



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO**

**INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA**

**ÁREA ACADÉMICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**LICENCIATURA EN INGENIERIA INDUSTRIAL**

**TESIS**

**Diseño y desarrollo de un manual de uso básico de  
SigmaNEST para optimización de procesos de corte en la  
industria metalmecánica.**

Para obtener el título de

Licenciado en Ingeniería Industrial

**P R E S E N T A**

**ESMERALDA HERRERA VÁZQUEZ**

**Director**

**DR. CÉSAR ALFONSO ARROYO BARRANCO**

**Mineral de la Reforma, Hgo., México, Octubre de 2025**



Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo  
Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería  
School of Engineering and Basic Sciences

Mineral de la Reforma, Hgo., a 16 de octubre de 2025

Número de control: ICBI-D/1782/2025

Asunto: Autorización de impresión.

**MTRA. OJUKY DEL ROCÍO ISLAS MALDONADO**  
**DIRECTORA DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR DE LA UAEH**

Con Título Quinto, Capítulo II, Capítulo V, Artículo 51 Fracción IX del Estatuto General de nuestra Institución, por este medio, le comunico que el Jurado asignado a la egresada de la Licenciatura en Ingeniería Industrial **Esmeralda Herrera Vázquez**, quien presenta el trabajo de titulación "**Diseño y desarrollo de un manual de uso básico de SigmaNEST para optimización de procesos de corte en la industria metalmecánica**", ha decidido, después de revisar fundamento en lo dispuesto en el Título Tercero, Capítulo I, Artículo 18 Fracción IV; dicho trabajo en la reunión de sinodales, **autorizar la impresión del mismo**, una vez realizadas las correcciones acordadas.

A continuación, firman de conformidad los integrantes del Jurado:

**Presidente:** Mtro. Sergio Blas Ramírez Reyna

**Secretario:** Dr. Iván Alonso Lira Hernández

**Vocal:** Dr. César Alfonso Arroyo Barranco

**Suplente:** Dr. Edmundo Roldán Contreras

Sin otro particular por el momento, reciba un cordial saludo.

Atentamente  
"Amor, Orden y Progreso"

Mtro. Gabriel Vergara Rodríguez  
Director del ICBI



GVR/YCC

Ciudad del Conocimiento, Carretera Pachuca-  
Tulancingo Km. 4.5 Colonia Carboneras, Mineral de la  
Reforma, Hidalgo, México. C.P. 42184  
Teléfono: 771 71 720 00 Ext. 40001  
direccion\_icbi@uaeh.edu.mx, vergara@uaeh.edu.mx

"Amor, Orden y Progreso"



2025



uaeh.edu.mx



## Agradecimientos

A mi abuelo, que fue el primero en creer en mí. Su fe inquebrantable en lo que podía lograr me dio fuerzas incluso antes de que yo las tuviera. Desde que partiste, he extrañado profundamente poder contarte mis anécdotas, mis tropiezos y mis logros. Siempre pensé en lo mucho que te hubiera gustado saber cada detalle, y eso me motivaba a seguir.

A mi abuela, por ser mi refugio, por sus palabras llenas de sabiduría, su paciencia y por sus oraciones que me sostuvieron en los días más grises.

A mi tía Rosa y a Efraín, por sus consejos sinceros, su compañía constante y por hacerme sentir acompañada, incluso en la distancia como unos padres a su hija.

A Dios, por no soltarme nunca. Por darme esperanza cuando sentía que no podía más y por rodearme de personas que iluminaron mi camino.

A ese maestro que creyó en mí cuando más lo necesitaba. Su apoyo fue una chispa de confianza que marcó la diferencia.

A mi asesor de tesis, por su orientación, su tiempo y su paciencia. Gracias por confiar en mi trabajo y por ayudarme a plasmarlo con claridad.

A todas las personas que, de una u otra forma, me ofrecieron una palabra, un gesto, un consejo o una mano amiga en este camino. Este logro es también de ustedes.

Y a mí misma... a esa versión de mí que entró con miedo, con dudas, pero con la ilusión enorme de superarse. Que empezó sin saber nada, con solo sueños en la mochila y muchas ganas de salir adelante. Hoy no soy la misma: crecí, aprendí, resistí. Y aunque aún tengo mucho por recorrer, sigo deseando con fuerza ser mejor cada día.

Con cariño, Esme

## **PALABRAS CLAVE**

SigmaNest, corte por plasma, parámetros de corte, velocidad de corte, amperaje, corte CNC.

## **RESUMEN**

Este trabajo desarrolla un manual de usuario para la implementación y optimización del software SigmaNest en las máquinas de corte por plasma Whitney y Pantógrafo, empleadas en la industria metalmecánica. La investigación aborda los fundamentos del diseño y manufactura asistidos por computadora (CAD-CAM), así como el análisis de estas máquinas y su aplicación en los procesos de producción.

Se incluye un estudio de los métodos de corte por plasma, considerando antecedentes, tipos y aplicaciones en la industria. También se analizan las características y especificaciones técnicas de los modelos Whitney Piranha 3700SST y Automation Raptor Plasma HPR260XD, resaltando su papel en la optimización de la producción.

El manual describe el uso de SigmaNest en aspectos como importación de archivos, interfaz de usuario, estrategias de nesting y optimización, generación de programas CNC y mantenimiento preventivo. Asimismo, se presentan tablas de referencia de amperajes y velocidades, que permiten mejorar la precisión del corte y la eficiencia en la operación de ambas máquinas.

Los beneficios de la implementación incluyen la reducción del desgaste de consumibles, el aumento de la productividad y el aprovechamiento del material, generando un ahorro significativo en los costos operativos. Finalmente, se destaca la importancia de estandarizar procesos de corte para mejorar la calidad del producto y facilitar la capacitación de operarios y nuevos usuarios de SigmaNest.

## **KEYWORDS**

SigmaNest, plasma cutting, cutting parameters, cutting speed, amperage, CNC cutting.

## **ABSTRACT**

This work develops a user manual for the implementation and optimization of SigmaNest software in Whitney and Pantograph plasma cutting machines, used in the metalworking industry. The research addresses the fundamentals of computer-aided design and manufacturing (CAD-CAM), as well as the analysis of these machines and their application in production processes.

The study covers plasma cutting methods, including their background, types, and industrial applications. It also analyzes the technical specifications of the Whitney Piranha 3700SST and Automation Raptor Plasma HPR260XD models, highlighting their role in production optimization.

The manual explains the use of SigmaNest in areas such as file import, user interface, nesting and optimization strategies, CNC program generation, and preventive maintenance. Additionally, reference tables of amperage and speed are provided to improve cutting precision and operational efficiency in both machines.

The benefits of this implementation include reduced consumable wear, increased productivity, and better material utilization, generating significant savings in operating costs. Finally, the importance of standardizing cutting processes is emphasized to improve product quality and facilitate the training of operators and new SigmaNest users.

# ÍNDICE

PALABRAS CLAVE .....	i
RESUMEN.....	i
KEYWORDS.....	ii
ABSTRACT .....	ii
INTRODUCCIÓN.....	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
JUSTIFICACIÓN.....	2
OBJETIVO GENERAL.....	3
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN .....	3
Nivel lógico .....	4
Nivel procedimental .....	6
Nivel técnico .....	8
Técnicas documentales .....	8
Técnicas de campo .....	9
Técnicas propias de cada área tecnológica.....	9
CAPÍTULO 1 TECNOLOGÍA CAD-CAM.....	11
1.1 CAD.....	11
1.2 Programas CAD actuales .....	12
1.2.1 SolidWorks .....	14
1.2.2 Historia y evolución .....	14
1.2.3 Modelado 3D.....	15
1.3 CAM .....	17

1.4 Programas CAM actuales.....	19
1.4.1 SigmaNest.....	20
1.4.2 Historia y evolución .....	20
1.4.3 Procesos CAM de SigmaNest.....	20
CAPÍTULO 2 MÁQUINAS DE CORTE POR PLASMA .....	22
2.1 Corte por plasma.....	22
2.1.1 Historia del corte por plasma.....	22
2.2 Tipos de corte por plasma .....	23
2.2.1 Corte por plasma mecanizado.....	24
2.3 Aplicaciones del corte plasma en la industria .....	26
2.4 Piranha-Whitney 3700SST-Máquina combinada .....	27
2.4.1 Especificaciones del modelo .....	28
2.4.2 Herramientas y adaptadores .....	29
2.4.3 Sistema de corte por plasma MAXPRO200 .....	31
2.5 Pantógrafo: Automation Raptor Plasma HPR260XD.....	32
2.5.1 Especificaciones del modelo .....	32
2.5.2 Antorchas y Consumibles.....	34
2.5.3 Sistema de corte por plasma HPR260XD .....	35
CAPÍTULO 3 SILOS Y CAMIONES S.A DE C.V.....	36
3.1 Giro y sector industrial.....	36
3.2 Fabricación metalmecánica .....	37
3.3 Materiales.....	38
3.3.1 Acero Inoxidable (INOX) .....	38
3.3.2 Acero al carbono .....	39
3.3.3 Aluminio .....	40

CAPÍTULO 4. MANUAL DE USO DE SIGMANEST EN LA EMPRESA SILOS Y CAMIONES S.A. DE C.V .....	41
4.1 Importación y Gestión de Archivos CAD.....	44
4.1.1 Tipos de archivos compatibles .....	44
4.1.2 Organización y gestión de archivos.....	45
4.2 Importación de archivos .....	53
4.3 Interfaz de Usuario .....	59
4.3.1 Descripción general.....	59
4.3.2 Menús y herramientas principales.....	60
4.3.3 Personalización de la interfaz.....	63
4.4 Nesting y Optimización .....	69
4.4.1 Conceptos básicos de nesting.....	69
4.4.2 Estrategias de optimización.....	72
4.5 Creación y Edición de Piezas.....	87
4.5.1 Herramientas de dibujo .....	87
4.5.2 Edición de geometrías.....	88
4.6 Generación de Programas CNC.....	93
4.6.1 Gestión de acciones.....	93
4.6.2 Gestión de herramientas .....	96
4.6.3 Generación de códigos CNC.....	100
4.6.4 Edición de códigos CNC .....	101
4.6.5 Ejemplo práctico en descansos.....	112
4.6.6 Acciones finales .....	117
4.7 Mantenimiento y solución de problemas.....	119
4.7.1 Mantenimiento preventivo .....	119



4.7.2 Solución de problemas comunes .....	120
4.7.3 Actualizaciones y soporte técnico. ....	125
CAPÍTULO 5 BENEFICIOS Y RESULTADOS.....	126
5.1 Beneficios tecnológicos .....	126
5.2 Beneficios en la reducción de costos operativos .....	136
5.2.1. Optimización del consumo energético.....	136
5.2.2. Ahorro de tiempo.....	137
5.3 Beneficios para el usuario .....	138
CONCLUSIÓN.....	139
GLOSARIO.....	141
BIBLIOGRAFÍA.....	143

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Espiral lógica de la praxis investigativa tecnológica. Fuente Metodología Crítica de la Investigación .....	5
Figura 2. Investigación tecnológica. Etapa 2: planteamiento metodológico. Fuente Metodología Crítica de la Investigación .....	7
Figura 3. Técnicas de investigación tecnológica asociadas a cada bloque metodológico. Fuente Metodología Crítica de la Investigación .....	10
Figura 4. The CAD process. Fuente CAD/CAM: Concepts and Applications. ....	12
Figura 5. Interconexión versión anterior. Fuente creación propia .....	16
Figura 6. Interconexión versión actualizada. Fuente creación propia. ....	17
Figura 7. The CAM process. Fuente CAD/CAM: Concepts and Applications. ....	18
Figura 8. Máquina de corte y soldadura láser 3D con brazo robótico. Fuente recuperado de <a href="https://www.goldenfiberlaser.com/es/fiber-laser-robot-arm-3d-cutting-tube-pipe.html">https://www.goldenfiberlaser.com/es/fiber-laser-robot-arm-3d-cutting-tube-pipe.html</a> .....	25
Figura 9. Máquina para corte X-Y. Fuente recuperado de <a href="https://www.baw.com.ar/baw-tech/index.php">https://www.baw.com.ar/baw-tech/index.php</a> .....	25
Figura 10. (a y b). Whitney 3700SST. Fuente creación propia.....	27
Figura 11. . Cartucho de herramientas y adaptadores. Fuente recuperado de <a href="https://piranhafab.com/product/3700sst-combination-machine/">https://piranhafab.com/product/3700sst-combination-machine/</a> .....	29
Figura 12. Principales herramientas. Fuente recuperado de <a href="https://piranhafab.com/product/custom-punch/">https://piranhafab.com/product/custom-punch/</a> .....	30
Figura 13. Principales formas de las herramientas. Fuente recuperado de <a href="https://piranhafab.com/product/custom-punch/">https://piranhafab.com/product/custom-punch/</a> .....	31
Figura 14. (a y b). Raptor Plasma HPR260XD. Fuente creación propia .....	32
Figura 15. Dimensiones de Raptor. Fuente recuperado de <a href="https://gpamex.com/sistemas-de-corte/raptor-2/">https://gpamex.com/sistemas-de-corte/raptor-2/</a> .....	34
Figura 16. Componentes del cartucho. Fuente recuperado de <a href="https://www.hypertherm.com/es/hypertherm/hyperformance/hyperformance-hpr260xd/">https://www.hypertherm.com/es/hypertherm/hyperformance/hyperformance-hpr260xd/</a> .....	34

Figura 17. Cartucho según el amperaje. Fuente recuperado de <a href="https://www.hypertherm.com/es/hypertherm/hyperformance/hyperformance-hpr260xd/">https://www.hypertherm.com/es/hypertherm/hyperformance/hyperformance-hpr260xd/</a> .....	35
Figura 18. Silo y Tolda en Torre de grallanado. Fuente elaboración propia.....	37
Figura 19. Diagrama de flujo Proceso para Nesterio de piezas. Fuente creación propia.....	42
Figura 20. Diagrama de flujo Cambios de ingeniería. Fuente creación propia.....	43
Figura 21. Carpeta de proyectos. Fuente creación propia.....	46
Figura 22. Búsqueda de OT. Fuente creación propia.....	47
Figura 23. Búsqueda de archivos de la OT. Fuente creación propia.....	47
Figura 24. Lista de distribución de planos. Fuente creación propia.....	48
Figura 25. Carpeta de planos. Creación propia.....	49
Figura 26. Acceso rápido Bóveda. Fuente creación propia.....	49
Figura 27. Recuadro de Bóveda. Fuente creación propia.....	50
Figura 28. . Buscador en bóveda. Fuente creación propia.....	50
Figura 29. Localización de artículos en planos. Fuente creación propia.....	51
Figura 30. Búsqueda de artículo en bóveda. Fuente creación propia.....	51
Figura 31. (a y b). Cuadros de materiales. Fuente creación propia.....	52
Figura 32. Visualización de plano.Fuente creación propia.....	54
Figura 33. Descripción de material. Fuente creación propia.....	55
Figura 34. Reconocimiento de piezas. Fuente creación propia.....	55
Figura 35. Unidades de medida SolidWorks. Fuente creación propia.....	56
Figura 36. Carpeta de abrir SolidWorks. Fuente creación propia.....	56
Figura 37. Modelo 3D, SolidWorks. Fuente creación propia.....	57
Figura 38. Identificación de piezas en modelo 3D, SolidWorks. Creación propia.....	57
Figura 39. Pieza desplegada, SolidWorks. Fuente creación propia.....	58
Figura 40. Exportación DXF, SolidWorks. Fuente creación propia.....	58
Figura 41. Pantalla de inicio de SigmaNest. Fuente creación propia.....	60
Figura 42. Pantalla principal SigmaNEST. Fuente creación propia.....	60
Figura 43. (a y b). Menú para exportar SigmaNEST. Fuente creación propia.....	61
Figura 44. Archivos DXF. Fuente creación propia.....	62

Figura 45. Importación de Archivos DXF, SigmaNest.. Fuente creación propia.....	62
Figura 46. Tabla de datos a asignar, SigmaNest. Fuente creación propia.....	63
Figura 47. Cambio de OT, SigmaNest. Fuente creación propia.....	63
Figura 48. Número de piezas requeridas, SigmaNest. Fuente creación propia. ....	64
Figura 49. Nombre de la pieza, SigmaNest. Fuente creación propia. ....	64
Figura 50. Especificación de material, SigmaNest.. Fuente creación propia .....	64
Figura 51. Espesor de placa, SigmaNest. Fuente creación propia .....	65
Figura 52. Especificaciones de ítem 1.3. Fuente creación propia .....	65
Figura 53. Especificación de grado de placa. Fuente creación propia .....	65
Figura 54. Icono de Nesting, SigmaNest.. Fuente creación propia .....	66
Figura 55. Icono para agregar piezas a tarea, SigmaNest. Fuente creación propia. .....	67
Figura 56. Nombre de tarea, SigmaNest.Fuente creación propia.....	68
Figura 57. Ejemplo de tareas con grado de placa, SigmaNest. Fuente creación propia. .....	69
Figura 58. Piezas cortadas con nesting dinámico. Fuente recuperado de (ShopSabre, 2024). ....	70
Figura 59. Piezas cortadas con nesting rotacional.Fuente recuperado de (ShopSabre, 2024). ....	70
Figura 60. Piezas cortadas con Piezas cortadas con nesting mejorado o nesting de forma verdadera. Fuente recuperado de (ShopSabre, 2024). ....	71
Figura 61. Acceso rápido infor. Fuente creación propia.....	73
Figura 62. Recuadro de Búsqueda en infor. Fuente creación propia.....	73
Figura 63. Códigos en infor. Fuente creaación propia .....	74
Figura 64. Acomodo de piezas en placa, SigmaNest. Fuente creación propia. ....	75
Figura 65. Ajuste de placa y máquina, SigmaNest. Fuente creación propia. ....	76
Figura 66. Acomodo perfecto de la placa, SigmaNest. Fuente creación propia.....	77
Figura 67. Ventana de Reposiciones, SigmaNest. Fuente creación propia. ....	78
Figura 68. Posiciones de clams, SigmaNest. Fuente creación propia .....	79
Figura 69. Colocación a ángulo 0°, SigmaNest. Fuente creación propia. ....	80

Figura 70. Ejemplo de un correcto de acomodo, SigmaNest. Fuente creación propia.	81
Figura 71. . Botón para contornos, SigmaNest. Fuente creación propia.....	81
Figura 72. (a y b). Ejemplo de entradas, SigmaNest. Fuente creación propia .....	82
Figura 73. Ajuste de parámetros para entradas. Fuente creación propia. ....	83
Figura 74. Indicación de tareas a seguir, SigmaNest. Fuente creación propia. ....	84
Figura 75. Activación de herramientas, SigmaNest. Fuente creación propia.....	85
Figura 76. Menú para Activación de herramientas, SigmaNest Fuente creación propia .....	85
Figura 77. Herramientas cargadas en sistema, SigmaNest. Fuente creación propia.	86
Figura 78. Activación para parámetros de diseño, SigmaNest. Fuente creación propia. ....	87
Figura 79. Inicio para edición de geometría, SigmaNest. Fuente creación propia.	87
Figura 80. Línea de dos puntos. Fuente creación propia.....	88
Figura 81 a y b. Eliminación de líneas, SigmaNest. Fuente creación propia. ....	89
Figura 82 a y b. Colocación de círculos, SigmaNest. Fuente creación propia .....	90
Figura 83 a y b. Eliminación de líneas excedentes, SigmaNest. Fuente creación propia. ....	91
Figura 84. Confirmación de edición en geometría, SigmaNest. Fuente creación propia. ....	91
Figura 85. Corrección en oblongos, SigmaNest. Fuente creación propia. ....	92
Figura 86..Asignación de medidas para oblongos, SigmaNest. Fuente creación propia. ....	92
Figura 87. Eliminación de acciones, SigmaNest. Fuente creación propia.....	93
Figura 88. Ejemplificación de secuencia de tareas, SigmaNest. Fuente creación propia. ....	94
Figura 89. Función reposition, SigmaNest. Fuente creación propia.....	94
Figura 90. Función caída, SigmaNest. Fuente creación propia .....	95
Figura 91. Función de optimización de herramientas, SigmaNest. Fuente creación propia. ....	96

Figura 92. Ejemplificación de Descanso, SigmaNest. Fuente creación propia. ....	97
Figura 93. Ejemplo para un correcto acomodo de herramientas en descansos, SigmaNest. Fuente creación propia.....	98
Figura 94.. Menú para activación de herramienta de corte, SigmaNest. Fuente creación propia. ....	99
Figura 95. Recorte por coordenadas, SigmaNest. Fuente creación propia.....	99
Figura 96.. Guardado de código CNC, SigmaNest. Fuente creación propia.....	100
Figura 97. Ejemplo de código CNC para pantógrafo. Fuente creación propia .....	101
Figura 98. Modificación código CNC para pantógrafo. Fuente creación propia. ..	105
Figura 99. Ejemplo de código CNC para Whitney. Fuente creación propia. ....	106
Figura 100. . Edición de código CNC para Whitney. Fuente creación propia .....	109
Figura 101. Parámetro R84 en código CNC para Whitney. Fuente creación propia. ....	111
Figura 102. Nesterio de Descansos. Fuente creación propia .....	112
Figura 103. Datos iniciales del código CNC para Descansos Fuente creación propia. ....	113
Figura 104. Adición de la herramienta DIMPLE. Fuente creación propia .....	114
Figura 105. Ubicación de herramienta 0.250 Fuente creación propia.....	114
Figura 106. Copia de sección del código. Fuente creación propia.....	115
Figura 107. Parámetros a modificar. Fuente creación propia. ....	116
Figura 108. Menú para reporte de Nesterios, SigmaNest. Fuente creación propia. ....	117
Figura 109. Menú para reporte de Nesterios continuación, SigmaNest. Fuente creación propia.....	118
Figura 110. Error de dimensiones, SigmaNest. Fuente creación propia. ....	121
Figura 111. . Recuadro de aviso 1, SigmaNest. Fuente creación propia. ....	122
Figura 112. Recuadro de aviso 2, SigmaNest. Fuente creación propia .....	123
Figura 113. Recuadro de aviso 3, SigmaNest. Fuente creación propia .....	123
Figura 114. Placa procesada con dimensiones incorrectas. Fuente creación propia. ....	124
Figura 115. Gráfica de relación entre espesor, amperaje y velocidad. Fuente creación propia. ....	133



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Especificaciones del modelo 3700SST .....	28
Tabla 2 Especificaciones de Raptor - Grupo GPA .....	33
Tabla 3 Tabla de abreviaciones de materiales.....	64
Tabla 4 Tabla para TASK NAME .....	68
Tabla 5 Tabla de amperajes para pantógrafo .....	102
Tabla 6 Tabla de amperajes para pantógrafo (Calibres).....	103
Tabla 7 Tabla de velocidades pantógrafo .....	103
Tabla 8 Tabla de velocidades pantógrafo (Calibres).....	104
Tabla 9 Tabla de velocidades para W1 y W3.....	107
Tabla 10 Tabla de velocidades para W1 y W3 (Calibres). ....	108
Tabla 11 Tabla de consideraciones W2 .....	110
Tabla 12 Tabla de Reacomodo de amperajes para pantógrafo .....	128
Tabla 13 Tabla de Reacomodo de amperajes para pantógrafo (Calibres).....	129
Tabla 14 Tabla de relación entre espesor, amperaje y velocidad .....	132
Tabla 15 Tabla de Beneficios del ajuste de amperajes.....	138

## **INTRODUCCIÓN**

El inicio de un periodo de prácticas profesionales representa el primer acercamiento formal al entorno industrial, lo cual permite comprender de manera más clara los alcances y retos del ejercicio profesional. Durante esta etapa, los estudiantes enfrentan cargas de trabajo significativas, asumen responsabilidades dentro de la empresa y adquieren experiencia directa en los procesos productivos.

En el sector metalmecánico, donde la precisión y la eficiencia son factores determinantes, contar con herramientas que faciliten la integración de nuevos practicantes o personal resulta fundamental. Una guía clara de actividades no solo permite comprender las funciones asignadas, sino que también disminuye la posibilidad de errores, incrementa la seguridad en la ejecución de tareas y contribuye al cumplimiento de los estándares de calidad.

Con este propósito, la presente investigación desarrolla un manual orientado al uso del software SigmaNest en máquinas de corte por plasma Whitney y Pantógrafo, dentro del área de habilitado-manufactura. El proceso de nesting, que constituye la primera etapa en el tratamiento de la materia prima, resulta esencial para optimizar el aprovechamiento del material, garantizar la precisión en el habilitado de piezas y reducir los costos operativos.

Asimismo, el documento busca no solo servir como apoyo a los practicantes y personal en formación, sino también como una herramienta de consulta para la empresa, favoreciendo la estandarización de procedimientos, la eficiencia productiva y la mejora continua en el área de manufactura.

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La empresa opera bajo los principios de manufactura esbelta, por lo que únicamente trabaja con órdenes de producción específicas. Sin embargo, durante el desarrollo de dichas órdenes pueden presentarse fallas derivadas de errores en la programación, configuraciones inadecuadas o códigos CNC incorrectos. Estas situaciones ocasionan retrasos en la producción, rechazos por calidad, desperdicio de material, reprocesos y pérdidas económicas que afectan directamente el flujo de trabajo y los costos operativos.

Ante este escenario, resulta fundamental optimizar los parámetros de programación y el uso del software SigmaNest, con el fin de reducir los errores, mejorar la precisión en el corte y garantizar un aprovechamiento más eficiente del material y los recursos de producción.

## **JUSTIFICACIÓN**

Dentro de la empresa, el puesto de practicante tiene una duración de seis meses; sin embargo, no existe una adecuada coordinación entre la salida del practicante anterior y la incorporación del nuevo, lo que impide una correcta transferencia de conocimientos. Como consecuencia, el personal en formación se integra sin recibir una capacitación completa.

Los ingenieros responsables del área de procesos suelen enfrentar una elevada carga de trabajo, lo que limita el tiempo disponible para brindar una instrucción detallada. Debido a la complejidad de la información, es común que se omitan ciertos aspectos durante la explicación y que la retención de conocimientos sea insuficiente.

Ante esta situación, la elaboración de un manual que documente las actividades del puesto resultan fundamentales. Dicho material constituye una guía de consulta que permite estandarizar procedimientos, facilitar el aprendizaje de futuros practicantes y servir como referencia para cualquier persona interesada en el uso del software SigmaNest y sus aplicaciones en el área de habilitado-manufactura.

## **OBJETIVO GENERAL**

Diseñar y desarrollar una guía práctica para el uso y operación del software SigmaNest, orientada a facilitar los procesos productivos, mejorar el control de las actividades y fortalecer las habilidades técnicas de los usuarios.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Documentar de manera sistemática las actividades realizadas durante el periodo de prácticas, con el fin de generar una herramienta de consulta para futuros practicantes y nuevo personal.

Analizar el uso del software SigmaNest para establecer una base clara y fundamentada que favorezca su aplicación en el área de manufactura.

Implementar parámetros de amperaje y velocidad de acuerdo con el espesor de los materiales, optimizando los procesos de corte y aumentando la precisión operativa.

Estandarizar procedimientos en el área de habilitado-manufactura, promoviendo la eficiencia operativa, la reducción de errores y el aprovechamiento óptimo del material.

## **METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN**

Para el desarrollo de este trabajo se empleó la metodología de investigación tecnológica, cuyo propósito principal es generar, adaptar o perfeccionar herramientas, dispositivos, procedimientos y mecanismos que contribuyan a mejorar la eficiencia del trabajo humano (Pacheco, 2016). Este enfoque resulta pertinente dado que el proyecto no se limita a la recopilación teórica, sino que busca transformar los conocimientos adquiridos en una herramienta práctica, en este caso, un manual de uso y consulta para el software SigmaNest aplicado a máquinas de corte por plasma.

La investigación tecnológica, de acuerdo con Pacheco (2016), se estructura en distintos niveles procedimentales que permiten guiar de manera sistemática el desarrollo de innovaciones. En este proyecto, dichos niveles se integraron a través de la recopilación y análisis de información técnica, la observación directa de los procesos

productivos, la identificación de problemáticas en el área de habilitado-manufactura y la implementación de parámetros que favorezcan la estandarización de los procedimientos.

De esta manera, la metodología adoptada permitió no solo documentar las actividades realizadas en el puesto de prácticas, sino también proponer mejoras orientadas a la optimización del proceso de corte, garantizando un producto final con mayor precisión, menor desperdicio de material y reducción en los costos operativos.

## Nivel lógico

Este nivel hace referencia a la espiral lógica, la cual comprende desde el análisis crítico del instrumento actual que se desea mejorar o innovar, hasta el diseño, desarrollo y validación del prototipo. Dicho proceso se fundamenta en los binomios del pensamiento lógico, que permiten una evolución estructurada y coherente del proyecto.

En este caso, la aplicación del nivel lógico se refleja en la revisión y análisis del uso actual del software SigmaNest dentro del área de habilitado-manufactura, identificando sus limitaciones, errores frecuentes y oportunidades de mejora. Posteriormente, se plantea el diseño y desarrollo de un manual que funcione como herramienta de apoyo para los practicantes y personal nuevo, integrando parámetros técnicos y procedimientos estandarizados que aseguren mayor eficiencia y precisión en las operaciones.

De esta manera, el nivel lógico no solo se centra en comprender el estado actual del proceso, sino también en proponer mejoras viables que permitan una evolución continua en la gestión y aprovechamiento del software. Esto garantiza que el manual no sea únicamente un documento informativo, sino una herramienta de innovación aplicada, alineada con las necesidades productivas de la empresa y con el objetivo de optimizar tanto el uso del material como los tiempos de producción (Pacheco, 2016).





Conforme se recopilaron más datos y se aplicaron en la edición de los códigos, las correcciones y el retrabajo comenzaron a disminuir. Posteriormente, mediante la consulta de manuales técnicos y el trabajo conjunto con los operadores, se logró estandarizar una tabla con valores específicos que permitieron realizar ediciones más precisas en el código CNC.

La implementación de esta tabla representó un cambio significativo en el proceso, marcando un antes y un después, pues fue adoptada de manera permanente en las operaciones. De esta forma, el nivel lógico permitió pasar del análisis crítico a la innovación aplicada, validando la utilidad de los parámetros estandarizados en la mejora de la producción (Pacheco, 2016).

### Nivel procedimental

Este nivel se estructura en seis etapas. La primera corresponde al planteamiento del problema, en la cual se justifica el trabajo y se determinan los alcances que tendrá. Una vez implementado, se espera que el proyecto genere beneficios a nivel empresarial, y no únicamente de forma individual. En esta etapa también se definen los objetivos, orientados principalmente al diseño del manual y a la estandarización de una mejora previamente analizada y estructurada.

La segunda etapa corresponde al planteamiento metodológico, desarrollado a partir del entendimiento claro del alcance definido en la etapa anterior. Su función principal es establecer lo que se conoce como praxis investigativa, sustentada en tres bloques: fundamentos teóricos, contexto y descripción.

Posteriormente, en la tercera etapa, se aborda directamente la praxis investigativa, basada en el desarrollo e implementación del manual. Este documento fue elaborado de manera clara, precisa y ordenada, con el objetivo de facilitar su comprensión, de modo que el usuario pueda familiarizarse rápidamente con el contenido y emplearlo como una herramienta útil y práctica.

La etapa final corresponde a la elaboración de conclusiones, en las cuales se presentan los beneficios alcanzados y los resultados observados tras la implementación del manual.

Para ilustrar este segundo nivel, se diseñó un esquema que resume cada una de las etapas, de acuerdo con los requerimientos de la investigación.

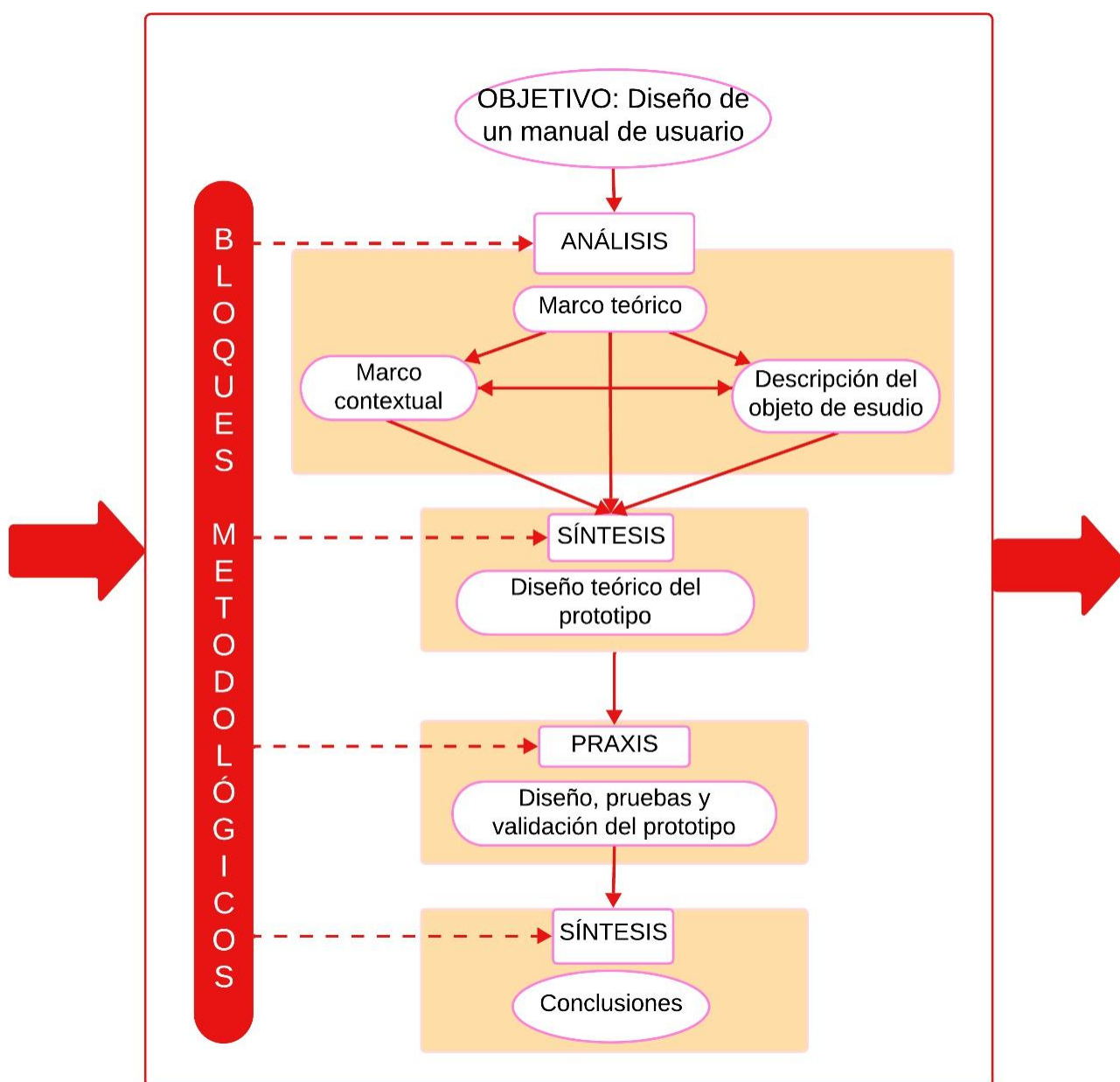


Figura 2. Investigación tecnológica. Etapa 2: planteamiento metodológico. Fuente Metodología Crítica de la Investigación.

## Nivel técnico

En este nivel se emplearon diversas técnicas, seleccionadas de acuerdo con la etapa específica del proceso de investigación en la que se trabajaba (Figura 3). La elección de cada técnica se realizó de manera estratégica, considerando su pertinencia y utilidad para facilitar el análisis, el diseño, la implementación y la evaluación del manual propuesto.

Estas técnicas permitieron garantizar la coherencia metodológica a lo largo del desarrollo del proyecto, contribuyendo a que cada fase se llevara a cabo de manera ordenada y estructurada. Asimismo, favorecieron la obtención de resultados más precisos y confiables, asegurando que el manual elaborado respondiera adecuadamente a las necesidades detectadas en el área de manufactura y que su aplicación tuviera un impacto positivo en los procesos operativos.

## Técnicas documentales

Para la aplicación de esta técnica se realizó un análisis riguroso de textos mediante una investigación exhaustiva en fuentes confiables, tales como libros especializados, revistas técnicas y sitios web reconocidos. El objetivo principal fue recopilar y seleccionar información relevante que sustentara teóricamente el desarrollo del manual, así como comprender a profundidad el funcionamiento del software SigmaNest y los procesos relacionados con el corte por plasma.

La búsqueda documental incluyó la revisión de literatura en torno a la manufactura esbelta, la programación CNC, la optimización de parámetros de corte y la estandarización de procesos productivos. De esta forma, se garantizó que la fundamentación del proyecto no solo se limitara al ámbito práctico, sino que también estuviera respaldada por teorías y lineamientos técnicos actualizados.

Además, las fuentes consultadas permitieron contrastar las prácticas observadas en la empresa con las metodologías y recomendaciones descritas en la literatura, lo cual brindó un marco de referencia sólido para el diseño del manual.

## Técnicas de campo

Estas técnicas se desarrollaron dentro de la empresa, iniciando con la observación detallada del procedimiento, las acciones repetitivas, los cambios realizados y los problemas que surgían con algunos programas y códigos CNC. De igual forma, se mantuvo una vigilancia constante sobre las soluciones recurrentes, con el objetivo de implementar un sistema de recopilación de datos que permitiera lograr una estandarización efectiva.

Para llevar a cabo este proceso de manera confiable, se consultó la opinión de los principales operadores de las máquinas, incorporando sus comentarios, sugerencias y recomendaciones. Asimismo, se aplicaron técnicas de campo basadas en la observación y consulta con operarios, lo que coincide con lo señalado por Hernández-Sampieri y Mendoza (2018) respecto a la importancia del trabajo directo en el área de estudio. Esto permitió construir una base de datos sólida y fiable, basada en las observaciones realizadas, lo que facilitó llegar a conclusiones precisas.

Como resultado, se diseñaron tablas específicas que fueron aceptadas e implementadas desde su creación. Además, se elaboraron diagramas que representan las tareas principales asociadas a cada puesto de trabajo involucrado en el proceso.

## Técnicas propias de cada área tecnológica

Estas técnicas se aplicaron dentro de la empresa, iniciando con la observación detallada de los procedimientos, las acciones repetitivas, los cambios realizados y los problemas que surgían en algunos programas y códigos CNC. Asimismo, se llevó a cabo un seguimiento constante de las soluciones recurrentes, con el propósito de implementar un sistema de recopilación de datos que permitiera lograr una estandarización efectiva.

Para asegurar la confiabilidad del proceso, se consultó la opinión de los principales operadores de las máquinas, incorporando sus comentarios, sugerencias y recomendaciones. Esto permitió construir una base de datos sólida y confiable, sustentada en las observaciones realizadas, lo cual facilitó la obtención de conclusiones precisas. Como resultado, se diseñaron tablas específicas que fueron aceptadas e implementadas desde su creación.

De manera complementaria, se elaboraron diagramas representativos de las tareas principales asociadas a cada puesto de trabajo involucrado en el proceso.

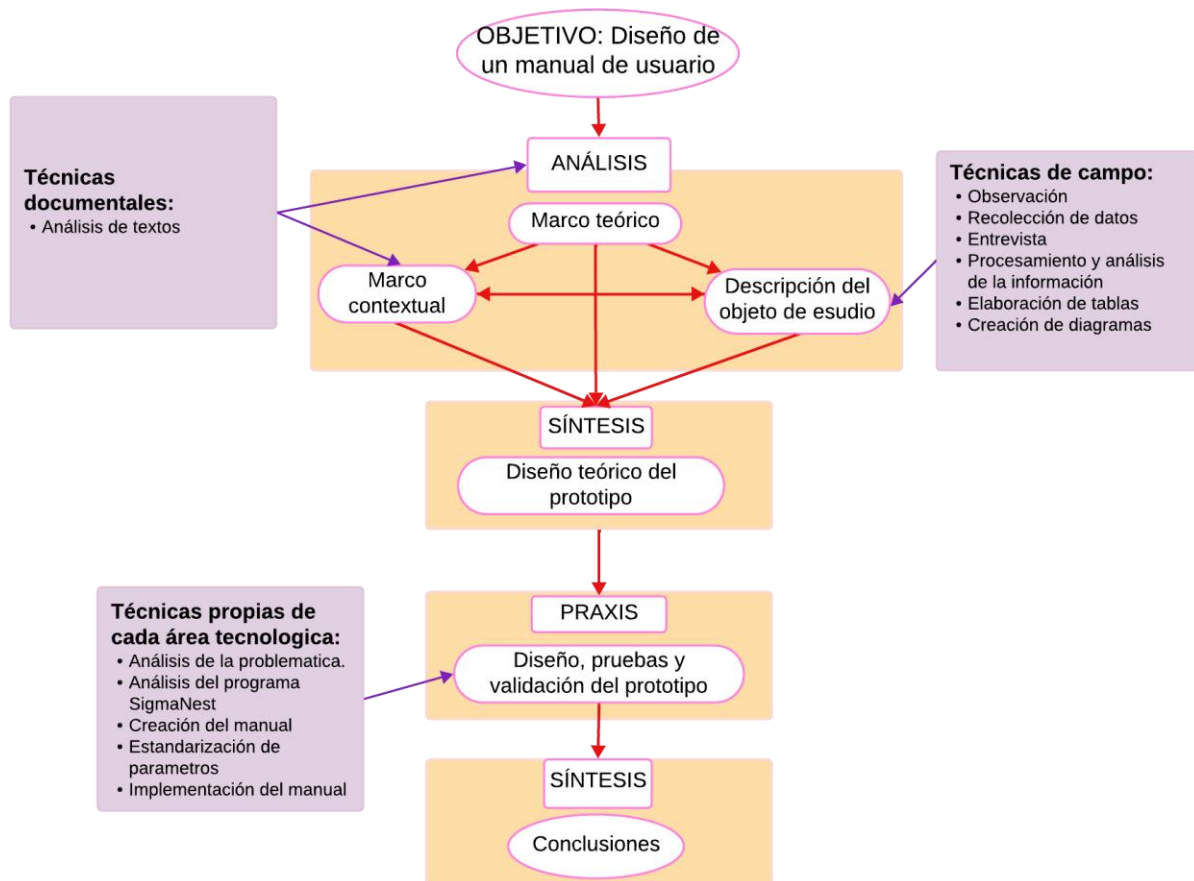


Figura 3. Técnicas de investigación tecnológica asociadas a cada bloque metodológico. Fuente Metodología Crítica de la Investigación.

# **CAPÍTULO 1 TECNOLOGÍA CAD-CAM**

## **1.1 CAD**

El término CAD (Computer-Aided Design) se refiere al Diseño Asistido por Computadora, el cual se desarrolla mediante diversos programas que integran herramientas gráficas avanzadas para una correcta ejecución del modelado. Estos softwares no solo facilitan la representación visual del producto, sino que también permiten analizar propiedades del material, como resistencia, dimensiones reales y características relacionadas con dobleces, rolados y ángulos.

Asimismo, los sistemas CAD contribuyen al cálculo preciso de costos, ya que posibilitan la asignación de materiales, la consulta de sus propiedades físicas y la determinación de su peso. De esta manera, se obtiene un cálculo exacto de los costos en función de los requerimientos del producto.

Otro beneficio relevante es la mejora en la ergonomía del trabajo, puesto que los programas están diseñados para ser rápidos y eficientes, reduciendo curvas de aprendizaje extensas y facilitando la utilización de comandos básicos. Estos sistemas también garantizan confiabilidad, dado que permiten obtener un diseño fiel a lo que se pretende fabricar. Algunos programas incluso incorporan pruebas de resistencia, con el fin de determinar los límites del producto de acuerdo con las características asignadas al material.

Una vez completado el diseño, el sistema CAD genera documentación detallada y de fácil interpretación, que incluye notas técnicas, especificaciones de soldadura, medidas y otros datos esenciales que agilizan la fase de manufactura.

Para comprender mejor este proceso, se recurre a la representación esquemática ilustrada en la Figura 4, donde se muestra la secuencia de acciones realizadas dentro de un entorno CAD, la cual puede variar según el tipo de análisis efectuado. En términos generales, el sistema CAD crea un modelo geométrico que, mediante algoritmos especializados, traduce las entidades dibujadas en datos útiles para el análisis de ingeniería.



Finalmente, tras someter el modelo a pruebas y evaluaciones, es posible identificar ajustes antes de su validación definitiva. Una vez aprobado, se procede a la documentación técnica y a la generación de los dibujos finales, los cuales sirven como base para la fase de producción.

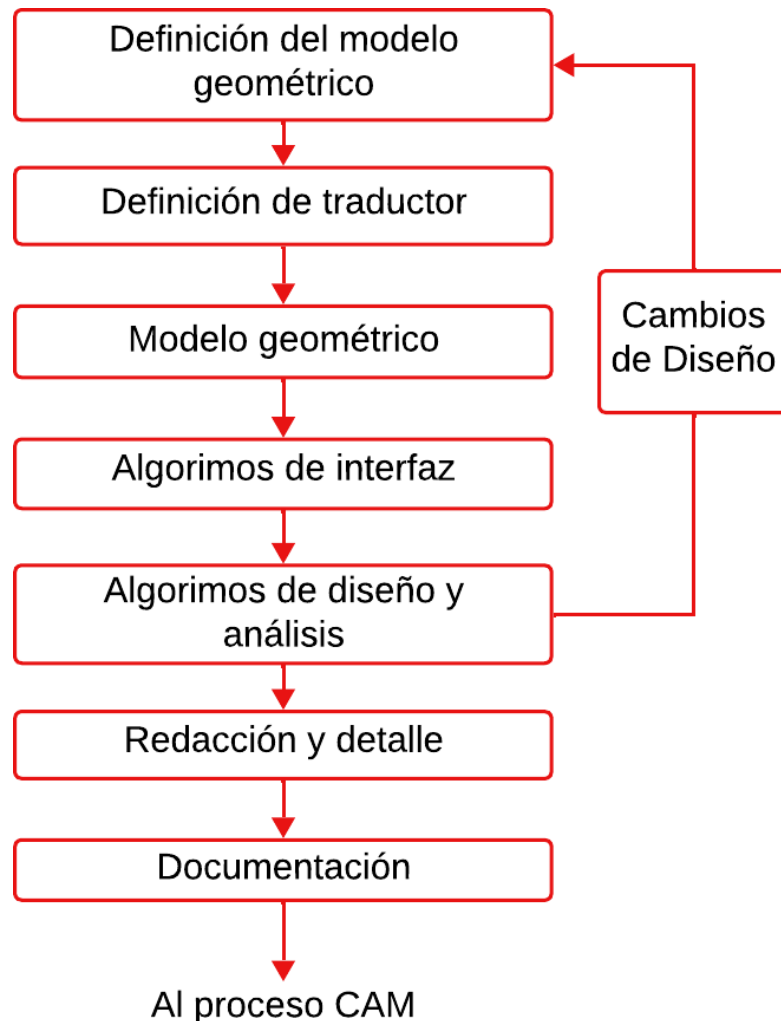


Figura 4. The CAD process. Fuente CAD/CAM: Concepts and Applications.

## 1.2 Programas CAD actuales

Los programas CAD cuentan con una amplia gama de aplicaciones dentro de la industria, que abarcan desde el diseño de edificios e infraestructura hasta la manufactura de productos y el diseño de moda. En muchos casos, estas herramientas incluyen

funciones de simulación y análisis que permiten validar los diseños antes de su fabricación, optimizando así el proceso de desarrollo de sistemas de ingeniería desde la concepción hasta la producción.

Entre los programas CAD más utilizados en la actualidad se encuentran los siguientes:

**AutoCAD:** Desarrollado por Autodesk, es uno de los softwares más reconocidos a nivel mundial. Es ampliamente utilizado en arquitectura y construcción para la elaboración de bocetos, dibujos y planos técnicos que cumplen con los parámetros solicitados por los clientes de manera rápida y eficiente.

**CATIA (Computer-Aided Three-Dimensional Interactive Application):** Destaca en sectores como el aeroespacial, automotriz y manufacturero debido a su capacidad para crear modelos tridimensionales complejos, así como para realizar análisis avanzados y detallados.

**BlocksCAD:** Diseñado con fines educativos, promueve el aprendizaje de la codificación y el pensamiento computacional. Una de sus ventajas es que permite materializar los diseños creados mediante ingeniería aditiva, es decir, impresión 3D.

**SolidWorks:** Considerado uno de los programas más completos en el ámbito industrial, se utiliza en diferentes etapas del proceso productivo. Ofrece herramientas especializadas no solo en el movimiento mecánico, sino también en diseño, análisis y documentación, lo que lo convierte en una solución integral para la manufactura.

**Solid Edge:** Especializado en el modelado tradicional de piezas, este programa incorpora tecnología síncrona, la cual permite que, al modificar una pieza, el sistema actualice de manera automática los parámetros asociados para conservar la funcionalidad del diseño.

En síntesis, la existencia de diversos programas CAD permite a las empresas seleccionar aquel que mejor se adapte a sus necesidades productivas, considerando factores como la complejidad del diseño, el tipo de industria y los recursos disponibles. Esta diversidad tecnológica resulta fundamental para lograr una transición eficiente hacia

el CAM (Computer-Aided Manufacturing), en donde los diseños creados en CAD se convierten en instrucciones precisas para la fabricación de piezas y productos.

### *1.2.1 SolidWorks*

SolidWorks es un software especializado en diseño asistido por computadora (CAD) en tres dimensiones, ampliamente utilizado en la industria manufacturera y de ingeniería. Su principal fortaleza radica en la capacidad de modelar piezas y ensamblajes complejos con alto nivel de detalle, así como en la generación de planos bidimensionales a partir de los modelos creados. De esta manera, permite que un mismo entorno de trabajo abarque desde el diseño conceptual hasta la documentación técnica requerida para la producción.

El software incluye herramientas avanzadas que facilitan la simulación de movimientos mecánicos, la evaluación de cargas e impactos, así como el análisis de factores de esfuerzo, deformación y resistencia de los materiales. Además, proporciona soluciones integradas para la gestión de datos y la publicación de diseños, favoreciendo un flujo de trabajo eficiente y colaborativo (Dassault Systèmes, 2022).

### *1.2.2 Historia y evolución*

La historia de SolidWorks comienza en 1993, cuando Jon Hirschtick fundó SolidWorks Corporation con la visión de democratizar el acceso al diseño CAD en tres dimensiones. Su objetivo era desarrollar una plataforma más accesible, intuitiva y compatible con sistemas ampliamente utilizados en la época, como Microsoft Windows. En 1995, se lanzó la primera versión comercial de SolidWorks, considerada como el primer software CAD 3D nativo para Windows, lo cual representó un cambio significativo en la industria.

La propuesta tuvo una rápida aceptación gracias a su facilidad de uso, que reducía la curva de aprendizaje y permitía a los ingenieros centrarse en la creatividad y en la funcionalidad de los diseños. En 1997, Dassault Systèmes, empresa francesa líder en soluciones de diseño e ingeniería, adquirió SolidWorks, convirtiéndola en una de sus filiales estratégicas. Esta integración marcó un hito en la evolución de la plataforma, al dotarla de mayores recursos tecnológicos y financieros para continuar su desarrollo (Dassault Systèmes, 2022).

Actualmente, SolidWorks ofrece un ecosistema de soluciones que abarcan diseño y simulación mecánica, diseño eléctrico y electrónico, gestión de proyectos, administración de datos y fabricación inteligente. Estas herramientas lo han consolidado como un referente en la transformación digital de la industria, al integrar en un mismo entorno procesos de innovación, validación y producción (Dassault Systèmes, 2022).

### *1.2.3 Modelado 3D*

Si se comparan los procesos del diseño asistido por computadora (CAD) con las funcionalidades que ofrece el software SolidWorks, puede concluirse que este cumple con las características requeridas y satisface ampliamente las necesidades del diseño técnico, como se observa en la Figura 4.

Dentro de la definición del modelo geométrico, SolidWorks integra un conjunto de herramientas que facilitan el diseño de modelos y ensamblajes. Asimismo, ofrece opciones de diseño mecánico y eléctrico, permitiendo seleccionar el tipo de desarrollo según los requerimientos específicos del proyecto.

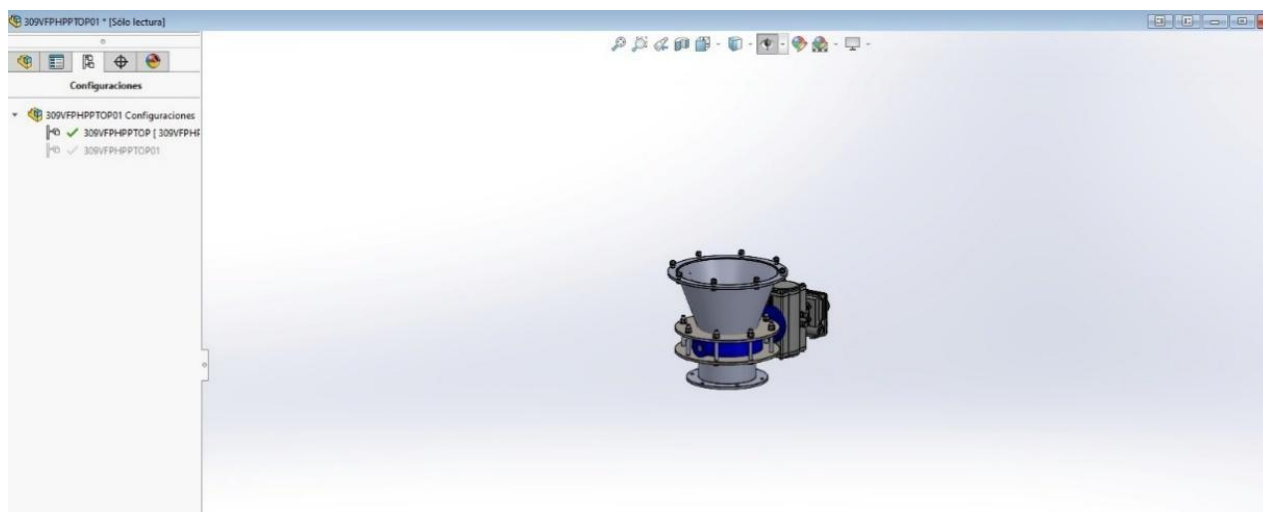
A medida que avanza la creación del diseño, el sistema genera la información necesaria para ser utilizada en SolidWorks Simulation, el módulo encargado de someter los modelos a condiciones reales o simuladas, asegurando de esta forma su funcionalidad y resistencia. Durante este proceso de modelado geométrico, los parámetros se ajustan conforme a las necesidades del diseño, lo cual garantiza una mayor compatibilidad con los requerimientos de manufactura.

En lo que respecta a los algoritmos de interfaz, diseño y análisis, el software incluye herramientas como SolidWorks PCB, SolidWorks Composer, SolidWorks Inspection y SolidWorks MBD. El módulo PCB gestiona el flujo de trabajo del diseño electrónico, mientras que los demás módulos permiten la actualización de datos, la generación de imágenes de alta calidad y la elaboración de documentación técnica precisa del producto.

Finalmente, con el propósito de asegurar una documentación correcta y controlada, SolidWorks integra SolidWorks PDM y SolidWorks Manage, herramientas que permiten la distribución segura de archivos, la gestión de versiones y el control de

acceso a los documentos. Gracias a estas funciones, se garantiza que, en caso de modificaciones de último momento, todos los involucrados trabajen con la versión más actualizada, evitando discrepancias entre diseños previos y actuales.

Un ejemplo de esta gestión de versiones y actualizaciones se observa en la modificación del ángulo de algunas piezas previamente diseñadas. En la Figura 5 se ilustra una interconexión donde puede apreciarse que la parte inferior del diseño presenta una lámina con borde recto.



*Figura 5. Interconexión versión anterior. Fuente creación propia*

Sin embargo, se identificó la necesidad de realizar un ajuste en el diseño, el cual establecía que tanto la brida superior como la inferior debían poseer la misma circunferencia. En consecuencia, las láminas correspondientes a ambas bridas debían incorporar un ángulo, aunque ubicado a diferentes alturas, respectivamente. En la versión anterior este cambio no se había reflejado, debido a que el sistema aún no había sido actualizado a la versión más reciente del diseño. Posteriormente, al actualizar el sistema PDM, se obtuvo la versión corregida con los parámetros adecuados. En la Figura 6 se muestra el nuevo diseño, en el cual ya se visualizan correctamente los cambios realizados.

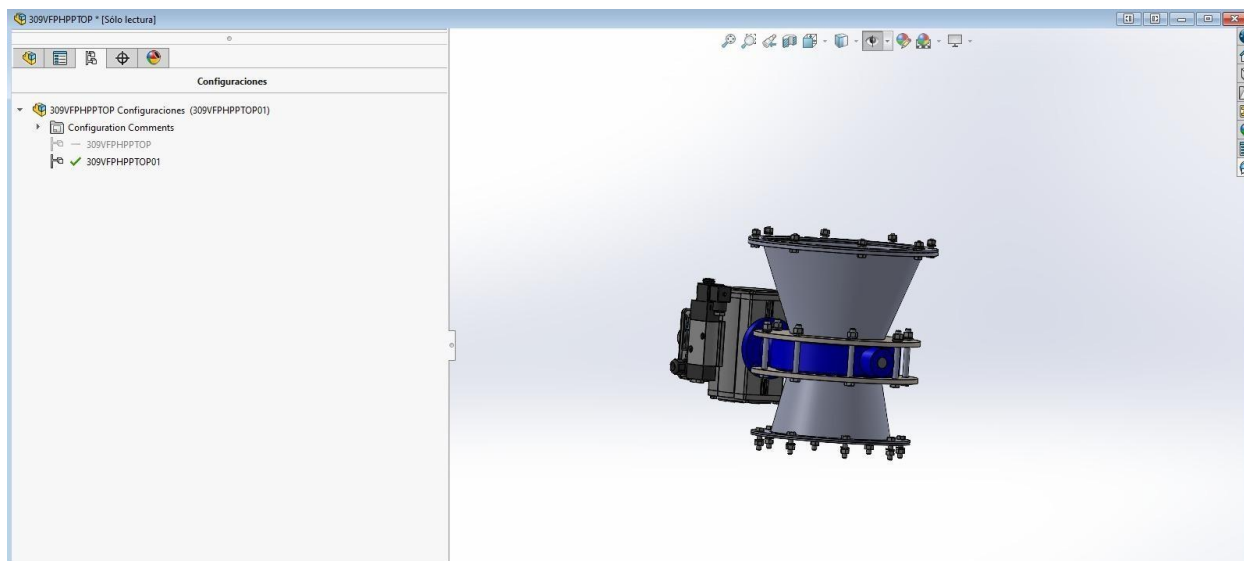


Figura 6. Interconexión versión actualizada. Fuente creación propia.

### 1.3 CAM

El término CAM corresponde a la Manufactura Asistida por Computadora. Este concepto se refiere a la planificación, gestión y control de las acciones necesarias para la fabricación mediante el uso de recursos tecnológicos disponibles en la empresa, con el propósito de automatizar los procesos productivos.

La función principal del CAM es la generación de instrucciones destinadas a la fabricación, lo cual se materializa en los códigos CNC, que posteriormente son introducidos en las máquinas de Control Numérico por Computadora. Generalmente, el CAM traduce la información proveniente del CAD y proporciona detalles como las herramientas a emplear, las velocidades de corte, las máquinas requeridas y los parámetros necesarios para ejecutar el proceso de manufactura.

Este sistema resulta fundamental porque garantiza tanto la precisión como la eficiencia dentro de los procesos productivos. Para comprender mejor su implementación dentro del ciclo CAD-CAM, puede observarse la Figura 7. Dicho proceso requiere de actividades propias del entorno CAD, ya que utiliza la misma información, interfaz y modelo previamente diseñado.



Durante la fase de planificación se desarrollan las instrucciones CNC, así como el análisis de las herramientas y equipos necesarios para la fabricación de las piezas. Una vez producidas, se implementa un sistema de inspección, el cual puede realizarse mediante herramientas computarizadas o de forma tradicional, es decir, con apoyo de personal capacitado y equipos de medición, asegurando así que se cumplan los parámetros establecidos.

Finalmente, las piezas se trasladan al área de ensamblado y posteriormente al embalaje, etapa que representa el último paso antes de la comercialización del producto.



*Figura 7. The CAM process. Fuente CAD/CAM: Concepts and Applications.*

## *1.4 Programas CAM actuales*

El software CAM (Manufactura Asistida por Computadora) tiene como función principal generar las trayectorias de mecanizado necesarias para la fabricación de un producto. Este tipo de programas traduce los modelos diseñados en CAD en instrucciones precisas que pueden ser ejecutadas por máquinas CNC.

Una correcta implementación de estos sistemas permite optimizar los procesos de manufactura, garantizando la calidad del producto final, al mismo tiempo que contribuye a la reducción de costos operativos, tiempos de producción y movimientos innecesarios de la maquinaria.

En la actualidad, existen diversos programas CAM enfocados en tareas específicas que abarcan desde operaciones de desbaste, corte y fresado, hasta sistemas robotizados orientados a la verificación de parámetros de calidad. Entre los más utilizados se encuentran los siguientes:

**PowerMill:** Especializado en la fabricación de formas complejas, principalmente en la industria aeroespacial, automotriz y de herramientas. Su principal enfoque es el maquinado por cinco ejes y la ejecución de operaciones de corte avanzadas.

**RhinoCAM:** Permite mecanizado en operaciones de torno, fresado y taladrado. Funciona en entornos tanto 2D como 3D y admite hasta cuatro ejes de trabajo.

**Surfcam:** Utilizado en centros de maquinado de 2 a 5 ejes, torno y máquinas EDM. Una de sus principales ventajas es la tecnología de asociatividad, que detecta cambios en el diseño CAD y regenera automáticamente las operaciones necesarias, evitando la reprogramación desde cero.

**SigmaNest:** Diseñado principalmente para tareas de nesting en máquinas de corte por plasma, láser, punzonado y combinadas. También es compatible con routers, taladros y otros procesos de corte. Su propósito central es reducir el desperdicio de material y garantizar trayectorias eficientes, lo que se traduce en ahorro y mayor productividad.

**Mastercam:** Genera trayectorias para operaciones de corte, desbaste y grabado, de acuerdo con las especificaciones del diseño. Es ampliamente reconocido por su versatilidad y aplicabilidad en distintos procesos de manufactura.

#### ***1.4.1 SigmaNest***

Este software, mencionado previamente, es el utilizado para el proceso CAM dentro de la empresa; por ello, se enfatizan sus características, historia y funciones.

SigmaNest ofrece una solución integral orientada a optimizar el flujo de trabajo en procesos de corte, basándose en el nesting (anidamiento) para lograr una producción ágil, precisa y eficiente. Es compatible con una amplia variedad de máquinas, lo que simplifica las operaciones y reduce la curva de aprendizaje para los usuarios (SigmaTEK Systems, s. f.; SigmaNEST, s. f.)

Algunas de las máquinas compatibles incluyen láser, plasma, oxicorte, combinación, chorro de agua, routers, entre otras

Su función principal consiste en optimizar el uso de materia prima mediante estrategias inteligentes de corte, disminuyendo los tiempos de ciclo y mejorando el rendimiento productivo. Muchos clientes reportan ahorros superiores al 4 % en material al adoptar esta tecnología

#### ***1.4.2 Historia y evolución***

La historia de SigmaNest inicia con la fundación de SigmaTEK en 1988. Cinco años más tarde, en 1993, Wayne Penn presentó el primer programa de la compañía, cuyo propósito principal fue ofrecer soluciones eficientes y de alta calidad para el corte de materiales.

Desde sus inicios hasta la actualidad, el software ha experimentado una evolución constante. En sus primeros años se consolidó como una herramienta innovadora gracias a su avanzado sistema de anidamiento (nesting) y a su amplia compatibilidad con diferentes tipos de máquinas de corte.

#### ***1.4.3 Procesos CAM de SigmaNest***

Para explicar esta sección, se considera la Figura 8, que muestra el proceso según sus funciones.

Dentro del modelado geométrico, SigmaNest ofrece diversas opciones de procesamiento automático de datos, siendo compatible con programas como SolidWorks, Autodesk Inventor, PTC Creo o Siemens NX, además de formatos como IGES, DXF y DWG.

Entre los parámetros más relevantes que han evolucionado se encuentra la expansión de funcionalidades, lo que ha permitido su adopción global. SigmaNest se ha convertido en una herramienta clave en los procesos de manufactura, ya que optimiza la producción, garantiza compatibilidad con una amplia variedad de máquinas CNC y presenta una interfaz amigable para el usuario.

En la segunda etapa del diagrama, se destaca su interfaz mejorada, la cual integra funciones de autorización, gestión de producción a través de sistemas ERP y MES, así como un sistema de monitoreo de inventarios.

En la tercera etapa, correspondiente a la planificación del proceso, el software es reconocido por su alta eficiencia en anidamiento, programación, organización del trabajo, planificación de la producción, reducción del tiempo de paro en máquinas, simulación y disminución inteligente del desperdicio de materia prima.

En lo que respecta a los programas CNC, SigmaNest trabaja con maquinaria de diversos fabricantes, lo que le permite ofrecer una amplia gama de aplicaciones en la industria. Esta compatibilidad simplifica las operaciones de las máquinas y reduce la curva de aprendizaje de múltiples softwares. Entre las máquinas que soporta se encuentran: láser, plasma, oxígeno-combustible, punzonado, combinadas, chorro de agua, doblado, corte, biselado, router, cuchillo, sierra, tubo y estructural.

En el caso de la empresa analizada, el proceso CAM se maneja hasta esta etapa, dado que aún se requiere trabajo manual en términos de horas-hombre.

## **CAPÍTULO 2 MÁQUINAS DE CORTE POR PLASMA**

### ***2.1 Corte por plasma***

El plasma se genera a partir del principio físico de que un sólido puede fundirse o un líquido evaporarse al incrementar su temperatura. Cuando se aplica energía suficiente a un gas, este se ioniza y cambia de estado, transformándose en plasma, considerado como el cuarto estado de la materia (Kalpakjian & Schmid, 2014).

En un sistema de corte por plasma, se introduce un gas, comúnmente aire, nitrógeno, oxígeno o mezclas especiales, que, al ser sometido a una alta frecuencia y a temperaturas elevadas, se ioniza. De esta manera, se forma un arco eléctrico de plasma que alcanza temperaturas que pueden superar los 20,000 °C (Hypertherm, 2020). Este arco es el encargado de fundir el material y, mediante el flujo del mismo gas a presión, expulsar el metal fundido fuera de la ranura de corte.

El proceso se caracteriza por su alta velocidad de corte y su capacidad para trabajar con materiales de distintos espesores. Sin embargo, únicamente puede aplicarse en metales que sean conductores de electricidad, como el acero al carbono, acero inoxidable y aluminio, entre otros (ASM International, 2016).

Gracias a estas propiedades, el corte por plasma ha sido adoptado ampliamente en la industria manufacturera, especialmente en sectores donde se requiere rapidez, precisión y versatilidad en los procesos de corte.

#### ***2.1.1 Historia del corte por plasma***

El origen del corte por arco de plasma se sitúa en la década de 1950, cuando ingenieros de la empresa Linde Air Products Company, con sede en Nueva York, desarrollaron el primer sistema con el objetivo de sustituir el proceso de oxicorte (Kalpakjian & Schmid, 2014). Para 1957, se utilizaba el proceso GTAW (Gas Tungsten Arc Welding), principalmente para el corte de chapas de acero y aluminio.

A finales de la década de los 60, se creó una antorcha de doble flujo que usaba aire comprimido en lugar de gases, lo que mejoró la calidad y precisión de los cortes. Sin embargo, presentaba la desventaja de solo poder repetir patrones específicos, además de ser un proceso lento y costoso.

En la década de los 70, el desarrollo del corte por plasma se centró en el control de humos y vapores producidos durante el proceso, introduciendo mesas de agua y silenciadores para mejorar la seguridad. También se diseñaron múltiples boquillas con el objetivo de optimizar la precisión del arco. En este mismo periodo, se desarrollaron las primeras máquinas de corte por plasma controladas numéricamente (CNC), lo que permitió cortes más precisos, eficientes y con mayor flexibilidad en el rango de movimientos (Hypertherm, 2020).

En la década de 1980, se alcanzó la portabilidad de las unidades de corte, haciéndolas más ergonómicas y fáciles de transportar. Desde los años 90, con la llegada del plasma de alta definición y la integración de sistemas CNC automatizados, se eliminaron errores relacionados con el operador y se mejoró la calidad de los cortes, incrementando la productividad y reduciendo los costos.

Hoy en día, los CNC modernos incluyen pantallas táctiles y están integrados con sistemas CAD-CAM, lo que permite optimizar trayectorias, reducir el tiempo de programación y simplificar la capacitación de los operarios.

## *2.2 Tipos de corte por plasma*

Los procesos de corte por plasma varían según el tipo de equipo, los gases empleados y los accesorios utilizados, lo que determina la precisión, la velocidad y la calidad final del corte. Entre los tipos más comunes destacan:

**Corte por plasma manual:** Este método emplea una antorcha portátil manejada directamente por el operador, quien dirige el arco de plasma sobre la pieza. Su principal ventaja es la flexibilidad para trabajos pequeños o en campo, sin necesidad de equipos complejos. Sin embargo, presenta limitaciones en cuanto a la precisión y uniformidad de los cortes, pudiendo generar bordes irregulares y mayor desperdicio de material.

**Corte por plasma CNC:** En este proceso, los trayectos de corte y sus parámetros son programados en un sistema computarizado, el cual controla de manera automática la máquina. Al integrarse con software CAD/CAM, permite cortes de alta precisión, repetitividad y rapidez, reduciendo significativamente los errores humanos. Este tipo de

plasma es ideal para la producción en serie, geometrías complejas y proyectos donde se requiere uniformidad y calidad.

**Corte por plasma con aire comprimido:** Se caracteriza por utilizar aire comprimido como gas de corte, lo que lo hace más accesible y económico frente a otros gases industriales. Sin embargo, este método ocasiona una erosión más rápida de los electrodos y una mayor oxidación en las superficies cortadas, reduciendo la calidad del acabado y la durabilidad del proceso. Por esta razón, su uso suele limitarse a aplicaciones donde los costos bajos sean más importantes que la calidad del corte.

En conclusión, la selección del tipo de corte por plasma depende de factores como la complejidad de la pieza, la precisión requerida, el volumen de producción y los recursos disponibles, siendo el corte por plasma CNC la opción más eficiente en entornos industriales.

### *2.2.1 Corte por plasma mecanizado*

El corte por plasma mecanizado consiste en un sistema automatizado para el seccionamiento de metales, basado en el principio del arco eléctrico que genera un chorro de gas ionizado (plasma) con temperaturas extremadamente altas, capaces de fundir y cortar materiales conductores. Este proceso es controlado principalmente mediante sistemas CNC, lo que permite obtener cortes con gran precisión, velocidad y repetitividad en la producción (Hypertherm, 2023).

Dentro de la industria, los sistemas de plasma mecanizado más utilizados son:

**Mesas de plasma CNC:** Son plataformas de gran tamaño que operan principalmente en dos ejes (X e Y). Incorporan un pórtico móvil que desplaza la antorcha de plasma sobre la mesa de trabajo, garantizando cortes precisos y consistentes. Este tipo de mesa permite procesar piezas de distintas dimensiones, ofrece un alto grado de automatización y resulta ideal para la producción en serie, ya que reduce el margen de error y optimiza los tiempos de fabricación (Hypertherm, 2021).

**Sistemas de plasma estilo pórtico:** Funcionan de forma similar a una grúa pórtico, ya que la estructura se desplaza sobre rieles en los ejes X e Y. Gracias a esta

movilidad, pueden abarcar superficies amplias y trabajar en piezas de gran tamaño o geometrías complejas, manteniendo una buena flexibilidad y eficiencia en el proceso.

**Corte por plasma robótico:** En este sistema, un robot industrial equipado con una antorcha de plasma realiza los cortes en tres ejes (X, Y, Z), lo que permite obtener cortes tridimensionales en piezas con formas complejas. Su principal ventaja es el acceso a áreas de difícil alcance con métodos convencionales, además de su gran versatilidad para adaptarse a diferentes configuraciones productivas. Por estas razones, es considerado el sistema más flexible y avanzado dentro de los procesos de corte por plasma mecanizado (Hypertherm, 2023).



Figura 8. Máquina de corte y soldadura láser 3D con brazo robótico. Fuente recuperado de <https://www.goldenfiberlaser.com/es/fiber-laser-robot-arm-3d-cutting-tube-pipe.html>



Figura 9. Máquina para corte X-Y. Fuente recuperado de <https://www.baw.com.ar/baw-tech/index.php>



### *2.3 Aplicaciones del corte plasma en la industria*

Los sistemas de corte por plasma mecanizado poseen un amplio rango de aplicaciones en la industria, ya que permiten optimizar procesos productivos, mejorar la calidad del producto final y reducir costos operativos. Entre los principales sectores donde se emplea destacan los siguientes:

**Industria metalmecánica:** El corte por plasma se utiliza principalmente en el seccionamiento de chapa metálica, lo que permite obtener piezas de alta precisión en grandes volúmenes. Gracias a su versatilidad, se reducen significativamente los tiempos de producción y el desperdicio de material, además de ofrecer la posibilidad de personalizar cortes de acuerdo con los requerimientos de cada proyecto, aumentando así la flexibilidad en la fabricación

**Fabricación automotriz:** Dentro de este sector, el plasma es esencial para el procesamiento de componentes clave como chasis, bastidores y paneles de carrocería. Su uso garantiza tolerancias estrictas y piezas uniformes, lo que contribuye directamente a la seguridad y el desempeño de los vehículos (Hypertherm, 2023).

**Fabricación aeroespacial:** El plasma se aplica en la producción de elementos estructurales como costillas, largueros, paneles y soportes de motores. Una de sus principales ventajas es la posibilidad de generar estructuras ligeras y resistentes al mismo tiempo, favoreciendo la eficiencia del combustible y el rendimiento general de las aeronaves.

**Fabricación de acero estructural:** El corte por plasma es clave en el procesamiento de vigas, pilares y placas de gran formato. El uso de técnicas avanzadas como el anidamiento (nesting) y el corte biselado contribuye a mejorar la precisión, calidad y seguridad de las estructuras fabricadas.

**Construcción naval:** Este sector demanda cortes de gran escala y alta precisión. El plasma se emplea en el corte de placas para cascos, cubiertas, mamparos, marcos y largueros, así como en tuberías y conductos. Su aplicación facilita la construcción y mantenimiento de embarcaciones bajo altos estándares de calidad y seguridad

## 2.4 Piranha-Whitney 3700SST-Máquina combinada



a



b

Figura 10. (a y b). Whitney 3700SST. Fuente creación propia.

La máquina Piranha-Whitney 3700SST combina dos tecnologías fundamentales en la manufactura: el punzonado y el corte por plasma. Una de las principales ventajas de esta integración es que los orificios se perforan mediante herramientas de punzonado, lo que garantiza alta precisión en cada perforación. Además, este proceso resulta mucho más rápido que realizar los agujeros por corte plasma, traduciéndose en mayor eficiencia y menores costos operativos (Piranha-Whitney, 2020).

El uso de esta máquina combinada permite optimizar los tiempos de producción, ya que mientras se ejecutan cortes por plasma en áreas específicas, de manera simultánea se pueden perforar múltiples orificios con rapidez y exactitud. Esto mejora la productividad general de la línea, reduce el desgaste de consumibles y minimiza el gasto energético.

Por estas razones, el Piranha-Whitney 3700SST es considerado una opción altamente valorada en la industria metalmecánica, especialmente en proyectos que requieren versatilidad y alta calidad en el acabado final de las piezas (Piranha-Whitney, 2020).

### 2.4.1 Especificaciones del modelo

Al tratarse de una máquina combinada, la Piranha-Whitney 3700SST cuenta con especificaciones tanto para herramientas de punzonado como para el corte por plasma.

En cuanto al punzonado, esta máquina puede operar con una amplia gama de herramientas intercambiables, lo que permite realizar operaciones de perforado de diferentes diámetros y geometrías con gran precisión. Su sistema de torreta automática facilita el cambio rápido de herramientas, optimizando los tiempos de preparación y reduciendo paros no productivos (Piranha-Whitney, 2020).

Por otra parte, en la sección de corte por plasma, la 3700SST está equipada con fuentes de plasma de alta capacidad, compatibles con sistemas de última generación como el MAXPRO200, los cuales permiten cortes rápidos, con bordes de excelente calidad y mínima escoria. La combinación de ambos sistemas en una misma plataforma proporciona a los usuarios una solución integral, con altos niveles de productividad y precisión en piezas de distintos tamaños y espesores (Hypertherm, 2019).

**Tabla 1**

*Especificaciones del modelo 3700SST*

	<b>PULGADA</b>	<b>MÉTRICO</b>
<b>Fuerza de punzón</b>	55 toneladas	500 kN
<b>Espesor del material</b>		
<b>Mínimo</b>	0.060	1.5 milímetros
<b>Máximo</b>	.750	19.0 milímetros
<b>Diámetro máximo del punzón</b>	5.000	127 milímetros
<b>Área de procesamiento</b>		
<b>Eje X</b>	120	3030 milímetros
<b>Eje Y</b>	63	1600 milímetros
<b>Peso máximo del material</b>	1.000#	450 kilos
<b>Requisitos eléctricos</b>	175A	

<b>Requisitos neumáticos</b>	50 pies cúbicos por minuto a 90 ps	1700 l/min a 6,2 bares
------------------------------	------------------------------------	------------------------

<b>Superficie aproximada</b>		
<b>Delante-Detrás</b>	340	8650 milímetros
<b>Izquierda-Derecha</b>	284	7191 milímetros
<b>Altura (cambiador de herramientas)</b>	130	3302 milímetros
<b>Altura (marco de prensa)</b>	113	2871
<b>Altura (Isla de Poder)</b>	97	2464

Nota. Adaptado de (Piranha Metal Fabrication Equipment by MegaFab. , 2022).

<https://piranhafab.com/product/3700sst-combination-machine/>

### 2.4.2 Herramientas y adaptadores

Dado que la Piranha-Whitney 3700SST es una máquina combinada, requiere un cartucho de herramientas y adaptadores para operar correctamente sus funciones de punzonado y corte. Como se observa en la Figura 11, este sistema integra elementos diseñados para asegurar precisión y cambios rápidos.



Figura 11. . Cartucho de herramientas y adaptadores. Fuente recuperado de <https://piranhafab.com/product/3700sst-combination-machine/>

Dentro de este cartucho se pueden identificar los siguientes componentes:

**Tool Cartridge:** cartucho donde se alojan y organizan los diferentes punzones y accesorios.

**Punch Alignment Ring:** anillo de alineación que centra el punzón con la matriz para garantizar tolerancias adecuadas.

**Stripper Plate:** placa desprendible que sujeta la lámina y retira el material tras el punzonado, evitando que la pieza se levante.

**Die Adapter:** adaptador de matrices (hasta 4”), que amplía la compatibilidad con distintos diámetros y geometrías.

Las herramientas que se utilizan son principalmente punzones, matrices y troqueles. Dentro de estas formas se pueden identificar las siguientes:

**Punzones estándar:** redondos y oblongos, de uso general.

**Punzones de forma:** cuadrados, rectangulares, ranuras y figuras especiales según diseño.

**Matrices correspondientes:** dimensionadas de acuerdo con el punzón y el material a procesar.

**Troqueles y herramientas auxiliares:** por ejemplo, herramientas para embutidos superficiales (dimples) o marcados.

Las Figuras 12 y 13 muestran ejemplos de los modelos estándar disponibles.



Figura 12. Principales herramientas. Fuente recuperado de <https://piranhafab.com/product/custom-punch/>

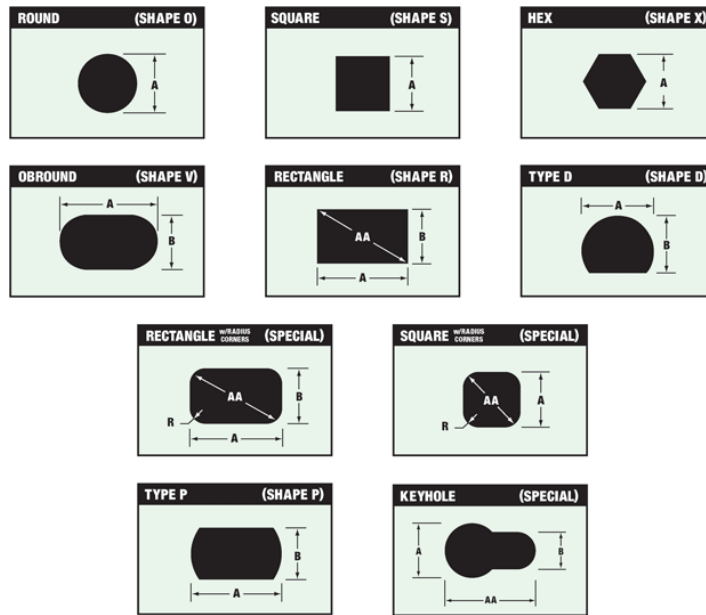


Figura 13. Principales formas de las herramientas. Fuente recuperado de <https://piranhafab.com/product/custom-punch/>

La máquina admite herramientas especiales bajo pedido, lo que permite adaptarse a geometrías no estándar. El sistema de cartucho y adaptadores facilita cambios rápidos y consistentes, manteniendo la repetitividad del proceso.

#### 2.4.3 Sistema de corte por plasma MAXPRO200®

El modelo Piranha-Whitney 3700SST incorpora el sistema de corte por plasma MAXPRO200®, diseñado por Hypertherm, reconocido por su confiabilidad y alto rendimiento en operaciones industriales. Este equipo está optimizado para ofrecer cortes consistentes en una amplia gama de espesores, tanto en acero al carbono como en acero inoxidable y aluminio.

El MAXPRO200® funciona con aire y oxígeno, siendo el oxígeno el gas de mayor rendimiento para el corte de acero al carbono, ya que proporciona una mayor capacidad de penetración, cortes más rápidos y mejor calidad en los bordes. Su tecnología permite alcanzar velocidades de corte significativamente superiores en comparación con otros sistemas convencionales, lo que se traduce en mayor productividad y reducción de tiempos de ciclo.

## 2.5 Pantógrafo: Automation Raptor Plasma

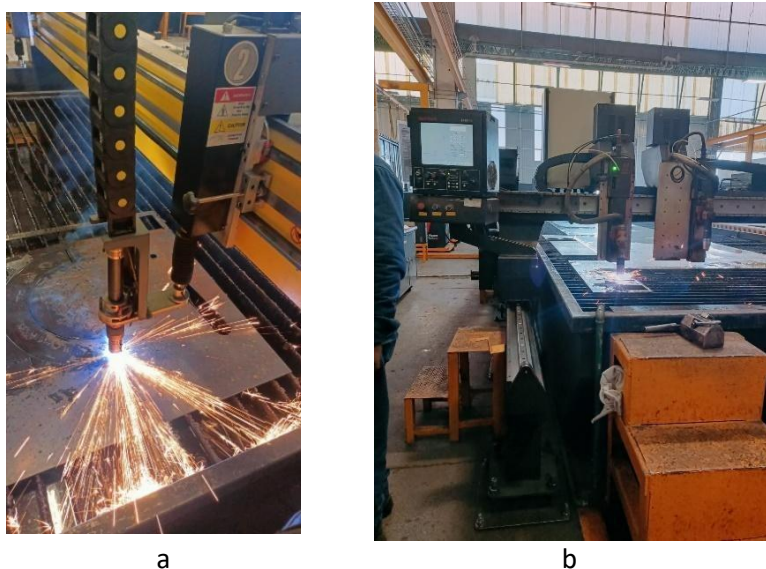


Figura 14. (a y b). Raptor Plasma HPR260XD. Fuente creación propia

El Automation Raptor Plasma HPR260XD es un pantógrafo de alto rendimiento diseñado para realizar cortes de gran precisión en diferentes tipos de materiales metálicos. Este equipo está equipado con dos motores principales que controlan los ejes X y Y, lo que le permite desplazarse con exactitud en toda el área de la mesa de trabajo.

Su sistema de control facilita el ajuste de parámetros críticos, como la velocidad de corte, la altura de la antorcha y la potencia aplicada, lo que garantiza una operación flexible y adaptable a las necesidades de producción. Además, este pantógrafo ofrece la opción de trabajar con doble antorcha, lo que incrementa la productividad al permitir realizar cortes simultáneos o configuraciones especiales en piezas de mayor complejidad.

### 2.5.1 Especificaciones del modelo

El sistema mecánico del Raptor HPR260XD está diseñado con un mecanismo de alineación y nivelación que garantiza un movimiento preciso incluso a altas velocidades de corte. Este diseño no solo mejora la exactitud del proceso, sino que también reduce las vibraciones y desviaciones durante la operación.

Además, este sistema contribuye a minimizar el desgaste de los componentes críticos, como guías lineales, motores y husillos, lo que a su vez prolonga la vida útil de

la maquinaria. La robustez de su estructura permite mantener una repetitividad confiable en toda el área de trabajo, asegurando que los cortes mantengan la misma calidad en cada ejecución, incluso en producciones de gran volumen.

Estas características hacen del Raptor una máquina altamente competitiva para aplicaciones industriales que demandan precisión, durabilidad y eficiencia energética.

A continuación, en la Tabla 2 y la Figura 19 se presentan las principales especificaciones técnicas del pantógrafo Automation Raptor Plasma HPR260XD. Estos parámetros permiten conocer su capacidad operativa, rango de trabajo y las condiciones óptimas bajo las cuales puede desempeñarse, proporcionando una visión clara de su rendimiento en aplicaciones industriales.

**Tabla 2**

*Especificaciones de Raptor - Grupo GPA*

	ESPECIFICACIONES	MÉTRICO
<b>Velocidad máxima</b>	750 ipm	
<b>Tipo de sistema mecánico</b>	Guía lineal de alta precisión	
<b>Ancho Nominal (A)</b>	132	3352.8 milímetros
<b>Longitud mínima nominal (B)</b>	144	3657.6 milímetros
<b>Longitud máxima nominal (E)</b>	240	6096 milímetros
<b>Longitud de extensión modular</b>	118	3000 milímetros
<b>Ancho entre rieles (C)</b>	132	3352.8 milímetros
<b>Ancho total (D)</b>	144	3657.6 milímetros
<b>Altura Control (F)</b>	240	6096 milímetros
<b>Altura total (J)</b>	71.7	1821.18 milímetros
<b>Altura debajo del puente (I)</b>	44	1117.6 milímetros



Nota. Adaptado de (HyPerformance HPR260XD , s.f.).

<https://www.hypertherm.com/es/hypertherm/hyperperformance/hyperperformance-hpr260xd/>

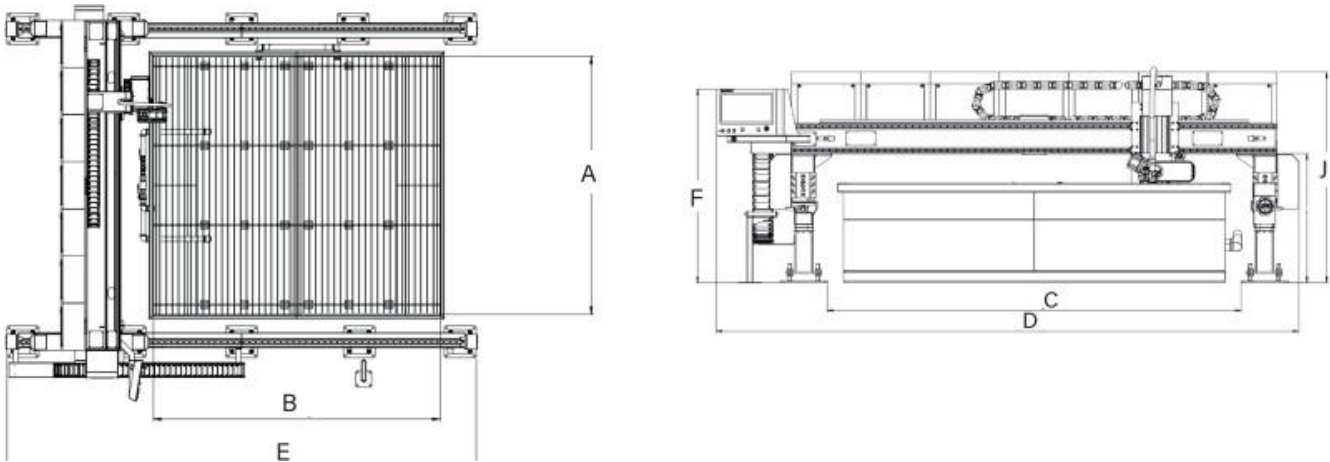


Figura 15. Dimensiones de Raptor. Fuente recuperado de <https://gpamex.com/sistemas-de-corte/raptor-2/>

### 2.5.2 Antorchas y Consumibles

Debido a que el pantógrafo Automation Raptor Plasma HPR260XD está diseñado exclusivamente para el corte por plasma, su funcionamiento requiere únicamente de un cartucho que se conecta directamente a la antorcha, la cual a su vez está vinculada al sistema de potencia. Este cartucho está conformado por siete piezas esenciales que garantizan la correcta generación y conducción del arco de plasma, tal como se muestra en la Figura 16.



Figura 16. Componentes del cartucho. Fuente recuperado de <https://www.hypertherm.com/es/hypertherm/hyperperformance/hyperperformance-hpr260xd/>

Dentro de la estructura del cartucho se encuentran los consumibles, que son componentes que se desgastan con el uso y deben reemplazarse regularmente. Los consumibles principales son: el electrodo, la boquilla, el anillo distribuidor y el capuchón. La elección del cartucho depende directamente del espesor de la placa a cortar, ya que para distintos espesores se requieren diferentes niveles de amperaje, lo cual determina el tipo de cartucho más adecuado en cada caso.

El uso de consumibles de calidad es fundamental para mantener la estabilidad del arco de plasma, optimizar la vida útil de los componentes y garantizar cortes consistentes, reduciendo con ello los costos operativos asociados al proceso (Hypertherm, 2022).



Figura 17. Cartucho según el amperaje. Fuente recuperado de <https://www.hypertherm.com/es/hypertherm/hyperformance/hyperformance-hpr260xd/>

### ***2.5.3 Sistema de corte por plasma HPR260XD®***

El modelo Automation Raptor está equipado con el sistema de corte por plasma HPR260XD®, el cual, al igual que el MAXPRO200®, emplea tecnologías de corte con aire y oxígeno. Este sistema se distingue por su capacidad de ofrecer cortes de alta calidad, con bordes más limpios y mínima escoria. Asimismo, proporciona una mayor capacidad de penetración en materiales de distintos espesores y asegura un rendimiento confiable en aplicaciones industriales de gran demanda (Hypertherm, 2022).

## **CAPÍTULO 3 SILOS Y CAMIONES S.A DE C.V.**

Silos y Camiones S.A. de C.V. es una empresa mexicana dedicada a la manufactura metalmecánica, especializada en la fabricación de silos, tolvas, estructuras metálicas y camiones especializados para diferentes sectores industriales. Desde su fundación, la empresa ha buscado ofrecer soluciones integrales en almacenamiento, transporte y manejo de materiales, adaptándose a las necesidades del mercado nacional e internacional.

### ***3.1 Giro y sector industrial***

La compañía pertenece al sector metalmecánico, con un enfoque en la transformación de metales a través de procesos de corte, conformado, ensamble y soldadura. Sus productos están dirigidos principalmente a las industrias agrícola, alimentaria, de la construcción y del transporte, que demandan equipos confiables y de alta durabilidad.

Entre los principales productos fabricados en esta área se encuentran los silos metálicos, tanto soldados como atornillados, elaborados en acero al carbón, aluminio y acero inoxidable, utilizados principalmente para el almacenamiento de materiales a granel. Asimismo, se producen tanques de distintas capacidades, en versiones presurizadas y no presurizadas, diseñados para garantizar la seguridad en el manejo de líquidos o sustancias específicas. Otro producto característico son las tolvas, fabricadas igualmente en acero al carbón, aluminio y acero inoxidable, que permiten el transporte y la descarga controlada de materiales.

La empresa también desarrolla bombas neumáticas de acero al carbón, empleadas en procesos industriales que requieren el manejo eficiente de fluidos. En cuanto a componentes estructurales, destacan la fabricación de barandales y escaleras metálicas, elementos que cumplen con funciones de soporte y seguridad. Finalmente, se producen cajas de vacío y diversas estructuras metálicas que se adaptan a proyectos industriales de distinta índole, respondiendo a las necesidades específicas de cada cliente.



Figura 18. Silo y Tolva en Torre de grallanado. Fuente elaboración propia.

### ***3.2 Fabricación metalmecánica***

En la empresa, la fabricación metalmecánica se desarrolla mediante un conjunto de procesos que permiten transformar la materia prima en productos terminados con altos estándares de calidad. Estos procesos se encuentran automatizados en gran medida gracias a la implementación de maquinaria CNC, aunque también requieren de mano de obra especializada para asegurar la precisión en cada etapa.

**Corte y punzonado con equipos CNC:** el corte constituye la primera fase del proceso productivo. Se utilizan máquinas de corte por plasma de alta definición, sistemas de oxicorte y punzonadoras CNC, lo que permite trabajar con diferentes espesores y tipos de metales, obteniendo piezas con alta precisión dimensional.

**Ensamble y soldadura:** posteriormente, las piezas obtenidas pasan a la etapa de ensamble, donde se emplean técnicas de soldadura MIG, TIG y soldadura perimetral

automática. Este proceso asegura la unión estructural de los componentes, garantizando resistencia mecánica y durabilidad.

**Doblado y conformado:** se utilizan prensas dobladoras CNC de gran capacidad, así como roladoras verticales, que permiten dar forma a láminas y perfiles metálicos en función de las especificaciones del diseño. Estas operaciones resultan fundamentales para la fabricación de silos, tolvas y tanques cilíndricos.

**Acabados superficiales y pintura:** finalmente, los productos son sometidos a procesos de pulido automático (interior y exterior), así como a la aplicación de recubrimientos en cabinas de pintura. Estos acabados cumplen una doble función: mejorar la estética del producto y proporcionar protección contra la corrosión, prolongando la vida útil de los equipos.

El conjunto de estos procesos constituye la base operativa de la empresa, permitiendo la fabricación de silos, tanques, tolvas y estructuras metálicas con altos niveles de precisión y eficiencia (Groover, 2020).

### **3.3 Materiales**

Los principales materiales empleados en la fabricación de productos metalmecánicos en la empresa son el acero inoxidable, el acero al carbono y el aluminio. A continuación, se presentan sus características, tipos más utilizados y rangos de espesores comúnmente trabajados.

#### **3.3.1 Acero Inoxidable (INOX)**

Los aceros inoxidables se distinguen por contener al menos un 10.5% de cromo (Cr), lo que permite la formación de una capa pasiva en la superficie que protege al material frente a la corrosión y otorga un acabado brillante sin necesidad de procesos adicionales (ASTM International, 2020).

Existen tres grupos principales de aceros inoxidables:

**Austeníticos:** contienen aproximadamente 18% de cromo (Cr) y 8% de níquel (Ni). Son los más resistentes a la corrosión y se caracterizan por su ductilidad y facilidad de conformado.

**Ferríticos:** poseen entre 15% y 20% de cromo (Cr), bajo contenido de carbono (C) y ausencia de níquel. Son menos dúctiles que los austeníticos.

**Martensíticos:** alcanzan hasta 18% de cromo (Cr) y carecen de níquel. Presentan un contenido mayor de carbono, lo que incrementa su dureza y resistencia a la fatiga.

El grado más utilizado en la empresa es el AISI 304, un acero inoxidable austenítico con excelente soldabilidad, alta resistencia al impacto y buena estabilidad a temperaturas elevadas. Este material mantiene resistencia a la corrosión en temperaturas de hasta 920 °C en servicio continuo y 870 °C en servicio intermitente (SAE International, 2015). Los espesores empleados varían desde calibre 10 (C-10) hasta una pulgada.

### **3.3.2 Acero al carbono**

En la empresa se emplean principalmente aceros de especificación SAE y ASTM, con propiedades mecánicas y químicas adaptadas a distintos usos:

**SAE 1010:** considerado de bajo carbono, con buena soldabilidad y baja dureza. Su composición típica incluye 0.08-0.13% de carbono (C), 0.30-0.60% de manganeso (Mn), además de pequeñas proporciones de fósforo (P) y azufre (S).

**SAE 1018:** acero de bajo a medio carbono, con buena resistencia mecánica y excelente maquinabilidad. Su composición contiene 0.15-0.20% de carbono (C) y 0.60-0.90% de manganeso (Mn), siendo un material ampliamente utilizado en manufactura.

**ASTM A36:** acero estructural al carbono con composición variable según el espesor, pero generalmente con un máximo de 0.26% de carbono (C), además de manganeso (Mn), fósforo (P) y azufre (S). Es el más utilizado en estructuras metálicas por su buena soldabilidad.

**ASTM A572 (Grado 50):** acero de baja aleación y alta resistencia, con un contenido aproximado de 0.23% de carbono (C) y adiciones de manganeso (Mn), silicio (Si) y cobre (Cu). Se utiliza en aplicaciones estructurales que requieren mayor resistencia y menor peso.

**ASTM A516 (Grado 70):** acero al carbono empleado en recipientes a presión y aplicaciones a baja temperatura, con un contenido de carbono aproximado de 0.28% y adiciones controladas de manganeso (Mn), silicio (Si) y azufre (S).

### 3.3.3 *Aluminio*

El aluminio es ampliamente utilizado debido a su baja densidad, buena resistencia a la corrosión, facilidad de soldadura y maquinado. Según la norma ASTM B209 (2021), sus composiciones químicas pueden variar dependiendo de la aleación, pero generalmente contienen:

- 95.8-98.6% de aluminio (Al)
- 0.4-1.2% de silicio (Si)
- $\leq 0.7\%$  de hierro (Fe)

Proporciones menores de cobre (Cu), manganeso (Mn), magnesio (Mg), cromo (Cr), zinc (Zn) y titanio (Ti).

Estas características lo convierten en un material ideal para la fabricación de silos, tolvas, tanques y otros componentes que requieren resistencia a la corrosión y peso reducido.

## **CAPÍTULO 4. MANUAL DE USO DE SIGMANEST EN LA EMPRESA SILOS Y CAMIONES S.A. DE C.V.**

En este apartado se presentan dos diagramas de flujo que ilustran las principales actividades desarrolladas por el practicante durante su estancia. El primero corresponde al proceso de nestado de piezas, el cual constituye una de las funciones esenciales dentro del área de manufactura. El segundo diagrama muestra el procedimiento seguido en caso de presentarse un cambio de ingeniería, actividad que implica la actualización y ajuste de programas previamente generados.

Posteriormente, se profundizará en el proceso representado en el primer diagrama, ya que corresponde al tema central abordado en este manual.

El proceso de la Figura 19 inicia con la recepción de una orden de trabajo (OT) o de un cambio de ingeniería; en esta fase se determina si la OT incluye piezas que requieren corte por plasma; en caso negativo, el procedimiento finaliza. Si la respuesta es afirmativa, se crea una carpeta con el nombre de la OT y se descargan los archivos DXF correspondientes. Estos archivos se importan en SigmaNEST, donde se asignan material, espesor y número de OT; a continuación, se crean las tareas y se ejecuta el nesting para optimizar el aprovechamiento de la lámina. Posteriormente se evalúa si las piezas caben dentro de una placa disponible; en caso negativo, se busca un sobrante adecuado en almacén y se ajusta el nesting al tamaño de dicho sobrante. Con las piezas ya anidadas, se definen y asignan las operaciones (entradas/salidas, corte, punzonado.), y se revisa y edita el programa CNC generado para asegurar que los parámetros (amperaje, velocidad, herramientas, reposiciones) sean los correctos.



# DIAGRAMA DE FLUJO DE NESTEO DE PIEZAS

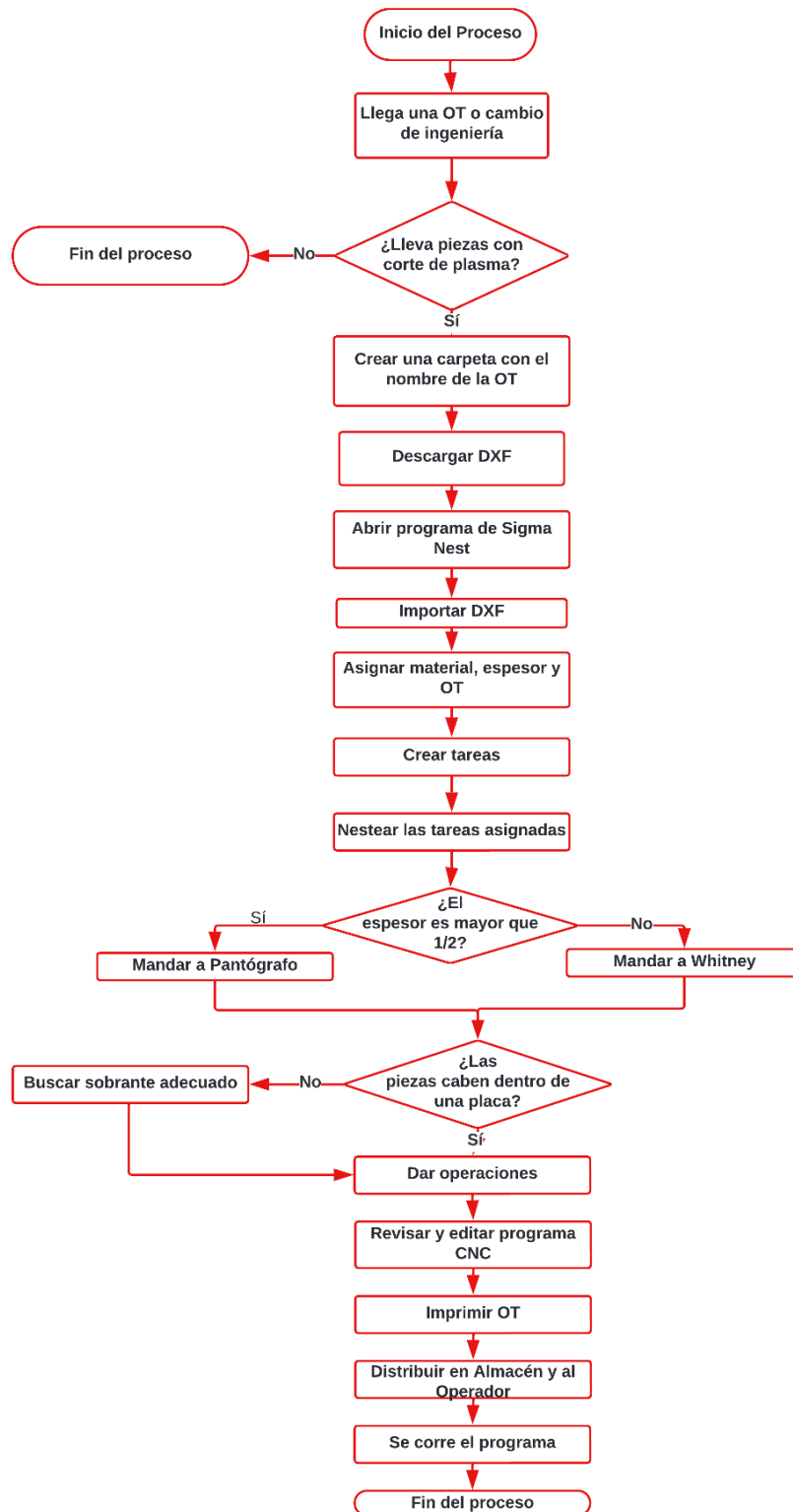


Figura 19. Diagrama de flujo Proceso para NESTEO de piezas. Fuente creación propia.

Una vez validados los programas y los layouts, se imprimen los reportes y la OT; los archivos y memorias de programa se distribuyen al almacén y al operador correspondiente según la máquina designada. Finalmente, el operador ejecuta el programa en la máquina seleccionada; tras la corrida se realiza una inspección de calidad y se da la finalización del proceso dentro de esta área. .

DIAGRAMA DE FLUJO DE CAMBIOS DE INGENIERIA

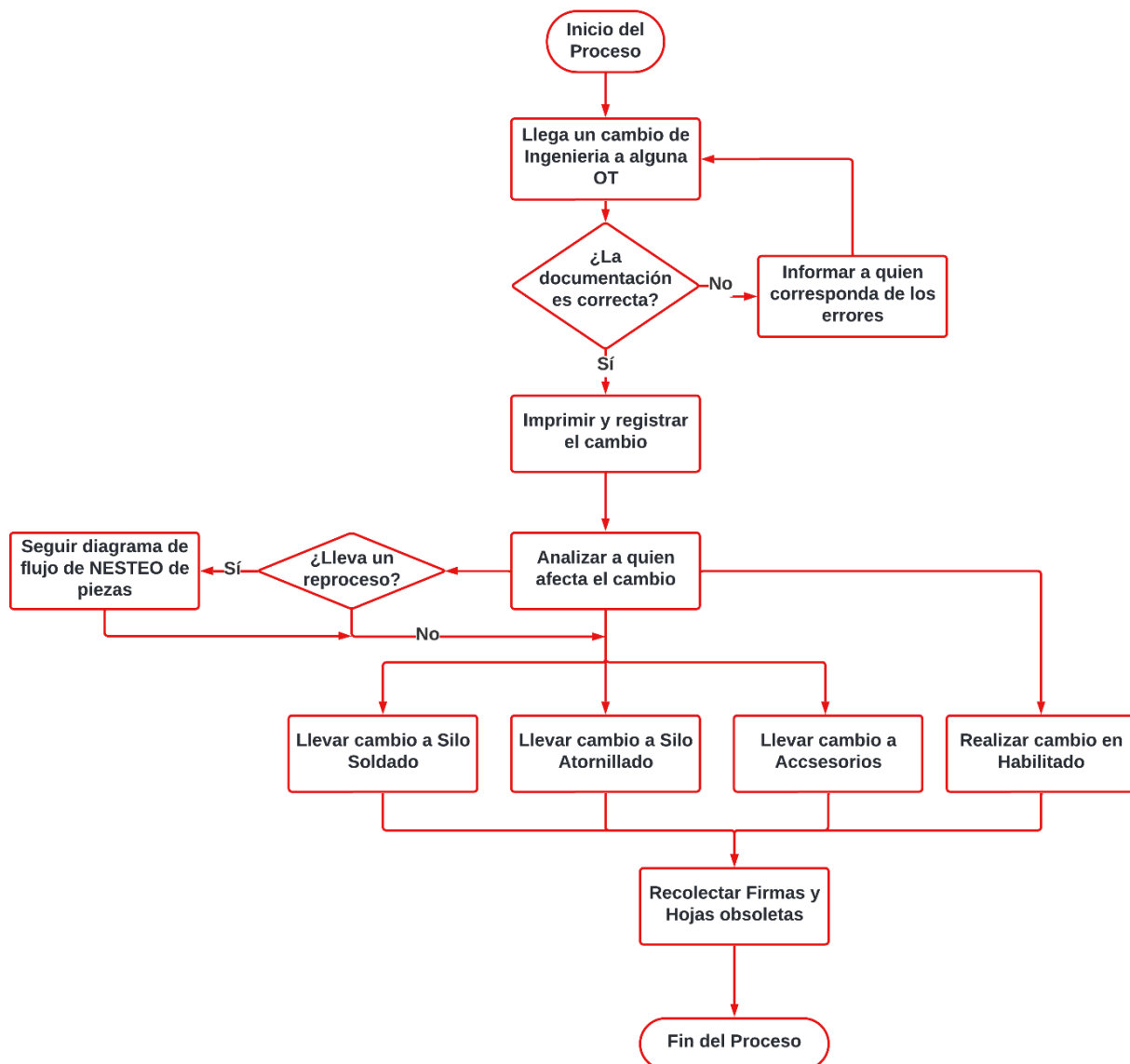


Figura 20. Diagrama de flujo Cambios de ingeniería. Fuente creación propia.

El proceso de la Figura 20 se inicia con la recepción de un cambio de ingeniería aplicado a una orden de trabajo (OT). En primera instancia, se revisa si la documentación recibida es correcta; en caso contrario, se informa a la persona correspondiente acerca de los errores detectados, y el procedimiento se detiene hasta que se realicen las correcciones pertinentes. Si la documentación es válida, se procede a imprimir y registrar el cambio, para después analizar a qué áreas, productos o procesos impacta la modificación. Una vez evaluado el alcance, se determina si el cambio implica un reproceso de piezas; si la respuesta es afirmativa, se sigue el procedimiento descrito en el diagrama de flujo del nesting de piezas (Figura 19), mientras que, en caso negativo, el flujo continúa con la implementación directa del cambio. A partir de este punto, la ruta se diversifica: puede dirigirse hacia la fabricación de silos soldados, silos atornillados o accesorios, mientras que, de manera obligatoria, se hace el cambio al área de habilitado, a fin de que los insumos y piezas correspondientes sean actualizados según las nuevas especificaciones. Finalmente, se recolectan las firmas de autorización y se retiran las hojas obsoletas para evitar confusiones en la operación, con lo que concluye el proceso de control de cambios de ingeniería.

En síntesis, los diagramas de flujo presentados permiten comprender de manera estructurada las principales actividades realizadas durante la práctica, específicamente en lo referente al nesting de piezas y a la gestión de cambios de ingeniería. La representación gráfica de ambos procesos facilita identificar las decisiones clave y los pasos necesarios para asegurar la correcta ejecución de cada tarea. Con esta base, se da paso al manual de operación, en el cual se describen detalladamente las funciones, herramientas y procedimientos necesarios para garantizar un uso eficiente del software y de los equipos involucrados en la manufactura.

## ***4.1 Importación y Gestión de Archivos CAD***

### ***4.1.1 Tipos de archivos compatibles***

El software SigmaNEST cuenta con una amplia compatibilidad para la importación de archivos CAD, tanto en dos como en tres dimensiones. Asimismo, permite la utilización de archivos PDF en formato vectorial o rasterizado para la creación de piezas, lo que brinda mayor versatilidad en el proceso de diseño y programación de cortes.

Los principales formatos compatibles son los siguientes:

- SolidWorks
- Solid Edge
- Creo (Pro/ENGINEER)
- Inventor
- NX
- CATIA (V4, V5)
- Rhino
- Parasolid
- ACIS
- SpaceClaim
- 3D DWG
- IGES
- STEP 2D
- STEP 3D
- DSTV
- DXF

Gracias a esta diversidad de formatos, el software se adapta a distintos entornos de diseño, lo que facilita la integración de proyectos provenientes de diferentes plataformas de modelado CAD.

#### *4.1.2 Organización y gestión de archivos*

La llegada de una Orden de Trabajo (OT) marca el inicio formal del proceso productivo. Esta liberación se notifica a los responsables mediante un correo electrónico que confirma que la documentación se encuentra completa y validada. Posteriormente, la OT se registra en el programa correspondiente al mes en curso, lo que permite un control organizado y eficiente de su seguimiento y ejecución.

Para identificar las piezas que requieren corte por plasma, se toma como referencia el nombre de la OT; por ejemplo: P338106001. Una vez localizada la orden, se procede a abrir la distribución de planos siguiendo una serie de pasos específicos.

Desde la barra de inicio, se accede al acceso rápido de la carpeta de archivos, seleccionando la opción Proyectos (Figura 21).

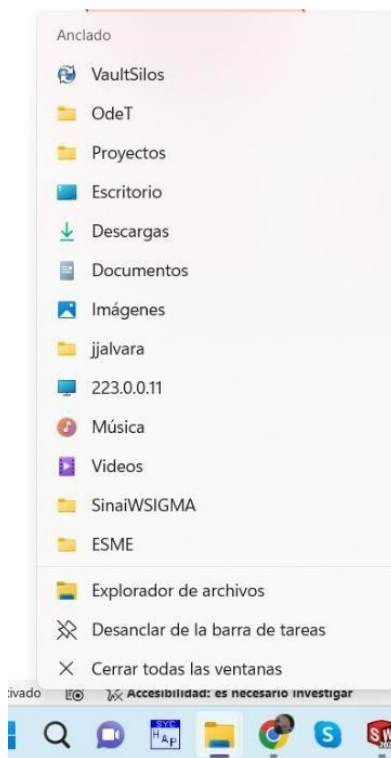


Figura 21. Carpeta de proyectos. Fuente creación propia.

Una vez dentro de la página de Proyectos, se accede al archivo padre de la orden correspondiente. Por ejemplo, si la OT es P338106001, para localizarla en el sistema se debe ingresar el código compuesto por el prefijo “PJ” seguido de los primeros cuatro dígitos de la orden, es decir, PJ3381 (Figura 22). Este procedimiento permite identificar de manera rápida y eficiente el proyecto principal asociado a la orden de trabajo.

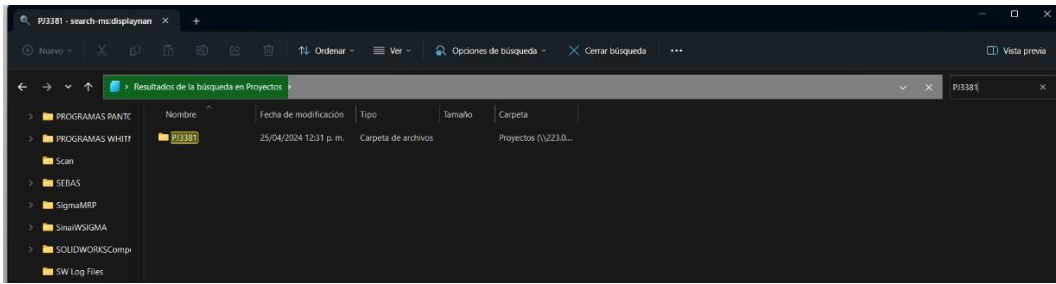


Figura 22. Búsqueda de OT. Fuente creación propia.

Una vez localizado el proyecto padre, se procede a buscar el nombre completo de la OT dentro de la carpeta principal. Posteriormente, se accede a los archivos correspondientes a dicha orden de trabajo, donde se encuentran los planos y documentos necesarios para continuar con el proceso (Figura 23).

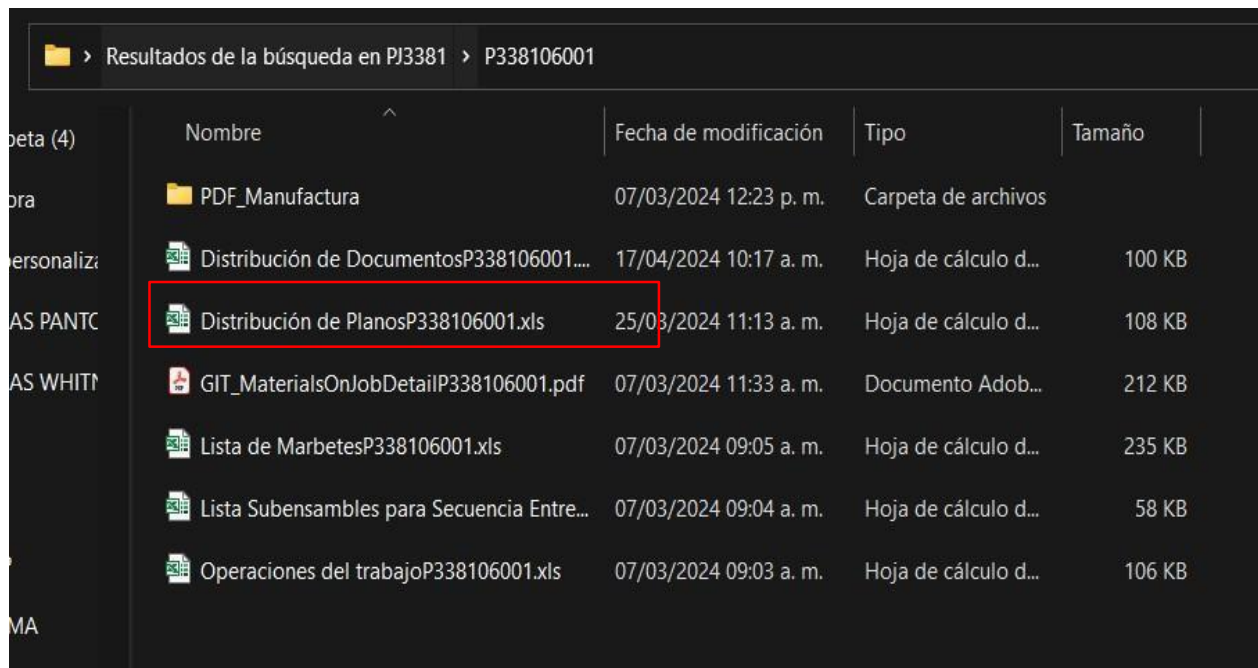


Figura 23. Búsqueda de archivos de la OT. Fuente creación propia.

Accedemos al archivo de Distribución de Planos, el cual abre una hoja de cálculo que contiene la distribución completa de los planos, es decir, todos los planos necesarios para la realización de la OT. Esta hoja es fundamental, ya que indica con claridad la cantidad de piezas a fabricar para cada plano, facilitando así el control y la planificación de la producción (Figura 24).

Además, este archivo contribuye a minimizar errores durante el proceso de manufactura, ya que centraliza la información y evita duplicidades o pérdidas de datos. También funciona como un documento de referencia para distintas áreas de la empresa, como almacén, producción y control de calidad, garantizando que todas trabajen bajo los mismos parámetros establecidos en la OT.

Código: FO-ING-2.002  
Revisión: 04/01/2023  
Emisión: 18/04/2018

#### LISTA DE PLANOS



Área que emite el registro:	Ingeniería y Puesta en Marcha	No. Proyecto:	PJ3381	Fecha:	07-mar-24
Descripción del proyecto:	DRAXTON MEXICO-TRANSPORTE ARENA SILICA	O.T.:	P338106001		
Descripción del equipo:	TANQUE PRESURIZABLE 1 M3 D=1200 MM				
Cliente:	DRAXTON MEXICO S DE RL DE CV				
Cantidad a fabricar/ejecutar:	1	Clave MRP del equipo:	3070101200NP41201		
Persona que distribuye el registro:					

No. Plano/Artículo	Revisión	Descripción de Planos entregados	IDENTIFICADOR DEL PLAN DE	REQUIERE ENSAMBLAR	EMBARCABLE	FECHA DE VALIDACIÓN
			XXXXXXXXXXXXXXXXXX			
3070101200NP400401	0	TANQUE PRESURIZABLE 1 M3 D=1200 FASE D			✓	
2070101200NP40401	0	CUERPO TANQUE PRESURIZABLE 1M3 D=1200MM				
2070101200NP4IN01	0	SISTEMA DE INYECCION AIRE FASE DENSA 2"				
2070101200NP4IN01	0	SISTEMA DE MON Y CTRL FASE DENSA 2"				
2070101200NP SILL09S01	0	SILLETAS AC D=1.2M				
2070101200NPSSPTE03S01	0	SOPORTE 3" TANQUE PRESURIZABLE D=1.2M				
207CODAC15210201	0	CODO SALIDA 6" A 4"AC				
220BPSTSC06	5	SUB-ENS. BASE RECTA PLACA D/SERIE AC	N/A			
226JBNA02NIPC002	0	JGO. BRIDAS AC P/VALVULA 2" C/NIPLE				

Figura 24. Lista de distribución de planos. Fuente creación propia.

Una vez abierta la lista de planos, procedemos a abrir cada uno de ellos dando clic en el nombre correspondiente, el cual cuenta con un hipervínculo que re direcciona directamente al plano específico.

El primer plano en la lista se conoce comúnmente como “el padre” o “arreglo general”, ya que contiene la vista general del conjunto o producto final, proporcionando una visión completa de la pieza o ensamblaje.

En caso de que algún plano no cuente con hipervínculo, se puede acceder directamente en la carpeta de la OT, dentro de la subcarpeta llamada PDF\_MANUFACTURA, donde se almacenan todos los planos relacionados con esa orden de trabajo. (Figura 25).

Nombre	Fecha de modificación	Tipo	Tamaño
PDF_Manufactura	07/03/2024 12:23 p. m.	Carpeta de archivos	
Distribución de DocumentosP338106001....	17/04/2024 10:17 a. m.	Hoja de cálculo d...	100 KB
Distribución de PlanosP338106001.xls	25/03/2024 11:13 a. m.	Hoja de cálculo d...	108 KB
GIT_MaterialsOnJobDetailP338106001.pdf	07/03/2024 11:33 a. m.	Documento Adob...	212 KB
Lista de MarbetesP338106001.xls	07/03/2024 09:05 a. m.	Hoja de cálculo d...	235 KB
Lista Subensambles para Secuencia Entre...	07/03/2024 09:04 a. m.	Hoja de cálculo d...	58 KB
Operaciones del trabajoP338106001.xls	07/03/2024 09:03 a. m.	Hoja de cálculo d...	106 KB

Figura 25. Carpeta de planos. Creación propia

Para visualizar los modelos tridimensionales, es necesario abrir el software SolidWorks e iniciar sesión en la bóveda del sistema. Esta bóveda se encuentra anclada en el acceso rápido dentro de la carpeta de archivos, lo que facilita un ingreso ágil y seguro a toda la información almacenada. De esta manera, el usuario puede consultar los modelos 3D asociados a la Orden de Trabajo (OT) de manera eficiente y sin riesgo de pérdida o duplicidad de datos (Figuras 26 y 27).

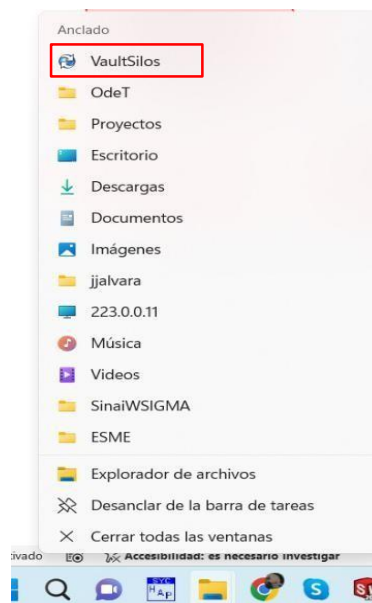


Figura 26. Acceso rápido Bóveda. Fuente creación propia





Figura 27. Recuadro de Bóveda. Fuente creación propia.

Para acceder a la bóveda, se debe ingresar la contraseña correspondiente. Una vez validada, se despliega una ventana principal que permite gestionar los archivos disponibles. En la parte superior derecha de esta ventana se localiza el ícono de una lupa, el cual corresponde a la herramienta de búsqueda que facilita la localización de archivos específicos de manera rápida y precisa (Figura 28).

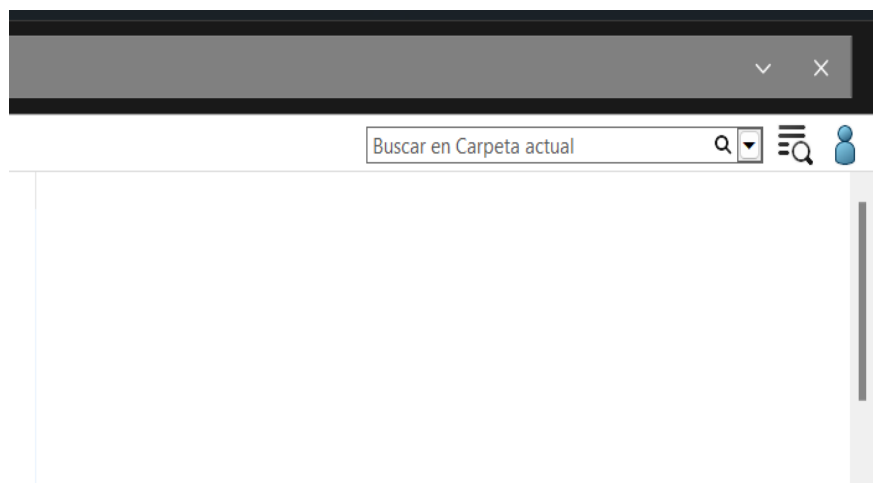


Figura 28. . Buscador en bóveda. Fuente creación propia.

Dentro del modelo general, se identifica y copia el nombre del artículo, el cual se encuentra registrado en la tabla de datos del plano. Esta información es esencial para garantizar la correcta trazabilidad del componente dentro del sistema (Figura 29).

No.	Pzs.	NUMERO ARTICULO	Descripción
<p>Esta información es propiedad intelectual restringida de Silos y Camiones, S.A. de C.V., que no deberá revelarse a terceros; a su simple divulgación no autorizada le será aplicable el contenido de la Ley de Propiedad Industrial y Autoral. DERECHOS RESERVADOS</p>			
		SILOS Y CAMIONES S.A. DE C.V. BLVD. GRAL. FELIPE ANGELES No. 1606PACHUCA, HGO. MEXICO E-MAIL: sycsa@sycsa.com	
		DESCRIPCIÓN: TANQUE PRESURIZABLE 1 M3 D=1200 FASE D	DIBUJÓ: ADANEL A. ALAMILLA R.
		USAR PARA: MANUFACTURA	REVISÓ: JÉSUS HERNÁNDEZ
		APROBÓ: JONATHAN LÓPEZ HERNÁNDEZ	FECHA: 07/03/2024
COTAS: mm [in]	ESCALA: SIN	ARTÍCULO: 3070101200NP400401	REV. 0 HOJA: 1 / 1

Figura 29. Localización de artículos en planos. Fuente creación propia.

A continuación, se busca el nombre del artículo dentro de la bóveda. En la mayoría de los casos, este corresponde al ensamble asociado al artículo. Para acceder a él, se da doble clic sobre el archivo y se espera a que se cargue y abra automáticamente en SolidWorks (Figura 30).

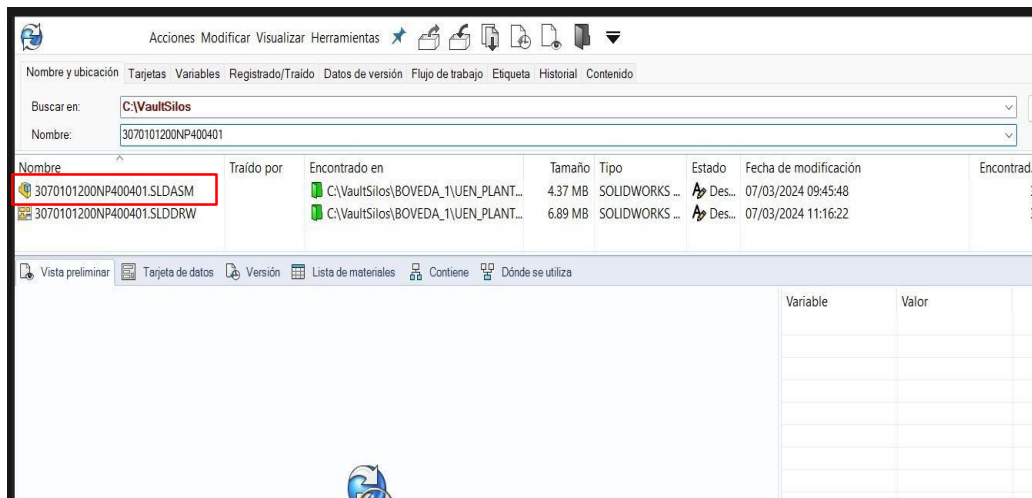


Figura 30. Búsqueda de artículo en bóveda. Fuente creación propia.

**Advertencia:** Nunca se debe utilizar la opción Traer en SolidWorks. Esta acción descarga el modelo directamente en la computadora local, lo que impide visualizarlo o modificarlo desde otra estación de trabajo, ya que el archivo queda vinculado exclusivamente a la computadora que ejecutó la descarga.

Una vez abierto el modelo, se identifican las piezas que requieren corte por plasma o punzonado. En este ejemplo, se señalan de manera específica las piezas que deben anidarse para su corte (Figura 31 (a)(b)).

12	2	110BRAC254150RFSO	BRIDA ANSI 10" AC 150 RF-SO
11	1	110BRAC152150RFSO	BRIDA ANSI 6" AC 150 RF-SO
10	1	110TTAC009120051670	TAPA TORISFERICA AC 3/8" In X1200mm 516-70
9	1	120NIPAC0511022R	NIPLE AC. 2 In.X 4 In. NPT
8	1	120COPAC013	COPLA AC. ROSCADO 1/2 In. NPT
7	1	220BPSTSC06	SUB-ENS. BASE RECTA PLACA D/SERIE AC
6	1	2070101200NPSSPT03S01	SOPORTE 3" TANQUE PRESURIZABLE D=1.2M
5	2	120NIPAC0512032R	NIPLE AC. 2 In.X 8 In. NPT
4	1	120COPAC025	COPLA AC. ROSCADO 1 In. NPT
3	1	120COPAC032	COPLA AC. ROSCADO 1-1/4 In. NPT
2	1	2070101200NPSILL09S01	SILLETAS AC BOMBA 1M3 D=1.2M ESP 5/16"
1.11	1	1010190000A57250	PLACA A572 G50 3/4 In. 151.14 Kg
1.10	1	1010080820SA51670	PLACA SA-516-70 5/16" 8' X 20' 981.65 Kg
1.9	1	1010080820SA51670	PLACA SA-516-70 5/16" 8' X 20' 981.65 Kg
1.8	1	108AC040060CC	TUBO AC CED.40 2" 5.48 Kg C/C
1.7	1	1010080820SA51670	PLACA SA-516-70 5/16" 8' X 20' 981.65 Kg
1.6	1	108AC040273	TUBO AC CED.40 10" 60.29 KG/MT
1.5	1	1010080820SA51670	PLACA SA-516-70 5/16" 8' X 20' 981.65 Kg
1.4	2	1010080820SA51670	PLACA SA-516-70 5/16" 8' X 20' 981.65 Kg
1.3	1	1010080820SA51670	PLACA SA-516-70 5/16" 8' X 20' 981.65 Kg
1.2	1	1010080820SA51670	PLACA SA-516-70 5/16" 8' X 20' 981.65 Kg
1.1	1	129EMPNBC003	EMP. D/NEOPRENO BLANCO 1/8 In.
1	1	2070101200NP400401	CUERPO TANQUE PRESURIZABLE 1M3 D=1200MM
<b>No.</b>	<b>Pzs.</b>	<b>NUMERO ARTICULO</b>	<b>Descripción</b>

a

③			
NO.	CANT.	DESCRIPCIÓN	NUMERO ARTICULO
1	1	LAMINA AISI 304 CAL.14 15.71 kg/m2	102C140000
2	1	PLACA DE SERIE SYCSA	134PLACASERIE
3	4	REMACHE 3/16 In.X3/8 In. POP	115REMA005009POP

b

Figura 31. (a y b). Cuadros de materiales. Fuente creación propia.

Solo las piezas etiquetadas como **LÁMINA** y **PLACA** son utilizadas para generar los archivos **DXF**.

En la tabla correspondiente, la columna “**NO.**” indica el número de pieza que aparece en el plano, mientras que “**CANT**” señala la cantidad requerida de cada una.

La columna “**DESCRIPCIÓN**” especifica los materiales empleados. Entre los más comunes se encuentran:

**AISI**, correspondiente a aceros inoxidable.

**SA-516-70, SAE 1010 y ASTM**, que representan diferentes tipos de aceros al carbono.

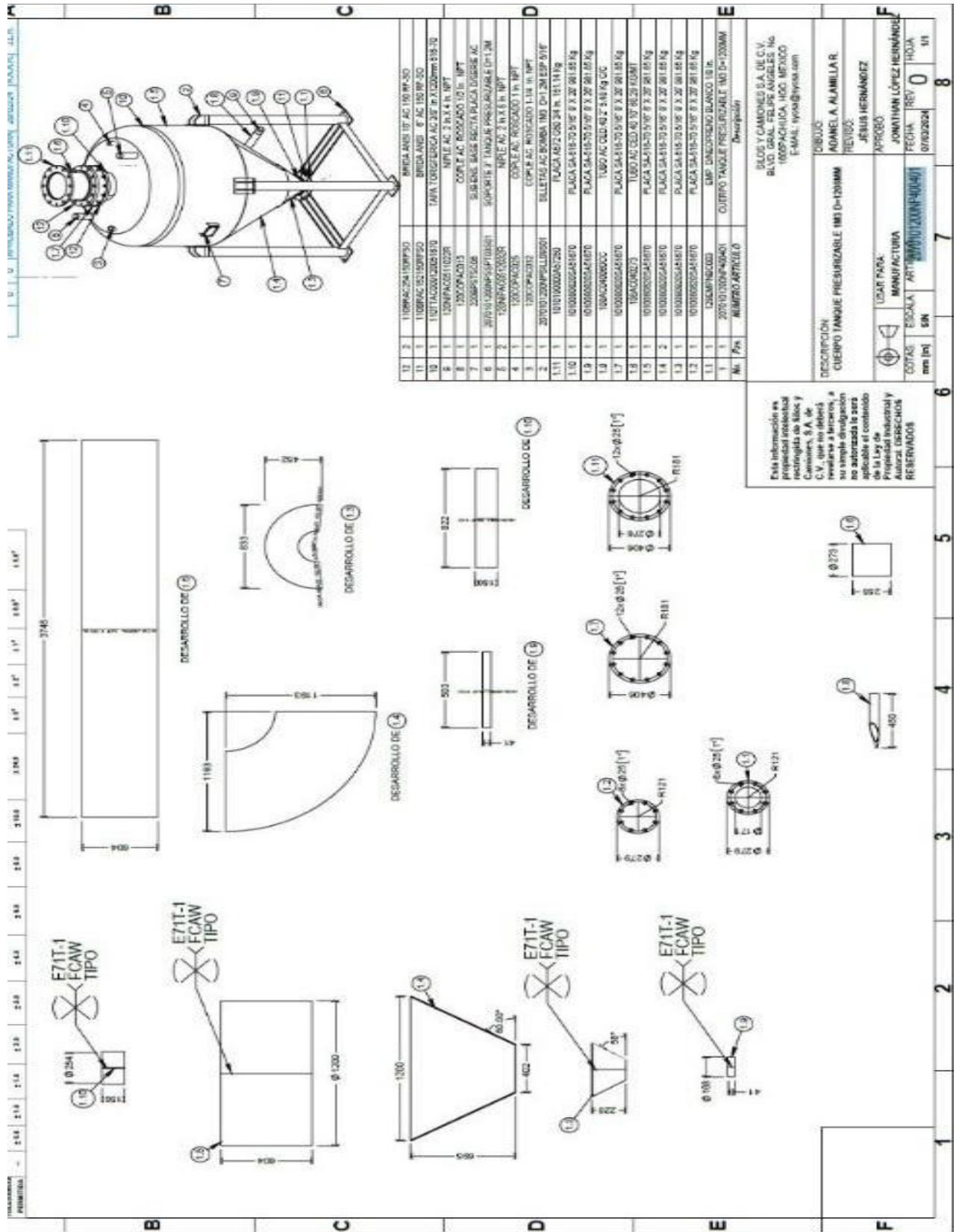
**ANTIDERRAPANTE**, que también es un acero al carbono, pero con un relieve que le otorga una textura antideslizante.

**ALB209 y AL5052**, que hacen referencia a distintas aleaciones de aluminio.

Para llevar un control más eficiente de las órdenes procesadas, se recomienda generar una carpeta personal en la que se organicen y clasifiquen los archivos DXF de acuerdo con la Orden de Trabajo (OT) correspondiente que se vaya a nestear. Esta práctica facilita la trazabilidad de los archivos, mejora la organización del trabajo y permite localizar de manera rápida cualquier pieza o proyecto en caso de requerirse una revisión o una modificación posterior.

## 4.2 Importación de archivos

Para descargar los archivos DXF se realiza primero una lectura del plano, en la cual se localiza la pieza solicitada de acuerdo con la información contenida en el mismo. Por ejemplo, en este caso se trabaja con el plano identificado como 2070101200NP400401 (Figura 32).



Se selecciona la pieza 1.3, cuyas características se muestran en la Figura 33.

1.3	1	1010080820SA51670	PLACA SA-516-70 5/16" 8' X 20' 981.65 Kg
-----	---	-------------------	------------------------------------------

Figura 33. Descripción de material. Fuente creación propia.

De acuerdo con el plano, el ítem 1.3 se encuentra ubicado en la zona indicada en la Figura 34.

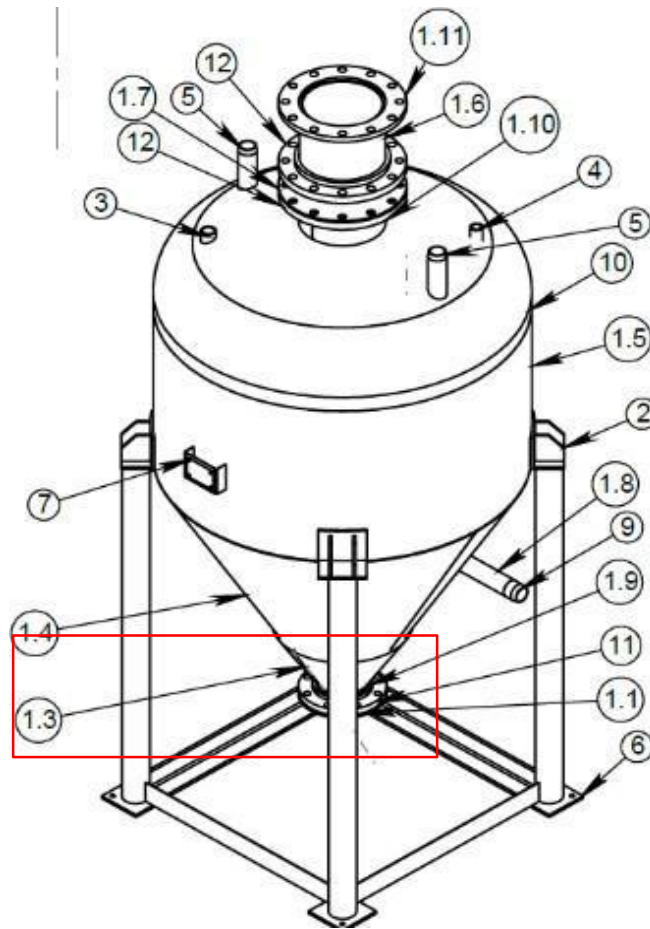


Figura 34. Reconocimiento de piezas. Fuente creación propia.

Posteriormente, se procede a localizar el artículo dentro del modelo 3D. Una vez abierto, es indispensable verificar que las unidades de medida del modelo estén configuradas en el sistema **IPS (pulgadas, libras y segundos)**, tal como se observa en la Figura 35. Asimismo, se debe confirmar que el archivo corresponda a la versión más actualizada, con el fin de garantizar que, al momento de importar los parámetros, estos sean precisos y reflejen las últimas modificaciones del diseño.

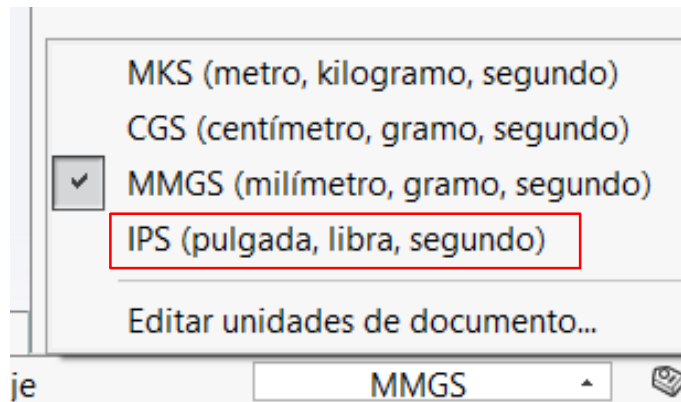


Figura 35. Unidades de medida SolidWorks. Fuente creación propia.

Para trabajar directamente sobre el modelo y acceder a partes específicas, se selecciona la pieza que se desea abrir. Posteriormente, se da clic derecho para desplegar el menú contextual mostrado en la Figura 36, en el cual se elige la opción “Abrir pieza”. Una vez cargado el archivo, es necesario verificar nuevamente que las unidades de medida estén configuradas en el sistema **IPS (pulgadas, libras, segundos)**. En caso contrario, se deberán restablecer los parámetros correspondientes antes de continuar con el proceso.

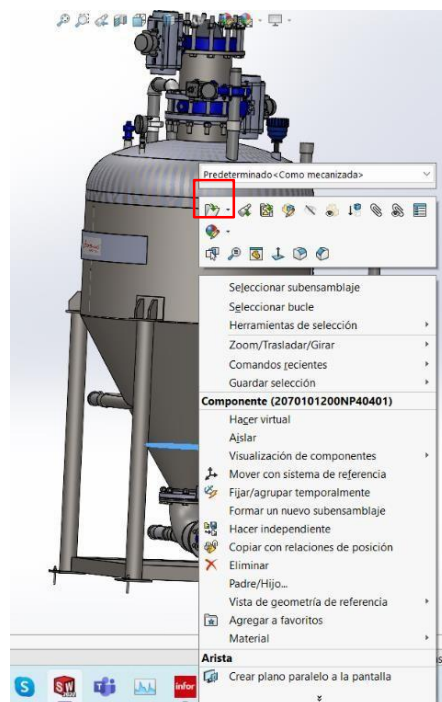


Figura 36. Carpeta de abrir SolidWorks. Fuente creación propia.



Una vez abierto el ensamble en detalle, se procede a identificar nuevamente el ÍTEM del cual se generará el archivo DXF, tomando como referencia el ensamble general mostrado previamente (Figuras 37 y 38).

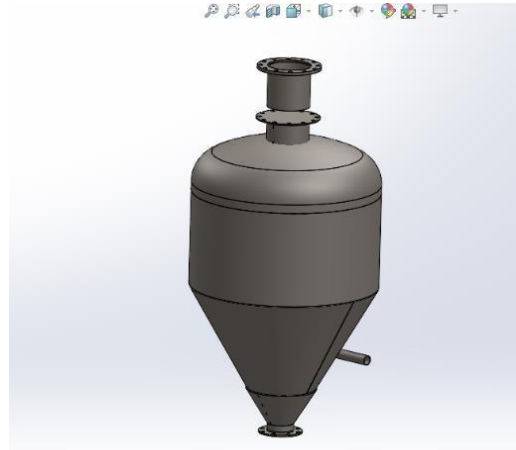


Figura 37. Modelo 3D, SolidWorks. Fuente creación propia.

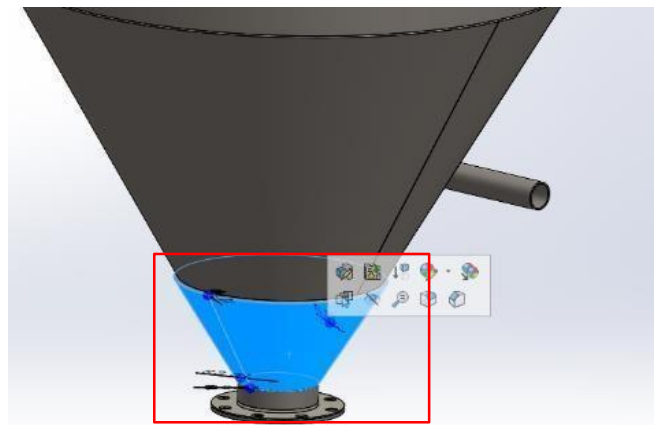


Figura 38. Identificación de piezas en modelo 3D, SolidWorks. Creación propia.

Una vez localizada la pieza, se da clic derecho sobre ella y se selecciona la opción “**Aislar**”. En caso de estar disponible, también puede utilizarse la opción “**Desplegar**”, lo que permite obtener una vista expandida de la pieza. Para confirmar que corresponde al ÍTEM correcto, es indispensable comparar las dimensiones de la pieza desplegada con las medidas establecidas en el plano. Ambas deben coincidir para asegurar que se trata de la pieza adecuada (Figura 39).



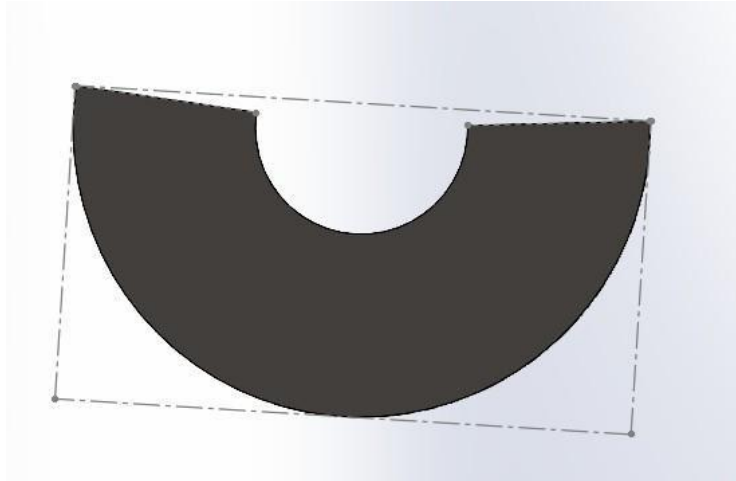


Figura 39. Pieza desplegada, SolidWorks. Fuente creación propia

Para generar el archivo DXF, se selecciona la pieza previamente desplegada o aislada, se da clic derecho sobre ella y se elige la opción “Exportar a DXF/DWG” (Figura 40).

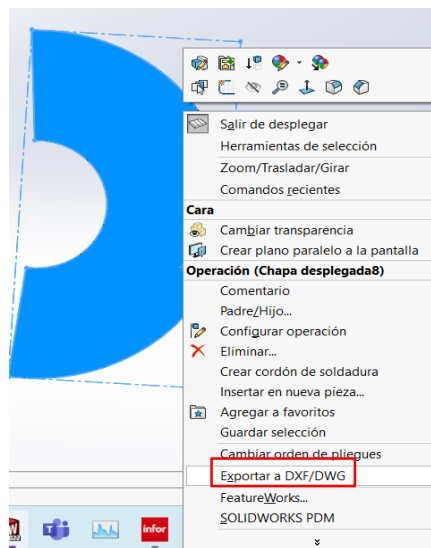


Figura 40. Exportación DXF, SolidWorks. Fuente creación propia.

Con el fin de identificar la pieza de manera correcta, el archivo debe nombrarse utilizando como base el nombre del plano, seguido de la identificación del ÍTEM correspondiente. En el ejemplo trabajado, el nombre queda asignado como: 2070101200NP400401-1.3.

Este procedimiento se repite para cada uno de los planos vinculados a la Orden de Trabajo (OT), garantizando que todas las piezas requeridas sean generadas y organizadas de manera adecuada.

La correcta generación y nomenclatura de los archivos DXF constituye un paso esencial dentro del flujo de trabajo, ya que asegura la trazabilidad de las piezas, facilita su identificación en etapas posteriores y evita errores durante el proceso de anidamiento y programación CNC. De este modo, se establece una base sólida para continuar con la gestión y optimización en SigmaNEST.

## 4.3 Interfaz de Usuario

### 4.3.1 Descripción general

La interfaz de **SigmaNEST** está diseñada bajo un enfoque intuitivo y funcional, lo que permite al usuario acceder de manera eficiente a las herramientas esenciales para la optimización de los procesos de corte. Sus principales componentes son los siguientes:

**Barra de menús:** ubicada en la parte superior de la ventana, concentra opciones generales como Archivo, Edición, Configuración y Ayuda.

**Barra de herramientas:** contiene accesos directos a funciones de uso frecuente, tales como abrir archivos, guardar proyectos o generar patrones de corte.

**Área de trabajo:** corresponde al espacio central en el que se visualizan los diseños y los patrones de corte generados.

**Paneles laterales:** ofrecen herramientas complementarias, entre las que destacan la configuración de materiales, la lista de piezas importadas y los parámetros de corte.

Esta organización de elementos favorece un flujo de trabajo ordenado, reduciendo tiempos de búsqueda y facilitando el manejo de proyectos en cada una de sus etapas.

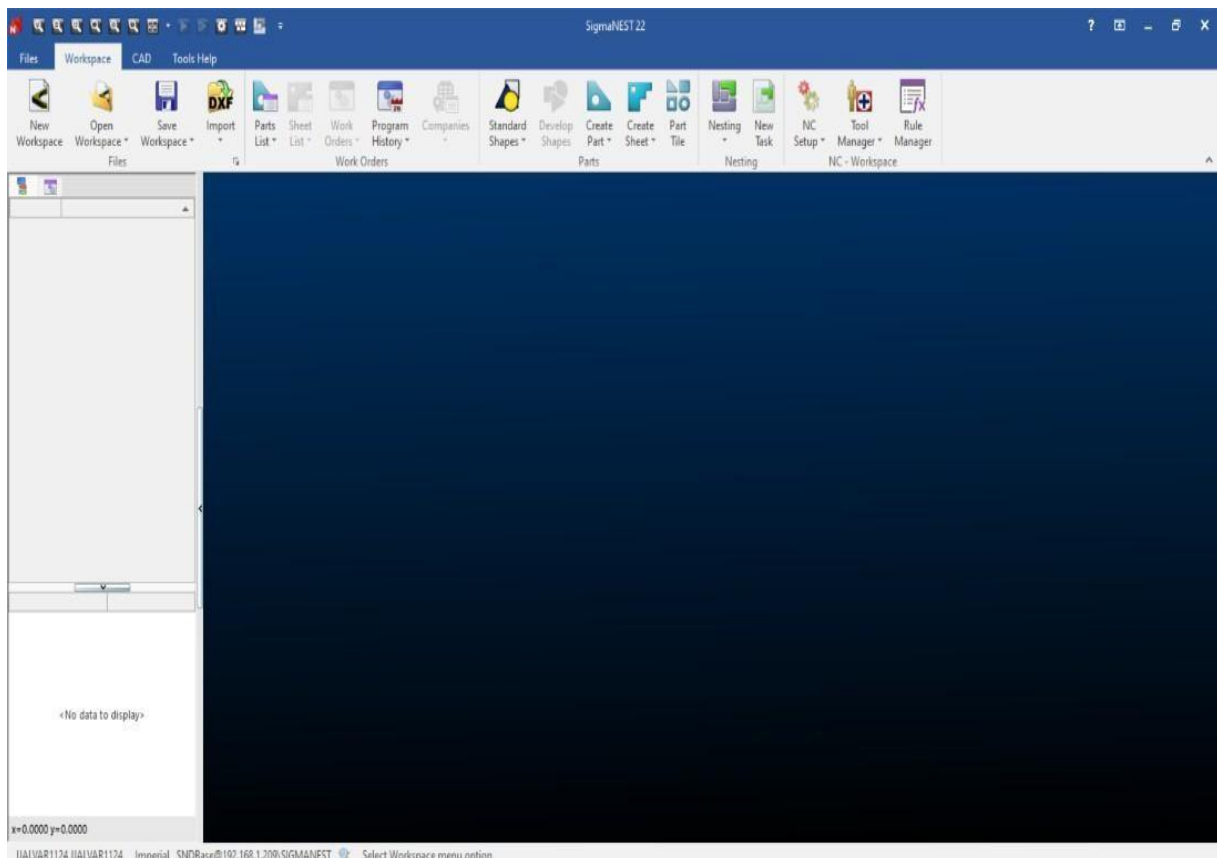


Figura 41. Pantalla de inicio de SigmaNest. Fuente creación propia.

#### 4.3.2 Menús y herramientas principales

Para continuar con el proceso de nestado, se abre la aplicación SigmaNEST Launcher desde el acceso rápido y se da doble clic sobre el ícono de SigmaNEST (Figura 42).

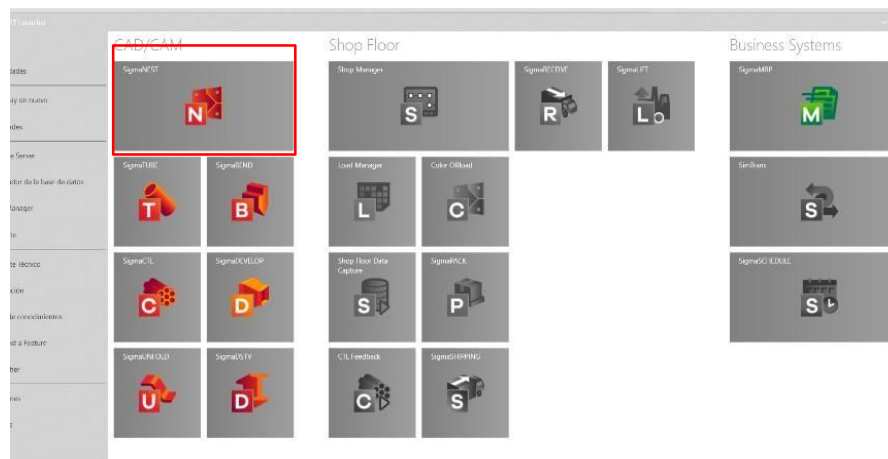
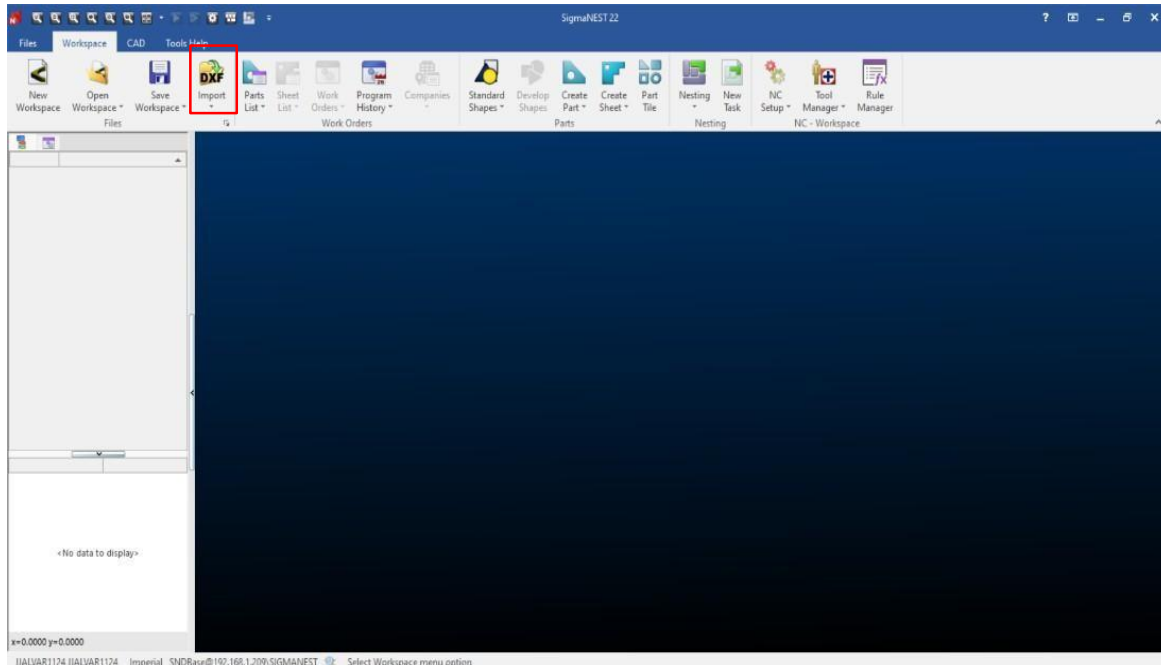


Figura 42. Pantalla principal SigmaNEST. Fuente creación propia.

Al iniciar sesión con la contraseña correspondiente, se despliega el espacio de trabajo principal. Para comenzar con la importación de archivos DXF, se debe acceder a la siguiente ruta:

Workspace > Import (Figuras 43 a y b).



a



B

Figura 43. (a y b). Menú para exportar SigmaNEST. Fuente creación propia.

Posteriormente, se localiza la carpeta correspondiente a la Orden de Trabajo (OT) y se seleccionan los archivos DXF que se van a procesar. Una vez identificados, se procede a importar todos los archivos de la orden (Figura 44).

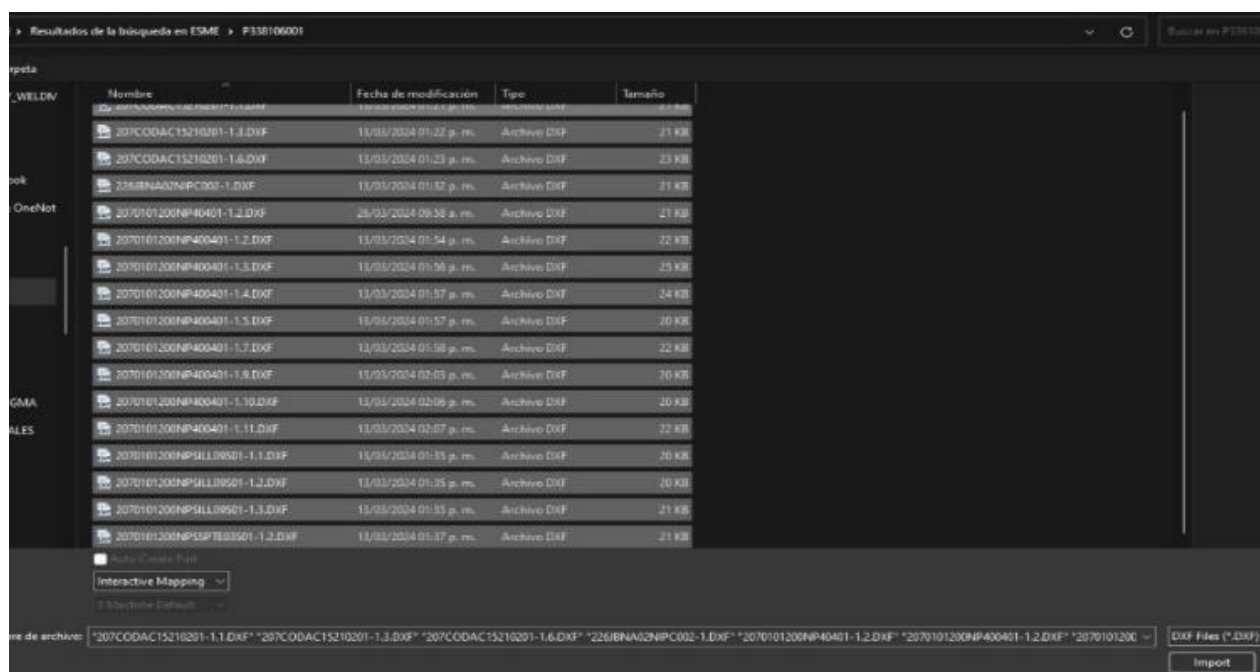


Figura 44. Archivos DXF. Fuente creación propia.

A continuación, se selecciona nuevamente la opción Import, lo que abre una ventana emergente (Figura 45). En dicha ventana, se debe hacer clic en **OK** para continuar con el proceso.

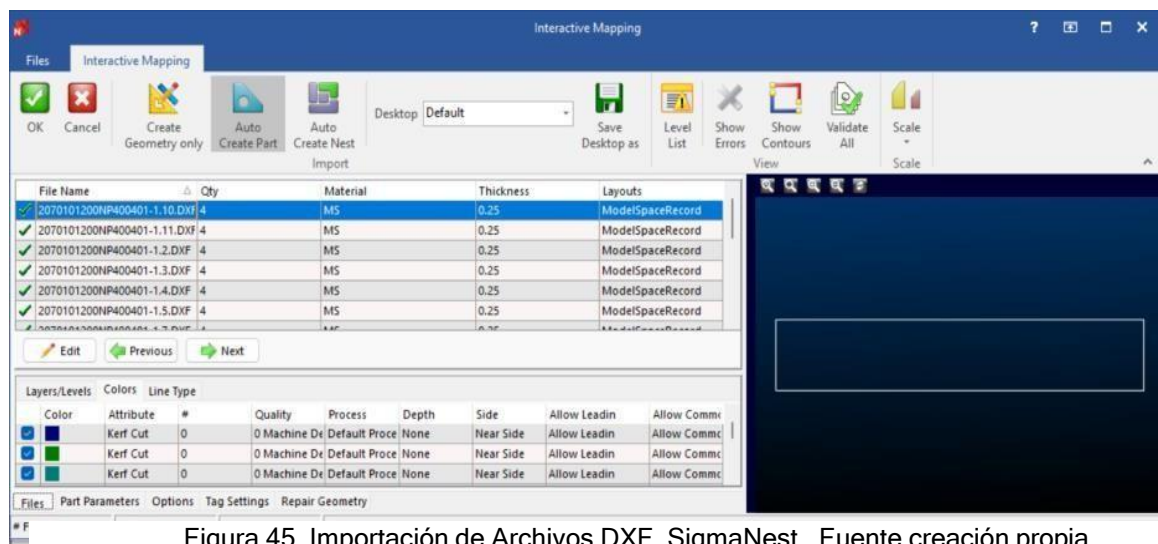


Figura 45. Importación de Archivos DXF, SigmaNest.. Fuente creación propia.

### 4.3.3 Personalización de la interfaz

Una vez importadas las piezas, es fundamental asignar correctamente el **material**, **el espesor y la Orden de Trabajo (OT)** a la que pertenecen (Figura 46). Esta configuración garantiza que los parámetros de corte sean precisos y que el sistema reconozca cada pieza de acuerdo con las especificaciones establecidas en el plano.

The screenshot shows the 'Part Parameters' window in SigmaNest. On the left, a list of parts is shown with green checkmarks. The central area displays a blue semi-circular part. The right-hand section is the 'Part Data' tab, which contains various input fields and checkboxes for configuring the part. The 'Work Order No.' field is set to '38106001'. The 'Part Data' section has 18 input fields, with 'Part Data 2' containing the value '1'. The bottom of the window features a row of buttons: 'Delete', 'Geometry', 'Edit', 'Save', 'Print', 'OK', and 'Cancel'.

Figura 46. Tabla de datos a asignar, SigmaNest. Fuente creación propia.

Los parámetros que se deben ajustar al momento de personalizar la interfaz son los siguientes:

**Work Order No:** corresponde a la Orden de Trabajo (OT) a la que pertenece la pieza (Figura 47).

This is a close-up of the 'Work Order No.' field. The label 'Work Order No.' is in a blue font. To its right is a small blue icon. The text box contains the value '38106001'.

Figura 47. Cambio de OT, SigmaNest. Fuente creación propia

**Number To Nest:** indica la cantidad de piezas requeridas por OT. Es fundamental realizar este cálculo de manera precisa; por ejemplo, si la orden requiere 2 piezas por unidad y se fabricarán 4 unidades, será necesario nestear 8 piezas en total. La cantidad dependerá tanto del número de piezas especificadas en el plano como de las unidades a fabricar (Figura 48).

**Number To Nest**

1

Figura 48. Número de piezas requeridas, SigmaNest. Fuente creación propia.

**Part Name:** este campo suele completarse automáticamente al importar los archivos DXF, tomando como referencia el nombre preestablecido del archivo (Figura 49).

**Part Name**

2070101200NP400401-1.3

Figura 49. Nombre de la pieza, SigmaNest. Fuente creación propia.

**Material:** en este apartado se asigna el material correspondiente a la pieza, de acuerdo con los criterios definidos en la documentación técnica. Para ello, se selecciona entre las opciones disponibles en el sistema, vinculando el material con las especificaciones de espesor y tipo indicadas en el plano (Figura 50 y Tabla 3).

**Material**

MS

Figura 50. Especificación de material, SigmaNest.. Fuente creación propia

### Tabla 3

*Tabla de abreviaciones de materiales*

MATERIAL	PREFIJO EN Sigma NEST
----------	--------------------------

ACERO INOXIDABLE	SS
ACERO AL CARBON	MS
ALUMINIO	AL

*Nota:* Elaboración propia.

Es importante tener en cuenta que el antiderrapante se clasifica como MS, ya que corresponde a acero al carbón.

**Thickness:** en este apartado se deben revisar cuidadosamente los calibres y espesores indicados en la descripción de cada ÍTEM. Por ejemplo, en el caso del ÍTEM 1.3 (Figura 51).

Thickness

5/16

Figura 51. Espesor de placa, SigmaNest. Fuente creación propia

La la placa SA-516-70 corresponde a MS (acero al carbón), y el valor 5/16 hace referencia al espesor de la placa. Cabe señalar que este valor puede variar en función de los requerimientos establecidos en la OT.

1.3	1	1010080820SA51670	PLACA SA-516-70 5/16" 8' X 20' 981.65 Kg
-----	---	-------------------	------------------------------------------

Figura 52. Especificaciones de ítem 1.3. Fuente creación propia.

Es importante considerar que ciertos calibres requieren placas con grados específicos distintos. Por esta razón, resulta indispensable especificar de manera clara cuando una placa corresponde a un grado superior, con el fin de evitar confusiones durante el proceso de corte (Figura 53).

1.11	1	1010190000A57250	PLACA A572 G50 3/4 In. 151.14 Kg
------	---	------------------	----------------------------------

Figura 53. Especificación de grado de placa. Fuente creación propia.



En este caso, se trabaja con una placa G50 (aunque el grado puede variar según la OT). No obstante, al momento de generar las tareas, es fundamental marcar explícitamente el grado de la placa que se empleará, garantizando así que el proceso de corte se realice de forma correcta y conforme a las especificaciones requeridas.

El anidamiento es una de las etapas más importantes dentro del proceso de preparación de corte, ya que permite organizar las piezas en una misma lámina o placa de acuerdo con su material y espesor. Su objetivo principal es optimizar el aprovechamiento del material, reducir los desperdicios y facilitar la programación de las máquinas de corte. En esta fase, las piezas con características compatibles se agrupan en una misma tarea, lo que asegura un proceso de producción más eficiente y controlado, para posteriormente generar las llamadas tareas.

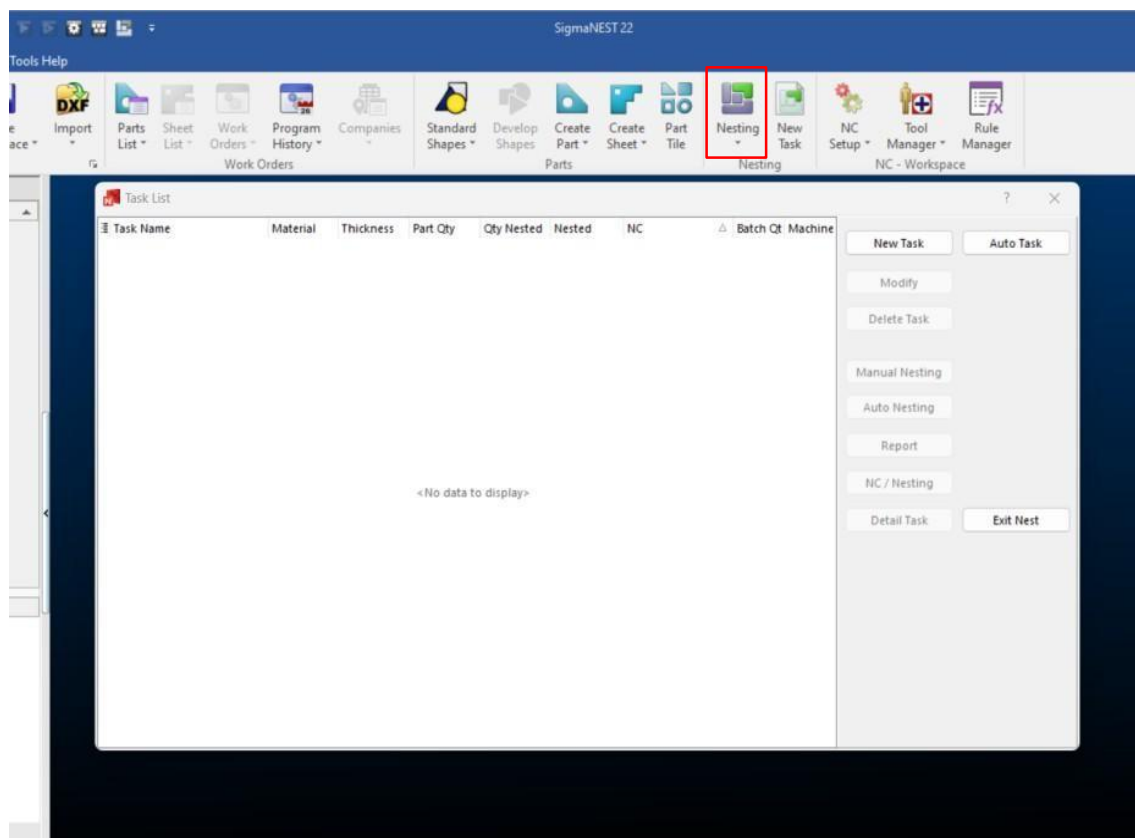


Figura 54. Icono de Nesting, SigmaNest.. Fuente creación propia.

Desde el menú **Workspace**, se accede a la sección **Nesting**, lo cual despliega una ventana similar a la que se muestra en la imagen. Para iniciar un nuevo proyecto, se

selecciona la opción **New Task**.

A continuación, se eligen las piezas que corresponden al mismo material y espesor y, utilizando la flecha de la ventana, se procede a anidarlas. De esta manera, quedan agrupadas dentro de un solo trabajo de anidado, optimizando el proceso.

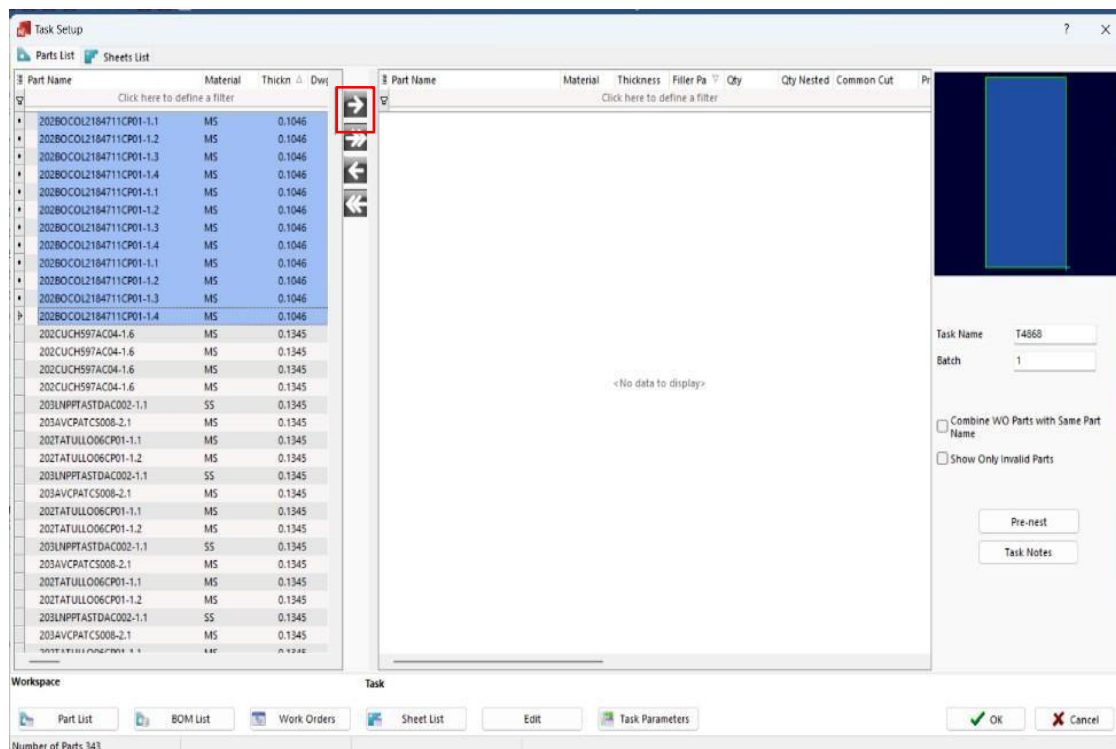


Figura 55. Icono para agregar piezas a tarea, SigmaNest. Fuente creación propia.

Otro parámetro que es necesario configurar corresponde al Task Name (nombre de la tarea), el cual se define de acuerdo con el material y el espesor de las piezas a trabajar. Cada combinación de material y espesor debe contar con una tarea independiente, lo que facilita la correcta organización del proceso de anidamiento y la trazabilidad de las órdenes de trabajo (Figura 56).

Para garantizar uniformidad en la nomenclatura, se emplea una tabla de referencia que indica cómo se modifica el prefijo establecido y cuál es el nombre que debe asignarse a cada tarea, según las características específicas del material y su espesor.

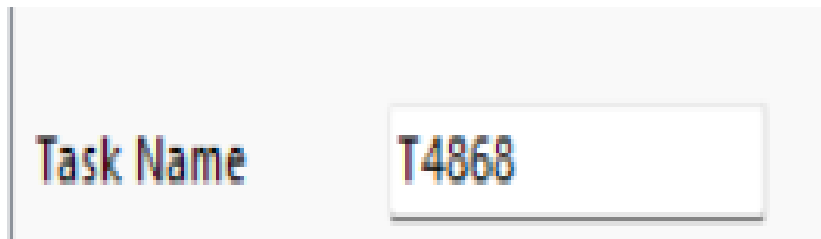


Figura 56. Nombre de tarea, SigmaNest.Fuente creación propia.

**Tabla 4**

*Tabla para TASK NAME*

MATERIAL	PREFIJO EN SIGMA NEST	NOMBRE EN TASK NAME
<b>ACERO INOXIDABLE</b>	SS	<b>INOX</b>
<b>ACERO AL CARBON</b>	MS	<b>AC</b>
<b>ALUMINIO</b>	<b>AL</b>	<b>AL</b>

Nota. Elaboración propia.

En el caso de los calibres, la nomenclatura se establece utilizando el prefijo C- seguido del número de calibre correspondiente (por ejemplo, C-10, C-12). Para las fracciones de espesor, se respeta exactamente el número establecido en pulgadas, evitando abreviaciones que puedan generar confusiones.

Asimismo, cuando se trabaja con placas de otros grados de material, estos se especifican de manera explícita en el nombre de la tarea. Esto asegura que cada grado quede identificado de forma correcta y que se cree una tarea independiente para su anidamiento, tal como se observa en la Figura 57.

Task List										
Task Name	Material	Thickness	Part Qty	Qty Nested	Nested	NC	Batch Qt	Machine		
AC C-10	MS	0.1345	30	30	Nested	Complete NC	1	Whitney	New Task	Auto Task
AC 3/16	MS	0.1875	99	100	Nested	Complete NC	1	Whitney	Modify	
AC 3/8	MS	0.3750	161	65	Partially Nest	Complete NC	1	Whitney	Delete Task	
AC 1/2	MS	0.5000	218	218	Nested	Complete NC	1	Whitney	Manual Nesting	
AC G50 5/8	MS	0.6250	56	56	Nested	Complete NC	1	PANTOG	Auto Nesting	
AC 1"	MS	1.0000	44	44	Nested	Complete NC	1	PANTOG	Report	
AC G50 3/4	MS G50	0.7500	80	80	Nested	No NC	1	PANTOG	NC / Nesting	
AC G50 1"	MS G50	1.0000	20	20	Nested	No NC	1	PANTOG	Detail Task	Exit Nest
INOX C-10	SS	0.1345	4	4	Nested	No NC	1	PANTOG		
INOX 1/2	SS	0.5000	16	16	Nested	No NC	1	PANTOG		
AC C-12	MS	0.1046	21	21	Nested	No NC	1	PANTOG		
AC 5/16	MS	0.3125	12	12	Nested	No NC	1	PANTOG		
AC 1/4	MS	0.2500	301	301	Nested	Partial NC	1	Whitney		
AC 3/4	MS	0.7500	286	286	Nested	Partial NC	1	PANTOG		

Figura 57. Ejemplo de tareas con grado de placa, SigmaNest. Fuente creación propia.

## 4.4 Nesting y Optimización

### 4.4.1 Conceptos básicos de nesting

El nesting es el proceso mediante el cual se organizan una serie de patrones o geometrías sobre una lámina metálica con el fin de optimizar tanto el tiempo de corte como la cantidad de material utilizado. Su objetivo principal es obtener el mayor número de piezas posibles en el menor tiempo y con el mínimo desperdicio de material.

Este proceso se sitúa entre las fases de diseño y mecanizado, representando un eslabón clave en la cadena productiva, ya que permite ahorrar recursos, reducir costos y garantizar un mejor aprovechamiento de la materia prima.

En la práctica, el nesting puede realizarse mediante diferentes enfoques, entre los cuales destacan:

**Piezas cortadas con nesting dinámico:** Este tipo de anidamiento ajusta automáticamente la disposición de las piezas en la lámina durante el proceso de optimización. El software analiza en tiempo real las dimensiones, formas y restricciones de cada pieza para generar la mejor combinación posible, maximizando el uso del material y reduciendo el desperdicio, sin alterar las características originales de las piezas (Figura 58).

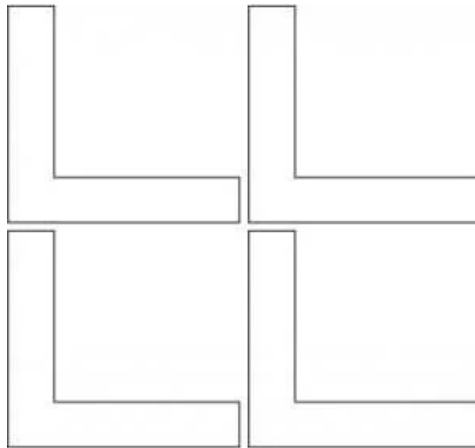


Figura 58. Piezas cortadas con nesting dinámico. Fuente recuperado de (ShopSabre, 2024).

**Piezas cortadas con nesting rotacional:** En este tipo de nesting, las piezas pueden ser rotadas en diferentes ángulos, respetando límites previamente establecidos, como  $45^\circ$  o  $90^\circ$ . Esta rotación permite optimizar la disposición de las piezas sobre la lámina, aprovechando espacios que quedarían inaccesibles si las piezas permanecieran en una orientación fija. Es un método especialmente útil para piezas con formas irregulares, ya que facilita un mejor aprovechamiento del área de trabajo y contribuye a reducir significativamente el desperdicio de material (Figura 59).

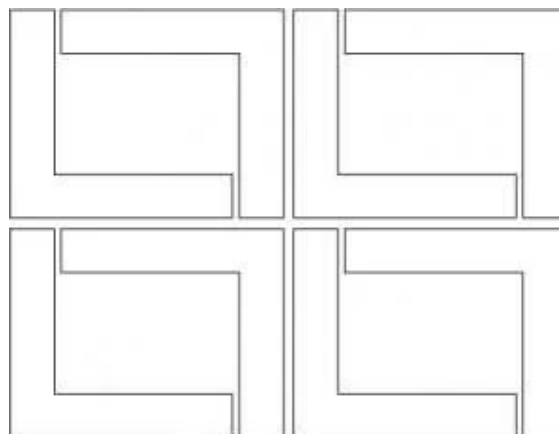


Figura 59. Piezas cortadas con nesting rotacional. Fuente recuperado de (ShopSabre, 2024).

**Piezas cortadas con nesting mejorado o de forma verdadera:** Este enfoque emplea algoritmos avanzados que consideran no solo las dimensiones rectangulares aproximadas de las piezas, sino también sus formas exactas y contornos precisos. Esto permite lograr una disposición más ajustada y eficiente, en especial para piezas con contornos irregulares, consiguiendo así una optimización superior del material. Además, a diferencia de otros tipos de nesting que limitan la rotación de las piezas a ángulos comunes como  $45^\circ$  o  $90^\circ$ , este método permite mover y rotar las piezas en ángulos más variados, como  $30^\circ$  o  $60^\circ$ , lo que contribuye a un aprovechamiento aún más eficiente del espacio y reduce de manera significativa el desperdicio de material (Figura 60).

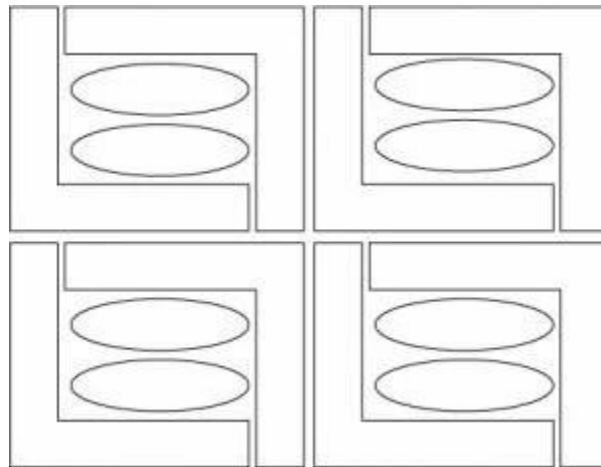


Figura 60. Piezas cortadas con nesting mejorado o nesting de forma verdadera. Fuente recuperado de (ShopSabre, 2024).

El nesting constituye una etapa fundamental dentro del proceso productivo, ya que permite optimizar el uso de los materiales y reducir significativamente los costos asociados al desperdicio. Al mismo tiempo, contribuye a mejorar los tiempos de corte y la eficiencia general del proceso. Comprender las diferentes modalidades de nesting y su correcta aplicación es clave para seleccionar la estrategia más adecuada en cada caso, lo que garantiza un equilibrio entre productividad, calidad y aprovechamiento de recursos.

#### ***4.4.2 Estrategias de optimización***

Un aspecto fundamental para determinar qué máquina utilizar es conocer el espesor del material a cortar. En general, cuando el espesor supera media pulgada ( $\frac{1}{2}$ "), es recomendable enviar el material al pantógrafo, ya que este equipo está diseñado para manejar cortes más gruesos con mayor precisión y estabilidad, además de reducir el desgaste prematuro de los consumibles.

Por otro lado, para espesores menores o iguales a media pulgada ( $\frac{1}{2}$ "), el corte por plasma resulta más eficiente, ya que ofrece mayor rapidez y calidad en cortes finos, permitiendo una mejor definición en los bordes y un menor tiempo de procesamiento.

Aplicar esta distinción contribuye a optimizar el proceso productivo, garantizando un uso adecuado de los recursos, una mayor durabilidad de la maquinaria y una reducción de los costos asociados al mantenimiento y desperdicio de material.

Dado que algunas órdenes son pequeñas o consisten en piezas de dimensiones reducidas, en muchas ocasiones no se logra llenar completamente el espacio disponible en una placa. Para optimizar el uso del material, es necesario aprovechar los sobrantes, lo cual se realiza arrastrando las piezas desde el panel derecho hacia el área marcada en azul, que representa la placa de trabajo. El sistema señala de manera visual, mediante un color verde, cuando se han distribuido correctamente todas las piezas requeridas para la orden.

En los casos en que la cantidad de piezas sea suficiente para llenar una placa completa, el procedimiento continúa de la siguiente manera:

Abrir el sistema **Infor**, que se encuentra anclado en la barra de tareas.

Ingresar la contraseña correspondiente para acceder al programa.

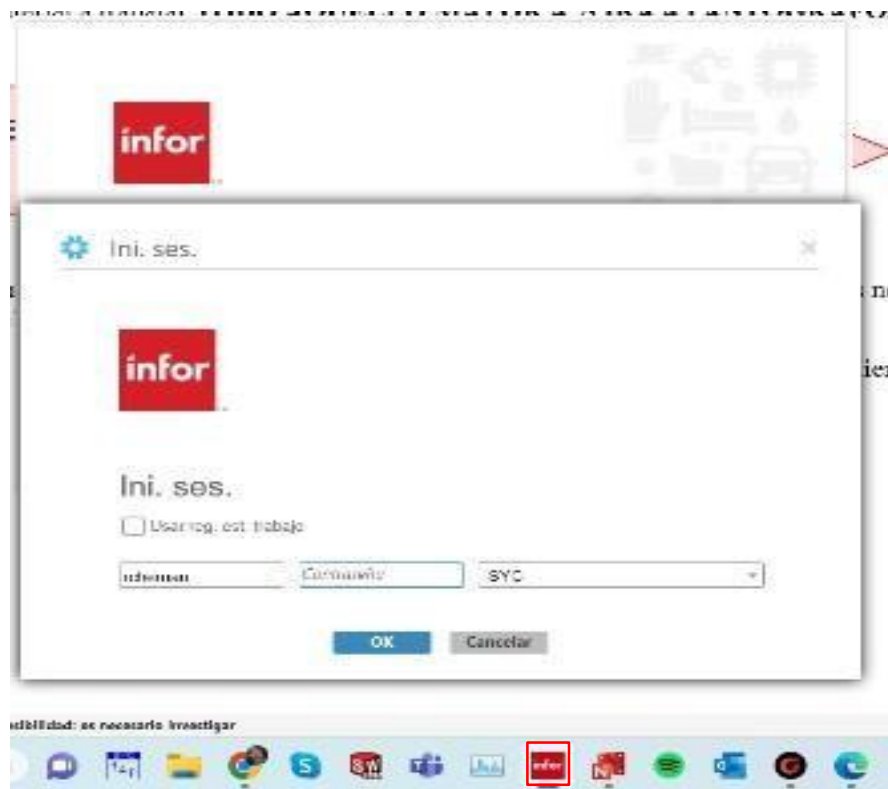


Figura 61. Acceso rápido infor. Fuente creación propia.

Para buscar las placas disponibles en almacén, se debe ingresar al módulo **Form** dentro del sistema Infor. Posteriormente, seleccionar el apartado **2. Informe de Artículo por Ubicación**, donde se despliega la información actualizada sobre las placas existentes, incluyendo material, espesor y ubicación dentro del inventario.

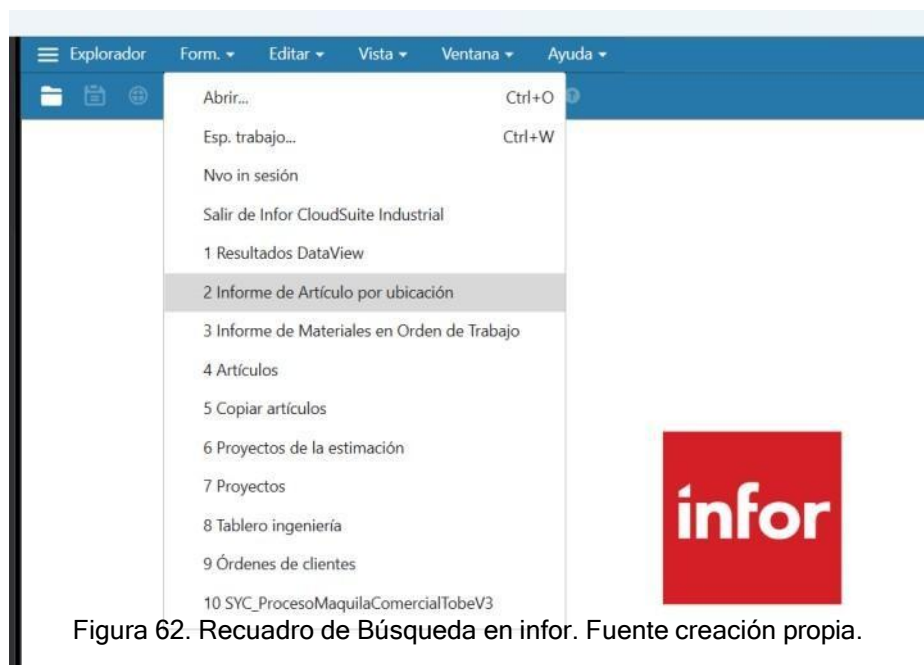


Figura 62. Recuadro de Búsqueda en infor. Fuente creación propia.



Una vez abierta esta opción, se deben completar los campos con los parámetros correspondientes para realizar la búsqueda de manera precisa (Figura 63). Estos parámetros permiten filtrar la información del inventario, asegurando que se identifiquen únicamente las placas que cumplen con las características requeridas para la orden de trabajo en curso.

---

	Inicial	Final
Almacén:	<input type="text" value="0320"/>	<input type="text" value="0320"/>
Artículo:	<input type="text" value="101"/>	<input type="text" value="106xx"/>
Código producto:	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Ubicación:	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Figura 63. Códigos en infor. Fuente creación propia

Una vez que se han completado los parámetros de **Almacén**, **Final** y **Artículo**, se selecciona la opción **Ver**, lo que desplegará la lista de materiales disponibles en almacén. En la columna **Descripción** se detallan las especificaciones del material, incluyendo espesor y dimensiones, mientras que en el apartado de **Existencia** se muestra la cantidad de placas disponibles. Cabe destacar que las medidas proporcionadas por Infor aparecen en pies, por lo que es indispensable convertirlas a pulgadas para garantizar su correcto manejo en el proceso de corte.

Para identificar sobrantes, una vez que las piezas han sido acomodadas en la placa, se determina un punto que puede considerarse como el final de la misma; un ejemplo de esta visualización se muestra en la Figura 64.

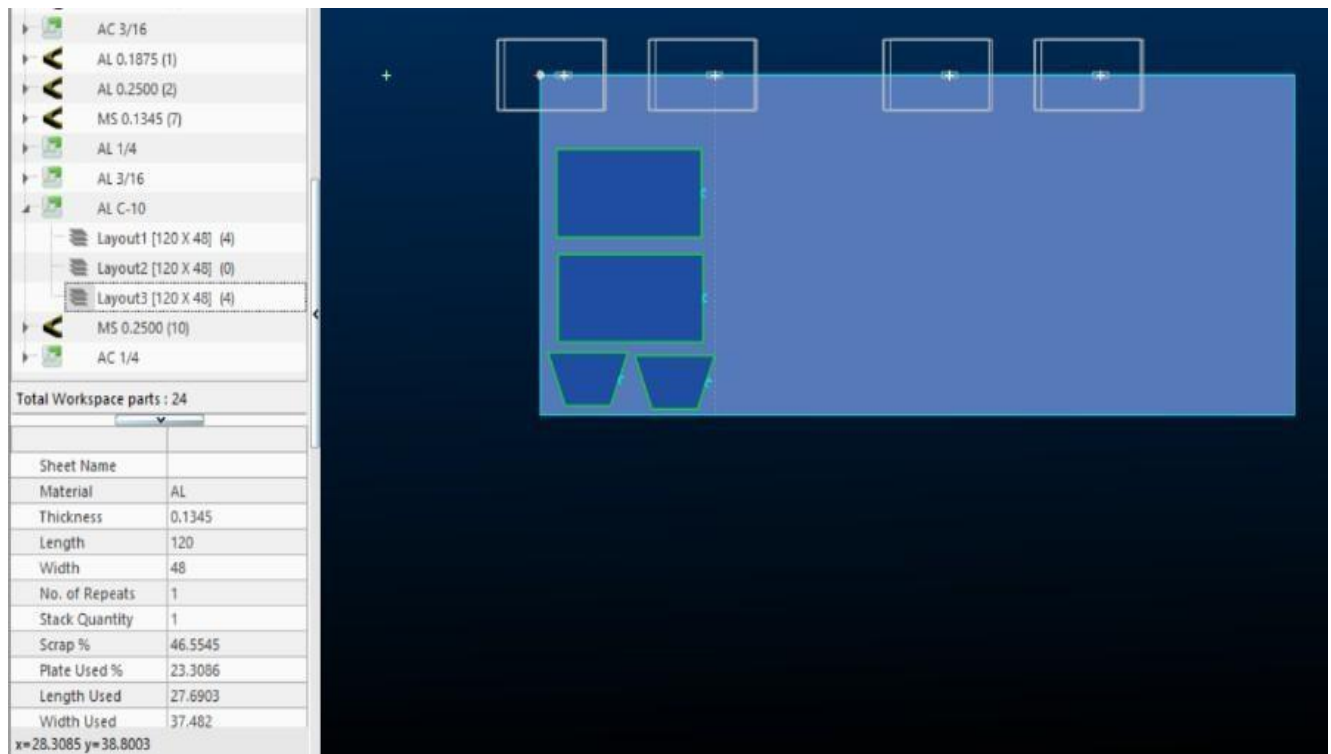


Figura 64. Acomodo de piezas en placa, SigmaNest. Fuente creación propia.

Si únicamente se requiere utilizar una sección de la placa, se coloca el cursor en la esquina superior derecha del contorno de la pieza. Al hacerlo, el sistema genera automáticamente unas coordenadas, las cuales se visualizan en la parte inferior izquierda de la pantalla. Para su procesamiento en la máquina Whitney, es necesario considerar un margen adicional de 5 pulgadas a las coordenadas obtenidas, con el fin de asegurar un corte adecuado.

Una vez definidas las medidas, se procede a buscar un sobrante que cumpla con las dimensiones requeridas. En este ejemplo, la orden demanda un sobrante de 29 x 44 pulgadas, encontrándose disponible uno de 59.5 x 28.5 pulgadas. Para ingresar estos parámetros en el software, se accede a la ruta: **Nesting > Parameters** (Figura 65).

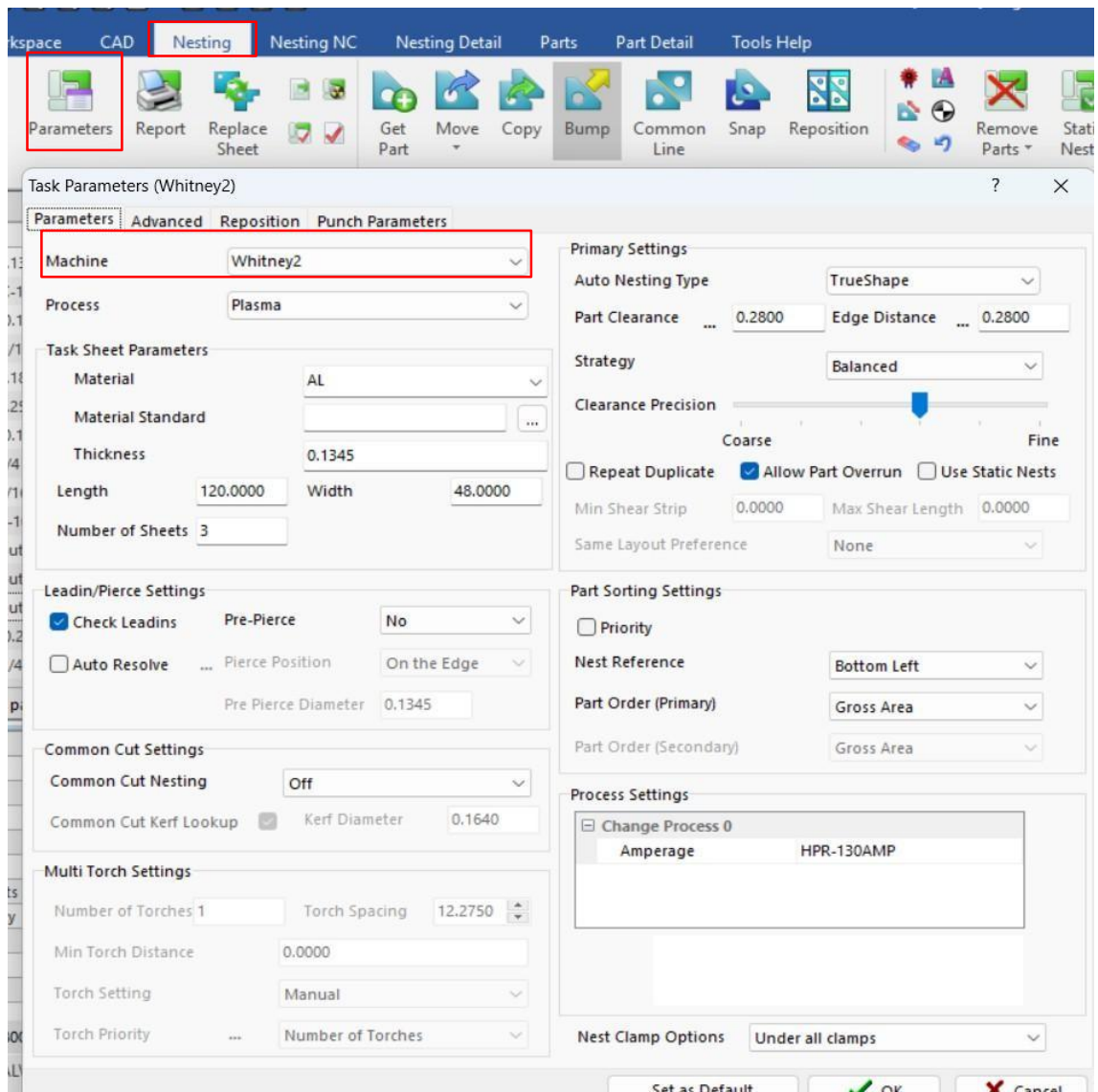


Figura 65. Ajuste de placa y máquina, SigmaNest. Fuente creación propia.

**Machine:** En este campo se selecciona la máquina que ejecutará el corte. Como regla general, todo material con espesor mayor a 1/2 pulgada (1/2") debe procesarse en pantógrafo, dado que dicho equipo está diseñado para cortes de mayor espesor con precisión y estabilidad. Para espesores menores o iguales a 1/2", la asignación se realiza según el tipo de material: las piezas de acero al carbono (MS) se programan preferentemente en Whitney 1, mientras que las de aluminio y acero inoxidable (INOX) se destinan a Whitney 2.

En caso de que exista una condición excepcional (por ejemplo, una pieza de

aluminio con espesor mayor a 1/2"), se deberá seguir la directriz establecida por el departamento de ingeniería de procesos para resolver el criterio de asignación de máquina.

En los campos **Length** (largo) y **Width** (ancho) se ingresan las dimensiones de la placa, ya sea de la placa completa o del sobrante seleccionado. Al modificar estos valores, el sistema ajusta el tamaño visible de la placa en el área de trabajo, lo que permite optimizar la distribución de las piezas (Figura 66). Se recuerda que las medidas internas del sistema deben manejarse en pulgadas (in); si la información proviene de Infor u otro sistema que provea medidas en pies, es necesario convertirlas previamente a pulgadas antes de introducir los valores en Length y Width.

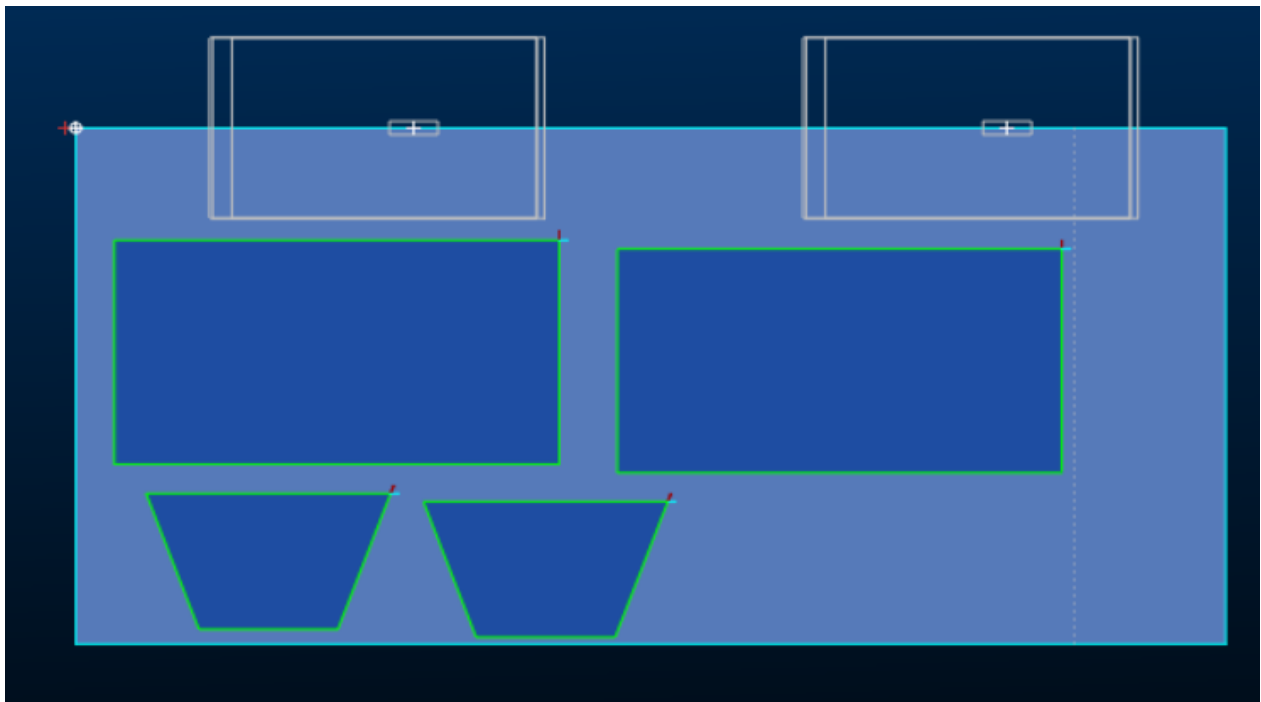


Figura 66. Acomodo perfecto de la placa, SigmaNest. Fuente creación propia.

Cuando se selecciona la opción **Whitney 1** o **Whitney 2**, el sistema habilita automáticamente las reposiciones de los clams, que son los dispositivos encargados de sujetar la placa durante el proceso de corte.

En condiciones normales se utiliza una sola reposición; sin embargo, en casos particulares puede ser necesario habilitar una doble reposición. Para configurar una sola reposición, se accede a la ruta **Nesting NC > Reposition** y se eliminan las posiciones 2, 3, n mediante la opción **Delete**, de manera que permanezca únicamente una reposición activa.

La ubicación de las reposiciones depende del tipo de placa a procesar. Cuando se trabaja con placa completa, estas deben colocarse en las posiciones 3 y 9. En cambio, si se trata de un sobrante, las posiciones deben ajustarse de forma que la placa quede sujeta por dos clams, asegurando que ninguno se encuentre a la mitad o fuera del área de corte. Esta disposición garantiza una fijación adecuada y segura durante toda la operación de corte.

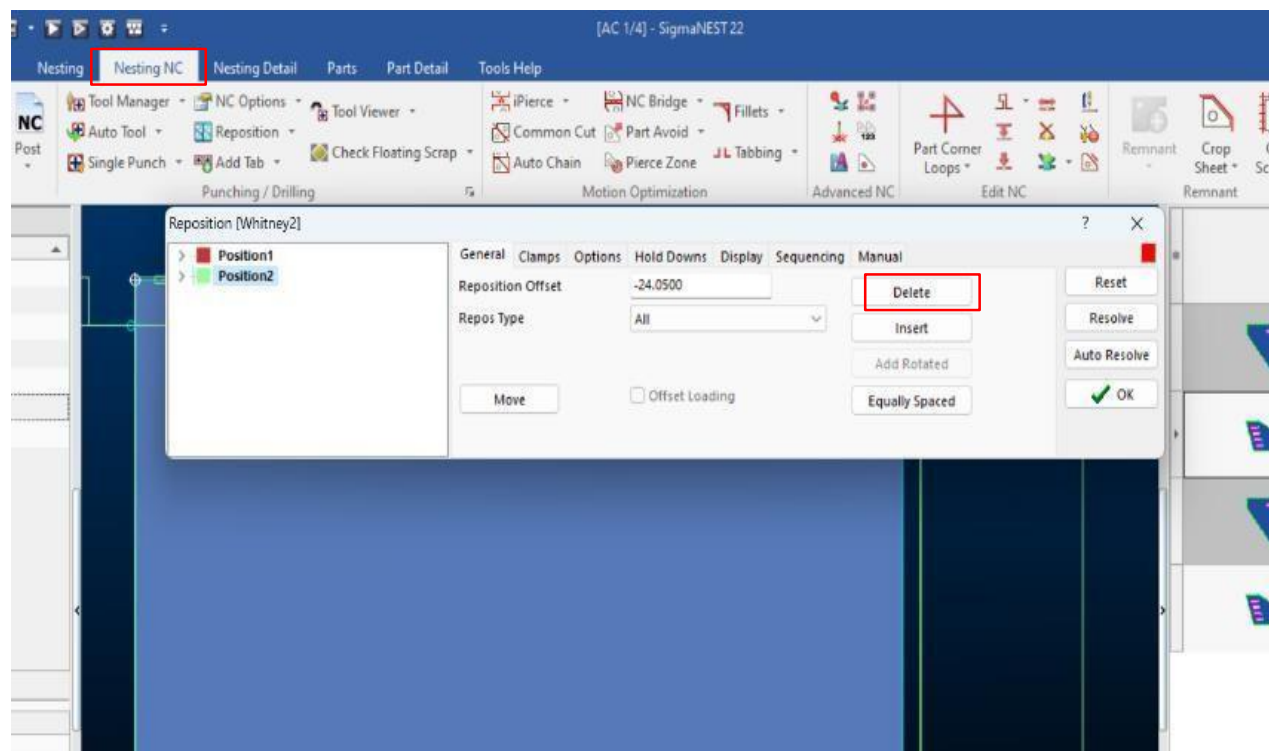


Figura 67. Ventana de Reposiciones, SigmaNest. Fuente creación propia.

Para modificar las posiciones de los clams, se accede al apartado Clams y se selecciona el número correspondiente al dispositivo que se desea ajustar. Es importante realizar esta manipulación con precaución, verificando en todo momento que la placa mantenga un agarre firme y seguro.

Una vez definidas las posiciones, la configuración se guarda mediante la opción Save to PST, y posteriormente se confirma con OK, quedando registrados los cambios realizados.

Cabe señalar que, al ajustar los clams, se debe evitar que alguno quede dentro del área de corte o en una posición que interfiera con la trayectoria de la máquina. Esta medida preventiva asegura tanto la precisión del corte como la integridad del equipo.

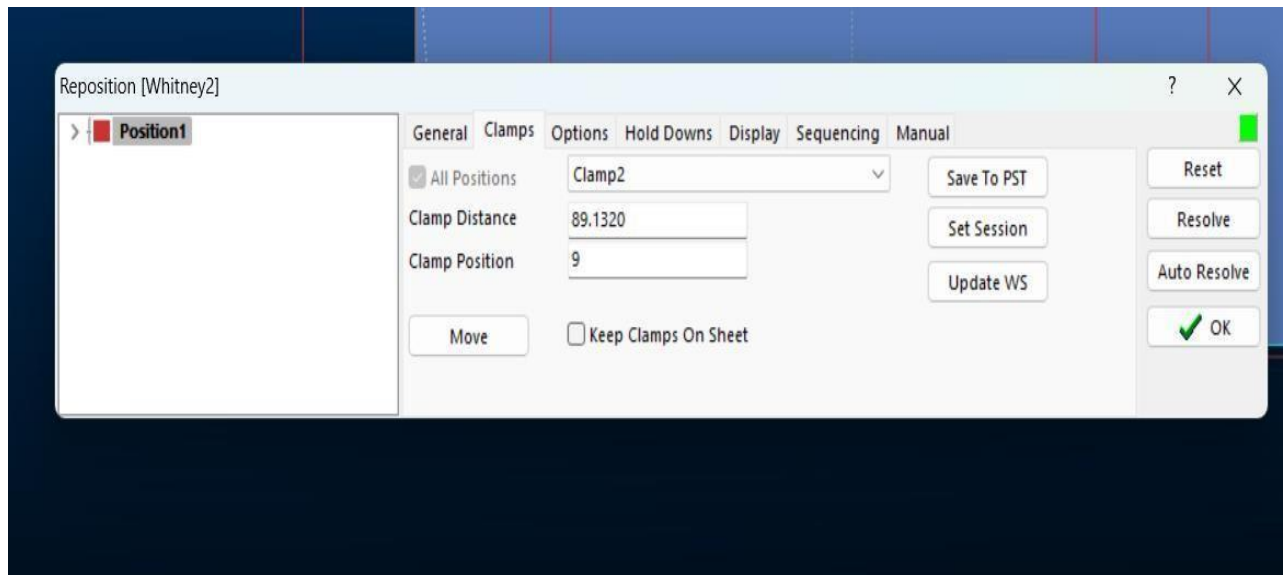


Figura 68. Posiciones de clams, SigmaNest. Fuente creación propia.

Para el proceso de asignación de operaciones es necesario seguir una serie de pasos específicos. En la mayoría de los casos, las piezas cuentan con un lado de mayor peso, el cual debe colocarse hacia el lado izquierdo. Esto se debe a que en esa posición se encuentra la bandeja de recolección, lo que facilita que las piezas caigan de manera controlada y segura una vez realizado el corte.

Para efectuar este acomodo, se selecciona la pieza correspondiente dentro del área de trabajo. Al hacerlo, se despliega un menú contextual con diversas opciones de configuración (Figura 69).

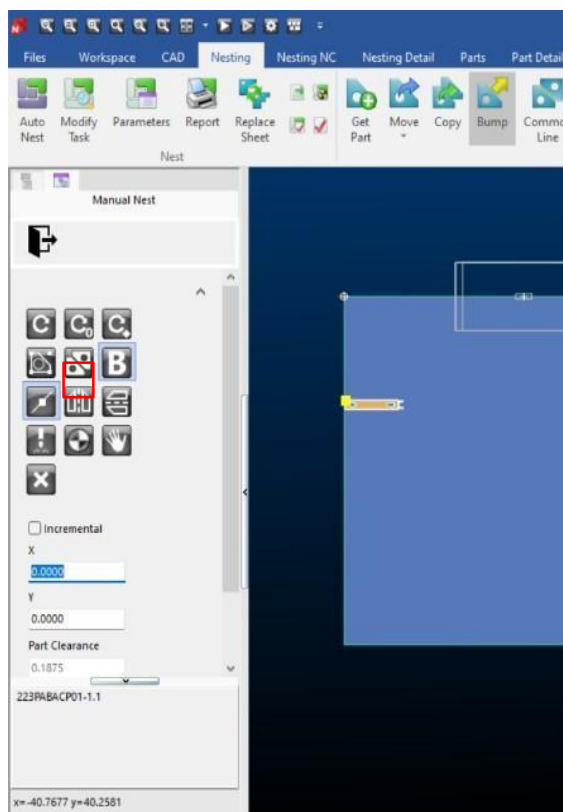


Figura 69. Colocación a ángulo 0°, SigmaNest. Fuente creación propia.

En el menú desplegado se encuentra la opción de flecha de rotación, que permite orientar la pieza en un ángulo de 0°. Sin embargo, en caso de que el lado pesado no quede correctamente acomodado, es posible emplear los siguientes comandos rápidos para ajustar su posición:

**F1:** rota la pieza 90°.

**F2:** rota la pieza -40°.

**F3:** rota la pieza 15°.

Estos comandos facilitan la correcta orientación de la pieza, asegurando que el lado más pesado quede hacia la izquierda y se garantice una caída adecuada en la bandeja de recolección. Un ejemplo de una acomodación correcta se muestra en la Figura 70.

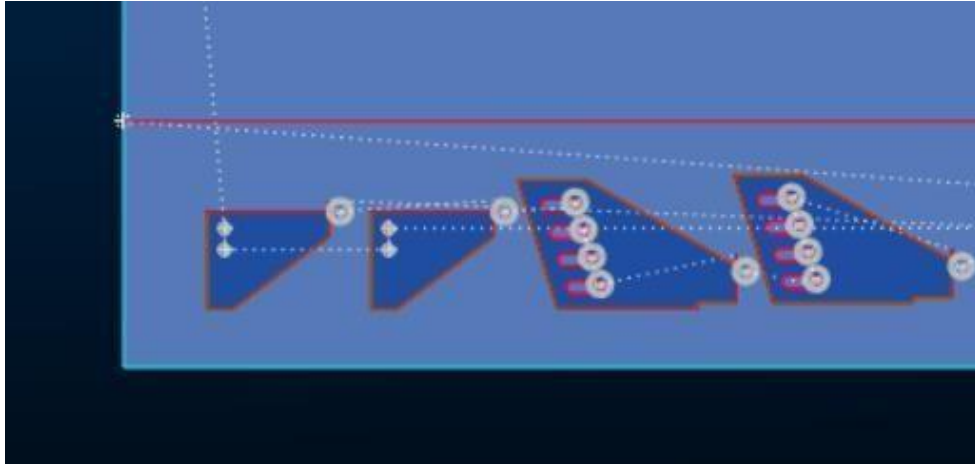


Figura 70. Ejemplo de un correcto de acomodo, SigmaNest. Fuente creación propia.

Dentro de los parámetros configurables se encuentra el menú mostrado en la Figura 71, el cual ofrece las siguientes funciones:

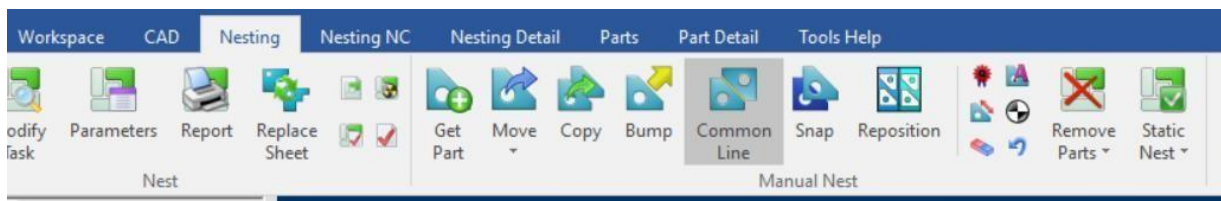


Figura 71. . Botón para contornos, SigmaNest. Fuente creación propia.

**Move:** permite mover la pieza a otra posición dentro del área de trabajo.

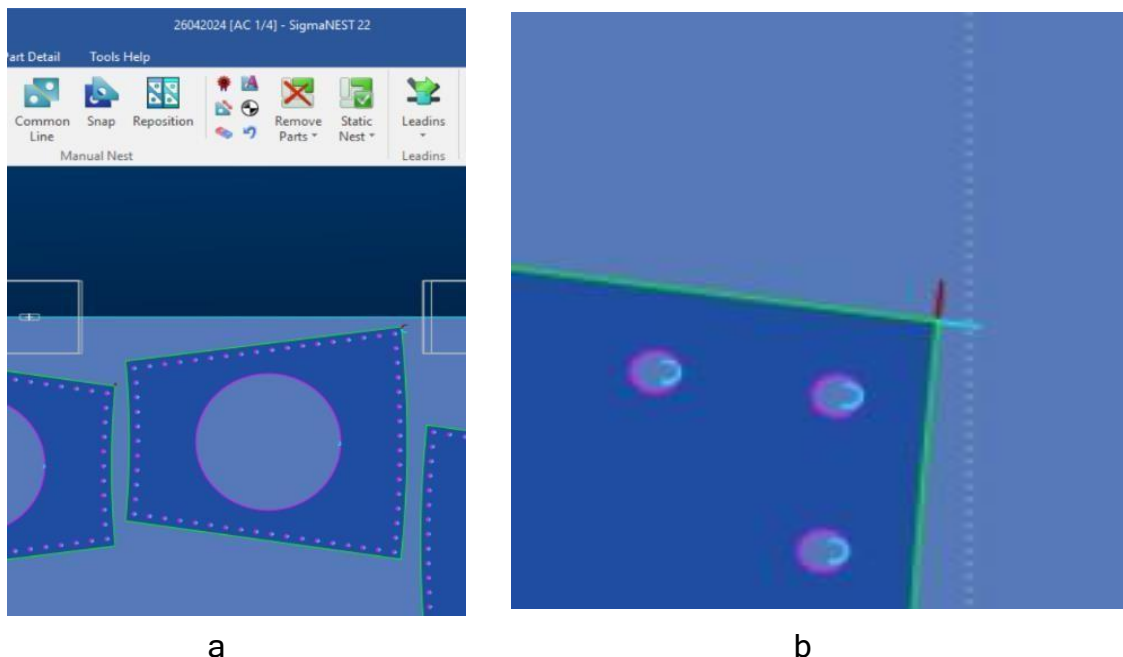
**Copy:** permite copiar piezas. Para utilizar esta herramienta, primero se selecciona la opción Copy y posteriormente las piezas que se desean duplicar.

**Bump:** funciona como referencia de margen, ya que define el espacio real entre pieza y pieza, considerando además el material que se pierde en el corte por plasma. Esta función se activa con la tecla B y resulta útil para acomodar las piezas evitando superposiciones.

Una vez que las piezas han sido anidadas y se ha definido el tamaño de la placa o sobrante a utilizar, es necesario colocar las entradas de corte, las cuales indican el punto de inicio y finalización del plasma.

Como regla general, las entradas deben ubicarse en un ángulo de 90° en piezas rectas, mientras que en piezas regulares o irregulares deben situarse en la parte superior derecha. (Figura 72 (a y b)).





a

b

Figura 72. (a y b). Ejemplo de entradas, SigmaNest. Fuente creación propia

En caso de presentarse un problema en el que las entradas no generen una abertura adecuada, es decir, que únicamente aparezca una línea en lugar de la trayectoria completa, es necesario realizar un ajuste en la configuración.

Para ello, se debe ingresar al apartado Parameters y posteriormente seleccionar la opción **Leading/Out**. En esta sección se aplican las configuraciones mostradas en la Figura 73, lo que permitirá generar correctamente las entradas de corte y evitar errores en el proceso.

**Nota de precaución:** La ubicación incorrecta de las entradas puede provocar defectos en el corte, acumulación excesiva de calor o incluso deformaciones en la pieza. Por ello, se recomienda siempre verificar que las entradas estén posicionadas en áreas que no comprometan la geometría ni las tolerancias críticas del diseño.

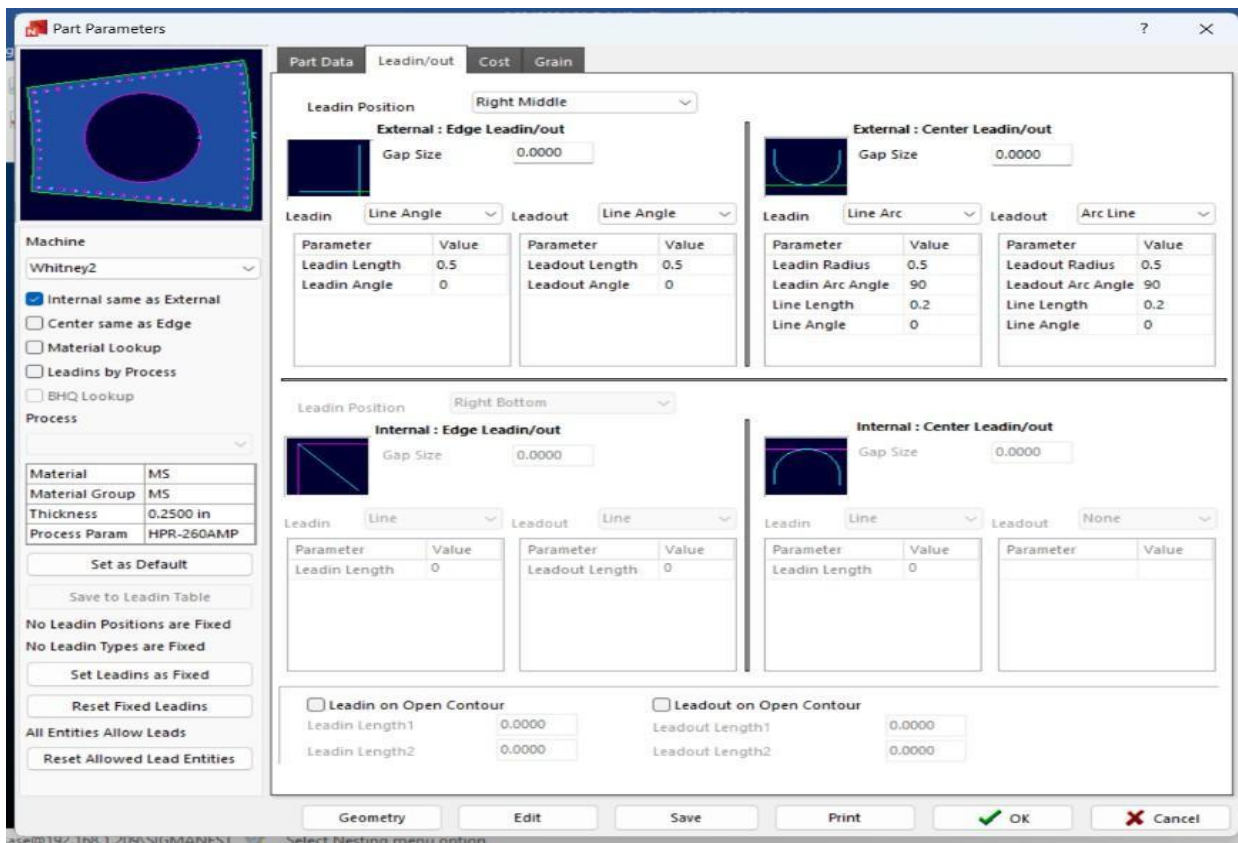


Figura 73. Ajuste de parámetros para entradas. Fuente creación propia.

Es importante recordar que el acomodo de las piezas debe ser lo más eficiente posible, ya que de este factor depende tanto la optimización del material como la reducción de costos asociados al proceso de corte. Una correcta distribución no solo minimiza el desperdicio, sino que también contribuye a disminuir los tiempos de corte, el desgaste de las herramientas y el consumo energético de la máquina.

Una vez asegurado un acomodo adecuado, se procede con la asignación de operaciones, la cual permite establecer la secuencia en la que el software interpretará y ejecutará los cortes. Para ello, se debe acceder al menú **Nesting NC**, seleccionar la opción **By Part**, y posteriormente ir eligiendo las piezas en un orden específico: de **izquierda a derecha y de abajo hacia arriba**. Este orden garantiza que el corte sea más seguro y controlado, evitando deformaciones en el material por movimientos prematuros o caídas inesperadas de piezas. este procedimiento asegura que la placa mantenga siempre un soporte adecuado con los clams.

Si se iniciara el nestado de arriba hacia abajo, los primeros cortes quedarían demasiado cerca de los clams y, en el caso de trabajar con una placa completa, la parte final podría quedar sin un agarre firme. Esto ocasionaría que la placa se encuentre en constante movimiento, comprometiendo tanto la precisión del corte como la seguridad del proceso.

Además, seguir esta secuencia facilita la recolección de las piezas al final del corte, ya que caen de manera más ordenada sobre la bandeja de recepción, lo cual agiliza la operación y mejora el control de calidad en la inspección posterior.

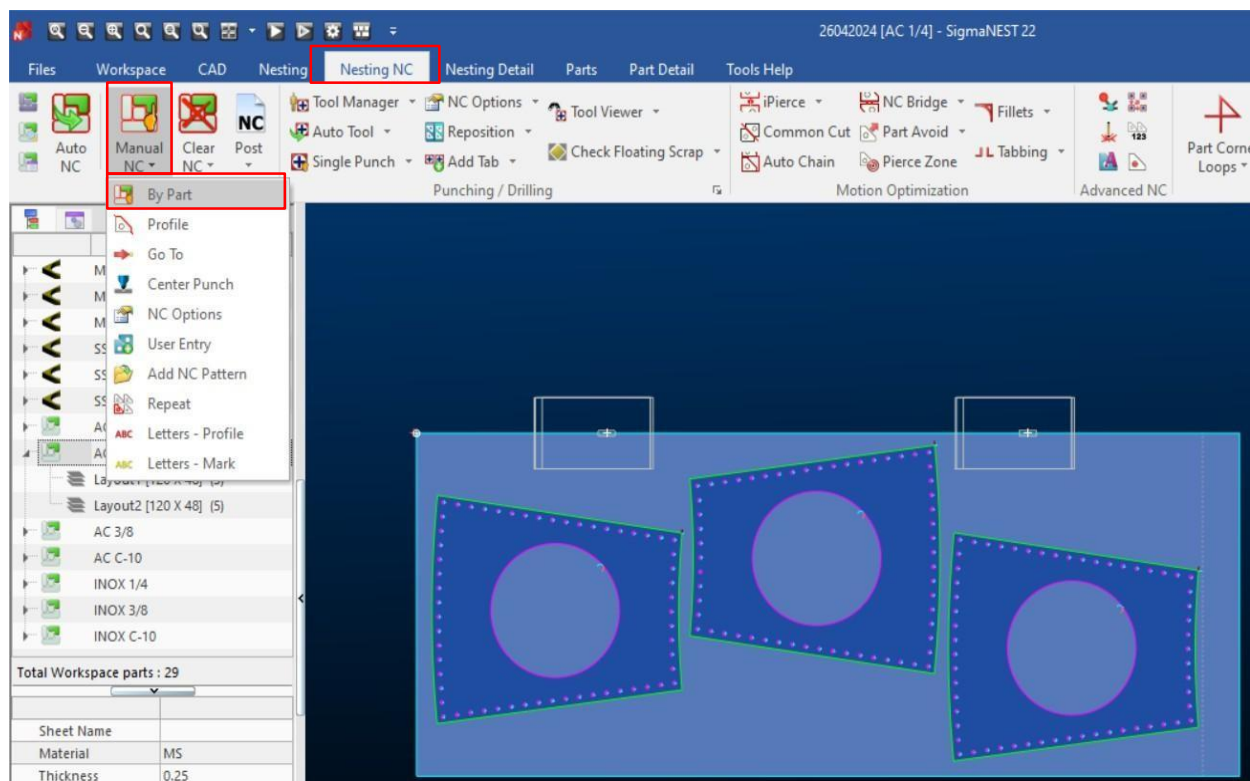


Figura 74. Indicación de tareas a seguir, SigmaNest. Fuente creación propia.

Al seleccionar una pieza en el área de trabajo, el sistema la resalta con diferentes colores según la operación asignada: cortes con plasma en rojo y barrenos u oblongos en amarillo (Figura 75). Esto facilita identificar si las herramientas están correctamente configuradas.

Entre los errores más comunes se encuentran:

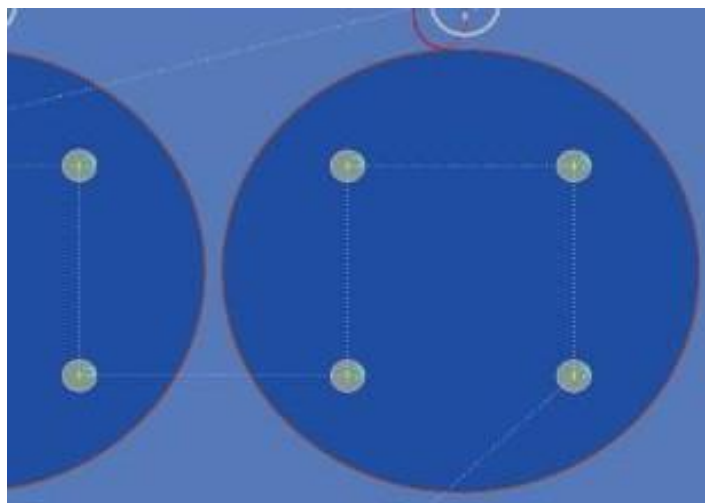


Figura 75. Activación de herramientas, SigmaNest. Fuente creación propia

Dentro del programa únicamente se encuentran cargadas las herramientas que están disponibles físicamente en la máquina. Entre ellas se incluyen los barrenos y los oblongos, que son operaciones específicas de perforado y ranurado. Para activarlos, es necesario ingresar a **Nesting NC > Tool Manager**, lo cual despliega un catálogo con las herramientas disponibles junto con los parámetros de cada una de ellas (Figura 76).

Además, el sistema impide asignar herramientas que no estén registradas en el catálogo, lo cual asegura que únicamente se programen operaciones posibles dentro de la capacidad real de la máquina.



Figura 76. Menú para Activación de herramientas, SigmaNest Fuente creación propia

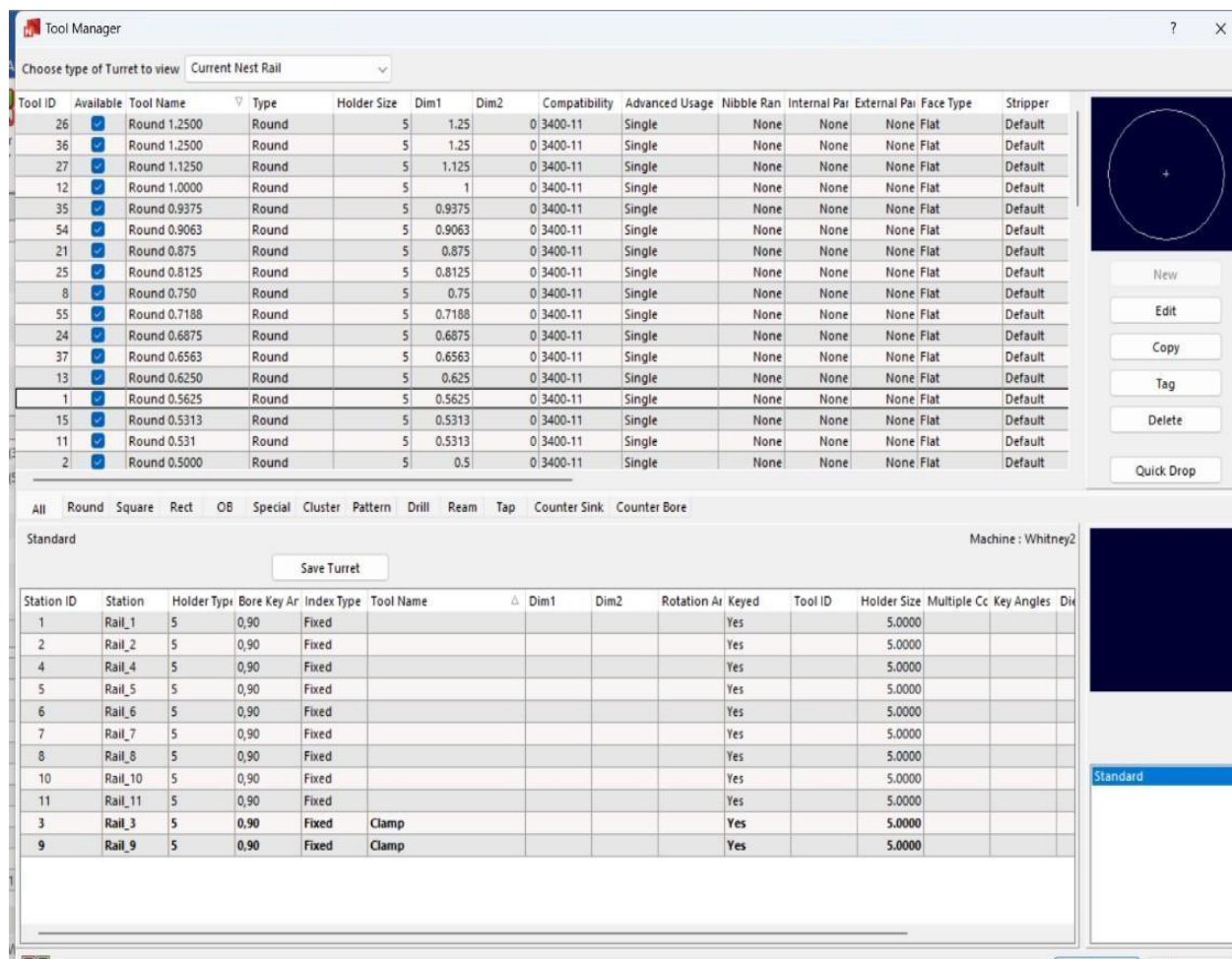


Figura 77. Herramientas cargadas en sistema, SigmaNest. Fuente creación propia.

Para activar una herramienta, se debe arrastrar desde el catálogo hacia la parte inferior, ubicándola en uno de los espacios que no están resaltados en negrita. En el caso de los oblongos, el sistema solicitará especificar el ángulo (**0° o 90°**), el cual deberá confirmarse con la opción **Aceptar**.

En algunas situaciones, la herramienta seleccionada puede exceder las dimensiones permitidas y, en consecuencia, será necesario realizar el corte con plasma. Asimismo, pueden presentarse errores de diseño conocidos como multilínea, los cuales ocurren cuando una figura, como un círculo, ha sido creada mediante varios segmentos independientes en lugar de un solo trazo continuo, lo que impide asignar correctamente la herramienta.

## 4.5 Creación y Edición de Piezas

### 4.5.1 Herramientas de dibujo

Para corregir un problema de diseño relacionado con la herramienta, primero se debe seleccionar la pieza que presenta el error. A continuación, en el panel izquierdo se hace clic derecho sobre la pieza, lo que desplegará un submenú (Figura 78). Desde ahí se accede a los parámetros de la pieza.

Una vez dentro, es necesario ingresar a la opción Geometry (Figura 79), donde se pueden revisar y corregir las líneas que conforman la figura. Este procedimiento permite detectar errores como trazos multilíneales o segmentos inconexos, asegurando que la geometría sea continua y adecuada para asignar correctamente las operaciones de corte.

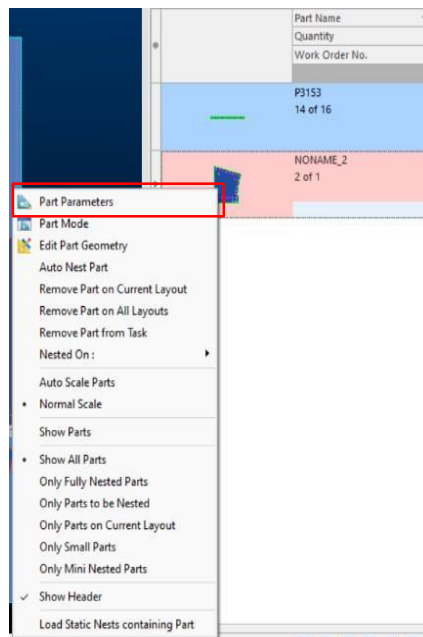


Figura 78. Activación para parámetros de diseño, SigmaNest. Fuente creación propia.

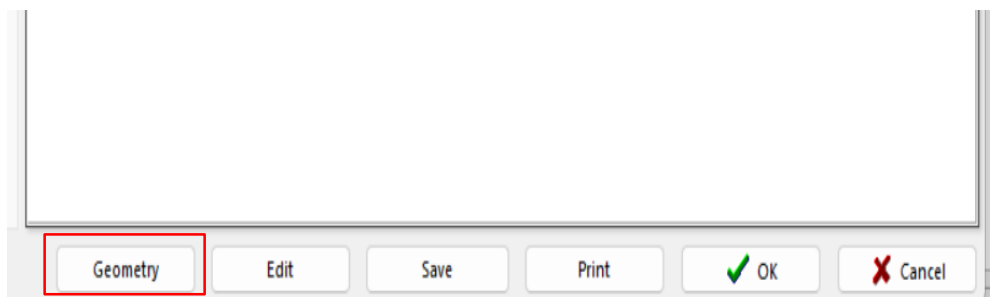


Figura 79. Inicio para edición de geometría, SigmaNest. Fuente creación propia.

### 4.5.2 Edición de geometrías

Posteriormente, se abrirá una vista del dibujo de la pieza compuesta únicamente por líneas. Para corregir el error, se debe sobredibujar el barreno utilizando las herramientas de edición disponibles. Se selecciona la opción **"Line 2 Points"**, y dentro de esta, la primera alternativa disponible (Figura 80). Esta herramienta permite trazar líneas precisas entre dos puntos definidos, lo que facilita la corrección del trazo original y asegura que el nuevo diseño quede alineado correctamente con la geometría de la pieza.

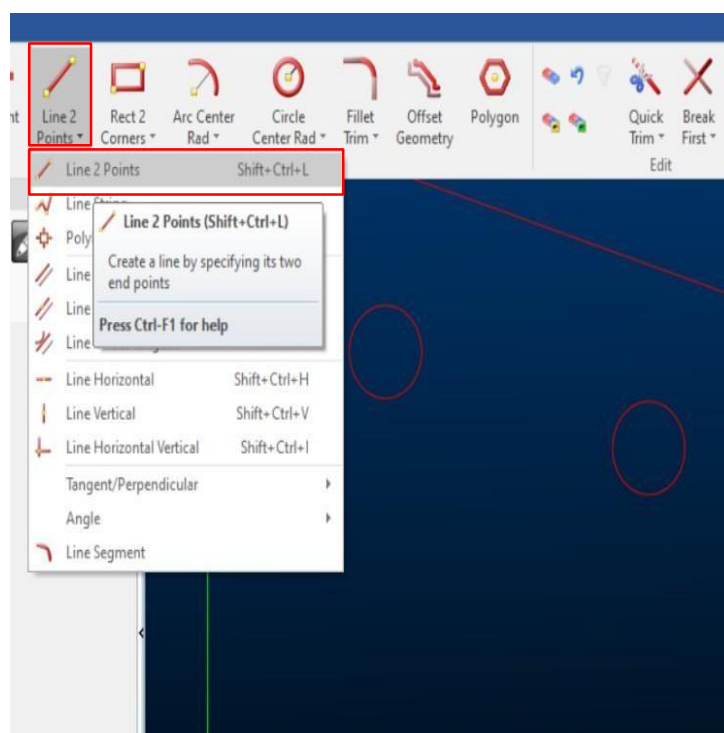
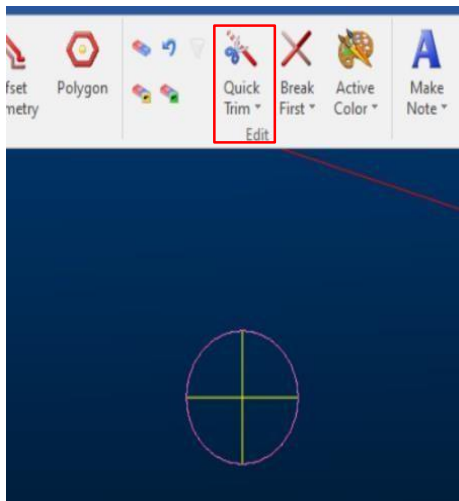


Figura 80. Línea de dos puntos. Fuente creación propia.

Para ello, se deben seleccionar dos puntos opuestos del círculo, de manera que se forme una cruz en el centro del barreno. A continuación, con la herramienta Quick Trim, se eliminan las líneas del círculo original en todos aquellos barrenos que requieran un ajuste de diámetro (Figura 81 a y b). Esta acción permite limpiar el área de trabajo y preparar el espacio para redibujar el barreno con las medidas correctas, garantizando así un diseño más preciso y funcional.





a

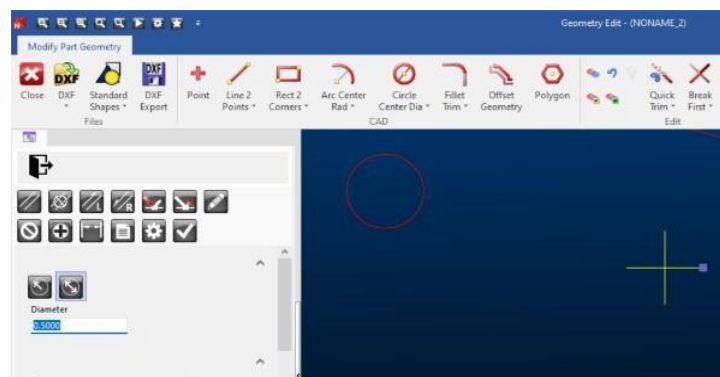


b

Figura 81 a y b. Eliminación de líneas, SigmaNest. Fuente creación propia.

Para sobreponer los círculos correctamente, se debe seleccionar la opción Circle Center Dia, utilizando como referencia las medidas especificadas en el plano (Figura 82 a). En algunos casos, particularmente cuando el archivo será enviado al pantógrafo, es necesario reducir el tamaño de los barrenos aproximadamente  $\frac{1}{4}$  de pulgada. Esta práctica permite que los barrenos únicamente se marquen durante el corte inicial y, posteriormente, se completen en una segunda operación mediante el uso del taladro, garantizando mayor precisión en el diámetro final.

Para colocar el nuevo círculo, se debe acercar el cursor al punto de intersección de la cruz previamente trazada; en ese momento aparecerá una palomita verde que confirma la posición correcta. Una vez visible esta indicación, se puede dar clic para insertar el círculo en el centro exacto, asegurando así que quede alineado y en la medida deseada (Figura 82 b).



a

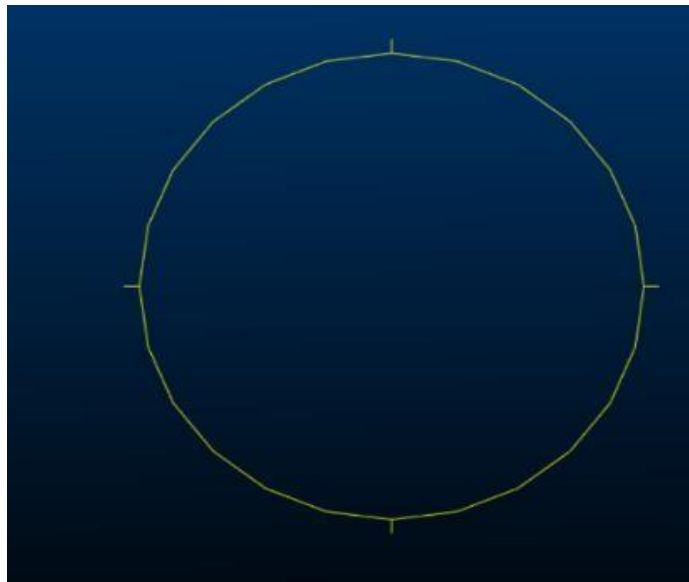




b

Figura 82 a y b. Colocación de círculos, SigmaNest. Fuente creación propia

Muchas veces se generan líneas que sobresalen de la circunferencia, las cuales deben ser eliminadas (Figura 83 a), ya que pueden ocasionar errores al momento de generar las instrucciones de corte. Estas líneas adicionales pueden provocar que el plasma trace recorridos innecesarios o que la pieza no quede con la forma correcta. Por ello, es fundamental revisar con detalle cada barreno y eliminar cualquier trazo sobrante, garantizando que únicamente permanezca el contorno correcto del círculo (Figura 83 b).



a



b

Figura 83 a y b. Eliminación de líneas excedentes, SigmaNest. Fuente creación propia.

Una vez borradas todas las líneas sobrantes, se procede a cerrar la ventana de edición seleccionando la opción Close y, posteriormente, Yes para confirmar los cambios realizados. Finalmente, se da clic en Aceptar, con lo cual la pieza quedará actualizada y lista para continuar con el proceso de corte (Figura 84).

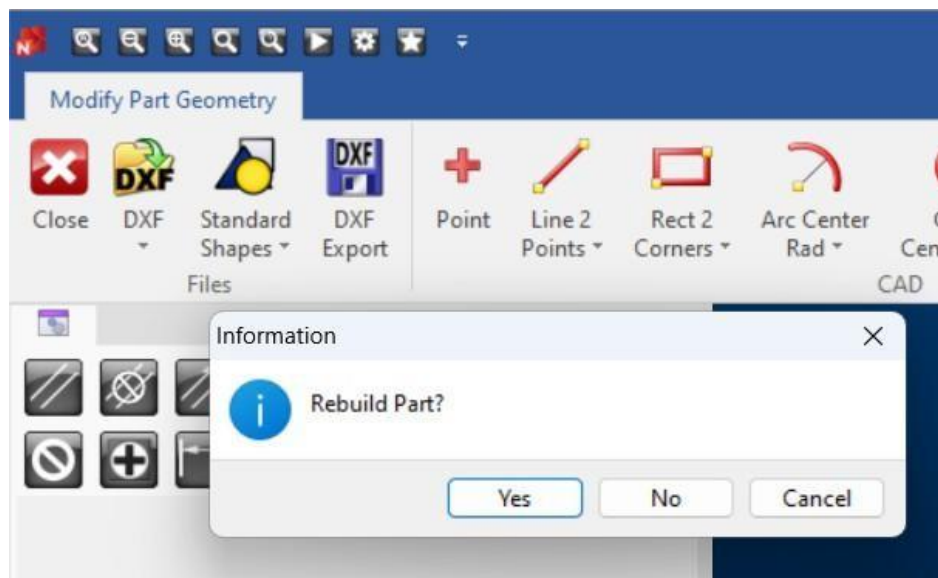


Figura 84. Confirmación de edición en geometría, SigmaNest. Fuente creación propia.

Para la corrección de oblongos, se deben seguir los siguientes pasos: ingresar a la opción **Rect 2 Corners** y, posteriormente, seleccionar **Obround**. Al hacerlo, se desplegará un submenú en el que es posible asignar el alto, el ancho y el ángulo del oblongo, asegurando que la geometría se ajuste correctamente a la figura original. De

esta manera, el oblongo queda alineado con las dimensiones y la orientación indicadas en el plano, evitando errores en el corte (Figura 85 y 86).

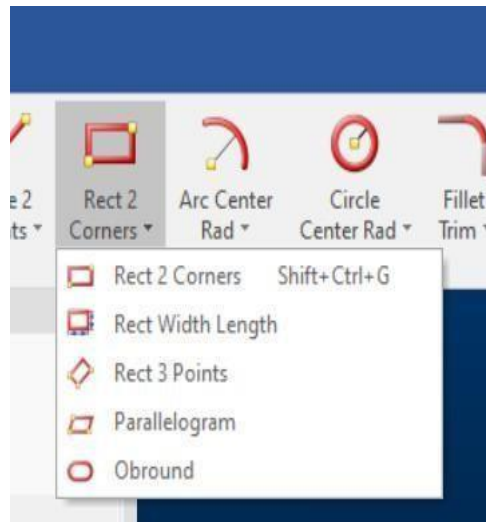


Figura 85. Corrección en oblongos, SigmaNest. Fuente creación propia.

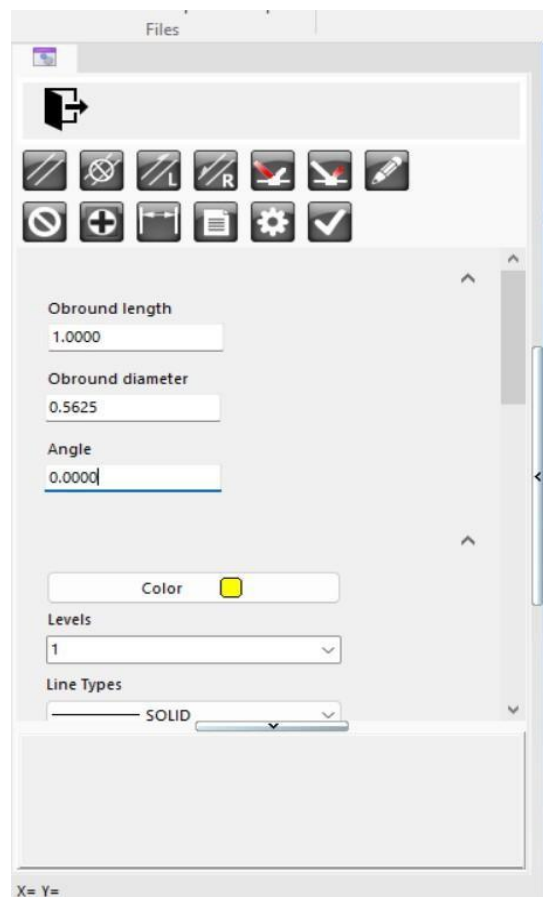


Figura 86..Asignación de medidas para oblongos, SigmaNest. Fuente creación propia.

## 4.6 Generación de Programas CNC

### 4.6.1 Gestión de acciones

Para corregir o eliminar las operaciones realizadas, se debe acceder a la sección **Nesting NC** y utilizar la opción **Back-1**, la cual permite deshacer las acciones de manera secuencial, una por una. Esta herramienta resulta útil cuando se requiere revisar o modificar únicamente los pasos más recientes, sin afectar el resto del trabajo.

En caso de necesitar una eliminación más rápida y completa, se puede emplear la opción **Clear NC Current Layout**, que borra todas las operaciones del diseño actual, dejando el área de trabajo lista para comenzar nuevamente con la asignación de operaciones. Esta función es recomendable cuando los errores son múltiples o afectan de manera general la disposición de las piezas (Figura 87).

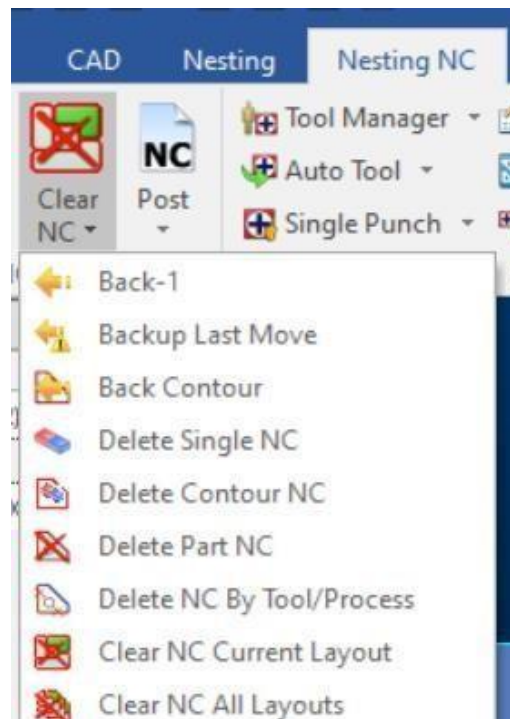


Figura 87. Eliminación de acciones, SigmaNest. Fuente creación propia.

Procedemos a ejecutar nuevamente las operaciones, verificando que todas las herramientas queden correctamente asignadas. Es fundamental asegurarse de que cada operación corresponda al proceso correcto, ya que de ello depende la precisión del corte y el aprovechamiento del material.

Es importante tener presente que el pantógrafo trabaja exclusivamente con corte por plasma; por lo tanto, todas las acciones asignadas a esta máquina se representarán en color rojo dentro del área de trabajo. Esta codificación visual permite identificar de manera rápida y clara los procesos vinculados al pantógrafo, reduciendo el riesgo de errores durante la programación. (Figura 88).

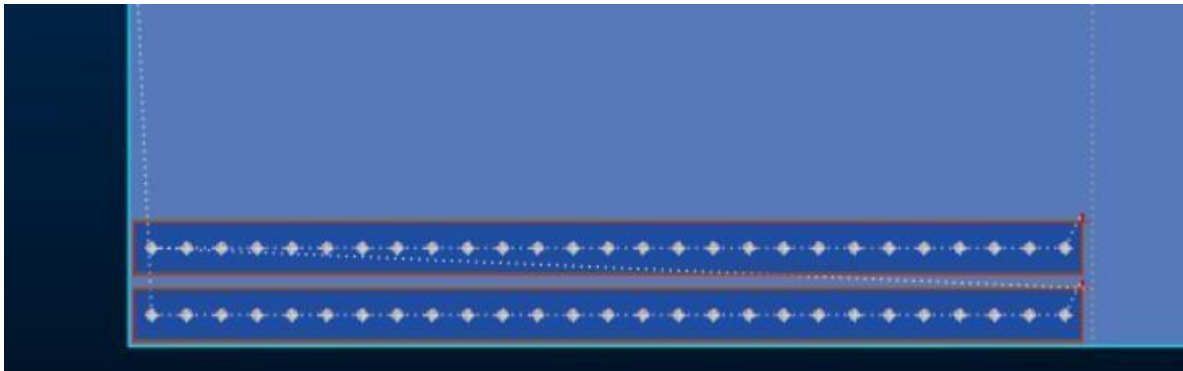


Figura 88. Ejemplificación de secuencia de tareas, SigmaNest. Fuente creación propia.

Una vez que la herramienta ha sido asignada y se han realizado correctamente las operaciones, se procede a ejecutar las acciones finales.

La primera acción es **Reposition**, la cual tiene como finalidad confirmar que tanto las operaciones como los clams estén correctamente definidos (Figura 89).

Cuando el botón ubicado en la parte superior derecha aparece en color verde, significa que las operaciones son correctas y que no habrá inconvenientes durante la ejecución del corte en la máquina.

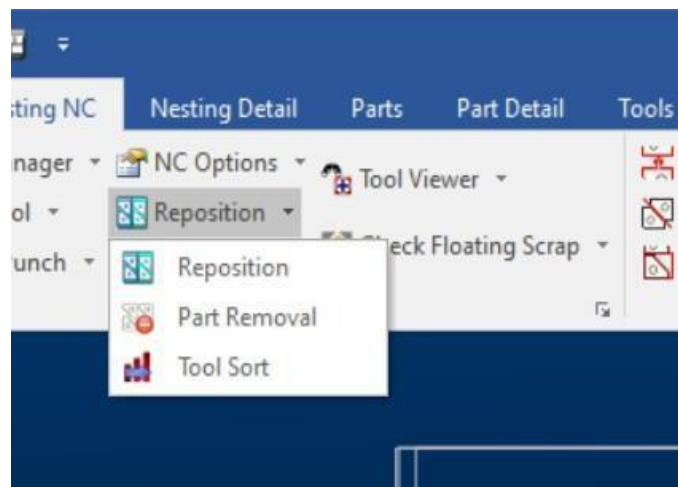


Figura 89. Función reposition, SigmaNest. Fuente creación propia.

En caso de presentarse algún problema, el botón se marcará en color rojo. Al cerrar la ventana, el sistema indicará cuáles son las piezas que no podrán ser procesadas correctamente. Esto ocurre, en la mayoría de los casos, cuando una sola reposición implica una distancia mayor a 141.44 pulgadas, superando así el límite operativo.

Ante esta situación, se deberá reacomodar las piezas dentro del espacio de trabajo para no exceder la medida disponible. Alternativamente, se puede optar por buscar otro sobrante que se ajuste a los requerimientos y permita fabricar las piezas que no pudieron realizarse inicialmente.

El parámetro **Part Removal** se utiliza para definir cómo se realizará la caída o retiro de las piezas una vez que han sido cortadas. Este ajuste es fundamental, ya que influye directamente en la forma en que se extraen las piezas según su tamaño.

En el caso de piezas pequeñas, el sistema abre una compuerta para que estas caigan automáticamente. Por otro lado, cuando se trata de piezas de mayor tamaño, el proceso consiste en acercar la placa a una zona accesible para que el operador pueda retirarlas manualmente de forma segura y eficiente.

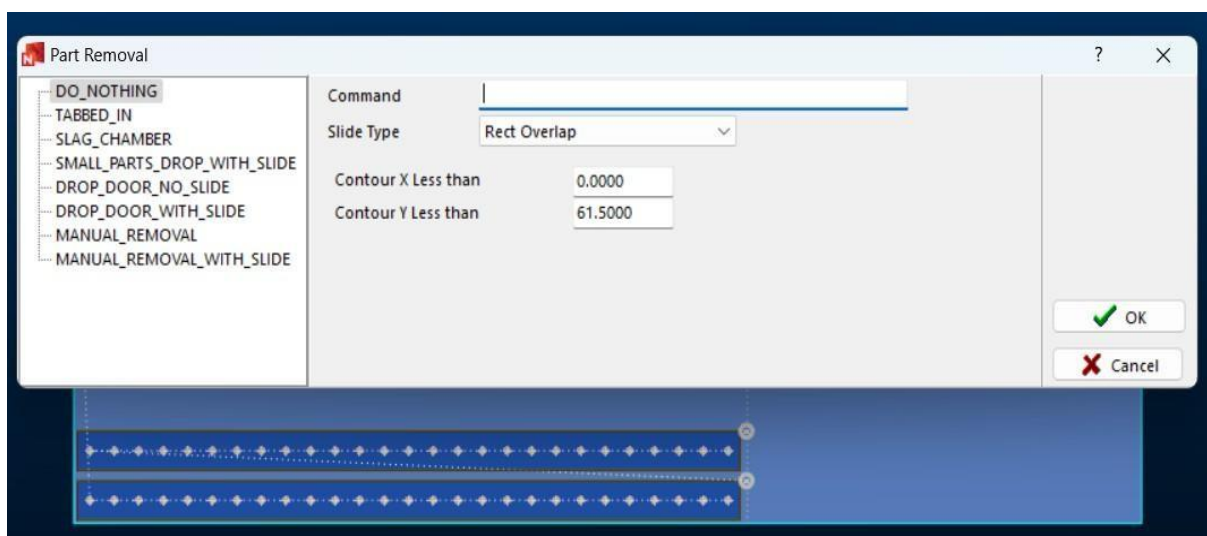


Figura 90. Función caída, SigmaNest. Fuente creación propia.

Como último parámetro, se encuentra Tool Sort. En este punto, para cualquier pieza, únicamente se debe dar clic en el ícono del rayo y, posteriormente, confirmar con OK (Figura 91).

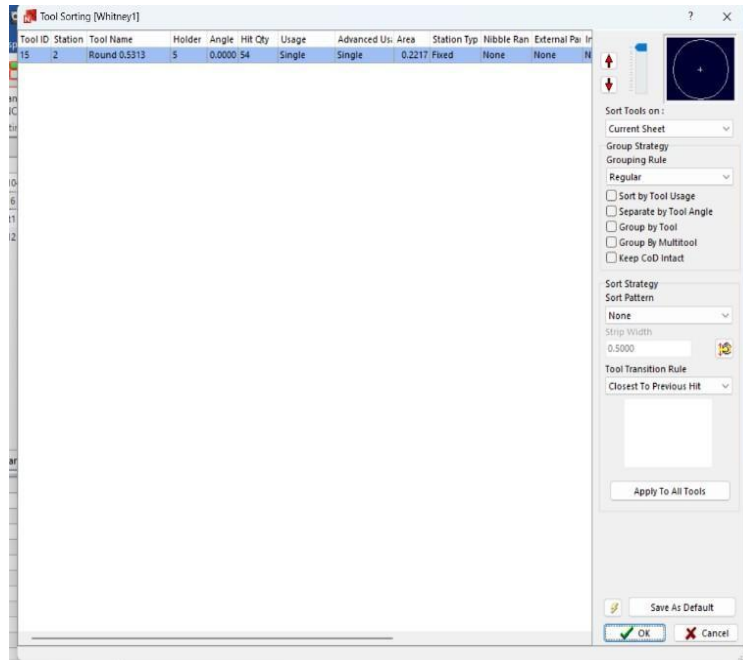


Figura 91. Función de optimización de herramientas, SigmaNest. Fuente creación propia.

#### 4.6.2 Gestión de herramientas

##### Caso especial: descansos

Cuando se nistan pisos, descansos o piezas con embutidos, deben considerarse ciertas características especiales. Esto se debe a que incorporan barrenos muy cercanos entre sí y con diámetros variados, lo que requiere una planeación cuidadosa para evitar errores en la ejecución.

Un ejemplo de ello son los descansos, que corresponden a piezas de mayor tamaño, similares a escalones, cuya superficie contiene múltiples barrenos distribuidos estratégicamente. Estos orificios cumplen la función de generar un efecto antiderrapante, aportando seguridad y resistencia en la estructura final.

En la siguiente imagen Figura 92 se muestra un ejemplo de descanso, donde se observa claramente la cantidad y disposición de los agujeros que deben realizarse en la pieza.

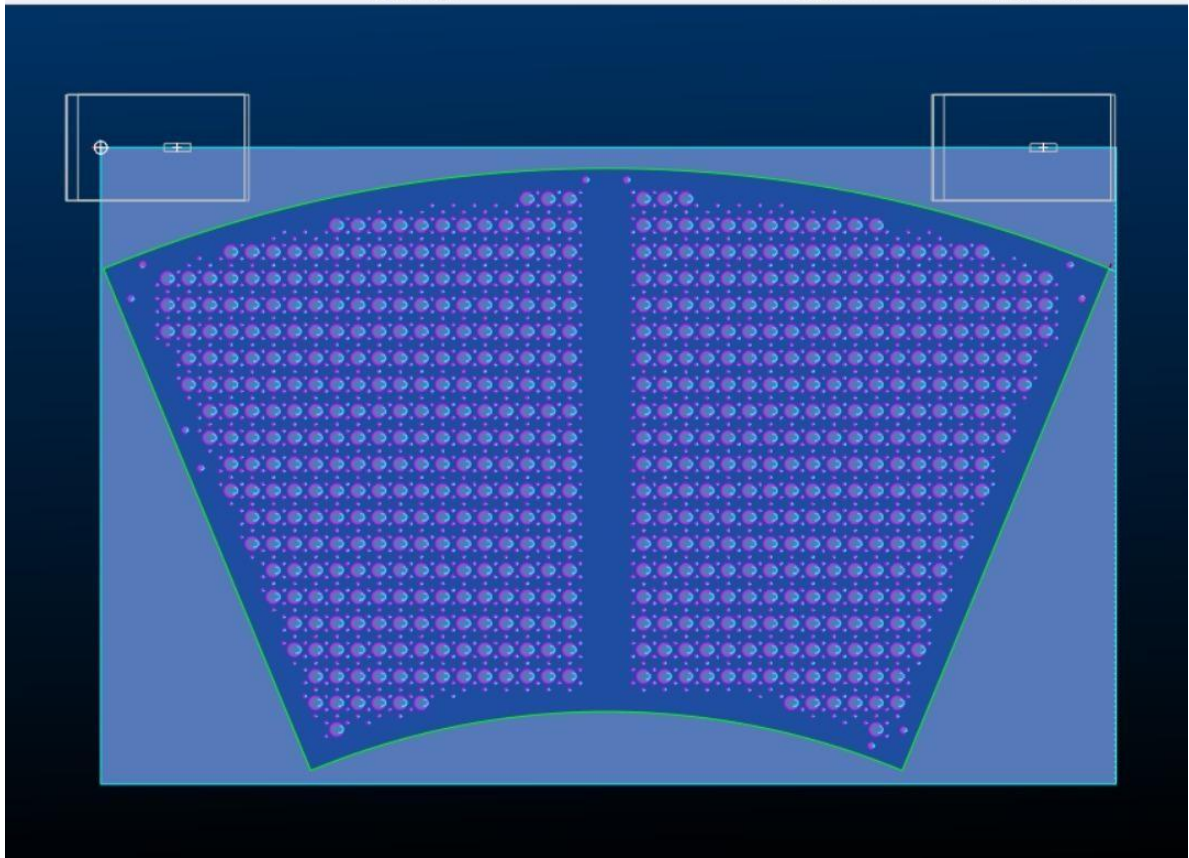


Figura 92. Ejemplificación de Descanso, SigmaNest. Fuente creación propia.

Para ello, lo primero es establecer el orden correcto de las herramientas, siguiendo la siguiente secuencia:

0.5625

1.2500

0.2500

El motivo de este orden es garantizar que los barrenos de mayor tamaño se realicen primero, evitando así que el material se deforme o se debilite antes de tiempo, lo cual podría ocasionar errores en los agujeros más pequeños.

**Snake horizontally**

**Fixed transition**



Además, únicamente debe habilitarse el botón ubicado en la parte inferior izquierda de la ventana. Una vez configurados estos parámetros, se selecciona el ícono del rayito y, finalmente, se confirma con OK. (Figura 93).

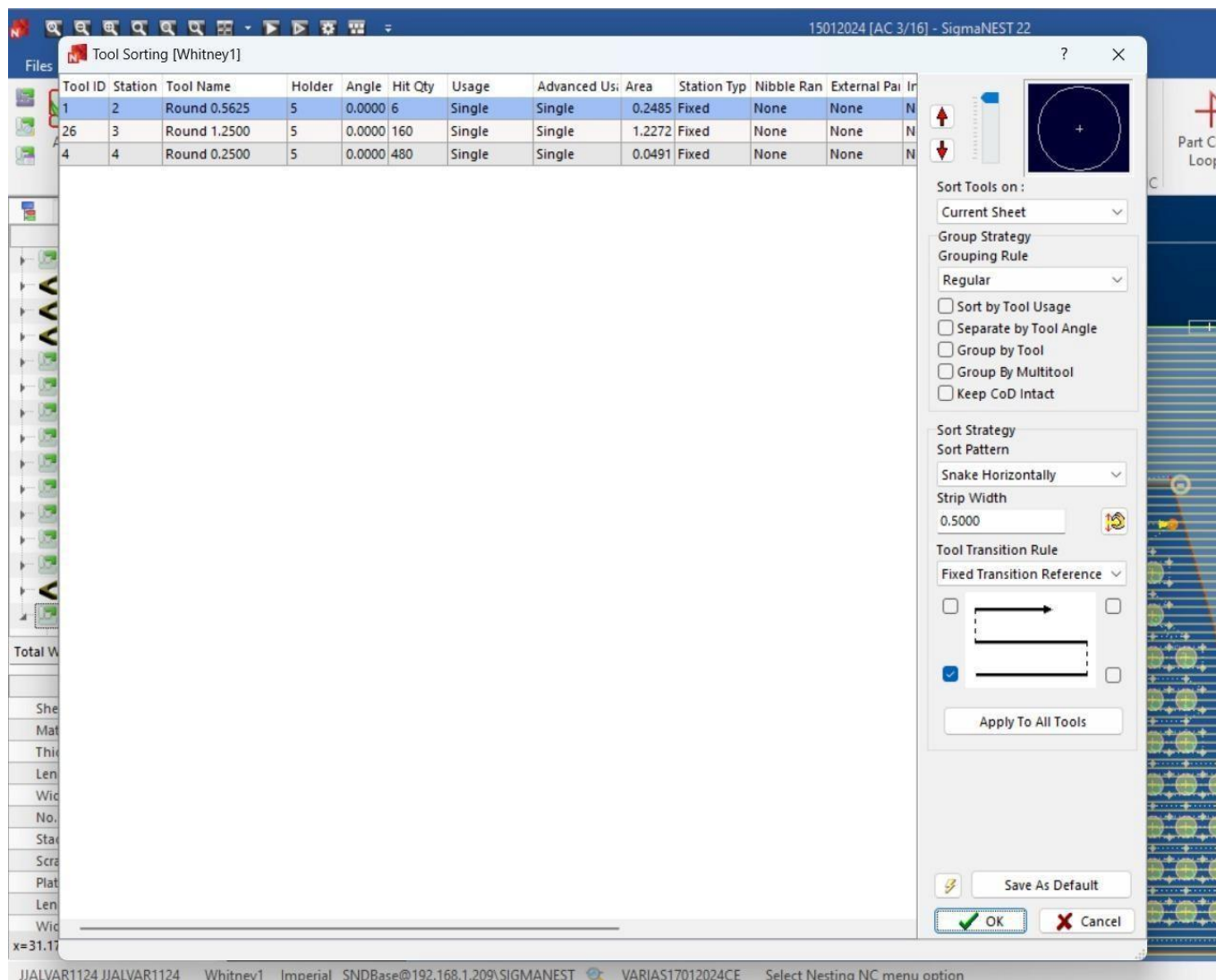


Figura 93. Ejemplo para un correcto acomodo de herramientas en descansos, SigmaNest. Fuente creación propia.

Para finalizar con las operaciones, se debe ingresar a **Crop Sheet** y seleccionar la opción **Manual Crop**, Figura 94. Al hacerlo, en el lado izquierdo de la pantalla se desplegará el apartado de Coordenadas, Figura 95, desde donde es posible definir los valores de X y Y para indicar el punto exacto en el que se desea marcar el recorte. El valor de Y corresponde a la altura, mientras que X establece la distancia en el eje horizontal hasta donde se ejecutará el corte.

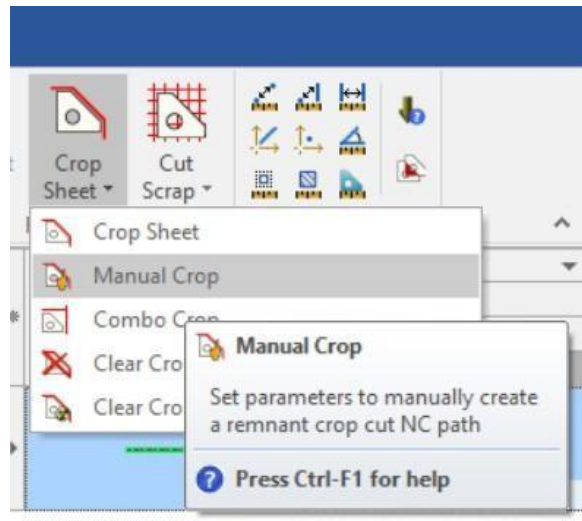


Figura 94.. Menú para activación de herramienta de corte, SigmaNest. Fuente creación propia.

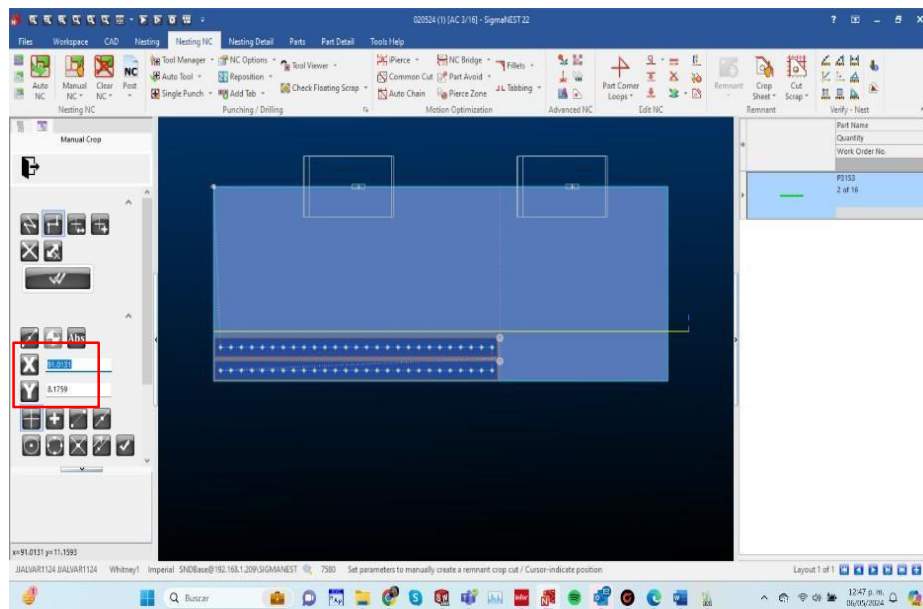


Figura 95. Recorte por coordenadas, SigmaNest. Fuente creación propia.

Una vez configurados estos parámetros, la línea de corte se visualizará en color rojo, indicando que la trayectoria ha sido reconocida correctamente por el sistema. Para validar esta acción, es necesario volver a seleccionar la opción Reposition, de manera que el código se genere sin errores y quede registrado en el programa.

Finalmente, se debe verificar que el recorte no interfiera con los clams o con otras piezas ya anidadas, garantizando así la correcta sujeción de la placa y evitando problemas durante el proceso de corte.

### 4.6.3 Generación de códigos CNC

Como paso final, se debe guardar el código CNC desde la sección Nesting NC, seleccionando la opción Post. El archivo debe nombrarse siguiendo el formato:

VARIAS + FECHA + LETRA DEL ABECEDARIO + INICIAL DEL RESPONSABLE

Todo el nombre debe escribirse en mayúsculas.

Cada programa avanza de la A a la Z en el abecedario y, al final, se agrega la inicial de la persona que generó el archivo. Posteriormente, el programa debe guardarse en la carpeta designada para los CNC, asegurando su correcta identificación y localización.

Ejemplo: VARIAS06052024AE

Con esta acción se concluye el proceso de generación del código CNC, quedando listo para su ejecución en máquina.

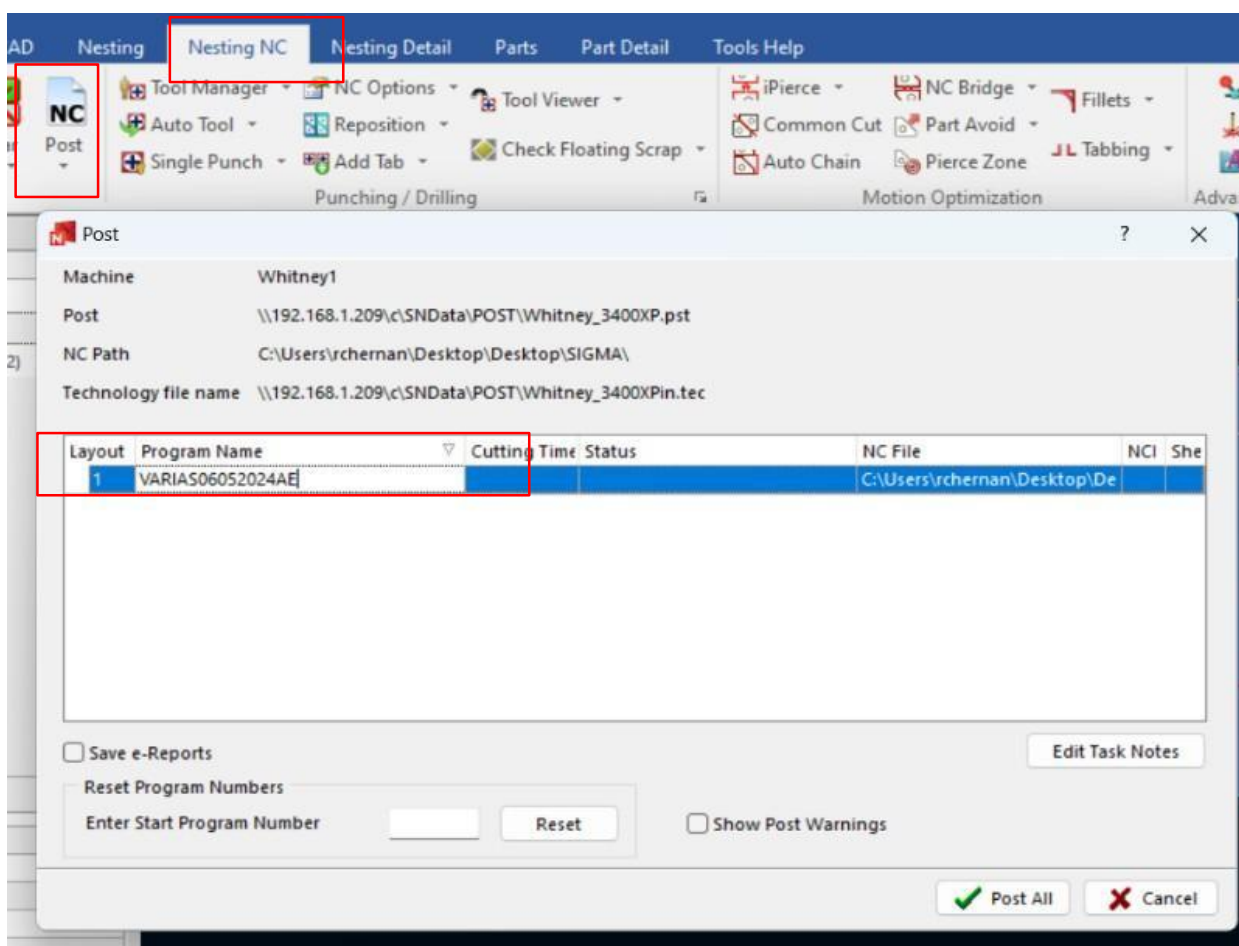
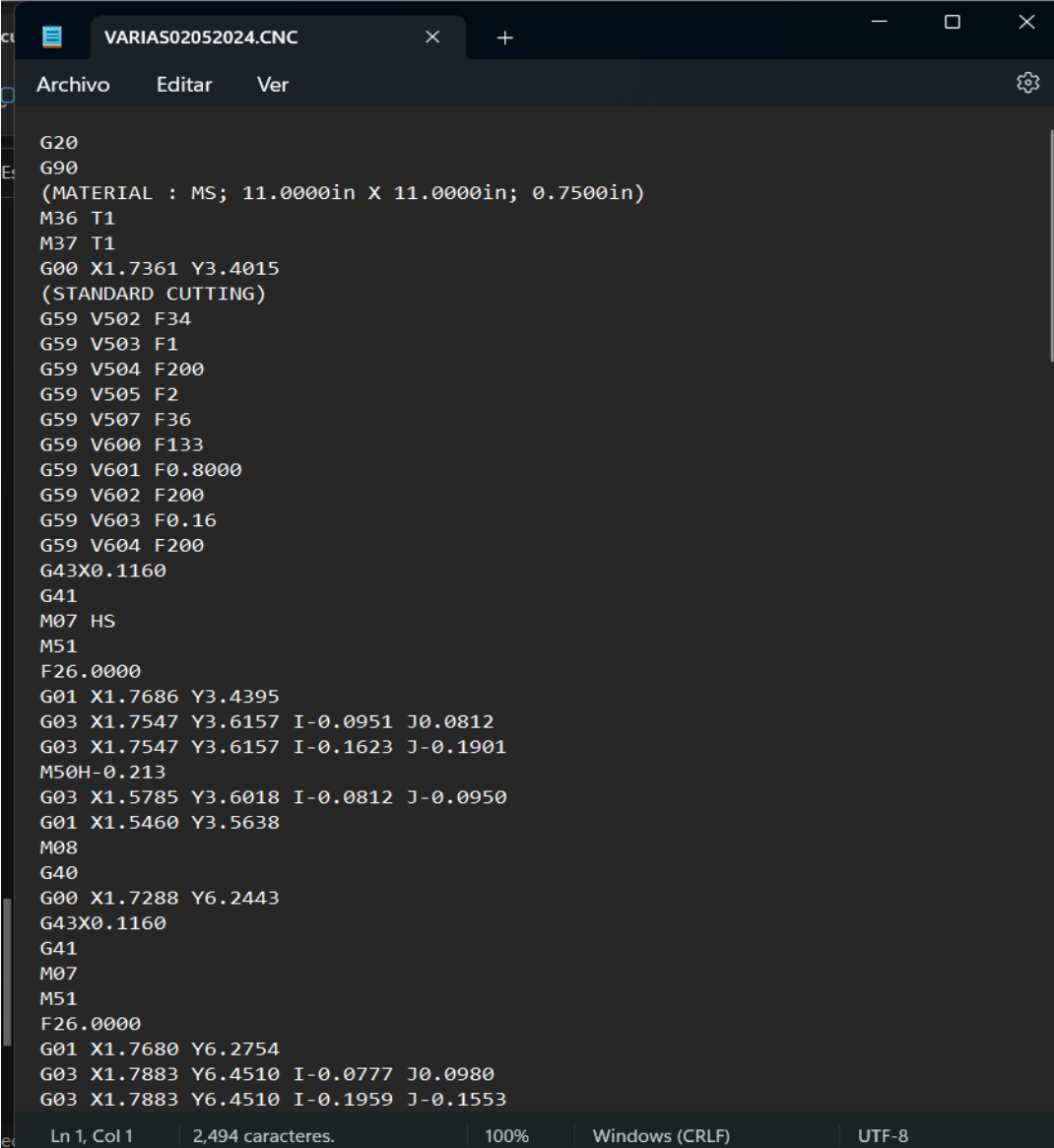


Figura 96.. Guardado de código CNC, SigmaNest. Fuente creación propia.

#### 4.6.4 Edición de códigos CNC

Los programas CNC destinados al pantógrafo generalmente no requieren modificaciones, salvo en casos específicos en los que el amperaje no se asigna correctamente. Este tipo de error suele deberse a una escritura incorrecta o a una selección inadecuada del material dentro del sistema.

Para evitar este problema y asegurar un corte adecuado, se deben tomar como referencia los siguientes valores de amperaje, los cuales están determinados según el espesor de la placa. Tabla 5 y 6.



```
G20
G90
(MATERIAL : MS; 11.0000in X 11.0000in; 0.7500in)
M36 T1
M37 T1
G00 X1.7361 Y3.4015
(STANDARD CUTTING)
G59 V502 F34
G59 V503 F1
G59 V504 F200
G59 V505 F2
G59 V507 F36
G59 V600 F133
G59 V601 F0.8000
G59 V602 F200
G59 V603 F0.16
G59 V604 F200
G43X0.1160
G41
M07 HS
M51
F26.0000
G01 X1.7686 Y3.4395
G03 X1.7547 Y3.6157 I-0.0951 J0.0812
G03 X1.7547 Y3.6157 I-0.1623 J-0.1901
M50H-0.213
G03 X1.5785 Y3.6018 I-0.0812 J-0.0950
G01 X1.5460 Y3.5638
M08
G40
G00 X1.7288 Y6.2443
G43X0.1160
G41
M07
M51
F26.0000
G01 X1.7680 Y6.2754
G03 X1.7883 Y6.4510 I-0.0777 J0.0980
G03 X1.7883 Y6.4510 I-0.1959 J-0.1553
```

Figura 97. Ejemplo de código CNC para pantógrafo. Fuente creación propia.

**Tabla 5***Tabla de amperajes para pantógrafo.*

AMPERAJE	ESPESOR EN PULGADAS
80	3/8
	3/16
	1/4
	5/16
	1/8
130	1/2
	3/4
	5/8
	7/8
	13/16
200	1
	1 1/4
	1 1/2
	2 1/2
	1 1/8
260	2

*Nota.* Elaboración propia.

**Tabla 6**

Tabla de amperajes para pantógrafo (Calibres)

AMPERAJE	ESPESOR EN PULGADAS (CALIBRES)
130	C-10
	C-12
	C-14

Nota. *Elaboración propia.*

La tercera línea del código CNC contiene tres datos fundamentales: el tipo de material, las dimensiones de la placa y el espesor correspondiente.

Posteriormente, en el programa, las líneas que aparecen debajo del comando M51 especifican las velocidades de corte que se aplicarán durante el proceso. Para definir estos valores de manera correcta y garantizar un corte eficiente, se debe tomar como referencia la tabla de parámetros de velocidad (Tabla 7 y 8) según el espesor y el material de la placa.

**Tabla 7***Tabla de velocidades pantógrafo*

ESPESOR	VELOCIDADES (IPM)
1/4	150
3/16	145
5/16	120

$\frac{3}{8}$	75
$\frac{1}{2}$	
$\frac{3}{8}$	
$\frac{5}{8}$	50
$\frac{7}{8}$	
$\frac{13}{16}$	45
1	
$1 \frac{1}{8}$	35
$1 \frac{1}{4}$	30
$1 \frac{1}{2}$	25
$2 \frac{1}{2}$	
2	15

*Nota.* Elaboración propia.

### **Tabla 8**

*Tabla de velocidades pantógrafo (Calibres).*

ESPESOR	VELOCIDADES (IPM)
C-14	190
C-12	175
C-10	155

*Nota:* Elaboración propia.

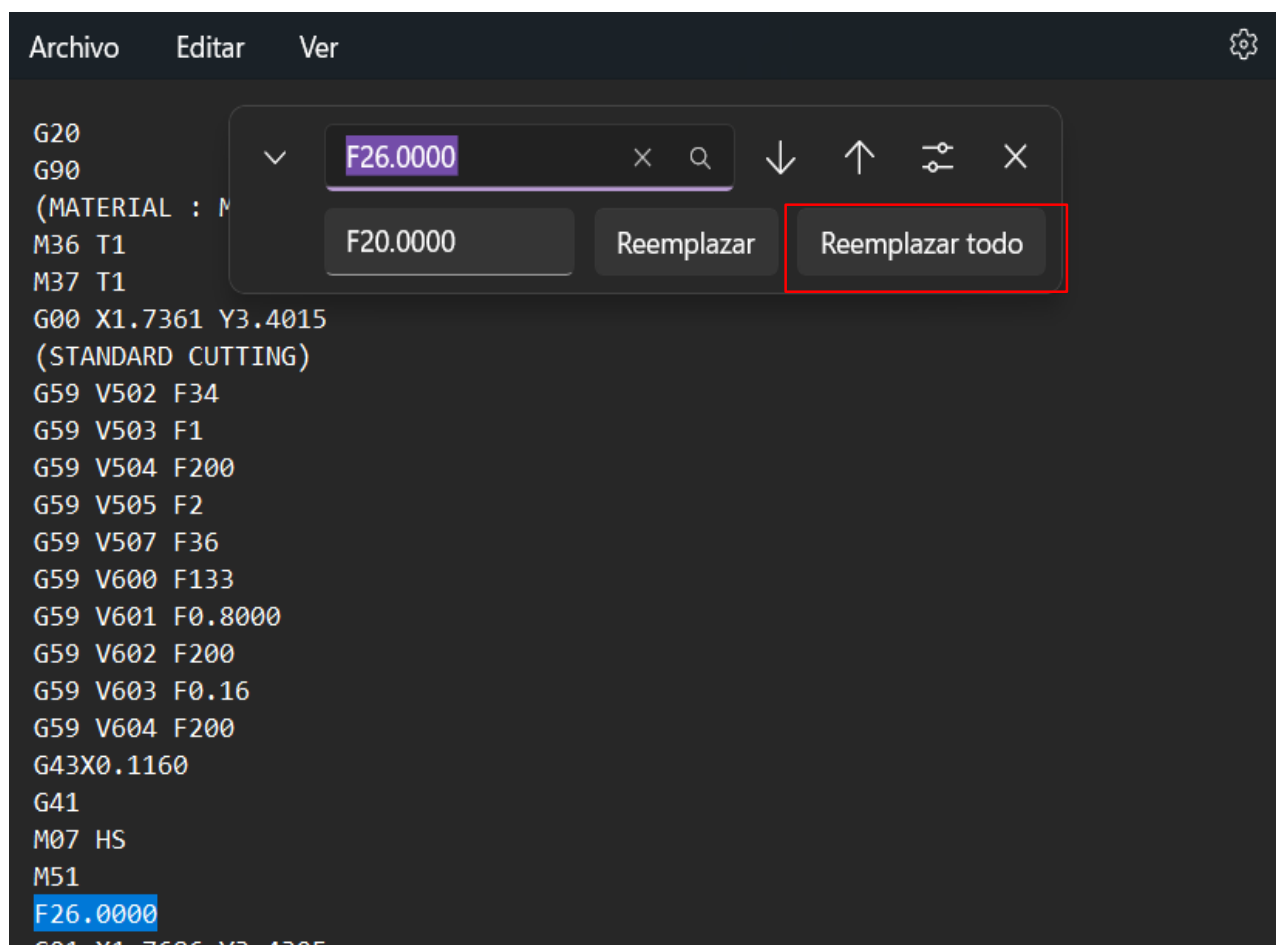


Figura 98. Modificación código CNC para pantógrafo. Fuente creación propia.

Para modificar de manera rápida todos los cortes, especialmente cuando se tienen múltiples líneas con diferentes valores, se utiliza el comando **Ctrl + C** para copiar el valor deseado y **Ctrl + R** para abrir la función de reemplazo. Posteriormente, se ajusta la velocidad de corte de acuerdo con el espesor correspondiente y se selecciona la opción **Reemplazar todo**, lo que permite aplicar el cambio en la totalidad del código de forma eficiente.

En el caso de los programas destinados a Whitney 1 y Whitney 3, se emplea el siguiente formato de código estándar, (Figura 99):



```
;WHITNEY 3400XP POWERED BY SIGMANEST
;VIAS03052024AE.MPF CREATED ON 05/03/2024 AT 08:22:01 AM.
;MATERIAL / THICK:= AL / 0.188
;WIDTH / LENGTH:= 35.000 / 47.000
;MAX X:= 23.610 / MAX Y:= 25.596
;-----TOOLING LIST-----
;NO STYLE SIZE1 SIZE2 ANGLE DESCR
;-----
N1G70
N3M73
N5G90
N7M55
N9G64
N11TORCHOFF
N13G40
N15G54
N17M31
N19M42
TORCHSETTING(100.0,0.5)
N21M46
N23F=R84
N25M61;(LIGHT PLATE)
N27PUNCHOFF
CLAMPVERIFY(2,4)
;BEGIN MANUAL PLATE LOAD
N29G00X0.0Y-11.99
N31M87;(MANUAL SHEET LOAD)
;END MANUAL PLATE LOAD
N33G00Y-35.000
N35YVUNSYNC

;PLASMA
N37G55
N39G55G00X18.080Y-13.636
N41;(PART PUERTA (1) CUT 1)
N43TORCHON
N45F=R84
N47G01X18.280Y-13.636G41D2
N49G03X18.780Y-13.136I0.000J0.500

Ln 1, Col 1 3,114 caracteres. 100% Windows (CRLF) UTF-8
```

Figura 99. Ejemplo de código CNC para Whitney. Fuente creación propia.

El encabezado del código indica la máquina a la que está destinado, mientras que la segunda línea muestra el nombre del programa, el cual también aparece reflejado en la impresión de los nesteos. Esto sirve como referencia para confirmar que el código corresponde exactamente al nestado con ese mismo nombre.

Posteriormente, se especifica el material, seguido por una línea donde se detallan las dimensiones de la placa o del sobrante que será utilizado. Dentro de los indicadores **MAX**, se representan las medidas reales que se aplicarán en dicho nestado.

Entre los parámetros que deben ajustarse se encuentra **TORCHSETTING**, que define dos aspectos clave:

**X** representa el amperaje.

**Y** corresponde al Dwell, es decir, el tiempo de perforación sobre la placa.

Este parámetro se modifica en función del espesor del material, siguiendo las recomendaciones:

Para placas menores o iguales a 5/16":

**TORCHSETTING(100.0, 0.5)**

Para placas mayores a 5/16" y hasta 1/2":

**TORCHSETTING(100.0, 1.0)**

Finalmente, la velocidad de corte se encuentra indicada después del comando M46. Para ajustarla correctamente, se utiliza como referencia la tabla de parámetros (Tabla 9 y 10) según el espesor de la placa.

**Tabla 9**

*Tabla de velocidades para W1 y W3*

ESPESOR EN PULGADAS	VELOCIDAD PARA W1 Y W3 (IPM)
3/16	F=160.0
1/4	F=120.0
5/16	F=100.0
3/8	F=70.0
1/2	F=55.0

Nota. Elaboración propia.

**Tabla 10**

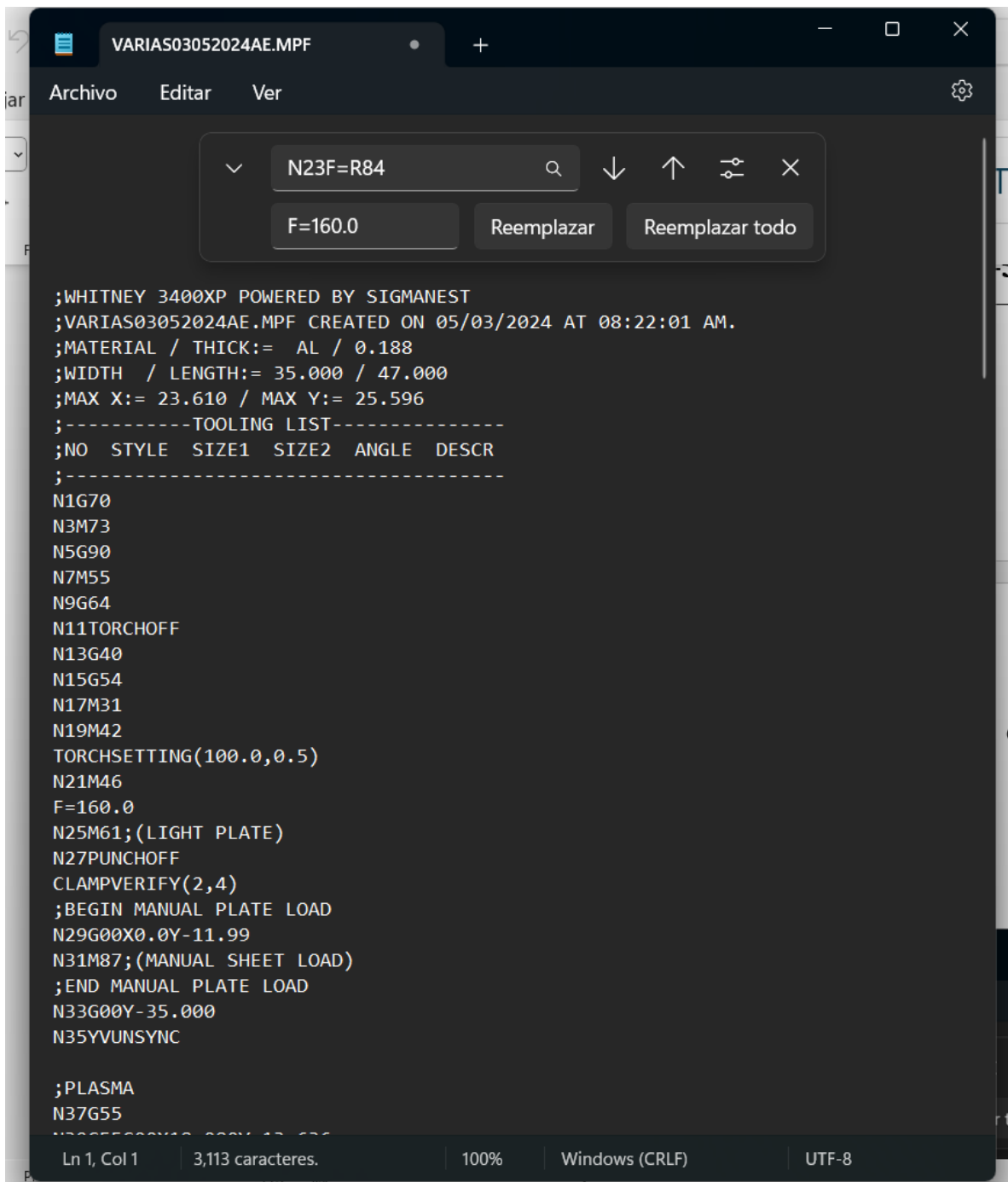
*Tabla de velocidades para W1 y W3 (Calibres).*

ESPESOR EN PULGADAS	VELOCIDAD PARA W1 Y W3 (IPM)
C-12	F=210.0
C-14	
C-16	
C-18	
C-20	
C-10	F=190.0
Antiderrapante 3/16	F=160.0
Antiderrapante ¼	F=120.0

Nota. Elaboración propia.

Para modificar las velocidades de corte, se deben seguir los pasos previamente indicados: utilizar **Ctrl + C** para copiar la velocidad de referencia y **Ctrl + R** para abrir la función de reemplazo. Una vez ingresado el nuevo valor, se procede a seleccionar **Reemplazar todo**, lo cual actualiza todas las líneas correspondientes de manera eficiente.

Este procedimiento resulta especialmente útil cuando el programa contiene múltiples trayectorias con diferentes valores asignados, ya que permite uniformar la velocidad en cuestión de segundos. De esta forma, se asegura que todos los cortes se realicen con parámetros consistentes, evitando diferencias que puedan comprometer la calidad del trabajo y garantizando la correcta ejecución del código en máquina.



```
;WHITNEY 3400XP POWERED BY SIGMANEST
;VARIAS03052024AE.MPF CREATED ON 05/03/2024 AT 08:22:01 AM.
;MATERIAL / THICK:= AL / 0.188
;WIDTH / LENGTH:= 35.000 / 47.000
;MAX X:= 23.610 / MAX Y:= 25.596
;-----TOOLING LIST-----
;NO STYLE SIZE1 SIZE2 ANGLE DESCR
;-----
N1G70
N3M73
N5G90
N7M55
N9G64
N11TORCHOFF
N13G40
N15G54
N17M31
N19M42
TORCHSETTING(100.0,0.5)
N21M46
F=160.0
N25M61;(LIGHT PLATE)
N27PUNCHOFF
CLAMPVERIFY(2,4)
;BEGIN MANUAL PLATE LOAD
N29G00X0.0Y-11.99
N31M87;(MANUAL SHEET LOAD)
;END MANUAL PLATE LOAD
N33G00Y-35.000
N35YVUNSYNC

;PLASMA
N37G55
```

Figura 100. . Edición de código CNC para Whitney. Fuente creación propia.

Para Whitney 2 se respetan los siguientes parámetros:

Si el espesor de la placa es menor o igual a 5/16", se utiliza:

**TORCHSETTING(100.0, 0.5)**

Si el espesor es mayor a 5/16" y hasta 1/2", se utiliza:

**TORCHSETTING(100.0, 1.0)**

En todos los casos, la velocidad de corte se mantiene constante, independientemente del espesor, con el valor:

**F=R84**

Este ajuste garantiza que las operaciones realizadas en Whitney 2 se ejecuten bajo parámetros estandarizados, evitando variaciones en la calidad del corte. Asimismo, al mantener fija la velocidad, se asegura una mayor estabilidad en el proceso y una vida útil más prolongada de los consumibles.

**Tabla 11**

*Tabla de consideraciones W2*

PARA W2	
VELOCIDAD (IPM)	F=R84
1/16, 1/8, 3/16, 1/4, 5/16, C-10, C-12, C-14	(100.0,0.5)
3/8, 1/2	• (100.0,1.0)

Nota. Elaboración propia.

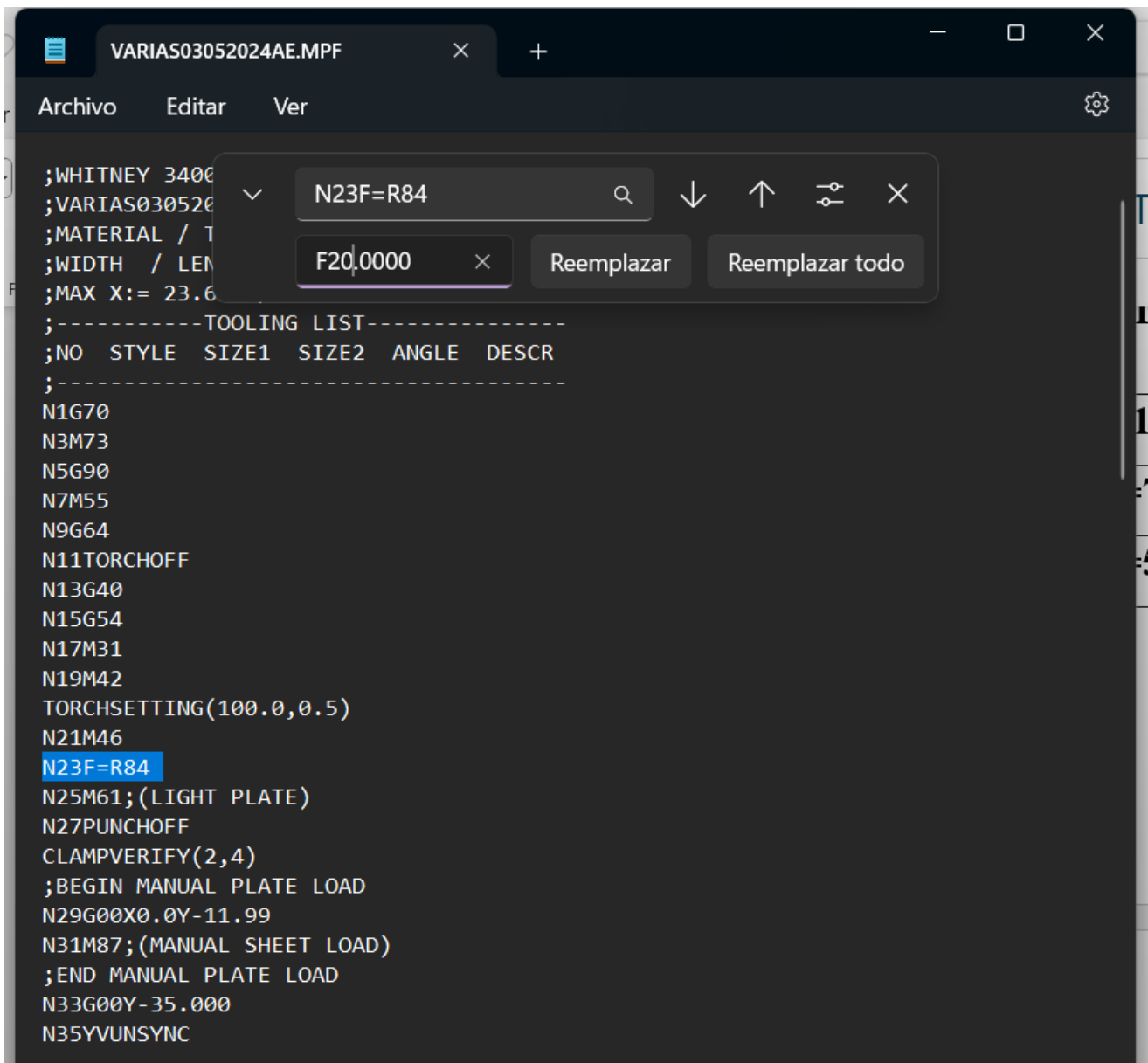


Figura 101. Parámetro R84 en código CNC para Whitney. Fuente creación propia.

#### 4.6.5 Ejemplo práctico en descansos

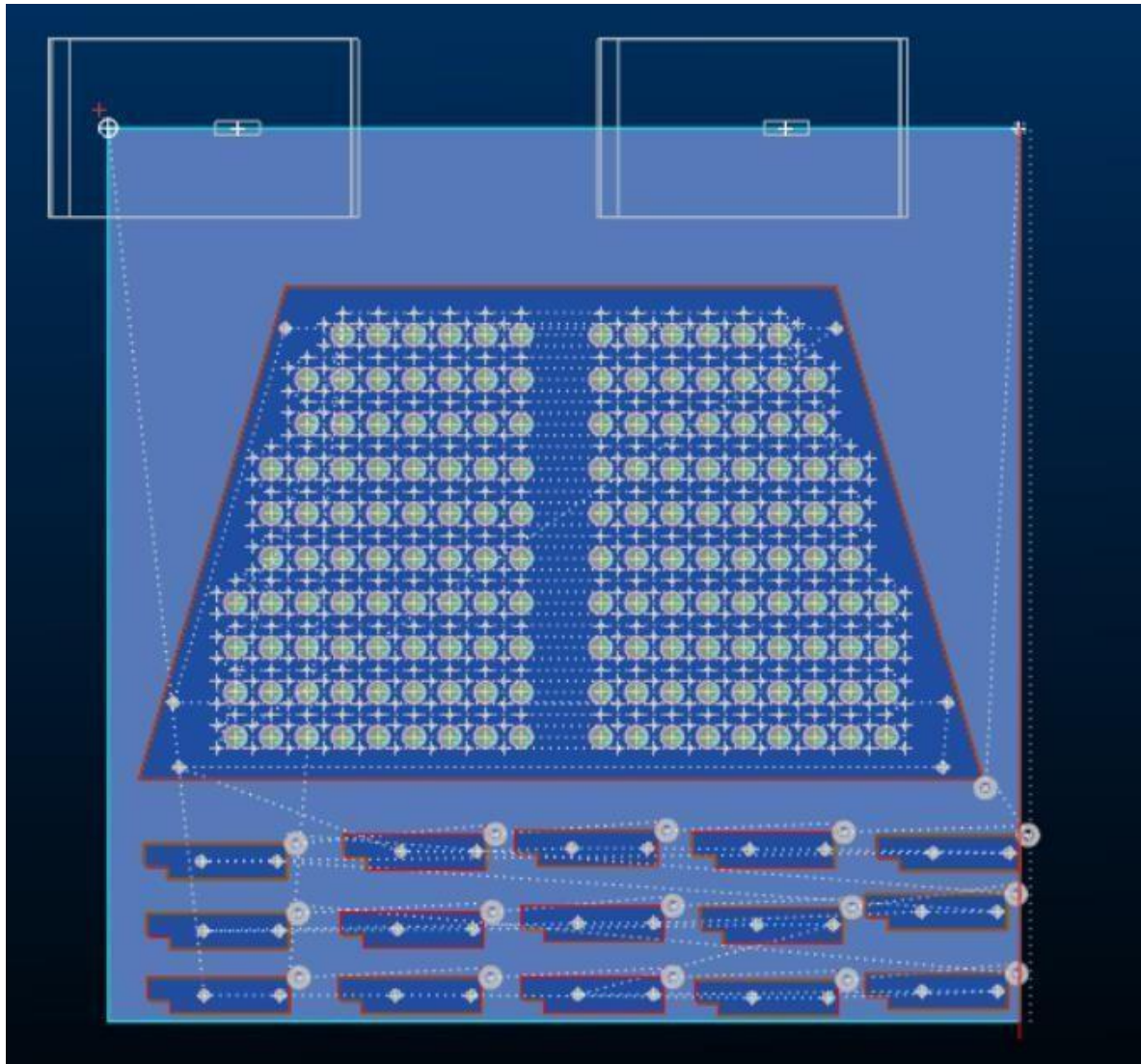


Figura 102. Nестeo de Descansos. Fuente creación propia.

Para hacerlo más efectivo, se marcarán los cambios realizados a través de un ejemplo al que se le irán anexando las modificaciones necesarias.

Al abrir el programa, lo primero es realizar los ajustes generales. Posteriormente, se observa que las líneas que aparecen después de:

**; NO STYLE SIZE1 SIZE2 ANGLE DESCR**

corresponden a las herramientas utilizadas por el programa. En este caso, las herramientas 1 y 4 son los clams, que cumplen la función de sujetar la placa y, por lo

tanto, ocupan una posición definida dentro del proceso.

En la siguiente imagen se muestran las herramientas que el programa reconoce en este ejemplo específico, lo cual sirve como referencia para confirmar que todos los elementos han sido cargados correctamente antes de proceder con las modificaciones.

```
;WHITNEY 3400XP POWERED BY SIGMANEST
;VARIAS07052024FE.MPF CREATED ON 05/07/2024 AT 11:05:10 AM.
;MATERIAL / THICK:= MS / 0.188
;WIDTH / LENGTH:= 51.000 / 102.000
;MAX X:= 51.473 / MAX Y:= 49.668
;-----TOOLING LIST-----
;NO  STYLE  SIZE1  SIZE2  ANGLE  DESCR
; 2  ROUND  0.563                REDONDO 9/16
; 3  ROUND  1.250                REDONDO 1.25
; 5  ROUND  0.250                REDONDO 1/4
;-----
N1G70
```

Figura 103. Datos iniciales del código CNC para Descansos Fuente creación propia.

Como primer cambio, se realiza un anexo de herramienta, conocida como **Dimple**, la cual es responsable de generar una pequeña protuberancia (también llamada “chichita”) en el embutido.

Siguiendo la numeración correspondiente dentro del listado de herramientas, se debe agregar la siguiente línea:

**; 6 DIMPLE 0.625**

Esta herramienta se integra al programa como parte del proceso específico para piezas que requieren embutido, asegurando que el código CNC contemple correctamente cada operación adicional. De esta manera, se evita que la pieza quede incompleta o con errores durante la fabricación.



```

;WHITNEY 3400XP POWERED BY SIGMANEST
;VARIAS07052024FE.MPF CREATED ON 05/07/2024 AT 11:05:10 AM.
;MATERIAL / THICK:= MS / 0.188
;WIDTH / LENGTH:= 51.000 / 102.000
;MAX X:= 51.473 / MAX Y:= 49.668
;-----TOOLING LIST-----
;NO  STYLE  SIZE1  SIZE2  ANGLE  DESCR
; 2  ROUND  0.563                REDONDO 9/16
; 3  ROUND  1.250                REDONDO 1.25
; 5  ROUND  0.250                REDONDO 1/4
; 6  DIMPLE 0.625
;-----

```

Figura 104. Adición de la herramienta DIMPLE. Fuente creación propia.

Y como recordarás, dentro de los parámetros que se modifican al ejecutar las operaciones se encuentra el orden de las herramientas. En este caso, se decidió dejar al final la herramienta de 0.250, por lo que es necesario localizar este parámetro dentro del programa.

Dado que fue la última herramienta utilizada, es lógico que su configuración aparezca entre los últimos parámetros del código. Una vez identificada, se procede a ajustar su posición en el orden de ejecución, asegurando que quede registrada como la operación final del proceso. Esto permite mantener una secuencia coherente y evitar posibles conflictos con las demás herramientas previamente asignadas.

```

;0.250 DIA ROUND PUNCH
N459M55
N461PUNCHON
N463G00
N465X6.109Y-34.697
N467X8.109Y-34.697
N469X10.109Y-34.697
N471X12.109Y-34.697
N473X14.109Y-34.697
N475X16.109Y-34.697

```

Figura 105. Ubicación de herramienta 0.250 Fuente creación propia.

Una vez que se localiza dicho parámetro, se debe copiar todo el bloque de código hasta llegar a las líneas:

**N1427G00Y-51.000**

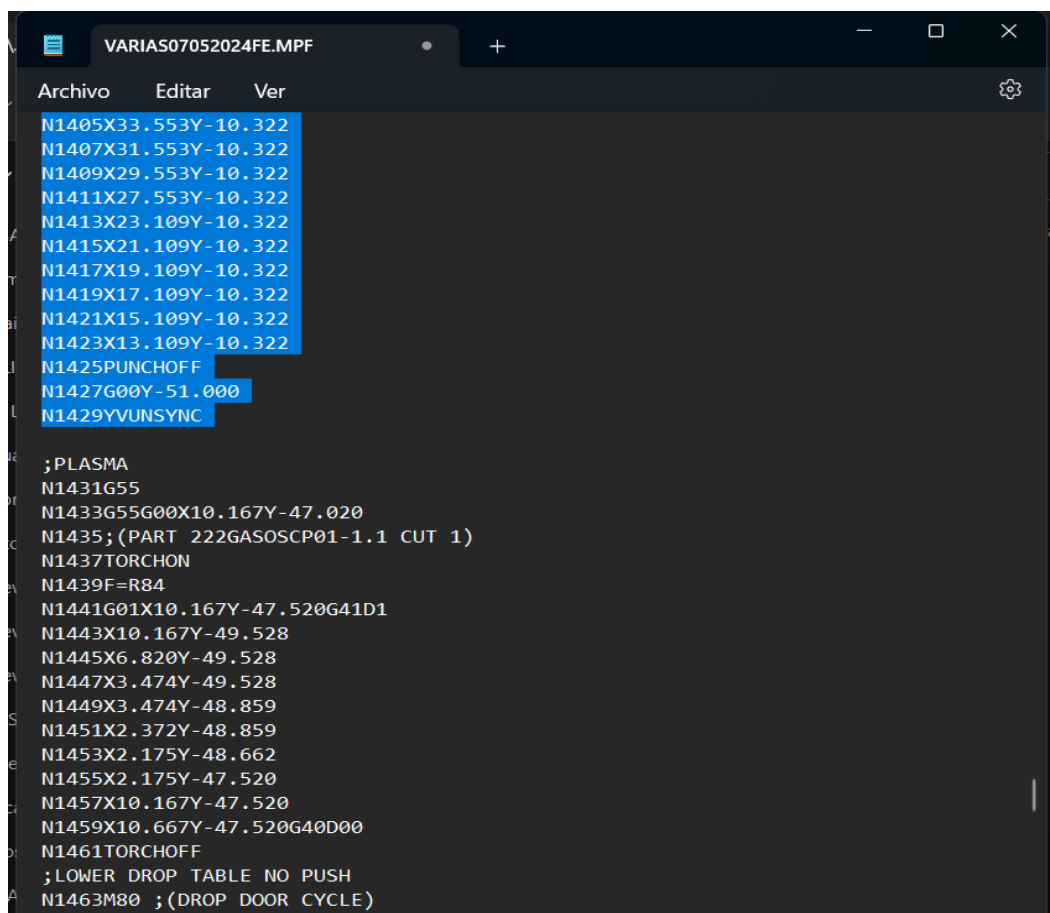
**N1429YVUNSYNC**

Posteriormente, ese mismo bloque se pega justo debajo de la última línea mencionada, con el fin de reubicar la operación dentro de la secuencia del programa.

Como primer paso en esta sección, es necesario inhabilitar las dos últimas líneas previas al nuevo cambio de herramienta. Esto se logra anteponiendo un punto y coma (;) al inicio de cada renglón. Por ejemplo:

**; N1423X13.109Y-10.322**

De esta manera, dichas líneas quedan anuladas, pero permanecen visibles como referencia dentro del programa, lo que facilita la revisión y asegura un mayor control sobre las modificaciones realizadas.



```
Archivo  Editar  Ver
N1405X33.553Y-10.322
N1407X31.553Y-10.322
N1409X29.553Y-10.322
N1411X27.553Y-10.322
N1413X23.109Y-10.322
N1415X21.109Y-10.322
N1417X19.109Y-10.322
N1419X17.109Y-10.322
N1421X15.109Y-10.322
N1423X13.109Y-10.322
N1425PUNCHOFF
N1427G00Y-51.000
N1429YVUNSYNC

; PLASMA
N1431G55
N1433G55G00X10.167Y-47.020
N1435;(PART 222GASOSCP01-1.1 CUT 1)
N1437TORCHON
N1439F=R84
N1441G01X10.167Y-47.520G41D1
N1443X10.167Y-49.528
N1445X6.820Y-49.528
N1447X3.474Y-49.528
N1449X3.474Y-48.859
N1451X2.372Y-48.859
N1453X2.175Y-48.662
N1455X2.175Y-47.520
N1457X10.167Y-47.520
N1459X10.667Y-47.520G40D00
N1461TORCHOFF
; LOWER DROP TABLE NO PUSH
N1463M80 ;(DROP DOOR CYCLE)
```

Figura 106. Copia de sección del código. Fuente creación propia.

En la línea:

**; N1425PUNCHOFF**

se debe realizar el cambio al número de herramienta correspondiente al DIMPLE.

A continuación, se ajusta el parámetro de la herramienta a:

**0.625 DIMPLE**

Seguidamente, en la siguiente línea se sustituye el código M55 por M56, ya que este último corresponde a la operación con DIMPLE.

Finalmente, se agrega la línea correspondiente de acuerdo con la numeración secuencial del programa, y al término de dicha instrucción se añade el comando:

**M41**

Con ello, se asegura que la nueva herramienta quede integrada correctamente en el flujo de operaciones, manteniendo la lógica del proceso y garantizando que el programa pueda ejecutarse sin errores de lectura.

```
N1419X17.109Y-10.322
N1421X15.109Y-10.322
;N1423X13.109Y-10.322
;N1425PUNCHOFF
N457TOOLPOCKET(6)
;0.625 DIMPLE ROUND PUNCH
N459M56
N461PUNCHON
N462M41
N463G00
N465X6.109Y-34.697
N467X8.109Y-34.697
N469X10.109Y-34.697
N471X12.109Y-34.697
N473X14.109Y-34.697
N475X16.109Y-34.697
N477X18.109Y-34.697
```

Figura 107. Parámetros a modificar. Fuente creación propia.

#### 4.6.6 Acciones finales

Una vez realizadas todas las operaciones, se deben imprimir los nesteros directamente desde el Workspace. Para ello, ingresamos a la sección Nesting, donde se mostrarán todas las tareas disponibles.

El procedimiento consiste en seleccionar cada tarea de manera individual y, posteriormente, dar clic en la opción Report, lo que permitirá generar el formato correspondiente. Finalmente, se procede con la impresión de cada nester, asegurando que queden correctamente documentados para su control y verificación en el área de producción. (Figura 108).

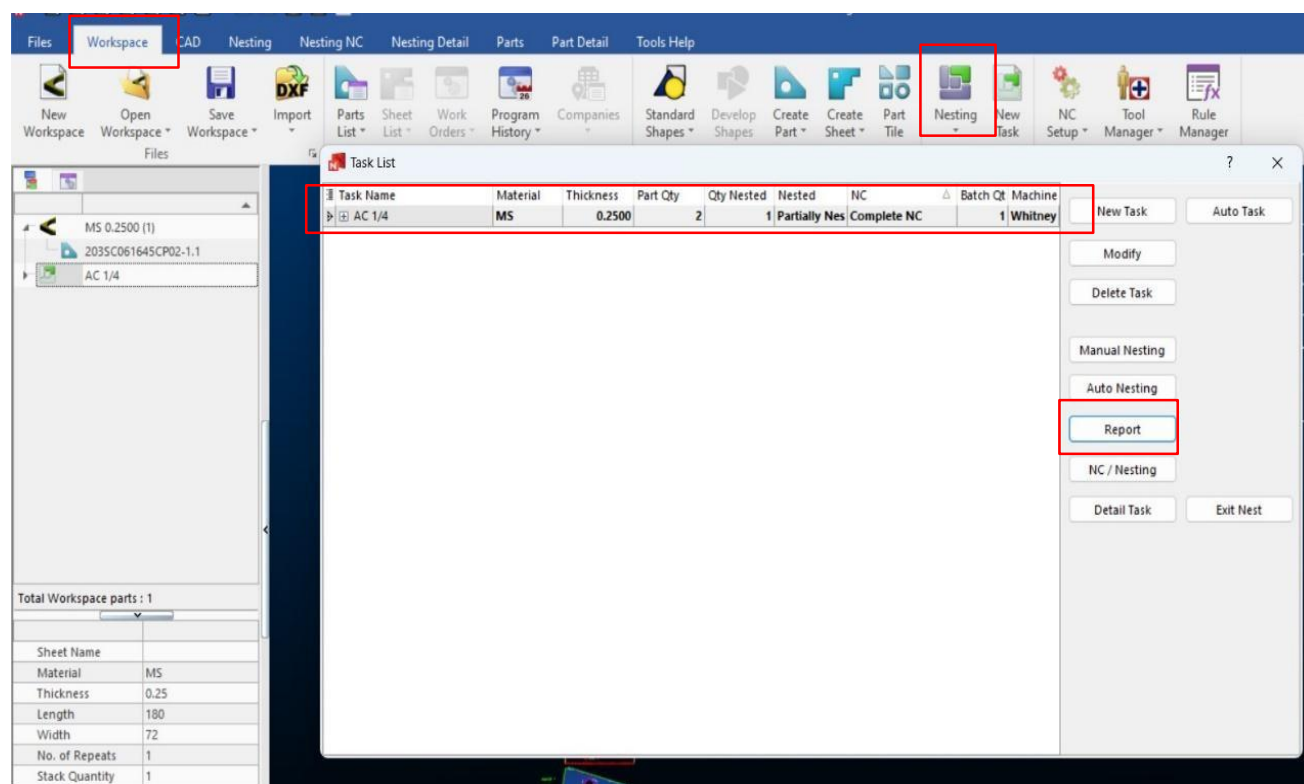


Figura 108. Menú para reporte de Nesteros, SigmaNest. Fuente creación propia.

Cuando se trabajan diferentes medidas de placa dentro del mismo calibre o tarea, es importante imprimir los Layouts uno por uno. Esto se debe a que todos los diseños dentro de la tarea se actualizan automáticamente con la última medida registrada en el sistema.

De esta manera, al imprimir Layout por Layout se garantiza que cada plano refleje de forma precisa las dimensiones reales de la placa correspondiente, evitando confusiones o errores en la producción. Este paso resulta esencial especialmente cuando se manejan sobrantes o placas de diferentes dimensiones dentro de un mismo calibre.

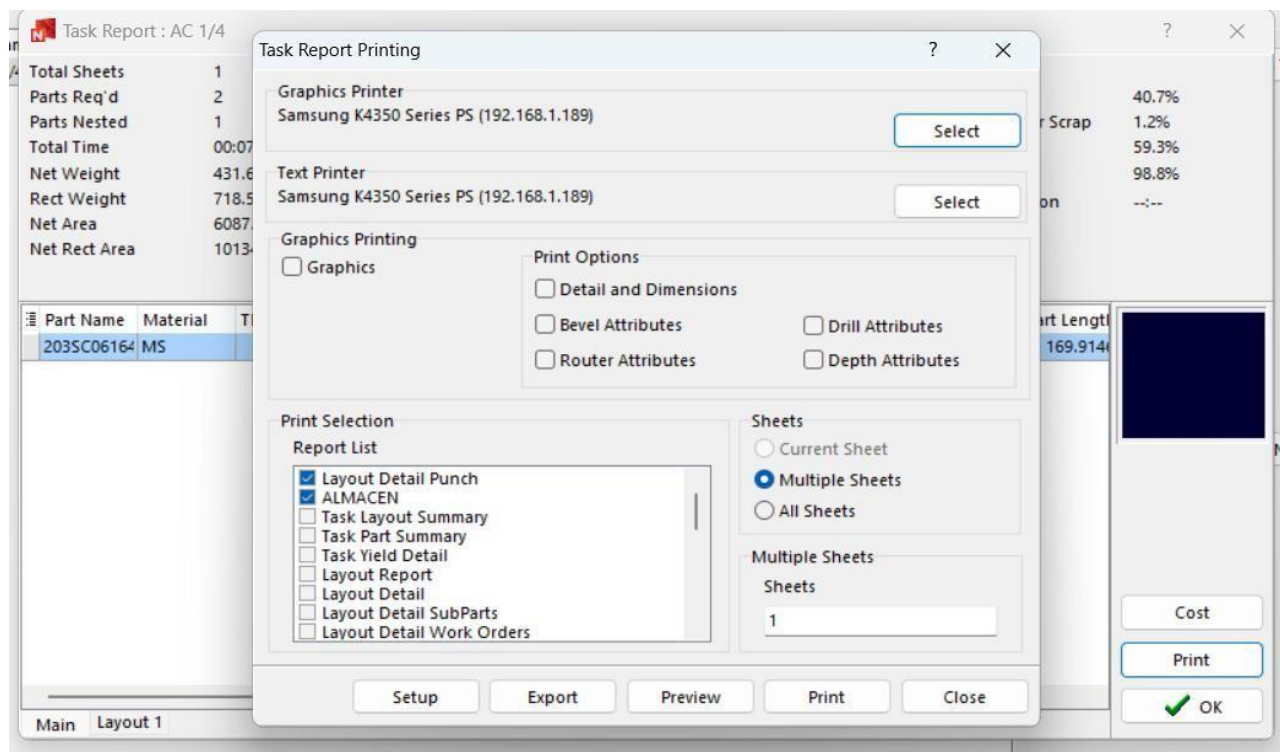


Figura 109. Menú para reporte de Nesteos continuación, SigmaNest. Fuente creación propia.

Una vez que se tienen tanto los nesteos como los códigos generados, es necesario distribuir los nesteos impresos al operador y al área de almacén, según corresponda. De esta forma, el operador cuenta con la información necesaria para ejecutar el corte en máquina, mientras que almacén conserva un registro del material utilizado y de las piezas que se producirán.

Asimismo, los programas deben guardarse en las memorias correspondientes, de acuerdo con la máquina que se vaya a utilizar. Este paso asegura que cada equipo cuente con la versión correcta del código CNC, evitando errores durante la producción y facilitando la trazabilidad del proceso.

Una vez que todo ha sido distribuido, se procede a surtir las placas correspondientes y a ejecutar el programa en la máquina asignada. Con este paso, el proceso queda formalmente concluido, asegurando que tanto la preparación del material como la ejecución del código CNC se realicen de manera ordenada y conforme a los parámetros establecidos.

En conclusión, la correcta generación, ajuste y distribución de los programas CNC garantiza que el proceso de corte se lleve a cabo de manera eficiente, segura y con la calidad requerida. Cada paso descrito, desde la preparación de los nestedos hasta la ejecución final en máquina, resulta fundamental para optimizar tiempos, reducir errores y aprovechar al máximo el material disponible.

## 4.7 Mantenimiento y solución de problemas

### 4.7.1 *Mantenimiento preventivo*

El mantenimiento preventivo es fundamental para garantizar la vida útil de cualquier máquina y asegurar la continuidad de los procesos productivos sin interrupciones. Implementar estas acciones de forma periódica contribuye a mantener la precisión en los cortes, optimizar el rendimiento y evitar paros no programados.

Dentro de las acciones a considerar se encuentran los siguientes parámetros:

#### **Revisión de configuraciones.**

Es necesario verificar periódicamente que los parámetros de corte configurados en el software coincidan con los valores físicos establecidos. A este procedimiento se le conoce comúnmente como “cuadrar la máquina”, lo cual significa corroborar que no exista un desplazamiento entre los ejes y las placas. Un descuadre puede provocar errores como el desplazamiento de barrenos, generando diferencias entre las medidas mostradas en el modelo y las que realmente aparecen en la pieza fabricada.

#### **Limpieza y calibración de herramientas.**

La limpieza regular de los cabezales y la verificación de su correcto estado son pasos esenciales para garantizar el buen funcionamiento. También se debe confirmar que los fusibles estén en condiciones adecuadas y reemplazarlos en caso de desgaste.

Mantener las herramientas libres de residuos evita acumulaciones que puedan afectar el rendimiento general de la máquina.

Por otro lado, la calibración de las máquinas después de cada cambio de herramienta es indispensable para conservar la precisión de los cortes. Una calibración incorrecta puede generar problemas como cortes biselados o variaciones en la medida final de las piezas, afectando la calidad del producto terminado.

#### ***4.7.2 Solución de problemas comunes***

A pesar de contar con un programa correctamente generado, pueden presentarse ciertos problemas tanto antes como después de la ejecución. Estos inconvenientes suelen derivarse de factores externos al software, como fallas en los equipos auxiliares, o bien de errores humanos durante la preparación o ejecución del proceso.

A continuación, se describen algunos de los problemas más comunes, junto con las soluciones recomendadas para prevenirlos o corregirlos oportunamente.

##### **Errores al cargar archivos CAD**

Dentro de este problema tenemos varias derivaciones:

- Problema 1: Los archivos no se cargan

Posible causa: El archivo no está guardado en la extensión correcta.

Solución: Revisar la extensión con la que está guardado el archivo y posteriormente verificar si tenemos ese tipo de extensión compatible con el programa, de no ser el caso, se debe volver a descargar el DXF.

- Problema 2: Se borran algunos ítems al cargar más archivos.

Posible causa: Se tienen DXF con el mismo nombre. Al trabajar diseños con un gran número de piezas provenientes de un mismo plano podemos llegar a tener el problema de olvidar especificar el número de pieza o tener un error de dedo y repetir algún número. Al ser del mismo plano puede ser que tengan el mismo espesor, y material por lo que el programa asume que es la misma pieza y borra una de las dos piezas. Otra posible causa puede ser que con él envío de cambios se tenga que descargar un nuevo

DXF. con la actualización de la pieza correspondiente y dado que tiene el mismo nombre de pieza e ítem debe ser guardado con el mismo nombre.

Solución: Verificar el nombre de los ítems antes de importarlos y asegurarnos de que ninguno se repita. En caso de querer conservar ambos ítems por alguna razón, podemos colocar un punto en alguno de esta forma el programa asumirá que es una pieza diferente.

- Problema 3: Error en las dimensiones. Al momento de acomodar las piezas encontramos que la pieza es de un tamaño considerablemente más grande en comparación con las demás piezas e incluso el tamaño de la placa resulta pequeño.

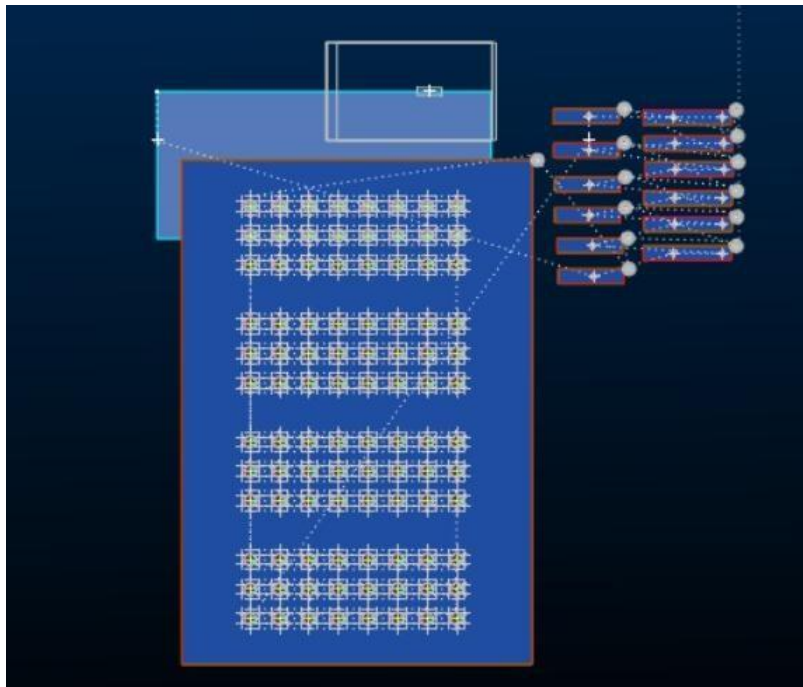


Figura 110. Error de dimensiones, SigmaNest. Fuente creación propia.

Posible causa: Al momento de estar importando las piezas no cambiamos los parámetros a pulgadas y descargamos en milímetros.

Solución: Volver a descargar el ítem erróneo en pulgadas y con el mismo nombre para interponer la pieza pasada.



Error para abrir SigmaNest o para continuar trabajando

- Problema 1: El programa no abre y se presenta el siguiente cuadro

Figura 111.

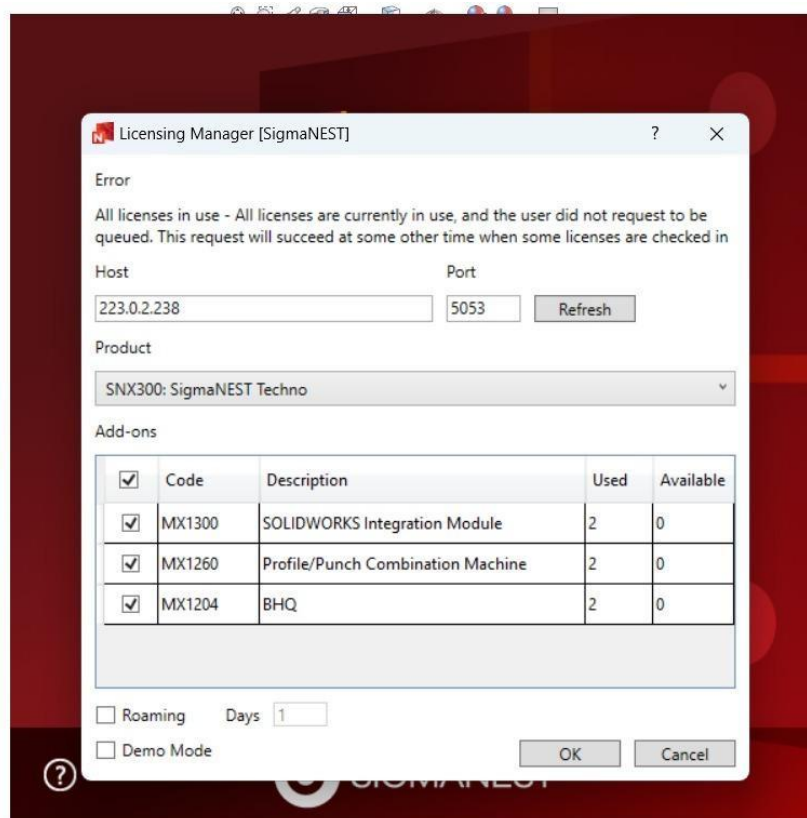


Figura 111. . Recuadro de aviso 1, SigmaNest. Fuente creación propia.

Posible causa: La licencia de SigmaNest permite un máximo de 4 pestañas abiertas.

Solución: Verificar cuantas pestañas están abiertas en tiempo real, o bien esperar algunos minutos y volver a intentar abrir el programa.

- Problema 2: El programa no abre y se presenta el siguiente cuadro

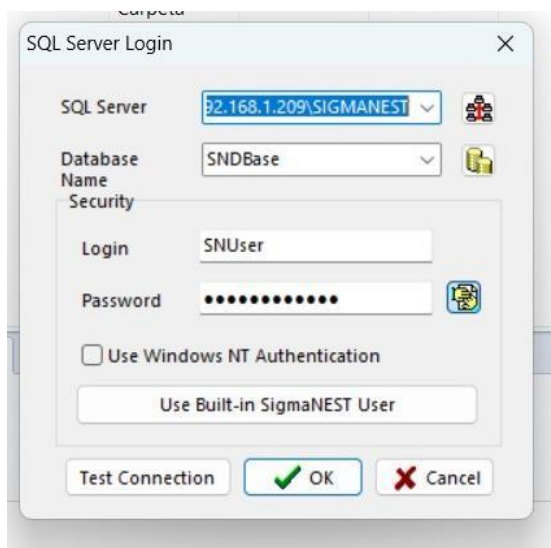


Figura 112. Recuadro de aviso 2, SigmaNest. Fuente creación propia.

Posible causa: En este caso si es un problema con los servidores por ende las causas pueden variar.

Solución: Llamar al ingeniero de TICS correspondiente.

- Problema 3: Mientras trabajamos el programa se congela o bien sale el siguiente recuadro Figura 113.

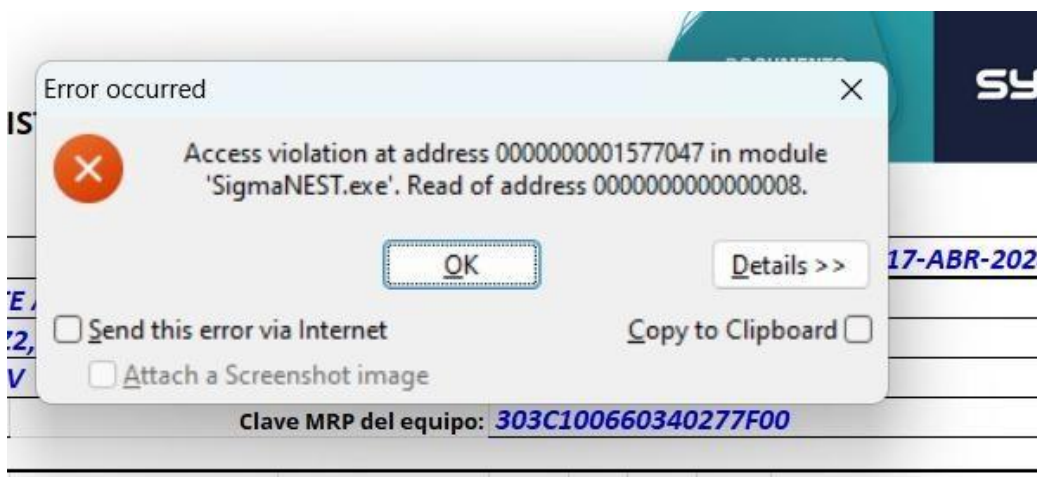


Figura 113. Recuadro de aviso 3, SigmaNest. Fuente creación propia.

Posible causa: Al perder la conexión con internet, se pierde también la licencia por ende no se puede seguir trabajando.

Solución: Verificar que la computadora tenga conexión a internet, si no hay conexión esperar a que se recupere la conexión, en caso de si tenerla, reiniciar el software.

### **Piezas mal cortadas o imprecisas**

- Problema 1: El corte no sigue el diseño marcado en los parámetros.

Posible causa: Configuración incorrecta de herramientas, o parámetros de corte.

Solución: Verificar los parámetros que se marcan en la orden de trabajo con respecto a los que se tienen que configurar con cada programa es importante y más el asegurarse que coincidan las especificaciones del material, espesor y herramienta utilizada. En ocasiones se pueden realizar simulaciones en la máquina con el plasma apagado verificando que los parámetros y cambios de herramientas sean correctos.

- Problema 2: Las piezas no salen completas Figura 114. A pesar de que en la imagen no detalla gran problema en la pieza, se aprecia que el corte interfirió con el borde la placa, por lo que las dimensiones se ven afectadas.



Figura 114. Placa procesada con dimensiones incorrectas. Fuente creación propia.

Posible causa: En ocasiones cuando se trabaja con sobrantes las medidas son redondeadas para trabajar números enteros, desafortunadamente cuando redondean

para arriba y el espacio es muy reducido suele presentarse que las piezas no salen con las medidas correctas y se ven afectadas al momento de cortarlas.

Solución: Verificar las medidas correctas de los sobrantes y redondear para abajo.

#### *4.7.3 Actualizaciones y soporte técnico.*

Mantener el software actualizado garantiza que tendremos un mejor rendimiento, nuevas funciones y corrección de errores.

##### Verificación de actualizaciones

La mayoría de softwares se pueden configurar para buscar actualizaciones automáticamente, por lo que estar pendientes de ellas nos ayudara a estar pendientes para tener los datos al día. Igualmente se pueden buscar de forma manual buscando el menú **Ayuda > Buscar actualizaciones**.

##### **Beneficios de actualizar**

Dentro de los beneficios de actualizar tenemos los siguientes parámetros:

Mejoras en el rendimiento dado que se optimiza el código para reducir los tiempos de procesamiento y mejora la fluidez del software.

Se tienen nuevas funcionalidades, las actualizaciones muchas veces implican una incorporación de nuevas herramientas, mejora de algunos algoritmos de anidamiento, soporte de materiales complejos y nuevas estrategias de corte.

Aumenta la compatibilidad teniendo la oportunidad de tener un soporte para nuevos tipos de formatos o bien archivos actualizados. También hay nuevas versiones de sistemas operativos lo que aumenta la compatibilidad con equipos y periféricos que sean de una modernidad mayor esto incluye Pantógrafos, Whitney o nuevas cortadoras.

Genera una mayor estabilidad y resolución de errores conocidos que podrían causar bloqueos, congelamientos o fallos. De igual forma mejora la seguridad contra vulnerabilidades externas.

## **CAPÍTULO 5 BENEFICIOS Y RESULTADOS**

En este capítulo se abordarán principalmente los beneficios y resultados obtenidos a partir de la creación y estandarización de las tablas de parámetros. Al tratarse de un proceso enfocado en la optimización, el ahorro de tiempo y de mano de obra representa una ventaja significativa.

Se identifican beneficios en tres áreas clave:

- Beneficios tecnológicos
- Reducción de costos operativos
- Ventajas para el usuario final.

### ***5.1 Beneficios tecnológicos***

Uno de los principales beneficios tecnológicos derivados de la estandarización de parámetros es la optimización del proceso de corte. Al ingresar correctamente los datos de amperaje y velocidad según las especificaciones de cada máquina, se reducen significativamente los errores operativos. Esto se traduce en cortes más precisos y consistentes, lo cual mejora de manera directa la calidad final de las piezas fabricadas.

Asimismo, una correcta configuración contribuye a minimizar el desperdicio de material y a disminuir la cantidad de piezas rechazadas. Estos aspectos, en conjunto, permiten alcanzar una producción más eficiente y confiable, garantizando mejores resultados en términos de calidad, repetibilidad y estabilidad del proceso.

Retomando las Tablas 5 y 6, estas fueron de elaboración propia y se imprimieron en formato doble carta para su consulta en el área de trabajo. Debido a su carácter práctico, presentan un formato visualmente sencillo e informal, diseñado para facilitar una consulta rápida y accesible por parte del personal operativo.

**Tabla 5***Tabla de amperajes para pantógrafo.*

AMPERAJE	ESPESOR EN PULGADAS
80	3/8
130	3/16
	1/4
	5/16
	1/8
	1/2
200	3/4
	5/8
	7/8
	13/16
	1
	1 1/4
260	1 1/2
	2 1/2
	1 1/8
	2

*Nota.* Elaboración propia.

**Tabla 6***Tabla de amperajes para pantógrafo (Calibres).*

AMPERAJE	ESPESOR EN PULGADAS (CALIBRES)
130	C-10
	C-12
	C-14

*Nota.* Elaboración propia.

Para efectos de esta investigación, y con el fin de hacer la información más clara y útil para el lector, dichas tablas se presentan a continuación de manera reorganizada y estructurada, de forma que los parámetros puedan comprenderse con mayor facilidad y aplicarse de manera uniforme en distintos contextos productivos.

**Tabla 12***Tabla de Reacomodo de amperajes para pantógrafo.*

AMPERAJE	ESPESOR COMPATIBLES EN PULGADAS
80	3/8
130	3/16, 1/4, 5/16, 1/8, 1/2
200	3/4, 5/8, 7/8, 13/16, 1, 1 1/4
260	1 1/2, 1 1/8, 2 1/2, 2,

*Nota.* Elaboración propia.

**Tabla 13**

Tabla de Reacomodo de amperajes para pantógrafo (Calibres).

AMPERAJE	ESPESOR COMPATIBLES EN PULGADAS
130	C-10, C-11, C-14

*Nota.* Elaboración propia.

Es importante resaltar que las Tablas 5 y 6 están destinadas exclusivamente al uso del pantógrafo. En ellas, el amperaje hace referencia al ajuste necesario en la máquina para cortar materiales de distintos espesores con precisión y alta calidad. Dichas tablas funcionan como una guía tanto para los nesteadores como para los operadores, permitiéndoles seleccionar el amperaje adecuado según el espesor del material a procesar.

El parámetro de espesor compatible indica los rangos de grosor que pueden ser trabajados con cada configuración de amperaje. Los valores de espesor en pulgadas corresponden a las especificaciones estándar del material, lo que facilita su interpretación y aplicación en la práctica.

Debe recordarse que el pantógrafo corta acero inoxidable (INOX) únicamente cuando el espesor es mayor a ½ pulgada, corta acero al carbón (AC) en cualquier espesor y se evita bajo cualquier circunstancia el corte de aluminio, sin importar su espesor, debido a las limitaciones técnicas de la máquina.

Una elección adecuada del amperaje no solo mejora la calidad del corte, sino que también contribuye a reducir el desgaste de los consumibles, optimizar los tiempos de operación y disminuir la posibilidad de errores en los códigos CNC. De esta manera, el uso correcto de estas tablas asegura un proceso más confiable, eficiente y sostenible dentro de la producción.

El amperaje, como tal, se refiere a la cantidad de corriente eléctrica que fluye hacia el arco de plasma. Este arco permite cortar materiales conductores al generar una temperatura extremadamente alta, que funde el material y lo expulsa mediante un chorro de gas a alta velocidad. Este proceso constituye el principio del corte por plasma.



Los amperajes bajos se utilizan para cortar materiales delgados, ya que permiten realizar cortes con mayor precisión y reducen las deformaciones térmicas. En cambio, los amperajes altos son necesarios para cortar materiales más gruesos, ya que aseguran una penetración completa del arco de plasma.

Sin embargo, utilizar amperajes excesivamente altos de forma innecesaria puede provocar un desgaste prematuro de los consumibles, como el electrodo y la boquilla, lo que incrementa los costos operativos.

Dentro de los errores comunes, si se configuran amperajes bajos en materiales de gran espesor, los cortes pueden quedar incompletos, lo que genera piezas defectuosas y retrabajos. Por otro lado, utilizar amperajes altos en materiales delgados puede provocar deformaciones, bordes irregulares o incluso sobrecargas térmicas que afectan la calidad de la pieza.

Asimismo, un ajuste inadecuado del amperaje puede ocasionar la formación de rebabas o imperfecciones en los bordes, lo que repercute directamente en la precisión del corte. Es importante destacar que el amperaje y la velocidad de corte están estrechamente relacionados, por lo que ambos deben configurarse de manera coherente para garantizar una operación eficiente, segura y con resultados de alta calidad.

Los amperajes más altos permiten realizar cortes más rápidos, ya que generan un arco más intenso capaz de derretir el material con mayor rapidez. En cambio, los amperajes más bajos ofrecen mayor precisión, siendo ideales para trabajos donde la calidad del acabado es prioritaria.

En resumen, la relación entre espesor, amperaje y velocidad es la siguiente:

- A menor espesor, se recomienda un amperaje bajo y una velocidad alta.
- A mayor espesor, se requiere aumentar el amperaje y reducir la velocidad para asegurar un corte completo y limpio.

Si el cabezal se mueve demasiado rápido sin considerar el espesor y el amperaje, el arco de plasma no tendrá suficiente tiempo para penetrar completamente el material, lo que resultará en cortes incompletos o bordes rugosos.

Por el contrario, si el cabezal se mueve demasiado lento, puede generar un exceso de calor, provocando deformaciones, bordes derretidos y acumulación de rebaba.

Para ello, debemos retomar la Tabla 10, donde se especifican las velocidades recomendadas según el espesor del material.

Si bien SigmaNest tiene la capacidad de calcular automáticamente las velocidades óptimas en función del material, el espesor y la máquina utilizada, en la práctica estos valores no siempre resultan ser los más adecuados. Por esta razón, las tablas propuestas, Tabla 7 y 8 fueron validadas mediante pruebas prácticas, desarrolladas con base en las necesidades reales y cotidianas del proceso productivo.

La velocidad de corte se refiere a la rapidez con la que la antorcha se desplaza sobre el material, y en la tabla se expresa en pulgadas por minuto (IPM, por sus siglas en inglés: Inches Per Minute).

Una velocidad correctamente ajustada optimiza el consumo de energía y reduce el desgaste de los consumibles, como las boquillas y los electrodos.

En el caso del pantógrafo, es posible realizar un análisis rápido de las tendencias observadas tomando como base los parámetros previamente establecidos de amperaje y velocidad. Al considerar de manera conjunta los datos presentes en la Tabla 5 (Tabla de amperajes para pantógrafo) y la Tabla 7 (Tabla de velocidades pantógrafo), se consolidan los valores más representativos, lo que permite elaborar una nueva tabla comparativa denominada Tabla 14 Tabla de relación entre espesor, amperaje y velocidad.

Este recurso ofrece una visión más clara y resumida de las configuraciones más utilizadas en el área de trabajo, facilitando la identificación de patrones de operación.

Además, al concentrar la información en un solo cuadro, se agiliza la consulta y se favorece la toma de decisiones al momento de programar o ejecutar los cortes.

**Tabla 14**

*Tabla de relación entre espesor, amperaje y velocidad.*

ESPESOR	AMPERAJE	VELOCIDAD (IPM)
<b>1/8</b>	130	145
<b>3/16</b>	130	145
<b>1/4</b>	130	150
<b>5/16</b>	130	120
<b>3/8</b>	80	75
<b>1/2</b>	130	50
<b>5/8</b>	200	50
<b>3/4</b>	200	50
<b>13/16</b>	200	45
<b>7/8</b>	200	45
<b>1</b>	200	35
<b>1 1/8</b>	260	35
<b>1 1/4</b>	200	30
<b>1 1/2</b>	260	25
<b>2</b>	260	15
<b>2 1/2</b>	260	15

Nota.Elaboración propia.

La gráfica generada a partir de la relación entre las tablas (Figura 115) permite visualizar el comportamiento conjunto del espesor, amperaje y velocidad de corte. De su análisis se pueden destacar los siguientes patrones principales:

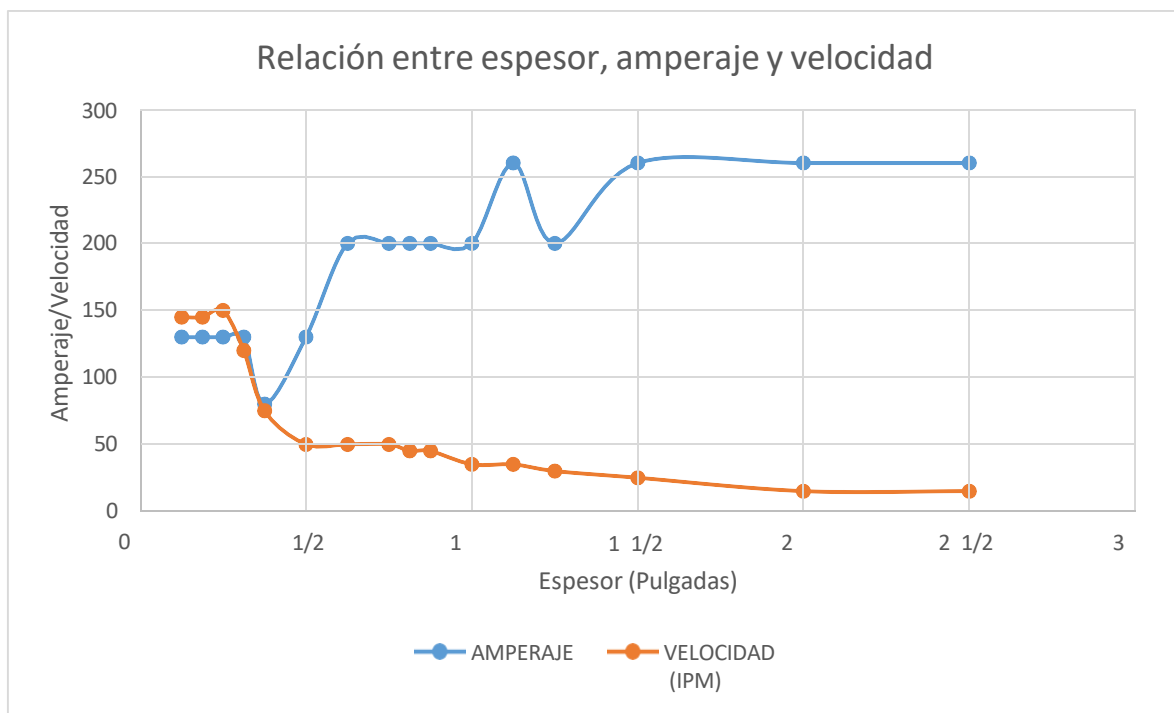


Figura 115. Gráfica de relación entre espesor, amperaje y velocidad. Fuente creación propia.

Las tendencias muestran que, a mayor espesor, la velocidad de corte disminuye. Esto ocurre porque la máquina requiere más tiempo para atravesar materiales más gruesos. En contraste, al incrementar el amperaje, la velocidad de corte aumenta en materiales delgados, pero en espesores mayores tiende a estabilizarse o incluso reducirse.

Para espesores menores (como 1/8", 3/16" y 1/4"), es posible utilizar amperajes bajos y alcanzar velocidades altas de corte.

A partir de 1/2" de espesor, la velocidad desciende de manera considerable y es necesario emplear 200 A o más para garantizar un funcionamiento adecuado.

En espesores superiores a 1 pulgada, aun utilizando 260 A, la velocidad continúa disminuyendo debido a la mayor resistencia del material.

En conclusión, esta gráfica constituye una herramienta práctica para determinar la configuración óptima de la máquina. Dado que el objetivo es maximizar la eficiencia y minimizar el desgaste de los consumibles, resulta fundamental establecer un equilibrio adecuado entre amperaje y velocidad de corte, en función del tipo y espesor del material a procesar.

Pasando a las tablas de velocidades para la Whitney, es importante considerar que en la empresa se cuenta con tres máquinas de este tipo. Se observa una diferencia

relevante entre la Whitney 1 y Whitney 3 respecto a la Whitney 2; esta última dispone de un sistema más moderno, lo que le permite operar bajo condiciones menos exigentes que las otras dos.

En el caso de la edición del código de los programas destinados a la Whitney 1 y 2, es necesario ajustar la velocidad de corte según el espesor del material a procesar, como se refleja en la Tabla 7. La correcta calibración de este parámetro resulta crucial para optimizar la calidad del corte y mejorar el rendimiento de la máquina. Los valores establecidos fueron definidos con el propósito de maximizar la precisión, reducir el desgaste de los componentes de corte y garantizar una mayor repetibilidad en los resultados.

En materiales de espesor reducido, como los calibres específicos, láminas galvanizadas y láminas perforadas, es posible trabajar con velocidades de corte mayores en comparación con materiales más gruesos. Este comportamiento mantiene el mismo principio observado en el pantógrafo:

Si la velocidad de corte es demasiado alta, el arco de plasma no logra penetrar completamente el material, lo que ocasiona cortes incompletos o bordes irregulares.

Si la velocidad es demasiado baja, se genera un exceso de calor en la pieza, lo que provoca deformaciones, acumulación de rebaba y bordes derretidos.

Por lo tanto, resulta indispensable ajustar correctamente la velocidad de corte, sin importar el tipo de material, con el fin de asegurar la calidad del trabajo y al mismo tiempo preservar la vida útil de los consumibles y componentes de la máquina.

### **Tabla 9**

*Tabla de velocidades para W1 y W3*

ESPESOR EN PULGADAS	VELOCIDAD PARA W1 Y W3 (IPM)
3/16	F=160.0
1/4	F=120.0
5/16	F=100.0
3/8	F=70.0

$\frac{1}{2}$	F=55.0
---------------	--------

Nota. Elaboración propia.

### **Tabla 10**

*Tabla de velocidades para W1 y W3 (Calibres).*

ESPESOR EN PULGADAS	VELOCIDAD PARA W1 Y W3 (IPM)
C-12	F=210.0
C-14	
C-16	
C-18	
C-20	
C-10	F=190.0
Antiderrapante 3/16	F=160.0
Antiderrapante $\frac{1}{4}$	F=120.0

Nota. Elaboración propia.

Para los códigos generados para la Whitney 2, el proceso resulta más sencillo, ya que esta máquina opera constantemente bajo una misma velocidad de corte. Sin embargo, en algunas ocasiones, SigmaNest asigna automáticamente un parámetro **R91**, el cual modifica la velocidad por una no deseada. Por esta razón, es fundamental verificar y corregir todos los factores relacionados con la velocidad, asegurándose de que correspondan al valor establecido como estándar.

Para facilitar esta tarea, se cuenta con la Tabla 11, en la cual se especifican las velocidades de corte recomendadas para la Whitney 2. Esta referencia permite evitar errores durante el proceso y garantizar una operación más eficiente y confiable, adaptada a las características de esta máquina en particular.

**Tabla 11***Tabla de consideraciones W2.*

PARA W2	
VELOCIDAD (IPM)	F=R84
1/16, 1/8, 3/16, 1/4, 5/16, C-10, C-12, C-14	(100.0,0.5)
• 3/8, 1/2	• (100.0,1.0)

- Nota. Elaboración propia.

## ***5.2 Beneficios en la reducción de costos operativos***

Dentro de los beneficios relacionados con los costos, uno de los aspectos más relevantes es la disminución del desgaste de herramientas. Al operar con parámetros adecuados se evita el sobrecalentamiento, lo cual reduce el deterioro prematuro de consumibles como boquillas y electrodos. En este sentido, la menor frecuencia de reemplazo se traduce en un ahorro directo dentro del presupuesto destinado al mantenimiento.

### ***5.2.1. Optimización del consumo energético***

De igual manera, una configuración precisa de los parámetros permite que la máquina trabaje bajo condiciones óptimas, utilizando únicamente la energía necesaria para realizar el corte. Esto no solo contribuye a la disminución de los tiempos de operación, sino que también previene reprocesos que implicarían volver a activar las máquinas. Como resultado, se logra una reducción significativa en el consumo eléctrico y, por consiguiente, un incremento en la eficiencia energética del proceso productivo.

### 5.2.2. Ahorro de tiempo

Cuando se tiene un ajuste correcto de los parámetros, se reducen significativamente los tiempos de corte, lo que aumenta la productividad y disminuye los costos laborales, así como los retrabajos tanto para el operador como para el programador.

Ejemplo práctico:

Sin optimización: Cortar una pieza de 1/4" toma 4 minutos.

Con optimización: Cortar la misma pieza toma 2.5 minutos.

Impacto: Ahorro de 1.5 minutos por pieza → en un turno de 8 horas se pueden cortar 48 piezas adicionales.

La reducción de retrabajos abarca desde lograr cortes más precisos y uniformes, lo que permite ahorrar tiempo y material, además de mejorar la calidad del producto final. Al tener los parámetros correctos se reducen problemas de sobrecalentamiento o fallos en el corte, lo que disminuye los tiempos muertos por ajustes o reparaciones durante el turno.

Ejemplo:

Sin optimización: 1 hora de paro por ajustes en cada turno.

Con optimización: 15 minutos por turno.

Impacto: Recuperación de 45 minutos productivos por turno.

A continuación, se presenta una tabla comparativa que resume los principales beneficios tecnológicos obtenidos a partir de la estandarización de parámetros en las máquinas Whitney y Pantógrafo. Esta comparación permite observar de manera clara las ventajas que ofrece cada equipo en términos de precisión, eficiencia y calidad del proceso de corte.



**Tabla 15***Tabla de Beneficios del ajuste de amperajes.*

<b>Aspecto</b>	<b>Whitney</b>	<b>Pantógrafo</b>
<b>Reducción de desgaste</b>	Ahorro en punzones y matrices.	Ahorro en boquillas y electrodos.
<b>Consumo Energético</b>	Menor en perforado continuo.	Menor al optimizar velocidad/amperaje.
<b>Ahorro de tiempo</b>	Perforado más rápido y preciso.	Corte eficiente en materiales delgados y gruesos.
<b>Re trabajo</b>	Reducción en deformaciones.	Menor acumulación de rebabas.

Nota.. Elaboración propia.

### **5.3 Beneficios para el usuario**

Dentro de los beneficios más relevantes se encuentra la optimización del material, al minimizar el desperdicio mediante el uso de nesting dinámico y rotacional. Esta práctica permite aprovechar al máximo cada hoja, reduciendo tanto los costos como la generación de residuos.

Asimismo, se obtiene una mayor productividad al disminuir los tiempos de programación, gracias a una interfaz intuitiva y personalizable que ofrece una curva de aprendizaje más rápida y facilita la resolución oportuna de problemas.

Este aspecto también se refleja en la facilidad de capacitación, ya que los operadores nuevos o con menor experiencia cuentan con una guía clara y detallada para comprender el funcionamiento de las máquinas y aplicar las mejores prácticas.

Del mismo modo, se favorece una mejor toma de decisiones, pues las tablas de parámetros permiten seleccionar de manera ágil los valores adecuados según el material y su espesor, simplificando el proceso y reduciendo la incertidumbre operativa.

Todo ello genera un incremento en la confianza del operador: al sentirse más seguros en el manejo de la maquinaria, los usuarios mejoran tanto su productividad como su motivación en el trabajo.

Finalmente, se logra una reducción en los tiempos muertos de los operarios de la siguiente fase del proceso, lo que optimiza el flujo de trabajo general y favorece la continuidad de la producción.

En conjunto, los beneficios tecnológicos, económicos y operativos derivados de la estandarización de parámetros representan un impacto positivo tanto en la calidad de los cortes como en la eficiencia general del proceso productivo. La correcta configuración de amperajes y velocidades no solo mejora la precisión y repetibilidad de los resultados, sino que también contribuye a prolongar la vida útil de los consumibles, reducir los costos energéticos y aprovechar mejor los materiales disponibles.

Además, la integración de herramientas como las tablas de referencia y los sistemas de nesting dinámico facilita la labor de los operadores, promueve la capacitación efectiva y fortalece la confianza en el uso de la maquinaria. De esta manera, se garantiza un flujo de trabajo más ágil, continuo y alineado con los objetivos de productividad de la empresa.

Con base en lo anterior, se establece que la estandarización de parámetros no solo constituye una práctica técnica necesaria, sino también una estrategia clave para optimizar recursos y elevar la competitividad dentro del sector manufacturero.

## **CONCLUSIÓN**

El desarrollo de este trabajo permitió analizar y optimizar el uso del software SigmaNest en los procesos de corte por plasma, específicamente con máquinas como la Whitney Piranha 3700SST y el Pantógrafo Automation Raptor Plasma HPR260XD. Durante el estudio, se abordaron los fundamentos del CAD-CAM y se enfatizó la importancia de la optimización de parámetros dentro de los códigos CNC para mejorar la eficiencia y la calidad en la producción.

Una de las principales aportaciones de esta tesis fue la elaboración de un manual de usuario detallado, que facilita la operación de SigmaNest mediante explicaciones claras, precisas y estructuradas. Asimismo, se desarrollaron tablas de referencia para la edición de códigos CNC, estableciendo parámetros específicos de amperajes y velocidades de corte, lo cual permite a los operarios realizar ajustes exactos y consistentes, generando un impacto positivo en la productividad.

Entre los resultados más relevantes se destacan:

Mayor eficiencia operativa, reflejada en la optimización de los tiempos de corte y en un mejor aprovechamiento del material.

Reducción significativa de costos operativos, gracias a la disminución en el desgaste de consumibles y en el desperdicio de materia prima.

Facilidad de uso para los operarios, quienes pueden configurar las máquinas de manera ágil y precisa gracias a las tablas de referencia.

Incremento en la calidad y precisión del corte, que se traduce en productos finales con mejor acabado, menor necesidad de retrabajos y una notable reducción de residuos.

En términos generales, esta tesis constituye una contribución relevante para la mejora de los procesos productivos en la industria metalmecánica. Ofrece herramientas prácticas, datos técnicos valiosos y procedimientos estandarizados que optimizan el uso de SigmaNest y de las máquinas de corte por plasma. La correcta implementación de estas estrategias no solo beneficia a los operarios y a las empresas, sino que también impulsa una producción más eficiente, rentable y sostenible, en concordancia con las mejores prácticas industriales actuales.

Finalmente, esta investigación abre la puerta a futuras mejoras y automatizaciones, entre ellas la integración con sistemas ERP y la incorporación de tecnologías emergentes, lo que garantizará una evolución constante en la eficiencia y competitividad de la manufactura metalmecánica.

## GLOSARIO

**AISI:** Instituto Americano del Hierro y el Acero (American Iron and Steel Institute). Norma estadounidense que clasifica a los aceros y aleaciones de materiales no ferrosos.

**ASTM:** Sociedad Americana de Ensayos y Materiales (American Society for Testing and Materials). Norma que establece la definición de materiales y métodos de prueba en la industria. Tiene su sede en Filadelfia, EE. UU.

**CAD (Computer-Aided Design):** Diseño asistido por computadora. Software que permite crear, modificar, analizar y optimizar modelos y planos digitales de piezas o productos.

**CAM (Computer-Aided Manufacturing):** Manufactura asistida por computadora. Tecnología que utiliza software y control numérico para automatizar procesos de producción a partir de los modelos diseñados en CAD.

**Calibre:** Medida que indica el grosor de una lámina metálica.

**Código CNC:** Conjunto de instrucciones que guían los movimientos y las herramientas de una máquina de control numérico computarizado para ejecutar procesos de manufactura automatizados.

**Manufactura:** Proceso de transformación de materias primas en productos elaborados mediante operaciones industriales.

**Nesteo:** Método de manufactura por corte que organiza las piezas en la hoja de material con el objetivo de minimizar el tiempo de corte y reducir el desperdicio.

**Nesting:** Sistema de trabajo orientado a aprovechar al máximo las láminas metálicas, buscando el mayor rendimiento posible y la reducción del desperdicio de materiales.

**OT (Orden de Trabajo):** Documento que autoriza y detalla las actividades a realizar en un proceso productivo.

**Pantógrafo:** Máquina de corte por plasma capaz de seguir patrones previamente definidos para realizar cortes precisos en materiales metálicos.

**SAE (Society of Automotive Engineers):** Sociedad de Ingenieros Automotrices que establece normas y clasificaciones técnicas aplicadas principalmente en la industria del transporte y automotriz.

**SigmaNest:** Software de CNC que permite generar presupuestos precisos, realizar anidado (nesting) con menor pérdida de material, programar de manera eficiente y optimizar los procesos de corte.

**Whitney:** Máquina punzonadora y cortadora por plasma que emplea diferentes herramientas y funciones para procesar materiales metálicos.

## BIBLIOGRAFÍA

Alavala, C. R. (2009). *CAD/CAM Concepts and Applications*. New Delhi: PHI Learning.

América, C. (9 de Octubre de 2024). *Codinter América*. Obtenido de <https://www.codinter.com/es/cuales-son-las-aplicaciones-del-corte-por-plasma-mecanizado/>

Cathy. (26 de Junio de 2024). *Rapiddirect*. Obtenido de <https://www.rapiddirect.com/es/blog/what-is-plasma-cutting/>

CIMCo. (09 de Octubre de 2024). Obtenido de CIMCo: <https://www.cimco.mx/caracteristicas-clave-que-un-software-cad-debe-tener/>

*Codinter América*. (9 de Octubre de 2024). Obtenido de <https://www.codinter.com/es/cuales-son-las-aplicaciones-del-corte-por-plasma-mecanizado/>

*Dassault Systèmes*. (Enero de 2022). Obtenido de SolidWorks 2022: Enhanced workflows and performance. : <https://www.3ds.com/newsroom/media-alerts/dassault-systemes-solidworks-2022-launched-featuring-user-driven-enhancements-accelerate-product-development>

*Dassault Systèmes*. (2024). Obtenido de Company history. En About - History. : <https://www.3ds.com/about/company/history>

*Euroinnova International Online Education*. (17 de Septiembre de 2024). Obtenido de Euroinnova International Online Education: <https://www.euroinnova.com/blog/programas-cad-actuales>

*Grupo GPA*. (7 de Noviembre de 2023). Obtenido de <https://gpamex.com/sistemas-de-corte/raptor-2/>

*History - SIGMATEK*. (15 de Julio de 2024). Obtenido de History - SIGMATEK.: <https://www.sigmathek-automation.com/en/company/history/>

*Hypertherm.* (s.f.). Obtenido de

<https://www.hypertherm.com/es/hypertherm/hyperformance/hyperformance-hpr260xd/>

*Hypertherm.* (2021). Obtenido de Plasma cutting technology: An introduction to mechanized cutting. Hypertherm, Inc.: <https://www.hypertherm.com>

*Hypertherm.* . (2020). Obtenido de Plasma cutting technology: The basics. Hypertherm, Inc.: <https://www.hypertherm.com>

*Hypertherm.* . (2023). Obtenido de Plasma cutting handbook. Hypertherm, Inc. : <https://www.hypertherm.com>

Kalpakjian, S. &. (2014). *Manufacturing engineering and technology (7th ed.)*. Pearson.

*La evolución del corte con plasma.* (24 de Abril de 2024). Obtenido de <https://www.thefabricator.com/thefabricatorenespanol/article/plasmacutting/la-evoluci-n-del-corte-con-plasma>

*Mastercam.* (20 de Marzo de 2024). Obtenido de Mastercam: <https://www.mastercam.com/es/>

Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. (2018). En R. &. Hernández-Sampieri, *Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill.

*News.* (s.f.). Obtenido de News: <https://www.sigmanest.com/en/news/sigmatek-elevates-business-systems-suite-to-version-20>

Pacheco Arturo, C. M. (2016). *Metodología de la investigación tecnológica (5ª reimp.)*. México: CECSA.

*Pat.* (s.f.). Obtenido de Fiber Laser Robot Arm 3D Cutting Tube and Pipe For Auto Parts. : <https://www.goldenfiberlaser.com/es/fiber-laser-robot-arm-3d-cutting-tube-pipe.html>

*Pat.* (s.f.). Obtenido de Fiber Laser Robot Arm 3D Cutting Tube and Pipe For Auto Parts. : <https://www.goldenfiberlaser.com/>.

<https://www.goldenfiberlaser.com/es/fiber-laser-robot-arm-3d-cutting-tube-pipe.html>

*Piranha Metal Fabrication Equipment by MegaFab.* . (11 de Mayo de 2022). Obtenido de <https://piranhafab.com/product/3700sst-combination-machine/>

*Piranha-Whitney.* (2020). Obtenido de Whitney 3700 SST Combination Punch/Plasma Machine. Piranha-Whitney. : <https://www.piranhafab.com>

Plasmarte2022\_Root. (4 de Octubre de 2024). *Plasmarte*. Obtenido de <https://www.plasmarte.com.mx/index.php/tipos-de-corte-plasma/#.~:text=Corte%20plasma%20manual,la%20m%C3%A1quina%20y%20a%20temperatura>

*ShopSabre.* (11 de Junio de 2024). Obtenido de ShopSabre: <https://www.shopsabre.com/everything-you-need-to-know-about-nesting-in-cnc-work/>

*SigmaNEST.* (s.f.). Obtenido de The world's most advanced CAD/CAM nesting software. : <https://www.sigmanest.com/en/sigmanest>

*SigmaTEK Systems.* (s.f.). Obtenido de SigmaNEST - SigmaTEK Systems.: <https://solidedge.siemens.com/es/partner/sigmanest/>

*SigmaTEK Systems.* . (21 de Febrero de 2013). Obtenido de SigmaTEK Systems Celebrating its 20th Year. McADCAfe. : <https://www.mcadcafe.com/nbc/articles/1/1164326/SigmaTEK-Systems-Celebrating-its-20th-Year>

*Software CAM para el mecanizado CNC.* (1 de Mayo de 2024). Obtenido de Software CAM para el mecanizado CNC: <https://www.ptc.com/es/technologies/cad/cam-software>

*Software para el corte por láser.* (s.f.). Obtenido de Software para el corte por láser: <https://www.sigmanest.com/es/supported-machine-types/laser>



*SolidBi*. (09 de Octubre de 2024). Obtenido de SolidBi.: <https://solid-bi.es/solidworks/?v=3d26b0b17065#:~:text=SOLIDWORKS%20es%20un%20software%20de,proceso%20de%20desarrollo%20del%20producto>

*SolidWorks*. (2 de Junio de 2023). Obtenido de ime flies when you're having fun: A brief history of SOLIDWORKS enhancements.: <https://www.goengineer.com/blog/history-of-solidworks>

Thomas Lienert, T. S. (2016). *ASM Handbook, Volume 6A: Welding Fundamentals and Processes*. Assistance. Obtenido de ASM Handbook, Volume 6A: Welding fundamentals and processes. ASM International.: <https://doi.org/10.31399/asm.hb.v06a>

User, S. (s.f.). *BAWTECH*. Obtenido de <https://www.baw.com.ar/baw-tech/index.php/robot-de-soldadura-de-arco-fd-b6#descargas>