gasolina de características muy similares. (Toyota 2014)

Los vehículos que llevan este tipo de placas son los Toyota, Camry y Prius del 2004-2019 todas las versiones, los Chevrolet en todas sus derivaciones como Cadillac y GMC en modelos Silverado, Tahoe, Yukón y Sierra del 2010-2019 en todas sus versiones.

En base a la justificación establecida, se genera la siguiente hipótesis:

¿Será apropiado y válido el diseño mediante simulación de una matriz para troquelar chapas de cobre de interconexión de celdas de baterías de alta tensión de vehículos híbridos?

En base a la hipótesis generada para la presente investigación, el objetivo general de la investigación es:

Diseñar una matriz mediante software especializado Solid Works 2017, para troquelar chapas de cobre de interconexión de celdas de baterías de alta tensión de vehículos híbridos. Para una futura construcción y producción de dichas piezas de recambio.

En tanto que, para perfilar el proceso a desarrollarse para la presente investigación se plantean que los objetivos específicos serán:

- Definir los requerimientos de diseño de la matriz, en base a una proyección geométrica propicia, para su futura construcción en base a la producción deseada.
- Evaluar la hembra del troquel para la fabricación de las chapas de cobre de interconexión de celdas de baterías de alta tensión de vehículos híbridos, por el Método de Elementos Finitos, para validar el diseño comparando con los cálculos matemáticos y así determinar el material con mejores características.
- Seleccionar el acero más adecuado, en base a los resultados, tanto de la simulación como el análisis matemático, tomando en cuenta la tensión admisible, la deformación máxima, la deformación unitaria y el factor de seguridad.
- Realizar la simulación, con distintas cantidades de Nodos en el mallado, para asegurar que la convergencia de los resultados de las simulaciones.
- Proponer dos tamaños de matriz para comparar los costos de fabricación y la producción diaria de cada una.

Estado del Arte

El proceso de fabricación de las chapas de cobre de interconexión, es por troquelado, donde el presente estudio se basa en diseñar una matriz a través de simulación, comparar los resultados matemáticos sobre las cargas y esfuerzos del macho y hembra del troquel, las cuales permitan obtener la validación del producto final, comparando con los resultados del programa de simulación y su análisis del método de elementos finitos MEF.



Figura 5. Piezas de cobre de interconexión

Los materiales recomendados por el importador local, empresa de aceros Bohler, para la fabricación del molde, es el Acero K100 para la matriz (macho y hembra), A36 para la placa y contra placa, así como 4340 para las guías y columnas, ya que debe cumplir con varias exigencias como la resistencia a la compresión, la temperatura, abrasión etc. Estos materiales serán evaluados matemáticamente y vía simulación, para determinar mediante el método de elementos finitos, es el más óptimo para la aplicación en el mecho y hembra de la matriz, con el modelado CAD se trata de digitalizar la información física de la geometría de la pieza a ser troquelada, para el efecto se utiliza el software Solid Works 2017, en un ordenador con procesador Intel Core i7.

Los trabajos previos relevantes con el tema de investigación planteado se tienen a continuación.

Cerón (2013) en su proyecto de investigación identificada como “Desarrollo de aspectos metodológicos en el diseño de matrices progresivas”, concluye que el diseño de las matrices o troqueles se dan mediante un análisis de las fases características, mediante un diseño ejecutado en dos etapas que son de la banda y el de la secuencia de las operaciones, ofertando un cálculo previo al número de etapas, validada con una tipología amplia de las piezas, con innovaciones fácilmente modificables, en base a modelos de piezas tecnológicos, normalizados, con un modelo propio de cada pieza a producir, optimizando de esta manera procesos.

Días (2014) indica en su tema de investigación “Secuencia de trabajo para el diseño de herramientas para el conformado de la chapa en las operaciones de corte y punzonado”, que la fase de diseño es la más importante en base a una metodología usada ajustada a las necesidades del problema, aumentando la calidad de los resultados, donde el uso de herramientas computacionales permite reducir el tiempo de diseño sin excluir los conocimientos del profesional, evaluando las condiciones críticas, seleccionando los factores de seguridad, en base a geometrías permisibles con tolerancias apropiadas, proporcionando las referencias y datos necesarios, herramientas de corte requeridos, seleccionando materiales y equipos, estandarizando los procesos con herramientas propias del uso.

Cruz (2016) en su tema de investigación titulado como, “Estudio del proceso de troquelado y su influencia en la producción de calzado en la Provincia de Tungurahua”, dice que, se identificó dos procesos de troquelado, correspondientes, al primer proceso a la utilización de herramientas y accesorios, útiles para cortar la materia prima, dando forma a los elementos requeridos y

segundo se basa en la utilización de algún tipo tecnológico de herramientas, los cuales reducen los tiempos de manufacturación, evidenciándose que los procesos definidos influyen de manera directa en los tiempos de producción, en base a un plan de mantenimiento establecido; seleccionando el tipo de troquelado, así como el mecanismo y elemento de control más objetivo, en base a un diseño de la una estructura que brinda soporte de todos los elementos de la máquina.

Loayza & Morales (2016) en su temática presentada como “Modelación de una matriz de corte en la producción de llaveros con el logotipo de la Escuela de Ingeniería Industrial utilizando la tecnología CAD CAM”, dice que el diseño del proceso va con la manufactura y selección apropiada de materiales, con una guía, efectuada de paso a paso, basada en los parámetros requeridos, entendiendo su funcionamiento, en base a herramientas adecuadas, donde se busca la disminución del tiempo y el dinero, con una aplicación de un software establecido, disminuyendo los tiempos de diseño, observando las posibles interferencias generadas entre elementos ensamblados, con decisiones adecuadas, tenido presente la calidad del producto final debe ser la más adecuada.

Urquía (2016) en su investigación definida como “Metodología para el diseño de un troquel de corte”, detalla que la metodología tomada por la Dr. C Ing. Guiselda Fernández Levy, es la más adecuada a ser aplicada, en base a la recomendación de materiales, tratamiento térmicos y termoquímicos, útiles y seleccionados inicialmente, donde las operaciones se subdividen en, corte o punzonado efectuado en frío, al igual que el doblado o curvado, mientras que el embutido puede realizarse en frío o caliente, obteniendo un proceso de conformado de gran importancia, debido a la obtención de elementos ligeros, resistentes y económicos, en base a estudio adecuado de los materiales, afirmándose procesos de troquelado aptos.

Luna (2017) indica en su tema de investigación, definido como, “Determinación de la fuerza mínima de sujeción de la chapa metálica para el proceso de punzonado de multiniveles”, que, los resultados establecidos, apuntan a la correcta aplicación del proceso indicado, para reducir la capacidad de dicho proceso, en base al factor primordial que es la fuerza de sujeción la cual se ve afectada por la altura definida de los punzones de la secuencia de corte, caracterizando la fuerza del pisador en un proceso de multiniveles de 8 punzones, con un diámetro de 10 mm, en un material de acero de tipo SAE 1018, con un herramental de acero apropiado, en base a condiciones dinámicas equivalentes al 34% y 51%, corroborando los resultados definidos por Elementos Finitos, en base a variables que impactan directamente, con condiciones de frontera adecuados.

Cruz & Mena (2017) en su tema de investigación, titulado como, “Experimentación y simulación del proceso de embutición en caliente y en frío mediante el método de elementos finitos en aleaciones de aluminio y aleaciones de cobre”, concluye que el tiempo de procesamiento de una simulación establecida mediante un estudio de tipo CAE, fue de 5 horas, 16 minutos y 42 segundos, donde se pudo analizar el comportamiento del material en frío y caliente, en base a una manufacturación e implementación de un herramental para aleaciones de cobre C24000 de 1 mm, aplicada una carga de 3.5 toneladas, recomendadas con una holgura de la matriz y un punzón apropiado, para evitar que se originen defectos de corte al momento de realizar los ensayos, con un ajuste de los pernos guías, aplicados a las bases de la celda para impedir descentramiento que se puede dar u originar entre los elementos.

A continuación, se procede a definir temas relacionados con el estudio a efectuar que se va a utilizar en el proyecto de investigación planteado, como lo es el material de las chapas a troquelar.

Cobre

Es un metal no ferroso, de color rojizo, con alta conductividad eléctrica y térmica, con buena resistencia a la corrosión, buena maquinabilidad y facilidad de fabricación, útil en su mayoría para elaboración de conductores eléctricos, dúctil, simbolizado como Cu, con dos isótopos estables Cu – 63 y Cu – 65, con un número atómico equivalente a 29, así como con un punto de fusión 1083°C. (Criollo, 2017)

El cobre es un elemento el cual ocupa la primera posición IB en la tabla periódica, con 29 protones, con 34 a 36 neutrones que rodean a los 29 electrones los cuales están estructurados por una notación científica de $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^1$, donde sus propiedades dependen de su pureza, las cuales se pueden distinguir en dos grupos divididos en conductividad térmica y eléctrica, donde se tienen propiedades físicas definidos, como comprensibilidad, densidad, propiedades térmicas y magnetismo. (Ortiz, 2017)

- Compresibilidad, es una media en que los átomos del metal pueden juntarse entre sí.
- Densidad, es un valor comprendido entre 8.93 y 8.96 g/cm³, a 298°K
- Propiedades térmicas, es un elemento el cual se funde a 1083°C, con un punto de ebullición de 2595°C y una conductividad térmica de 2780 W/mK.
- Magnetismo, el cobre es de tipo negativo, muy baja.

El cobre, se obtiene en estado nativo en forma de sulfuros como calcopirita (CuFeS₂), calcocita (Cu₂S), covelita (CuS) y minerales oxidados cuprita (Cu₂O), malaquita (CuCO₃) entre otras, como lo refleja la Figura 5. (Rengifo, 2016)



Figura 6. Cobre en estado nativo, Síntesis y caracterización de nanopartículas de cobre. Tomado de (Renjifo, 2016)

Aguilar & Torres (2011), indican que el cobre por ser un material dúctil y maleable se emplea en la fabricación de:

- Alambres
- Láminas extremadamente finas
- Componentes de sistemas de aire acondicionado
- Componentes de refrigeración

La norma que clasifica al cobre por su uso es la ASTM S 224, la que permite seleccionar el siguiente cobre, Cu-FRHC, que es un cobre refinado térmico de alta conductividad eléctrica, como se observa en la figura 7, las planchas de cobre que serán utilizadas para el presente troquel.



Figura 7, planchas de cobre Cu-FRHC, para circuitos eléctricos tomado de (Taixie, 2019)

Las ventajas que tiene el Cobre sobre otros materiales son:

- Ligero, por ser más fácil de manejar ocupando menos espacio
- Fácil de usar y unir.
- Confiables
- Resistente a la corrosión
- Resistencia a las presiones internas de trabajo

Procesos de Conformado

El conformado incluye varios procesos que se pueden definir como:

Operaciones de corte, es aquella que el cual se la realiza por una acción de cizalla entre dos bordes afilados, como se indica en la Figura 8, donde el punzón sobre pasa la matriz originada por el borde inferior, produciéndose una deformación plástica en base a una penetración

originada por la compresión del material, generando una fractura y corte de la materia prima. (Domingo, 2013).

Durante el proceso de conformado, Domingo 2013, indica que existen tres operaciones originadas que son:

El cizallado. Es el corte originado a lo largo de una línea recta, usada para reducir láminas en secciones pequeñas.

El punzonado o troquelado. Es el paso que conlleva el corte de una lámina a lo largo de una línea cerrada en un solo paso.

El perforado. Consiste en cortar la pieza la cual se desecha, quedando el material remanente deseado.

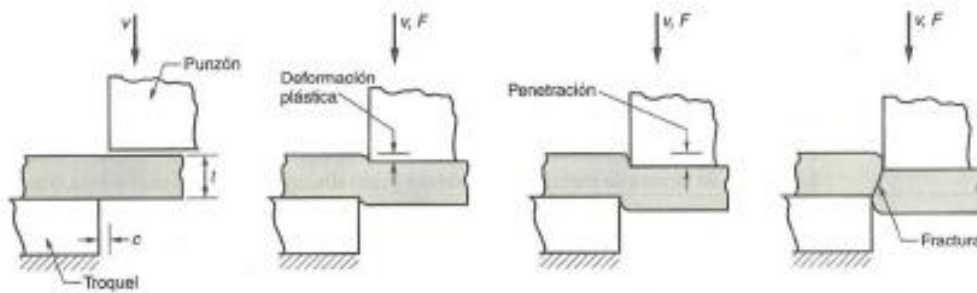


Figura 8. Cizallado entre dos bordes cortantes. (Domingo, J. 2013)

Operaciones de doblado. Se origina cuando se deforma la chapa alrededor de un eje recto determinado, provocando el flujo plástico del material generando fracturas en ejes que no se cruzan, realizándose esta operación sin alterar el espesor del material, el cual se da por lo general, por dos métodos más comunes que son el de doblado en V y el de doblado de bordes. (Domingo, J. 2013)

Donde Domingo (2013), indica que los métodos de doblado más comunes son:

1. **El doblado en V.** Se ejecuta mediante un punzón y una matriz con forma de V, como se puede observar en la Figura 9.
2. **El doblado de bordes.** Genera una carga voladiza sobre la chapa, la cual utiliza una placa de presión que emplea una fuerza de sujeción, ejerciendo fuerza por el punzón sobre la sección en voladizo del troquel, como se detalla en la Figura 7.

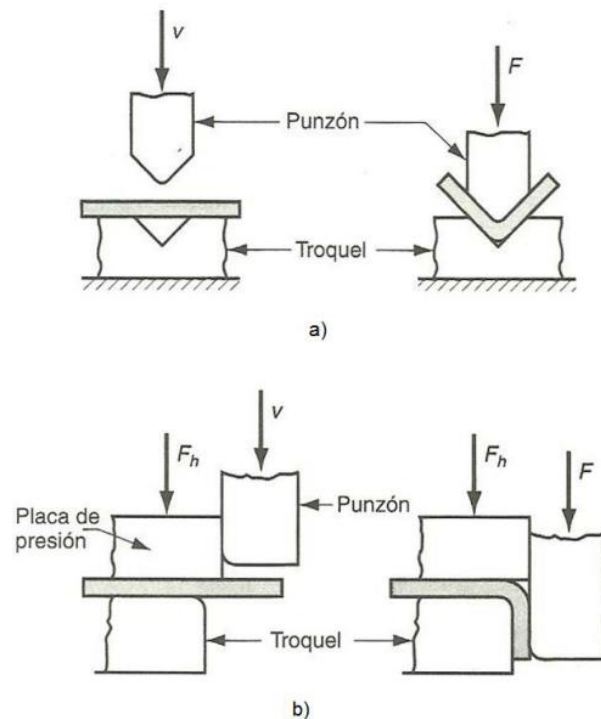


Figura 9. a) Doblado en V, b) Doblado de bordes. Domingo (2013).

Recuperado estudio de la influencia de la deformación en el comportamiento mecánico de chapas metálicas

Operaciones de embutido. Se define a la operación que transforma una lámina plana en un cuerpo de forma hueca, ubicándolas sobre una cavidad de un troquel mediante la acción de un punzón, donde el proceso más complejo se lo ejecuta en una prensa, embutiéndose un disco de

diámetro establecido en un troquel, donde la aplicación de una fuerza deforma una lámina de metal, mientras que el sujetador fija la pieza; dividiéndose en una serie de etapas, iniciando con el descenso del punzón, generando el doblado sobre las esquinas del troquel, el cual a medida que avanza se produce la acción de enderezado, moviéndose el metal hacia abajo, el cual se endereza sobre el radio del troquel establecido, como se indica en la Figura 10 y 11. (Domingo, 2013)

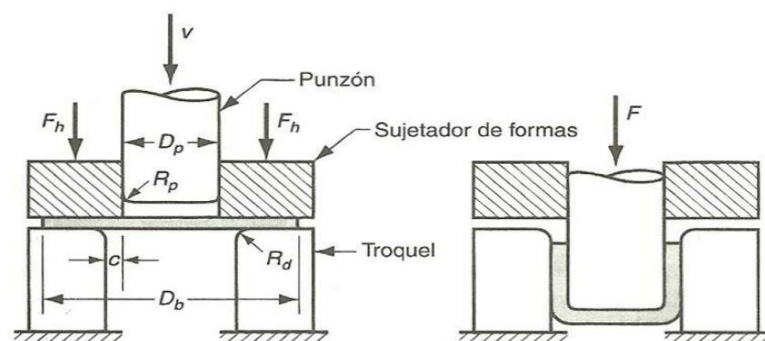


Figura 10. Embutido de una pieza. Domingo (2013). Recuperado estudio de la influencia de la deformación en el comportamiento mecánico de chapas metálicas

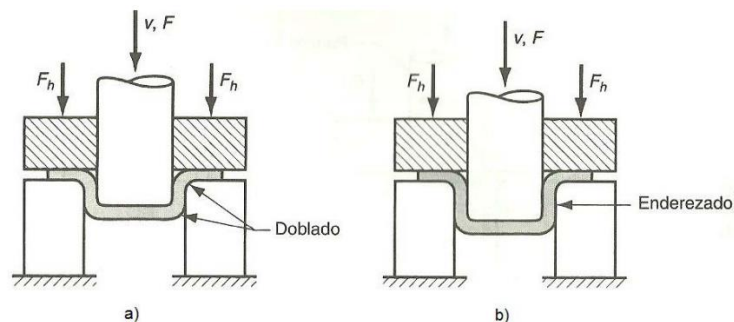


Figura 11. a) Doblado y b) Enderezado en la operación de embutido. Domingo (2013). Recuperado estudio de la influencia de la deformación en el comportamiento mecánico de chapas metálicas

Troqueles y prensas. Se refiere a todas las operaciones llevadas a cabo con punzones, el cual es diseñado a la medida de la pieza que se requiere producir, en fase a los procesos de conformado como son corte, doblado o embutido, el cual ejecutará una operación mediante un

golpe originado por la prensa, dividiéndose en troqueles de tipo simples los cuales pueden efectuar una sola operación y compuestos donde se pueden ejecutar dos o más operaciones en una sola estación en posiciones diferentes. (Domingo, 2013)

Proceso de troquelado

Es el proceso mecánico de aportación tecnológica, el cual consta de varias fases como son el diseño, construcción y puesta en marcha, en base a la precisión y perfección, enfocada hacia la productividad de piezas resistentes, eficientes, de calidad y económicos. (CEC, 2014)

Lineamientos a tener presente en el diseño de una matriz

Cosar (2017), recomienda que los lineamientos a tener en cuenta en el diseño de una matriz son:

- Las particularidades que debe tener las piezas a producir como las dimensiones, grado de precisión y material
- La calidad de las piezas a obtener.
- La cantidad de piezas a generar.
- La funcionalidad de la matriz.
- La reparación de los elementos que constituyen la matriz.

Partes de una matriz

Cosar (2017), dice que las partes que comúnmente compone una matriz son:

- Placa superior
- Vástago
- Taza
- Sufridera

- Placa porta punzón
- Punzón
- Botadores
- Guías
- Placa matriz
- Tope de retención
- Postes
- Placa base
- Placas paralelas
- Columnas guías
- Mamelón o espiga
- Resorte
- Porta matriz
- Pilotos

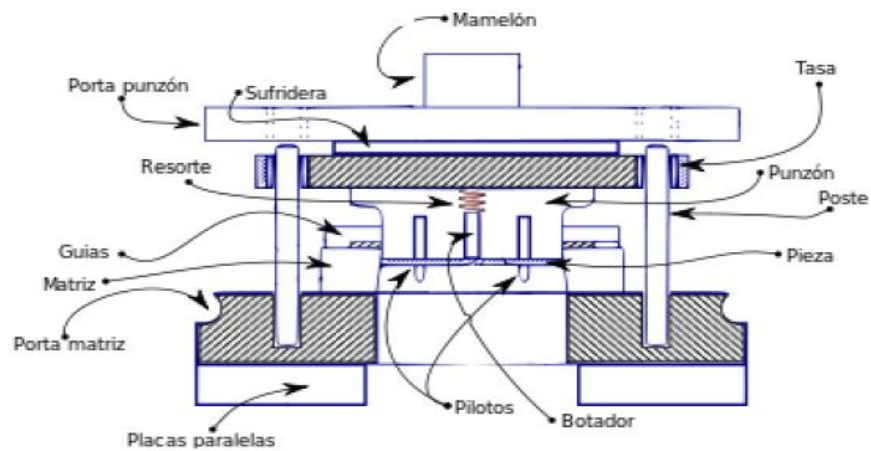


Figura 12. Partes de la matriz.

Tomado de rediseño en la matriz del modelo 240 grupo FORTE para optimizar la producción del corte ventana Cosar (2017).

Clasificación de troqueles

Los troqueles son clasificados por:

Simples, se trata de una estación, la cual realiza una sola operación por cada golpe, útil para la manufacturación de piezas no complejas. (CEC, 2014)

Compuestos, se trata de un troquel de dos o tres estaciones, que ejerce la fuerza de la prensa en dos o más operaciones por cada golpe. (CEC, 2014)

Progresivos, (múltiples estaciones), se trata de troqueles muy complejos, el cual se da en etapas, modificándose la lámina en cada una de ellas, hasta obtener el producto deseado, son muy productivos, muy eficientes y precisos. (CEC, 2014)

Materiales para la fabricación de moldes

Los materiales más óptimos para la fabricación del molde son el Acero K100, el AISI 1045, el 4340 y el 4140, útiles para la placa y contra placa, para las guías y columnas; debiendo ser seleccionadas en base a tres aspectos como son: las dimensiones de las herramientas, el trabajo para el cual fue diseñado y el material a trabajar; para procesos de alta producción, seleccionados por su tenacidad, dureza y resistencia al desgaste, siendo sometidos a tratamientos térmicos que puedan obtener grandes producciones, cumpliendo exigencias como las elevadas temperaturas, abrasión originada, mayor templabilidad, en función a la alta resistencia al corte, la estabilidad al temple y bajo índices de deformidad planteada. (Luz, 2018)

Acero K 100.

Es el estándar de los aceros ledeburíticos con un 12% de cromo, para aplicaciones de alta resistencia al desgaste y poca resistencia a la tenacidad y compresión, para conformación de materiales muy abrasivos. (BÖHLER, 2014)

BÖHLER (2014), indica que la composición química del Acero K 100 es:

Tabla 1

Características químicas del acero K100

Composición	Porcentaje (%)
C	2.00
Si	0.25
Mn	0.35
Cr	11.5
Densidad:	7.70 kg/dm ³
Conductibilidad térmica	20 W/(mK)
Calor específico	460 J/(Kg*K)
Resistencia Eléctrica Específica	0.65 ohm*mm ² /m
Módulo de elasticidad	210x10 ³ N/mm ²

Fuente BÖHLER 2014

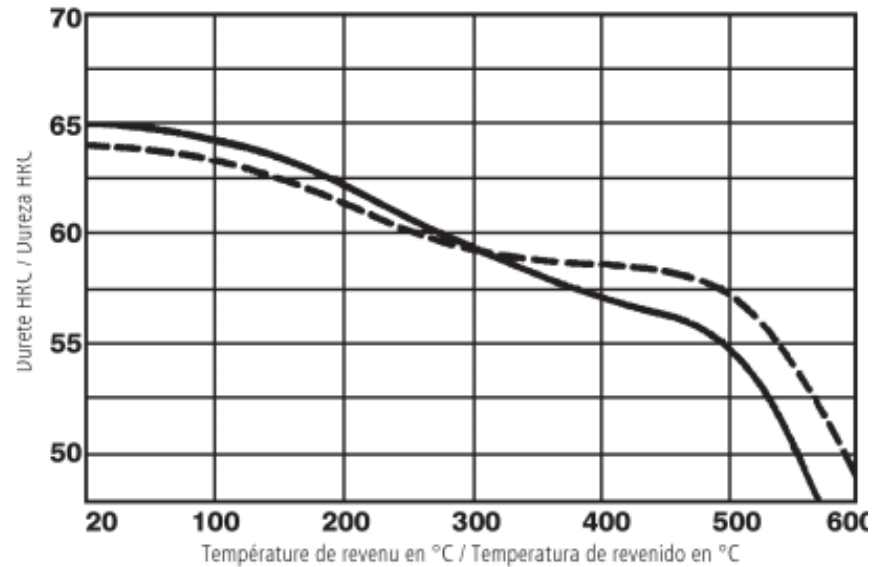


Figura 13. Diagrama de Revenido vs Dureza. Tomado de (BÖHLER, 2014)

BÖHLER (2014), dice además que las Normas comparables del Acero K 100 son:

DIN = 1.2080

EN = X210Cr12

AISI = D3

STN = 19 436

Las aplicaciones que se le da comúnmente al Acero K100, según BÖHLER (2014) son:

- Componentes para la industria del reciclaje
- Corte Fino
- Estampación
- Conformado en frío
- Componentes de desgaste

- Troquelado, en vista que es un factor decisivo para la producción, por poseer un material a altas tensiones, alta dureza, resistencia a la compresión máxima y buena tenacidad, utilizada para incrementar la vida de sus herramientas.

Acero AISI 1045.

El acero AISI 1045, es al carbono sin alear, tiene buena tenacidad, puede usarse en condiciones de suministro con tratamientos térmicos generados por temple y revenido, es un acero de baja aleación, útil para elementos endurecidos, útiles para trabajar en caliente o con tratamientos térmicos, presenta un buen acabado superficial, buena maquinabilidad donde su mecanizado se caracteriza por presentar larga vida útil. (Cía. General de Aceros S.A., 2013)

Cía. General de Aceros S.A. (2013), indica además que su composición es:

Tabla 2

Composición Química del Acero 1045

Composición	Porcentaje (%)
C	0.43 – 0.50
Mn	0.6 – 0.9
P máx	0.04
S máx	0.05
Si máx	0.5 – 0.4

Fuente: (Cía. General de Aceros S.A., 2013)

Cía. General de Aceros S.A. 2013, dice que las propiedades físicas del Acero 1045 son:

- Densidad = 7.85 gr/cm^3
- Módulo de elasticidad = $2 \times 10^{11} \text{ Pa}$
- Conductividad Térmica = $52 \text{ W/m}^\circ\text{C}$
- Calor específico = $460 \text{ J/(Kg}^\circ\text{K)}$
- Coeficiente de Poisson = 0.3

Tiene una banda de templabilidad de:

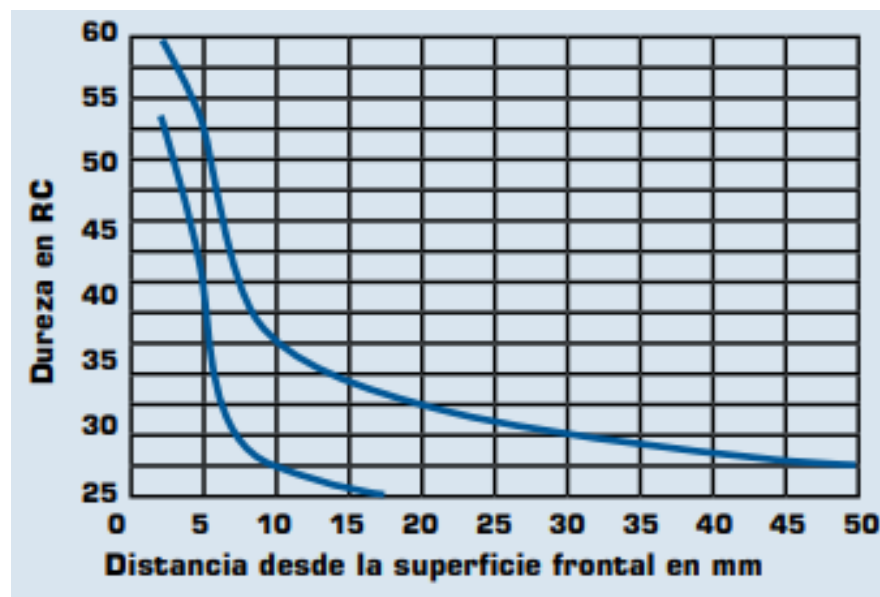


Figura 14. Diagrama de Banda de Templabilidad.

Tomado de (Cía. General de Aceros S.A., 2013)

Cía. General de Aceros S.A. 2013, dice además que las aplicaciones que tiene este acero son:

- Manivelas
- Chavetas
- Pernos
- Bulones

- Bielas
- Cigüeñales
- Barras de conexión
- Troqueles, entre otras.

Acero AISI 4340.

IBCA (2018), detalla que es un acero bonificado, útil para maquinarias, al molibdeno que posee una solubilidad limitada, el cual genera mayor templabilidad, tenacidad, dureza, resistencia a temperaturas elevadas y fragilidad debido al revenido.

IBCA (2018), indica además que las normas equivalentes al Acero AISI 4340 son:

- SAE = 4337
- Din = 34CrNiMo6
- W.Nr = 1.6582
- JIS = SNCM1
- AFNOR = 35NCD6

IBCA (2018), dice que las propiedades mecánicas del Acero AISI 4340 son:

- Resistencia a la tracción = $90 - 110 \text{ kg/mm}^2$
- Esfuerzo de cedencia = 70 kg/mm^2
- Elongación, AS = min 12%
- Reducción de área, Z = min 45%
- Resistencia al impacto, KU = aprox. 20J
- Dureza = 270 – 330 HB

IBCA 2018, indica que la banda de templabilidad del Acero AISI 4340 es:

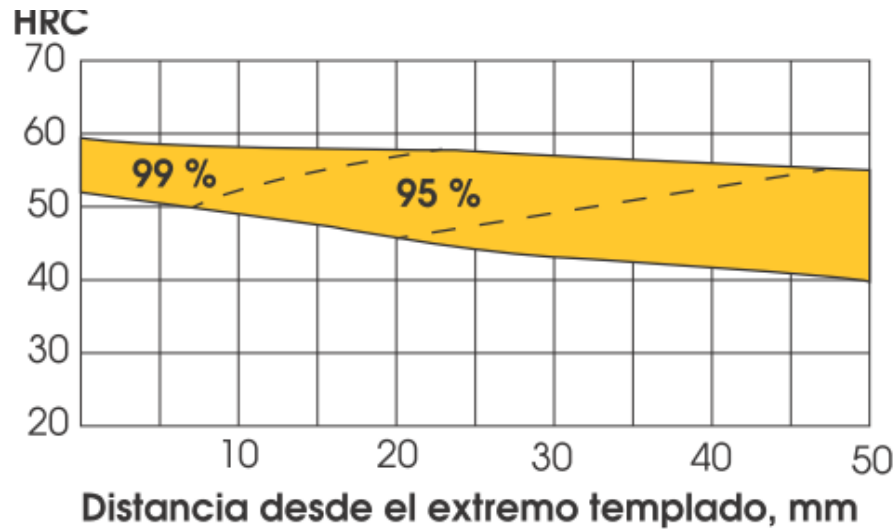


Figura 15. Diagrama de Banda de Templabilidad. (IBCA, 2018)

IBCA 2018, dice que el Acero AISI 4340, se aplica en:

- La industria automotriz, en ejes, cardanes, cigüeñales y eje de levas de alta resistencia
- La construcción de maquinaria, árbol para trituración, ejes de transmisión, engranajes de temple, barras de torsión, mandriles, porta herramientas y troquelaría.
- Donde se requiere resistencia a la fatiga, como en la construcción de equipo pesado para aviones, camiones, equipo militar, etc.
- La composición química del Acero AISI 4340, es:

Tabla 3

Composición Química del Acero AISI 4340

Composición	Porcentaje (%)
C	0.38 – 0.43
Si	0.15 – 0.35
Mn	0.60 – 0.80
P	0.03
S	0.04
Ni	1.65 – 2.00
Cr	0.70 – 0.90
V	0.20 – 0.30

Fuente: (IBCA, 2018)

Acero AISI 4140.

Otero (2018), dice que es un acero de medio carbono con alta durabilidad y buena resistencia al impacto, con o sin tratamiento bonificado, útil para la manufacturación de piezas que requieren alta resistencia mecánica y tenacidad, así como buena resistencia a la torsión y a la fatiga, buena maquinabilidad y baja soldabilidad además tiene las siguientes propiedades

Mecánicas

- Dureza de estado bonificado = 29 – 34 HRc
- Esfuerzo de fluencia = 60 - 74 Kg/mm²

- Esfuerzo de tracción = 95 - 105 Kg/mm²
- Elongación = 10 – 18 %

Físicas

- Densidad = 7.85 g/cm³

Químicas

Tabla 4

Composición Química del Acero AISI 4140

Composición	Porcentaje (%)
C	0.38 – 0.43
Si	0.15 – 0.35
Mn	0.75 – 1.00
P	0.04
S	0.05
Cr	0.80 – 1.10
Mo	0.15 – 0.25

Nota: (Otero, 2018)

Norma involucrada: ASTM 322

Otero 2018, dice que el Acero AISI 4140, se aplica en:

- Ejes, pasadores

- Cigüeñas
- Barras de torsión
- Engranajes de baja velocidad
- Tuercas y pernos sometidos a grandes esfuerzos
- Árboles de transmisión, émbolos, bielas y rotores.
- Troqueles, de resistencia baja y media.

Método de Elementos Finitos (MEF)

Hernández 2013, señala que el método de elementos finitos (MEF), se basa en parámetros discretos espaciales y temporales, donde el proceso de conformado parte de la determinación de esfuerzos y deformaciones, de problemas físicos e ingenieriles, el cual emplea divisiones de nodos denominados mallas, en técnicas iterativas que usa programas computacionales para resolver ecuaciones no lineales, dividiéndose en cuatro expresiones que son:

Método directo, “analiza elementos estructurales relacionados entre los desplazamientos y las fuerzas, originando una matriz de rigidez, mediante técnicas útiles para el ensamblaje” (Hernández, 2013).

Método variacional, “está relacionado matemáticamente a un problema de estilo funcional, el cual está asociado, a problemas de la mecánica de sólidos, el cual tiene como ventajas la familiaridad” (Hernández, 2013).

Método de residuos ponderados, según Hernández (2013) detalla que es un método asociado a problemas de valor de contorno, el cual consiste en reescribir la ecuación diferencial que gobierna el problema, mediante la selección de las funciones que originan como son:

1. Método de Galerkin
2. Método de Petrov – Galerkin
3. Método de subdominio
4. Método de mínimos cuadrados
5. Método de colocación

Método explícito, “genera una variable desconocida en la ecuación, contando con grandes ventajas al analizar tres dimensiones, con una malla refinada” (Hernández, 2013).

Método implícito, “es el valor de la matriz apoyada en algoritmos estables, a través de un tiempo incrementado automáticamente” (Hernández, 2013).

Borja & Morocho (2017), definen a los elementos finitos como un método de cálculo útil en diversos problemas de ingeniería, donde los elementos compuestos por subdivisiones se conectan a través de nodos, como se indica en la Figura 7., mediante un proceso conceptual que formula los errores matemáticos, mediante métodos lineales y no lineales, que generan flujos térmicos combinados, por lo que es necesario:

1. Definir el tipo de análisis.
2. Llevar a cabo un pre- procesado que genera el diseño de la geometría del CAD, con un material requerido, definiendo cargas, restricciones y mallado.
3. Procesado, definido por la solución.
4. Post – pre- procesado, es la parte encargada de visualizar los resultados mediante gráficas en 2D y 3D, de desplazamiento, deformaciones y esfuerzos, originados en el material.

Desarrollo del proceso.

El desarrollo del proceso, según Pedrosa & Sánchez (2018) es:

Geometría de la matriz, la cual debe ser modelada como cuerpos sólidos, con un material apropiado, en base a dimensiones inicialmente definidas.

Propiedades de los materiales, tomados de materiales explícitos, donde la densidad se calcula en función del peso y el volumen, así como el módulo cortante actúa en función de la elasticidad y el coeficiente de poisson.

Definición de las condiciones de frontera, donde se ubica como se considera la matriz, el desplazamiento del punzón, la fuerza aplica, la velocidad y las superficies de contacto.

Mallado de la matriz, se origina por el tamaño requerido de a cada elemento que conforma a la matriz, donde se recomienda aplicar un mallado medio con curvatura.

Resultados de la simulación, la cual se da por:

Deformación direccional, obtenida por la simulación.

Deformación plástica equivalente, la cual indica la deformación máxima que se puede generar en un proceso determinado.

Esfuerzo cortante, la cual señala el máximo esfuerzo generado por un proceso determinado, por lo que es igual al esfuerzo cortante admisible.

Delgado (2016) dice que el desarrollo de los elementos finitos, está vinculado al cálculo estructural, que resuelve problemas muy complejos, en base a estudios minuciosos, encargados de resolver ecuaciones diferenciales e integrales.

Delgado (2016) dice que la secuencia más apropiada a llevar a cabo una solución mediante el Método por Elementos Finitos (MEF), es la siguiente:

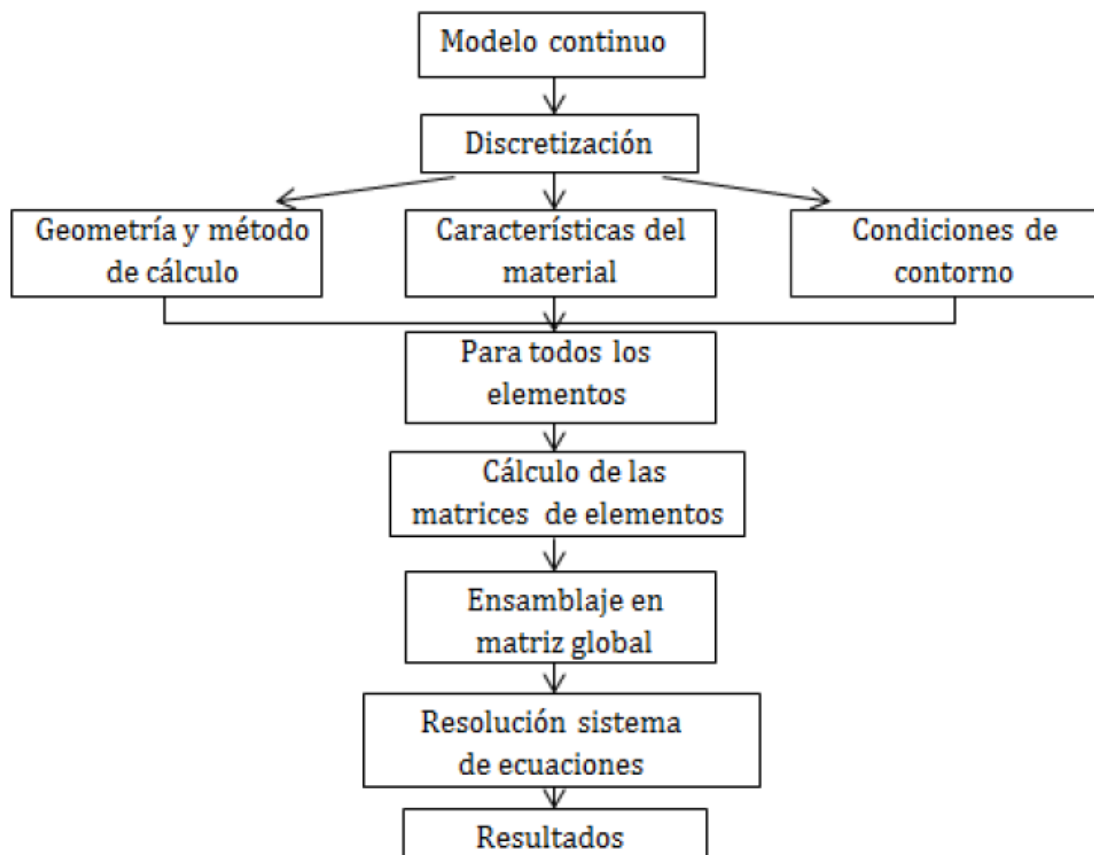


Figura 16. Delgado (2016) Procedimiento del Método de los Elementos Finitos Recuperada de Análisis mediante el MEF de la protección de los conductores en autobuses.

- **Pre-procesamiento**, donde se genera la geometría a analizar mediante puntos, líneas, superficies y volúmenes.

- **Procesamiento**, define las condiciones de contorno y solicitaciones como fuerzas, presiones, desplazamientos, etc., proporcionando soluciones que van desde el análisis estructural estático y dinámico hasta generar electromagnetismo
- **Post – procesamiento**, consiste en las diferentes herramientas de visualización y manipulación de resultados como diagramas, animaciones. cargas entre otras.

Por lo que Delgado (2016) muestra en la Figura 17, las funciones que constituyen el pre-procesado, procesado y post-procesado.



Figura 17. Funciones de los módulos Finitos Delgado (2016).

Método

En esta investigación se realiza el diseño de una matriz, y se utiliza un método correlacional cuantitativo, ya que se permite utilizar datos de software especializado para la simulación y posterior comparación de resultados con el cálculo manual, sobre los distintos parámetros del “diseño y simulación de una matriz para troquelar chapas de cobre de interconexión de celdas de baterías de alta tensión de vehículos híbridos”

Para realizar la selección de los materiales para fabricar la matriz se empezará con el diseño de la parte a fabricar, tomando en cuenta los siguientes parámetros:

1. La cantidad de piezas que se van a producir dependerá del material de construcción de la matriz, donde este será seleccionado por un análisis de impacto, determinando un factor de seguridad apropiado.
2. Se propone dos matrices una de baja producción con alimentación manual y otra de alta producción con alimentación semi automática, para comparar los costos de fabricación.
3. La forma de la pieza a troquelar, sus ángulos y detalles serán tomados de una pieza original, al diseñar la propuesta propia de esta investigación se realizarán algunos cambios en la geometría que no afecte a la funcionalidad de la misma, pero que servirán para distinguir la producción de esta investigación con las del fabricante, y en programas especializados como es el SolidWorks 2017 (ver anexo 6), se procederá a modelar la pieza a fabricar así como todos los componentes de la matriz, partiendo de la geometría a obtenerse.

4. La forma y tamaño de la matriz, se determina con un estudio del diseño, para justificar la viabilidad de la construcción del molde, tomando en cuenta que la matriz será montada en un troquel progresivo, considera los parámetros del mismo como tamaño, presión de cierre, numero de golpes por minuto, etc.
5. Se realizará el modelado de una matriz pequeña para baja producción la cual se usará para realizar el análisis y determinar la deformación, tensión aplicada y factor de seguridad, proponiendo varios aceros como son: K100, AISI 1045, AISI 4340, AISI 4140, AISI 1018, con los resultados del MEF y su validación mediante análisis matemático se determinará el material con mejores características.
6. Una vez determinado el material con las mejores características, se realizarán los análisis de tensión máxima, deformación, deformación unitaria y factor de seguridad, en varios niveles de mallado para validar los resultados de la simulación.
7. Una vez determinada la selección del material más adecuado para la construcción y realizada la validación de la simulación, se procederá a analizar la fatiga de la matriz, el número de ciclos máximos y la cantidad de piezas que producirá la matriz.
8. Se realizará el análisis financiero que permita hacer la recomendación para la selección final de la matriz más idónea para el requerimiento anual de piezas.

Diseño de la geometría

Teniendo presente que el material a troquelar son chapas de cobre de interconexión de celdas de baterías de alta tensión de vehículos híbridos, específicamente Cu-FRHC, con un espesor de

1mm, se procede con la toma de medidas de una pieza original, se tiene como referencia dos chapas de la marca TOYOTA y que a la vez se aplican a CHEVROLET en todas sus versiones, como se observa en la figura 18.

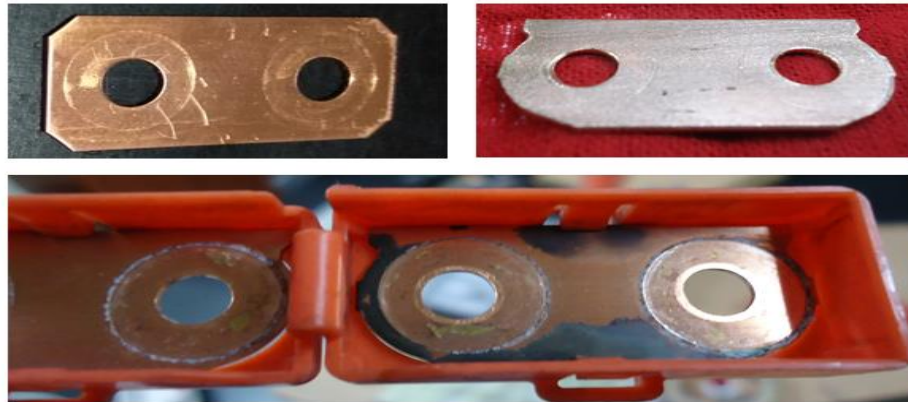


Figura 18. Chapas de cobre de baterías híbridas para toma de medidas

Se procede a tomar las medidas de la muestra con un calibrador Vernier, procedimiento que permitirá proponer una geometría apropiada para la construcción de la matriz, como se puede observar en la figura 19, se obtiene un ancho de pieza de 16mm.



Figura 19. Medición del ancho de la chapa.

Con ayuda del Vernier se procede a medir el largo de la pieza de muestra obteniendo una lectura de 34mm como se observa en la figura 20.

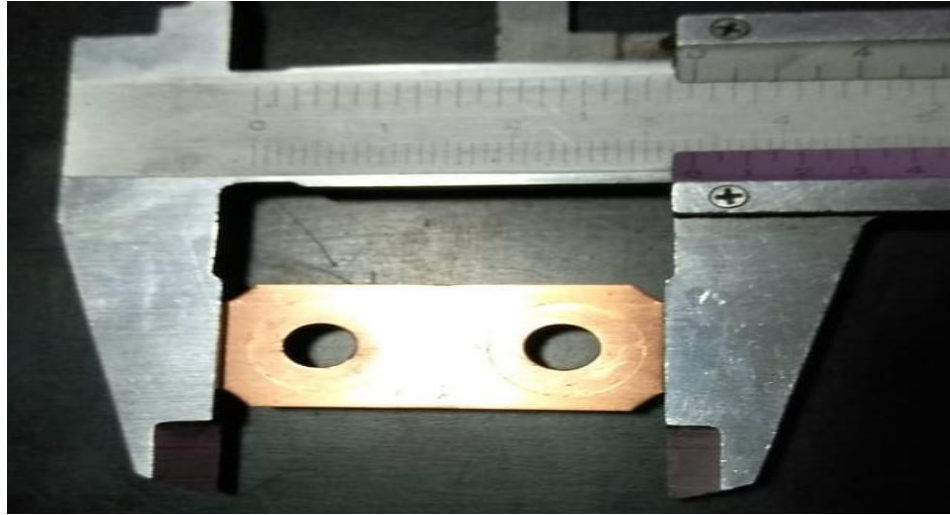


Figura 20. Medición del largo de la chapa

En la figura 21, se observa la lectura del Vernier de 13.1mm en la separación entre los orificios que permitirán la fijación de las chapas por los pernos de las celdas de la batería.

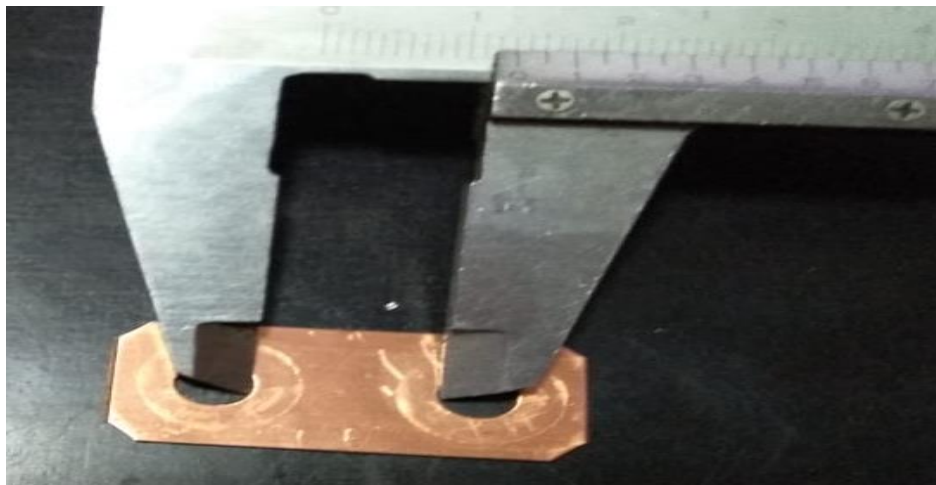


Figura 21. Medición de distancia entre orificios

En la figura 22, se obtiene la medida de 4.8mm entre el filo de la placa hasta el orificio del perno que fija las chapas a las celdas de la batería de alta tensión.



Figura 22. Medición de la distancia entre orificio y contorno de la chapa

Las medidas para la propuesta de la chapa de la presente investigación serán las mostradas en la siguiente tabla.

Tabla 5

Medidas para la geometría propuesta.

Magnitud	Valor
Área	443.26 mm ²
Perímetro	120.19mm
Espesor	1mm
Largo	34mm
Ancho	16mm

Una vez tomadas las medidas, de la placa de muestra, se propone la geometría y las siguientes dimensiones, como se indica en la Figura 23.

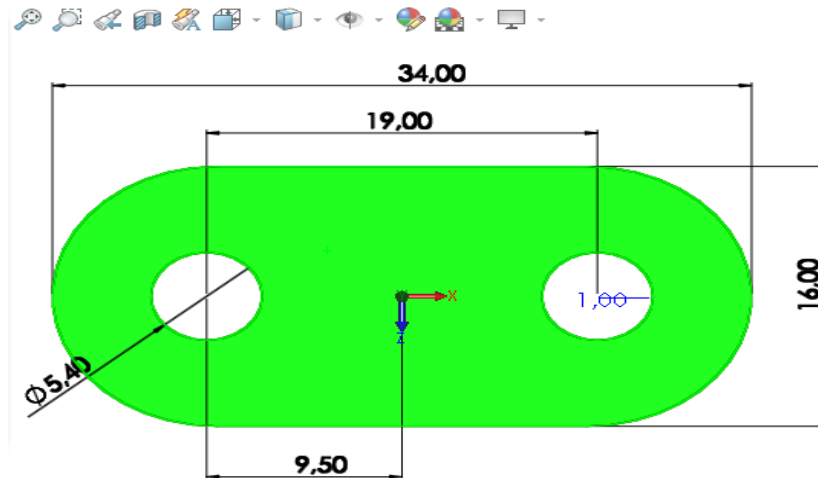


Figura 23. Chapas de cobre de interconexión de celdas de baterías

Selección del troquel

Para la selección del troquel se debe considerar varios aspectos, entre los principales es el costo de la inversión y el tiempo de amortización, se propone una producción inicial anual de 60000 piezas, por lo tanto, se justifica la selección de un troquel del tipo llamado progresivo, puesto que, son dos golpes que debe dar la matriz para terminar con la pieza requerida, para la presente investigación, se necesita realizar el punzonado de los orificios pequeños por los que pasaran los pernos de las celdas híbridas, y posteriormente se requiere un punzón secundario para terminar con el corte del perímetro exterior de la chapa.



Figura 24. Troquel JG23-40 marca Meister

El troquel disponible en el país, cotización (ver anexo 7) y recomendado por el importador para trabajos en troquelado de cobre, es el MODELOJG23-40 que se observa en la figura 24. Mientras que en la tabla 6, se observa las características técnicas de la máquina, con la que se procederá con los siguientes cálculos y selecciones que permitan llegar al diseño más óptimo de la matriz.

Tabla 6 *Características Troquel Modelo JG23-40 marca Meister*

Especificaciones	
Presión de cierre	40 TON
Viaje del carro	120mm
No. Golpes por minuto	55
Altura máxima del carro	220mm
Ajuste de altura del carro	80mm
Distancia del centro del carro a la columna	260mm
Dimensiones de la mesa (ancho x largo)	240 x 355 mm
Máxima inclinación del cuerpo	25 °
Distancia entre columnas	200mm
Motor	5.3Hp
Dimensiones	800 x 590 x 2310 mm
Peso	3180Kg
Activación del golpe	Sistema mecánico

Nota: Datos entregados por el importador BEREZIAK

Mecanismo de alimentación

Para la selección de la alimentación se tiene que analizar varios factores como son, el costo de inversión de la matriz, la productividad deseada según requerimientos del mercado y otro factor

muy importante a tomar en cuenta es el material que se va a troquelar sus dimensiones y espesor, existen los sistemas automáticos, semiautomáticos e inclusive manuales, en la figura 24, se observa alimentación manual de troquelado de piezas de cobre para conexiones eléctricas.



Figura 25. Alimentación manual de troquel para conexiones de cobre

Para la primera propuesta de una matriz de baja producción (una pieza por cada dos golpes) por troquelado progresivo, se recomienda alimentación manual, en la figura 25, se aprecia la matriz simple con la cual se realizará el análisis MEF para la selección del material.

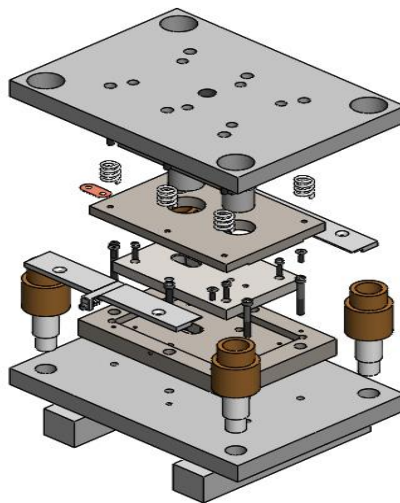


Figura 26. Ensamble de Matriz simple para baja producción

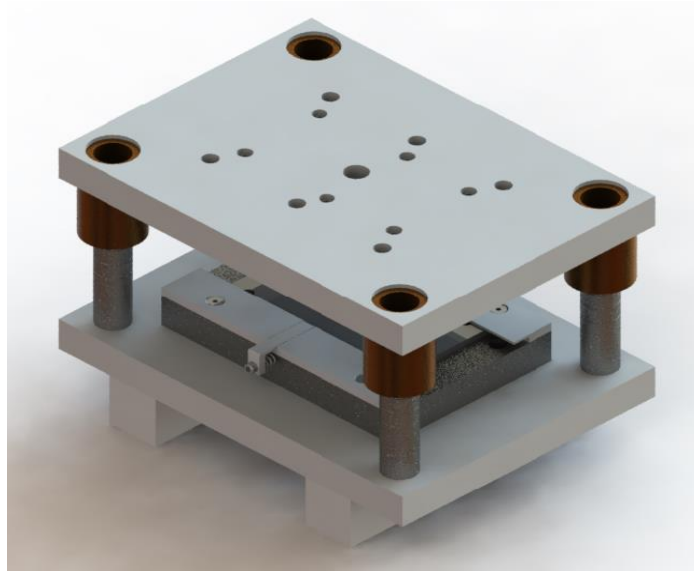


Figura 27. renderizado de la primera propuesta de matriz de baja producción

En la figura 28, se aprecia una alimentación manual, para este tipo de trabajos se provee de topes en la matriz que ayuden al operario a guiarse en la colocación y avance del material. La productividad en estos casos es baja puesto que el tiempo del proceso depende directamente de la habilidad y entrenamiento del técnico operador del troquel.



Figura 28. Alimentación manual para troquelado de cobre

Para el caso de alimentación semiautomática, existen alimentadores con relativa facilidad de adaptación al troquel, es decir, el mismo movimiento vertical del troquel, provoca un avance horizontal del alimentador, que, a su vez, provee de movimiento a la tiradera del material, en estos casos se necesita parar la producción para cambiar la tiradera cuando se termina, lo que

hace que su productividad sea buena, pero tenga una falencia para líneas de producción exigentes.

En el caso de la segunda propuesta de Matriz, en la cual se busca mejorar la producción de las chapas de cobre, se recomienda usar una alimentación semiautomática, en el mercado existen varios modelos y en la mayoría de casos son de accionamiento neumático y se acoplan a casi todos los modelos de troquel, cuyo movimiento activa un pulsador que hará trabajar al circuito neumático del alimentador. En la figura 29, se observa un alimentador semiautomático de accionamiento neumático dispensador de láminas.

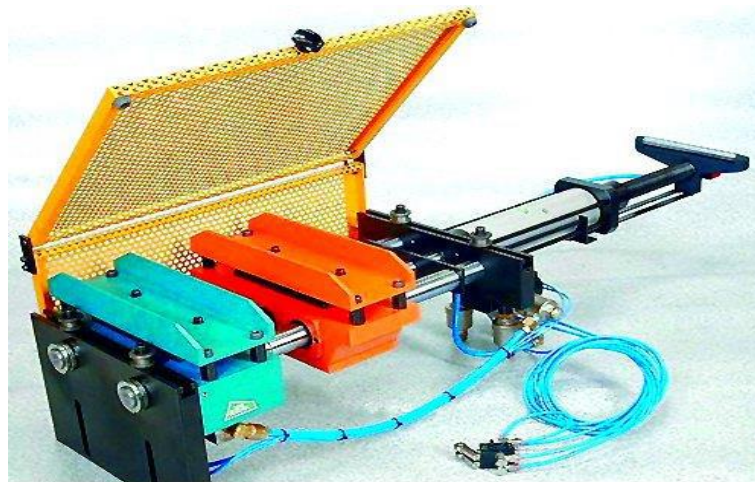


Figura 29. Alimentador neumático de lámina para troquel

Tomado de Diseño y estudio de un troquel progresivo. (Moreno, 2018)

Aprovechamiento de la plancha de cobre

Dado que la plancha de cobre o de cualquier material que se esté troquelando puede deformarse si no se tiene una óptima separación entre cortes, conviene determinar la distancia mínima entre la pieza a cortar y el filo de la plancha, así como la distancia entre piezas. En base a las dimensiones de la mesa de la máquina troqueladora MODELO JG23-40, la cual es de

240x355 mm, se procede a dimensionar una matriz de 320 x 240 mm, la cual puede generar por golpe hasta 16 piezas.

Donde:

La separación entre aristas se determina de la siguiente manera:

- S = Puente
- E = Espesor = 1 mm

Ecuación 1 Separación entre piezas

$$S = 1,5 * e \quad (1)$$

$$S = 1,5 \times e = 1.5 \times 1 \text{ mm}$$

Paso, el paso mínimo se determina de la siguiente manera:

Ecuación 2 Paso mínimo PL

$$PL = L + S \quad (2)$$

$$PL = L + S = 34 + 1.5 = 35.5 \text{ mm}$$

Ecuación 3 Paso mínimo PA

$$PA = L + S \quad (3)$$

$$PA = L + S = 16 + 1.5 = 17.5 \text{ mm}$$

Una vez definido y dimensionado, los valores mínimos se tienen que:

$$PL = 35.5 \text{ mm}$$

$$PA = 17.5 \text{ mm}$$

Por lo que la tira o plancha en un solo golpe se puede producir hasta 16 piezas.

Donde:

El S puente es de 4 mm recomendado para plancha de cobre de 0.5 a 1.5 mm de espesor

Determinado además un paso total a lo ancho y a lo largo de

$$PLT = L + S = 34 + 4 = 38 \text{ mm}$$

$$PAT = L + S = 16 + 4 = 20 \text{ mm}$$

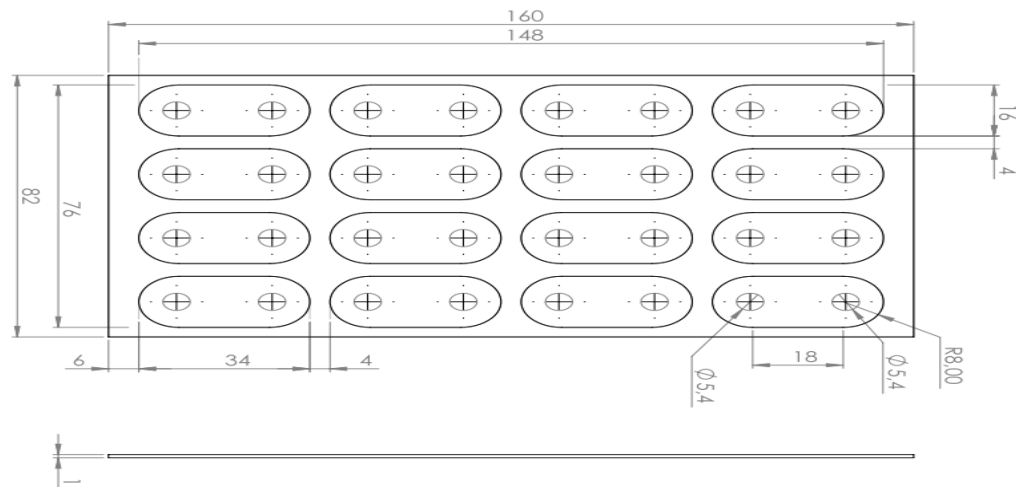


Figura 30. Ubicación de las chapas en la placa de cobre

Se puede determinar el rendimiento de la plancha de cobre que se usará puesto que se debe tener en cuenta el aspecto económico que debe tener el menor impacto en el desperdicio de

material y el diseño debe ser solidario con el medio ambiente, al tener menor desperdicio el impacto ambiental también se reduce.

Para determinar este rendimiento podemos ayudarnos de la siguiente formula

Ecuación 4 Rendimiento de la plancha de cobre

$$Rendimiento = \frac{\text{superficie de la pieza}}{\text{superficie unitaria de la plancha}} * 100 \quad (4)$$

Por SolidWorks tenemos que el área individual es de 443.26mm² por 16 piezas a troquelar, se presenta los siguientes cálculos, aplicando la ecuación (4)

$$Rendimiento = \frac{7092.16}{12300} = 67\%$$

Cálculo de la holgura entre punzón y matriz

Para que el acabado de la pieza sea de buena calidad, se debe calcular la holgura entre los punzones y la matriz, esta se da por la relación entre la resistencia al corte del material a troquelar y su factor de tolerancia del juego entre esas dos piezas de la matriz, para el cobre Cu-FRHC se tiene una resistencia al corte de 260N/mm² y un factor de tolerancia de 0.05 por tanto.

Ecuación 5 Holgura entre punzón y matriz de corte

$$Holgura = \text{factor de tolerancia} * \text{epesor} \quad (5)$$

$$Holgura = 0.05 * 1mm$$

$$Holgura = 0.05mm$$

Tomando este resultado se mantiene el diámetro del punzón con la medida original de los orificios, y la holgura se aumenta a la matriz de corte para que las medidas de la pieza final sean exactas.

Cálculo del centro de gravedad para la matriz pequeña

Como se indica en la figura 56, tenemos la segunda propuesta de matriz de corte para 16 piezas por golpe ya que se presenta en dos procesos no necesitan centro de gravedad ya que simplemente va en el centro de la placa de fijación, mientras que, en la figura 26, tenemos la primera propuesta es de una sola matriz para un troquel progresivo, ya que se realizan dos punzonados para terminar la pieza, por tanto, es importante determinar el centro de gravedad, puesto que el porta matriz debe asegurarse al troquel para evitar desplazamientos desgastes o incluso deformaciones del mecanismo y que el impacto sea el efectivo para asegurar el proceso, por tanto se calcula de la siguiente manera:

Ecuación 6 Centro de gravedad para troqueles progresivos

$$\sum F_C * Cg_y = F_{CT} * y_{CF} \quad (6)$$

Donde:

F_C = fuerza de corte de cada punzón expresado en KN

Cg_y = centro de gravedad de cada punzón en el eje Y expresado en mm

F_{CT} = fuerza de corte total del proceso expresada en KN

Y_{CF} = la posición del centro de gravedad en el eje Y expresado en mm

Etapas del troquel progresivo

Debido a la geometría a obtener en el troquelado, se necesita cumplir con dos tiempos específicos, el primero coloca la plancha bajo el punzón primario que realiza el perforado para los pernos de sujeción de la chapa de cobre a las baterías híbridas. Luego de lo cual pasa la

plancha al segundo punzón que realiza el corte final dando como resultado la chapa de cobre desprendida de la plancha.

Este proceso se realizará en las dos matrices propuestas, puesto que la geometría a obtener es la misma con la única diferencia que, una matriz produce una pieza a la vez mientras la otra produce 16 piezas a la vez.

Diseño de las piezas que conforman la matriz

El modelado y dimensionamiento se da en un Software de tipo CAD 3D, SolidWorks, 2017, iniciaremos con la propuesta de la matriz grande, cuyos planos se encuentran en los anexos:

Iniciándose con la selección del módulo:

- Pieza
- Ensamblaje
- Dibujo

Por lo que el diseño de la matriz, se da con el modelado de las siguientes partes que son:

Modelado de la placa inferior, descrita a continuación en la Figura 31.

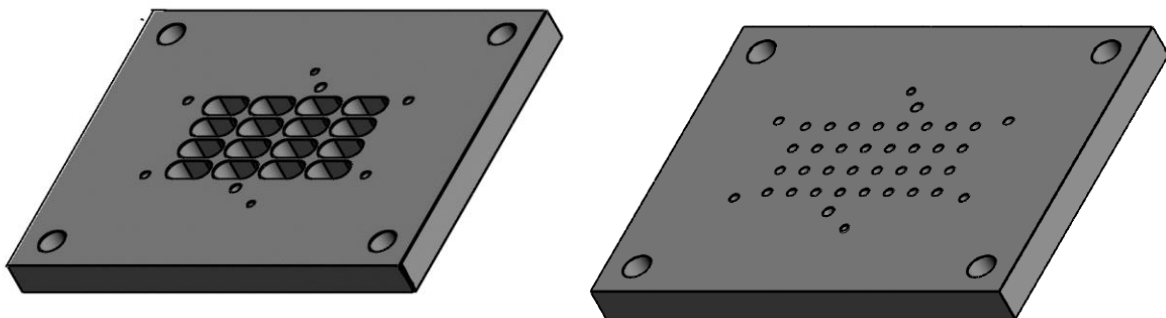


Figura 31. Modelado de las Placas Inferiores

Se continúa con el modelamiento de la placa porta matriz, como se indica en la Figura 32.

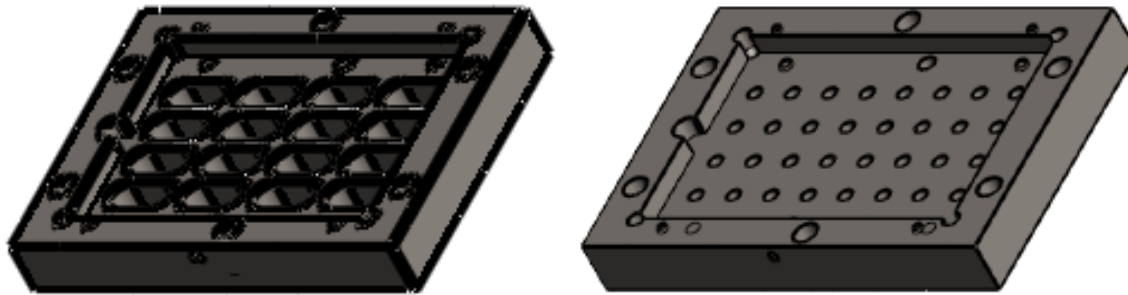


Figura 32. Modelado de las Placas Porta Matriz

El siguiente paso es el modelado de la matriz de corte, como se indica en la Figura 33.

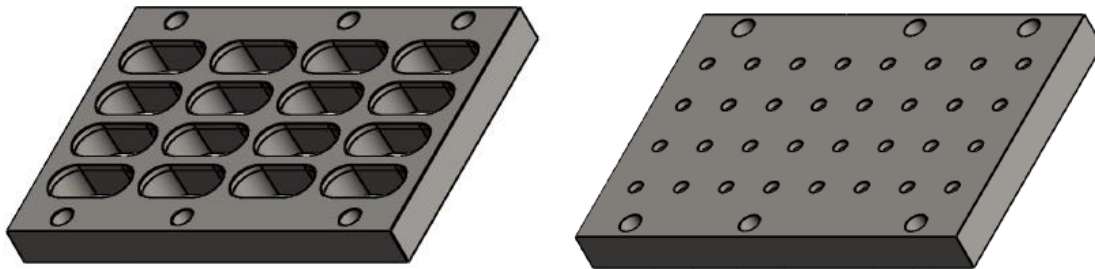


Figura 33. Modelado de las Placas de la Matriz de Corte

Se continúa con el modelado de la placa superior, como se observa en la Figura 34

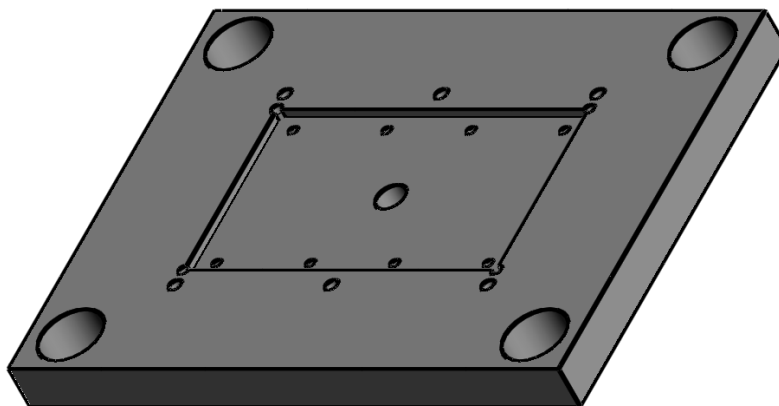


Figura 34. Modelado de la Placa Superior

El modelado de la placa porta punzones, es el siguiente paso a diseñar como se establece en la Figura 35.

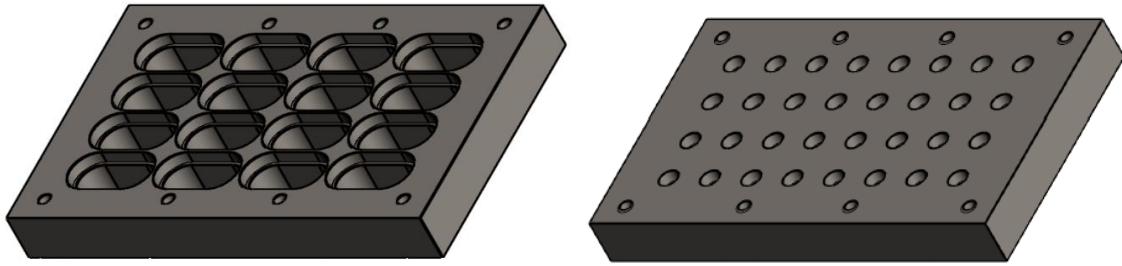


Figura 35. Modelado de las Placas Porta Punzones principales y secundarios

El modelado del punzón primario, para punzones de corte se recomienda la norma DIN 9861(ver anexo 9), que describe punzones de cabeza cónica fabricados en acero rápido (HSS), en acero al 12% al cromo (HSW), en acero carbono (S) y ASP23, como se establece en la Figura 36. Lo que se considera importante aquí es la holgura en el corte entre la matriz de corte y el punzón, para que el punzonado sea admisible y el acabado final de la pieza sea aceptable debe calcularse la holgura que se dejará entre estas dos piezas.



Figura 36. Modelado del Punzón Primario

El punzón secundario, se modela después del punzón primario como se indica en la Figura 37.

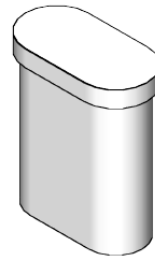


Figura 37. Modelado del punzón secundario

El modelado de la Prensa Chapas, es la siguiente pieza a diseñar, como se observa en la figura 38

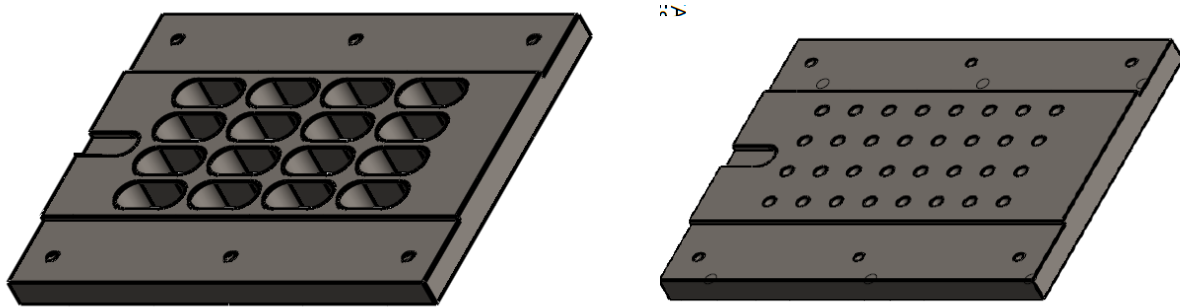


Figura 38. Modelado prensa chapas

El modelado de la Columna de Ø23 mm, es la siguiente pieza a diseñar



Figura 39. Modelado de la Columna de Ø25 mm.

Se continúa con el modelado de la Columna de Ø45 mm, como se detalla en la Figura 40.

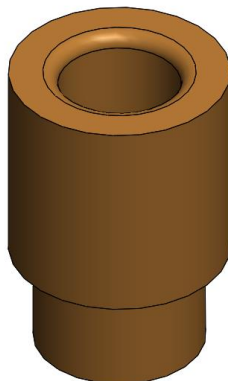


Figura 40. Modelado de Buje de Ø45 mm.

El diseño del Tope Corte Frontal, es la siguiente pieza a modelar como se detalla en la Figura 41.

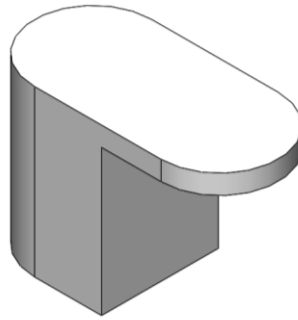


Figura 41. Modelado del Tope Corte Frontal

Se continúa con el modelado del Tope de Primer Corte, como se detalla en la Figura 42.

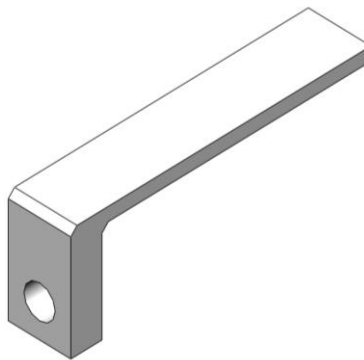


Figura 42. Modelado del Tope de Primer Corte

Las paralelas son partes muy importantes a tener en cuenta, como se indica en la Figura 43.

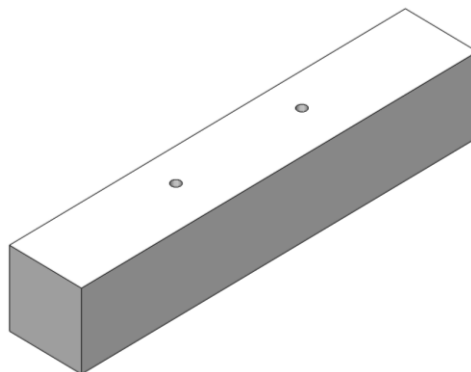


Figura 43. Modelado de la Paralela

El modelado de la Fija Ø8 mm, es una pieza muy importante a modelar como se detalla en la Figura 44.



Figura 44. Modelado de la Fija Ø8 mm

Las guías frontal y posterior, son partes muy importantes a tener en cuenta, en el diseño de una matriz como se detalla en la Figura 45 y 46.

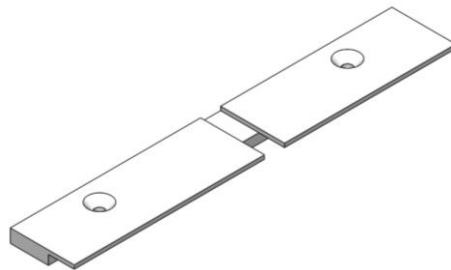


Figura 45. Modelado de la Guía Frontal

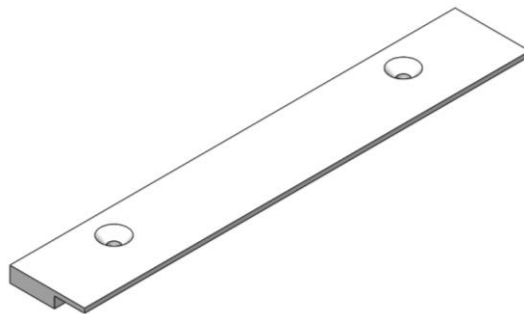


Figura 46. Modelado de la Guía Posterior

Los resortes son de igual manera que las guías muy importantes a tener en cuenta, los resortes para matricería están normalizados bajo ISO 10243 (ver anexo 11), para la prensa chapa se recomienda los de carga pesada que por normativa vienen de color rojo, como se indica en las Figuras 47 y 48.

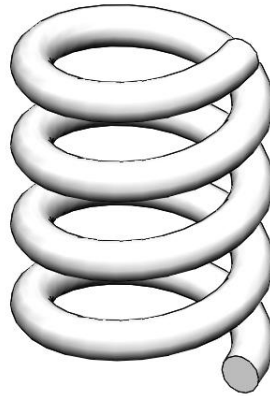


Figura 47. Modelado del Resorte Prensa Chapas

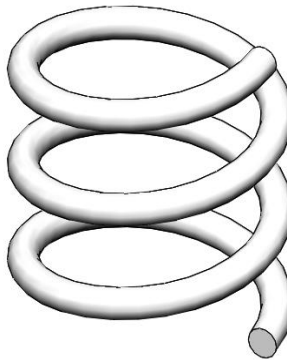


Figura 48. Modelado del Resorte Tope 1er Corte

Para los resortes del tope del primer punzonado se recomienda resortes de carga leve que por normativa tienen color verde (ver anexo 12), los materiales a utilizar en el diseño de los resortes según normativas son las que se muestran en la tabla 7, dicho material por presentar las mejores cualidades, es el más tenaz y el más empleado de todos los materiales por presentar mayor

resistencia a la tensión y soportar mayores esfuerzos ante cargas repetidas que cualquier otro material para resorte.

Tabla 7

Características de los resortes aplicados a cargas repetidas

Nombre del material	Especificaciones similares	Decripcion
Alambre de piano 0.80-0.95C	Uns g10850 Aisi 1085 Astm a228-51	Este es el mejor, mas tenaz y el mas empleado para fabricar resortes, presenta la mayor resistencia a la tension y puede soportar mayores esfuerzos ante cargas repetidas, solo no se recomienda emplear en temperaturas sobre los 12 grados centigrados o bajo cero

Fuente: (Shygley, Budynas, Nisbett, 2008)

Finalmente se procede a modelar los pernos a utilizar para el montaje de todo el mecanismo, para este diseño se emplearán pernos seleccionados del catálogo normalizado 2014 DIN 6912 (ver anexo 10), como los que se muestran en las Figuras 36 a la figura 41.



Figura 49. Modelado de Perno Allen 1 – 4 x 1 3/4” UNC



Figura 50. Modelado de Perno Allen 3/16 x 1” UNC

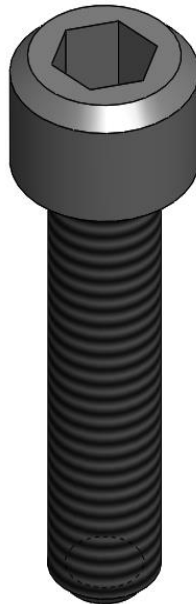


Figura 51. Modelado de Perno Allen 3/16 x 3/4” UNC



Figura 52. Modelado de Perno Allen $\frac{1}{4}$ x 1" UNC



Figura 53. Modelado de Perno Allen $\frac{1}{4}$ x 2" UNC

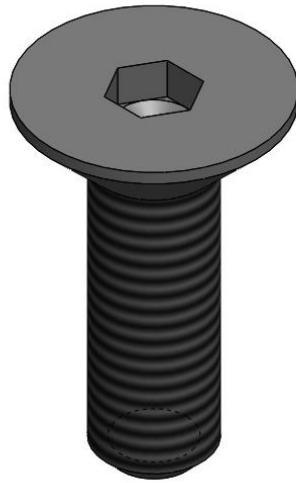


Figura 54. Modelado de Perno Allen Cabeza Plana 3/16 x 1/2" UNC

Diseño del ensamble de la matriz

El siguiente paso en el diseño es, el ensamble de las piezas modeladas anteriormente, mediante relaciones de posición, como se indica en la Figura 55.

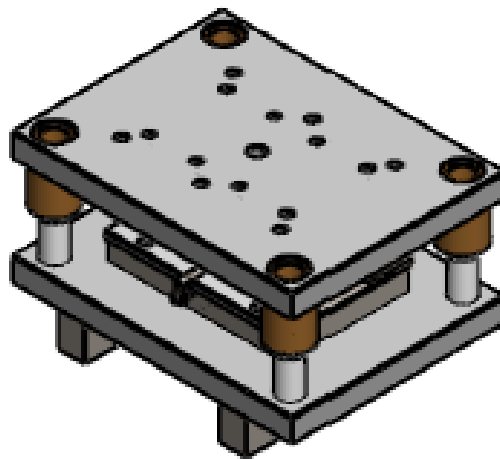


Figura 55. Modelado de la Matriz para Troquelear Chapa de Cobre

Finalmente se indica en despiece de la matriz, con todos sus componentes y herramientas necesarios para proceder a la simulación de cargas, para lo cual seleccionaremos solo uno de sus componentes, como se observa en la figura 56, planos (ver anexos).

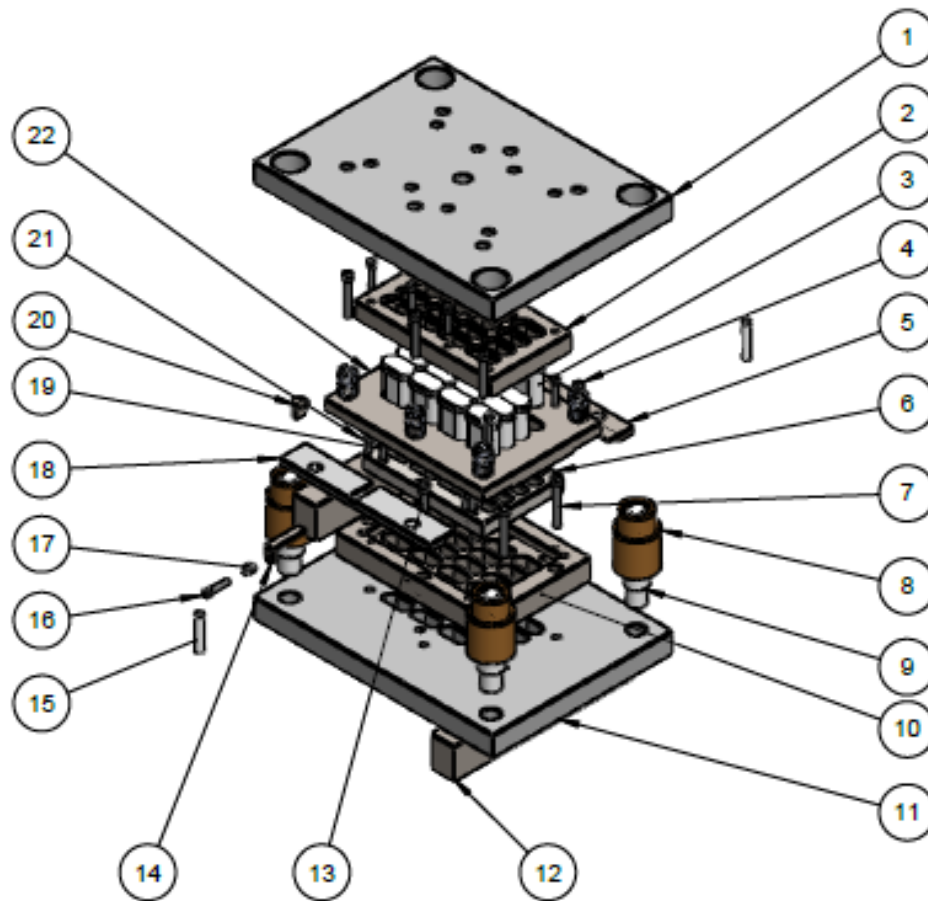


Figura 56. Despiece de la matriz (planos ver anexos)

Modelado de una matriz simple para análisis MEF y analítico

Para realizar el análisis MEF y los cálculos matemáticos que son necesarios para la selección del acero más idóneo con el que se recomendará fabricar la matriz, se procede a modelar una matriz simple, es decir una matriz en donde se troquele una sola pieza, puesto que, el material encontrado como recomendable podrá ser aplicado a la Matriz completa.

Por lo tanto, a continuación, iniciamos a modelar la placa de corte y el punzón secundario que es el que recibe más presión para el corte, dado que, el perímetro mayor de la geometría se encuentra en el corte final, como se muestra en la figura una matriz simple con la que se realizara los respectivos análisis y cálculos.

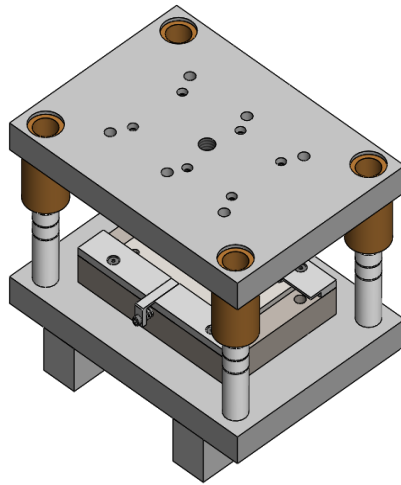


Figura 57. Modelado de una matriz simple para análisis MEF

Para los fines consiguientes de análisis por el método de elementos finitos, así como, el análisis matemático y posterior selección del material más óptimo aplicable a la matriz tenemos en la figura 50, el modelado de la placa de corte de la matriz simple.

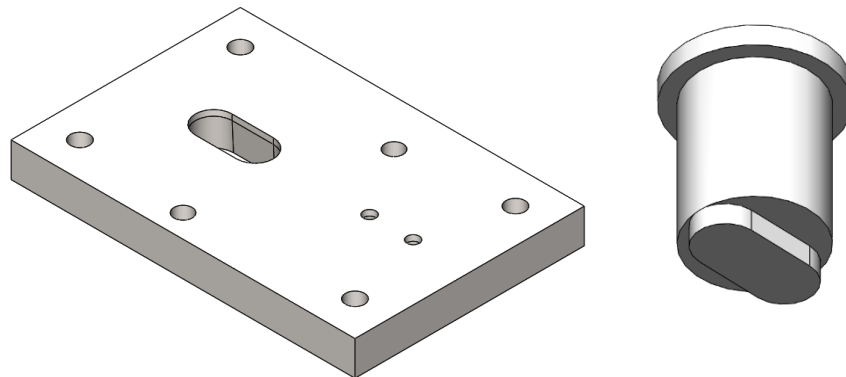


Figura 58. Modelado placa de corte de matriz simple y punzón secundario para análisis MEF

Ubicación del material útil en las piezas de la matriz

El material del que están compuestas las partes que forman la matriz para troquelar chapa de cobre se detallan a continuación en la figura 59 y 60 como se puede observar en el programa Solidworks, se puede asignar el material con el cual se realizarán todos los análisis necesarios:

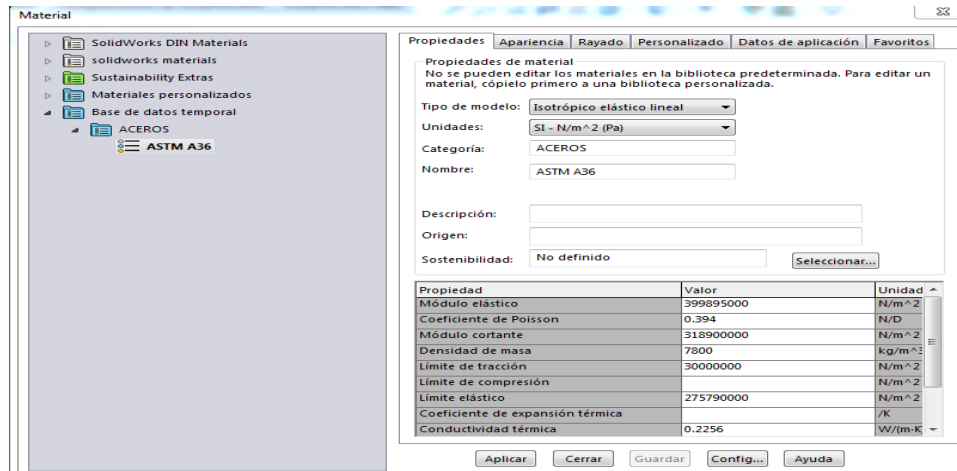


Figura 59. Características del ASTM A36. Mostrado en el programa de simulación

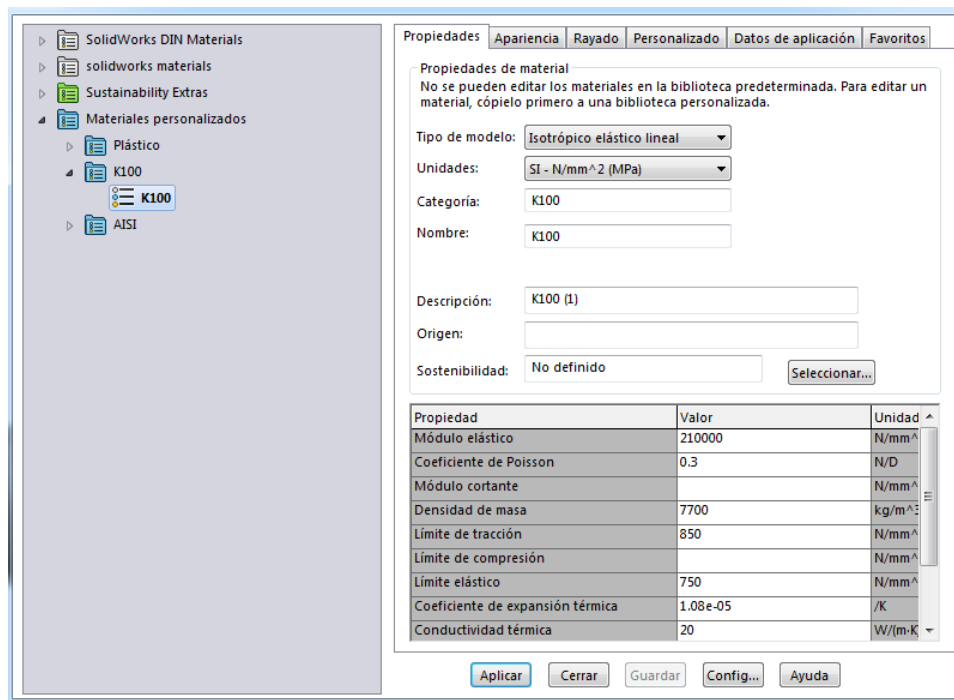


Figura 60. Características del K100. Mostrado en el programa de simulación

K100, es el estándar de los aceros ledeburíticos con un 12% de cromo, para aplicaciones de alta resistencia al desgaste y poca resistencia a la tenacidad y compresión, para conformación de materiales muy abrasivos. (BÖHLER, 2014)

BÖHLER (2014), indica además que las propiedades físicas del Acero K 100 son:

- Densidad: 7.70 kg/dm^3
- Conductibilidad térmica = 20 W/(mK)
- Calor específico = $460 \text{ J/(Kg}^{\circ}\text{K)}$
- Resistencia Eléctrica Específica = $0.65 \text{ ohm}^{\circ}\text{mm}^2/\text{m}$
- Módulo de elasticidad = $210 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$

Las aplicaciones que se le da comúnmente al Acero K100, según BÖHLER (2014) son:

- Componentes para la industria del reciclaje
- Corte Fino
- Estampación
- Conformado en frío
- Componentes de desgaste
- Troquelado, en vista que es un factor decisivo para la producción, por poseer un material a altas tensiones, alta dureza, resistencia a la compresión máxima y buena tenacidad, utilizada para incrementar la vida de sus herramientas.

Análisis en la matriz

Tomado como referencia para la validación de nuestros análisis, usaremos la pieza denominada hembra de la matriz, donde calcularemos los parámetros a utilizar en la simulación de cargas aplicadas, Las placas a troquelar se dan de la siguiente manera:

- Ancho de la pieza: 16 mm
- Largo de la pieza: 34 mm
- Espesor de la pieza: 1 mm

Inicialmente se determina:

La fuerza de corte primaria necesaria para ejecutar el corte de la placa de cobre.

Donde:

- e = Espesor: 1 mm
- τ = Límite de Tracción: 394.38 MPa Cobre
- p = Perímetro del punzón primario: 86.17 mm
- F_{c1} = Fuerza de Corte Primaria

Por lo que la fuerza necesaria a aplicar, según, Días 2014 se determina de la siguiente manera:

Ecuación 7 fuerza de corte primario

$$F_c = \tau * p * e \quad (7)$$

$$F_{c1} = 394.38 \frac{N}{mm^2} * 86.17 mm * 1mm = 33983.725 N = 33.99 KN$$

El siguiente paso a determinar es la fuerza de corte secundaria necesaria para ejecutar el corte de la placa de cobre final.

Por lo que la fuerza necesaria aplicar es:

$$Fc2 = \tau * p * e = 394.38 \frac{N}{mm^2} * 67.86 mm * 1mm = 26762.62 N = 26.76 KN$$

La fuerza de corte total es:

Ecuación 8 fuerza de corte total

$$Fct = Fc1 + Fc2 \quad (8)$$

$$Fc = 33.99 KN + 26.76 KN = 60.75 KN$$

La fuerza de extracción se determina de la siguiente manera:

Ecuación 9 fuerza de extracción

$$F_{ext} = Fc * 0.1 \quad (9)$$

Por lo que

$$F_{ext} = Fc1 * 0.1$$

$$F_{ext1} = 33.99 KN * 0.1 = 3.399 KN$$

$$F_{ext2} = 26.76 KN * 0.1 = 2.676 KN$$

$$F_{extT} = 3.399 KN + 2.676 KN = 6.075 KN$$

Por lo que la fuerza necesaria que debe tener la matriz para cortar la chapa de cobre es de 60.75 KN.

Presión del proceso.

Las presiones del proceso a desarrollar, según, Días 2014 se determina de la siguiente manera:

Ecuación 10 Presión del proceso

$$P = \frac{F}{A} \quad (10)$$

Donde:

- P = Presión
- F = Fuerza = 60.75 KN
- A = Área = 443.26 mm²

Por lo que:

$$P = \frac{F}{A} = \frac{60750 \text{ N}}{443.26 \text{ mm}^2} = \frac{137.0527 \text{ N}}{\text{mm}^2} = 137.0527 \text{ MPa}$$

Una vez definida la Presión que se daría en la Matriz de Corte, se procede a analizar por el Método de Elementos Finitos, de la siguiente manera:

Se inicia activando la pestaña de **Complementos de SOLIDWORKS**, como se indica en la figura 61.

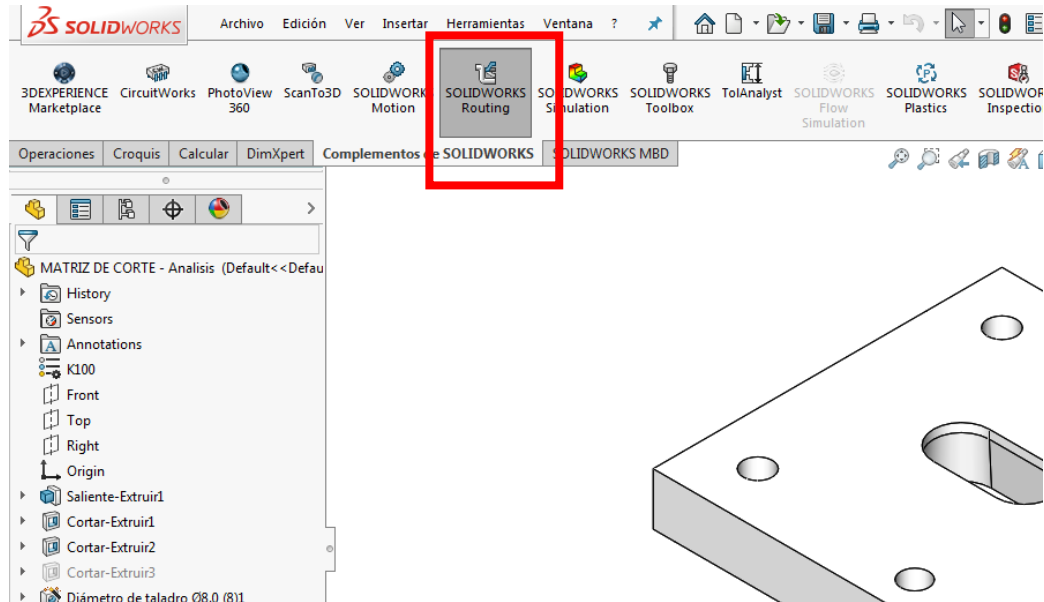


Figura 61. Pestaña Complementos de SOLIDWORKS

Se inicia activando la ventana **SOLIDWORKS Simulation** como se detalla en la figura 62.

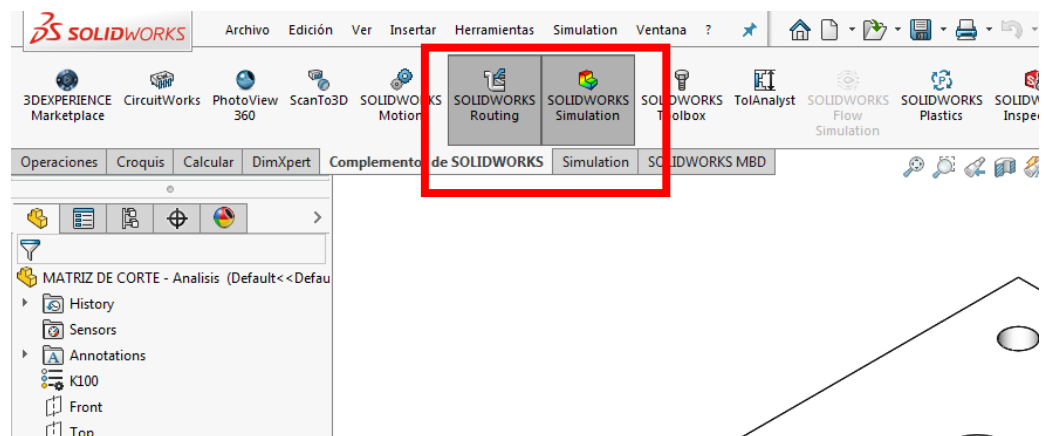


Figura 62. Ventana SOLIDWORKS Simulation

A continuación, se activa la pestaña **Simulation** como se detalla en la figura 63.

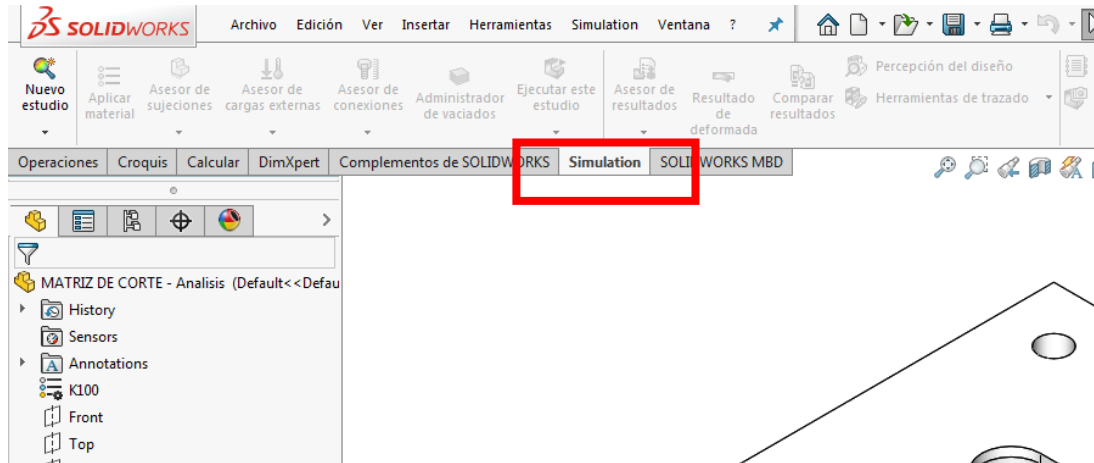


Figura 63. Pestaña Simulation

A continuación, se activa la ventana del **Nuevo Estudio** como se detalla en la figura 64.

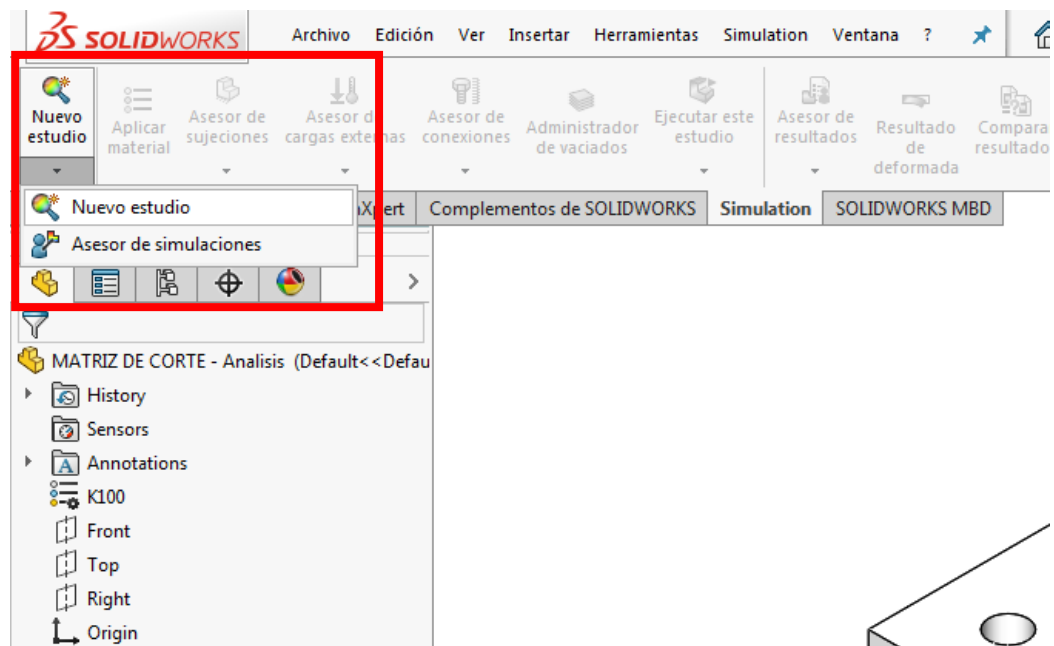


Figura 64. Ventana del Nuevo Estudio

Se continúa con la selección del estudio requerido, como se detalla en la figura 65.

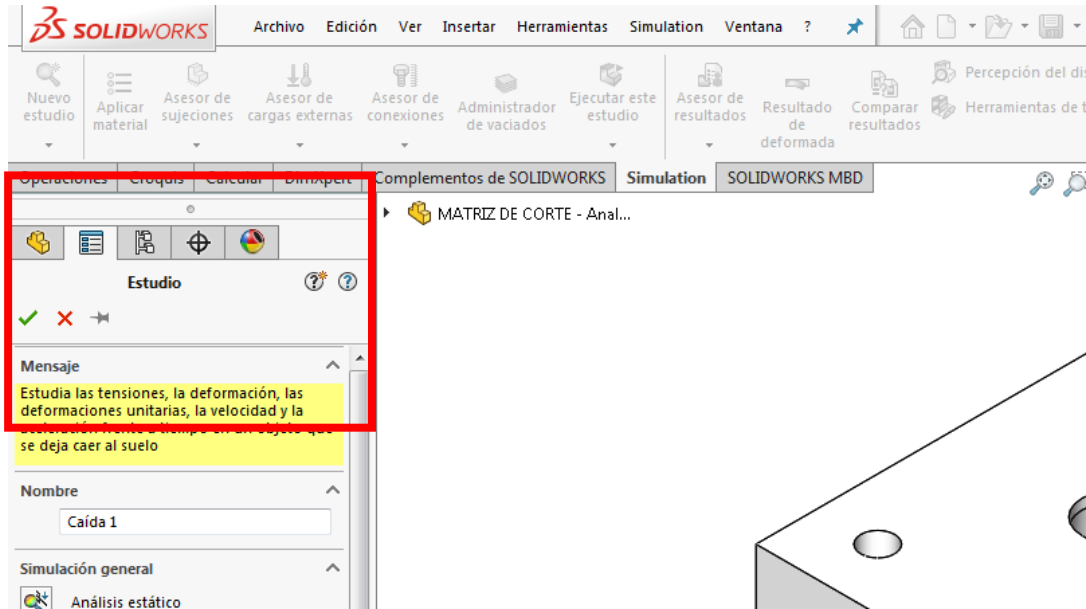


Figura 65. Selección de Estudio

El siguiente paso es selección la opción **Análisis estático**, como se detalla en la figura 66.

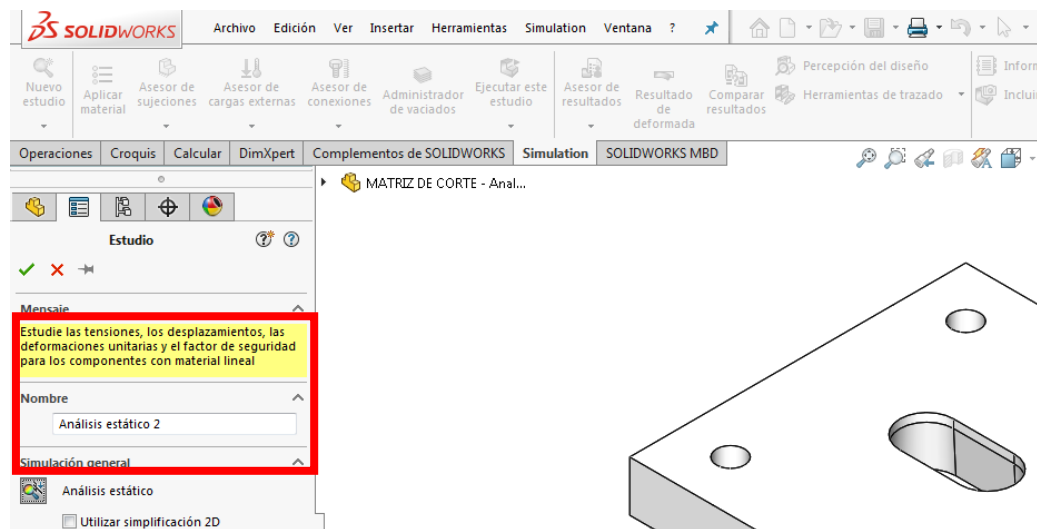


Figura 66. Análisis estático

Seguidamente se debe establecer las cargas y restricciones como se puede observar en la figura 67.

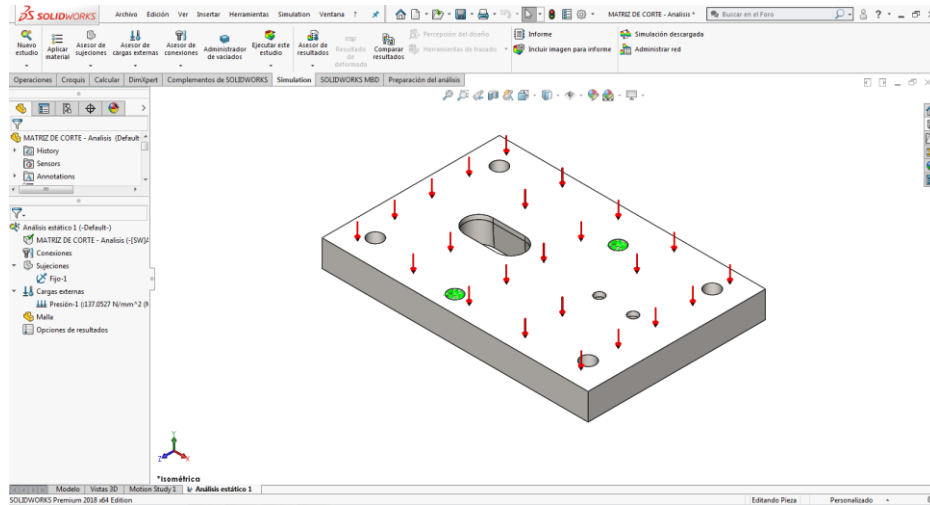


Figura 67. Definición de restricciones y cargas en la Matriz de Corte

Finalmente se procede al mallado de la Matriz de Corte, la misma que se dará:

- En un mallado basado en curvatura de combinado
- Donde se utilizará un mallado de distancia máxima de: 1 mm
- Con un cociente de crecimiento de: 1.5
- Número de mínimo de elementos = 8

Por lo que el resultado de mallado es como se detalla en la Figura 68.

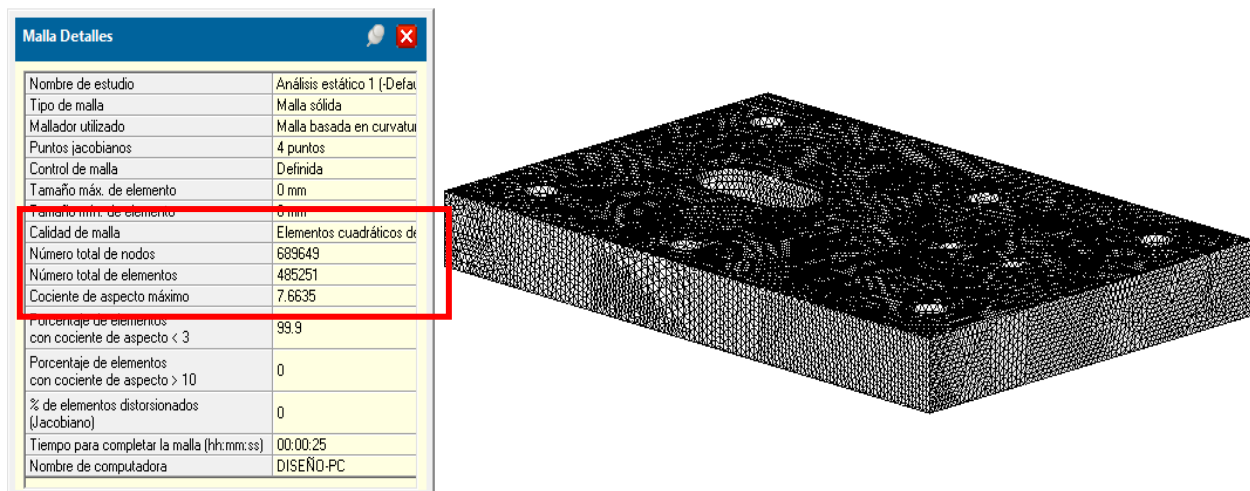


Figura 68. Mallado de la Matriz de Corte

Los parámetros a evaluar, en el diseño mediante simulación de una matriz para troquelar chapas de cobre de interconexión de celdas de baterías de alta tensión de vehículos híbridos son:

- Tipo de Materiales
- Desplazamientos, originados por el Método MEF
- Deformaciones, generado por el Método MEF
- Tensiones, dado por el Método MEF

Resultados

Resultados de Ensayos por el Método de Elementos Finitos (MEF)

Acero K100

A continuación, en la Tabla 8, se estipulan los resultados obtenidos por el Método de Elementos Finitos (MEF) de tensión, deformación máxima, deformación unitaria y el factor de seguridad para la aplicación del acero K100. Estos datos serán comparados con el análisis matemático para la validación de la matriz.

Tabla 8

Resultado obtenido por el Método de Elementos Finitos con el Acero K100

Característica	Ensayo
Tensión, MPa	414.4
Deformación Máxima, mm	0.0182
Deformación Unitaria	0.001158
Factor de Seguridad	2

Según datos obtenidos en la simulación, indican que, dicha fuerza de corte generada de 414.4 MPa, es apropiada para el troquelado de chapas de cobre, que en este caso tendrán como máximo hasta 1 mm de espesor. Como se tiene los datos de la simulación en la figura 69.

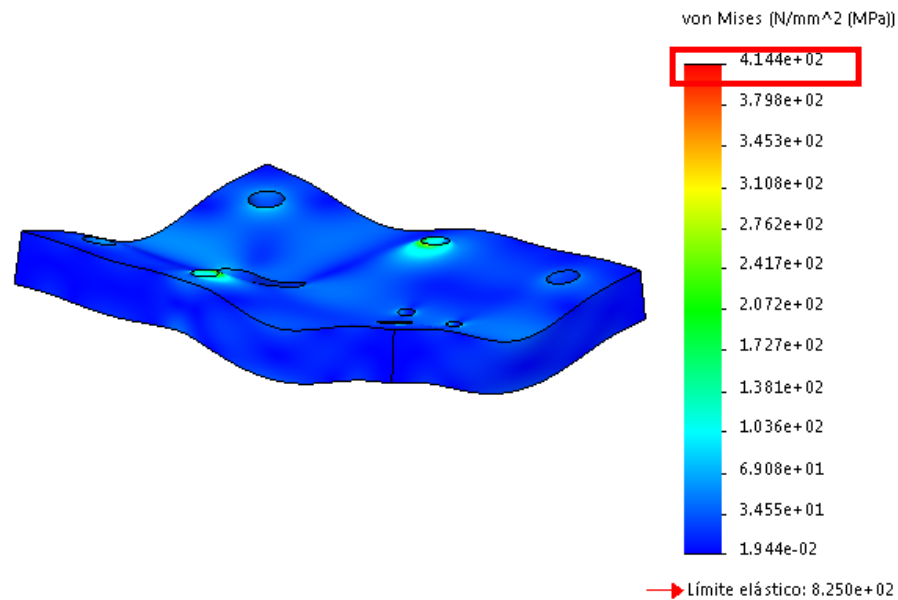


Figura 69. Resultado de análisis estático de la tensión de la Matriz de Corte con Acero K100

En la figura 70. Los datos que se obtienen en el análisis MEF, indican que, la deformación unitaria de la placa en estudio, mediante la simulación aplicando las cargas necesarias para el troquelado de las chapas de cobre, está en el orden de los 0.001158 mm, datos que serán comparados con un análisis matemático.

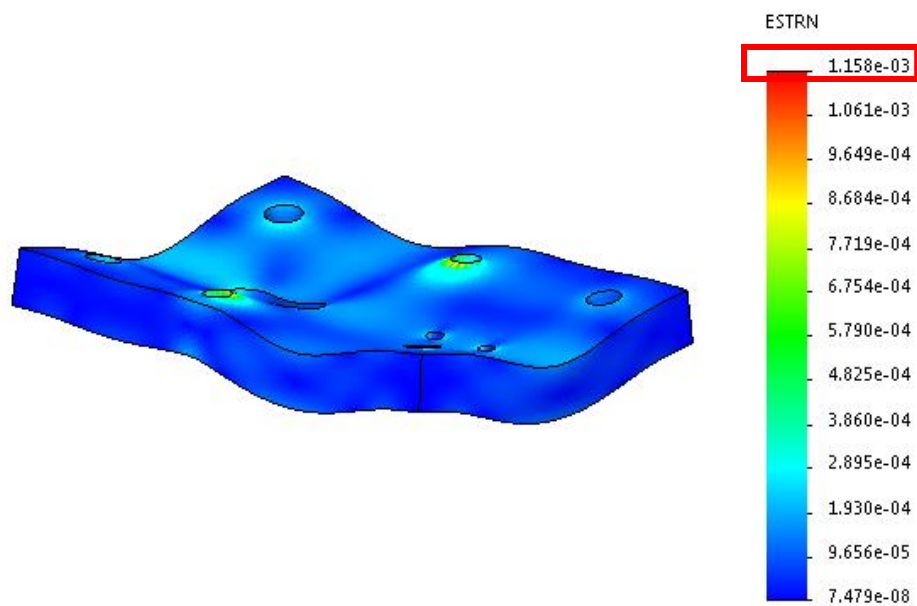


Figura 70. Resultado de análisis deformación unitaria de la Matriz de Corte con Acero K100

En la figura 71. Se tiene, el resultado de análisis deformación máxima de la Matriz de Corte con Acero K100 la deformación unitaria está en el orden de los 0.0182mm, datos que serán comparados con un análisis matemático.

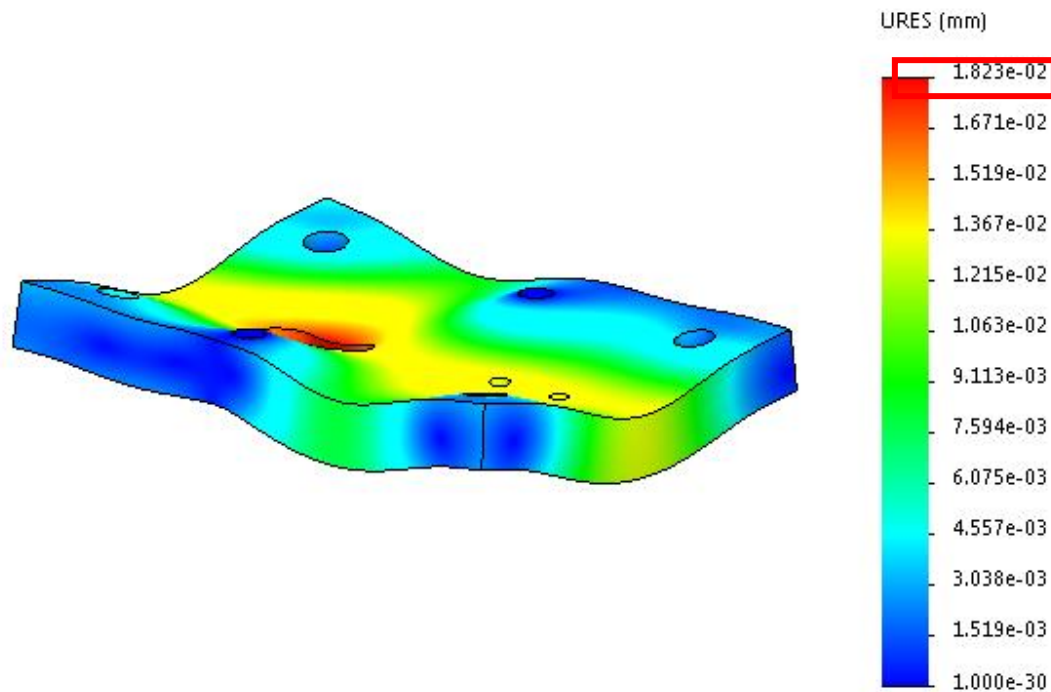


Figura 71. Resultado de análisis deformación máxima de la Matriz de Corte con Acero K100

Como se puede observar, en la figura 72, muestra el resultado de análisis factor de seguridad mínimo de la Matriz de Corte con Acero K100, que en estos resultados nos da un valor de 2, presentado por el programa, dato que deberá ser corroborado por los cálculos matemáticos.

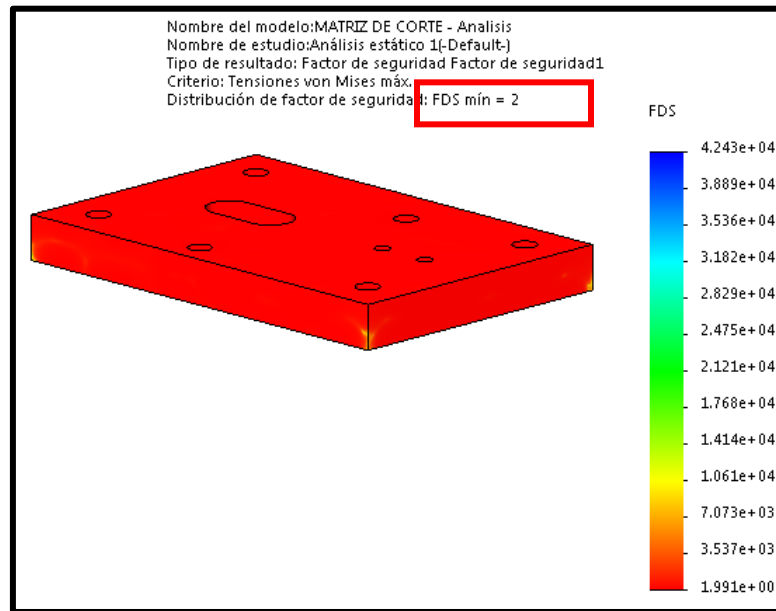


Figura 72. Resultado de análisis factor de seguridad de la Matriz de Corte con Acero K100

Acero AISI 1045

A continuación, en la Tabla 9, se estipulan los resultados obtenidos por el Método de Elementos Finitos (MEF) de tensión, deformación máxima, deformación unitaria y el factor de seguridad para la aplicación del acero AISI 1045. Estos datos serán comparados con el análisis matemático para la validación de la matriz.

Tabla 9

Resultado obtenido por el Método de Elementos Finitos con el Acero AISI 1045.

Característica	Ensayo
Tensión, MPa	414.4
Deformación Máxima, mm	0.01823
Deformación Unitaria	0.001158
Factor de Seguridad	1.2

Según datos obtenidos en la simulación, indican que, dicha fuerza de corte generada de 414.4 MPa, es apropiada para el troquelado de chapas de cobre, que en este caso tendrán como máximo hasta 1 mm de espesor. Como tenemos los datos de la simulación en la figura 73.

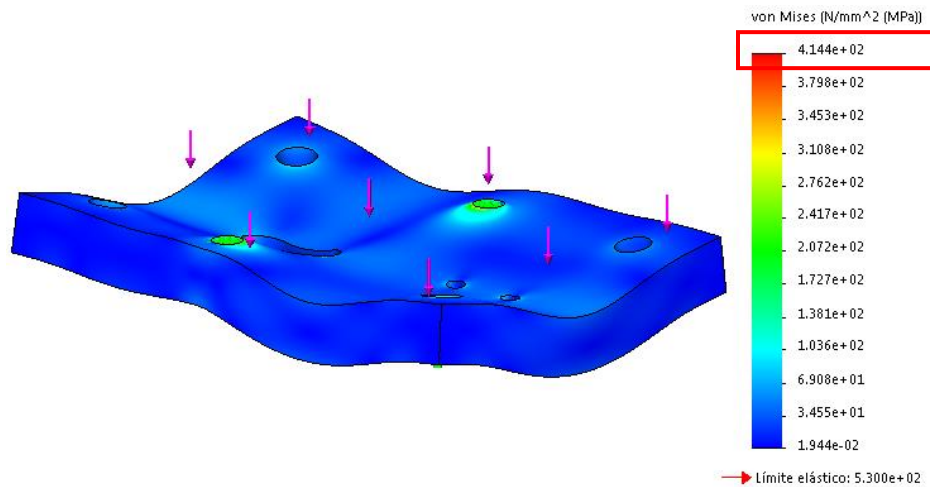


Figura 73. Resultado de análisis estático de la tensión de la Matriz con Acero AISI 1045

Los datos que se obtienen en el análisis MEF, que se indican en la figura 74. Se tiene la deformación unitaria de la placa en estudio, mediante la simulación aplicando las cargas necesarias para el troquelado de las chapas de cobre, está en el orden de los 0.001158 mm, datos que serán comparados con un análisis matemático.

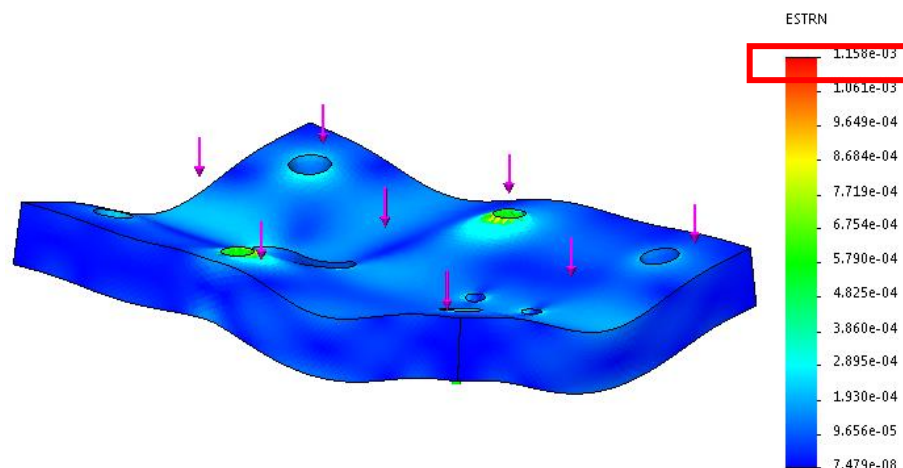


Figura 74. Resultado de análisis deformación unitaria de la Matriz con Acero AISI 1045

En la figura 75. Se tiene, el resultado de análisis deformación máxima de la Matriz de Corte con AISI 1045 y la deformación unitaria está en el orden de los 0.0182mm, datos que serán comparados con un análisis matemático.

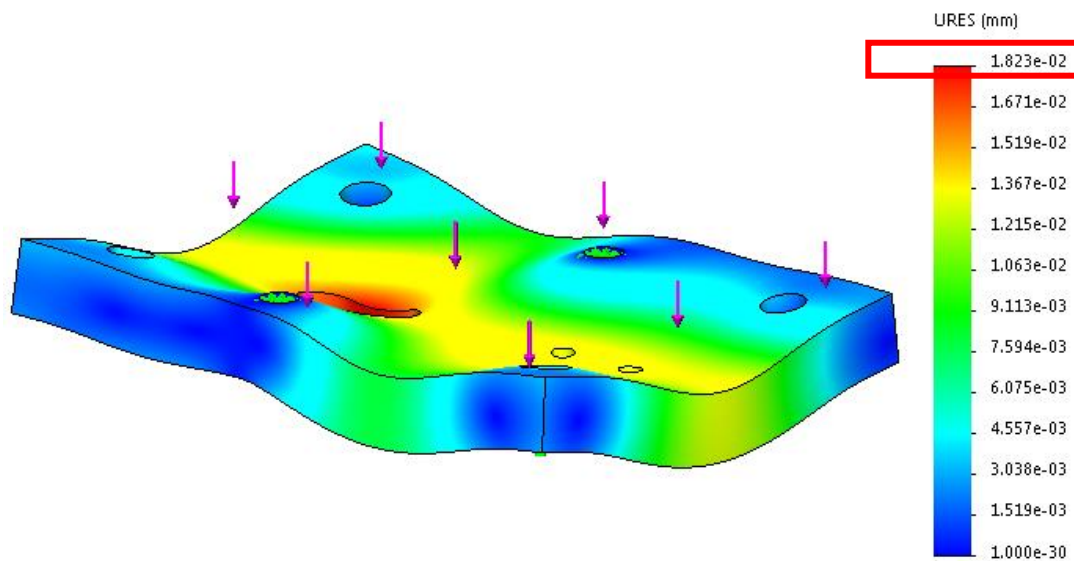


Figura 75. Resultado de análisis deformación máxima de la Matriz con Acero AISI 1045

Como se puede observar, en la figura 76, muestra el resultado de análisis factor de seguridad mínimo de la Matriz de Corte con Acero AISI 1045, que en estos resultados nos da un valor de 1.2, presentado por el programa, dato que deberá ser corroborado por los cálculos matemáticos.



Figura 76. Resultado de análisis factor de seguridad de la Matriz con Acero AISI 1045.

Acero AISI 4340

Se estipulan en la Tabla 10, los resultados obtenidos por el Método de Elementos Finitos (MEF). De la tensión, deformación máxima, deformación unitaria y el factor de seguridad para la aplicación del acero AISI 4340. Estos datos serán comparados con el análisis matemático para la validación de la matriz.

Tabla 10

Resultado obtenido por el Método de Elementos Finitos con el Acero AISI 4340

Característica	Ensayo
Tensión, MPa	414.4
Deformación Máxima, mm	0.01823
Deformación Unitaria	0.001158
Factor de Seguridad	1.1

Según datos obtenidos en la simulación del acero AISI 4340, indican que, dicha fuerza de corte generada de 414.4 MPa, es apropiada para el troquelado de chapas de cobre. Como tenemos los datos de la simulación en la figura 77.

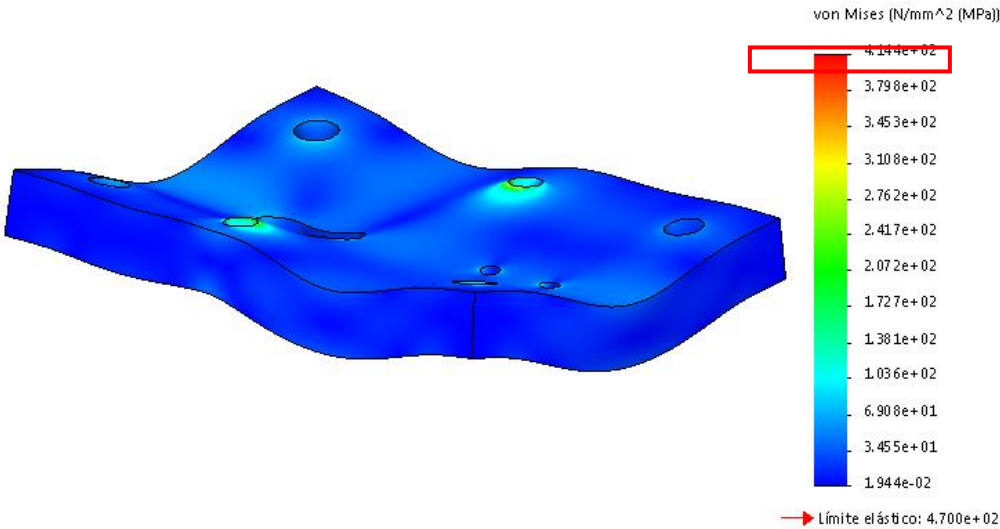


Figura 77. Resultado de análisis estático de la tensión de la Matriz con Acero AISI 4340

Los datos que se obtienen en el análisis MEF, que se indican en la figura 78. Se tiene la deformación unitaria de la placa en estudio, mediante la simulación aplicando las cargas necesarias para el troquelado de las chapas de cobre, está en el orden de los 0.001158 mm, datos que serán comparados con un análisis matemático.

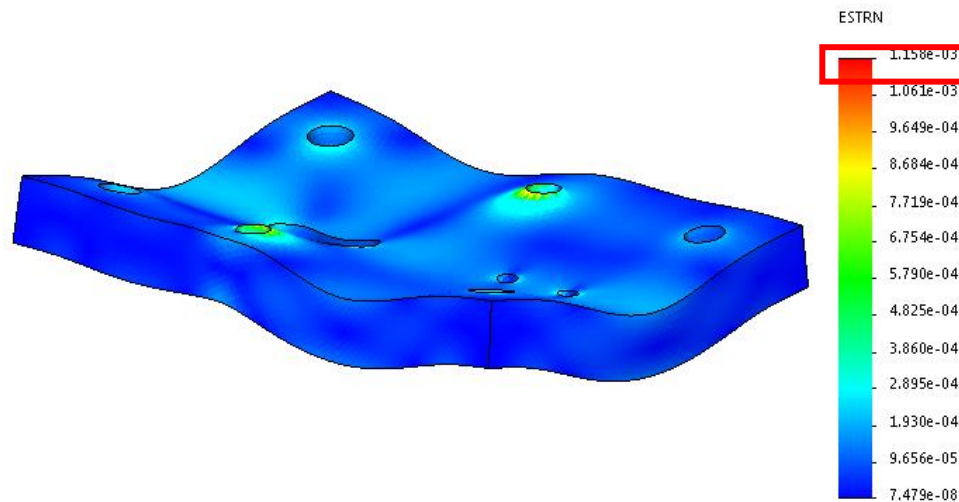


Figura 78. Resultado de análisis deformación unitaria de la Matriz con Acero AISI 4340

En la figura 79. Se tiene, el resultado de análisis deformación máxima de la Matriz de Corte con Acero AISI 4340 y la deformación unitaria está en el orden de los 0.0182mm, datos que serán comparados con un análisis matemático.

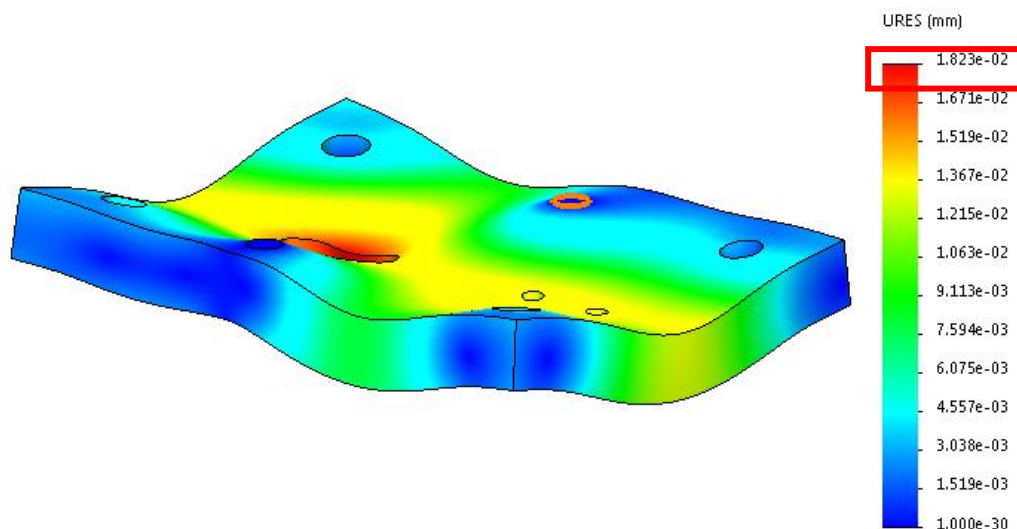


Figura 79. Resultado de análisis deformación máxima de la Matriz con Acero AISI 4340

Como se puede observar, en la figura 80, muestra el resultado de análisis factor de seguridad mínimo de la Matriz de Corte con Acero AISI 4340, que en estos resultados nos da un valor de 1.1, presentado por el programa, dato que deberá ser corroborado por los cálculos matemáticos.

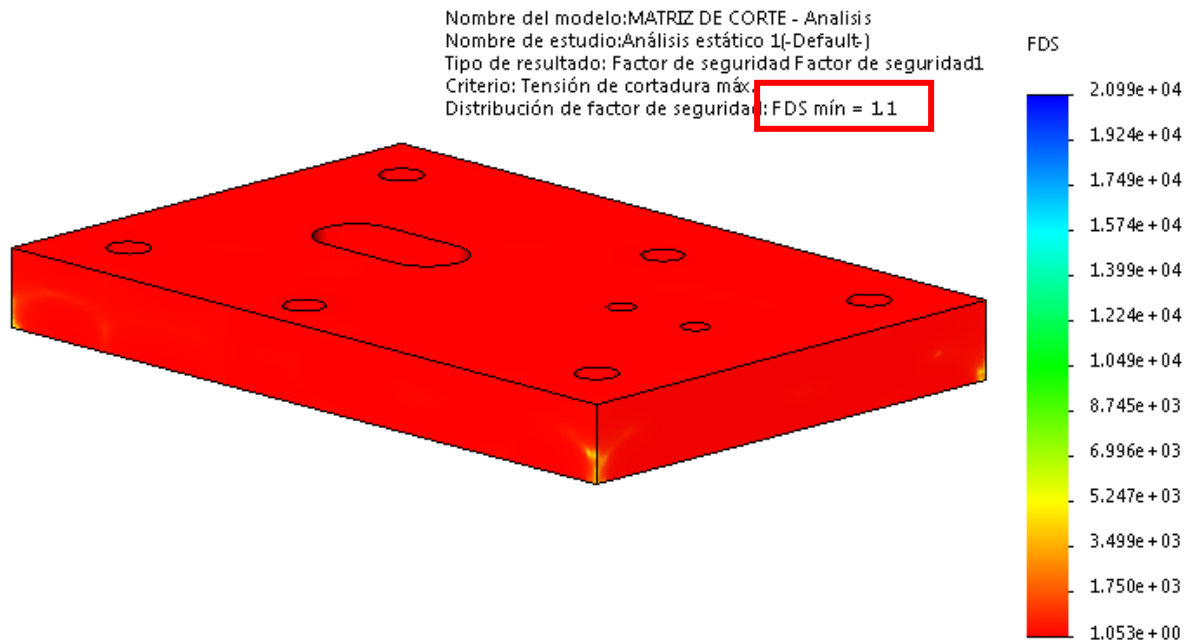


Figura 80. Resultado de análisis factor de seguridad de la Matriz con Acero AISI 4340

Acero AISI 4140

A continuación, en la Tabla 11, se estipulan los resultados obtenidos por el Método de Elementos Finitos (MEF). De la tensión, deformación máxima, deformación unitaria y el factor de seguridad para la aplicación del Acero AISI 4140. De la misma manera que los anteriores materiales, estos datos serán comparados con el análisis matemático para la validación de la matriz.

Tabla 11

Resultado obtenido por el Método de Elementos Finitos con el Acero AISI 4140.

Característica	Ensayo
Tensión, MPa	414.4
Deformación Máxima, mm	0.01823
Deformación Unitaria	0.001158
Factor de Seguridad	1.7

Según datos obtenidos en la simulación del acero AISI 4140, indican que, dicha fuerza de corte generada de 414.4 MPa, es apropiada para el troquelado de chapas de cobre. Como tenemos los datos de la simulación en la figura 81.

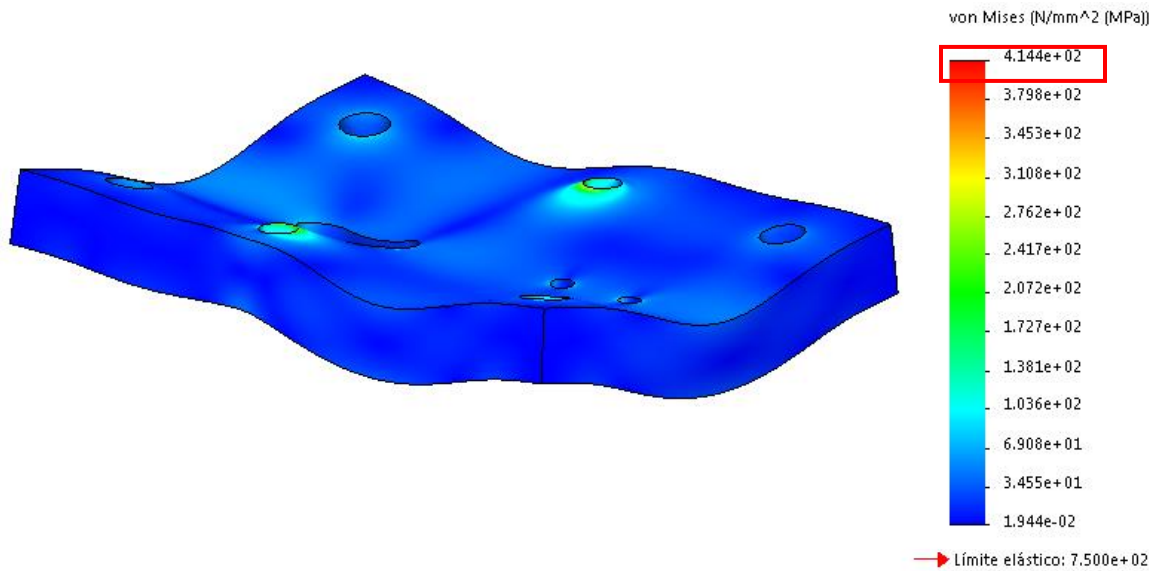


Figura 81. Resultado de análisis estático de la tensión de la Matriz con Acero AISI 4140.

Los datos que se obtienen en el análisis MEF, que se indican n la figura 82. Se tiene la deformación unitaria de la placa en estudio, mediante la simulación aplicando las cargas

necesarias para el troquelado de las chapas de cobre, está en el orden de los 0.001158 mm, datos que serán comparados con un análisis matemático.

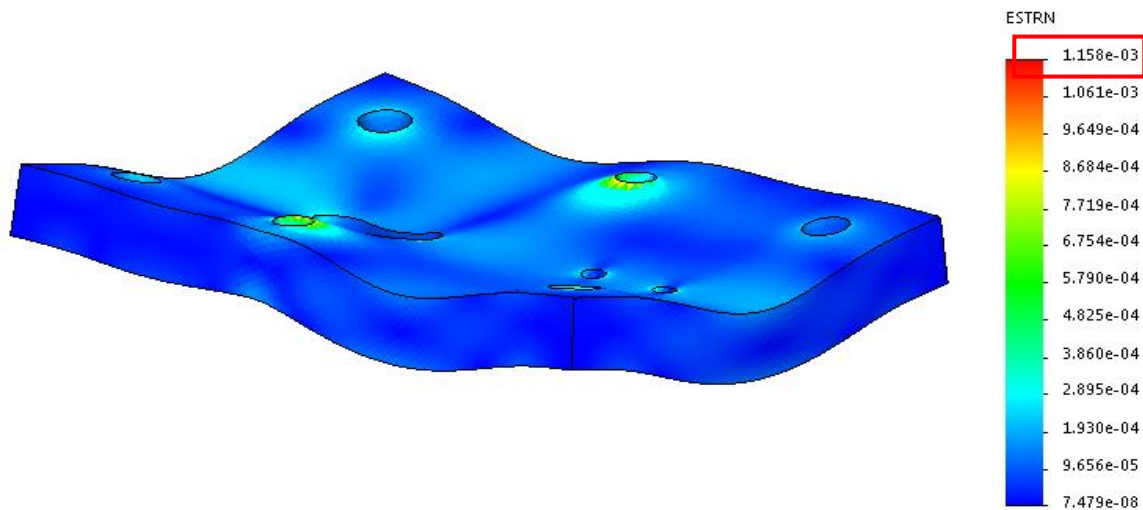


Figura 82. Resultado de análisis deformación unitaria de la Matriz con Acero AISI 4140.

En la figura 83. Se tiene, el resultado de análisis deformación máxima de la Matriz de Corte con Acero AISI 4140y la deformación unitaria está en el orden de los 0.0182mm, datos que serán comparados con un análisis matemático.

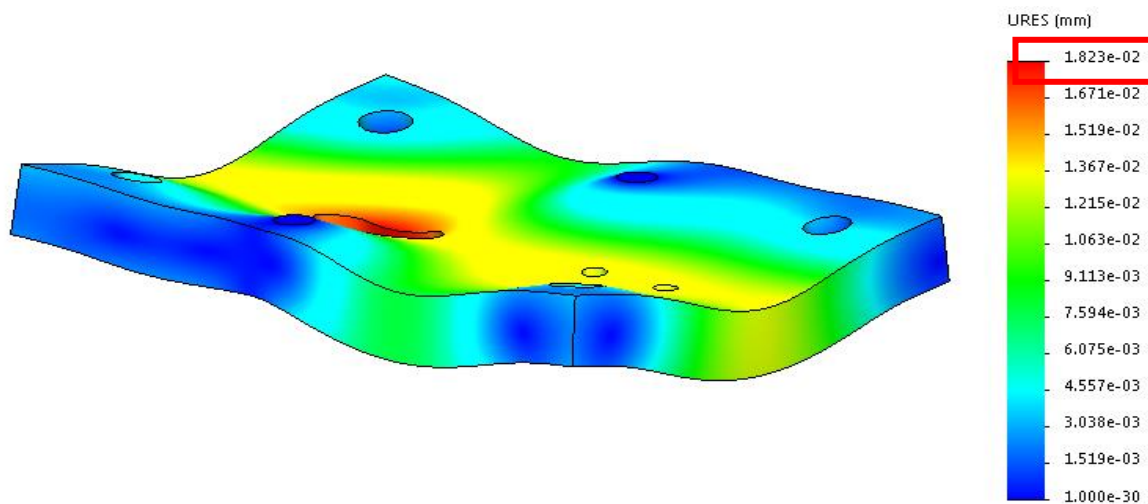


Figura 83. Resultado de análisis deformación máxima de la Matriz con Acero AISI 4140.

Como se puede observar, en la figura 84, muestra el resultado de análisis factor de seguridad mínimo de la Matriz de Corte con Acero AISI 4140, que en estos resultados nos da un valor de 1.7, presentado por el programa, dato que deberá ser corroborado por los cálculos matemáticos.

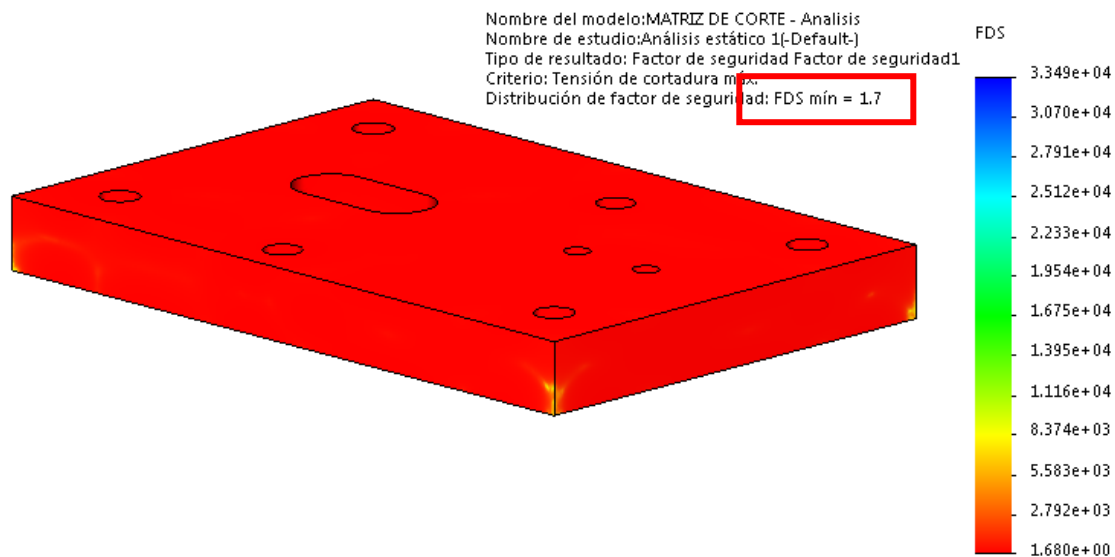


Figura 84. Resultado de análisis factor de seguridad de la Matriz con Acero AISI 4140.

Acero AISI 1018

A continuación, en la Tabla 12, se estipulan los resultados obtenidos por el Método de Elementos Finitos (MEF). De la tensión, deformación máxima, deformación unitaria y el factor de seguridad para la aplicación del Acero AISI 1018. De la misma manera que los anteriores materiales, estos datos serán comparados con el análisis matemático para la validación de la matriz.

Tabla 12

Resultado obtenido por el Método de Elementos Finitos con el Acero AISI 1018

Característica	Ensayo
Tensión, MPa	414.4
Deformación Máxima, mm	0.01823
Deformación Unitaria	0.001158
Factor de Seguridad	0.83

Según datos obtenidos en la simulación, indican que, dicha fuerza de corte generada de 414.4 MPa, es apropiada para el troquelado de chapas de cobre, con Acero AISI 1018. Como tenemos los datos de la simulación en la figura 85.

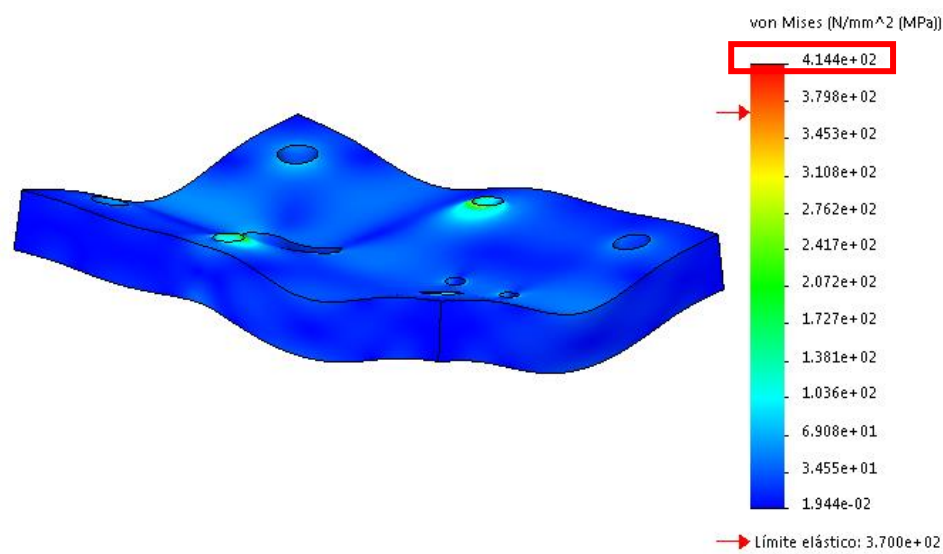


Figura 85. Resultado de análisis estático de la tensión de la Matriz con Acero AISI 1018

Los datos que se obtienen en el análisis MEF, que se indican n la figura 86. Se tiene la deformación unitaria de la placa en estudio con Acero AISI 1018, mediante la simulación aplicando las cargas necesarias para el troquelado de las chapas de cobre, está en el orden de los 0.001158 mm, datos que serán comparados con un análisis matemático.

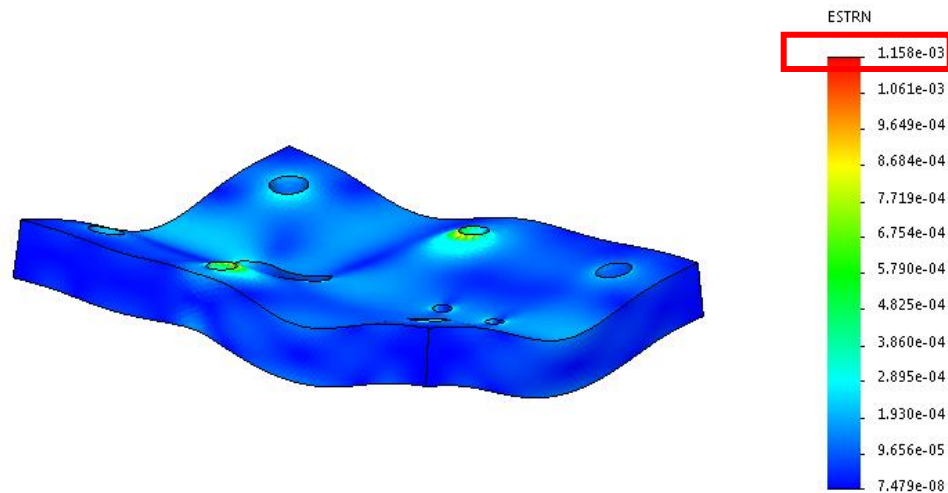


Figura 86. Resultado de análisis deformación unitaria de la Matriz con Acero AISI 1018

En la figura 87. Se tiene, el resultado de análisis deformación máxima de la Matriz de Corte con Acero AISI 1018 y la deformación unitaria está en el orden de los 0.0182mm, datos que serán comparados con un análisis matemático.

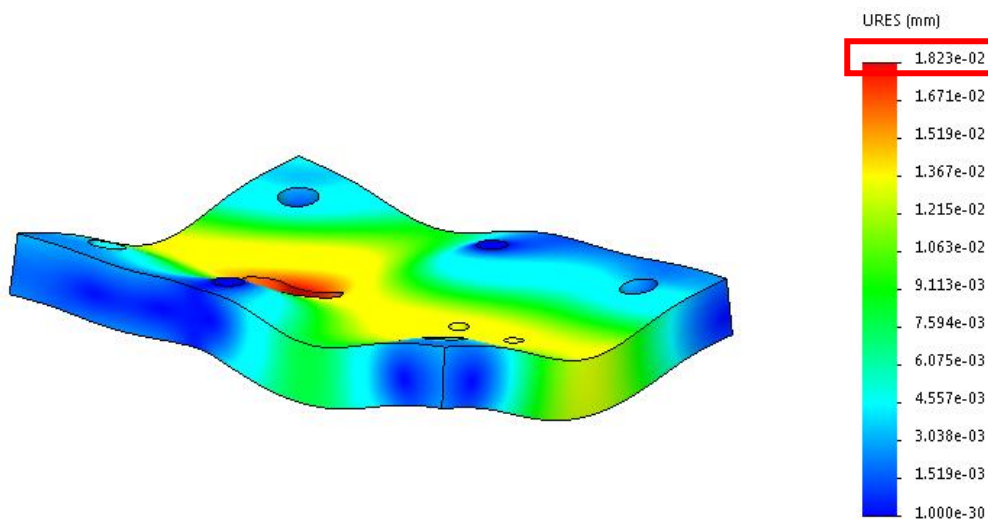


Figura 87. Resultado de análisis deformación máxima de la Matriz con Acero AISI 1018

Como se puede observar, en la figura 88, muestra el resultado de análisis factor de seguridad mínimo de la Matriz de Corte con Acero AISI 1018, que en estos resultados nos da un valor de 0.83, presentado por el programa, dato que deberá ser corroborado por los cálculos matemáticos.

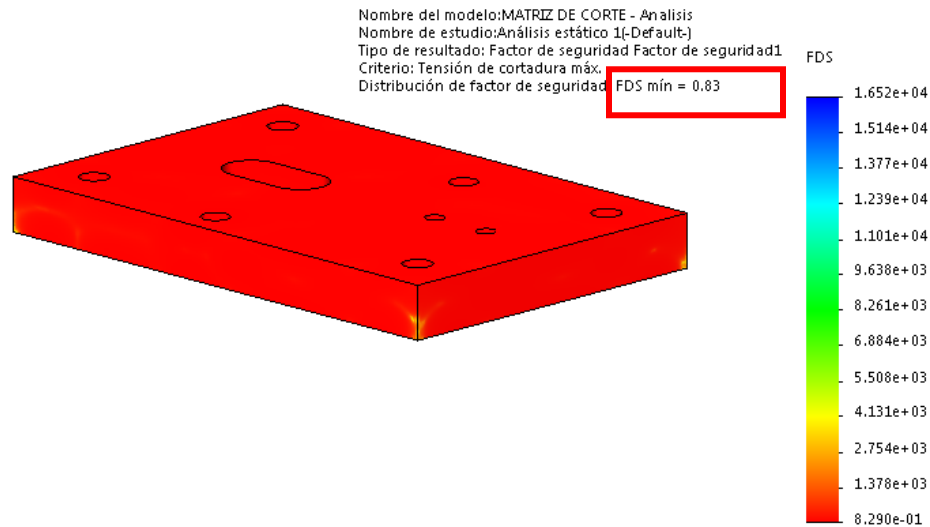


Figura 88. Resultado de análisis factor de seguridad de la Matriz con Acero AISI 1018

Aplicación de resultados MEF comparativos con el análisis matemático

Resultados analíticos con el Acero K100

Una vez llevada a cabo, el modelado tridimensional por el método de elementos finitos MEF, se procede analizar analíticamente de la siguiente manera:

Donde:

- Longitud de la Matriz de corte = 0.120 m
- Alto de la Matriz de Corte = 0.015m
- Centroide (C): 0.0075 m
- Inercia (I_x) :
- Fuerza Cortante (V) = 60750 N
- Momento Flector (M):
- Carga distribuida (q) = 506 250 $\frac{N}{m}$

- Elasticidad (E) = $210\,000\,000\,000 \frac{N}{m^2}$, por utilizarse un Acero K100
- Esfuerzo de Tracción ($\sigma_{m\acute{a}x}$) : ? (Shigley, Budynas, & Nisbett, 2008).
- Desplazamiento en Y o Deflexión Máxima ($Y_{m\acute{a}x}$) : ? (Shigley, Budynas, & Nisbett, 2008).

El siguiente paso a determinar es, los ítems que faltan, los cuales, según, Shigley 2008 se determina de la siguiente manera:

Ecuación 11 Momento flector

$$M = \frac{ql}{2}(l - x) \quad (11)$$

Donde:

- M = Momento Flector Nm
- q = Carga Distribuida = $506\,250 \frac{N}{m}$
- l = Longitud de la Viga = $0.120\,m$

Por lo que:

$$x = \frac{l}{2}$$

$$x = \frac{0.120\,m}{2} = 0.06\,m$$

$$M = \frac{506\,250 \frac{N}{m} \times 0.12\,m}{2} * (0.12\,m - 0.06m) = 1822.5\,N.m$$

El siguiente paso a determinar es la Inercia, en donde según, Shigley (2008) se determina de la siguiente manera:

Ecuación 12 Calculo de inercia

$$I = \frac{h^3 b}{12} \quad (12)$$

Donde:

- b = Base = 15 mm
- h = Altura = 120 mm
- I = Inercia

Por lo que:

$$I = \frac{(0.015 \text{ m})^3 * 0.12 \text{ m}}{12} = 0.00000003375 \text{ m}^4$$

Finalmente se determina:

El Esfuerzo a la Tracción según, Shigley (2008) se determina de la siguiente manera:

Ecuación 13 Esfuerzo de tracción

$$\sigma = \pm \frac{MC}{I} \quad (13)$$

$$\sigma = \frac{1822.5 \text{ N.m} * 0.0075 \text{ m}}{0.00000003375 \text{ m}^4} = \pm 405\,000\,000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = \pm 405 \text{ MPa}$$

El desplazamiento en Y o deflexión máxima producida, según, Shigley (2008) se determina de la siguiente manera:

Ecuación 14 Desplazamiento en Y

$$Y_{m\acute{a}x} = -\frac{5ql^4}{384EI} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} Y_{m\acute{a}x} &= -\frac{5 * 506\,250 \frac{N}{m} * (0.120\,m)^4}{384 * 210\,000\,000\,000 \frac{N}{m^2} * 0.0000003375\,m^4} = -0.00001928\,m \\ &= -0.01928\,mm. \end{aligned}$$

El siguiente paso a determinar es la Deformación Unitaria, según, Shigley (2008) es:

Donde

- A = Ancho de la matriz = 15 mm
- δ = Deformación = 0.01928 mm
- Ec = Deformación Unitaria.

Por lo que:

Ecuación 15 Deformación unitaria

$$Ec = \frac{\delta}{L} \quad (15)$$

$$Ec = \frac{0.01928\,mm}{15\,mm} = 0.001285$$

Factor de Seguridad

El factor de seguridad se determina de la siguiente manera, según, Shigley (2008).

Ecuación 16 Factor de seguridad

$$n = \frac{S}{\sigma} \quad (16)$$

Donde:

- n = Factor de Seguridad
- S = Límite de fluencia = 825 MPa (K100)
- σ = Esfuerzo a la Tracción = 405 MPa

Por lo que:

$$n = \frac{825 \text{ MPa}}{405 \text{ MPa}} = 2.04$$

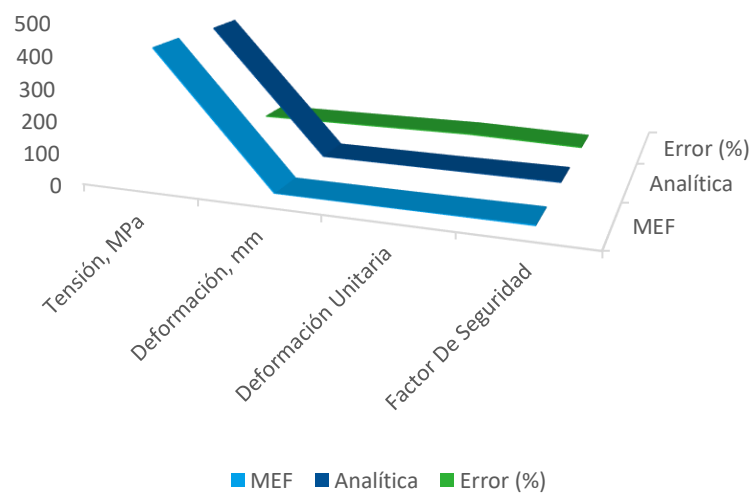


Figura 89. Grafica de resultados % de error del acero K100

En la figura 89 se observa los resultados de la comparación de valores simulados y calculados correspondientes a la Tabla 13, del porcentaje de error entre el análisis matemático y el MEF y se determina que el error no es un porcentaje elevado y se da por válido la respuesta de tensión, deformación y deformación unitaria.

Tabla 13

Comparación de resultados de MEF y Analítica con Acero K100

Característica	MEF	Analítica	Error (%)
Tensión, MPa	414.4	405	0.48
Deformación, mm	0.0182	0.01928	1.07
Deformación Unitaria	0.001158	0.001285	0.16
Factor De Seguridad	2	2.04	0.99
Resultados analíticos con el Acero AISI 1045			

Una vez llevada a cabo, el modelado tridimensional por el método de elementos finitos MEF, se procede analizar analíticamente de la siguiente manera:

Donde:

- Longitud de la Matriz de corte = 0.120 m
- Alto de la Matriz de Corte = 0.015m
- Centroide (C): 0.0075 m
- Inercia (I_x) :
- Fuerza Cortante (V) = 60750 N

- Momento Flector (M):
- Carga distribuida (q) = $506\,250 \frac{N}{m}$
- Elasticidad (E) = $205\,000\,000\,000 \frac{N}{m^2}$, por utilizarse un Acero AISI 1045
- Esfuerzo de Tracción ($\sigma_{m\acute{a}x}$) : ? (Shigley, Budynas, & Nisbett, 2008).
- Desplazamiento en Y o Deflexión Máxima ($Y_{m\acute{a}x}$) : ? (Shigley, Budynas, & Nisbett, 2008).

El siguiente paso a determinar es, los ítems que faltan, los cuales son:

$$M = \frac{ql}{2}(l - x)$$

Donde:

- M = Momento Flector Nm
- q = Carga Distribuida = $506\,250 \frac{N}{m}$
- l = Longitud de la Viga = 0.120 m

Por lo que:

$$x = \frac{l}{2}$$

$$x = \frac{0.120\,m}{2} = 0.06\,m$$

$$M = \frac{506\,250 \frac{N}{m} \cdot 0.12\,m}{2} * (0.12\,m - 0.06m) = 1822.5\,N.m$$

El siguiente paso a determinar es la Inercia:

$$I = \frac{h^3 b}{12}$$

Donde:

- b = Base = 15 mm
- h = Altura = 120 mm
- I = Inercia:

Por lo que:

$$I = \frac{(0.015 \text{ m})^3 * 0.12 \text{ m}}{12} = 0.00000003375 \text{ m}^4$$

Finalmente se determina:

El Esfuerzo a la Tracción

$$\sigma = \pm \frac{MC}{I}$$

$$\sigma = \frac{1822.5 \text{ N.m} * 0.0075 \text{ m}}{0.00000003375 \text{ m}^4} = \pm 405\,000\,000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = \pm 405 \text{ MPa}$$

El desplazamiento en Y o deflexión máxima producida es:

$$Y_{\text{máx}} = -\frac{5ql^4}{384EI}$$

$$\begin{aligned} Y_{\text{máx}} &= -\frac{5 * 506\,250 \frac{\text{N}}{\text{m}} * (0.120 \text{ m})^4}{384 * 205\,000\,000\,000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} * 0.00000003375 \text{ m}^4} = -0.000019756 \text{ m} \\ &= -0.019756 \text{ mm.} \end{aligned}$$

El siguiente paso a determinar es la Deformación Unitaria:

Donde

- A = Ancho de la matriz = 15 mm
- δ = Deformación = 0.019756 mm
- Ec = Deformación Unitaria.

Por lo que:

$$Ec = \frac{\delta}{L}$$

$$Ec = \frac{0.019756 \text{ mm}}{15 \text{ mm}} = 0.001317$$

Factor de Seguridad

El factor de seguridad se determina de la siguiente manera:

$$n = \frac{S}{\sigma}$$

Donde:

- n = Factor de Seguridad
- S = Límite de fluencia = 530 MPa (AISI 1045)
- σ = Esfuerzo a la Tracción = 405 MPa

Por lo que:

$$n = \frac{530 \text{ MPa}}{405 \text{ MPa}} = 1.308$$

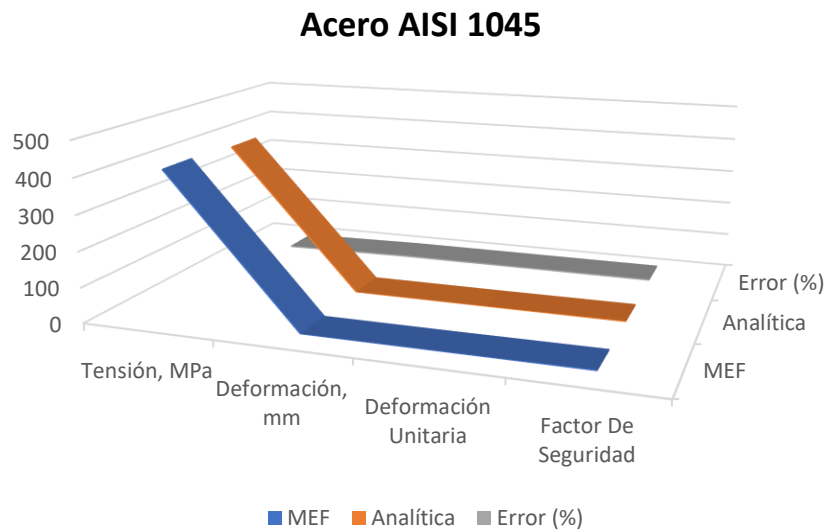


Figura 90. Grafica % error acero 1045

En la comparación entre los resultados MEF y los resultados analíticos, como se identifica en la figura 90 y en la Tabla 14. Se puede notar que, el error no es un porcentaje elevado y de esta manera se da por válido la respuesta de tensión, deformación y deformación unitaria.

Tabla 14

Comparación de resultados de MEF y Analítica con Acero AISI 1045

Característica	MEF	Analítica	Error (%)
Tensión, MPa	414.4	405	0.48
Deformación, mm	0.01823	0.01975	1.6
Deformación Unitaria	0.001158	0.001317	1.69
Factor De Seguridad	1.2	1.3	1.65

Resultados analíticos con el Acero AISI 4340

Una vez llevada a cabo, el modelado tridimensional por el método de elementos finitos MEF, se procede a analizar analíticamente de la siguiente manera:

Donde:

- Longitud de la Matriz de corte = 0.120 m
- Alto de la Matriz de Corte = 0.015m
- Centroide (C): 0.0075 m
- Inercia (I_x) :
- Fuerza Cortante (V) = 60750 N
- Momento Flector (M):
- Carga distribuida (q) = 506 250 $\frac{N}{m}$
- Elasticidad (E) = 205 000 000 000 $\frac{N}{m^2}$, por utilizarse un Acero AISI 4340
- Esfuerzo de Tracción ($\sigma_{m\acute{a}x}$) : ? (Shigley, Budynas, & Nisbett, 2008).
- Desplazamiento en Y o Deflexión Máxima ($Y_{m\acute{a}x}$) : ? (Shigley, Budynas, & Nisbett, 2008).

El siguiente paso a determinar es, los ítems que faltan, los cuales son:

$$M = \frac{ql}{2}(l - x)$$

Donde:

- M = Momento Flector Nm

- $q = \text{Carga Distribuida} = 506\,250 \frac{N}{m}$
- $l = \text{Longitud de la Viga} = 0.120 \text{ m}$

Por lo que:

$$x = \frac{l}{2}$$

$$x = \frac{0.120 \text{ m}}{2} = 0.06 \text{ m}$$

$$M = \frac{506\,250 \frac{N}{m} \times 0.12 \text{ m}}{2} * (0.12 \text{ m} - 0.06 \text{ m}) = 1822.5 \text{ N.m}$$

El siguiente paso a determinar es la Inercia:

$$I = \frac{h^3 b}{12}$$

Donde:

- $b = \text{Base} = 15 \text{ mm}$
- $h = \text{Altura} = 120 \text{ mm}$
- $I = \text{Inercia:}$

Por lo que:

$$I = \frac{(0.015 \text{ m})^3 * 0.12 \text{ m}}{12} = 0.00000003375 \text{ m}^4$$

Finalmente se determina:

El Esfuerzo a la Tracción

$$\sigma = \pm \frac{MC}{I}$$

$$\sigma = \frac{1822.5 \text{ N.m} * 0.0075 \text{ m}}{0.00000003375 \text{ m}^4} = \pm 405\,000\,000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = \pm 405 \text{ MPa}$$

El desplazamiento en Y o deflexión máxima producida es:

$$Y_{\text{máx}} = -\frac{5ql^4}{384EI}$$

$$\begin{aligned} Y_{\text{máx}} &= -\frac{5 * 506\,250 \frac{\text{N}}{\text{m}} * (0.120 \text{ m})^4}{384 * 205\,000\,000\,000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} * 0.0000003375 \text{ m}^4} = -0.000019756 \text{ m} \\ &= -0.019 \text{ mm}. \end{aligned}$$

El siguiente paso a determinar es la Deformación Unitaria:

Donde

- A = Ancho de la matriz = 15 mm
- δ = Deformación = 0.019 mm
- Ec = Deformación Unitaria.

Por lo que:

$$Ec = \frac{\delta}{L}$$

$$Ec = \frac{0.019 \text{ mm}}{15 \text{ mm}} = 0.001267$$

Factor de Seguridad

El factor de seguridad se determina de la siguiente manera:

$$n = \frac{S}{\sigma}$$

Donde:

- n = Factor de Seguridad
- S = Límite de fluencia = 470 MPa (AISI 4340)
- σ = Esfuerzo a la Tracción = 405 MPa

Por lo que:

$$n = \frac{470 \text{ MPa}}{405 \text{ MPa}} = 1.16$$

En la comparación entre los resultados MEF y los resultados analíticos, como se identifica en la figura 91 y en la Tabla 12. Se puede notar que, el error no es un porcentaje elevado y de esta manera se da por válido la respuesta de tensión, deformación y deformación unitaria.

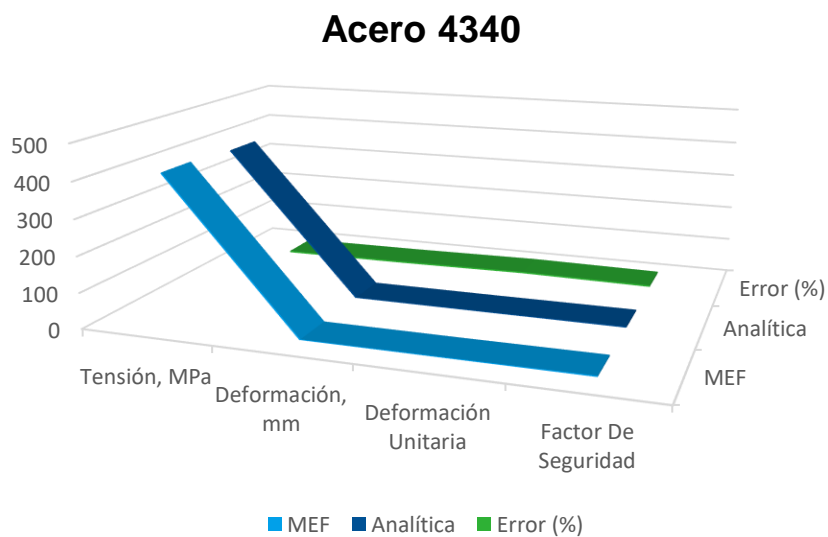


Figura 91. Grafica 5 error con el acero 3440

Tabla 15

Comparación de resultados de MEF y Analítica con Acero 4340.

Característica	MEF	Analítica	Error (%)
Tensión, MPa	414.4	405	0.48
Deformación, mm	0.01823	0.019	1.07
Deformación Unitaria	0.001158	0.001267	0.16
Factor De Seguridad	1.1	1.16	1.77

Resultados analíticos con el Acero AISI 4140

Una vez llevada a cabo, el modelado tridimensional por el método de elementos finitos MEF, se procede analizar analíticamente de la siguiente manera:

Donde:

- Longitud de la Matriz de corte = 0.120 m
- Alto de la Matriz de Corte = 0.015m
- Centroide (C): 0.0075 m
- Inercia (I_x) :
- Fuerza Cortante (V) = 60750 N
- Momento Flector (M):
- Carga distribuida (q) = 506 250 $\frac{N}{m}$

- Elasticidad (E) = 210 000 003 100 $\frac{N}{m^2}$, por utilizarse un Acero AISI 4140
- Esfuerzo de Tracción ($\sigma_{m\acute{a}x}$) : ? (Shigley, Budynas, & Nisbett, 2008).
- Desplazamiento en Y o Deflexión Máxima ($Y_{m\acute{a}x}$) : ? (Shigley, Budynas, & Nisbett, 2008).

El siguiente paso a determinar es, los ítems que faltan, los cuales son:

$$M = \frac{ql}{2}(l - x)$$

Donde:

- M = Momento Flector Nm
- q = Carga Distribuida = 506 250 $\frac{N}{m}$
- l = Longitud de la Viga = 0.120 m

Por lo que:

$$x = \frac{l}{2}$$

$$x = \frac{0.120 \text{ m}}{2} = 0.06 \text{ m}$$

$$M = \frac{506\,250 \frac{N}{m} \cdot 0.12 \text{ m}}{2} * (0.12 \text{ m} - 0.06 \text{ m}) = 1822.5 \text{ N.m}$$

El siguiente paso a determinar es la Inercia:

$$I = \frac{h^3 b}{12}$$

Donde:

- $b = \text{Base} = 15 \text{ mm}$
- $h = \text{Altura} = 120 \text{ mm}$
- $I = \text{Inercia:}$

Por lo que:

$$I = \frac{(0.015 \text{ m})^3 * 0.12 \text{ m}}{12} = 0.00000003375 \text{ m}^4$$

Finalmente se determina:

El Esfuerzo a la Tracción

$$\sigma = \pm \frac{MC}{I}$$

$$\sigma = \frac{1822.5 \text{ N.m} * 0.0075 \text{ m}}{0.00000003375 \text{ m}^4} = \pm 405\,000\,000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = \pm 405 \text{ MPa}$$

El desplazamiento en Y o deflexión máxima producida es:

$$Y_{\text{máx}} = -\frac{5ql^4}{384EI}$$

$$\begin{aligned} Y_{\text{máx}} &= -\frac{5 * 506\,250 \frac{\text{N}}{\text{m}} * (0.120 \text{ m})^4}{384 * 210\,000\,003\,100 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} * 0.00000003375 \text{ m}^4} = -0.00001928 \text{ m} \\ &= -0.01928 \text{ mm.} \end{aligned}$$

El siguiente paso a determinar es la Deformación Unitaria:

Donde

- A = Ancho de la matriz = 15 mm
- δ = Deformación = 0.01928 mm
- E_c = Deformación Unitaria.

Por lo que:

$$E_c = \frac{\delta}{L}$$

$$E_c = \frac{0.01928 \text{ mm}}{15 \text{ mm}} = 0.001285$$

Factor de Seguridad

El factor de seguridad se determina de la siguiente manera:

$$n = \frac{S}{\sigma}$$

Donde:

- n = Factor de Seguridad
- S = Límite de fluencia = 750 MPa (AISI 4140)
- σ = Esfuerzo a la Tracción = 405 MPa

Por lo que:

$$n = \frac{750 \text{ MPa}}{405 \text{ MPa}} = 1.85$$

En la comparación entre los resultados MEF y los resultados analíticos, como se identifica en la figura 92 y en la Tabla 16. Se puede notar que, el error no es un porcentaje elevado y de esta manera se da por válido la respuesta de tensión, deformación y deformación unitaria.

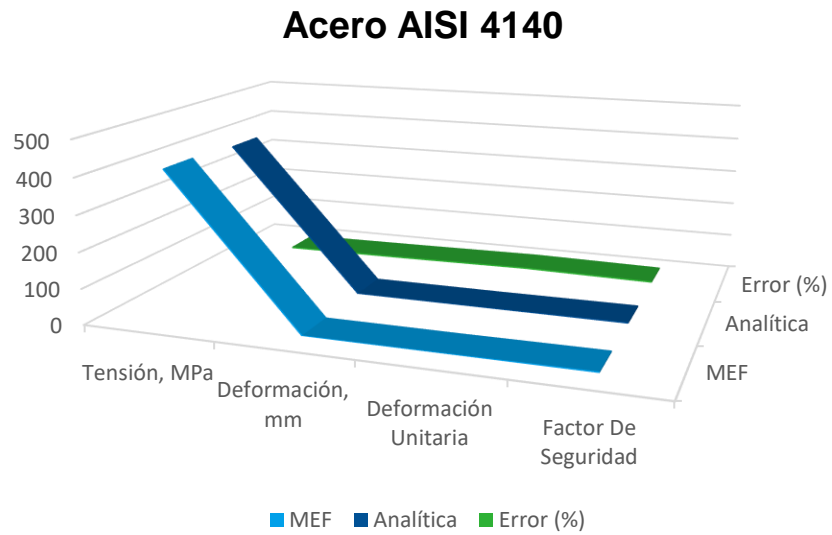


Figura 92. Grafica % error acero 4140

Tabla 16

Comparación de resultados de MEF y Analítica con el Acero AISI 4140.

Característica	MEF	Analítica	Error (%)
Tensión, MPa	414.4	405	0.48
Deformación, mm	0.01823	0.01928	1.07
Deformación Unitaria	0.001158	0.001285	0.16
Factor De Seguridad	1.7	1.8	1.77

Resultados analíticos con el Acero AISI 1018

Una vez llevada a cabo, el modelado tridimensional por el método de elementos finitos MEF, se procede analizar analíticamente de la siguiente manera:

Donde:

- Longitud de la Matriz de corte = 0.120 m
- Alto de la Matriz de Corte = 0.015m
- Centroide (C): 0.0075 m
- Inercia (I_X) :
- Fuerza Cortante (V) = 60750 N
- Momento Flector (M):
- Carga distribuida (q) = 506 250 $\frac{N}{m}$
- Elasticidad (E) = 205 000 003 100 $\frac{N}{m^2}$, por utilizarse un Acero AISI 10180
- Esfuerzo de Tracción ($\sigma_{m\acute{a}x}$) : ? (Shigley, Budynas, & Nisbett, 2008).
- Desplazamiento en Y o Deflexión Máxima ($Y_{m\acute{a}x}$) : ? (Shigley, Budynas, & Nisbett, 2008).

El siguiente paso a determinar es, los ítems que faltan, los cuales son:

$$M = \frac{ql}{2}(l - x)$$

Donde:

- M = Momento Flector Nm
- q = Carga Distribuida = 506 250 $\frac{N}{m}$

- $l = \text{Longitud de la Viga} = 0.120 \text{ m}$

Por lo que:

$$x = \frac{l}{2}$$

$$x = \frac{0.120 \text{ m}}{2} = 0.06 \text{ m}$$

$$M = \frac{506\,250 \frac{\text{N}}{\text{m}} x 0.12 \text{ m}}{2} * (0.12 \text{ m} - 0.06 \text{ m}) = 1822.5 \text{ N.m}$$

El siguiente paso a determinar es la Inercia:

$$I = \frac{h^3 b}{12}$$

Donde:

- $b = \text{Base} = 15 \text{ mm}$
- $h = \text{Altura} = 120 \text{ mm}$
- $I = \text{Inercia:}$

Por lo que:

$$I = \frac{(0.015 \text{ m})^3 * 0.12 \text{ m}}{12} = 0.00000003375 \text{ m}^4$$

Finalmente se determina:

El Esfuerzo a la Tracción

$$\sigma = \pm \frac{MC}{I}$$

$$\sigma = \frac{1822.5 \text{ N.m} * 0.0075 \text{ m}}{0.00000003375 \text{ m}^4} = \pm 405\,000\,000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = \pm 405 \text{ MPa}$$

El desplazamiento en Y o deflexión máxima producida es:

$$Y_{\text{máx}} = -\frac{5ql^4}{384EI}$$

$$Y_{\text{máx}} = -\frac{5 * 506\,250 \frac{\text{N}}{\text{m}} * (0.120 \text{ m})^4}{384 * 205\,000\,000\,000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} * 0.0000003375 \text{ m}^4} = -0.000019756 \text{ m}$$

$$= -0.019756 \text{ mm.}$$

El siguiente paso a determinar es la Deformación Unitaria:

Donde

- A = Ancho de la matriz = 15 mm
- δ = Deformación = 0.019756 mm
- E_c = Deformación Unitaria.

Por lo que:

$$E_c = \frac{\delta}{L}$$

$$E_c = \frac{0.019756 \text{ mm}}{15 \text{ mm}} = 0.0013$$

Factor de Seguridad

El factor de seguridad se determina de la siguiente manera:

$$n = \frac{S}{\sigma}$$

Donde:

- n = Factor de Seguridad
- S = Límite de fluencia = 370 MPa (AISI 1018)
- σ = Esfuerzo a la Tracción = 405 MPa

Por lo que:

$$n = \frac{370 \text{ MPa}}{405 \text{ MPa}} = 0.9$$

En la comparación entre los resultados MEF y los resultados analíticos, como se identifica en la figura 93 y en la Tabla 14. Se puede notar que, el error no es un porcentaje elevado y de esta manera se da por válido la respuesta de tensión, deformación y deformación unitaria.

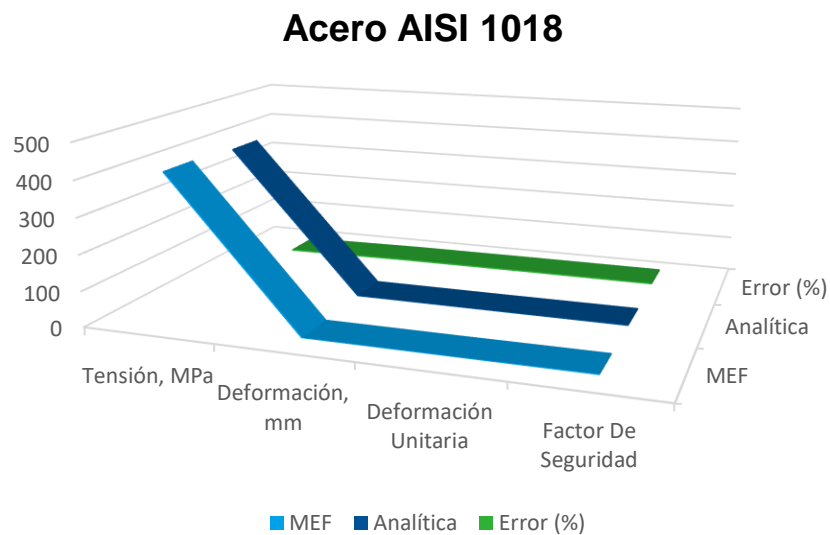


Figura 93. Grafica % error acero 1018

Tabla 17

Comparación de resultados de MEF y Analítica con el Acero AISI 1018.

Característica	MEF	Analítica	Error (%)
Tensión, MPa	414.4	405	0.48
Deformación, mm	0.01823	0.01956	1.07
Deformación Unitaria	0.001158	0.0013	0.16
Factor De Seguridad	0.83	0.9	1.77

Validación de la simulación con el acero K100, por nivel de mallado

Una vez seleccionado el Acero K100, como el mejor material se procede a validar aplicando el mallado a diferentes nodos, este análisis lo realizamos para establecer si los resultados obtenidos en la presente investigación se mantienen estables con una variación de nodos durante la simulación. donde se obtuvieron las siguientes repuestas.

Con 102782 nodos \approx 100000 se tiene

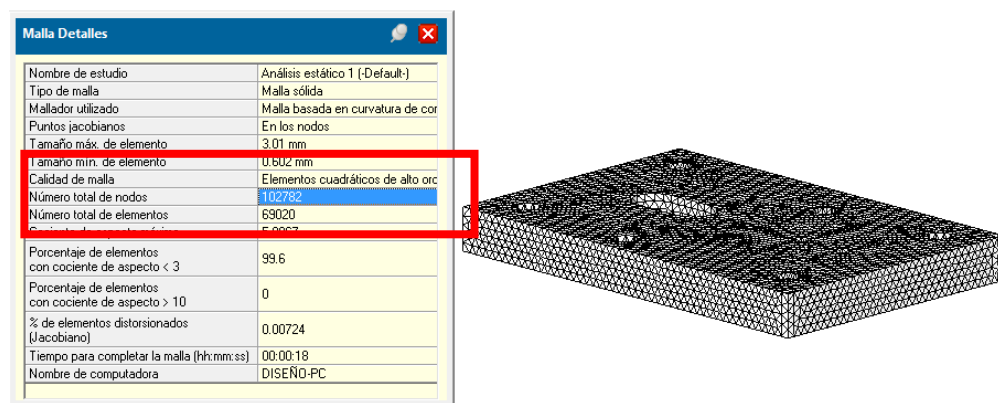


Figura 94. Mallado de la Matriz de Corte de la Matriz con Acero K100 con 102782 nodos

Según datos obtenidos en la simulación del acero K100 con 102782 nodos, indican que, dicha fuerza de corte generada de 400.4 MPa, es apropiada para el troquelado de chapas de cobre.

Como tenemos los datos de la simulación en la figura 95.

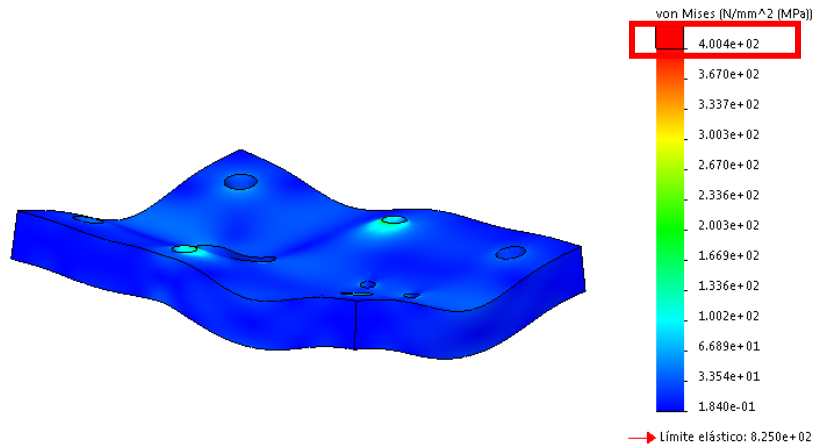


Figura 95. Resultado de análisis estático de la tensión de la Matriz con Acero K100 con 102782 nodos

Los datos que se obtienen en el análisis MEF, que se indican en la figura 96. Se tiene la deformación unitaria de la placa en estudio con Acero K100 con 102782 nodos, mediante la simulación aplicando las cargas necesarias para el troquelado de las chapas de cobre, está en el orden de los 0.001052 mm, datos que serán comparados con un análisis matemático.

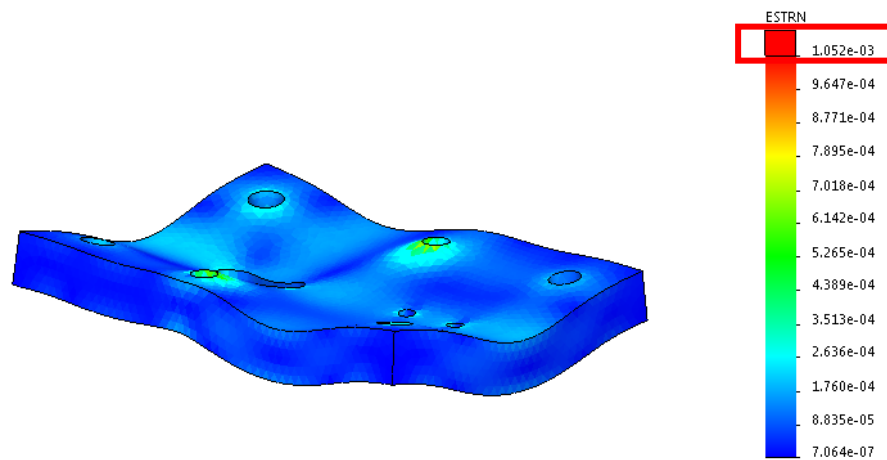


Figura 96. Resultado de análisis deformación unitaria de la Matriz con Acero K100 con 102782 nodos

En la figura 97. Se tiene, el resultado de análisis deformación máxima de la Matriz de Corte con del acero K100 con 102782 nodos, y la deformación unitaria está en el orden de los 0.01815 mm, datos que serán comparados con un análisis matemático.

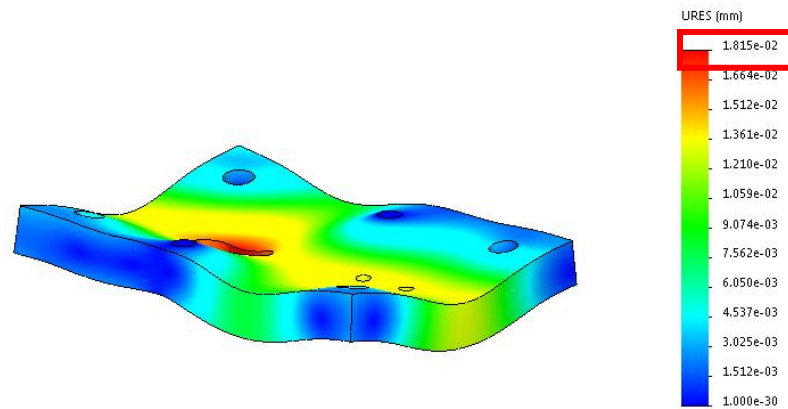


Figura 97. Resultado de análisis deformación máxima de la Matriz con Acero K100 con 102782 nodos

Como se puede observar, en la figura 98, muestra el resultado de análisis factor de seguridad mínimo de la Matriz de Corte con del acero K100 con 102782 nodos, que en estos resultados nos da un valor de 2.6, presentado por el programa, dato que deberá ser corroborado por los cálculos matemáticos.

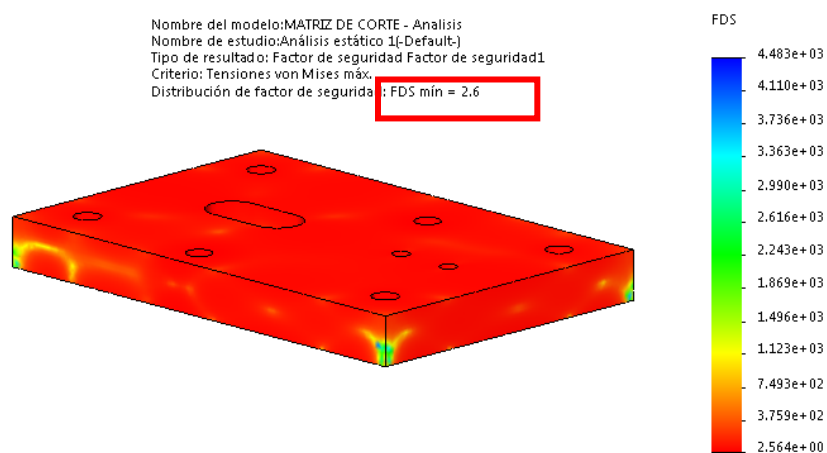


Figura 98. Resultado de análisis factor de seguridad de la Matriz con Acero K100 con 102782 nodos

Con 201783 nodos \approx 200000 se tiene

Malla Detalles	
Nombre de estudio	Análisis estático 1 (-Default)
Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado	Malla basada en curvatura
Puntos jacobianos	En los nodos
Tamaño máx. de elemento	2.35 mm
Tamaño mín. de elemento	0.47 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de
Número total de nodos	201783
Número total de elementos	138714
Cociente de aspecto máximo	6.5278
Porcentaje de elementos con cociente de aspecto < 3	99.8
Porcentaje de elementos con cociente de aspecto > 10	0
% de elementos distorsionados (Jacobiano)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss)	00:00:25
Nombre de computadora	DISEÑO-PC

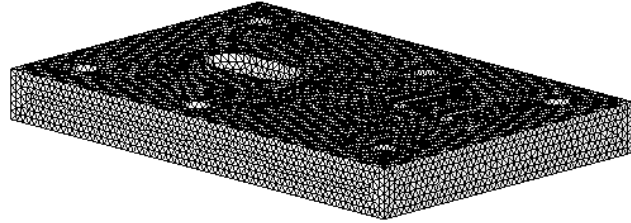


Figura 99. Mallado de la Matriz de Corte de la Matriz con Acero K100 con 201783 nodos

Según datos obtenidos en la simulación del acero K100 con 201783 nodos, indican que, dicha fuerza de corte generada de 403.4 MPa, es apropiada para el troquelado de chapas de cobre.

Como tenemos los datos de la simulación en la figura 100.

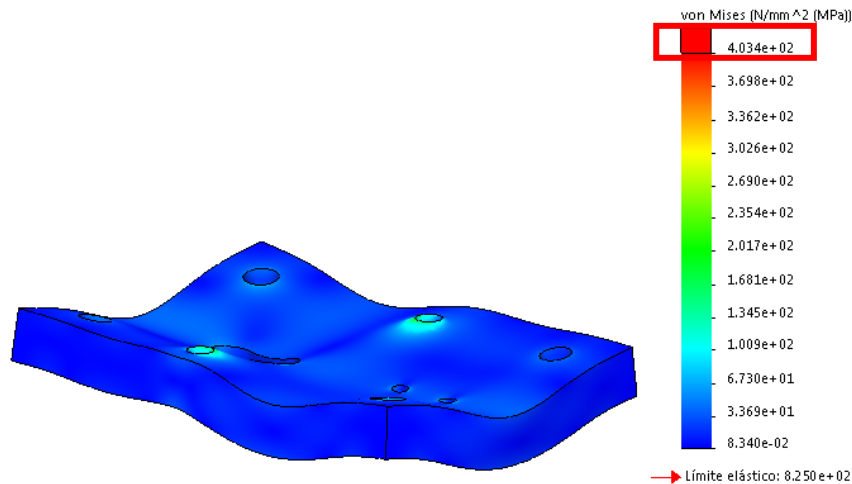


Figura 100. Resultado de análisis estático de la tensión de la Matriz con Acero K100 con 201783 nodos

Los datos que se obtienen en el análisis MEF, que se indican en la figura 101. Se tiene la deformación unitaria de la placa en estudio con Acero K100 con 201783 nodos, mediante la

simulación aplicando las cargas necesarias para el troquelado de las chapas de cobre, está en el orden de los 0.001072 mm, datos que serán comparados con un análisis matemático.

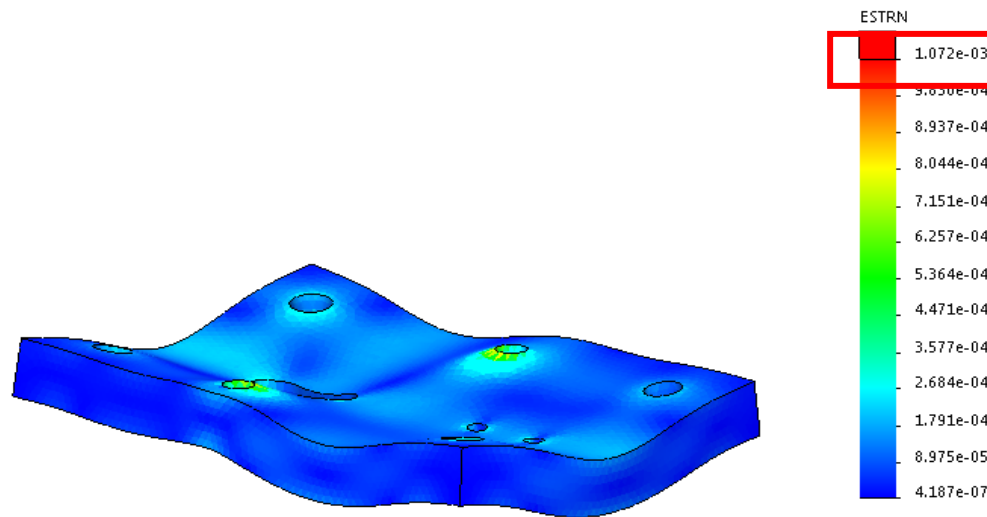


Figura 101. Resultado de análisis deformación unitaria de la Matriz con Acero K100 con 201783 nodos

En la figura 102. Se tiene, el resultado de análisis deformación máxima de la Matriz de Corte con del acero K100 con 102782 nodos, y la deformación unitaria está en el orden de los 0.01819 mm, datos que serán comparados con un análisis matemático.

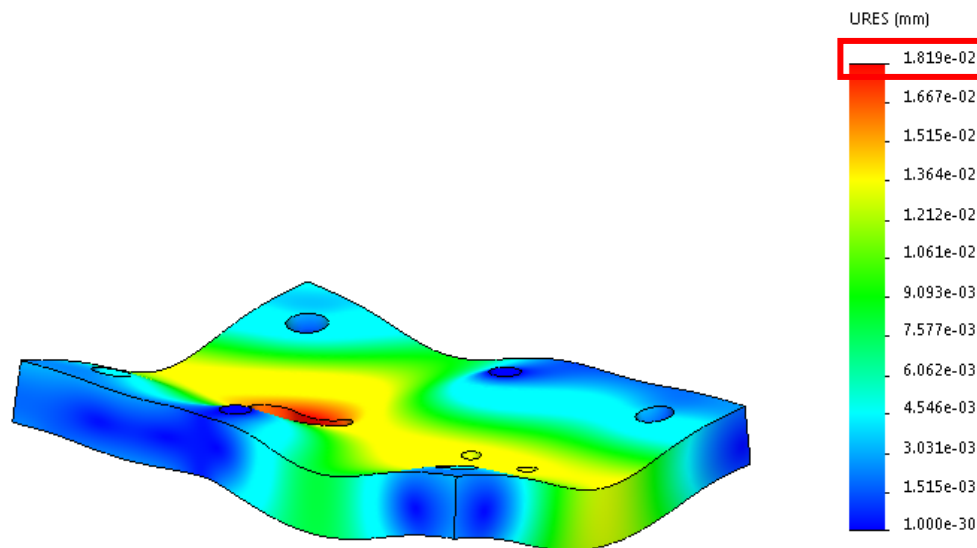


Figura 102. Resultado de análisis deformación máxima de la Matriz con Acero K100 con 201783 nodos

Como se puede observar, en la figura 103 muestra el resultado de análisis factor de seguridad mínimo de la Matriz de Corte con del acero K100 con 201783 nodos, que en estos resultados nos da un valor de 2.5, presentado por el programa, dato que deberá ser corroborado por los cálculos matemáticos.

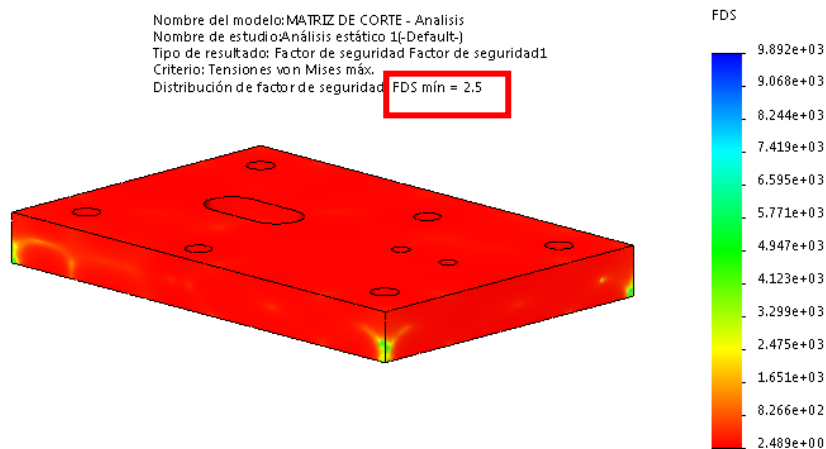


Figura 103. Resultado de análisis factor de seguridad de la Matriz con Acero K100 con 201783 nodos

Con 298213 nodos \approx 300000 nodos se tienen

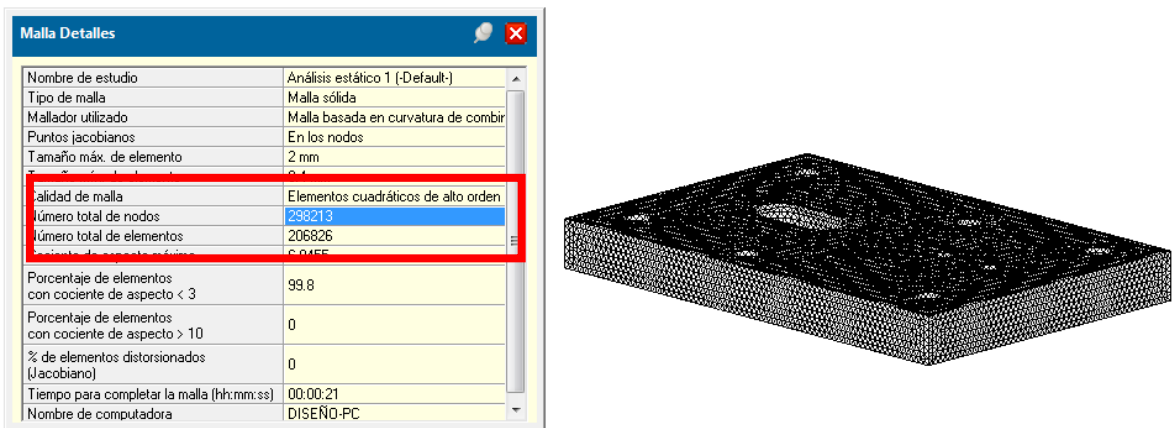


Figura 104. Mallado de la Matriz de Corte de la Matriz con Acero K100 con 298213 nodos

Según datos obtenidos en la simulación del acero K100 con 298213 nodos, indican que, dicha fuerza de corte generada de 408.0 MPa, es apropiada para el troquelado de chapas de cobre.

Como tenemos los datos de la simulación en la figura 105.

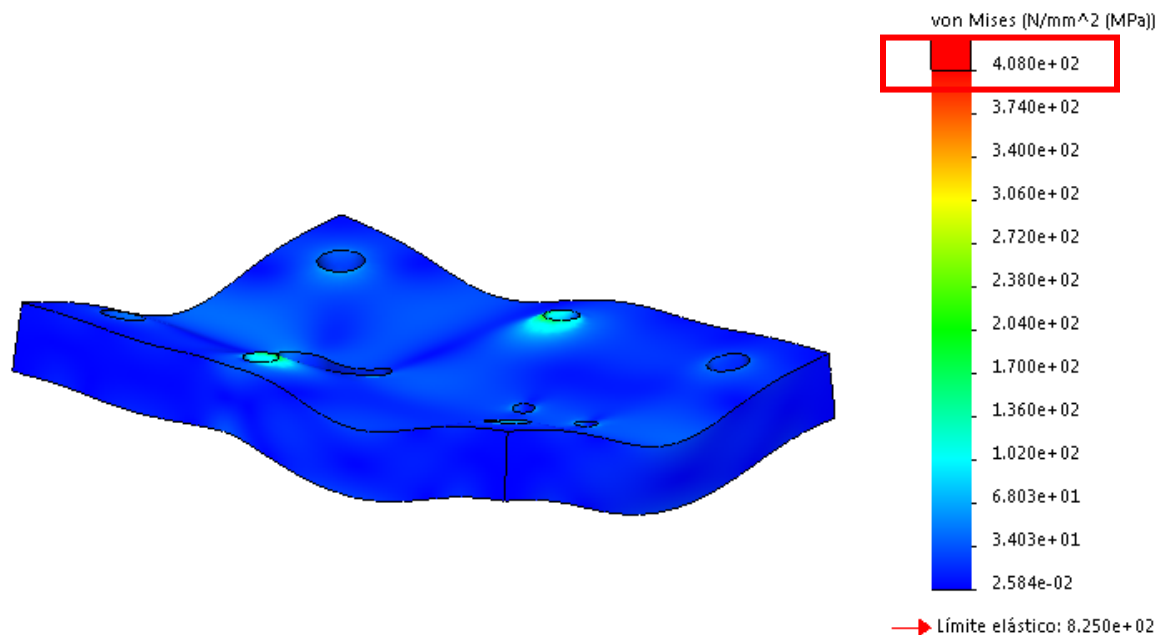


Figura 105. Resultado de análisis estático de la tensión de la Matriz con Acero K100 con 298213 nodos

Los datos que se obtienen en el análisis MEF, que se indican en la figura 106. Se tiene la deformación unitaria de la placa en estudio con Acero K100 con 298213 nodos, mediante la simulación aplicando las cargas necesarias para el troquelado de las chapas de cobre, está en el orden de los 0.001096 mm, datos que serán comparados con un análisis matemático.

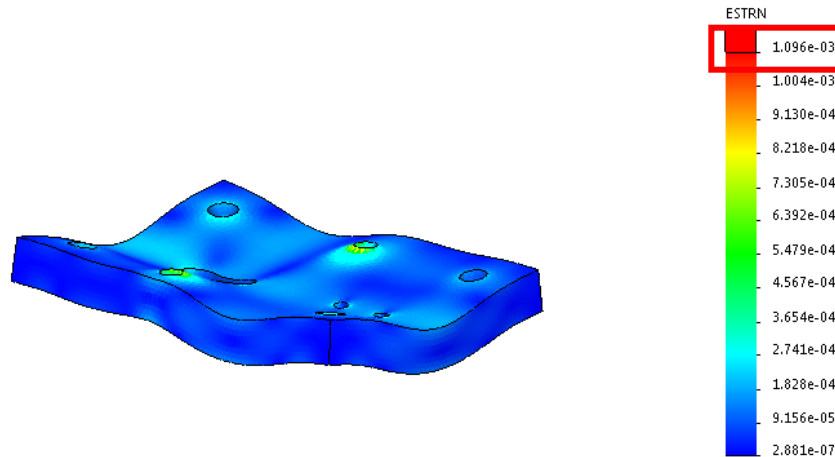


Figura 106. Resultado de análisis deformación unitaria de la Matriz con Acero K100 con 298213 nodos

En la figura 107. Se tiene, el resultado de análisis deformación máxima de la Matriz de Corte con del acero K100 con 298213 nodos, y la deformación unitaria está en el orden de los 0.01819 mm, datos que serán comparados con un análisis matemático.

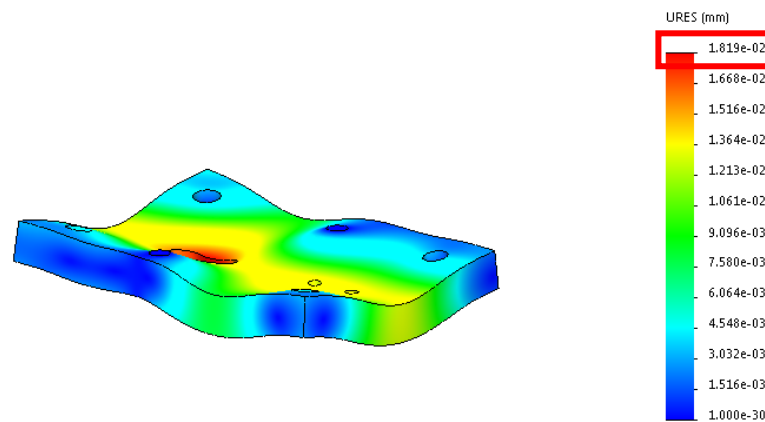


Figura 107. Resultado de análisis deformación máxima de la Matriz con Acero K100 con 298213 nodos

Como se puede observar, en la figura 108, muestra el resultado de análisis factor de seguridad mínimo de la Matriz de Corte con del acero K100 con 298213 nodos, que en estos resultados nos da un valor de 2.3, presentado por el programa, dato que deberá ser corroborado por los cálculos matemáticos.

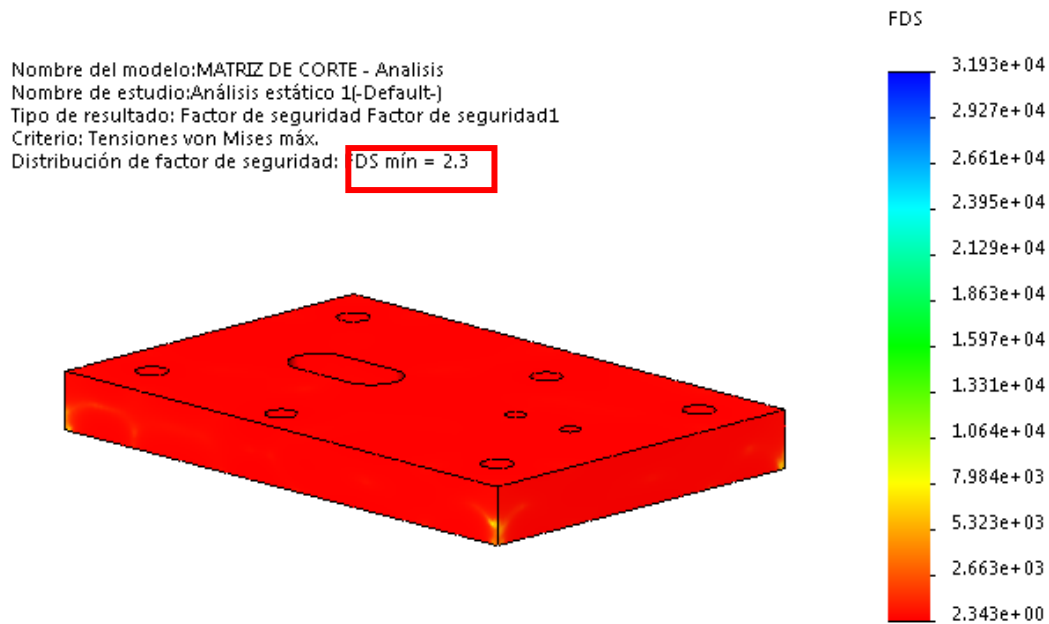


Figura 108. Resultado de análisis factor de seguridad de la Matriz con Acero K100 con 298213 nodos

Con 403759 nodos \approx 400000 nodos se tienen

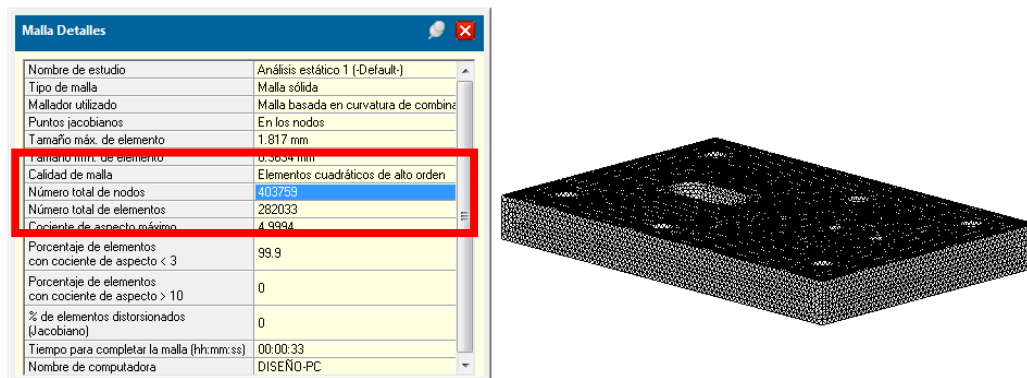


Figura 109. Mallado de la Matriz de Corte de la Matriz con Acero K100 con 403759 nodos

Según datos obtenidos en la simulación del acero K100 con 403759 nodos, indican que, dicha fuerza de corte generada de 410.8 MPa, es apropiada para el troquelado de chapas de cobre.

Como tenemos los datos de la simulación en la figura 110.

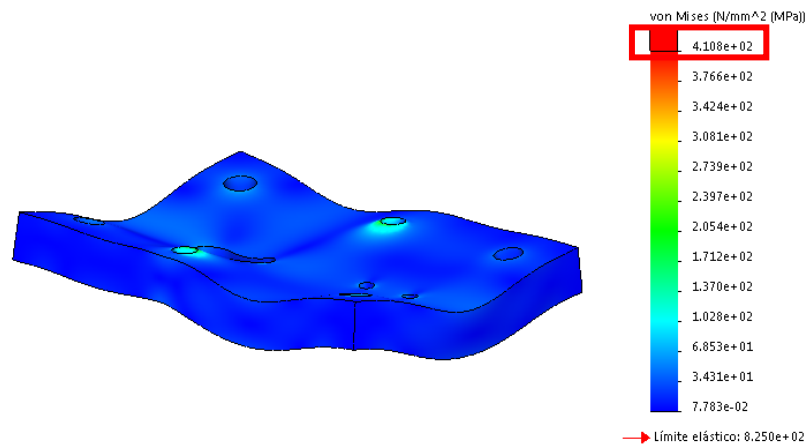


Figura 110. Resultado de análisis estático de la tensión de la Matriz con Acero K100 con 403759 nodos

Los datos que se obtienen en el análisis MEF, que se indican en la figura 111. Se tiene la deformación unitaria de la placa en estudio con Acero K100 con 403759 nodos, mediante la simulación aplicando las cargas necesarias para el troquelado de las chapas de cobre, está en el orden de los 0.001105 mm, datos que serán comparados con un análisis matemático.

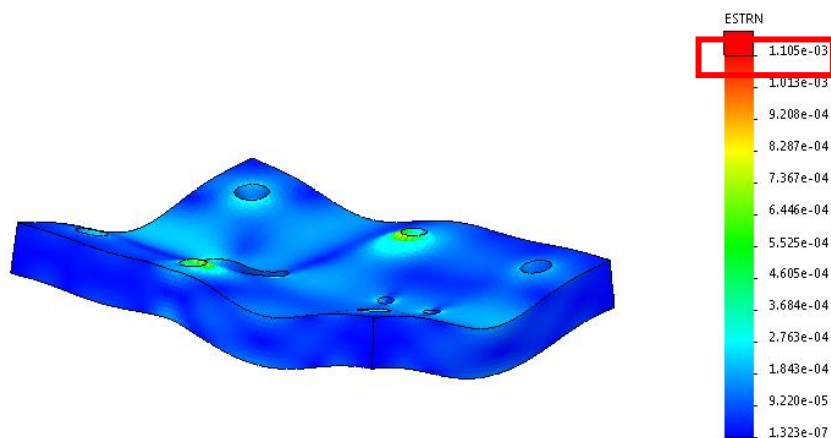


Figura 111. Resultado de análisis deformación unitaria de la Matriz con Acero K100 con 403759 nodos

En la figura 112. Se tiene, el resultado de análisis deformación máxima de la Matriz de Corte con del acero K100 con 403759 nodos, y la deformación unitaria está en el orden de los 0.01821 mm, datos que serán comparados con un análisis matemático.

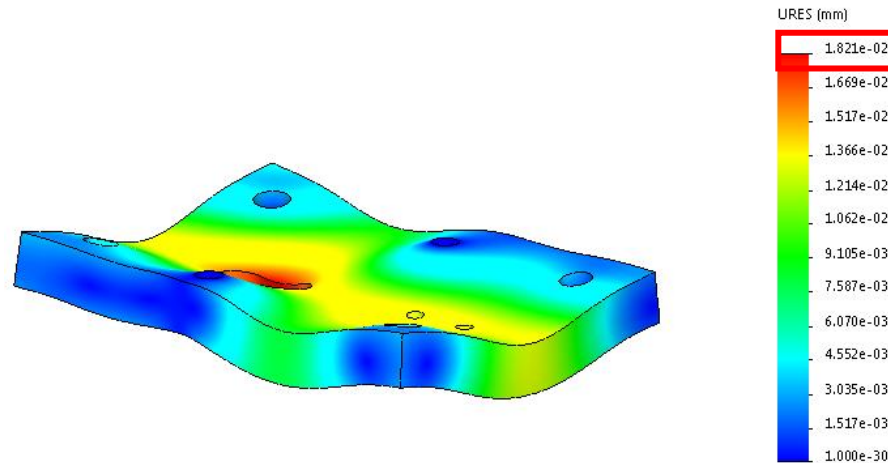


Figura 112. Resultado de análisis deformación máxima de la Matriz con Acero K100 con 403759 nodos

Como se puede observar, en la figura 113, muestra el resultado de análisis factor de seguridad mínimo de la Matriz de Corte con del acero K100 con 403759 nodos, que en estos resultados nos da un valor de 2.3, presentado por el programa, dato que deberá ser corroborado por los cálculos matemáticos.

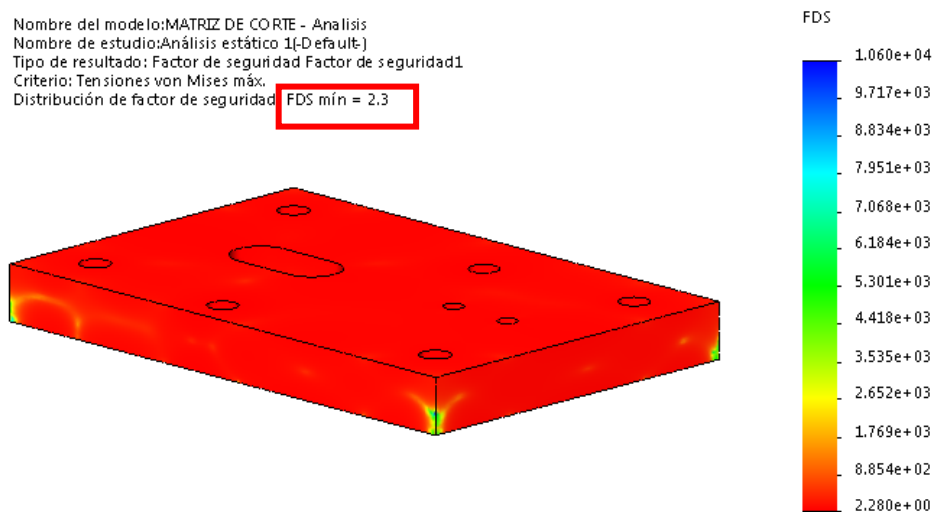


Figura 113. Resultado de análisis factor de seguridad de la Matriz con Acero K100 con 403759 nodos

Con 501763 nodos \approx 500000 nodos se tienen

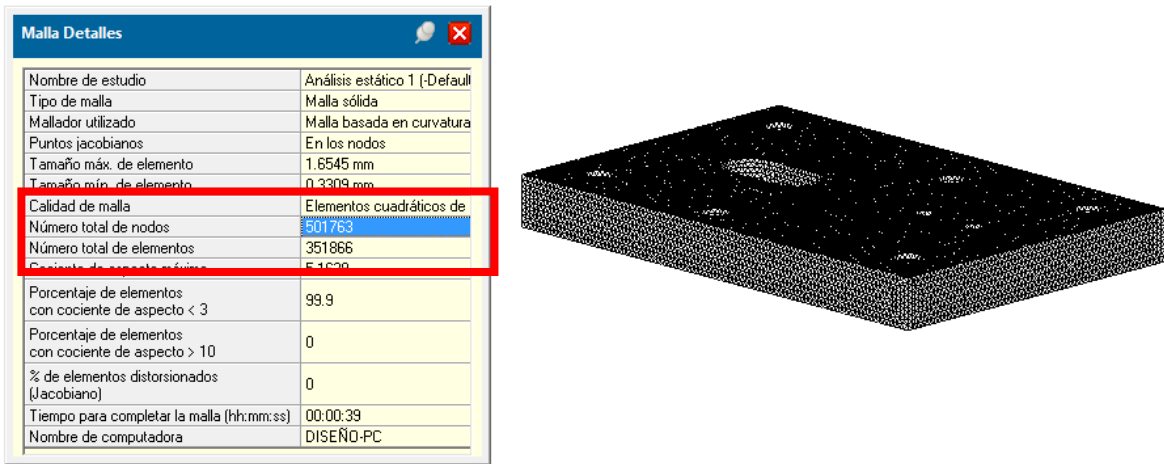


Figura 114. Mallado de la Matriz de Corte de la Matriz con Acero K100 con 501763 nodos

Según datos obtenidos en la simulación del acero K100 con 501763 nodos, indican que, dicha fuerza de corte generada de 412.6 MPa, es apropiada para el troquelado de chapas de cobre.

Como tenemos los datos de la simulación en la figura 115.

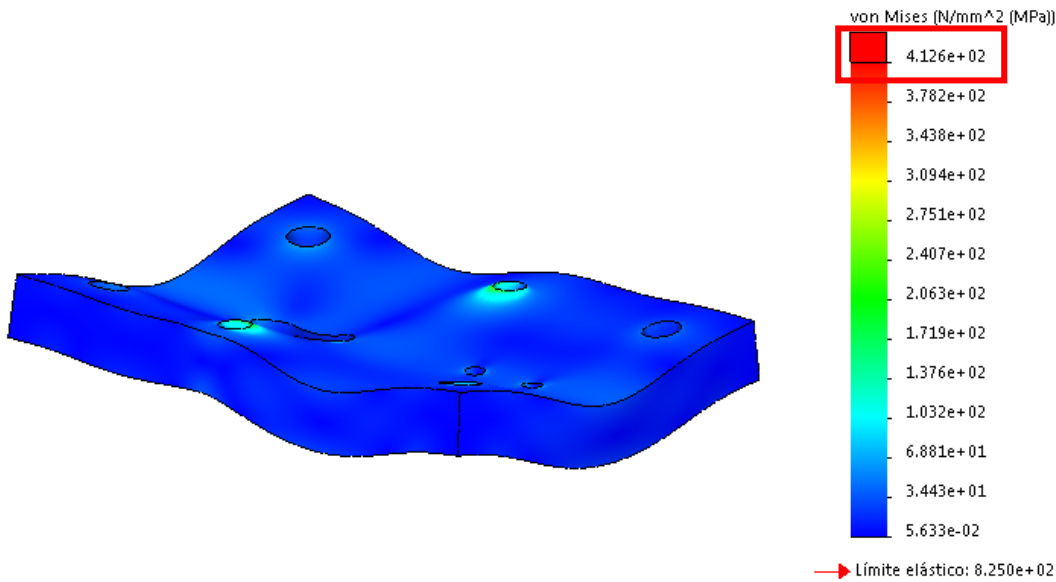


Figura 115. Resultado de análisis estático de la tensión de la Matriz con Acero K100 con 501763 nodos

Los datos que se obtienen en el análisis MEF, que se indican en la figura 116. Se tiene la deformación unitaria de la placa en estudio con Acero K100 con 501763 nodos, mediante la simulación aplicando las cargas necesarias para el troquelado de las chapas de cobre, está en el orden de los 0.0011 mm, datos que serán comparados con un análisis matemático.

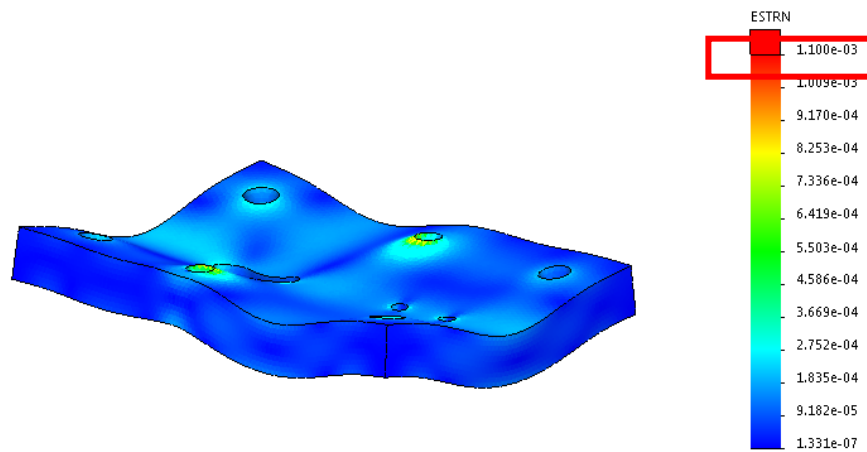


Figura 116. Resultado de análisis deformación unitaria de la Matriz con Acero K100 con 501763 nodos

En la figura 117. Se tiene, el resultado de análisis deformación máxima de la Matriz de Corte con del acero K100 con 501763 nodos, y la deformación unitaria está en el orden de los 0.01821 mm, datos que serán comparados con un análisis matemático.

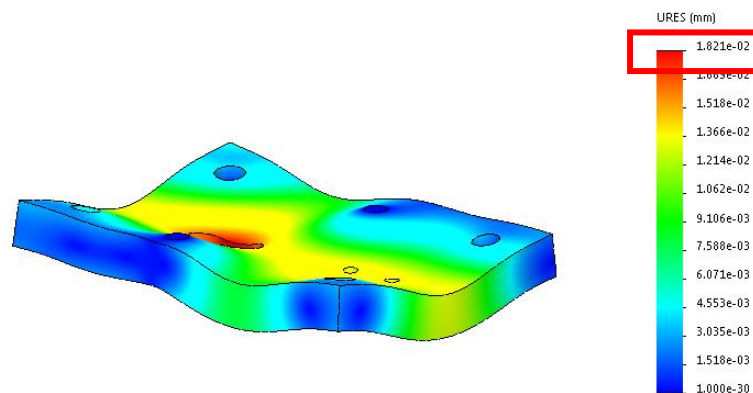


Figura 117. Resultado de análisis deformación máxima de la Matriz con Acero K100 con 501763 nodos

Como se puede observar, en la figura 118, muestra el resultado de análisis factor de seguridad mínimo de la Matriz de Corte con del acero K100 con 501763 nodos, que en estos resultados nos da un valor de 2.3, presentado por el programa, dato que deberá ser corroborado por los cálculos matemáticos.

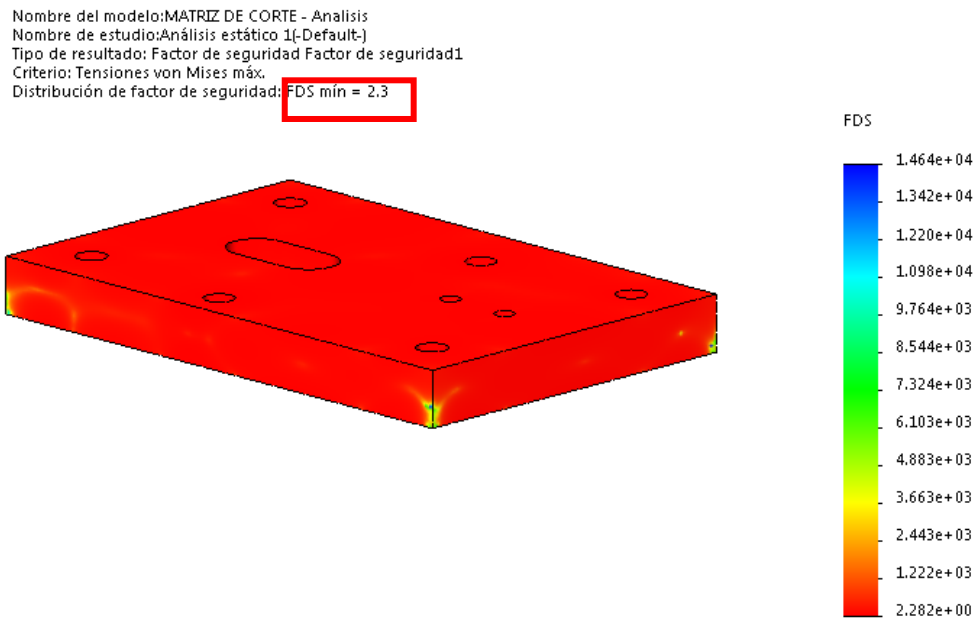


Figura 118. Resultado de análisis factor de seguridad de la Matriz con Acero K100 con 501763 nodos

Como resumen se tiene que una comparación de los diferentes resultados en base a los diferentes números de nodo. Se puede observar, en la figura 119 y en la Tabla 18, que los resultados permanecen estables en todos los niveles de mallado, lo que permite determinar que la convergencia de resultados es óptima y que la simulación tiene validez. Los cambios de valores son mínimos, manteniéndose en el rango que se requiere, por lo que se da por válido la elección del material.

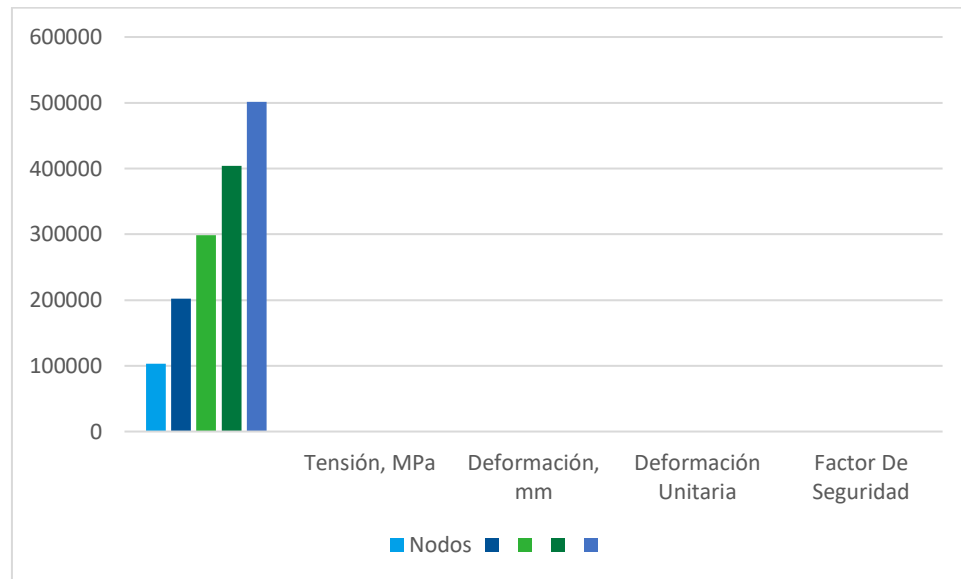


Figura 119. Validación de la convergencia de resultados por nivel de mallado

Tabla 18

Comparación de resultados de MEF con el Acero AISI K100 con diferentes nodos.

Característica	Nodos				
	102782	201783	298213	403759	501763
Tensión, MPa	404	403.4	408	410.8	412.6
Deformación, mm	0.01815	0.01819	0.01819	0.01821	0.01821
Deformación Unitaria	0.001052	0.001072	0.001096	0.001105	0.0011
Factor De Seguridad	2.6	2.5	2.3	2.3	2.3

Análisis de Fatiga

El análisis de fatiga se da en base a la selección de sucesos requeridos, a continuación, se elige la curva de función, en base al material K100, proporcionado por SolidWorks, donde se detallan sus propiedades, así como las curvas SN de fatiga.

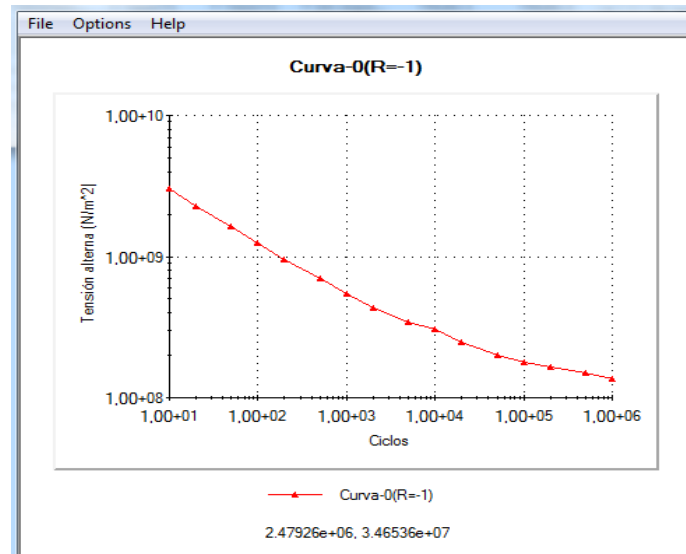


Figura 120. Curva – 0 (R=-1)

Ciclo de vida total

Según los resultados ofertados definidos, la placa matriz de corte tiene un ciclo de vida máxima de 3000000 ciclos como se detalla en la Figura 121, según la escala dada, donde se establece 4 segundos por ciclo, por lo que esta placa duraría:

$$3000000 \text{ ciclos} * 4 \frac{\text{seg.}}{\text{ciclo}} = 120000000 \text{ seg.} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ seg.}} * \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min.}} * \frac{1 \text{ día}}{8 \text{ h}} = 416.66 \text{ días}$$

$$\approx 417 \text{ días}$$

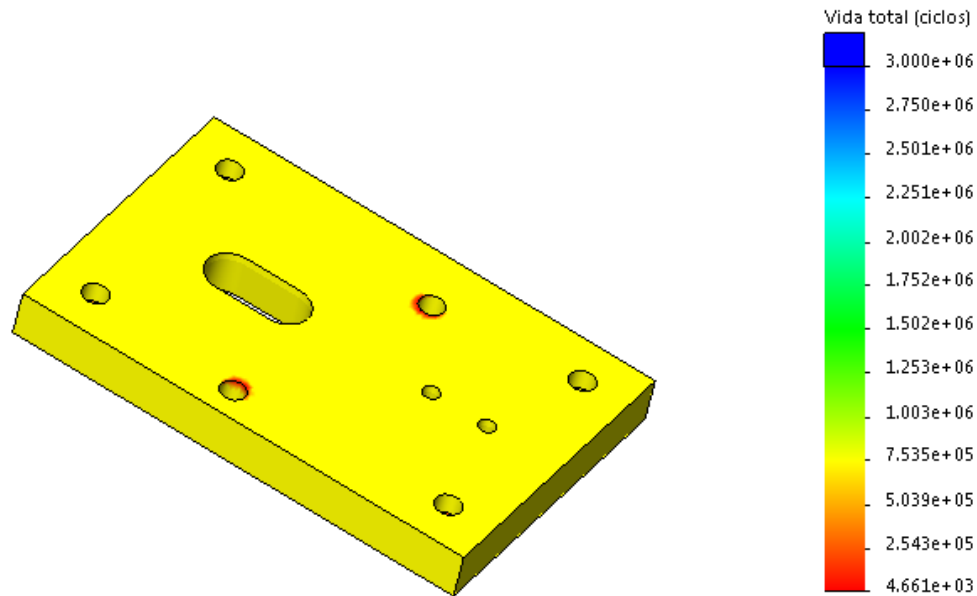


Figura 121. Ciclo de Vida Útil de la Placa Matriz de Corte

De los resultados del ciclo de vida útil se tiene un matriz que va a trabajar durante 417 días, antes de necesitar afilado de los herramientales, trabajando 8 horas diarias (sin tomar en cuenta tiempos muertos en él proceso) quiere decir que con 4 segundos por ciclo, al tener la propuesta de la matriz grande de 16 piezas, pero manteniendo el mismo troquel, por dimensiones del tamaño del carro, debemos construir dos marices, la primaria que hace los orificios de los pernos y la secundaria que termina el corte de la pieza, por lo tanto al ser dos procesos, se tiene una duración de 8 segundos por placa, si tomar en cuenta los tiempos muertos.

Por lo que conlleva a analizar los costos de producción de las chapas de cobre respecto al tipo de troquel y tamaño de matriz, como se observa en la tabla 19.

Tabla 19.

Análisis financiero

Matriz	Para 1 pieza	Para 16 piezas
Troquel	Progresivo	Simple / Progresivo
Numero de troqueles	1	2 / 1
Costo de la matriz proforma 1	1750 usd	5300usd
Costo de la matriz proforma 2	2120 usd	5540 usd
Costo troquel proforma	19415 +IVA	2*(19415 +IVA)
Tiempo por ciclo	4 segundos	8 segundos
Chapas por día (sin tiempos muertos)	7200	57600
Número máximo de piezas (417 días)	3002400	24019200

Por los datos de la tabla 19, se puede resolver que, para la propuesta de la matriz pequeña es viable para una producción local, y para una producción con visión de exportación se define la matriz grande.

Los datos de la tabla 19, también permite determinar que la propuesta de la matriz pequeña puede producir en toda su vida útil 3002400 piezas, mientras que, la segunda propuesta de la matriz más grande puede llegar a producir 27456000piezas.

Por lo tanto, en la tabla 20, se calcula el costo de la docena de chapas en cada una de las matrices propuestas, en el cual se incluye el valor de construcción de la matriz, el costo del

troquel, costo de sistemas de alimentación semi automático, costo de un operario durante los 417 días que va a trabajar la matriz antes de necesitar afilado de herramientas, así como, costos aproximados de gastos de servicios básicos, donde se determina, un costo de producción de cada 100 chapas de 1.08 dólares con la matriz pequeño mientras que con la matriz grande el costo de producción del ciento es de 0.23 usd. Sin tomar en cuenta la materia prima.

Tabla 20.

Análisis de costos de la centena de chapas

Vida útil 417 días	Matriz 1 pieza	Matriz 16 piezas
Número de piezas máximas	3002400	24019200
Costo operario (usd)	8720.91	8720.91
Valor troquel (usd)	21744.8	43489.6
Gastos servicios básicos (usd)	2085.0	2085.0
Costo total del ciento de piezas (usd)	1.08	0.23

El costo de la materia prima, en este caso planchas de cobre de 1mm de espesor se determina en la tabla 21, de donde la plancha tiene un área de 600000mm^2 , mientras que la chapa de cobre a troquelar tiene un área de 924mm^2 que incluye el área efectiva y el desperdicio, por tanto, de cada plancha se obtienen 924 chapas de cobre, y el costo de la plancha de cobre es de 200usd. Y se determina que el valor del material para cada 100 chapas es de 30.82 usd.

Tabla 21.

Análisis del costo de la materia prima

Detalle	Dimensión / valor
Dimensiones planchas de cobre (mm)	600 * 1000
Área de plancha de cobre (mm ²)	600000
Área chapa de cobre (mm ²)	924
Incluye material de desperdicio	
Piezas que se obtiene de cada plancha	649
Costo de la plancha (usd)	200
Costo de cada 100 chapas (usd)	30.82

Análisis Dinámico

El análisis dinámico se daría de la siguiente manera:

En base al Tipo de Análisis, el cual sería por.

Análisis por caída

Al cual se le da un mallado fino y una configuración de la siguiente manera:

- Altura de Caída

El parámetro principal sería de un mallado estándar de 4 mm como se indica en la Figura 110, con una altura de caída de 33 mm como se detalla en la Figura 122.

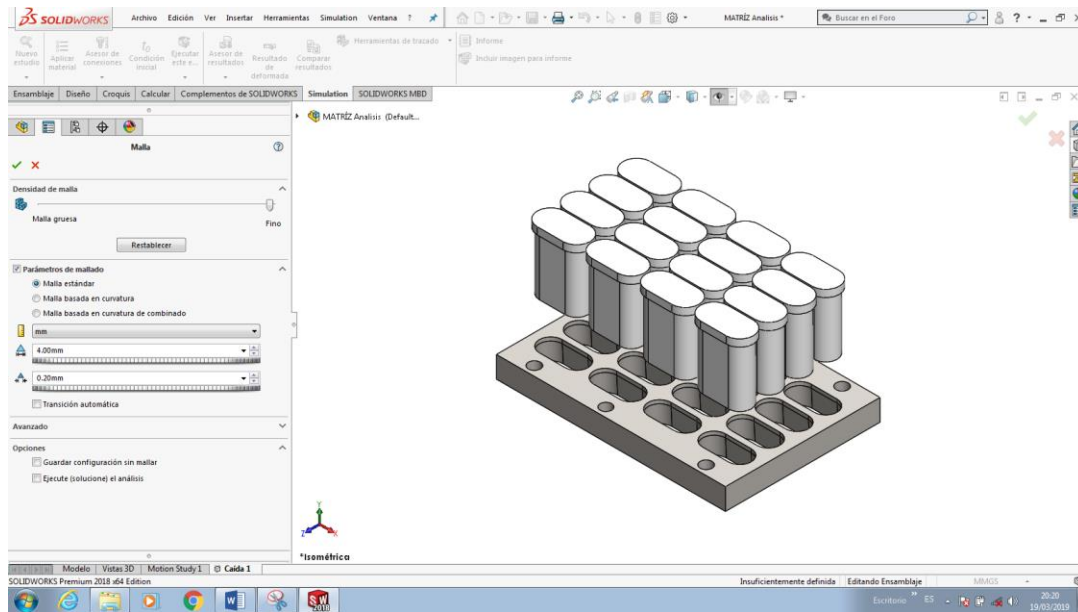


Figura 122. Mallado del punzón y matriz de corte en Análisis Dinámico

En la figura 123, se observa la configuración en el software para el análisis de caída del punzón y la matriz de corte para poder realizar el análisis dinámico que permita determinar la deformación máxima.

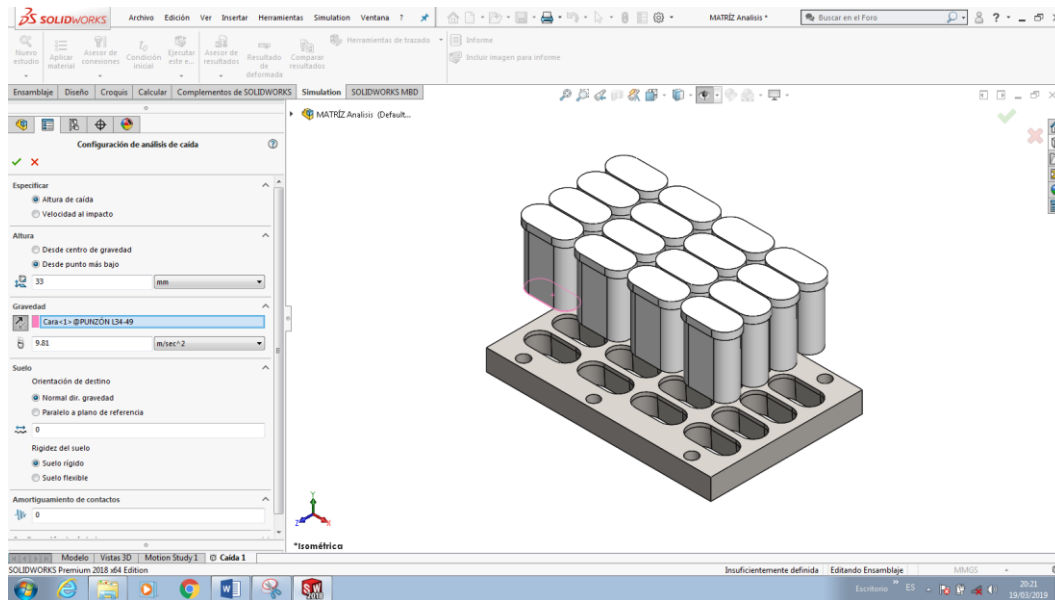


Figura 123. Configuración del Análisis de Caída del Punzón y Matriz de Corte.

Resultado

Deformación Máxima por análisis dinámico

El resultado generado de la deformación máxima del punzón y la matriz de corte, en el acero K100, de 0.01027 mm como se lo describe a continuación en la Figura 124, dando por lógico un valor admisible para tomar en cuenta el acero K100 para el maquinado de la matriz de corte y los punzones, siendo este acero el más recomendado y disponible a nivel local y de fácil adquisición, por lo tanto, el más utilizado en la construcción de matrices de corte.

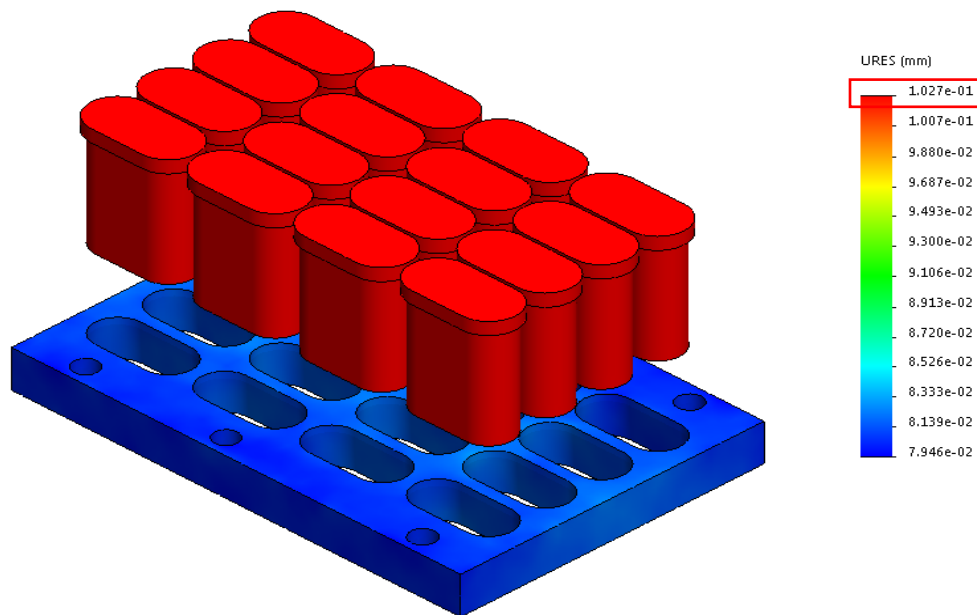


Figura 124. Análisis de la Deformación Máxima en el Análisis de Caída

Tensión

El resultado generado por la tensión máxima varía entre $2.46 \text{ e}+7$ y $1.928 \text{ e}+8 \text{ N/m}^2$ como se lo observa a continuación, en la Figura 125.

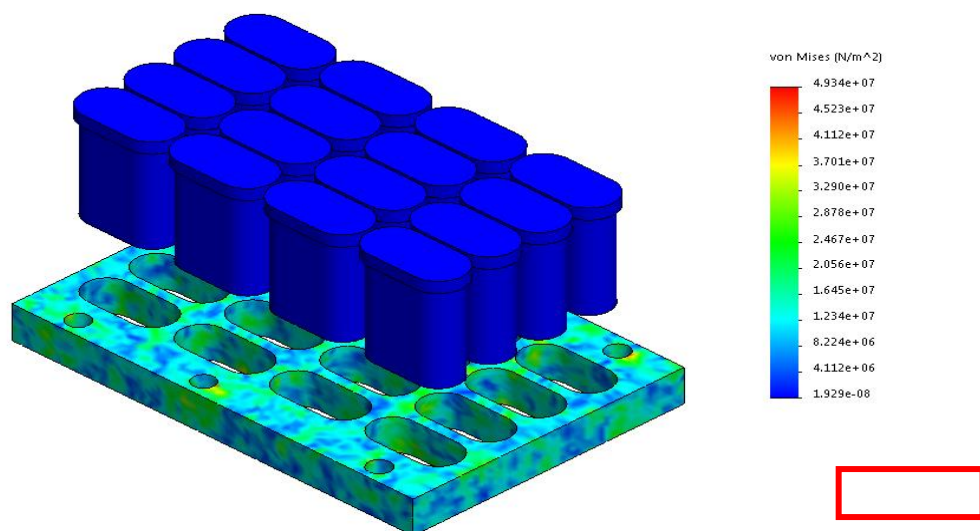


Figura 125. Análisis de Tensión en el Análisis de Caída

Como se puede observar en la figura 125. Todos los cambios de valores son mínimos en la tensión que se presenta en los punzones, manteniéndose en el rango que se requiere, esto refleja que los esfuerzos del acero al cortar el cobre son mínimos, por lo que se da por valido la elección del material.

Análisis y discusión de resultados

Como conclusión final se tiene que con todos los materiales, la tensión originada va hacer de 414.4 MPa, así como la deformación originada sería de 0.01823 mm, así como la deformación unitaria sería de 0.001158, diferenciando en todos los ensayos realizados analíticamente y por el MEF, en el Factor de Seguridad, el cual se da en base al límite de fluencia que posee cada material, siendo el acero K100 el material que mejor factor de seguridad presenta como se puede observar en la figura y en la Tabla 19.

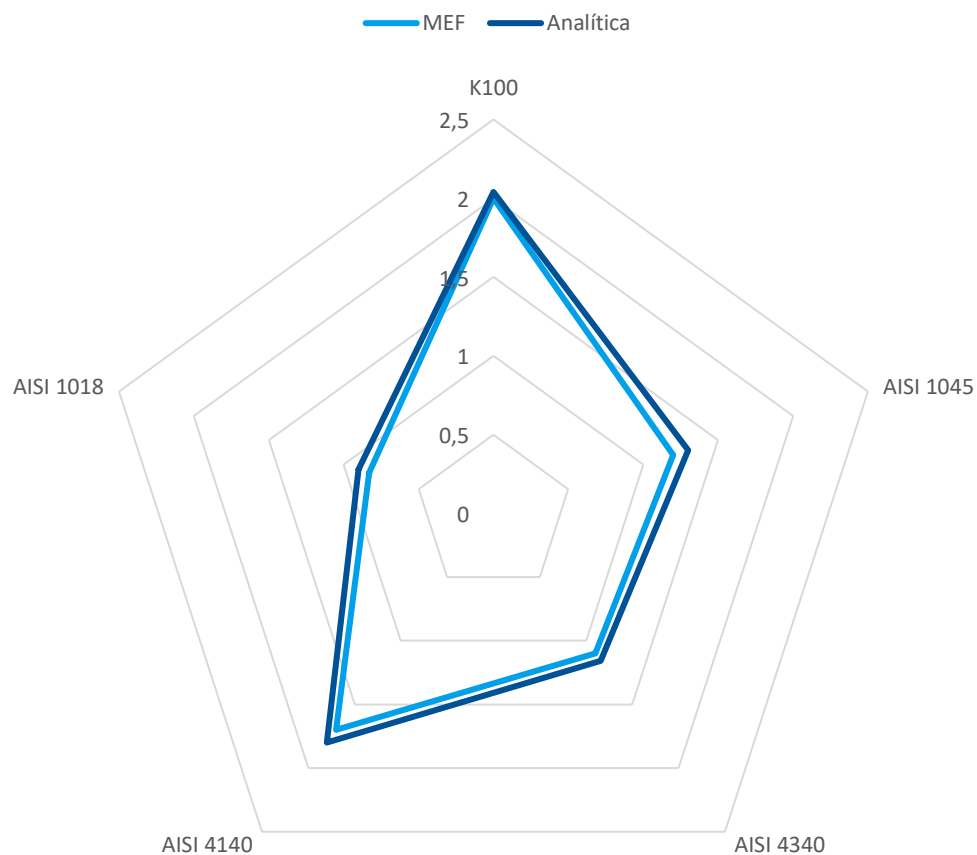


Figura 126. Grafica de Factores de seguridad entre los aceros analizados

Tabla 22

Comparación de Factores de Seguridad de los distintos materiales.

Característica	MEF	Analítica	Error (%)
K100	2	2.04	0.99
AISI 1045	1.2	1.3	2.7
AISI 4340	1.1	1.16	2.38
AISI 4140	1.7	1.8	1.14
AISI 1018	0.83	0.9	2.31

Como se puede notar, el Acero K100, tiene mejor factor de seguridad por lo que se diseñara con dicho material, los componentes de la matriz para hembra y macho.

Según el análisis matemático del conformado en el proceso de embutición cilíndrica de una sola fase, para evaluar el margen de error entre el análisis matemático y los valores obtenidos del MEF su deformación plástica equivalente por el método de elementos finitos con un valor de 2167N, respecto al valor experimental de 2072N, tiene un margen de error de 8.77% (*Pedrosa y Sánchez; 2018*).

Por lo tanto, como se puede observar en la tabla 22, el margen de error obtenido en esta investigación es de 1.96%. Situando este valor muy por debajo de los datos generados en otras investigaciones, como se puede observar en la tabla 20.

Tabla 23

Comparación de Errores de Resultados

Característica	Error (%)	Observaciones
	Promedio entre aceros	
Matriz de Corte	1.99	Investigación propia
Conformado en el proceso de embutición En aleaciones de aluminio	8.77	Investigación Pedrosa y Sánchez, 2018
Proceso de embutición En aleaciones de cobre	18.4	Investigación Cruz & Mena 2017.

Según Cruz & Mena (2017) es su tema experimentación y simulación del proceso de embutición en caliente y en frío mediante el método de elementos finitos en aleaciones de aluminio y aleaciones de cobre, se estableció según cálculos y simulaciones que para un disco se necesita las siguientes fuerzas máximas, 8334N obtenidos por el método de elementos finitos y el valor experimental de 5760N, obteniendo un porcentaje de error máximo de 44.7%, por lo que el porcentaje de los errores originados en la investigación zona aceptables.

Según Meza, (2017) el “diseño de una troqueladora para corte de perfiles de aluminio en la empresa Ospina SA-HUANCAYO”, indica que el esfuerzo máximo es de 118.58 MPa, donde la

configuración de las dimensiones que se tiene para la fabricación de carpintería de aluminio, para la orientación de los perfiles en la matriz, determina que:

La matriz de corte especifica que necesita una placa con las siguientes características que son:

- Espesor del perfil 1mm
- Espesor de la matriz diseñada es de 24mm

Por lo le geometría para la matriz propuesta en esta investigación, tiene similitudes con la investigación antes mencionada, colocando las dimensiones acordes a otras investigaciones similares.

Meza (2017) en su trabajo de investigación recomienda que el coeficiente de seguridad debe estar en el rango de: 2 a 5.

Según Buitrón (2015) en su tema de investigación titulada como “diseño y construcción de un troquel simple de embutido para implementación del Laboratorio de S.A.V.”, dice que:

Las partes de un troquel son: Punzón, Base inferior, Base superior, Toma, Placa pisadora, Matriz o hembra, Guías

Por lo que según Buitrón (2015) el factor de seguridad es muy esencial a determinar en una matriz donde:

- Factor de seguridad varían de 1.09 a 4

Según Mott (2006) el Factor de seguridad recomendado, para el diseño de elementos de máquinas, en su cuarta edición, indica que:

El factor de seguridad, que deben tener los materiales se puede observar en la tabla 21. El factor de 2 a 2.5, es para diseños de elementos de máquinas bajo cargas dinámicas, como es el caso de nuestra matriz de corte.

Por lo que, se da por valido el diseño por simulación de la presente investigación, puesto que, los valores del factor de seguridad con el acero K100, en el cual, presenta un valor muy aceptable para la viabilidad del proyecto.

Tabla 24

Factor de seguridad

Factor	Usos
1.25 a 2.0.	Son para diseños de estructuras bajo cargas estáticas, para las que haya un alto grado de confianza en todos los datos del diseño.
2.0 a 2.5.	Son para diseño de elementos de máquina bajo cargas dinámicas con una confianza promedio en todos los datos de diseño.
2.5 a 4.0.	Útiles para diseño de estructuras estáticas o elementos de máquina bajo cargas dinámicas con incertidumbre acerca de las cargas, propiedades de los materiales, análisis de esfuerzos a al ambiente.
4.0 o más.	Es para diseño de estructuras estáticas o elementos de máquinas bajo cargas dinámicas, con incertidumbre en cuanto a alguna combinación de cargas, propiedades del material, análisis de esfuerzos o el ambiente.

Fuente: (Robert L. Mott, 2006)

Los factores de seguridad son parámetros muy importantes a tener en cuenta, al momento de diseñar o construir una maquinaria con cargas dinámicas, con los resultados obtenidos, se realiza la comparación con resultados de otras investigaciones, que basan sus cálculos en función a este factor, como se puede observar en la tabla 22.

Tabla 25

Comparación de Factores de Seguridad

Característica	Factor de Seguridad	Observaciones
Matriz de Corte	2.0	Investigación propia
Diseño de una troqueladora para corte de perfiles de aluminio	2 - 5	Investigación Meza, (2018)
Diseño y construcción de un troquel simple	1.09 - 4	Investigación Buitrón (2015)
Diseño de elementos de máquinas	2 – 2.5	Robert Mott (2006)

Como se puede observar en la tabla 20, las variaciones de los valores de los resultados sobre el acero determinado para el diseño final son mínimos, manteniéndose estables y dentro del rango que se requiere, por lo que se da por válido la elección del material al igual que se valida la simulación en función de la convergencia de resultados a distintos niveles de mallado.

Según Cerda (2014) detalla en su tema de investigación, dice que el refinamiento local utilizando elementos de transición geométricamente regulares, permite obtener resultados satisfactorios en la determinación de tensiones y desplazamiento, sin la necesidad de conformar un modelo de malla altamente densa en todo el modelo, donde se prevé la convergencia de los desplazamientos nodales en mallas homogéneas con un número mucho menor de elementos.

Tabla 26

Comparación de resultados de MEF con el Acero AISI K100 con diferentes nodos.

Característica	Nodos				
	102782	201783	298213	403759	501763
Tensión, MPa	404	403.4	408	410.8	412.6
Deformación, mm	0.01815	0.01819	0.01819	0.01821	0.01821
Deformación Unitaria	0.001052	0.001072	0.001096	0.001105	0.0011
Factor De Seguridad	2.6	2.5	2.3	2.3	2.3

Ramírez (2010) indica que el incremento de problemas se da por análisis con malla extremadamente grandes, siendo necesario mejorar el análisis mediante una parametrización originada en el problema transitorio, convirtiéndose en una formulación congruente con valores críticos y parámetros de estabilización de igual manera que la presente investigación, al aumentar el nivel de mallado, los valores resultantes en la simulación se van manteniendo estables.

Finalmente, Chica (2008) dice que el impacto de imperfección geométrica inicial, se da en tensiones residuales con menor número de nodos, las mismas que no son aceptables en un análisis esperado bajo parámetros requeridos donde se requiere bastante exactitud y confiabilidad

del análisis de forma similar en esta investigación, se selecciona un mallado más fino para mejores resultados de la simulación.

Moreno (2018) determina que para troqueles progresivos de dimensiones pequeñas es mejor trabajar con alimentación de troquel manual, similar a nuestra propuesta de una matriz pequeña para satisfacer una producción local.

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

- Con ayuda del software especializado Solid Works 2017, se determinó que el acero más recomendado para la construcción de matrices es el K100, cuyos resultados mostro una Tensión de 414.4MPa, un factor de seguridad de 2, una deformación máxima de 0.0182mm y una deformación unitaria de 0.001158 mm, muy aceptable en comparación con otras investigaciones, dando por valida el diseño por simulación de la matriz de corte.
- Se diseñaron exitosamente dos propuestas de matriz, las cuales se analizaron en función del número de piezas a fabricar y costos de fabricación, dando como resultado una matriz pequeña que puede llegar a producir 3002400 piezas de cobre de 1mm de espesor durante su vida útil, mientras la matriz grande puede generar 24019200 piezas de cobre antes de necesitar afilado de herramientas.
- Con la evaluación de la hembra de la matriz en el SolidWorks, con las cargas originadas, se obtuvieron resultados aceptables sobre la deformación, máxima, la deformación unitaria, tensión aplicable y sobre todo el factor de seguridad.
- Realizando la comparación entre los resultados del MEF y los analíticos encontramos un margen de error promedio de 1.96% lo que permite validar los datos del software para el diseño de matrices.

- Se determino que, el costo de troquelado de 100 piezas con la matriz pequeña tiene un valor de 1.08 dólares americanos, mientras que, con la matriz grande el costo del ciento de chapas costaría 0.23 dólares.

Recomendaciones

- Se recomienda usar el acero K100 para la construcción de matrices de corte por sus prestaciones mecánicas.
- Se recomienda el uso de sistemas de alimentación semi automática para troqueles progresivos o imples, siempre que, el requerimiento o tiraje de producción se alta, ya que la producción dependerá únicamente del tiempo muerto en al cambio de banda de corte hacia el alimentador cuando termina la plancha a troquelar.
- Hay que tener presente que, mientras más fino es el mallado, el software toma más tiempo el análisis, por lo que se recomienda usar una computadora con procesador Core i7 o de mayor capacidad y resolución, para hacer la simulación en el menor tiempo posible. Ya que este tipo de simulaciones o análisis dinámico toma muchas horas en resolver los cálculos.
- Para el troquel del análisis de la presente investigación se recomienda la construcción de la matriz progresiva pequeña, que genera un numero aceptable de chapas al año y la inversión es la mínima, puesto que, se elimina el uso de alimentador automático.

Referencias

- Archundia, M. (2015). *Diseño y manufactura de un troquel de corte con fines didácticos*. México D.F.: Autor - Editor.
- BOHLER. (2013). *K100*.
- bohler. (2014). *AcerosBohler*.
- Castillo, M., & Serrano, D. (2018). Negocios. *EL COMERCIO*, 1- 4.
- Castro, D. (2018). *caracterización de las probetas soldadas por fricción mediante pruebas de tracción y torsión para materiales: acero aisi 1018, acero aisi 1045, aluminio y bronce sae 40 de 10mm de diámetro*. Quito: Autor - Editor.
- CEC. (2014). *Estudio de prospectiva tecnológica para la manufactura de troqueles y su aplicación en el contexto nacional*.
- Cerón, J. (2013). *Desarrollo de aspectos metodológicos en el diseño de matrices progresivas*. Santander.
- Cía. General de Aceros S.A. (2013). *SAE 1020 Y SAE 1045*. Barranquilla.
- Cosar, J. (2017). *Rediseño en la matriz del modelo 240 grupo fuerte para optimizar la producción del corte ventana*. Lima.
- Criollo, M. (2017). *Estudio de la aleación inteligente con memoria de forma cu-zn para determinar su aplicación industrial*. Ambato.
- Cruz, G., & Mena, J. (2017). *Experimentación y simulación del proceso de embutición en caliente y en frío mediante el método de elementos finitos en aleaciones de aluminio y aleaciones de cobre*. Sangolquí.

- Cruz, J. (2016). *“Estudio del proceso de troquelado y su influencia en la producción de calzado en. Ambato.*
- Díaz, J. (2014). *Secuencia de trabajo para el diseño de herramientas para el conformado de la chapa en las operaciones de corte y punzonado.* Santa Clara.
- Domingo, J. (2013). *Estudio de la influencia de la predeformación en el comportamiento mecánico de chapas metálicas.* Burgos.
- Hernández, G. (2013). *Diseño y simulación de una línea de formado en frío de lámina de acero.* San Nicolás de los Garza.
- IVAN BOMAN C.A. (2018). *Catálogo de productos.* Quito.
- Loyza, D., & Jair, M. (2016). *Modelación de una matriz de corte en la producción de llaveros con el logotipo de la escuela de ingeniería industrial utilizando la tecnología cad cam.* Riobamba.
- Luz, E. (2018). *Diseño y manufactura de un troquel de corte e instrumentación para la medición de fuerzas.* México D.F.
- OTERO. (2015). *Barras de Acero Aleado.*
- Pedrosa, A., & Sánchez, C. (2018). *Análisis matemático del conformado en el proceso de embutición cilíndrica de una sola fase, para evaluar el comportamiento mecánico de una chapa bimetálica.* Cuenca.
- Rengifo, J. (2016). *Síntesis y caracterización de nanopartículas de cobre por el proceso poliol asistido vía microondas.* Lima.

Sanchez, D. (2013). *Análisis de tensiones en piezas mecánicas de geometría cilíndrica utilizando el método de los elementos finitos*.

serviacero. (2018). *1018 AISI*. Guadalajara: Autor - Editor.

Shigley, Budynas, R., & Nisbett, K. (2008). *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley*. Mexico.

D.F.: MCGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES. S.A. DE C.V.

Tirado, R., Plascencia, H., & Aguilar, L. (2015). Análisis estructural de un molde para eps mediante el mef. *Xvi congreso internacional*, 3-8.

Urquía, I. (2016). *Metodología para el diseño de un troquel de corte*. Santa Clara.

Anexos

ANEXO 1. Boletín de servicio Toyota, Fallas de Baterías de alta tensión

DTC Circuitos batería.pdf - Adobe Reader

Archivo Edición Ver Ventana Ayuda

1 / 23 145% Herramientas Rellenar y firmar Comentario

P112 HYBRID VEHICLE CONTROL: HYBRID CONTROL SYSTEM: P0AA6-526... Page 1 of 23

Last Modified: 7-2-2019	5.1 C	From: 200808
Model Year: 2009 -2019	Model: Prius	Doc ID: RM000001PS5006X
Title: P112 HYBRID VEHICLE CONTROL: HYBRID CONTROL SYSTEM: P0AA6-526: Hybrid Battery Voltage System Isolation Fault (2009 Prius)		

DTC	P0AA6-526	Hybrid Battery Voltage System Isolation Fault
------------	------------------	--

DTC	P0AA6-611	Hybrid Battery Voltage System Isolation Fault
------------	------------------	--

DTC	P0AA6-612	Hybrid Battery Voltage System Isolation Fault
------------	------------------	--

DTC	P0AA6-	Hybrid Battery Voltage System Isolation Fault
------------	---------------	--

Escribe aquí para buscar

1621 11/02/2019

ANEXO 2.Boletín de servicio Toyota, inspección cables de salida de alta tensión

DTC Circuitos batería.pdf - Adobe Reader

Archivo Edición Ver Ventana Ayuda

11 / 23 143%

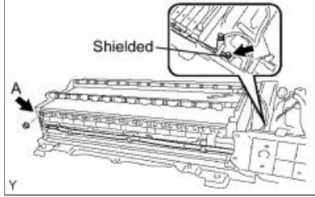
Herramientas Rellenar y firmar Comentario

11. INSPECT MAIN BATTERY CABLE

Wear insulated gloves and goggles before performing the following operation.

(a) Remove the HV battery assembly [INFO](#).

(b) Remove the battery cover [INFO](#).

The diagram shows a side view of the HV battery assembly. A callout box labeled 'Shielded' points to the main battery cable cover. A terminal labeled 'A' is indicated on the battery module side of the main battery cable.

(c) Check if the main battery cable cover is not damaged or internal electrical leads are not in contact with the battery case or body.

OK:
Electrical leads are not in contact with the battery case or body

(d) Remove the terminal (A in the illustration) on the battery module side of the main battery cable only.

ANEXO 3. Boletín de servicio Toyota, inspección de las celdas

DTC Circuitos batería.pdf - Adobe Reader

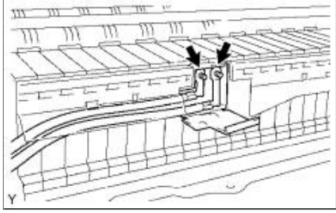
Archivo Edición Ver Ventana Ayuda

Abrir Herramientas Rellenar y firmar Comentario

12 / 23 143%

13. INSPECT BATTERY PLUG

Wear insulated gloves and goggles before performing the following operation.



(a) Following the previous step, disconnect only the connecting terminal of the battery plug.

Do not reinstall the service plug grip.

(b) Using a megohmmeter set to 500 V, measure the insulation resistance between each terminal of the battery plug wire harness and body ground.

Be sure to set the megohmmeter to 500 V when performing this test. Using a setting higher than 500 V can result in damage to the component being inspected.

Escribe aquí para buscar

ESP 16:26
INTL 11/02/2019

ANEXO 4. Boletín de servicio Toyota, inspección de las chapas de cobre

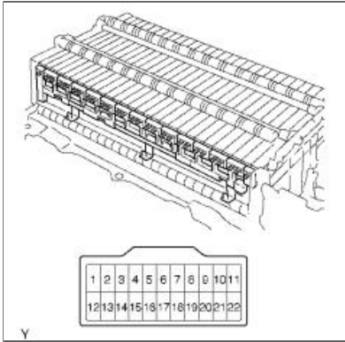
DTC Circuitos batería.pdf - Adobe Reader

Archivo Edición Ver Ventana Ayuda

13 / 23 143% Herramientas Rellenar y firmar Comentario

14. INSPECT NO. 2 FRAME WIRE

Wear insulated gloves and goggles before performing the following operation.



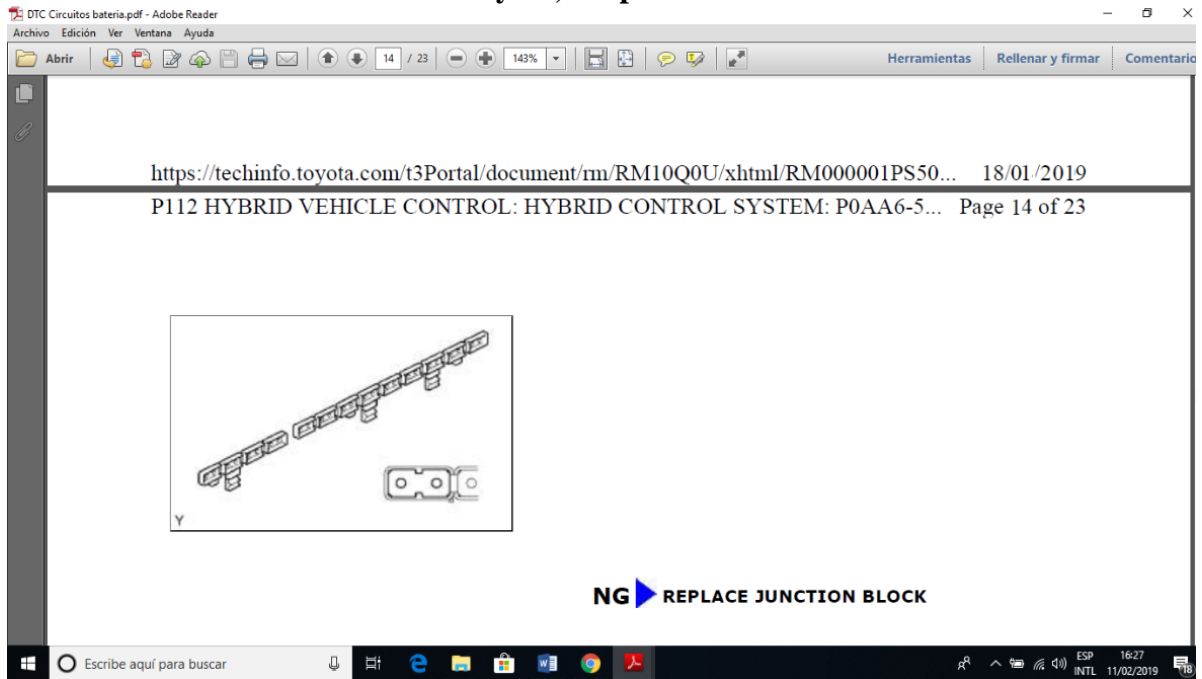
(a) Following the previous step, check if the No. 2 frame wire cover is not damaged or internal electrical leads are not in contact with the battery case or body.

OK:
Electrical leads are not in contact with the battery case or body.

(b) Remove all the terminals on the battery module side of the No. 2 frame wire.

Escribe aquí para buscar

16:36 11/02/2019

ANEXO 5. Boletín de servicio Toyota, chapas de cobre de interconexión de celdas

ANEXO 6. Licencia Solid Works

ANEXO 7. Troquel Maister



BEREZIAK EQUIPOS Y MAQUINARIAS

COMERCIALIZACION E IMPORTACION

QUITO, A 15 DE MARZO 2019

ESTIMADO

NOS ES GRATO PONER EN SU CONSIDERACION LA SIGUIENTE COTIZACIÓN DE LA LINEA DE TROQUELADORAS MARCA MEISTER.

TROQUELADORA INCLINABLE 40 TONS MODELO JG23-40 MARCA MEISTER



Av., Macos Joffre OE5-16 y Félix Oralabal, Telf. 2466894 – 086848612 – 087547567 - www.bereziakequipos.com
Quito, Ecuador

Anexo 8. Proforma de Troquel disponible en el mercado local

PRECIO US\$ 19,415.00 + IVA

<u>ESPECIFICACIONES</u>	
PRESIÓN DE CIERRE:	40 TON
VIAJE DEL CARRO:	120 MM
NO. DE GOLPES POR MINUTO:	55
ALTURA MÁXIMA DEL CARRO:	220 MM
AJUSTE DE ALTURA DEL CARRO:	80 MM
DISTANCIA DEL CENTRO DEL CARRO A COLUMNA:	260 MM
DIMENSIONES DEL MESA (ANCHO X LARGO):	240 X 355 MM
MÁXIMA INCLINACIÓN DEL CUERPO:	25°
DISTANCIA ENTRE LAS COLUMNAS:	200 MM
MOTOR:	5.3 HP
DIMENSIONES (LARGO X ANCHO X ALTO):	800 X 590 X 2,310 MM
PESO:	3,180 KG

CONDICIONES DE VENTA:

- ENTREGA: 90 DIAS
- GARANTIA: UN AÑO
- VIGENCIA DE COTIZACIÓN: 30 DIAS
- FORMA DE PAGO: 60% A LA FIRMA DEL PEDIDO Y 40% CONTRA ENTREGA DE LA MAQUINA.

ATENTAMENTE:

CECILIA VARGAS
 Dirección Comercial
BEREZIAK EQUIPOS Y MAQUINARIA
bereziak@cablemodem.com.ec

ANEXO 9 . Normas DIN9861 para punzones



201

PUNZON DE CORTE CILINDRICO CABEZA CONICA FORMA "D" DIN 9861 ISO 6752
PUNCH WITH COUNTERSUNK HEAD FORM "D" DIN 9861 ISO 6752

MATERIAL : Ac. Carbono WS, 12% Cromo HWS y Ac. Rapido HSS.
FABRICACION : Templado, revenido y rectificado totalmente, excepto Ac. Carbono.
VERSION : Hardened, tempered and fully fine ground finished, excepting WS.
 Cabeza estampada en caliente.
 Head hot tempered and annealed.
 Los punzones en 12% Cromo resisten temperaturas de hasta 520° C.
 Punches in HWS are heat resistant up to 520 ° C.
DUREZAS : D1: 60-62 HRC (WS y HWS)
HARDNESS : 62-64 HRC (HSS)
 Cabeza: 45±3 HRC.
 Head:

d1 (h6)	d2 (+0,1)	h (+0,2)	L +0,5 0
0,3	0,9	0,72	71 - 80 - 100
0,35	0,9	0,68	71 - 80 - 100
0,4	0,9	0,63	71 - 80 - 100
0,45	0,9	0,59	71 - 80 - 100
0,5	0,9	0,55	71 - 80 - 100
0,55	1,0	0,59	71 - 80 - 100
0,6	1,1	0,63	71 - 80 - 100
0,65	1,2	0,68	71 - 80 - 100
0,7	1,3	0,72	71 - 80 - 100
0,75	1,3	0,68	71 - 80 - 100
0,8	1,4	0,92	71 - 80 - 100
0,85	1,4	0,88	71 - 80 - 100
0,9	1,6	1,01	71 - 80 - 100
0,95	1,6	0,96	71 - 80 - 100
1,0	1,8	1,19	71 - 80 - 100
1,05	1,8	1,15	71 - 80 - 100
1,1	1,8	1,11	71 - 80 - 100
1,15	1,8	1,06	71 - 80 - 100
1,20	2,0	1,19	71 - 80 - 100
1,25	2,0	1,15	71 - 80 - 100
1,3	2,0	1,11	71 - 80 - 100
1,35	2,0	1,06	71 - 80 - 100
1,4	2,2	1,19	71 - 80 - 100
1,45	2,2	1,15	71 - 80 - 100
1,5	2,2	1,11	71 - 80 - 100
1,55	2,2	1,06	71 - 80 - 100
1,6	2,5	1,28	71 - 80 - 100
1,65	2,5	1,24	71 - 80 - 100
1,7	2,5	1,19	71 - 80 - 100
1,75	2,5	1,15	71 - 80 - 100
1,8	2,8	1,37	71 - 80 - 100
1,85	2,8	1,32	71 - 80 - 100
1,9	2,8	1,28	71 - 80 - 100
1,95	2,8	1,24	71 - 80 - 100
2,0	3,0	1,37	71 - 80 - 100
2,05	3,0	1,32	71 - 80 - 100
2,10	3,2	1,45	71 - 80 - 100
2,15	3,2	1,41	71 - 80 - 100
2,2	3,2	1,37	71 - 80 - 100
2,25	3,2	1,32	71 - 80 - 100
2,3	3,5	1,54	71 - 80 - 100
2,35	3,5	1,50	71 - 80 - 100
























FORMA DE PEDIDO: ORDER FORM: Material, d1 x L.
 L=130 DISPONIBLE SOLO EN ACERO RÁPIDO L=130 AVAILABLE ONLY IN HSS

ANEXO 10. Normas DIN catalogo pernos 2014

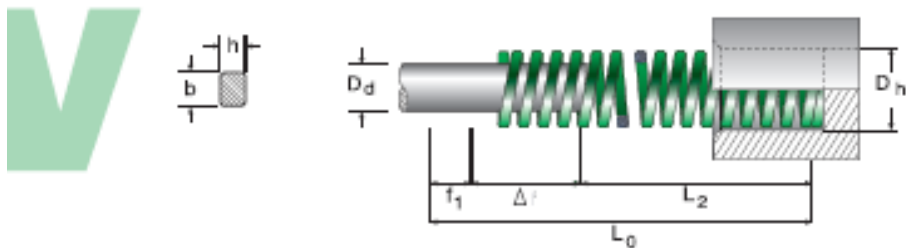
Índice

Tornillos - tornillos métricos

Descripción	DIN	ISO / DIN EN / DIN EN ISO	WS	Página	Imagen
Cabeza hexagonal					
Cab. Hex. con rosca parcial	931	DIN EN ISO 4014		136-137	
Cab. Hex. con rosca parcial conforme AD2000-W2	931T	DIN EN ISO 4014		138	
Cab. Hex. con rosca parcial resistencia 80	931	DIN EN ISO 4014		139	
Cab. Hex. con rosca parcial sin. DIN 931	931	DIN EN ISO 4014		140	
Cab. Hex. con rosca completa	933	DIN EN ISO 4017		141-143	
Cab. Hex. con rosca completa conforme a AD2000-W2	933T	DIN EN ISO 4017		144	
Cab. Hex. con rosca completa con resistencia 80	933	DIN EN ISO 4017		145	
Cab. Hex. con rosca completa ranurado	933	DIN EN ISO 4017		146	
Cab. Hex. con rosca completa	933	DIN EN ISO 4017		147	
Cab. Hex. con rosca parcial y arandela estampada	6921	DIN EN 1865		213	
Cabeza cilíndrica					
Cab. cilíndrica ranurada	84	DIN EN ISO 1207		51	
Cab. cilíndrica ranurada y agujeros cruzado	404			73	
Cab. cilíndrica Allen	912	DIN EN ISO 4762		120-122	
Cab. cilíndrica Allen rosca completa	912V0	DIN EN ISO 4762		123	
Cab. cilíndrica Allen conforme AD2000-W2	912T	DIN EN ISO 4762		124	
Cab. cilíndrica Allen resistencia 80	912	DIN EN ISO 4762		125	
Cab. cilíndrica Allen con cabeza baja y guía de llave	6912			212	
Cab. cilíndrica Allen con cabeza baja	7984			237	
Cab. cilíndrica con Imprints Tx	912	ISO 14579		126	
Cab. cilíndrica con Imprints Tx y cabeza baja	7984	ISO 14580		238	
Cab. cilíndrica Allen con dentado bajo cabeza	912		9455	248	

Tenga en cuenta que hay diferencias técnicas y de dimensiones entre las normas DIN / DIN EN / DIN EN ISO e ISO. En nuestro manual técnico podrá encontrar un esquema detallado de las mismas. Las normas relevantes están señaladas para que se reconozcan con facilidad.

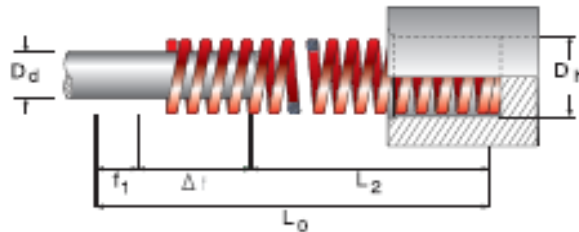
Anexo 11. Catálogo resortes de esfuerzo leve



Dh	Dd	L0	N° de Catálogo	R	A		B		C		D	
					25% L0		30% L0		40% L0		f0	
mm	mm	mm		N / mm	N	mm	N	mm	N	mm	N	mm
10	5	25	V 10 - 025	10	63	6,3	75	7,5	100	10,0	135	13,5
		32	V 10 - 032	8,5	68	8,0	82	9,6	109	12,8	149	17,5
		38	V 10 - 038	6,8	65	9,5	78	11,4	103	15,2	141	20,8
		44	V 10 - 044	6,0	66	11,0	79	13,2	108	17,6	143	23,9
		51	V 10 - 051	5,0	64	12,8	77	15,3	102	20,4	145	28,9
		64	V 10 - 064	4,3	69	16,0	83	19,2	110	25,6	155	36,1
		76	V 10 - 076	3,2	61	19,0	73	22,8	97	30,4	138	43,2
		305	V 10 - 305	1,1	84	76,3	101	91,5	134	122,0	197	178,7
12,5	6,3	25	V 13 - 025	17,9	113	6,3	134	7,5	179	10,0	236	13,2
		32	V 13 - 032	16,4	131	8,0	157	9,6	210	12,8	295	18,0
		38	V 13 - 038	13,6	129	9,5	155	11,4	207	15,2	286	21,0
		44	V 13 - 044	12,1	133	11,0	160	13,2	213	17,6	290	24,0
		51	V 13 - 051	11,4	146	12,8	174	15,3	233	20,4	327	28,7
		64	V 13 - 064	9,3	149	16,0	179	19,2	238	25,6	333	35,8
		76	V 13 - 076	7,1	135	19,0	162	22,8	216	30,4	303	42,7
		89	V 13 - 089	5,4	120	22,3	144	26,7	192	35,6	272	50,4
16	8	102	V 13 - 102	4,1	105	25,5	125	30,6	167	40,8	239	58,4
		305	V 13 - 305	1,4	107	76,3	128	91,5	171	122,0	241	172,0
16	8	25	V 16 - 025	23,4	147	6,3	176	7,5	234	10,0	295	12,6
		32	V 16 - 032	22,9	183	8,0	220	9,6	293	12,8	376	16,4
		38	V 16 - 038	19,3	183	9,5	220	11,4	293	15,2	380	19,7
		44	V 16 - 044	17,1	188	11,0	228	13,2	301	17,6	385	22,5
		51	V 16 - 051	15,7	201	12,8	240	15,3	320	20,4	413	26,3
		64	V 16 - 064	10,7	171	16,0	205	19,2	274	25,6	356	33,3
		76	V 16 - 076	10,0	190	19,0	228	22,8	304	30,4	402	40,2
		89	V 16 - 089	8,5	192	22,3	230	26,7	306	35,6	409	47,6
20	10	102	V 16 - 102	7,8	199	25,5	239	30,6	318	40,8	432	55,4
		115	V 16 - 115	6,6	190	28,8	228	34,5	304	46,0	401	60,8
		305	V 16 - 305	2,5	191	76,3	229	91,5	305	122,0	413	165,3
20	10	25	V 20 - 025	55,8	352	6,3	419	7,5	558	10,0	675	12,1
		32	V 20 - 032	45,0	360	8,0	432	9,6	576	12,8	689	15,3
		38	V 20 - 038	33,3	316	9,5	380	11,4	506	15,2	629	18,9
		44	V 20 - 044	30,0	330	11,0	396	13,2	528	17,6	645	21,5
		51	V 20 - 051	24,5	314	12,8	375	15,3	500	20,4	613	25,0
		64	V 20 - 064	20,0	320	16,0	384	19,2	512	25,6	622	31,1
		76	V 20 - 076	16,0	304	19,0	365	22,8	496	30,4	597	37,3
		89	V 20 - 089	14,0	312	22,3	374	26,7	499	35,6	623	44,5
		102	V 20 - 102	12,0	306	25,5	367	30,6	490	40,8	613	51,1
		115	V 20 - 115	10,9	314	28,8	376	34,5	501	46,0	634	58,2
		127	V 20 - 127	9,5	302	31,8	362	38,1	483	50,8	617	64,9
		139	V 20 - 139	8,4	294	35,0	353	42,0	470	56,0	601	71,5
4,0 x 2,1	305	152	V 20 - 152	7,5	285	38,0	342	45,6	456	60,8	591	78,8
		305	V 20 - 305	4,0	305	76,3	366	91,5	488	122,0	630	157,4

Resortes de carga pesada - Serie R

R



D _b D _d		L ₀	Nº de Catálogo	R	A		B		C		D	
b x h					20% L ₀		25% L ₀		30% L ₀		f _b	
area	mm				N	mm	N	mm	N	mm	N	mm
10	5	25	R 10 - 025	22,1	111	5,0	139	6,3	166	7,5	203	9,2
		32	R 10 - 032	17,5	112	6,4	140	8,0	168	9,6	212	12,1
		38	R 10 - 038	17,1	130	7,8	182	9,5	195	11,4	228	13,2
		44	R 10 - 044	15,0	132	8,8	185	11,0	198	13,2	27	15,1
		51	R 10 - 051	12,8	131	10,2	184	12,8	198	15,3	250	19,5
		64	R 10 - 064	10,7	137	12,8	171	16,0	205	19,2	233	21,8
		76	R 10 - 076	7,5	114	15,2	143	19,0	171	22,8	209	27,9
1,9 x 1,5		305	R 10 - 305	2,1	128	61,0	180	76,3	192	91,5	267	127,2
12,5	6,3	25	R 13 - 025	42,1	211	5,0	285	6,3	316	7,5	413	9,8
		32	R 13 - 032	33,2	212	6,4	286	8,0	319	9,6	452	13,6
		38	R 13 - 038	29,3	223	7,8	278	9,5	334	11,4	428	14,6
		44	R 13 - 044	24,6	216	8,8	271	11,0	325	13,2	445	18,1
		51	R 13 - 051	19,8	200	10,2	251	12,8	300	15,3	437	22,3
		64	R 13 - 064	15,0	192	12,8	240	16,0	288	19,2	410	27,3
		76	R 13 - 076	13,2	201	15,2	51	19,0	301	22,8	437	33,1
16	8	89	R 13 - 089	11,4	203	17,8	254	22,3	304	26,7	443	38,9
		102	R 13 - 102	8,4	171	20,4	214	25,5	257	30,6	368	43,8
		305	R 13 - 305	2,8	171	61,0	214	76,3	256	91,5	391	139,7
		25	R 16 - 025	75,7	5,0	379	6,3	477	7,5	568	8,4	636
		32	R 16 - 032	52,8	6,4	338	8,0	422	9,6	507	10,5	554
		38	R 16 - 038	48,5	7,8	369	9,5	461	11,4	55	13,6	660
		44	R 16 - 044	42,8	8,8	377	11,0	471	13,2	565	15,9	681
16	8	51	R 16 - 051	37,1	10,2	378	12,8	475	15,9	568	18,9	701
		64	R 16 - 064	30,3	12,8	388	16,0	485	19,2	582	24,9	754
		76	R 16 - 076	25,7	15,2	391	19,0	488	22,8	586	29,2	750
		89	R 16 - 089	21,7	17,8	386	22,3	484	26,7	579	34,5	749
		102	R 16 - 102	19,3	20,4	394	25,5	492	30,6	591	39,1	755
		115	R 16 - 115	15,7	23,0	361	28,8	452	34,5	542	44,0	691
		305	R 16 - 305	7,1	61,0	433	76,3	542	91,5	650	103,6	736
20	10	25	R 20 - 025	216	5,0	1080	6,3	1361	7,5	1620	8,3	1793
		32	R 20 - 032	168	6,4	1075	8,0	1344	9,6	1613	10,9	1831
		38	R 20 - 038	129	7,8	980	9,5	1226	11,4	1471	12,6	1613
		44	R 20 - 044	112	8,8	986	11,0	1232	13,2	1478	15,0	1680
		51	R 20 - 051	94,0	10,2	959	12,8	1203	15,3	1438	17,6	1654
		64	R 20 - 064	72,1	12,8	923	16,0	1154	19,2	1384	22,6	1629
		76	R 20 - 076	59,7	15,2	907	19,0	1134	22,8	1361	27,5	1642
20	10	89	R 20 - 089	50,5	17,8	899	22,3	1126	26,7	1348	31,7	1601
		102	R 20 - 102	44,2	20,4	902	25,5	1127	30,6	1363	37,5	1658
		115	R 20 - 115	38,4	23,0	883	28,8	1106	34,5	1325	42,6	1636
		127	R 20 - 127	34,1	25,4	866	31,8	1084	38,1	1299	45,5	1552
		139	R 20 - 139	31,0	28,0	868	35,0	1085	42,0	1302	50,1	1553
		152	R 20 - 152	28,2	30,4	857	38,0	1072	45,6	1286	55,8	1574
		305	R 20 - 305	15,0	61,0	915	76,3	1145	91,5	1373	114,1	1711

1998, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023, 2024, 2025, 2026, 2027, 2028, 2029, 2030, 2031, 2032, 2033, 2034, 2035, 2036, 2037, 2038, 2039, 2040, 2041, 2042, 2043, 2044, 2045, 2046, 2047, 2048, 2049, 2050, 2051, 2052, 2053, 2054, 2055, 2056, 2057, 2058, 2059, 2060, 2061, 2062, 2063, 2064, 2065, 2066, 2067, 2068, 2069, 2070, 2071, 2072, 2073, 2074, 2075, 2076, 2077, 2078, 2079, 2080, 2081, 2082, 2083, 2084, 2085, 2086, 2087, 2088, 2089, 2090, 2091, 2092, 2093, 2094, 2095, 2096, 2097, 2098, 2099, 2100, 2101, 2102, 2103, 2104, 2105, 2106, 2107, 2108, 2109, 2110, 2111, 2112, 2113, 2114, 2115, 2116, 2117, 2118, 2119, 2120, 2121, 2122, 2123, 2124, 2125, 2126, 2127, 2128, 2129, 2130, 2131, 2132, 2133, 2134, 2135, 2136, 2137, 2138, 2139, 2140, 2141, 2142, 2143, 2144, 2145, 2146, 2147, 2148, 2149, 2150, 2151, 2152, 2153, 2154, 2155, 2156, 2157, 2158, 2159, 2160, 2161, 2162, 2163, 2164, 2165, 2166, 2167, 2168, 2169, 2170, 2171, 2172, 2173, 2174, 2175, 2176, 2177, 2178, 2179, 2180, 2181, 2182, 2183, 2184, 2185, 2186, 2187, 2188, 2189, 2190, 2191, 2192, 2193, 2194, 2195, 2196, 2197, 2198, 2199, 2200, 2201, 2202, 2203, 2204, 2205, 2206, 2207, 2208, 2209, 2210, 2211, 2212, 2213, 2214, 2215, 2216, 2217, 2218, 2219, 2220, 2221, 2222, 2223, 2224, 2225, 2226, 2227, 2228, 2229, 2230, 2231, 2232, 2233, 2234, 2235, 2236, 2237, 2238, 2239, 2240, 2241, 2242, 2243, 2244, 2245, 2246, 2247, 2248, 2249, 2250, 2251, 2252, 2253, 2254, 2255, 2256, 2257, 2258, 2259, 2260, 2261, 2262, 2263, 2264, 2265, 2266, 2267, 2268, 2269, 2270, 2271, 2272, 2273, 2274, 2275, 2276, 2277, 2278, 2279, 2280, 2281, 2282, 2283, 2284, 2285, 2286, 2287, 2288, 2289, 2290, 2291, 2292, 2293, 2294, 2295, 2296, 2297, 2298, 2299, 2300, 2301, 2302, 2303, 2304, 2305, 2306, 2307, 2308, 2309, 2310, 2311, 2312, 2313, 2314, 2315, 2316, 2317, 2318, 2319, 2320, 2321, 2322, 2323, 2324, 2325, 2326, 2327, 2328, 2329, 2330, 2331, 2332, 2333, 2334, 2335, 2336, 2337, 2338, 2339, 2340, 2341, 2342, 2343, 2344, 2345, 2346, 2347, 2348, 2349, 2350, 2351, 2352, 2353, 2354, 2355, 2356, 2357, 2358, 2359, 2360, 2361, 2362, 2363, 2364, 2365, 2366, 2367, 2368, 2369, 2370, 2371, 2372, 2373, 2374, 2375, 2376, 2377, 2378, 2379, 2380, 2381, 2382, 2383, 2384, 2385, 2386, 2387, 2388, 2389, 2390, 2391, 2392, 2393, 2394, 2395, 2396, 2397, 2398, 2399, 2400, 2401, 2402, 2403, 2404, 2405, 2406, 2407, 2408, 2409, 2410, 2411, 2412, 2413, 2414, 2415, 2416, 2417, 2418, 2419, 2420, 2421, 2422, 2423, 2424, 2425, 2426, 2427, 2428, 2429, 2430, 2431, 2432, 2433, 2434, 2435, 2436, 2437, 2438, 2439, 2440, 2441, 2442, 2443, 2444, 2445, 2446, 2447, 2448, 2449, 2450, 2451, 2452, 2453, 2454, 2455, 2456, 2457, 2458, 2459, 2460, 2461, 2462, 2463, 2464, 2465, 2466, 2467, 2468, 2469, 2470, 2471, 2472, 2473, 2474, 2475, 2476, 2477, 2478, 2479, 2480, 2481, 2482, 2483, 2484, 2485, 2486, 2487, 2488, 2489, 2490, 2491, 2492, 2493, 2494, 2495, 2496, 2497, 2498, 2499, 2500, 2501, 2502, 2503, 2504, 2505, 2506, 2507, 2508, 2509, 2510, 2511, 2512, 2513, 2514, 2515, 2516, 2517, 2518, 2519, 2520, 2521, 2522, 2523, 2524, 2525, 2526, 2527, 2528, 2529, 2530, 2531, 2532, 2533, 2534, 2535, 2536, 2537, 2538, 2539, 2540, 2541, 2542, 2543, 2544, 2545, 2546, 2547, 2548, 2549, 2550, 2551, 2552, 2553, 2554, 2555, 2556, 2557, 2558, 2559, 2560, 2561, 2562, 2563, 2564, 2565, 2566, 2567, 2568, 2569, 2570, 2571, 2572, 2573, 2574, 2575, 2576, 2577, 2578, 2579, 2580, 2581, 2582, 2583, 2584, 2585, 2586, 2587, 2588, 2589, 2590, 2591, 2592, 2593, 2594, 2595, 2596, 2597, 2598, 2599, 2600, 2601, 2602, 2603, 2604, 2605, 2606, 2607, 2608, 2609, 2610, 2611, 2612, 2613, 2614, 2615, 2616, 2617, 2618, 2619, 2620, 2621, 2622, 2623, 2624, 2625, 2626, 2627, 2628, 2629, 2630, 2631, 2632, 2633, 2634, 2635, 2636, 2637, 2638, 2639, 2640, 2641, 2642, 2643, 2644, 2645, 2646, 2647, 2648, 2649, 2650, 2651, 2652, 2653, 2654, 2655, 2656, 2657, 2658, 2659, 2660, 2661, 2662, 2663, 2664, 2665, 2666, 2667, 2668, 2669, 2670, 2671, 2672, 2673, 2674, 2675, 2676, 2677, 2678, 2679, 26

ANEXO 13. Proforma construcción de matrices propuestas

Quito, 1 de marzo del 2019

PRO FORMA No 001

Señor
WILSON FABIAN AYALA
Presente.-

De mi consideración:

En atención a vuestro requerimiento, es muy grato presentar la siguiente cotización:

- Construcción de matriz para troquelado en lámina de cobre electrolítico de 0.9 mm según planos entregados por el cliente

Opción 1 con punzones mecanizados en acero de temple según ficha técnica de material \$ 3500,00 + IVA

Opción 2 con punzones suministrados por el fabricante TEIXTIE \$ 5300,00+ IVA

Condiciones generales de la oferta:

Forma de pago:	50% anticipo y 50% entrega
Tiempo de entrega:	20 días laborables
Validez de la oferta:	10 días laborables

En espera de vuestros valiosos comentarios, me suscribo.

Atentamente,

Andrés Domínguez
ACEPROMET CIA
info@acepromet.com.ec
Los Guabos N48-36 y Av. El Inca
Office : 593 022 413 994)
Cel. : 593 99 713 380 (M)

Director de Ventas
Aceros-Procesos-Metalmecánica
acepromet@yahoo.es
Quito, Ecuador
Fax 593 023 264 018
593 80 660 118 (P)

ANEXO 14. Proforma construcción matrices propuestas

	METALMECÁNICA Y SERVICIOS CENTRO DE MECANIZADO MAZAK - TORNO PARALELO 1m VOLTEO 5m ENTRE PUNTOS TORNO AL AIRE 3m DE VOLTEO - TORNO CNC MORISEIKI TALLADORA DE ENGRANES MORTAJADORA - TALADRO RADIAL - TALADRO DE COLUMNA - PRESADORA VERTICAL UNIVERSAL - SUELDAS MIG - TIG - ELECTRICA - AUTOGENA PRENSAS HIDRAULICAS - ESTRUCTURAS
<i>Quito, 6 de marzo del 2019</i>	
Cotización 6/3/19	
<i>Ingeniero</i> FABIAN AYALA <i>Presente.-</i>	
<i>A continuación, detallamos la oferta para la construcción de una matriz para troquelado de plancha de cobre espesor 0.91mm según muestra suministrado por el cliente</i>	
<i>A) Con punzones en acero K460 mecanizados y temple según datos técnicos de Aceros Bohler \$ 3780,00 mas iva</i> <i>b) Con punzones suministrados por los fabricantes Teixie o Gallastegi, \$ 5540,00 mas iva</i>	
<i>Oferta:</i>	
<i>Se requiere del 60% al contrato y 40% contra entrega y satisfacción del cliente, se entregaría en 25 días laborables</i>	
<i>Por Metalmecánica y Servicios</i> <i>RUC 1707589477001</i>   <i>Ing. Marco López</i> <i>Ventas M y S</i>	

Planos

