

**Desarrollo de una herramienta computacional que optimice los  
desperdicios generados en la distribución de piezas en láminas  
utilizadas en la construcción de productos en madera en la empresa  
FERROCARPINTERIA FORMAR**

**Sergio de Jesús Leottau Sanmiguel**

**Universidad Tecnológica de Bolívar  
Programa de Ingeniería de Sistemas  
Cartagena  
Abril de 2012**

**Desarrollo de una herramienta computacional que optimice los  
desperdicios generados en la distribución de piezas en láminas  
utilizadas en la construcción de productos en madera en la empresa  
FERROCARPINTERIA FORMAR**

**Sergio de Jesús Leottau Sanmiguel**

**DIRECTOR**

**Giovanny Vásquez Mendoza  
Ingeniero de Sistemas**

**Universidad Tecnológica de Bolívar  
Programa de Ingeniería Sistemas  
Cartagena  
Abril de 2012**

Cartagena de Indias D. T y C. 08 de Mayo de 2012

**Señores:**

**COMITÉ CURRICULAR**

**Programa de Ingeniería de Sistemas**

**Cartagena D.T. y C**

Respetados Señores:

Por medio de la presente me permito someter a su consideración la propuesta de Trabajo de grado titulado **“Desarrollo de una herramienta computacional que optimice los desperdicios generados en la distribución de piezas en láminas utilizadas en la construcción de productos en madera en la empresa FERROCARPINTERIA FORMAR”**, desarrollada por el estudiante Sergio de Jesús Leottau Sanmiguel, como requisito para optar al título de Ingeniero de Sistemas, en la que me desempeñare cumpliendo la función de director.

Atentamente,

---

Giovanny Vásquez Mendoza

Director del Trabajo de grado

Cartagena de Indias D. T y C. 08 de Mayo de 2012

**Señores:**

**COMITÉ CURRICULAR**

**Programa de Ingeniería de sistemas**

**Cartagena D.T. y C**

Respetados Señores:

Por medio de la presente me permito someter a su consideración la propuesta de Trabajo de grado titulado **“Desarrollo de una herramienta computacional que optimice los desperdicios generados en la distribución de piezas en láminas utilizadas en la construcción de productos en madera en la empresa FERROCARPINTERIA FORMAR”**, desarrollada por el estudiante Sergio de Jesús Leottau Sanmiguel, como requisito para optar al título de Ingeniero de Sistemas.

Atentamente,

---

Sergio de Jesús Leottau Sanmiguel

Cartagena de Indias D. T y C. 08 de Mayo de 2012

**Señores:**

**COMITÉ CURRICULAR**

**Programa de Ingeniería de Sistemas**

**La ciudad**

Respetados Señores:

Por medio de la presente manifestamos el interés y apoyo incondicional en el suministro de la información necesaria para el desarrollo del Trabajo de grado titulado **“Desarrollo de una herramienta computacional que optimice los desperdicios generados en la distribución de piezas en láminas utilizadas en la construcción de productos en madera en la empresa FERROCARPINTERIA FORMAR”**, desarrollada por el estudiante Sergio de Jesús Leottau Sanmiguel, como requisito para optar al título de Ingeniero de Sistemas.

Atentamente,

---

Justo Padilla Barros

Gerente general

Nota de aceptación:

---

---

---

---

Firma del presidente del jurado

---

Firma jurado

---

Firma jurado

Cartagena, 08 de Mayo de 2012

## DEDICATORIA

A mi familia por su apoyo incondicional, por su  
confianza, y su creencia en mis habilidades.

A mi novia Carolina por brindarme

Amor, cariño en todo

Momento.

Sergio Leottau Sanníguel

## **AGRADECIMIENTOS**

El autor expresa sus agradecimientos a:

Giovanny Vásquez Mendoza, Ingeniero de sistemas, por su incondicional apoyo en el desarrollo del presente trabajo de grado, por el tiempo dedicado y bien intencionadas recomendaciones.

Al cuerpo de docentes del programa de Ingeniería de Sistemas de la Universidad Tecnológica de Bolívar, por fortalecer nuestras bases como ingenieros y brindarnos formación profesional.



## CONTENIDO

1. OBJETIVOS.....	19
2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	21
2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	21
2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	22
3. JUSTIFICACIÓN.....	24
4. ASPECTOS METODOLOGICOS .....	26
4.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN .....	26
4.2 METODOLOGÍA DE TRABAJO.....	27
5. MARCO REFERENCIAL.....	31
5.1 MARCO TEÓRICO.....	31
5.1.1 Metaheurísticas.....	31
5.1.2 Algoritmo genético (AG).....	32
5.1.3 Problemas de empaquetamiento.....	34
5.1.4 Problemas de empaquetamiento más comunes .....	35
5.1.5 Ingeniería de software.....	39
5.1.6 Programación orientada a objetos.....	40
5.1.7 Arquitecturas de software.....	41
5.2 ANTECEDENTES.....	43
6 DIAGNOSTICO.....	49
6.1 GENERALIDADES DE LA EMPRESA.....	49
6.1.1 Misión.....	49
6.1.2 Visión.....	49
6.1.3 Reseña histórica.....	49

6.1.4	Organigrama .....	50
6.2	DESCRIPCIÓN DE LOS RECURSOS.....	51
6.2.1	Recursos Humanos.....	51
6.2.2	Recursos Físicos.....	52
6.3	PRODUCTOS Y PROCESOS DE FERROCARPINTERIA FORMAR 55	
6.3.1	Productos .....	55
6.3.2	Procesos .....	56
6.4	INSTANCIA OBJETO DE ESTUDIO.....	60
6.4.1	Elección del producto .....	60
6.4.2	Descripción del producto:.....	62
6.4.3	Caracterización de las piezas que conforman el producto. ....	63
6.4.4	Formulación del indicador de desperdicio. ....	70
6.4.5	Promedio histórico de desperdicio. ....	71
6.4.6	Análisis del costo de los desperdicio.....	72
6.4.7	Tiempo utilizado en la distribución de las piezas de forma manual.....	73
7	Diseño del algoritmo genético.....	74
7.1	ALGORITMO GENÉTICO.....	74
7.2	CODIFICACIÓN.....	75
7.2.1	Representación basada en láminas ( <i>Bin-Based Representation</i> ) 76	
7.2.2	Representación basada en objetos ( <i>object-based representation</i> ) 77	
7.2.3	Representación basada en grupos ( <i>Group-Based representation</i> ) 78	

7.3	OPERADOS GENÉTICOS .....	80
7.3.1	Operador de selección .....	80
7.3.2	Operador de cruce .....	83
7.3.3	Operador de mutación.....	89
7.3.4	Operador de remplazo .....	90
7.4	HEURÍSTICA PARA EL <i>BINPACKING PROBLEM</i> .....	91
7.4.1	<i>Bottom left</i> con caída libre .....	94
7.4.2	<i>Bottom left</i> con caída libre y con remplazo.....	94
7.4.3	Heurística para polígonos de ángulos rectos .....	94
7.5	CALCULO DE LA FUNCIÓN FITNESS .....	95
7.6	CONVENCIONES GEOMÉTRICAS .....	96
7.6.1	Calculo de área de piezas.....	97
8	DISEÑO DE LA HERRAMIENTA COMPUTACIONAL.....	99
8.1	REQUERIMIENTOS.....	99
8.1.1	Requerimientos Funcionales.....	99
8.1.2	Requerimientos no funcionales .....	100
8.2	ARQUITECTURA DE SOFTWARE .....	100
8.3	CASOS DE USO .....	102
8.3.1	Diagrama de casos de uso.....	102
8.3.2	Descripción de los casos de uso.....	103
8.4	VISTAS ESTÁTICAS .....	104
8.4.1	Diagrama de clases.....	104
8.4.2	Diagrama de paquetes .....	106
9	IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO.....	109
9.1	FUNCIONALIDADES A IMPLEMENTAR.....	109

9.2	LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN.....	110
9.3	COMUNICACIÓN CON SOFTWARE DE CAD.....	111
9.4	VALIDACIÓN HERRAMIENTA PROTOTIPO.....	112
10	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	114
10.1	PARÁMETROS DEL ALGORITMO GENÉTICO .....	115
10.2	CÁLCULO DEL TAMAÑO DE MUESTRA.....	116
10.3	INDICADOR PROMEDIO DE DESPERDICIO ARROJADO POR LA HERRAMIENTA.....	117
10.4	ANÁLISIS DE COSTO PARA LA DISTRIBUCIÓN ARROJADA POR LA HERRAMIENTA .....	118
10.5	ANÁLISIS COMPARATIVO.....	118
10.6	TIEMPOS COMPUTACIONALES .....	120

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Recursos humanos administrativos .....	51
Tabla 2. Recursos humanos operativos.....	51
Tabla 3. Descripción de piezas de una cocina integral.....	63
Tabla 4. Datos históricos de indicador promedio de desperdicio.....	71
Tabla 5. Análisis de costo para la distribución manual .....	72
Tabla 6. Población inicial .....	81
Tabla 7. Resultado del experimento para la selección de los parámetros ..	115
Tabla 8. Datos de la muestra piloto .....	117
Tabla 9. Análisis de costo para la herramienta computacional .....	119
Tabla 10. Cuadro comparativo de resultados .....	119
Tabla 11. Características del pc.....	120

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Marco de trabajo propuesto por Hevner, March, Park y Ram.....	29
Figura 2. Operador de cruce básico.....	33
Figura 3. Operador de mutación básico.....	34
Figura 4. Herramienta para la distribución de piezas con formas regulares o irregulares en una lamina .....	48
Figura 5. Organigrama de la empresa FERROCARPINTERIA FORMAR ...	50
Figura 6. Mapa de procesos de la empresa.....	56
Figura 7. Diagrama BPM para la descripción de corte de piezas de triplex..	60
Figura 8. Diagrama de Pareto de utilidades por producto.....	61
Figura 9. Modelo del producto realizado en la empresa .....	63
Figura 10. Ubicación de las piezas en el módulo superior .....	68
Figura 11. Pieza de las puertas .....	68
Figura 12. Ubicación de las piezas en el módulo inferior.....	69
Figura 13. Gaveta del módulo inferior.....	69
Figura14.Gaveta con pieza de polígono de ángulo recto.....	70
Figura 15. Diagrama de flujo para el algoritmo genético.....	75
Figura 16. Representación basada en láminas.....	76
Figura 17. Representación de la redundancia en las soluciones.....	76
Figura 18. Representación basada en objetos. ....	78
Figura 19. Redundancia en la representación basada en objetos .....	78
Figura 20. Representación base del cromosoma.....	79
Figura 21. Representación basada en grupos .....	79
Figura 22. Asignación de probabilidad a individuos .....	82
Figura 23. Mecanismo de selección mediante el SUS.....	83
Figura 24 . Representación del punto de corte del cromosoma.....	84
Figura 25. Cruce por un punto .....	84
Figura 26. Cruce por dos puntos.....	85

Figura 27. Operador de cruce uniforme .....	87
Figura 28. Operador de cruce PMX .....	88
Figura 29. Operador de mutación 2-opt .....	90
Figura 30. Secuencia de empaquetamiento .....	91
Figura 31. Reconstrucción de los límites .....	92
Figura 32. Representación válida para dos individuos.....	93
Figura 33. Solución inalcanzable .....	94
Figura 34. Altura máxima de lámina. ....	96
Figura 35. Ejes coordenados y recorrido de la pieza .....	97
Figura 36. Calculo de área de las piezas .....	98
Figura 37. Arquitectura de software por capas. ....	101
Figura 38. Diagrama de casos de uso .....	103
Figura 39. Diagrama de clases .....	107
Figura 40. Diagrama de paquetes.....	108

## LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1. Indicador de desperdicio .....	70
Ecuación 2. Fórmula de cálculo de probabilidad.....	81
Ecuación 3. Función fitness .....	95
Ecuación 4.Fórmula de tamaño optimo de muestra.....	117



## ANEXOS

Anexo 1. Maquinaria industrial.....	129
Anexo 2. Herramientas manuales.....	130
Anexo 3. Resultado de la ejecución de la herramienta.....	131
Anexo 4. Área gastada distribuciones obtenidas con la herramienta.....	131
Anexo 5. Distribución manual de las piezas.....	132
Anexo 6. Distribución promedio en la herramienta.....	134
Anexo 7. Formato validación de la herramienta prototipo.....	136
Anexo 8. Resultados de la encuesta de validación.....	137
Anexo 9 Tiempos empleados en la distribución manual.....	138
Anexo 10. Tiempos empleados en la distribución por la herramienta computacional.....	138
Anexo 11. Descripción de los requerimientos funcionales.....	139
Anexo 12. Descripción de los casos de uso.....	144
Anexo 13. Diagramas de secuencia.....	152
Anexo 14. Manual de usuario.....	161

## INTRODUCCIÓN

Uno de los principales problemas en las empresas que tiene dentro de sus procesos, el corte de piezas en formatos, es la distribución de estas, tal que el desperdicio generado durante este proceso, sea mínimo. Para este tipo de problemáticas existe una gran variedad de alternativas que permiten encontrar distribuciones, siendo las más utilizadas las técnicas metaheurísticas, debido a los buenos resultados obtenidos en tiempos relativamente cortos.

En este trabajo se presenta una aplicación del *bin packing problem* al proceso de corte de piezas en formato (láminas de triplex) para las cocinas integrales en la empresa FERROCARPINTERÍA FORMAR, para la solución del mismo se recurre al uso de técnicas metaheurística, en este caso se escoge al algoritmo genético, debido a su flexibilidad en cuanto a su fácil adaptación a una gran variedad de problemas.

En el primer capítulo se realiza una descripción detallada de los diferentes procesos en la empresa, haciendo mayor énfasis en el de corte, en el segundo se discuten los mecanismos utilizados en la solución del problema de empaquetamiento, para esto se muestra la estructura del algoritmo genético utilizada, y se entra a debatir los diferentes sistemas de codificación existente para el caso del *bin packing problem*, de igual forma se hace con los operadores genéticos; a partir de esta discusión y con base en las revisiones bibliográficas, se elijo el sistema de codificación y los operadores genéticos a utilizar en la construcción del algoritmo genético.

En el tercer capítulo se muestra los requerimientos funcionales de la herramienta computacional que tiene como base el algoritmo genético previamente diseñado. Luego en el cuarto capítulo de establece los alcances del prototipo que se implementara para la herramienta.

Finalmente en el último capítulo se establecen los resultados obtenidos por la herramienta computacional, para esto se ejecuta en un caso de estudio identificado durante el la etapa del diagnóstico y descripción de los procesos, luego se compara mediante un análisis de costo los resultados de la herramienta con los obtenidos por los trabajadores de la empresa FERROCARPINTERIA FORMAR.

## **1. OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Desarrollar una herramienta prototipo basada en la utilización de algoritmo genético para dar solución al problema del empaquetamiento, que permita automatizar el proceso, al igual que lograr una disminución en el porcentaje de desperdicio durante la distribución de piezas en láminas en la empresa FERROCARPINTERIA FORMAR.

### **OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Conocer el estado actual de proceso de distribución de piezas en láminas, mediante la realización de un diagnostico apoyado en herramientas de ingeniería, que permita conocer los niveles actuales de desperdicio, facilitando la comparación con los resultados arrojados por la herramienta.
- Estructurar el algoritmo genético que será utilizado por la herramienta, basados en las implementaciones existentes en la literatura para problemáticas similares, logrando una mayor eficiencia de las soluciones encontradas por el algoritmo genético construido.
- Diseñar una herramienta que permita automatizar el proceso de distribución de piezas en láminas en la empresa FERROCARPINTERIA FORMAR, teniendo como base la utilización de un algoritmo genético que permita disminuir el tiempo de búsqueda de las soluciones.

- Implementar un prototipo de la herramienta diseñada, a través de la utilización del lenguaje de programación Java, permitiendo realizar pruebas y medir la eficiencia de los resultados encontrados.
- Analizar e interpretar los resultados obtenidos en la solución de la instancia objeto de estudio, mediante la utilización de herramientas estadísticas, determinando el grado de eficiencia de las soluciones encontradas, en comparación con el nivel de desperdicio calculado durante el diagnóstico.

## 2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.

### 2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.

En la mayoría de las organizaciones no solo es suficiente con lograr los objetivos propuestos, también es relevante la forma como estos son alcanzados, es por esto que las organizaciones se encuentran en una constante búsqueda de mecanismos que les permitan hacer mejor uso de los recursos utilizados en la consecución de los objetivos. La industria maderera no es la excepción, esta al igual que todas las demás, busca que en sus procesos los recursos se utilicen de forma *eficiente*.

FERROCARPINTERIA FORMAR es una empresa dedicada a la fabricación de productos en madera, que se preocupa para que cumplan con los más altos estándares de calidad, buscando el mayor nivel de satisfacción de sus clientes. En el proceso de construcción de los productos en madera, se encuentra una etapa destinada a realizar el diseño de los mismos, en la cual se especifican mediante planos las estructuras o piezas, que conformarán el producto final.

Algunas de las piezas utilizadas en la fabricación de los productos, son obtenidas a partir de laminas de madera de diferentes calibres, que previamente tiene que ser cortados en formatos de dimensiones preestablecidas. Antes que las piezas sean cortadas, estas deben ser organizadas dentro del formato, buscando distribuciones que permitan obtener el menor desperdicio de material posible, siendo consecuentes con el principio expuesto, que consiste en hacer un mejor aprovechamiento de los recursos, en este caso de los insumos de madera.

La distribución de las piezas en los formatos, es un problema conocido dentro de la literatura como el empaquetamiento óptimo en placas (2D-BPP) del inglés *two-dimensional bin packing problem*, que consiste en “*un conjunto de figuras que deben ser ubicados en áreas rectangulares llamadas placas*”

*con anchos y largos definidos e idénticos, el objetivo es encontrar el número mínimo de placas necesarias de forma tal que la totalidad de las piezas sean ubicadas, sin sobreponer las piezas y sin sobrepasar los límites de las placas”<sup>1</sup>.*

En la empresa FERROCARPINTERIA FORMAR, en la actualidad las piezas son distribuidas manualmente dentro de los formatos en la etapa de planificación, es decir, antes de realizar el corte de las piezas en las láminas, sin embargo, esta distribución manual no garantiza que se esté haciendo un buen uso del recurso, adicionalmente este mecanismo puede resultar agotador para el trabajador, así como demandar grandes cantidades de tiempo para obtener distribuciones que disminuyan el porcentaje de desperdicio de las láminas de madera.

Por todo lo expuesto anteriormente, se propone construir una herramienta que permita realizar la distribución de las piezas en los formatos de forma automatizada, con el fin de disminuir la cantidad de material necesario para realizar el corte de cierta cantidad de piezas, y por ende disminuir el porcentaje de desperdicio del material, en comparación con la realización de esta distribución de forma manual. Adicionalmente se busca que esta herramienta pueda encontrar soluciones en tiempos cortos, en los que el trabajador podrá estar realizando cualquier otra actividad que agregue valor a los productos.

## 2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Conforme a las necesidades presentadas en la empresa FERROCARPINTERIA FORMAR, se pretende dar solución al siguiente problema de investigación:

---

<sup>1</sup> ÁLVAREZ MARTÍNEZ, David. Solución del problema de empaquetamiento óptimo bidimensional en una sola placa, en placas y rollos infinitos con y sin rotación de piezas usando técnicas metaheurísticas de optimización. Trabajo de grado magíster en ingeniería eléctrica. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Ingeniería, 2010. p. 1.

¿La utilización de una herramienta computacional, basada en un algoritmo genético, disminuirá los porcentajes de desperdicio en el proceso de corte de piezas en láminas para la construcción de productos en madera en la empresa FERROCARPINTERIA FORMAR?

### 3. JUSTIFICACIÓN

Los problemas de empaquetamiento, corte óptimo de piezas, despacho y almacenamiento de materiales juegan un papel importante en la industria. Ya que estos representan una oportunidad de mejora, especialmente en aquellos procesos que involucran el corte como una fase necesaria para la transformación de materia prima.

Es así como en FERROCARPINTERIA FORMAR, empresa dedicada a la elaboración de productos en madera, en la cual en su etapa de planificación (distribución de las piezas en láminas) se realiza en forma manual, lo cual hace que en la actualidad este proceso no se realice en forma metódica y por consiguiente no garantice que las distribuciones de las piezas sean las más adecuadas

Por tal motivo el estudio y posterior aplicación de un problema tipo *bin packing* al proceso de corte en la empresa FERROCARPINTERIA FORMAR, permitiría generar distribuciones de piezas en láminas de tamaño predeterminado, a través de técnicas metaheurísticas (algoritmo genético), las cuales tendrían un impacto significativo en la reducción de los desperdicios generados, lo que se traduce en **menores costos para la organización**, como también en un uso eficiente de los materiales.

La utilización de los algoritmos genéticos resulta ser muy ventajoso a la hora de resolver problemas de categoría NP-hard en comparación con los métodos exactos, esto se debe a que los métodos exactos hacen exploraciones exhaustivas del espacio de solución, incrementando la necesidad de recurso computacional, a la vez que el tiempo empleado para encontrar dicha solución sea excesivamente largo; por el contrario el uso de técnicas metaheurísticas como lo es el algoritmos genético, hace que la demanda de recursos computacionales sea menor, como también los tiempos asociados a la búsqueda de soluciones se corto, de esta forma el



desarrollo de esta herramienta prototipo ayudaría a la disminución de los tiempos relacionados con la fase de planificación del corte lo cual significa que el tiempo empleado en generar una solución (distribución de pieza) es corto, en comparación con el tiempo empleado para realizar una distribución de la piezas en forma manual.

## 4. ASPECTOS METODOLOGICOS

### 4.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Para la ejecución de la investigación, se utilizará un tipo de estudio de carácter descriptivo-correlacional, “la investigación descriptiva busca especificar, propiedades características y rasgos importantes de cualquier fenómeno que se analice mientras que los estudios correlacionales tiene como propósito conocer la relación que exista entre dos o más conceptos, categorías o variables en un contexto en particular”<sup>23</sup>.

En una etapa inicial el estudio es descriptivo porque se pretende ver en forma detallada las características del problema, que variables hay que tener en cuenta en la distribución de las piezas en las láminas de madera, caracterizar los parámetros del algoritmo genético y los mecanismos implementados en este; Posteriormente se implementará un tipo de estudio correlacional, porque con este se pretende establecer relaciones entre los diferentes mecanismos y parámetros implementados en el algoritmo genético en contraste con las soluciones obtenidas.

El diseño metodológico para esta investigación es experimental, los diseños experimentales “se refieren a un estudio en el que se manipulan intencionalmente una o más variables independientes”<sup>4</sup>, con este diseño metodológico, se podrá establecer los parámetros que mejores resultados arrojan en el Algoritmo Genético.

Finalmente tenemos que los medios de recolección de información a utilizar durante el desarrollo de la investigación son; la bitácora o diario de campo, la cual permitirá llevar un registro detallado de todas las observaciones que se

---

<sup>2</sup>HERNANDEZ, Sampier y FERNANDEZ, Carlos. Metodología de la investigación. Cuarta Edición. Mexico D.F.: Mc Graw Hill, 2006.p 103. ISBN 978-970-10-5753-7.

<sup>3</sup>Ibid., p. 104.

<sup>4</sup>Ibid., p. 160.

hagan en cada visita a la planta de producción, así mismo se implementará a la entrevista como otro mecanismo a tener en cuenta, ya que nos permitirá comprender el funcionamiento del sistema bajo estudio. Dentro de las fuentes de recolección de información primaria tenemos al asesor de la tesis, los operarios de la planta encargados del proceso de corte.

Como fuente secundaria se encuentra a los artículos científicos que hablan sobre el problema del empaquetamiento, libros, materiales de internet, etc.

#### 4.2 METODOLOGÍA DE TRABAJO

En el presente proyecto de investigación se aplicara la metodología llamada Ciencias del Diseño nombre tomado del ingles *Design Science*. Las investigaciones en sistemas de información se enfocaron previamente mediante el paradigma de investigación descriptivo tradicional, seguido por el paradigma interpretativo, y mas recientemente, la Ciencia del Diseño ha sido aceptada como un paradigma de investigación<sup>5</sup>.

La Ciencia del Diseño se enfoca en el desarrollo y el mejoramiento (de los diseños) de artefactos, con la intención explicita de mejorar el rendimiento funcional de estos.

A través de los años algunos autores han propuesto diferentes enfoques acerca de la metodología. Nunamaker, Chen, and Purdin en 1991 proponen un enfoque multi-metodológico, en el que se integran, una construcción teórica, un sistema de desarrollo, la experimentación y la observación. Por su parte Hevner, March, Park y Ram<sup>6</sup> en el 2004 toman un enfoque más pragmático, en donde proponen guías que ayudaran a darle forma a la

---

<sup>5</sup>PEFFERS, ken y TUUNANEN, tuure. *A Design Science Research Methodology for Information Systems Research*. En: *Journal of Management Information Systems*. Diciembre, 2006.Vol. 24. No.3 p. 45 - 77.

<sup>6</sup>HEVNER Alan, MARCH Salvatore, PARK Jinsoo Y RAM Sudha. *Design Science Information Systems Research*. En: *MIS Quarterly*. Marzo, 2004.Vol. 28.No.1 p. 75 - 105.

investigación. En 2007 Peffers, Tuunanen, Rothenberger y Chatterjee<sup>7</sup> ofrecen un modelo comprensible que ayudara en la aplicación de la metodología en la práctica.

La presente investigación se centrara en el trabajo realizado por Hevner, March, Park y Ram en el año 2004, este presenta un marco de trabajo para la investigación en los Sistemas de Información (SI) (Ver Figura 1), en donde identifica la relación entre la investigación en los SI con el entorno y las bases o fundamentos teóricos. Las personas, las organizaciones y la tecnología (estas 3 como parte del entorno) crean necesidades, relacionadas con los SI. Mientras que la investigación en los SI se informan de la base de conocimientos existentes en el ámbito en cuestión, con respecto al diseño y la evaluación. En el marco de trabajo señalan el desarrollo, la construcción y la evaluación como un proceso iterativo, cuyo resultado es un artefacto que contribuye al respectivo entorno que genero la necesidad, al igual que a la base de conocimiento.

Hevner, March, Park y Ram<sup>8</sup> proponen 7 guías que ayudaran en la investigación para sistemas de información, estas guías son:

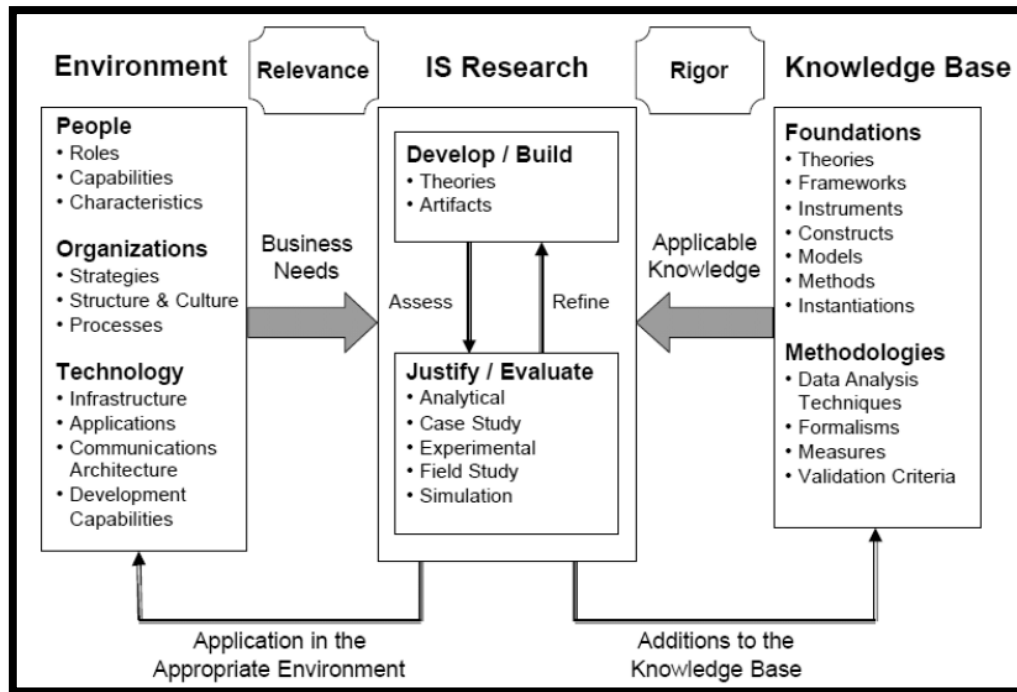
- ✓ El diseño como un artefacto: Las investigaciones de Ciencia del Diseño deberán producir una artefacto viable, en la forma de una construcción, un modelo, un método o una instancia, siendo este último el tipo de artefacto que se construirá en la presente investigación.
  
- ✓ Pertinencia del problema: El objetivo de la Ciencia del Diseño es desarrollar soluciones basadas en tecnologías para problemas de negocios importantes y relevantes.

---

<sup>7</sup>PEFFERS.

<sup>8</sup>HEVNER Alan, MARCH Salvatore, PARK Jinsoo Y RAM Sudha.

Figura 1. Marco de trabajo propuesto por Hevner, March, Park y Ram.



Fuente: tomado de “*Design science in information systems research*”<sup>9</sup>.

- ✓ Evolución del diseño: La utilidad, la calidad, y la eficacia de un diseño de un artefacto deberá ser rigurosamente demostrada ejecutando métodos de evaluación.
- ✓ Contribuciones de investigación: Una investigación efectiva deberá presentar aportes claros y verificables contribuciones en el área de diseño del artefacto.
- ✓ Rigor de la investigación: Las investigaciones en la Ciencia del Diseño se base en la aplicación de rigurosos métodos tanto en la construcción como en la evaluación del artefacto diseñado.

<sup>9</sup>HEVNER Alan, MARCH Salvatore, PARK Jinsoo Y RAM Sudha.

- ✓ El diseño como un proceso de búsqueda: La búsqueda de un artefacto eficaz requiere la utilización de los medios disponibles para alcanzar los fines deseados al tiempo que satisface las leyes en el entorno del problema.
  
- ✓ Comunicación de la investigación: Las investigaciones en la Ciencia del diseño deberán ser presentadas eficazmente a las diferentes audiencias.

## 5. MARCO REFERENCIAL.

### 5.1 MARCO TEÓRICO.

#### 5.1.1 Metaheurísticas.

El termino metaheurística fue introducido por primera vez por Glover<sup>10</sup> en el año de 1996, al definir una clase de algoritmos de aproximación que combinan heurísticos tradicionales con estrategias eficientes de exploración del espacio de búsqueda<sup>11</sup>. El termino metaheurística se deriva etimológicamente del griego meta que significa “más allá” o “nivel superior”, mientras que el término heurística significa “búsqueda”, por lo que juntas estas dos palabras significarían “un nivel superior de búsqueda”<sup>12</sup>.

En la actualidad no existen una definición comúnmente aceptada para el término metaheurística, sin embargo, muchos investigadores en los últimos años han propuesto definiciones, *Osman y Laporte* la definen como “Un proceso iterativo de generación que guía una heurística subordinada, combinando de forma inteligente distintos conceptos para explorar y explotar el espacio de búsqueda, estrategias de aprendizaje se utilizan para estructurar la información con el fin de encontrar de manera eficiente soluciones casi óptimas”<sup>13</sup>.

La mayor ventaja de las metaheurísticas frente a otros métodos está en su gran flexibilidad, lo que permite usarlos para abordar una amplia gama de problemas. Las metaheurísticas no existen para problemas específicos, estas

---

<sup>10</sup>GLOVER, F. Future paths for integer programming and links to artificial intelligence. En: Computers and Operations Research. 1986. Vol. 13, No. 5. p. 533-549.

<sup>11</sup>VELEZ, Mario y MONTOYA, JOSÉ. Metaheurísticos: una alternativa para la solución de problemas combinatorios en administración de operaciones. En: EIA. Diciembre,2007. No. 8. p. 99-115. ISSN 1794-1237.

<sup>12</sup>BLUM, Christian y ROLI, Andrea. Metaheuristics in Combinatorial Optimization: Overview and Conceptual Comparison. En: ACM Computing Surveys. Septiembre, 2003. Vol. 35, No. 3. p. 268-308.

<sup>13</sup>OSMAN, I.H. y LAPORTE, G. Metaheuristics: A bibliography. En: Ann. Oper. 1996. No. 63. p. 268-308.

se pueden adaptar de forma relativamente sencilla, realizando pequeñas modificaciones sobre la Metaheurística base.

Existen una gran variedad de metaheurísticas, en su mayoría basadas en analogías de la naturaleza, entre las cuales se encuentra el Recocido Simulado, la Búsqueda Tabú, Algoritmo Genético, Sistemas Inmune Artificiales, optimización por Colonia De Hormigas, optimización por Enjambre De Partículas, Evolución Diferencial, entre otras.

### 5.1.2 Algoritmo genético (AG).

Los algoritmos genéticos son métodos adaptativos, usados por lo general en problemas de búsqueda y optimización, estos se basan en la reproducción sexual y en el principio de supervivencia del más apto<sup>14</sup>.

El desarrollo de los algoritmo genéticos se debe en gran medida a las investigaciones realizas por John Holland, investigador de la universidad de Michigan. Éste desarrollo en la década de 1960 una técnica que imitaba en su funcionamiento a la selección natural de las especies. Inicialmente esta técnica tomo el nombre de *planes reproductivos*, sin embargo, con la aparición del libro “*Adaptation In Natural And Artifial Systems*” escrito por el mismo Holland<sup>15</sup>, se popularizo el nombre de algoritmo genético.

Una de las definiciones más aceptadas es la dada por Goldberg, “*Algoritmos de búsqueda basados en los mecanismos de selección natural y genética natural. Combinan la supervivencia de los más compatibles entre las estructuras de cadenas, con una estructura de información ya aleatorizada, intercambiada para construir un algoritmo de búsqueda con algunas de las capacidades de innovación de la búsqueda humana*”<sup>16</sup>.

---

<sup>14</sup>GESTAL POSE, Marcos. Introducción a los algoritmos genéticos. España: Universidad de la Coruña. Dpto. tecnologías de la información y comunicación. p. 2.

<sup>15</sup>Holland, J. H. *Adaptation in Natural and Artificial Systems*. Michigan: Universidad de Michigan. 1992.

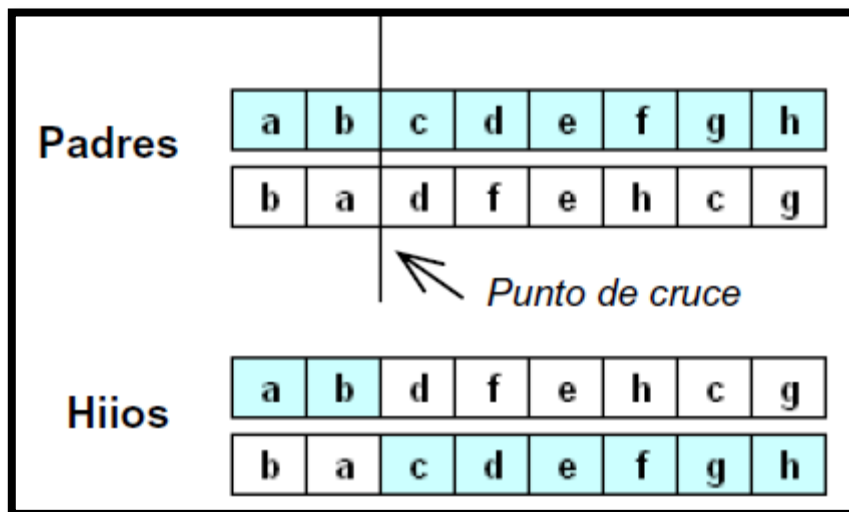
<sup>16</sup>GOLDBERG, D.E. *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*. Addison-Wesley. 1989.



Los algoritmos genéticos operan sobre una población o conjunto de soluciones de la problemática planteada, estas soluciones son representadas mediante cadenas por lo regular de tipo binario, aunque también pueden ser secuencias de tipo real. En la ejecución, el algoritmo realiza operaciones sobre los individuos (soluciones) de la población, y preserva aquellos de mayor aptitud para las siguientes generaciones, mientras que los de menor aptitud van desapareciendo al transcurrir la ejecución. Entre las operaciones más comunes que se realizan los individuos de la población se encuentran la selección, cruce, mutación:

- ✓ Selección: Esta fase se encarga de seleccionar los individuos o soluciones que tendrán la oportunidad de reproducirse.
- ✓ Cruce: Operación por medio de la cual se producen nuevos descendientes a partir de dos cromosomas padre seleccionados al azar.
- ✓ Mutación: En esta operación se seleccionan al azar y se cambian uno o más genes en el cromosoma, esta operación ocurre con probabilidades muy bajas.

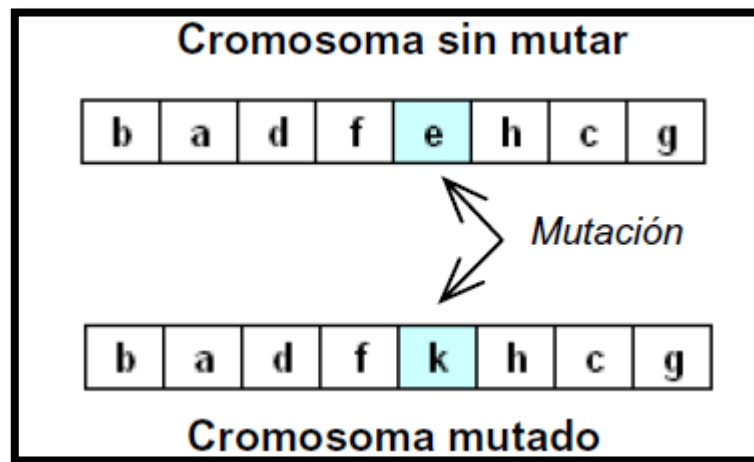
Figura 2. Operador de cruce básico.



Fuente: VELEZ, Mario y MONTOYA, JOSÉ.

Se debe tener en cuenta que para cada operador (selección, cruce, mutación) existen diferentes mecanismos de implementación, por lo cual se deberá determinar en el transcurso de la investigación cuál de las opciones expuestas en la literatura se implementara en la construcción del algoritmo genético.

Figura 3. Operador de mutación básico.



Fuente: VELEZ, Mario y MONTOYA, JOSÉ.

### 5.1.3 Problemas de empaquetamiento.

Los problemas de empaquetamiento son en su forma más básica, la búsqueda de mecanismos por los cuales se pueden distribuir de forma adecuada unos elementos (piezas) dentro de otro de mayor tamaño (lamina), con el fin de poder ingresar el mayor número de elementos dentro del objeto de mayor tamaño. Los problemas de empaquetamiento han sido ampliamente estudiados a lo largo del tiempo, debido a su gran aplicabilidad en las diferentes industrias, en especial en aquellas que requiera del proceso de corte para la transformación de sus materias primas. Estas industrias necesitan herramientas que le den solución a dicho problema y puedan ser

aplicadas en el corte de materiales como el metal, madera, vidrio, plástico, papel, pieles, entre otras<sup>17</sup>.

#### 5.1.4 Problemas de empaquetamiento más comunes

En la literatura existe una gran variedad de problemas de empaquetamiento, entre los que se distinguen 3 de estos, el empaquetamiento óptimo en placas (2D-BPP) del inglés *two-dimensional bin packing problem*, el de corte óptimo en una sola placa (2D-CSP) del inglés *two dimensional cutting stock problem* y el empaquetamiento óptimo en rollos (2D-SPP) del inglés *two-dimensional strip packing problem*. El primero (2D-BPP) de estos 3 problemas, consiste en un conjunto de piezas que deben ser ubicados en áreas rectangulares llamadas placas con anchos y largos definidos, el objetivo es encontrar el número mínimo de placas necesarias de forma tal que la totalidad de las piezas sean ubicadas, sin sobreponer las piezas y sin sobrepasar los límites de las placas. El segundo (2D-CSP) de los problemas consiste, en un conjunto de piezas que deben ser cortados en un área rectangular llamada placa con un ancho y largo definido, el objetivo es encontrar la ubicación de las piezas en la placa para ser cortadas, minimizando el espacio desperdiciado de la placa, sin sobreponer las piezas y sin sobrepasar los límites de la placa. Por último, el tercero (2D-SPP) de estos 3 problemas, consiste en un conjunto de rectángulos que deben ser ubicados en un área rectangular llamada rollo con un ancho definido y un largo que se supone infinito, el objetivo es encontrar el largo mínimo del rollo de forma tal que la totalidad de las piezas sean ubicadas en el rollo, sin sobreponer las piezas y sin sobrepasar los límites del rollo.

##### 5.1.4.1 Complejidad computacional

Los problemas de empaquetamiento, inclusive los 3 mencionados anteriormente, tienen la característica de poseer un gran espacio de solución factible, lo que dificulta la búsqueda de una solución óptima, por lo cual, los

---

<sup>17</sup> ALVAREZ. Op. cit., p. 13.

problemas de empaquetamiento son considerados *NP-Hard*<sup>18 19</sup>, demostrado en el caso especial en el que los elementos (piezas) tiene la misma longitud y diferente altura, y cuyo objetivo es distribuirlos en el material de mayor tamaño en una sola dimensión, este problema también es conocido como (1D-BPP) *one dimensional bin packing*.

#### 5.1.4.2 Clasificación.

Como se mencionó anteriormente existe una gran variedad de problemas de empaquetamiento en la literatura, estos se han estudiado desde hace mucho tiempo. Se pueden presentar obstáculos para el estudio de un tipo de problema en particular, sino no se tiene plenamente identificado a que tipo corresponde, Dyckhoff<sup>20</sup> presenta una propuesta de clasificación de los problemas de empaquetamiento basado en sus características comunes, permitiendo segregar el problema de investigación de los demás problemas de empaquetamiento. Para la clasificación propuesta por Dyckhoff, este explica de forma detallada en qué consisten los problemas de corte y empaquetamiento, en donde existen dos elementos principales, los ítems (que serán llamados piezas o elementos a lo largo de este documento) y los objetos de mayor tamaño (que se denominaran láminas), en donde objetivo principal del problema, es distribuir los ítems dentro de los objetos de mayor tamaño de forma eficiente. A continuación se presenta la clasificación propuesta por Dyckhoff (las 4 primeras clasificaciones), complementada con las clasificaciones hechas por Lodi<sup>21</sup> permitiendo particularizar mejor la problemática de investigación:

---

<sup>18</sup>GAREY, M. y JOHNSON, D. Computers and Intractability: A Guide to the Theory of NP-Completeness. Primera Edición. San Francisco: W. H. Freeman, 1979. 340 paginas. 978-0716710455.

<sup>19</sup>MARTELLO, S. y VIGO, D. An exact approach to the strip-packing problem. En: INFORMS Journal on Computing. Septiembre, 2003. Vol. 15, No. 3. p. 310-319.

<sup>20</sup>DYCKHOFF H. A typology of cutting and packing problems. En: European Journal of Operational Research. 1990. Vol. 44. p. 145-160.

<sup>21</sup>LODI A, MARTELLO S, y VIGO D. *Heuristic and metaheuristic approaches for a class of two-dimensional bin packing problems*. En: INFORMS J. Comput. 1999. Vol. 11. p. 345-357.

- a) **Dimensionalidad:** la característica más importante, define el número mínimo de dimensiones necesarias para describir la geometría de la disposición de los ítems en los objetos.
- ✓ Unidimensional
  - ✓ Bidimensional
  - ✓ Tridimensional
  - ✓ Multidimensional con  $N > 3$
- b) **Clase de asignación:** disponibilidad tanto de los ítems como de los objetos.
- ✓ Todos los objetos y una selección de ítems
  - ✓ Una selección de objetos y todos los ítems
- c) **Surtido de los objetos:** número de diferentes formas de los objetos.
- ✓ Un objeto
  - ✓ Figuras idénticas
  - ✓ Diferentes figuras
- d) **Surtido de los ítems:** número de diferentes formas de los objetos.
- ✓ Pocos ítems (de diferentes figuras)
  - ✓ Muchos ítems de muchas diferentes figuras
  - ✓ Muchos ítems de relativamente pocas diferentes figuras (no-congruentes)
  - ✓ Figuras congruentes
- e) **Restricciones inherentes al patrón de corte:** tipos de corte, separación entre los cortes.
- ✓ Exclusivamente cortes tipo guillotina
  - ✓ No requiere cortes tipo no guillotina
- f) **Restricciones inherentes a la orientación de las piezas:** posibilidad de que las piezas puedan rotar  $90^\circ$  o no.

- ✓ Las piezas pueden rotar  $90^\circ$
- ✓ Las piezas no pueden rotar  $90^\circ$

g) **Valores de las piezas:** beneficio que ofrece empacar una determinada pieza.

- ✓ Ítems con valores de beneficio diferente a su área (weighted)
- ✓ Ítems con valores de beneficio igual a su área (un-weighted)

h) **Demanda de las piezas**

- ✓ Piezas con límite máximo de corte
- ✓ Piezas sin límite de corte (infinito)

i) **Forma de las piezas**

- ✓ Ítems con forma regular (rectángulos, círculos, cubos, esferas, cilindros, etc.)
- ✓ Ítems con forma irregular

### 5.1.5 Ingeniería de software.

La ingeniería de software es una disciplina de ingeniería que comprende todos los aspectos de la producción de software desde las etapas iniciales de la especificación del sistema, pasando por todas las etapas de construcción, hasta el mantenimiento de este después de que se utiliza<sup>22</sup>.

Se considera una disciplina de ingeniera debido a que en esta se utilizan teorías, métodos, herramientas donde sean convenientes, pero estas se utilizan de forma selectiva, tratando siempre de descubrir soluciones a los diferentes problemas que se puedan presentar, al igual que en las demás ingenieras. Los ingenieros de software deben trabajar con restricciones tanto financieras como organizacionales, por lo que deben buscar soluciones teniendo en cuenta las restricciones.

Es importante destacar que la ingeniería de software no solo comprende los aspectos técnicos de la construcción de software, además se refiere a las actividades relacionadas con la gestión de proyectos y el desarrollo de herramientas, métodos y teorías de apoyo a la producción de software.

Por otro lado, se debe tener en cuenta el concepto de proceso de software o metodología, un proceso de software es un conjunto de actividades que conducen a la creación de un producto de software. Estas actividades pueden consistir en el desarrollo de software desde cero en un lenguaje de programación como Java (caso particular del presente proyecto de investigación) o C. En otros casos estas actividades se pueden referir a la ampliación de modificación de sistemas existentes.

---

<sup>22</sup>SOMMERVILLE, Ian. Ingeniería del software. Séptima Edición. México D.F.: Pearson Addisen Wesley, 2006. p 6. ISBN 84-7829-074-5.

Aunque existen muchos procesos diferentes de software, algunas actividades fundamentales son comunes para todos ellos, tal como lo indica Somerville<sup>23</sup>:

- ✓ *Especificación del software*: Se debe definir la funcionalidad del software y las restricciones en su operación.
- ✓ *Diseño e implementación del software*: Se debe producir software que cumpla su especificación.
- ✓ *Validación del software*: Se debe validar el software para asegurarse que hace lo que el cliente desea.
- ✓ *Evolución del software*: El software debe evolucionar para cubrir las necesidades cambiantes del cliente.

#### 5.1.6 Programación orientada a objetos.

La Programación Orientada a Objetos es un paradigma de programación, que usa Objetos y sus relaciones, para diseñar aplicaciones y programas informáticos. Es fundamentada en varias técnicas, dentro de las que se destacan la herencia, la abstracción, el encapsulamiento y el polimorfismo, a continuación se presenta una breve explicación de cada una de estas:

- ✓ *Herencia*: Es la facilidad mediante la cual una clase hereda cada uno de los atributos y operaciones de otra clase, como si esos atributos y operaciones hubiesen sido definidos por la misma.
- ✓ *Abstracción*: Denota las características esenciales de un objeto, donde se capturan sus comportamientos. Cada objetos en el sistema sirve como modelo de un agente abstracto que puede realizar trabajo, informar y cambiar su estado, y comunicarse con otros objetos en el sistema sin revelar como se implementan estas características.

---

<sup>23</sup>Ibid., p. 75.



- ✓ *Encapsulamiento*: Significa reunir todos los elementos que puedan considerarse pertenecientes a una misma entidad, al mismo nivel de abstracción. Esto permite aumentar la cohesión de los componentes del sistema.
  
- ✓ *Polimorfismo*: comportamientos diferentes, asociados a objetos distintos, pueden compartir el mismo nombre, al llamarlos por ese nombre se utilizara el comportamiento correspondiente al objeto que se esté usando.

La Programación Orientada a Objetos (POO) encapsula datos (atributos) y métodos (comportamientos) dentro de los objetos, estos tienen la propiedad de ocultar la información. Esto quiere decir que aunque los objetos pueden saber como comunicarse entre si mediante interfaces bien definidas, por lo general a los objetos no se les permite saber como se implementan otros objetos, los detalles de implementación están ocultos dentro de los mismos objetos<sup>24</sup>.

#### 5.1.7 Arquitecturas de software.

Los sistemas de información se descomponen en subsistemas que proporcionan algún conjunto de servicios relacionados. El proceso de diseño inicial que identifica estos subsistemas y establece un marco para el control y comunicación de los subsistemas se llama diseño arquitectónico. El resultado de este proceso de diseño es una descripción de la arquitectura de software<sup>25</sup>.

Numerosos autores consideran que la arquitectura de software es la estructura del sistema, que esta constituida de componentes que nacen de la

---

<sup>24</sup>DEITEL, Harvey y DEITEL, Paul. Como Programar en C/C++ y Java. Cuarta edición. México: Person Educacion, 2004. 1152 páginas. ISBN 970-26-0531-8.

<sup>25</sup>SOMMERVILLE.

noción de abstracción, cumpliendo funciones específicas, e interactuando entre sí con un comportamiento definido.

La arquitectura de software puede considerarse entonces como el puente entre los requerimientos del sistema y la implementación<sup>26</sup>. Las actividades que culminan en la definición de la arquitectura pueden ubicarse en las fases tempranas del ciclo de desarrollo del sistema: luego del análisis de los requerimientos y el análisis de riesgos, y justo antes del diseño detallado. Desde esta perspectiva, la arquitectura constituye un artefacto de la actividad de diseño, que servirá de medio de comunicación entre los miembros del equipo de desarrollo, los clientes y usuarios finales, dado que contempla los aspectos que interesan a cada uno.

Bass<sup>27</sup> señala 3 ventajas de diseñar explícitamente y documentar la arquitectura del sistema:

- ✓ *Comunicación con las partes interesadas:* La arquitectura constituye una presentación de alto nivel del sistema que puede usarse como punto de discusión por varias partes interesadas.
- ✓ *Análisis del sistema:* Hacer explícitamente la arquitectura del sistema en una etapa temprana del desarrollo del sistema requiere realizar algún análisis. Las decisiones de diseño arquitectónico tienen un gran efecto sobre si el sistema puede cumplir los requerimientos críticos.
- ✓ *Reutilización a gran escala:* Un modelo de arquitectura del sistema es una descripción compacta y manejable de cómo se organiza un sistema y cómo interoperan sus componentes, permitiendo reutilizar componentes en sistemas con requerimientos similares.

---

<sup>27</sup>BASS, Len y CLEMENTS, Paul Software architecture in practice. Segunda Edición. México D.F.: Addison-Wesley Professional, 2003. p 6. ISBN978-0201199307.

Generalmente no es necesario, inventar una arquitectura para cada nuevo sistema de información que se desea construir, lo recomendable es utilizar arquitecturas existentes, entre las más comunes se encuentran las siguientes:

- ✓ Arquitectura monolítica: esta estructura se caracteriza por tener los grupos funcionales muy acoplados. Los servicios de presentación, lógica y persistencia se encuentran en la misma maquina.
- ✓ Arquitectura cliente-servidor: en esta el software reparte su carga de cómputo en dos partes independientes, pero sin una claridad en dicho reparto.
- ✓ Arquitectura de tres niveles: es una especialización de la arquitectura cliente-servidor donde la carga se divide en 3 capas, con un reparto claro de funciones: una capa de presentación, otra para el modelado de negocio, y la ultima encargada de la persistencia.

## 5.2 ANTECEDENTES.

Para la dar solución a los problemas de empaquetamiento se encuentran una gran variedad de técnicas, pertenecientes ya sea al grupo que arrojan resultados exactos, o al grupo de técnicas que se fundamentan en las probabilidades (técnicas Heurísticas y Metaheurísticas), arrojando buenas soluciones (no necesariamente las soluciones optimas), pero en tiempos computacionalmente razonables. En la presente sección se realizara una revisión de las investigaciones previamente realizadas en este campo de investigación, buscando establecer bases teóricas para el presente proyecto de investigación.

En 1966 Gilmore y Gomory<sup>28</sup> proponen un algoritmo exacto para la solución de problemas de empaquetamiento, más específicamente para la solución del problema del corte óptimo en una sola placa (CSP) del inglés *two dimensional cutting stock problem*, mientras en 1977 Christofides y Withlock<sup>29</sup> proponen por su parte un algoritmo de búsqueda en árbol fundamentado en el algoritmo de Gilmore y Gomory. En 1983 Wang<sup>30</sup> presenta un algoritmo de desarrollo incremental también para el problema del empaquetamiento óptimo en una sola placa (CSP), algoritmo que fue mejorado por Vasko<sup>31</sup> en 1989, al igual que por Oliveira y Ferreira<sup>32</sup> en 1990. En 1998 Martello y Vigo<sup>33</sup> también proponen un algoritmo exacto en este caso para la solución del problema del empaquetamiento óptimo en placas (2D-BPP) del inglés *two-dimensional bin packing problem*, cuyos resultados comparan con los resultados óptimos arrojados por el algoritmo branch-and-bound. En 2000 Martello y Vigo<sup>34</sup> extienden el trabajo realizado en 1998 para problemas de empaquetamiento óptimo en placas (2D-BPP) a problemas de empaquetamiento óptimo en contenedores (3D-BPP), realizando una definición preliminar del problema con programación lineal entera.

---

<sup>28</sup>GILMORE, P. y GOMORY, R. *The theory and computation of knap sack functions* [La teoría y el cálculo de las funciones del problema de la mochila]. En: *Operations Research*. Marzo, 1966. Vol. 17. p. 1045-1074.

<sup>29</sup>CHRISTOFIDES, N. y WHITLOCK, A.. *An algorithm for two dimensional cutting problems* [Un algoritmo para problemas de corte de 2 dimensiones]. En: *Operational Research*. Enero, 1977. Vol. 25, No. 3. p. 30-44.

<sup>30</sup>WANG, P. *Two algorithms for constrained two dimensional cutting stock problems* [Dos algoritmo para limitados problemas de corte en dos dimensiones]. En: *Operational Research*. Enero, 1983. Vol. 31, p. 573-586.

<sup>31</sup>VASKO, F. *Computational improvement to Wang's two-dimensional cutting stock algorithm* [Mejoras computacionales al algoritmo de corte en dos dimensiones de Wang's]. En: *Computers and Industrial Engineering*. Enero, 1989. Vol. 16, p. 109-115.

<sup>32</sup>OLIVEIRA, Jose y FERREIRA, Jose. *An improved version of Wang's algorithm for two - dimensional Cutting Problems* [Una versión mejorada del algoritmo de Wang's para problemas de corte en dos dimensiones]. En: *European Journal Operations Research*. Febrero, 1990. Vol. 44, p. 256-266.

<sup>33</sup>MARTELLO, Silvano y VIGO, Daniele *.Exact Solution of the Two-Dimensional Finite Bin Packing Problem* [Solución exacto del problema de empaquetamiento optimo en placas en dos dimensiones]. En: *Management Science*. Marzo, 1998. Vol. 44, No. 3. p. 388-399.

<sup>34</sup>MARTELLO, Silvano y VIGO, Daniele. *The Three Dimensional Bin Packing Problem* [El problema de empaquetamiento en contenedores]. En: *Operations Research*. Marzo, 2000. Vol. 48, No. 2. p. 256-267.

Hasta el momento se han mencionados diferentes investigaciones realizadas a través del tiempo de problemas de empaquetamiento, todos estos resueltos mediante la utilización de algoritmo exactos. La utilización de técnicas aproximadas para la solución de problemas de empaquetamiento es mas común que la utilización de algoritmo exactos, esto debido a la complejidad computacional (ver sección 5.1.4.1) que poseen este tipo de problemas. A continuación se revisaran las investigaciones realizadas utilizando métodos aproximados para solucionar los problemas de empaquetamiento.

Primero se presentara la utilización del Recocido simulado para la solución del problemas de empaquetamiento, en 1993 Dowsland<sup>35</sup> presenta una variedad de experimentos en donde demuestra la efectividad de la utilización del Recocido Simulado para la solución de problemas de empaquetamiento, esta utiliza una búsqueda local con una estructura de vecindario en donde ubica las piezas de forma aleatoria para luego realizar intercambios. En 1998 Parada<sup>36</sup> al igual que Dowsland propone una solución al problema de empaquetamiento con un algoritmo de Recocido Simulado, este utiliza una codificación de árbol binario, facilitando la solución aleatoria de soluciones dentro del espacio de soluciones. En 2009 Álvarez<sup>37</sup> presenta un algoritmo híbrido (una combinación de un algoritmo de Recocido Simulado con un algoritmo de Búsqueda en Vecindario Variable) para la solución de un problema de empaquetamiento en placas, que es el resultado de realizar cortes al problema de empaquetamiento en rollos, finalmente realiza una

---

<sup>35</sup>DOWSLAND, Kathryn. *Some experiments with simulated annealing techniques for packing problems*[Algunas experiencias con técnicas de Recocido Simulado para problemas de empaquetamiento]. En: European Journal of Operational Research. Junio, 1993.Vol. 68, No. 3. p. 389-399.

<sup>36</sup>PARADA, Victor. *Solution for the Constrained Guillotine Cutting Problem by Simulated Annealing* [Solución del problema de corte con la restricción de guillotina mediante Recocido Simulado].En: Journal on Computers and Operations Research. Enero, 1998.Vol. 25, No. 1. p. 37-47.

<sup>37</sup>ÁLVAREZ, David y TORO, Eliana. *A hybrid algorithm for the two-dimensional strip packing problem*[solución al problema de empaquetamiento óptimo bidimensional en rollos infinitos usando un algoritmo híbrido]. En: Scientia et Technica. Junio, 2009. Vol. 15, No. 42. p. 205-210.

verificación de las bondades del método construido, evaluándolo con 34 casos de estudios, logrando mejoras en la mayoría de estos.

Por otro lado se revisaran las investigaciones en las cuales se utilizaron como método de solución un Algoritmo Genético (AG). En 2001 Leung<sup>38</sup> utiliza un algoritmo evolutivo para preservar las mejores soluciones encontradas por un algoritmo de Recocido Simulado propuesto por Lai y Chan<sup>39</sup> anteriormente. En 2003 Beasley presenta una solución con la utilización de Algoritmo Genéticos, basado en una nueva formulación no-lineal del problema. En 2003 Pasha<sup>40</sup> también utiliza AG para la solución de problema, con el valor agregado que en este caso se trata de la distribución de figuras irregulares en placas. En 2006 Binkley y Hagiwara<sup>41</sup> describen para el problema la heurística de las 4 esquinas en conjunto con un algoritmo genético auto-adaptativo, que por definición busca por sí mismo los parámetros adecuados para encontrar las mejores soluciones al problema. En 2008 Lee LaiSoon<sup>42</sup> al igual que los anteriores utiliza un AG para la solución del problema, cuya mayor innovación radica en la utilización de un operador de cruzamiento que permite generar varios hijos a partir de una pareja de padres, pasando el algoritmo a tomar el nombre de Algoritmo

---

<sup>38</sup>LEUNG T. Y YUNG C. *Applications of genetic search and simulated annealing to the two-dimensional non-guillotine cutting stock problem* [Aplicaciones de Algoritmo Genéticos y Recocido Simulado para el problema de empaquetamiento óptimo en una placa en dos dimensiones]. En: *Computers and Industrial Engineering*. Julio, 2001. Vol. 40. p. 201-214.

<sup>39</sup>LAI, K y CHAN, J. A evolutionary algorithm for the rectangular cutting stock problem [Un algoritmo evolutivo para el problema de empaquetamiento óptimo de rectángulos en una placa]. En: *International Journal of Industrial Engineering*. Julio, 1997. Vol. 4. p. 130-139.

<sup>40</sup>PASHA, Arfath. Geometric bin packing algorithm for arbitrary shapes [Problemas de empaquetamiento óptimo en placas para formas irregulares]. Trabajo de grado magíster en ciencias. Gainesville: Universidad Florida. 2003. 99 P.

<sup>41</sup>BINKLEY, Kevin y HAGIWARA, Masafumi. *Applying self-adaptive evolutionary algorithms to two-dimensional packing problems using a four corners*[Aplicación de algoritmos evolutivos auto-adaptativos en problemas de empaquetamiento en placas usando las 4 esquinas]. En: *European Journal of Operational Research*. Diciembre, 2006. Vol. 183. p. 1230-1248.

<sup>42</sup>LAI, Lee. *A Genetic Algorithm for Two-Dimensional Bin Packing Problem*[Un Algoritmo Genético para el problema de empaquetamiento en placas]. En: *Research Bulletin of Institute for Mathematical Research*. p.34 -39.

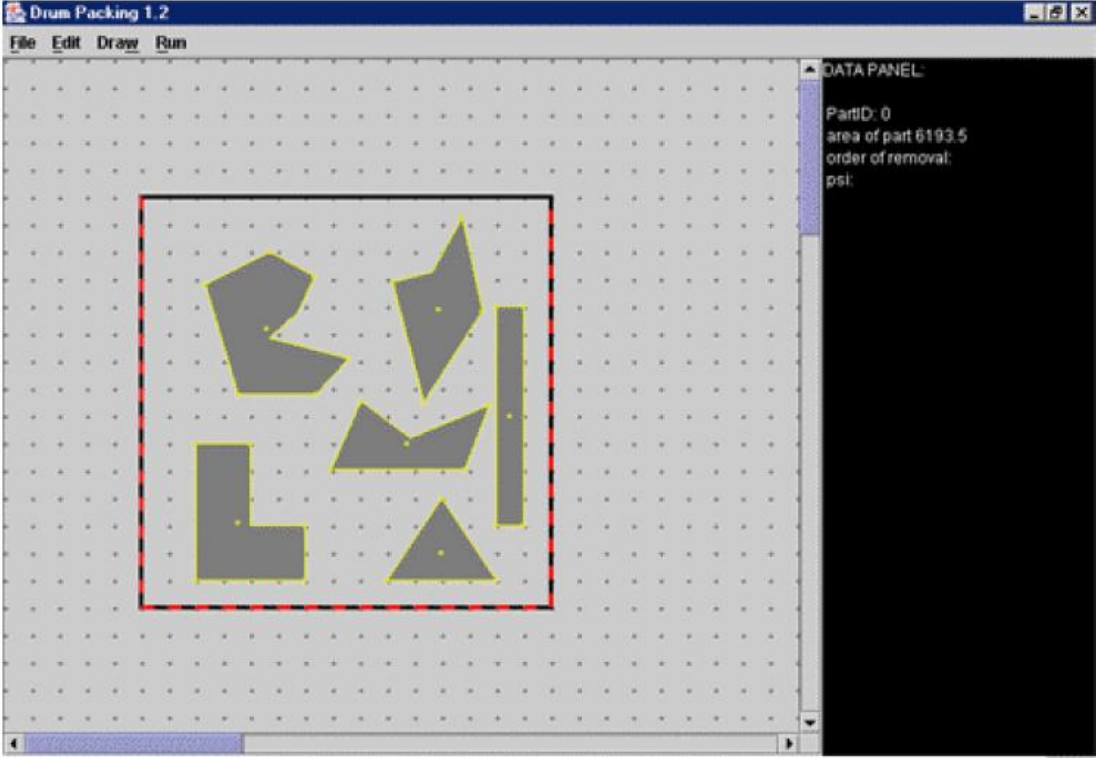
genético con cruzamiento múltiple del inglés *Multi Crossover Genetic Algorithm*.

Es importante destacar que en su mayoría las investigaciones que se han presentado hasta el momento se refieren solo a la distribución de piezas de forma rectangular en láminas también de forma rectangular, sin embargo, en la mayoría de las industrias las piezas no tiene forma rectangular, ni siquiera forma regular, a continuación se presentan las investigaciones que se han realizado del problema de empaquetamiento con la utilización de figuras irregulares. En 1980 Albano<sup>43</sup> realiza una de las primeras investigaciones relacionadas con el problema, en donde se aceptan piezas con forma regular o irregular, este utiliza una heurística como método de búsqueda. En 1996 Cagan y en 1997 Mcgee buscan solucionar el problema de empaquetamiento optimo en contenedores permitiendo la utilización de piezas con formas irregulares. Finalmente en 2003 Pasha presentan de los trabajos más destacados, utilizando un Algoritmo Genético y un algoritmo de Recocido simulado para la solución del problema, este también presenta una herramienta (ver Figura 4) en donde se pueden probar los métodos de búsqueda construidos.

---

<sup>43</sup>ALBANO, Antonio y SAPUPPO, Giuseppe. *Optimal Allocation of Two Dimensional Irregular Shapes Using Heuristic Search Methods* [Asignación óptima de piezas irregulares en dos dimensiones utilizando Heurísticas de búsquedas]. En: Systems, Man and Cybernetics, IEEE Transactions on. Mayo, 1980. Vol. 10, No. 5. p. 242-248.

Figura 4. Herramienta para la distribución de piezas con formas regulares o irregulares en una lamina



Fuente: ArfathPasha<sup>44</sup>.

<sup>44</sup>PASHA.Op. cit., p. 83.



## 6 DIAGNOSTICO

### 6.1 GENERALIDADES DE LA EMPRESA

#### 6.1.1 Misión

*“Somos una empresa dedicada a la fabricación de productos en madera, que se preocupa para que cumplan con los más altos estándares de calidad, buscando el mayor nivel de satisfacción de sus clientes, apoyándonos en los principios de honestidad, responsabilidad y cumplimiento para elaborar con precisión, exactitud y puntualidad nuestros pedidos con base en las exigencias de nuestros clientes”.*

#### 6.1.2 Visión.

*“La empresa FERROCARPINTERIA FORMAR se proyecta a ser la mejor opción a través del diseño y elaboración de productos modernos y funcionales que buscan dar respuesta a las necesidades y gustos de los clientes más exigente, y ser reconocida en el mercado por ofrecer buenos productos y a los mejores precios”.*

#### 6.1.3 Reseña histórica.

FERROCARPINTERIA FORMAR es una empresa que con el pasar del tiempo ha sufrido varios cambios de propietarios, pese a esto siempre ha mantenido la misma razón social. En el año 1996 fue fundada como una empresa dedicada a la fabricación de productos en madera, con un nombre diferente al que tiene en la actualidad, cuyos fundadores fueron una sociedad entre familiares. Esta empresa fue constituida con el objetivo de generar empleo a la familia y satisfacer las necesidades de los consumidores de este mercado, fabricando principalmente muebles, puertas y cocinas integrales. La empresa fue registrada en la cámara de comercio como “FORMAR”. Esta sociedad tenía como socio capitalista a Justo Padilla Barros y como socio operativo Walfran Villarreal (primo). La sociedad fue disuelta por problemas

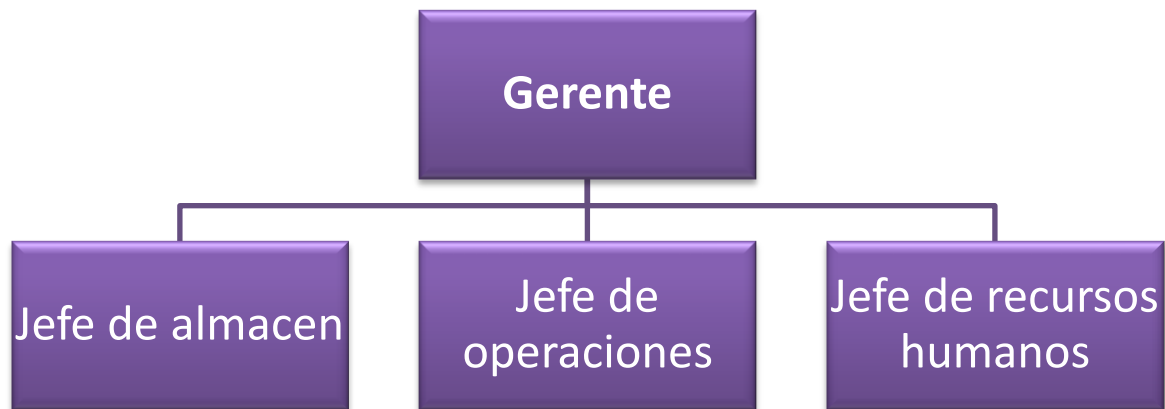
personales y diferencias de intereses entre socios, pero la empresa se mantuvo al conseguirse un nuevo socio operativo: Campo Elías Mieles y se cambió el nombre de la empresa a “FORMAS Y DISEÑOS”, manteniendo la misma línea de producción.

Tiempo más tarde la sociedad con el socio operativo se disolvió quedando dos empresas por separado, en el año 2004: “SERVICARPINTERIA” y “FERROCARPINTERIA FORMAR”. Actualmente “FERROCARPINTERIA FORMAR”, tiene su local propio con un espacio de 500 mts cuadrados y se encuentra ubicada en la carretera a Mamonal diagonal 29 D # 56-63 manzana B lote 11B.

#### 6.1.4 Organigrama

El organigrama de la empresa FERROCARPINTERIA FORMAR se muestra a continuación:

Figura 5. Organigrama de la empresa FERROCARPINTERIA FORMAR



**Fuente:** Elaboración propia.

La empresa FERROCARPINTERIA FORMAR, maneja cuatro procesos fundamentales, los cuales son: el proceso administrativo, procesos de

recepción de materiales y manejo de inventario, el proceso de fabricación, y el proceso de manejo de personal.

## 6.2 DESCRIPCIÓN DE LOS RECURSOS

### 6.2.1 Recursos Humanos.

La empresa FERROCARPINTERIA FORMAR se encuentra conformada por un total de 22 trabajadores. 18 trabajadores operativos y 4 administrativos. Observe la distribución de cada uno en las siguientes tablas, en la Tabla 1 personal administrativo, y en la Tabla 2 personal operativo.

Tabla 1. Recursos humanos administrativos

Cargo	Hombre	Mujer	Total
<b>Gerente general y jefe de recursos humanos</b>	1	0	1
<b>Jefe De Producción</b>	1	0	1
<b>Total administrativos</b>	2	0	2

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2. Recursos humanos operativos.

Cargos	Hombre	Mujer	Total
Pintores	6	0	6
Carpinteros	5	0	5
Ayudantes	4	0	4
Tapiceros	1	0	1
Almacenista	1	0	1
<b>Total operativos</b>	<b>17</b>	<b>0</b>	<b>17</b>

Fuente: Elaboración propia.

## 6.2.2 Recursos Físicos

### 6.2.2.1 Maquinaria industrial.

FERROCARPINTERIA FORMAR cuenta con nueve (9) máquinas industriales con las que realiza los procesos de alistamiento, preparado y moldeado de la madera, estas son descritas a continuación (ver imágenes en el Anexo 1):

- ✓ **Canteadora:** Esta máquina es utilizada para obtener superficies planas en los cantos y caras a trabajar y de esta forma lograr un ángulo recto en dos caras adyacentes.
- ✓ **Sierra circular:** Esta máquina está compuesta por una hoja de disco montada encima del tablero de la mesa, esta máquina es utilizada para cortar piezas grandes de madera en partes más pequeñas. La empresa posee dos sierras circulares una para realizar cortes a materia prima pesada, como es la madera, y la sierra circular liviana para realizar corte a materiales.
- ✓ **Sierra sin fin:** Máquina que al igual que las otras sierras sirve para realizar cortes, pero con la diferencia que es utilizada para hacer cortes sinuosos o de rodeado y aserrados diversos, rectos, cilíndricos o transversales.
- ✓ **Cepillo:** La principal funcionalidad de esta máquina es realizar cepillado a la pieza de madera para conseguir un espesor uniforme y adecuado para el trabajo a realizar. Para este efecto la pieza debe estar lisa y previamente plana en cada una de sus caras.
- ✓ **Trompo:** Es una máquina utilizada en una gran variedad de trabajados como traslapos, cavas, machihembrados, y molduras;

gracias a la sencillez de su montaje y a la fácil regulación de las de las herramientas que pueden fijarse a ella.

- ✓ **Taladro de columna:** Es un taladro estacionario con movimiento vertical y mesa para sujetar el objeto a taladrar. La principal ventaja de este taladro es la absoluta precisión del orificio y el ajuste de la profundidad. La empresa cuenta con un (1) taladro de este tipo.

#### 6.2.2.2 Maquinaria manual.

Las maquinas manuales son utilizadas para facilitar el acabado de las piezas del producto que se va a ensamblar. La empresa posee 21 máquinas manuales, entre las cuales se encuentran (ver Anexo 2):

- ✓ **Compresor:** Un compresor es una máquina de fluido que está construida para aumentar la presión y desplazar cierto tipo de fluidos llamados compresibles, tal como lo son los gases y los vapores. Esto se realiza a través de un intercambio de energía entre la máquina y el fluido en el cual el trabajo ejercido por el compresor es transferido a la sustancia que pasa por él convirtiéndose en energía de flujo, aumentando su presión y energía cinética impulsándola a fluir. Esta máquina es utilizada para el proceso de pintura.
- ✓ **Taladro:** El taladro es una maquina manual que permite hacer agujeros en superficies, la empresa actualmente cuenta con seis (6) taladros eléctricos.
- ✓ **Sierra caladora:** La máquina sierra caladora es una maquina eléctrica manual, que permite realizar cortes y moldes internos en la madera. El tipo de corte de la sierra caladora está dado por el tipo de hoja que se

emplee. Las de dientes grandes dan un corte alternado, sirven para maderas y derivados, en tablas de hasta 60mm.

- ✓ **Ruteadora:** Sirve para copiar piezas, con una calidad de corte excelente siempre que se cuente con una buena Ruteadora y una fresa bien afilada. La empresa cuenta con dos (2) Ruteadora manuales.
- ✓ **Sierra circular manual:** Máquina compuesta de una hoja circular de bordes cortantes. Cortar tableros, maderas, plásticos. Permite variar la profundidad e inclinación del corte. La empresa cuenta con tres (3) herramientas manuales de este tipo.
- ✓ **Lijadora manual:** Herramienta con una cuchilla giratoria de profundidad de corte regulable. Acabados de buena calidad, levanta finas capas de madera, dejando superficies lisas y brillantes. En la empresa existe una (1) lijadora manual.
- ✓ **Pulidora:** Las pulidoras eléctricas son máquinas para pulir madera, que ayuda a conseguir superficies planas y lisas antes de realizar el proceso de pintados.
- ✓ **Engrapadora industrial:** Esta herramienta es utilizada para unir dos láminas de madera, papel, tela, entre otros, colocando una grapa a través de los elementos que se unen.
- ✓ **Esmeril:** Se utiliza para afilar las herramientas de taller y también para desbarbar piezas pequeñas. Generalmente lleva fijadas en cada extremidad del eje motor dos muelas o dos herramientas abrasivas.

#### 6.2.2.3 Herramientas manuales.

Las herramientas manuales son utilizadas para darle el acabado inicial a los productos fabricados; esto se utiliza en actividades donde las máquinas no pueden desempeñarse bien, ya que al utilizarla pueden dañar el acabado del producto, en la empresa se cuenta con herramientas tales como: martillo, destornillador, compas, formón, cepillo de madera manual (ver Anexo 2).

#### 6.2.2.4 Materiales.

- ✓ **Materia prima:** La materia prima utilizada por la empresa para la fabricación de los diferentes productos es la madera, siendo las más comunes el roble, cedro, pino, ceiba, teka y abarco. Como otra materia prima encontramos a las maderas prensadas, como lo son el Triplex, MDF, Table.
  
- ✓ **Insumos:** Para la elaboración de los diferentes productos que ofrece la empresa, es necesario la adquisición de los siguientes insumos: Cerraduras, Tornillos, Puntillas, Chazos, Bisagras, Rieles, Pegamento, Tiradores. La empresa FERROCARPINTERIA FORMAR, cuenta con distintos materiales químicos que son utilizados en el proceso de fabricación, entre los cuales se encuentran: los tintes, la gasolina, el Thiner, el sellador catalizado y corriente, la laca de acabado, el ACPM, bar sol, y la brea.

### 6.3 PRODUCTOS Y PROCESOS DE FERROCARPINTERIA FORMAR

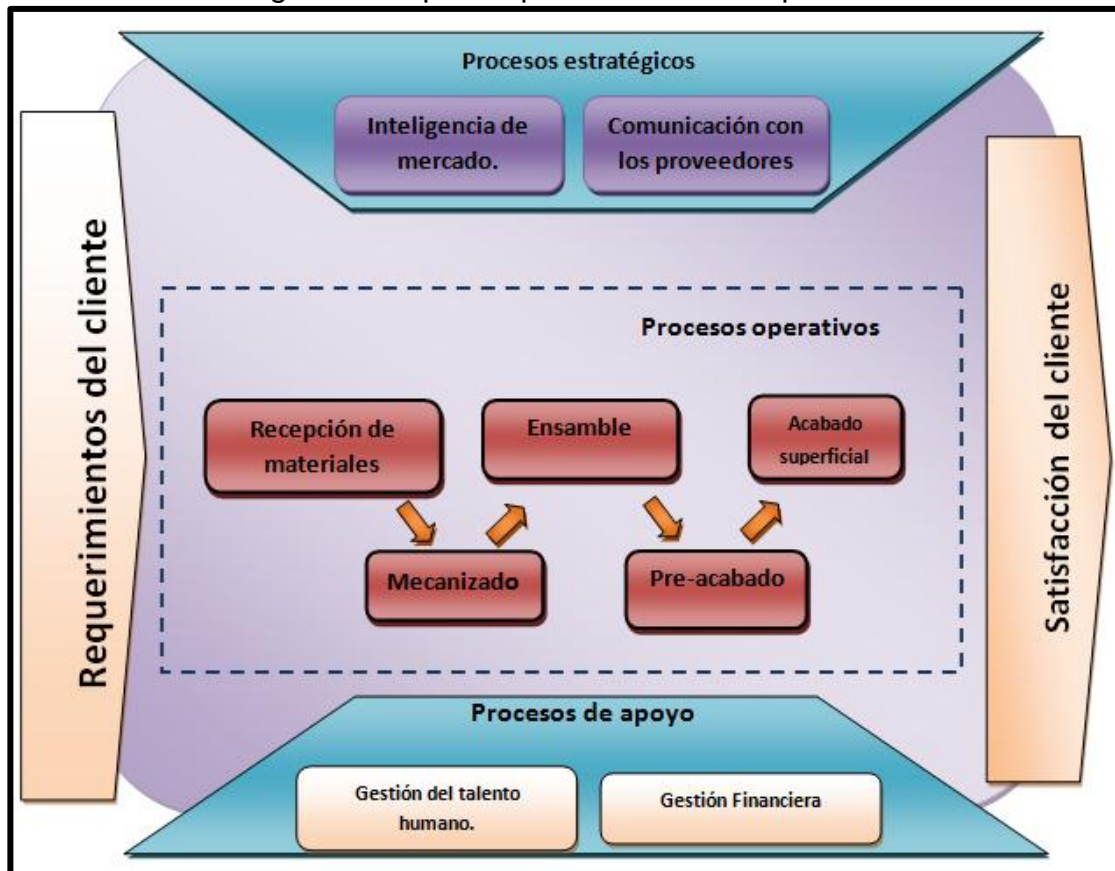
#### 6.3.1 Productos

La empresa FERROCARPINTERIA FORMAR ofrece a sus clientes una gran variedad de productos en maderas, acorde con las necesidades de cada uno de estos, adicional a esto ofrece productos tales como: mesas, puertas, ventanas, closet, cocinas integrales.

### 6.3.2 Procesos

La empresa FERROCARPINTERIA FORMAR, maneja cuatro procesos fundamentales, los cuales son: el proceso administrativo, procesos de recepción de materiales y manejo de inventario, el proceso de fabricación, y el proceso de manejo de personal, esto se ven reflejado claramente en el siguiente mapa de procesos:

Figura 6. Mapa de procesos de la empresa



Fuente: Elaboración propia.

#### 6.3.2.1 Procesos estratégicos.

- ✓ **Inteligencia de mercado:** El responsable de este proceso es el gerente, quien hace actividades relacionadas con el contacto de clientes, promoción de los productos y seguimiento de los niveles de satisfacción de los clientes.



- ✓ **Comunicación con los proveedores:** Al igual que el proceso descrito anteriormente este está bajo la responsabilidad del gerente, el cual realiza actividades relacionada con la ubicación de proveedores estratégicos para la empresa.

#### 6.3.2.2 Procesos de apoyo.

- ✓ **Gestión del talento humano:** Este es manejado directamente por el gerente de la empresa, el proceso abarca el manejo de todos los trámites relacionados con los salarios y compensación de los trabajadores.
- ✓ **Gestión Financiera:** El proceso de gestión financiera está a cargo del gerente, quien es el que coordina los pagos y de las diferentes obligaciones adquiridas por la empresa.

#### 6.3.2.3 Proceso operativos.

La totalidad de los productos que ofrece la empresa FERROCARPINTERIA FORMAR, tiene que pasar por los procesos de mecanizado, ensamblado, pre acabado y acabado superficial; tal como se mostró en el diagrama de procesos. A continuación se describen en detalle cada uno de estos procesos:

- ✓ **Recepción de materiales:** Este proceso consiste en la coordinación de los pedidos a los proveedores y la posterior revisión, como también del control de las existencias de materiales y equipos existentes en bodega. De este proceso se encarga el almacenista.
- ✓ **Mecanizado:** Este proceso consiste en la transformación de la materia prima (trozos de madera grandes, láminas de triplex) en partes más pequeñas, para luego darles las dimensiones exactas de espesor,

ancho y largo, de acuerdo a las especificaciones de los planos y listado de partes y piezas. Este proceso se encuentra dividido por tres sub procesos los cuales son: planificación del corte, corte y pulido de las pizas.

- ✓ **Ensamble:** El proceso de ensamble es el proceso que se lleva a cabo para realizar el armado del mueble o producto en madera. En este se unen o acoplan las partes mecanizadas para lo que será el diseño del producto. Dicho proceso consta de tres actividades principales: el pre-armado, lijado y armado final.
  
- ✓ **Pre-acabado:** El proceso de pre-acabado consiste en preparar el producto de madera para el proceso de pintura. El primer paso es aplicar masilla a las partes del mueble que lo requieran, con la finalidad de recubrir las imperfecciones. Una vez se seca la masilla se procede a realizar el lijado final, este se realiza con lijas de papel para dar un acabado fino y suave a las piezas, seguido de esto se procede a aplicar sellador para obtener un acabado terso y uniforme, este es un producto de aerosol que tiene como propiedad sellar los poros de la madera aumentando el rendimiento de la pintura de acabado.
  
- ✓ **Acabado superficial:** Para comenzar con este proceso, se verifica que producto casi terminado cuente con superficies lisas y libres de imperfecciones. El proceso de acabado tiene tres pasos, el primero consiste en aplicar el tinte del color que se desee, este es aplicado con un compresor de aire el cual es recargado con el tinte y se aplica de manera horizontal de derecha a izquierda. El segundo paso es aplicar un acabado, este es una laca brillante que impide que el tinte aplicado se ralle y que tenga mayor durabilidad. El tercer y último paso es el secado, paso necesario que se haga antes de entregar el producto, ya que permite que la pintura se adhiera de forma correcta

al mueble en madera e impide que en el momento de transporte se raye.

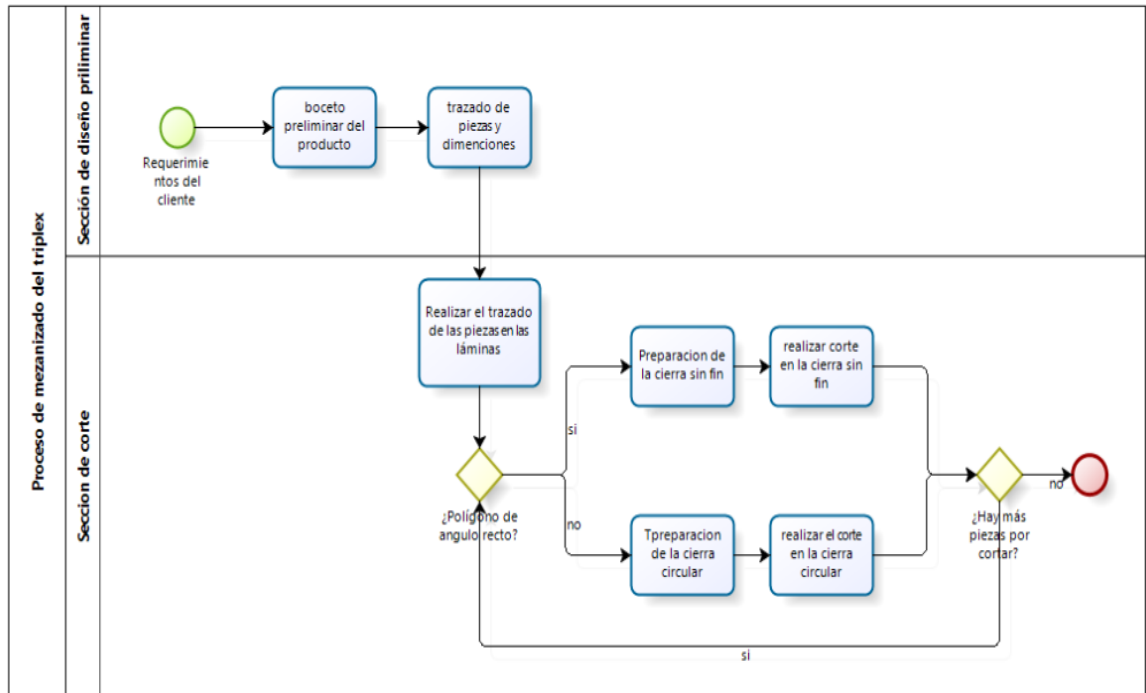
#### 6.3.2.4 Planificación y corte de piezas.

La planificación y corte de piezas hacen parte del proceso de mecanizado, antes del corte es necesario realizar el proceso de planificación, el cual consiste en listar y posteriormente realizar un trazado de todos los componentes que conforman el producto en las láminas de triplex.

El proceso comienza cuando se dan las especificaciones y dimensiones del producto, posteriormente se procede a realizar gráficamente los diferentes componentes de éste, los cuales llevan a su vez las medidas como lo son la anchura, altura y profundidad de cada pieza, los bocetos de cada parte del producto pasan a la sección de corte, donde se procede a realizar un trazado de cada uno de estos en las láminas de triplex, este proceso es realizado en forma manual y en la actualidad no existe un mecanismo predeterminado utilizado por el operario al momento de realizar la distribución de los componentes del producto en las láminas. Cuando se culmina con el trazado de las piezas en las láminas, se procede al corte, para esto se tiene en cuenta que cuando las piezas son con dimensiones rectangulares, el corte se realiza en la cierra circular, mientras que para piezas que tienen formas de polígonos de ángulos rectos el corte se realiza en la cierra sin fin.

A continuación se muestra en forma más detallada, la caracterización del proceso de mecanizado del triplex en la fabricación de una cocina integral:

Figura 7. Diagrama BPM para la descripción de corte de piezas de triplex



Fuente: Realizado por el equipo de trabajo.

## 6.4 INSTANCIA OBJETO DE ESTUDIO

Como se ha explicado anteriormente, en la presente investigación se busca optimizar el proceso de distribución y corte de piezas en láminas de triplex en la empresa FERROCARPINTERÍA FORMAR, dado que la empresa ofrece gran variedad de productos a sus clientes, es de vital importancia definir uno, al cual se le optimizará el proceso de distribución y corte de los diferentes componentes, para esto es necesario saber las diferentes piezas que conforman al producto (solo aquellos componentes de triplex), a este conjunto de componentes se les llamará como *caso de estudio*.

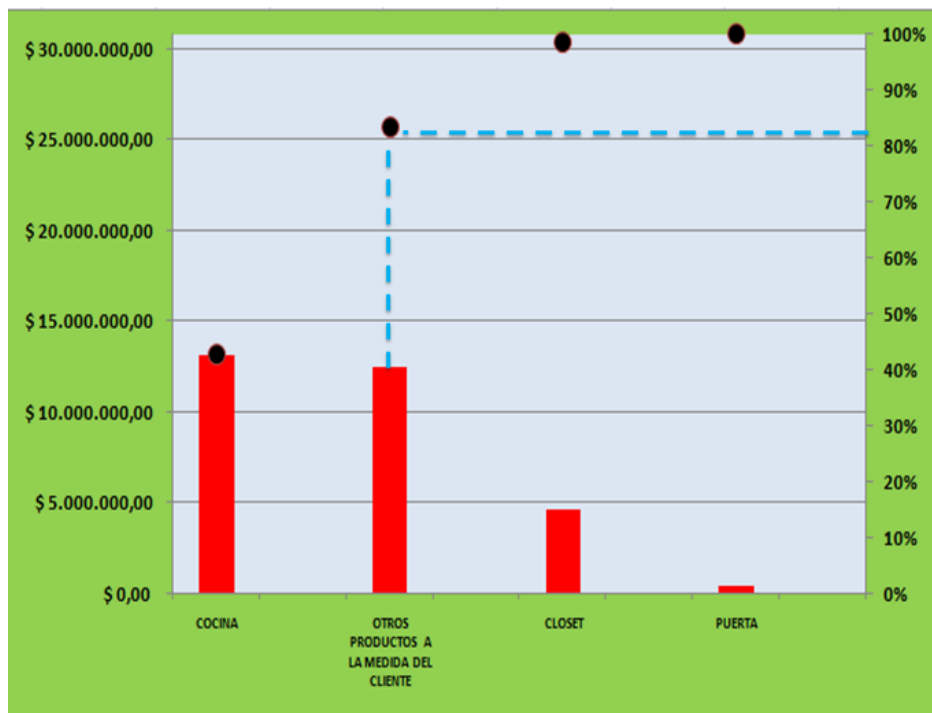
### 6.4.1 Elección del producto

En la actualidad la empresa cuenta con pocos productos estándares, esto se debe a que el sistema de producción es por pedidos y adicional a esto, muchos de los productos son hechos de acuerdo con especificaciones particulares de cada cliente. Esto hace que de antemano sea complicado

establecer un número estándar de piezas que serán distribuidas en las láminas, y posteriormente cortadas ya que esto depende del tipo de producto que esté en lista de espera para la fabricación.

Por tal motivo se procedió a realizar un análisis detallado de los productos ofrecidos por la empresa y se encontró que anualmente los de mayor venta son: puertas, closet y cocinas integrales; de las cuales este último es de mayor rotación y además es el que tiende a mantener una forma estándar, es decir, los requerimientos de los clientes para este producto como las dimensiones y los acabados son muy similares. Adicionalmente, éste es el que genera mayor margen de ganancia y consumo de triplex en comparación con los demás productos, lo cual lo hace el más adecuado para optimizar el proceso de corte. En el siguiente diagrama de Pareto se muestra la contribución a las utilidades de la empresa por cada producto.

Figura 8. Diagrama de Pareto de utilidades por producto.



Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar el 80% de los ingresos de la empresa está dado por la fabricación y venta de las cocinas y otros productos, donde en la

categoría de otros productos encontramos los que son hechos acorde con las especificaciones de los clientes, como lo son muebles, mesas, comedores, sillas, etc.

#### 6.4.2 Descripción del producto:

Para este estudio se seleccionó a las cocinas integrales como el producto adecuado para realizar la mejora del proceso de distribución y corte de las piezas. Éste cuenta con dos partes denominadas módulo superior y módulo inferior, a continuación se muestra se muestra las dimensiones de cada una de estas:

##### Módulo superior:

- Ancho: 180 cm
- Alto: 50 cm
- Profundidad: 30cm

Cuenta con 4 puertas de dimensiones de 30 cm de ancho, 50 cm de alto por 2 cm de profundidad, y dos puertas pequeñas con dimensiones de 30 cm de ancho, 25 cm de alto y 2 cm de profundidad.

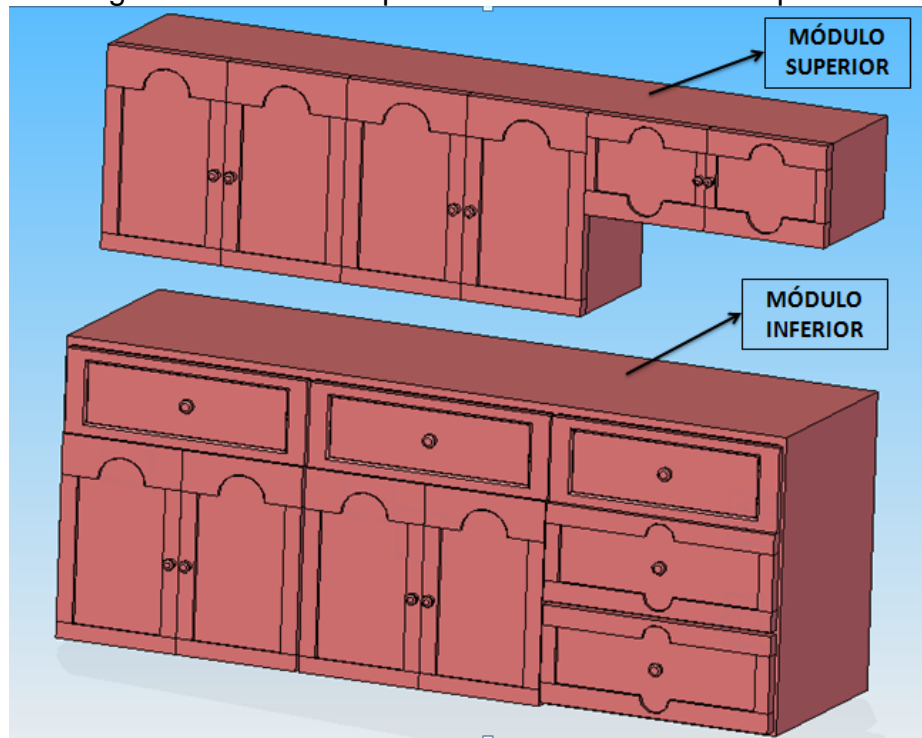
##### Módulo inferior:

- Ancho: 180 cm
- Alto: 73 cm
- Profundidad: 50cm

Cuenta con 4 puertas de dimensiones de 30 cm de ancho, 50 cm de alto por 2 cm de profundidad, cinco gavetas, dos con la forma similares, mientras que las restantes tienen otra apariencia.

En la siguiente figura se muestra un diseño de las cocinas realizadas en la empresa.

Figura 9. Modelo del producto realizado en la empresa



Fuente: realizado por el equipo de trabajo.

### 6.4.3 Caracterización de las piezas que conforman el producto.

A continuación se encuentra listada cada una de las piezas y las cantidades necesarias para fabricar una cocina integral:

Tabla 3. Descripción de piezas de una cocina integral.

Hoja 1 de 5			
IMAGEN	ID	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
	1	Esta pieza corresponde a la cara trasera de la cocina.	1
	2	Esta pieza hace parte de las puertas del módulo superior de la cocina y del módulo inferior de la cocina.	8

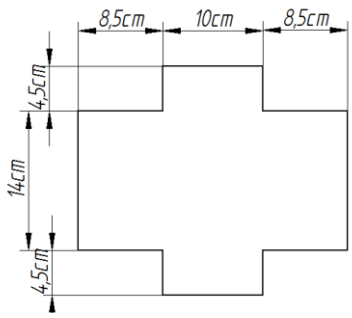
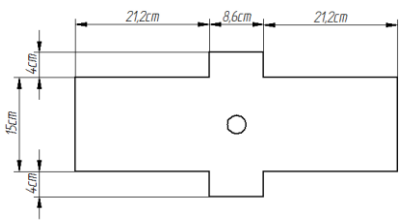
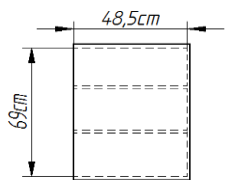
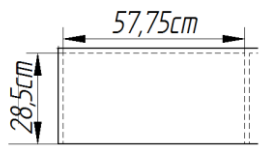
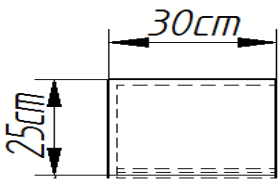
IMAGEN	ID	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
	3	Esta pieza forma parte de la puerta pequeña que se encuentra en el módulo superior de la cocina.	2
	4	Esta forma la cara frontal de las gaveta derechas del modulo inferior de la cocina.	2
	5	Divide el compartimiento interno del modulo inferior	2
	6	Esta pieza forma parte de la cara lateral derecha del modulo superior de la cocina	1
	7	Esta pieza divide en compartimiento el interior del modulo superior.	1



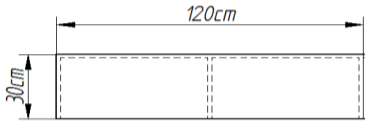
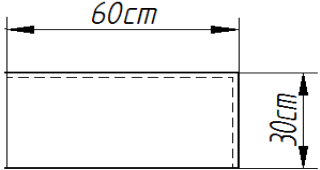
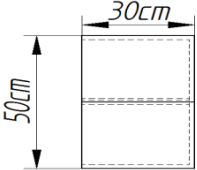
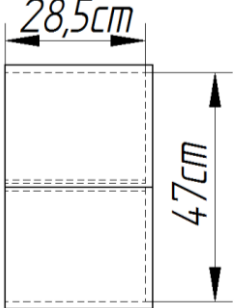
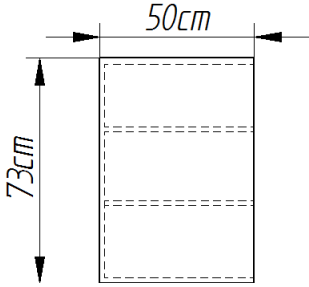
IMAGEN	ID	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
	8	Esta pieza conforma la cara inferior del módulo superior de la cocina.	1
	9	Esta pieza conforma la cara inferior del módulo superior de la cocina.	1
	10	Esta pieza se encuentra ubicada en el módulo superior de la cocina.	2
	11	Esta pieza divide en compartimiento el interior del módulo superior.	1
	12	Esta pieza hace parte del módulo inferior de la cocina.	2

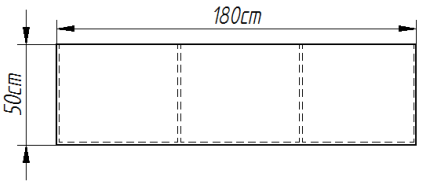
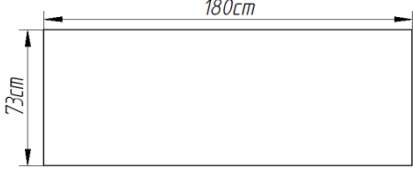
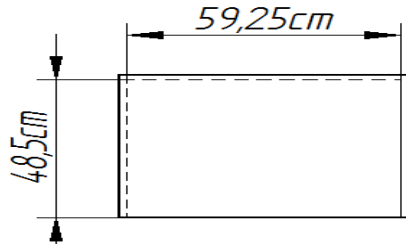
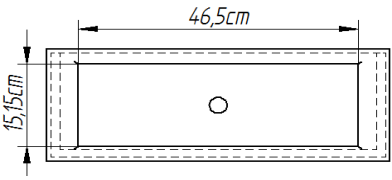
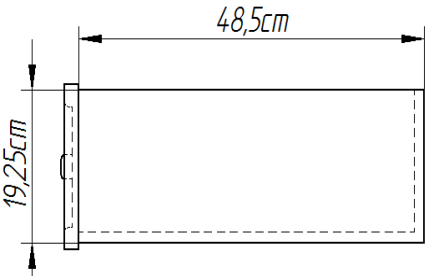
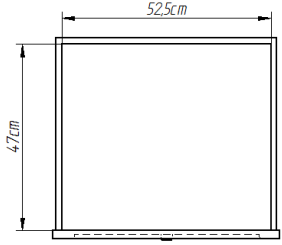
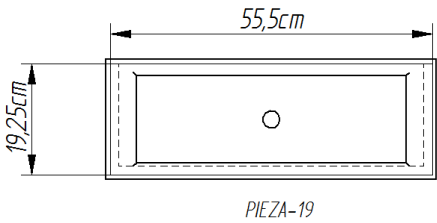
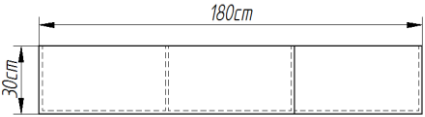
IMAGEN	ID	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
	13	Esta piza corresponde a la cara superior e inferior del módulo inferior de la cocina.	2
	14	Esta pieza forma el respaldo de el modulo inferior de la cocina	1
	15	Esta pieza se encuentra ubicada en el modulo inferior de la cocina, este divide en compartimiento de las gavetas.	4
	16	Esta pieza hace parte de las gavetas del módulo inferior de la cocina.	3
	17	Esta pieza hace parte de las caras laterales de la gaveta	10

IMAGEN	ID	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
	18	Esta forma el fondo de la gaveta.	5
	19	Esta pieza forma la parte trasera de la gaveta	5
	20	Esta pieza corresponde a la cara superior de la cocina	1

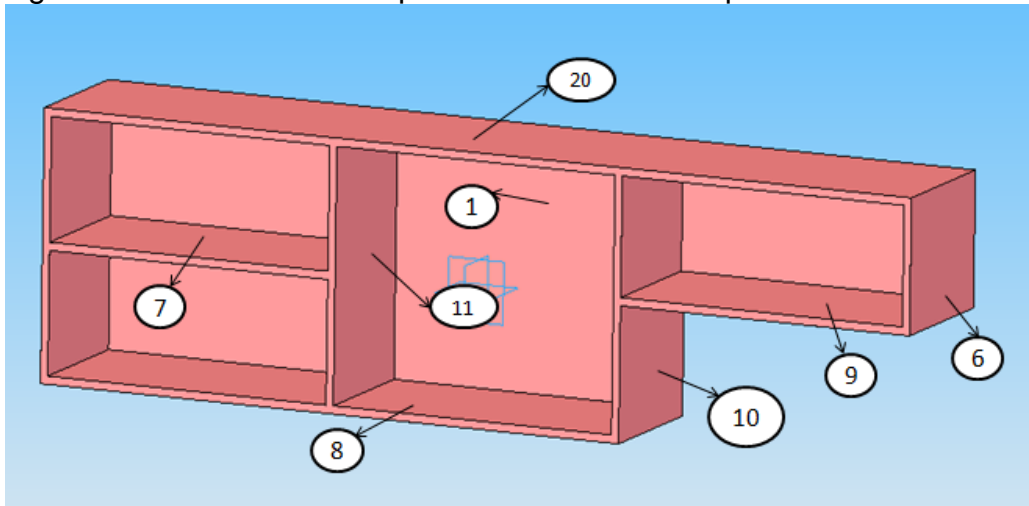
**Fuente:** Elaboración propia.

A continuación se muestra la ubicación de cada una de las piezas en la cocina integral.

✓ Ubicación en el módulo superior:

Como se puede observar, la mayoría de las piezas utilizadas en la construcción de la cocina son rectángulos, tal como se mostraron anteriormente; a excepción de algunas que forman las puertas del producto como se puede ver en la figura 10.

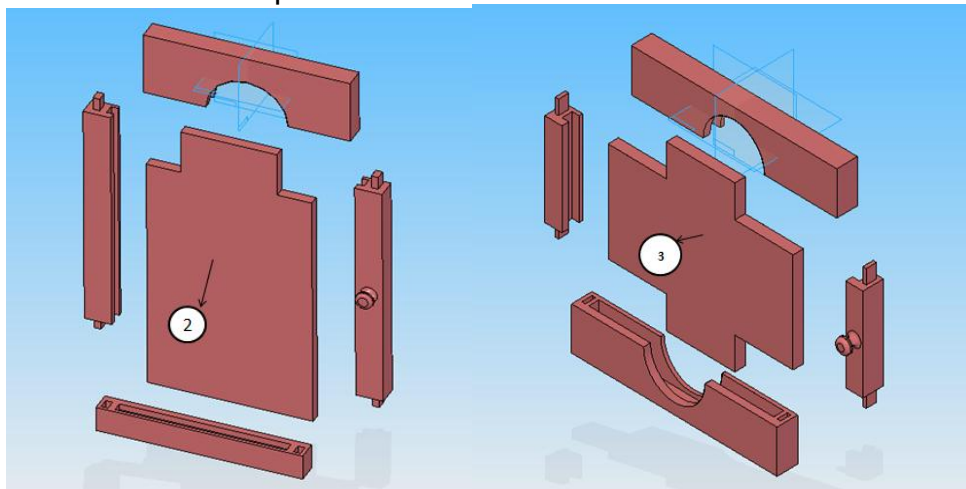
Figura 10. Ubicación de las piezas en el módulo superior



**Fuente:** Elaboración propia.

A este tipo de piezas se denota como *polígono de ángulo recto*, dado que poseen varios lados y además el ángulo formado entre lados consecutivos es de  $90^\circ$ . En la Figura 11 se observa que solamente está enumerada la pieza del centro, esto se debe a que los marcos son de madera, razón por la cual no se tiene en cuenta ya que en este trabajo se busca optimizar el consumo de material triplex.

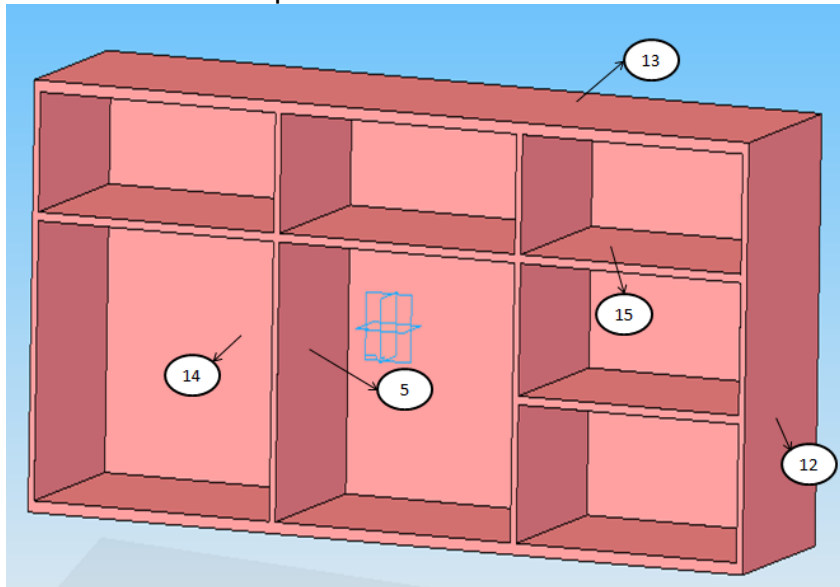
Figura 11. Pieza de las puertas



**Fuente:** Elaboración propia.

- ✓ Ubicación de las piezas en el módulo inferior.

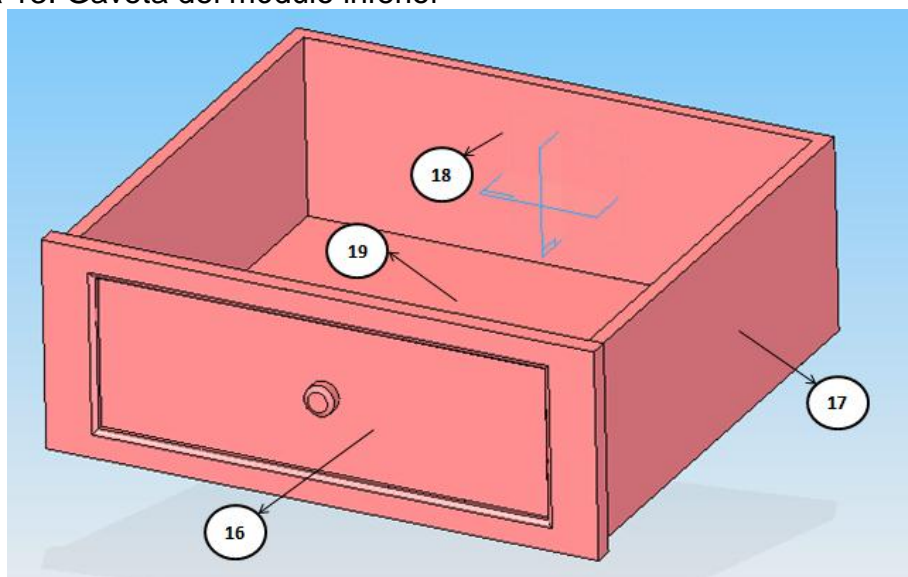
Figura 12. Ubicación de las piezas en el módulo inferior



**Fuente:** Elaboración propia.

Al igual como sucedía con las puertas que fueron mostradas con anterioridad, en la parte frontal de las gavetas también se cuenta con un marco de madera que no se enumerarán como piezas, tal como se muestra en la siguiente figura.

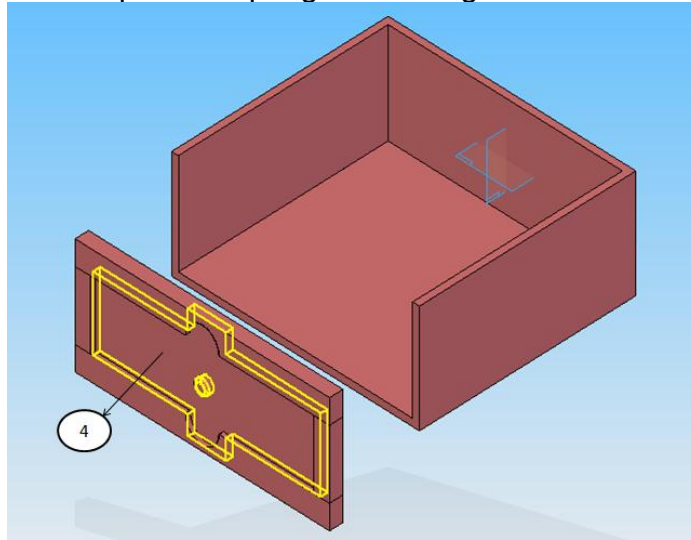
Figura 13. Gaveta del módulo inferior



**Fuente:** Elaboración propia.

De igual forma existen gavetas que en la parte frontal cuenta con figuras que no son rectángulos (polígono de ángulo recto). Tal como se muestra en la Figura 14.

Figura 14. Gaveta con pieza de polígono de ángulo recto



**Fuente:** Elaboración propia.

#### 6.4.4 Formulación del indicador de desperdicio.

En la actualidad en la empresa FERROCARPINTERÍA FORMAR no existe un mecanismo que permita llevar el control del consumo de triplex, razón por la cual se procedió a formular la siguiente expresión que relaciona el área no utilizada en la distribución de las piezas del producto en comparación con el área total de la lámina.

Ecuación 1. Indicador de desperdicio

$$I_d = \frac{A_{lamina} - A_{AP.lamina}}{A_{lamina}} \times 100\%$$

**Fuente:** Elaboración propia.

**Donde:**

$I_d$  = Indicador promedio de desperdicio

$A_{lamina}$  = Área total de la lámina

$A_{AP.lamina}$  = Suma de las áreas de las piezas ubicadas en las láminas.

#### 6.4.5 Promedio histórico de desperdicio.

El promedio histórico de desperdicio permite establecer el porcentaje de material desechado en el proceso de corte en la empresa. Debido a que en la actualidad FERROCARPINTERÍA FORMAR no cuenta con registros detallados de los desperdicios generados en el corte de las láminas de triplex, fue necesario recolectar información relacionada con las distribuciones de las piezas durante 3 meses, y a cada distribución se le calculó el índice de desperdicio con la ayuda de la ecuación 1. Los resultados se presentan para cada una de las muestras a continuación.

Tabla 4. Datos históricos de indicador promedio de desperdicio

MUESTRA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Desperdicio promedio.	28,50%	35,10%	34,70%	28,40%	31,10%	33,00%	29,80%	32,50%	31,20%	34,10%

**Fuente:** Elaboración propia.

De los datos presentados se puede determinar que el porcentaje promedio de desperdicio generado en el proceso de corte es del 31.84%. Esta servirá como medio de comparación con las distribuciones arrojadas por la herramienta.

En el Anexo 5 se presenta una distribución representativa de la distribución manual de las piezas realizada en la empresa.

#### 6.4.6 Análisis del costo de los desperdicio.

La empresa para su proceso de fabricación utiliza lámina de triplex de 240 cm x 120 cm con 12 mm de grosor, en el mercado actual estas se cotizan en **\$66.000 pesos**. Dado que el porcentaje de desperdicio promedio está alrededor de **31.84%**, se puede establecer cuál es la perdida mensual de dinero, para esto, en primera instancia se determina el área no utilizada en el proceso de corte, la cual resulta del producto entre el porcentaje promedio de desperdicio y el área gastada en la distribución de la piezas. Para la distribución de un producto el cálculo del área utilizada está dado por la suma de las áreas de las láminas en las que se distribuyeron piezas, teniendo en cuenta que en la última lámina el área se determina con la altura máxima. De esta forma el área promedio utilizada es la media de los valores obtenidos de las distribuciones manuales realizadas durante el tiempo que se registraron las mediciones, cuyo resultado es **18,46 m<sup>2</sup>**. A continuación se muestra los cálculos de los desperdicios en términos monetarios para el proceso de corte en la empresa.

Tabla 5. Análisis de costo para la distribución manual

DESCRIPCIÓN	FÓRMULA	RESULTADO
Área desperdiciada	$\left(\frac{\text{Porcentaje de desperdicio}}{\text{desperdicio}}\right) \times (\text{Área gastada promedio})$	5,88 m <sup>2</sup>
	$(31,84 \%) \times (18,46 \text{ m}^2)$	
Costo desperdicio por producto	$(\text{Área desperdiciada}) \times \left(\frac{\text{Costo una lamina}}{\text{Área de una lamina}}\right)$	\$134.842,40
	$(5,88 \text{ m}^2) \times \left(\frac{\$66.000}{2,88 \text{ m}^2}\right)$	
Costo desperdicio mensual.	$\left(\frac{\text{Costo desperdicio por producto}}{\text{por producto}}\right) \times \left(\frac{\text{Número promedio de cocinas fabricadas en el mes}}{\text{fabricadas en el mes}}\right)$	\$674.212,00
	$(\$134.842,40) \times (5)$	
Costo desperdicio anual.	$(\$674.212,00) \times (12)$	\$ 8.090.544,00

Fuente: Elaboración propia.



#### 6.4.7 Tiempo utilizado en la distribución de las piezas de forma manual.

En el cálculo del tiempo empleado por la distribución manual se utilizó el cronómetro como instrumento de medición, en el caso de la muestra utilizada para el cálculo del promedio histórico de desperdicio se tomó el tiempo que empleaba el operario en distribuir las piezas en cada lámina, cabe resaltar que el tiempo de distribución no incluye el de trazado, por lo cual se realizaba pausas en el cronómetro cuando el operario comenzaba a realizar el trazado, de esta forma el tiempo de distribución es aquel comprendido entre la terminación del trazado de una pieza y el comienzo del trazado de otra (cuando se piensa la ubicación de una pieza en la lámina).

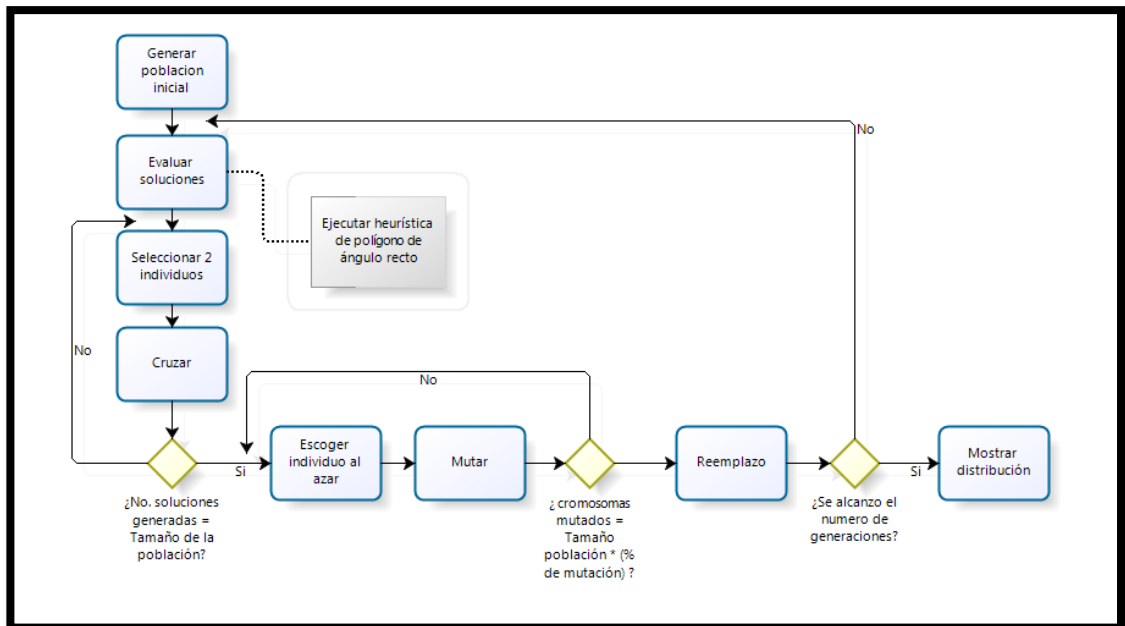
En el anexo 6 se muestra una tabla que refleja los tiempos empleados para diez distribución manuales, teniendo en cuenta el tiempo empleado en ubicar las piezas en cada lámina, a partir de esta información se establece el tiempo empleado para realizar la distribución de cada producto, primero sumando los tiempos empleado en hacer la distribución de las piezas en las láminas y luego promediando para los diez datos obtenidos. De esta forma se tiene que el tiempo promedio que empleado en realizar la distribución de forma manual es de 32,5 minutos.

## 7 Diseño del algoritmo genético

### 7.1 ALGORITMO GENÉTICO.

El algoritmo genético sigue los pasos descrito en la **Figura 15**, como en la mayoría de los casos, se tiene una población inicial la cual es generada de forma aleatoria, para esto es necesario de la ayuda de una heurística, la cual se le denomina como “heurística para polígonos de ángulo recto”, esta servirá para establecer el orden en que se van empaquetando las piezas y así determinar la adaptación para cada individuo con la ayuda de la función fitness, seguido se procede a realizar el proceso de selección, en el cual se determina cuales individuos pasa al proceso reproductivo acorde con los resultados arrojados por la función fitness. Una vez seleccionado los más aptos, se realiza una combinación de sus códigos genéticos y de esta forma se producen nuevos cromosomas hijos, los cuales contiene información genética de sus padres, luego esta nueva generación muta, proceso en el cual el código genético de los cromosomas es alterado, posteriormente a estos nuevos individuos son evaluados con la función fitness, la cual servirá de base para determinar que individuos serán remplazados de la población actual, teniendo como criterio que aquellos menor adaptados son remplazados por los mejor adaptados.

Figura 15. Diagrama de flujo para el algoritmo genético



Fuente: Elaboración propia.

## 7.2 CODIFICACIÓN

Un aspecto importante a la hora de construir el algoritmo genético, es la forma como se representan las soluciones del problema a tratar, para el caso del *bin packing problema* en dos dimensiones, existen tres formas usuales de codificar las soluciones, según Mitsuo Gen<sup>45</sup>, estas son: representación basada en láminas (*bin-based representation*), representación basada en objetos o piezas (*object-based representation*) y representación basada en grupos (*group-based representation*).

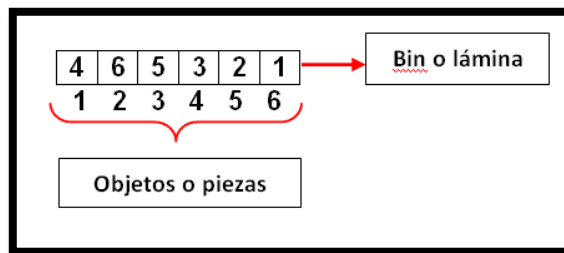
Como se verá más adelante, la utilización de un determinado codificación no representa una solución completa para el problema tratado, ya que esta solo hace el ejercicio de asignar las piezas a las láminas, por tal motivo es necesario recurrir a una heurística que permita establecer el orden en el que se ubican las piezas en las láminas.

<sup>45</sup>Mitsuo gen, Runweicheng, Genetic Algorithms and Engineering optimization. John Wiley & Sons, Inc. new York 2000. Página 65.

### 7.2.1 Representación basada en láminas (*Bin-Based Representation*)

Esta codificación se caracteriza porque la posición del gen representa la pieza, mientras que su valor respectivo representa la lámina donde se va a empacar esa pieza, tal como se muestra en la Figura 16; para este ejemplo la secuencia 4 6 5 3 2 1, representaría una solución en la cual la pieza 1 se empaca en la lámina 4, la 2 en la 6, la tres en la 5, la 4 en la 3, la 5 en la 2 y la 6 en la 1.

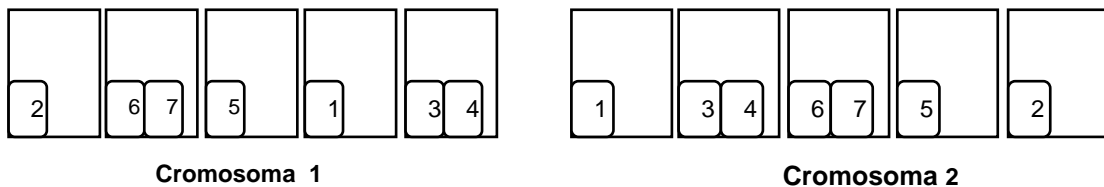
Figura 16. Representación basada en láminas



**Fuente:** Elaboración propia.

Esta denotación tiene sus ventajas y desventajas, dentro de las desventajas se encuentra que de antemano se debe conocer el número de láminas necesarias para empacar todos los objetos, otra desventaja se refleja en la alta probabilidad de presentarse redundancia, esta se muestra cuando existen dos cromosomas con secuencias diferentes que representan la misma solución del problema, por ejemplo dado el par de cromosomas: representación 1: 4 1 5 5 3 2 2 y representación 2: 1 5 2 2 4 3 3, se observa en la Figura 17, que es la misma solución, esto se debe a que el fitness de una solución particular depende solamente de las piezas que estén empacadas juntas en una lámina en particular.

Figura 17. Representación de la redundancia en las soluciones



**Fuente:** Elaboración propia.

Este problema es aún más recurrente cuando el número de láminas es mayor, por tal motivo se dice que “*el grado de redundancia crece exponencialmente con el número de láminas utilizadas*”<sup>46</sup>, lo cual hace que el espacio de búsqueda del problema se torne más grande, haciendo que disminuya la capacidad del algoritmo genético para dar con buenas soluciones en tiempos razonables.

De igual forma, para este tipo de codificación, es frecuente que se presente soluciones infectables, debido a que en una representación del cromosoma puede haber muchas piezas en una determinada lámina, lo cual entra en conflicto con la restricción de capacidad de área de las lámina.

Una de las ventajas de este sistema de codificación, es que el tamaño de los cromosomas es constante, lo cual permite la aplicación de los operadores genéticos estándares.

#### 7.2.2 Representación basada en objetos (*object-based representation*)

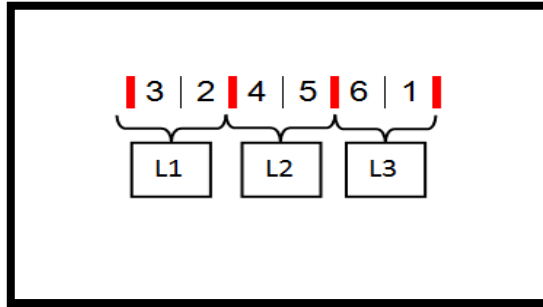
La codificación basada en objeto consiste en una permutación de piezas dadas, en ésta, a diferencia de la representación basada en láminas, los valores de cada gen representa a las piezas, mientras que el sub índice solo sirve para indicar el orden en el cual se empaca en la láminas, por ejemplo; dado el siguiente cromosoma 3 2 4 5 6 1, en la representación basada en objetos quedaría como se muestra en la Figura 18.

En este ejemplo, las láminas están representadas por los intervalos comprendidos entre los segmentos de recta rojos, como se muestra en la Figura 18, para este caso se puede ver que en la lámina 1 se empacan las piezas 3,2, en la lámina 2 se empacan las piezas 4,5 y en la lámina 3 se empacan la piezas 6,1.

---

<sup>46</sup>Mitsuo gen, Runweicheng, Genetic Algorithms and Engineering optimization. John Wiley & Sons, Inc. new York 2000. Página 65.

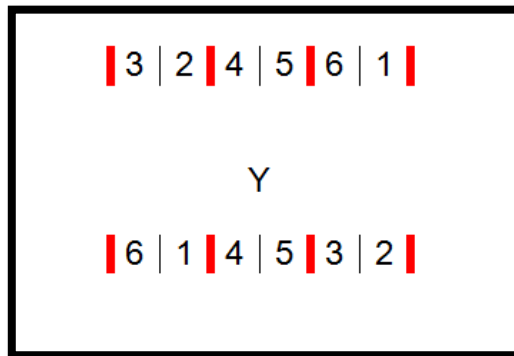
Figura 18. Representación basada en objetos.



**Fuente:** Elaboración propia.

La representación basada en objetos, al igual que la basada en láminas, presenta alto grado de redundancia entre soluciones, como por ejemplo el par de cromosomas siguientes:

Figura 19. Redundancia en la representación basada en objetos



**Fuente:** Elaboración propia.

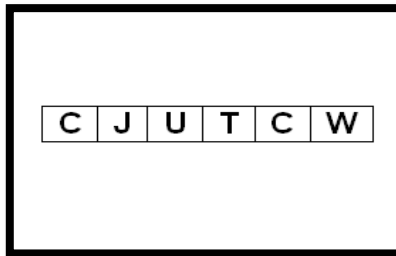
En esta representación, a diferencia de la discutida anteriormente, no es necesario conocer de antemano el número de láminas necesarias para empacar a las piezas, además el número de piezas a empacar no necesariamente deben ser las mismas en cada lámina, como se mostró en los ejemplos anteriores; esto depende básicamente del tamaño de las piezas, por lo cual puede haber láminas que tengan tres piezas como otras que tengan dos.

### 7.2.3 Representación basada en grupos (*Group-Based representation*)

Esta representación del cromosoma integra los conceptos visto en la representación basada en objetos y láminas, la representación *Group-Based*

*Representation* cuenta con dos partes, la primera informa que pieza pertenece a que lámina y la segunda nos da información acerca de que lámina es utilizada. Para ilustrar como se codifica con este esquema, supóngase que hay varias piezas enumeradas de 1 a 6 y un cromosoma dado por la secuencia (2 3 4 1 2 5), lo cual representa que la pieza 1 se empaca en la lámina 2, la dos en la tres y así sucesivamente; a cada gen del cromosoma lo remplazamos por una letra, en este caso podemos decir que C=2, J=3, U=4, T=1, W=5; por tal motivo el cromosoma bajo el esquema de la representación de grupos quedaría tal como se ilustra en la Figura 20.

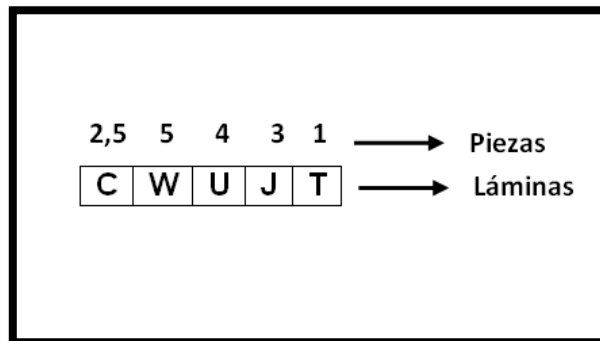
Figura 20. Representación base del cromosoma



**Fuente:** Elaboración propia.

Para que la anterior representación agrupe a las piezas por láminas, se debe agrupar las letras que se repiten a lo largo del cromosoma, de esta forma como la lámina C=2 se repite dos veces, la codificación según el *group based representation* queda de la siguiente forma:

Figura 21. Representación basada en grupos



**Fuente:** Elaboración propia.

Entre las desventajas de la representación mediante grupo se encuentra que el tamaño de los cromosomas es variable, esto hace que la implementación de los diferentes operadores sea más compleja.

Para la implementación del algoritmo genético se utiliza la representación basada en objetos, porque en la literatura se ha encontrado varios trabajos en los cuales la codificación de las soluciones se ha realizado mediante el *object-based representation*, como es el caso de *Arfath pasha*<sup>47</sup>, *Lee Lai Soon*<sup>48</sup>, entre otros. Además a nivel de los operadores genéticos la implementación es muy manejable con esta codificación.

## 7.3 OPERADORES GENÉTICOS

### 7.3.1 Operador de selección

Los algoritmos genéticos emula el proceso evolutivo de los seres vivos, en el cual los individuos más fuertes de una especie pasan a hacer parte de la siguiente generación, de esta forma, en el contexto del algoritmo genético, es necesario definir un mecanismo el cual permita seleccionar a individuos (cromosomas) de una población inicial, y que posteriormente pasen a reproducirse. El criterio utilizado para la selección se basa en la evaluación de los individuos mediante una función fitness, la cual dará una medida de cuan adaptado se encuentra los integrantes de la población y combase en esto asignar una mayor posibilidad de ser seleccionado a los individuos más aptos.

En la literatura existen diferentes tipos de operadores de selección, entre los cuales encontramos, torneo, ranking, truncamiento y el método de selección por proporciones propuesto por J. holland, los cuales se dividen en rueda de ruletas (RWS - *Roulette Wheel selection*) y selección por muestreo

---

<sup>47</sup>Arfath pasha.Op. cit., p. 28.

<sup>48</sup>Lee Lai Soon.Op. cit., p. 1.



aleatorio universal (SUS - *stochastic universal sampling*)<sup>49</sup>. Estos últimos son los más utilizados por los buenos resultados obtenidos, razón por la cual en este trabajo se abordarán con más detalle.

### 7.3.1.1 Método de selección de rueda de ruletas (RWS)

Éste método se basa en la asignación de una probabilidad de selección, en proporción al *fitness* de cada uno de los individuos de una población, esto se hace con el fin de que los cromosomas de los individuos más aptos tengan mayor probabilidad de pasar a la siguiente generación. El proceso de selección comienza cuando se genera una población inicial de cromosomas, a los cuales se les calcula su respectivos fitness, luego se procede a asignar una probabilidad de selección a cada cromosoma de la población, acorde con la siguiente fórmula:

Ecuación 2. Fórmula de cálculo de probabilidad

$$p_i = \frac{f_i}{\sum_{i=1}^n f_i}$$

Donde cada  $p_i$  y  $f_i$  representa la probabilidad que sea seleccionado y el fitness de cada individuo respectivamente. La letra  $n$  representa el total de la población generada, para ilustrar en forma más clara esta situación, suponga que se cuenta con una población inicial y su respectivo fitness como se muestra en la Figura 22.

Tabla 6. Población inicial

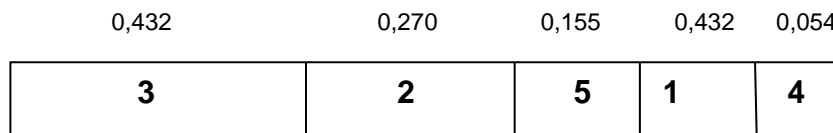
$i$	1	2	3	4	5
$f_i$	200	500	800	100	250
$p_i$	0,108	0,270	0,432	0,054	0,155

Fuente: Elaboración propia.

<sup>49</sup> J. Drevo A. Petrowski, *Metaheuristics for hard optimization*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2006; Página 83.

Los  $p_i$  para cada individuo, fueron calculada con la fórmula mostrada en la Ecuación 2, el anterior ejemplo podemos representarlo como si fuera una lámina la cual es dividida en porciones de tamaños diferentes, acorde con la probabilidad de selección determinada, como se muestra en la Figura 22.

Figura 22. Asignación de probabilidad a individuos



**Fuente:** Elaboración propia.

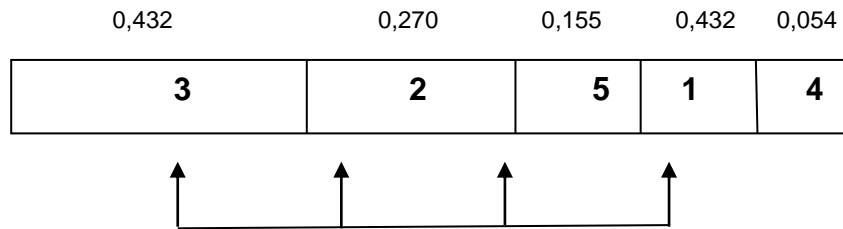
El siguiente paso en el proceso de selección consiste en obtener un número aleatorio y mirar a que intervalo de la figura 22 pertenece, luego se procede a seleccionar el individuo asociado con dicho intervalo.

#### 7.3.1.2 Selección universal aleatoria (SUS)

Este mecanismo de selección es una mejora al anteriormente expuesto, la forma como en este método se asignan las probabilidades a cada uno de los individuos de la población es igual al realizado en el (RWS), la diferencia se encuentra en que éste considera una recta dividida en segmentos iguales, en el cual el número de divisiones es igual al tamaño de la población. Una vez determinado el número de divisiones de las rectas y la magnitud de estas, al igual que el método de la ruleta, se procede a generar un número aleatorio luego hace coincidir un extremo de la recta con el número aleatorio, esta situación se ilustra claramente en la figura 23.

En el anterior ejemplo las flechas que apunta a cada una de los individuos son los que van a ser elegidos para la reproducción, en este caso fueron escogidas las soluciones 3, 2, 2, 1 mientras que los individuos representados por 5 y 4 no lo fueron.

Figura 23. Mecanismo de selección mediante el SUS



**Fuente:** Elaboración propia.

En el operador de cruce SUS solo se necesita un número aleatorio y con este se obtiene a todos los individuos que harán parte del proceso de reproducción, por el contrario el ruda de ruletas generan tantos números aleatorios como individuo se desean seleccionar, lo cual hace de éste un mecanismo ineficiente al momento de realizar la implementación, ya que a nivel computacional se tiene que realizar más instrucciones en comparación con el SUS, por tal motivo en la construcción de la herramienta se utilizará el operador SUS.

### 7.3.2 Operador de cruce

Entre los operadores de cruce más utilizados, encontramos cruce por un punto (*one-point crossover*), cruce por dos puntos, uniforme, PMX, OX.

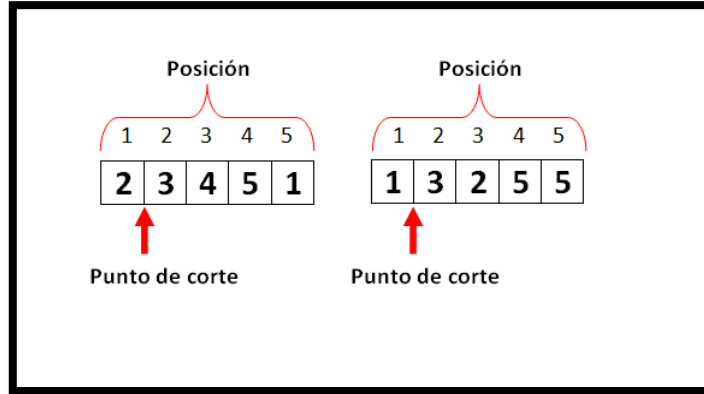
#### 7.3.2.1 Cruce por un punto

Es uno de los operadores de cruce más simple y comúnmente usado, este operador corta el código del cromosoma, en una posición indicada al azar y luego procede a intercambiar la información genética entre los cromosomas.

Para ilustrar como funciona, suponga que se tiene el par de cromosomas: 2 3 4 5 1 y 1 3 2 5 5. En ambos cromosomas se ubica la posición correspondiente indicada por un número aleatorio, imagine que el número

aleatorio indica la posición comprendida entre 1 y 2 de los cromosomas, tal como lo indica la figura 24.

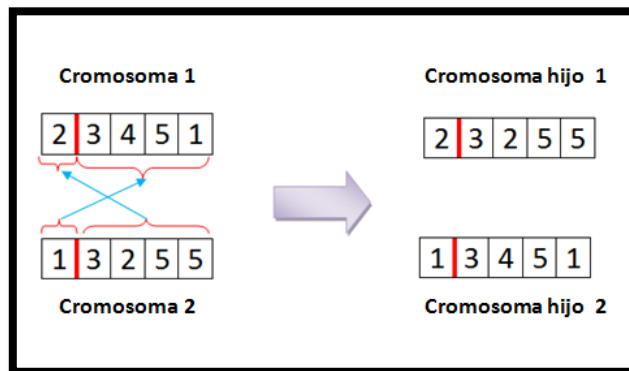
Figura 24 . Representación del punto de corte del cromosoma



**Fuente:** Elaboración propia.

Ésta indica el punto de corte, en el cual los cromosomas se dividirán en dos partes, combinándose el primer segmento de código del primer cromosoma, con el segundo del cromosoma 2, y el primer segmento del cromosoma 2 con el segundo segmento del cromosoma 1, como se ilustra en la figura 25.

Figura 25. Cruce por un punto



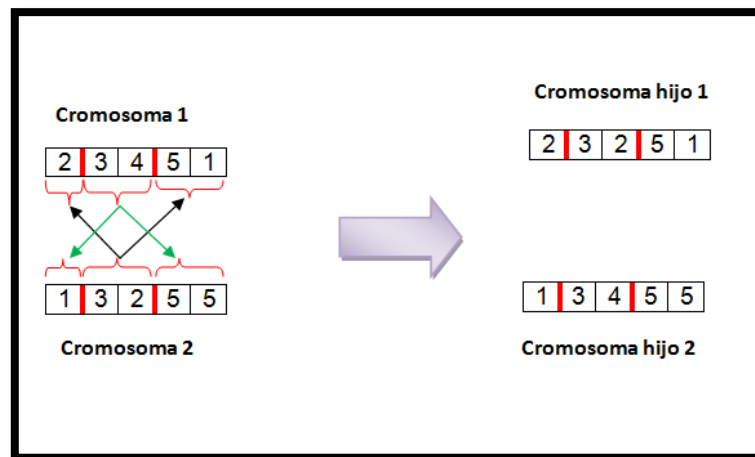
**Fuente:** Elaboración propia.

Como resultado obtenemos dos cromosomas hijos, donde cada uno de ellos tiene información genética de cada uno de los padres.

### 7.3.2.2 Cruce por dos puntos

El cruce por dos puntos se trata de una generalización del cruce por un punto<sup>50</sup>, en este en ves realizar un solo corte, realiza dos, para lo cual es necesario tener un par de números aleatorios que indicarán en qué posición de los cromosomas se dará los puntos de corte, en esta parte tiene que validarse que dichos números no indique la posición extrema de los cromosomas, esto con el fin de garantizar que se formen tres segmentos y así proceder con el intercambio de los códigos genéticos entre los individuos, este proceso ser ilustrado en la siguiente figura.

Figura 26. Cruce por dos puntos



**Fuente:** Elaboración propia.

En el ejemplo anterior se procedió a insertar el segmento central de cada cromosoma en cada uno de los hijos, y posteriormente a rellenar las casillas restantes de cada uno de los cromosomas con información genética del padre contrario al que había heredado el segmento de código central.

Es evidente que se puede añadir más punto de cruce pero se ha demostrado que no es conveniente<sup>51</sup>, entre una de las desventajas de tener varios puntos de corte está el hecho de reducir el rendimiento del algoritmo, y entre las

<sup>50</sup> Gestas Marcos, Introducción a Los Algoritmos Genéticos; Departamento de la Información y las Comunicaciones, universidad de Curuña. Página 10.

<sup>51</sup> Gestas Marcos, Introducción a Los Algoritmos Genéticos; Departamento de la Información y las Comunicaciones, universidad de Curuña. Página 11.

ventajas se encuentra el brindar al algoritmo la capacidad de explorar el espacio de búsqueda más afondo.

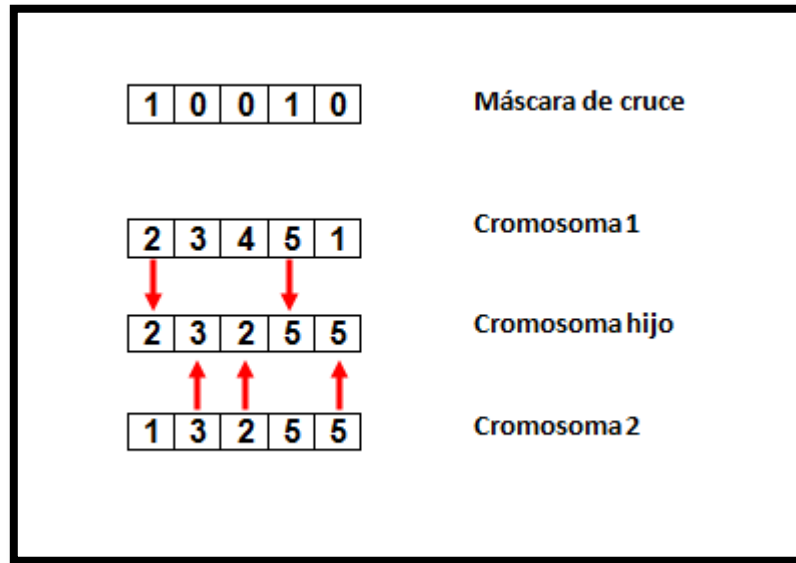
### 7.3.2.3 Operador de cruce uniforme

En éste operador, cada gen de los padres tienen la misma oportunidad de pertenecer a los hijos, este mecanismo de selección tiene varias formas de implementarlo, uno de esto consiste en generar un número aleatorio, si este supera un cierto umbral se elige un gen de un padre determinado, de lo contrario se elige del otro.

La técnica más usual de implementar este operador, es creando una máscara de cruce. Una máscara de cruce consiste en un arreglo binario que tiene la misma longitud de los cromosomas de los padres. Este es creado de forma aleatoria, si una posición del arreglo es 1, entonces el cromosoma descendiente adquiere el gen de esa posición que está en el cromosoma padre uno, de lo contrario adquiere del cromosoma padre dos. Este proceso de cruce se ilustra claramente en la figura 27.

Para este mecanismo de reproducción, se puede definir un operador de cruce basado en la función fitness, en el cual al momento de crear el arreglo binario, se asigne más probabilidad de ser seleccionado al individuo con mayor adaptación, por ejemplo si en la Figura 27, el cromosoma 2 tiene mejor función adaptación que el cromosoma 1, al momento de construir la máscara de cruce daríamos la opción de asignar mayor probabilidad de tener más ceros que uno.

Figura 27. Operador de cruce uniforme



**Fuente:** Elaboración propia.

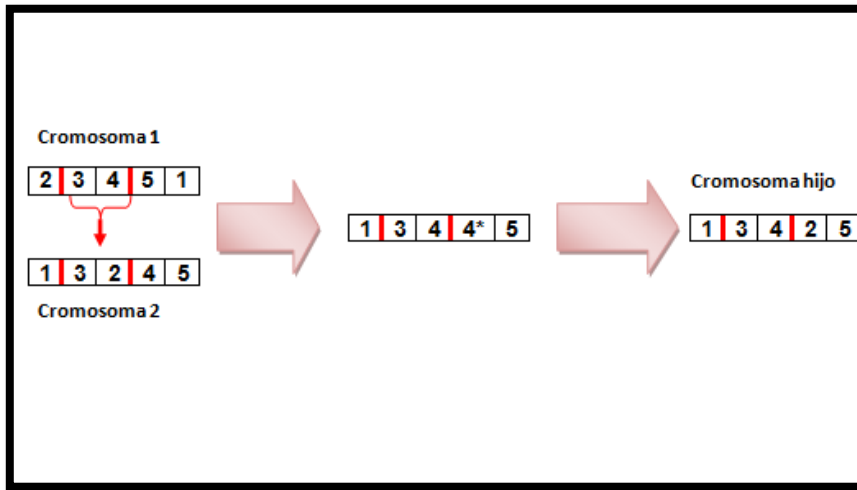
#### 7.3.2.4 Operador de cruce por segmento parcial (PMX)

Este operador consiste en la copia de un segmento de cadenas del cromosoma de unos de los padres, para insértalo en el cromosoma hijo y posteriormente llenar los espacios en blanco con la información del otro padre, tal que los genes no se repita a lo largo del código genético.

Para ilustrar este mecanismo de cruce, suponga que se tiene las cadenas de códigos que se muestran a continuación. 2 3 4 5 1 y 1 3 2 4 5, el primer paso consiste en copiar un segmento de uno de los padres para este ejemplo se elige 3 4 del cromosoma uno y se inserta en la misma posición del cromosoma dos. Tal como se muestra en la figura 28.

Posteriormente, se busca en el cromosoma hijo los genes que se repite, como se ve en la ilustración el gen que se repite se encuentra en la posición 4, razón por la cual es remplazado por uno que no esté presente en la codificación resultante.

Figura 28. Operador de cruce PMX



Fuente: Elaboración propia.

#### 7.3.2.5 Order crossover (OX)

En este mecanismo de cruce se selecciona un segmento de código genético de cada cromosoma padre, los cuales son copiados en forma directa a sus hijos, luego los espacios que resultan en cada cromosoma hijo (casilla de genes vacías) son llenados en forma ordenada con los genes del padre restante. Para ilustrar este mecanismo, del ejemplo anterior se coge los dos padres representados por el códigos 2 3 4 5 1 y 1 3 2 4 5. Seguido se selecciona los segmentos 3 4 y 3 2 de los cromosomas 1 y 2 respectivamente, que serán insertados en los hijos 1 y 2. Lo cual da como resultado (\*, 3, 4, \*, \*) para el cromosoma hijo 1 y (\*, 3, 2, \*, \*) para el cromosoma hijo 2. Luego los espacios en blanco de cada cromosoma hijo son llenados en forma ordenada cogiendo la información genética del padre del que aún no ha recibido información genética, en este caso los espacios en blanco del cromosoma hijo 1 son completados con los genes del cromosoma padre 2, por el contrario el cromosoma hijo 2 es completado con la información genética del cromosoma 1. Para el llenado se parte de un punto de corte y se copia la información genética respetando el orden en el que se encuentran dispuesta en cada cromosoma padre, de esta forma



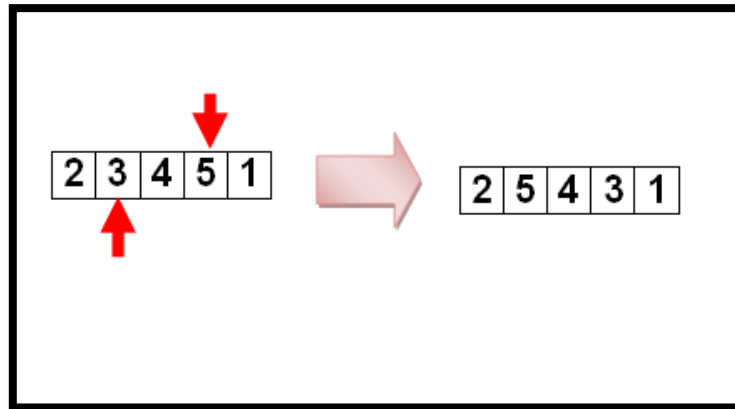
para el ejemplo tratado se tiene que los cromosomas hijos quedarían de la siguiente forma: (2, 3, 4, 5, 1) y (4, 3, 2, 5, 1).

### 7.3.3 Operador de mutación

Después del cruce se da la mutación, esta permite que el algoritmo genético tenga un campo más amplio en la exploración del espacio de búsqueda. La mutación consiste en la modificación de ciertos genes de forma aleatoria, por tal motivo el tipo de codificación utilizada es de suma importancia, para el caso del bin packing problem tenemos que la representación de las soluciones necesariamente tienen que ser por objetos, debido a que es poco conveniente realizar cambios aleatorios en el orden de llenado de las láminas cuando se utiliza una codificación basadas por láminas.

Para el caso de la representación basada en objetos o pieza, existe una gran variedad de operadores, entre estos están el *operador de mutación basado en el desplazamiento* el cual consiste en la selección aleatoria de un grupo de objetos de un cromosoma y su posterior ubicación en un lugar distinto seleccionado aleatoriamente dentro del cromosoma, el *operador de mutación basado en inserción*; este consiste en la selección aleatoria de un objeto (gen) del cromosoma, sacarlo e insértalo en un lugar distinto seleccionado aleatoriamente, *operador de mutación basado en la inversión simple* el cual consiste en la selección de dos puntos de corte seleccionados aleatoriamente, luego los genes comprendidos entre estos puntos de cortes les es invertidos el orden en el que se encuentran. Y finalmente encontramos al *operador de mutación basado en el doble intercambio (2-opt)*, este consiste en seleccionar dos objetos aleatoriamente y se procede a intercambiar tal que uno ocupe la posición del otro, de antemano se tiene en cuenta que los números aleatorios utilizados para la selección del los objetos (piezas) no sean los mismos. Esta situación se puede observar claramente en la siguiente figura.

Figura 29. Operador de mutación 2-opt



**Fuente:** Elaboración propia.

Como se había mencionado anteriormente, la mutación es de vital importancia porque le da capacidad al algoritmo de ampliar su espacio de búsqueda sin dejar que caiga rápidamente en mínimos locales. Por otro lado se tiene que si se abusa de la mutación se incurre en el error de que el algoritmo genético solo efectúe búsquedas aleatorias, razón por la cual es conveniente trabajar con porcentaje de mutación bajo.

#### 7.3.4 Operador de remplazo

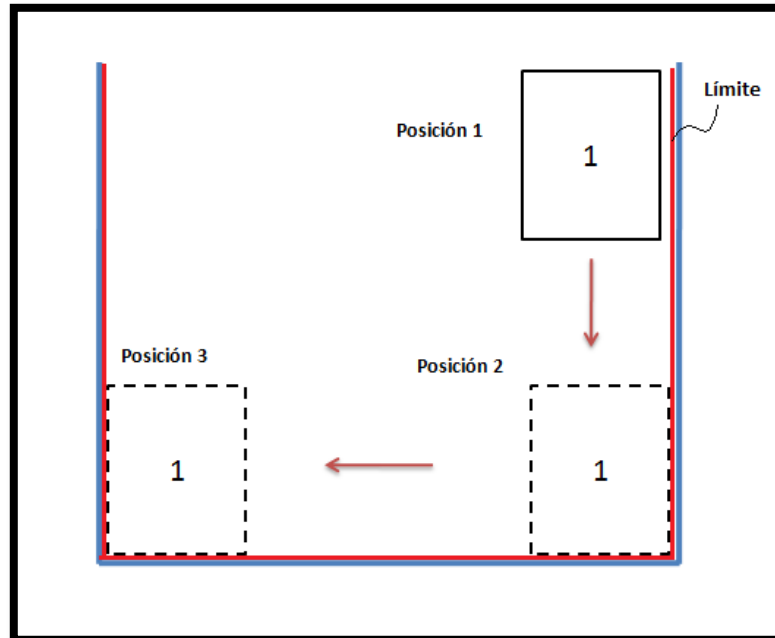
Este operador consiste en la sustitución de algunos integrantes de la población por nuevos individuos generados, entre los operadores de remplazo más conocido está el elitismo, el cual se basa en la función adaptación (función fitness), para saber cuál individuo o representación de una solución es la más adecuada y de esta forma dar prioridad a estos individuos de permanecer en las generaciones futuras, de esta forma y al igual que en el proceso de evolución natural, las soluciones menos factibles son reemplazadas por las que tienen mejor fitness.

Adicional a este existe otro operador denominado generacional, el cual consiste en la sustitución de la población inicial por una nueva. Para la implementación se utiliza una mezcla de los dos operadores descrito con anterioridad, inicialmente se evalúa a los individuos más aptos y estos pasan a reemplazar a los individuos de la población.

#### 7.4 HEURÍSTICA PARA EL *BIN PACKING PROBLEM*

Como se pudo observar en la en la codificación de las soluciones para el *bin packing problem*, estas nos brindan información relacionadas con la asignación de piezas a cada lámina, pero la posición de cada pieza en ésta no se puede saber con este tipo de representación, razón por la cual es necesario hacer uso de una heurística que permita distribuir la pieza para así saber cuál es la ubicación de cada una dentro de la lámina. Para este caso Jakobs propone el algoritmo llamado *Bottom left*<sup>52</sup>, el cual consiste en colocar la pieza lo más abajo y a la izquierda posible. El algoritmo empieza cuando introduce una pieza y la lleva al fondo de la placa hasta encontrar un límite que está determinado por la forma de la lámina o de las piezas puestas con anterioridad. Luego esta es rodada hasta el extremo izquierdo, tal como se muestra en la figura 30.

Figura 30. Secuencia de empaquetamiento

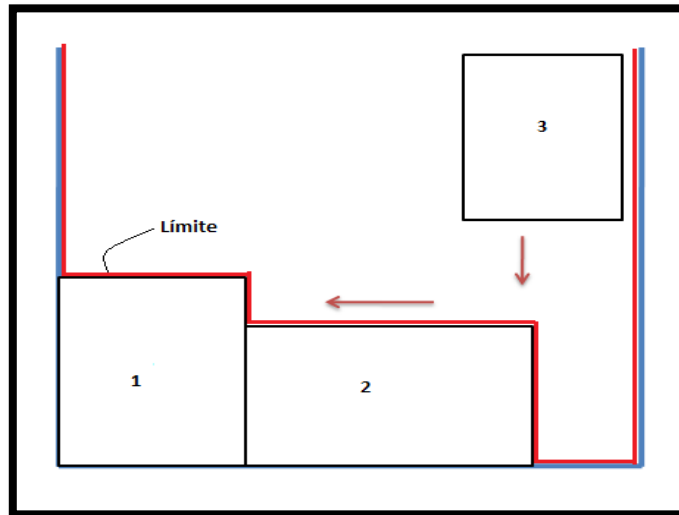


**Fuente:** Elaboración propia.

<sup>52</sup>Amarras de la peña Jorge, Parra Truyol Antonio, resolución del problema de Strip-packing mediante la Metaheurística algoritmos genéticos. Universidad Carlos III, página 2.

Si bien, previo al inicio del empaquetado se establece como límites los bordes de la lámina, en la medida que se va llenando estos se van reemplazando por los bordes de las piezas que se van empacando. Tal como se muestra en la siguiente figura, donde el borde rojo representa el nuevo límite.

Figura 31. Reconstrucción de los límites



**Fuente:** Elaboración propia.

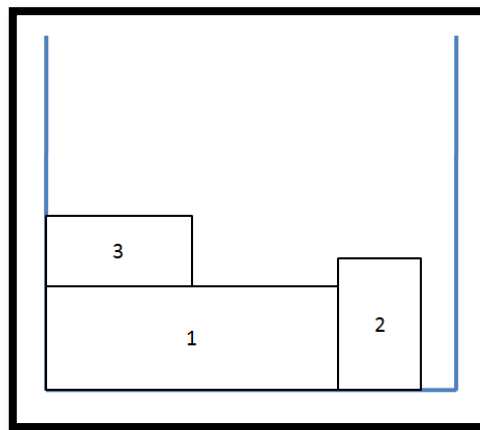
En resumen lo que hace la heurística es arrastrar la pieza hacia abajo, si encuentra algún límite rueda la pieza a la izquierda. Esta heurística presenta dos inconvenientes, el primero está relacionado con la posibilidad de que dos cromosomas diferentes pueden representar la misma distribución dentro de la lámina y por ende el mismo fitness<sup>53</sup>, esta situación se ilustra en la figura 32.

En este caso vemos que la figura puede estar representada por la secuencia (1, 2, 3) y (1, 3, 2). Si se mira con mayor detalle la secuencia uno, podemos ver que la heurística comienza insertando la pieza 1, la baja al fondo y posteriormente la rueda a la izquierda, así mismo hace con la pieza dos y la ubica justo al lado de la pieza 1, finalmente la pieza 3 es arrastrada hacia

<sup>53</sup> Amarras de la peña Jorge, Parra Truyol Antonio, resolución del problema de Strip-packing mediante la Metaheurística algoritmos genéticos. Universidad Carlos III, página 2.

abajo, como la pieza 2 impide que llegue al fondo ya que como se explicó anteriormente los límites reconstruidos impiden la sobre posición de las piezas, entonces es arrestada a la izquierda. Ahora en la secuencia dos se presenta que primero es colocada la pieza 1, luego la pieza 3 pero como no cabe en el espacio comprendidos entre la pieza uno y el límite extremo derecho, entonces es arrastrada hacia la izquierda, finalmente se introduce la pieza 2.

Figura 32. Representación válida para dos individuos

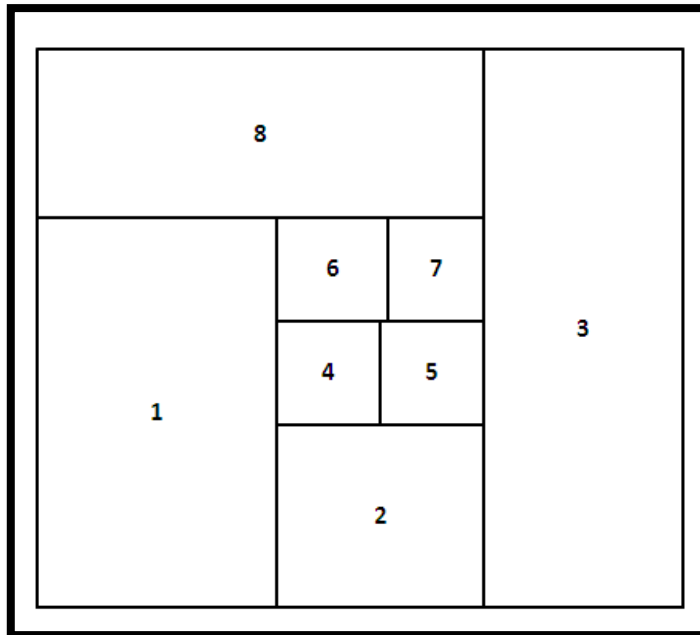


**Fuente:** Amarras de la peña Jorge, Parra Truyol Antonio.

El otro problema consiste en que hay soluciones que no se puede alcanzar con esta heurística, como ejemplo tenemos a la distribución mostrada en la figura 33.

Esto sucede porque la pieza 4 nunca alcanza la posición óptima, si miramos la secuencia de la heurística podemos ver que la primera en ser empaquetada es la pieza 1, seguida de la pieza 2, posteriormente la pieza 3 luego cuando la pieza 4 es dirigida hacia abajo por el lado derecho de la lámina, se encuentra que la pieza 3 está debajo de ella, razón por la cual la heurística hace que esta sea dirigida hacia la izquierda y quede encima de la pieza 1, haciendo imposible alcanzar la distribución mostrada en la figura 33.

Figura 33. Solución inalcanzable



**Fuente:** Amarras de la peña Jorge, Parra Truyol Antonio.

#### 7.4.1 *Bottom left* con caída libre

La heurística en caída libre es una mejora al Bottom left expuesto con anterioridad, en esta, al igual que el bottom left, se busca ubicar lo más abajo y a la izquierda posible pero con la diferencia de que esta heurística no corre del todo la pieza a la izquierda, antes de esto verifica si hay espacio hacia abajo donde pueda caber la pieza sino sigue corriendo a la izquierda y explora nuevos espacios libres.

#### 7.4.2 *Bottom left* con caída libre y con remplazo

Es heurística realiza el mismo procedimiento como la que se hace en el algoritmo en caída libre, pero con la diferencia de que una vez puesta la pieza verifica si la pieza en espera para ser ubicada cabe en algún espacio libre entre las piezas puestas, de ser así procede a insertarla en ese lugar de lo contrario sigue los pasos expuesto en el algoritmo de caída libre.

#### 7.4.3 Heurística para polígonos de ángulos rectos

Se llama polígono de ángulo recto a la figura geométrica que cuenta con más de cuatro lados, y el ángulo entre lados consecutivos es de noventa grados.

Como en la caracterización de las piezas se encontró varias figuras que poseen la forma anteriormente descrita, es necesaria definir una heurística que permita la correcta distribución de las piezas en las láminas.

La heurística de polígonos de ángulos rectos comienza recorriendo los límites horizontales, ubica la pieza en el extremo derecho del límite recorrido, luego busca las caras laterales izquierda de la pieza y traza líneas de cruce comprendida entre las caras laterales izquierda y los límites izquierdos encontrados, esto se hace con el fin de saber si existe huecos o espacios libres en los cuales encaje de forma exacta la pieza, seguido busca posicionar la cara de la pieza que se encuentra más a la derecha con el límite izquierdo que se encuentra más a la derecha, para esto se guía con la línea de cruce es más corta.

#### 7.5 CALCULO DE LA FUNCIÓN FITNESS

El objetivo fundamental de la investigación es la disminución de los desperdicios generados en el proceso de corte en la empresa FERROCARPINTERÍA FORMAR, por tal motivo la función fitness que evalúa la calidad de las soluciones tiene que estar asociada con dicho objetivo, tal como se muestra en la siguiente expresión.

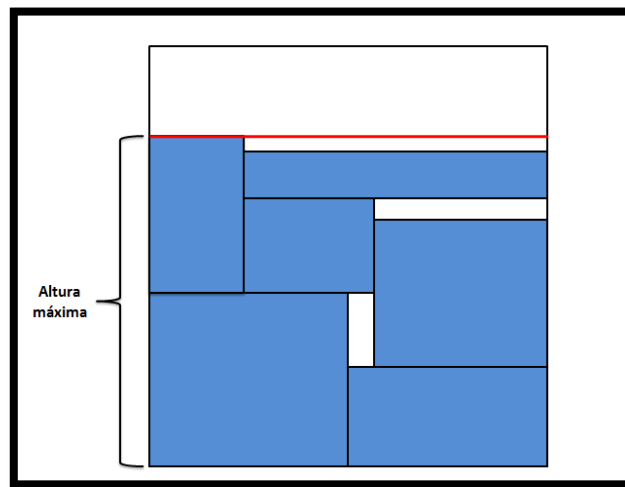
Ecuación 3. Función fitness

$$F = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (A_i - t_j)$$

En la ecuación 2,  $A_i$  representa el área de la lámina  $i$ , y  $t_j$  representa el área de una pieza  $j$  empacada en la lámina  $i$ . En la expresión anteriormente mostrada, se busca determinar el área total no utilizada en la distribución de las piezas del producto, y con esto poder establecer el indicador promedio de desperdicio arrojado por la herramienta.

Hay que resaltar que para la última lámina utilizada en el proceso de distribución de las piezas, no se toma el área total, en lugar de esto se trabaja con el área determinada por la altura máxima, siendo la altura máxima aquella comprendida entre la base de la lámina y el borde de la pieza que sobresale entre todas las empacadas en la lámina, tal como se muestra en la figura 35.

Figura 34. Altura máxima de lámina.



**Fuente:** Elaboración propia.

Este mecanismo de evaluación permite que no se generen soluciones con igual fitness, debido a que si no se tiene en cuenta la altura máxima, el algoritmo siempre calculará el área total de las láminas menos el área de las piezas empacadas, y como se sabe que la cantidad de láminas para diferentes distribuciones puede ser la misma y el número de piezas siempre es constante, tendremos como resultado una función fitness constante con diferentes distribuciones. Por el contrario si tenemos en cuenta la altura máxima, diferentes distribuciones generan diferentes alturas máxima por lo cual de esta forma si se puede determinar qué solución es mejor que otras.

## 7.6 CONVENCIONES GEOMÉTRICAS

Para efectos de implementación los ejes coordenados se encuentran en una posición diferente a la convencional, donde el origen está ubicado en la esquina superior izquierda de la lámina, es así como los valores positivos del

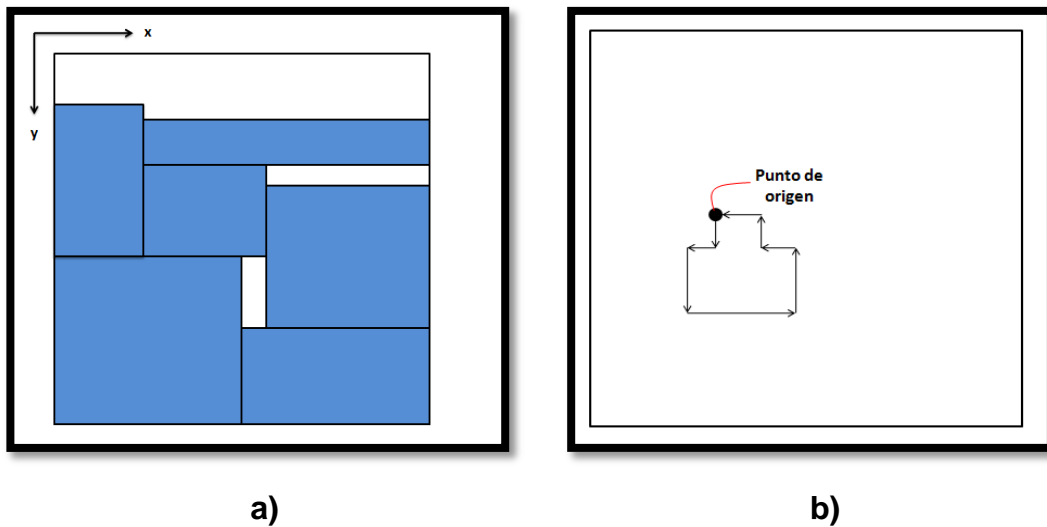


eje **X** van de izquierda a derecha y del eje **Y** de arriba hacia abajo, tal como se indica en la figura 35-a.

El motivo por el cual se utiliza el sistema coordenado de la forma presentada, se fundamenta principalmente en que el lenguaje de programación en el que será implementada la herramienta (Java) lo presenta de dicha forma. Por lo cual se facilitarían la representación de las piezas y su representación grafica en la herramienta.

Por otro lado, se defino un mecanismo para el recorrido de una pieza, este está dado en el sentido contrario a las manecillas del reloj y para el trazado de la pieza, el punto de partida es la esquina izquierda de la línea horizontal superior, tal como se muestra en la figura 35-b.

Figura 35. Ejes coordenados y recorrido de la pieza

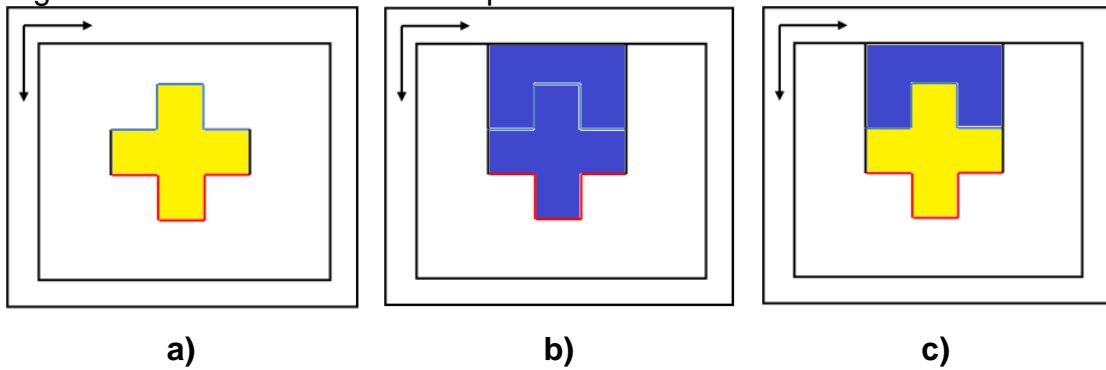


Fuente: Elaboración propia.

### 7.6.1 Calculo de área de piezas

Para calcular el área de una pieza (zona de color amarilla), se procede a realizar la diferencia entre el área determinada por los bordes inferiores (líneas rojas) de la pieza menos el área determinada por los bordes superiores de la pieza (líneas azules), tal como se muestra en la figura 36-a.

Figura 36. Calculo de área de las piezas



**Fuente:** Elaboración propia.

El primer paso como se menciono anteriormente para el cálculo del área de una pieza, es calcular el área comprendida entre los bordes inferiores de la pieza y la abscisa (eje x), es decir, el área representada por el color azul en la Figura 36-b, este calculo se realiza mediante la sumatoria del área de los rectángulos formados por los bordes inferiores horizontales y el eje coordenado x. De manera similar se deberá calcular el área comprendida entre los bordes superiores y también el eje coordenado x (área de azul en la Figura 36-c). Finalmente se deberá realizar la resta entre las dos áreas, quedando como resultado de esta resta el área de la pieza.

## 8 DISEÑO DE LA HERRAMIENTA COMPUTACIONAL.

### 8.1 REQUERIMIENTOS.

La documentación de los requerimientos funcionales y no funcionales tuvo como fuente principal de información entrevistas verbales que se le practicaron al gerente general de la empresa FERROCARPINTERIA FORMAR, el sr. Justo Padilla barros, quien expreso las necesidades existentes en dicha organización con respecto al subproceso de planificación de corte de piezas en laminas. Estas necesidades fueron complementadas con información existente en la literatura para el *bin packing problem*, lo que finalmente tuvo como resultado los requerimientos funcionales y no funcionales de la herramienta.

#### 8.1.1 Requerimientos Funcionales

Los requerimientos funcionales son declaraciones de los servicios que debe proporcionar el sistema, de la manera en que éste debe reaccionar a entradas particulares y de como se debe comportar en situaciones particulares<sup>54</sup>. A continuación se listan los requerimientos funcionales de la herramienta propuesta, y se presenta la descripción de cada uno de estos en el Anexo 11:

- ✓ R- 001. Importar piezas creadas en programas de diseño asistido por computadora.
- ✓ R- 002. Diseñar pieza.
- ✓ R- 003. Validar piezas.
- ✓ R- 004. Visualizar galería de piezas.
- ✓ R- 005. Visualizar características de una pieza.
- ✓ R- 006. Seleccionar demanda de una pieza.
- ✓ R- 007. Seleccionar dimensiones de la lámina.
- ✓ R- 008. Seleccionar los operadores del Algoritmo Genético.
- ✓ R- 009. Seleccionar los parámetros del Algoritmo Genético.

---

<sup>54</sup>SOMMERVILLE. Op. cit., p. 110.

- ✓ R- 010. Ejecutar Algoritmo Genético.
- ✓ R- 011. Visualizar una distribución de piezas en láminas.
- ✓ R- 012. Reacomodar distribución de forma manual.
- ✓ R- 013. Exportar distribución encontrada por el Algoritmo genético.

### 8.1.2 Requerimientos no funcionales

Los requerimientos no funcionales son restricciones de los servicios o funciones ofrecidas por el sistema. A continuación se listan los requerimientos no funcionales del software propuesto:

- ✓ RN- 001. El sistema debe facilitar la interpretación por parte del usuario de las distribuciones obtenidas del algoritmo genético.
- ✓ RN- 002. El sistema debe ser extensible, permitiendo la creación de nuevos operadores de selección, cruce y mutación.
- ✓ RN- 003. Se debe brindar la flexibilidad de ejecutar el algoritmo genético con diferentes combinaciones de operadores y parámetros.
- ✓ RN- 004. El sistema debe permitir la comunicación con sistemas de diseño asistido por computadoras mediante un formato estándar (Ej: formato Dxf).

## 8.2 ARQUITECTURA DE SOFTWARE

Tenido como base los requerimientos funcionales, no funcionales y las características particulares de la herramienta que se desea implementar, se decidió utilizar una arquitectura por capas, este tipo de arquitectura organiza el sistema como su nombre lo indica en capas, cada una de las cuales proporciona un conjunto de servicios.

El modelo por capas soporta el desarrollo incremental de los sistemas, permitiendo implementar primero las capas más prioritarias para el funcionamiento del sistema. Esta arquitectura también soporta bien los cambios y permite la portabilidad de dichas capas. En la medida en que la

interfaces de una capa permanezca sin cambios, esta puede ser remplazada por otra equivalente<sup>55</sup>.

Una de las arquitecturas por capas mas utilizadas es la de 3 niveles, en donde la primera capa se refiere a la capa de presentación, la segunda al modelo de negocios y la ultima a la capa de datos. De forma similar para la herramienta que se desea implementar, se utilizara una arquitectura de capas con 3 niveles, sin embargo, la arquitectura del sistema tiene algunos cambios con respecto a usualmente utilizada.

Figura 37. Arquitectura de software por capas.



**Fuente:** Elaboración propia.

A continuación se describen los 3 niveles que conforman la arquitectura del sistema (ver **Figura 37**):

- ✓ **Presentación:** Esta capa es la encargada de toda la interacción con el usuario, permitiéndole a este poder configurar el Algoritmo Genético, visualizar las distribuciones, entre otras funcionalidades.
- ✓ **Procesamiento:** Esta capa es la encargada de procesar la información ingresada por el usuario. Esta contiene el algoritmo genético el cual obtendrá las distribuciones de las piezas en las láminas.

---

<sup>55</sup>SOMMERVILLE. Op. cit., p. 227.

- ✓ Comunicación: Esta capa es la encargada de permitir la comunicación del sistema con programas de diseño asistido por computadora, mediante la lectura y escritura de archivos.

### 8.3 CASOS DE USO

Los casos de uso capturan el comportamiento de un sistema, de un subsistema, o de una clase, tal como se muestran a un usuario exterior. Estos reparten la funcionalidad del sistema en transacciones significativas para los actores-usuarios ideales de un sistema<sup>56</sup>. Un caso de uso describe una interacción con los actores como secuencia de mensajes entre el sistema y uno o más actores. En la presente sección se presentaran los casos de uso para el software propuesto, y finalmente se realizara una descripción de estos.

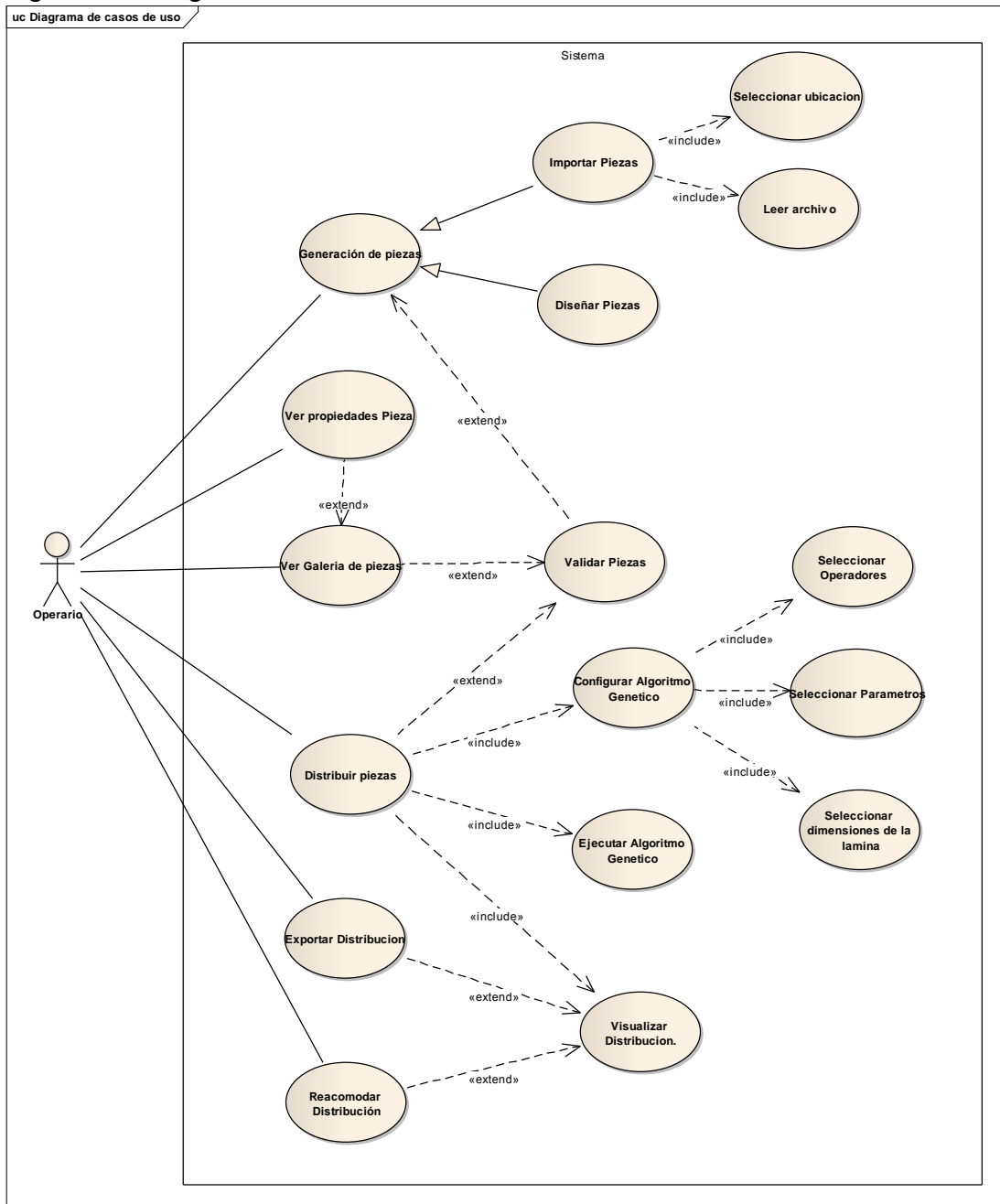
#### 8.3.1 Diagrama de casos de uso.

Un diagrama de casos es una representación grafica, que presenta con claridad las interacciones entre diferentes elementos, estos son los actores, el sistema, los casos de uso, y las relaciones. A continuación se presenta el diagrama de casos de uso del software propuesto:

---

<sup>56</sup>RUMBAUGH, James y JACOBSON, Ivar. El lenguaje unificado de modelado. Manual de referencia. Primera edición. Madrid: Addison Wesley, 2000. 552 páginas. ISBN 84-7829-037-0.

Figura 38. Diagrama de casos de uso



Fuente: Elaboración propia.

### 8.3.2 Descripción de los casos de uso.

En el Anexo 12 se presenta la descripción de los casos de uso plasmados en el diagrama de casos de uso de la sección anterior. La descripción de un caso de uso pretende mostrar los detalles de estos, dentro de los que se incluye:

- ✓ Código.
- ✓ Nombre caso de uso.
- ✓ Actores relacionados con el caso de uso.
- ✓ Descripción.
- ✓ Requerimientos relacionados.
- ✓ Flujo exitoso.
- ✓ Flujo alternativo.

#### 8.4 VISTAS ESTÁTICAS

La vista estática modela los conceptos del dominio de la aplicación, así como los conceptos internos inventados como parte de la implementación de la aplicación<sup>57</sup>. Esta clase de vistas son estáticas porque no describen el comportamiento del sistema dependiente del tiempo. Los componentes principales de este tipo de vistas son las clases, las relaciones y los paquetes. En la fase de diseño del software propuesta se realizarán dos vistas estáticas, el diagrama de clases y el diagrama de paquetes.

##### 8.4.1 Diagrama de clases

El diagrama de clases es una representación gráfica que muestra la estructura de un sistema presentando claramente las clases y sus relaciones. En la Figura 39 se presenta el diagrama de clases de la aplicación, este tiene como eje central la clase “*AlgoritmoGenético*”, la cual contiene información relacionada con los parámetros (Número de generaciones, tamaño de población y el porcentaje de mutación), de igual manera ésta clase está conformada por los operadores (Selección, Mutación y Cruce) y la heurística, con los cuales tiene una relación de composición. Por otro lado la clase *Algoritmo Genético* tiene una única operación, llamada *ejecutar*, que se encarga de realizar la búsqueda de la distribución de las piezas en las laminas.

En la búsqueda de distribuciones el algoritmo genético representa una solución mediante un cromosoma (como se presentó en la sección 7.2), por lo

---

<sup>57</sup>Ibid., p. 22.



cual la clase *AlgoritmoGenetico* mantiene una relación de uno a muchos con la clase *Cromosoma*.

Como se mostro en el capítulo de estructuración del algoritmo genético, existen múltiples posibilidades de implementación de cada tipo de operador, por ejemplo, el operador de cruce presenta las siguientes posibles implementaciones: por un punto, por dos puntos, PMX, OX, entre otros. Teniendo en cuenta este hecho, el diseño estructural del software debe permitir cambiar de una implementación a otra para un operador en particular sin generar mayores traumatismos en las demás clases. Al igual que se debe permitir agregar posteriormente nuevas implementaciones a las construidas inicialmente para los diferentes tipos de operadores en la herramienta.

Con la finalidad de cumplir con las dos características mencionadas, se decidió utilizar el patrón de diseño *Factory*, el cual consiste en utilizar una clase constructora abstracta que tiene la posibilidad de tener algunos métodos definidos y otro abstracto, este último es el encargado de la construcción de objetos de un subtipo determinado. Este patrón consta de dos clases principales, la fábrica y el producto, en donde la fábrica necesita crear instancias de diferentes productos. Se utilizo el patrón *Factory* para el operador de selección, el operador de cruce, el operador de mutación y la heurística, esta al igual que los operadores puede ser implementada de diversas formas.

Por otro lado, el diagrama de clase muestra que las piezas son representadas por la clase *Polígono*, la cual contiene la información relacionada con forma de la pieza. Esta clase se encuentra relacionada con la clase *Heurística*, debido a que esta última es la encargada de la distribución de una solución en particular en las láminas.

Finalmente *AlgoritmoGenetico* mantiene una relación de dependencia con la clase *Archivo*, esta última es la encargada de permitir la comunicación con

programas de diseño asistido por computadora, mediante la lectura y escritura de archivos.

#### 8.4.2 Diagrama de paquetes

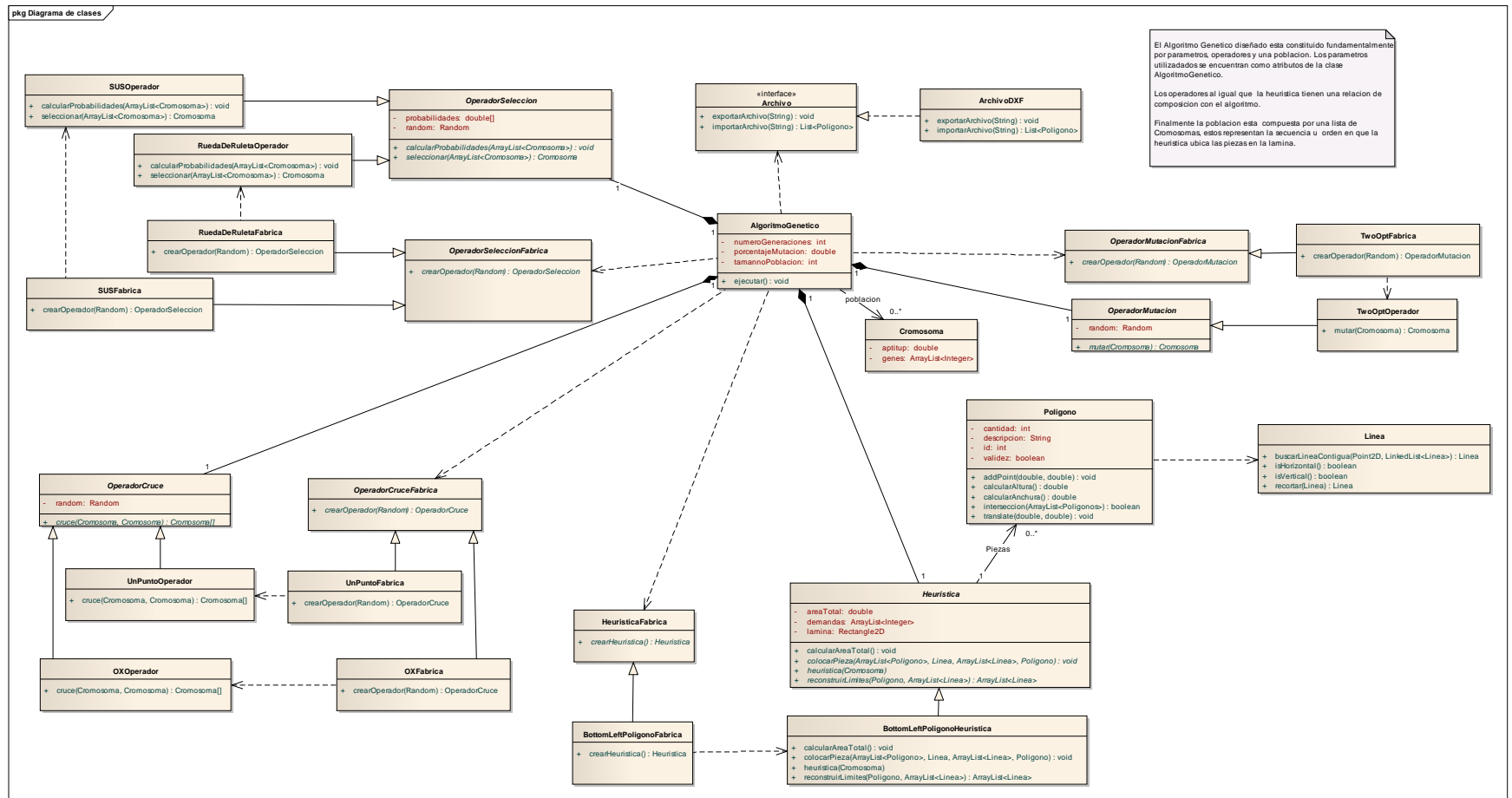
El diagrama de paquetes muestra como un sistema esta subdivido en agrupaciones lógicas, mostrando las dependencias entre esas agrupaciones. En la Figura 40 se presenta el diagrama de paquetes de la aplicación propuesta, este se fundamenta principalmente en la arquitectura del sistema, es decir, representa cada una de las capas señaladas en la arquitectura como un paquete, sin embargo, en el diagrama presentado se muestran dos paquetes (el de comunicación y el de procesamiento), debido a que el diseño de la herramienta no contempla el diseño de la interfaz grafica de usuario (GUI), gracias a que esta puede tener muchas variaciones.

El paquete de comunicación solo esta compuesto por una interfaz que expone los servicios de comunicación, y una o varios clases concretas que implementan estos servicios.

De los dos paquetes presentados en el diagrama, se logra ver claramente que el más robusto es el de procesamiento, este se encuentra subdivido a su vez en 3 diferentes paquetes: algoritmo, heurística y operadores. El paquete algoritmo agrupa a la clase *Algoritmo Genético* y a la clase *Cromosoma*. Por otro lado el paquete heurística esta conformado por las clase abstracta Heurística y por su fabrica también abstracta, al igual que por sus implementaciones concretas, adicionalmente también contiene las clase *Polígono* y *Línea* necesarias para realizar las distribuciones en las laminas.

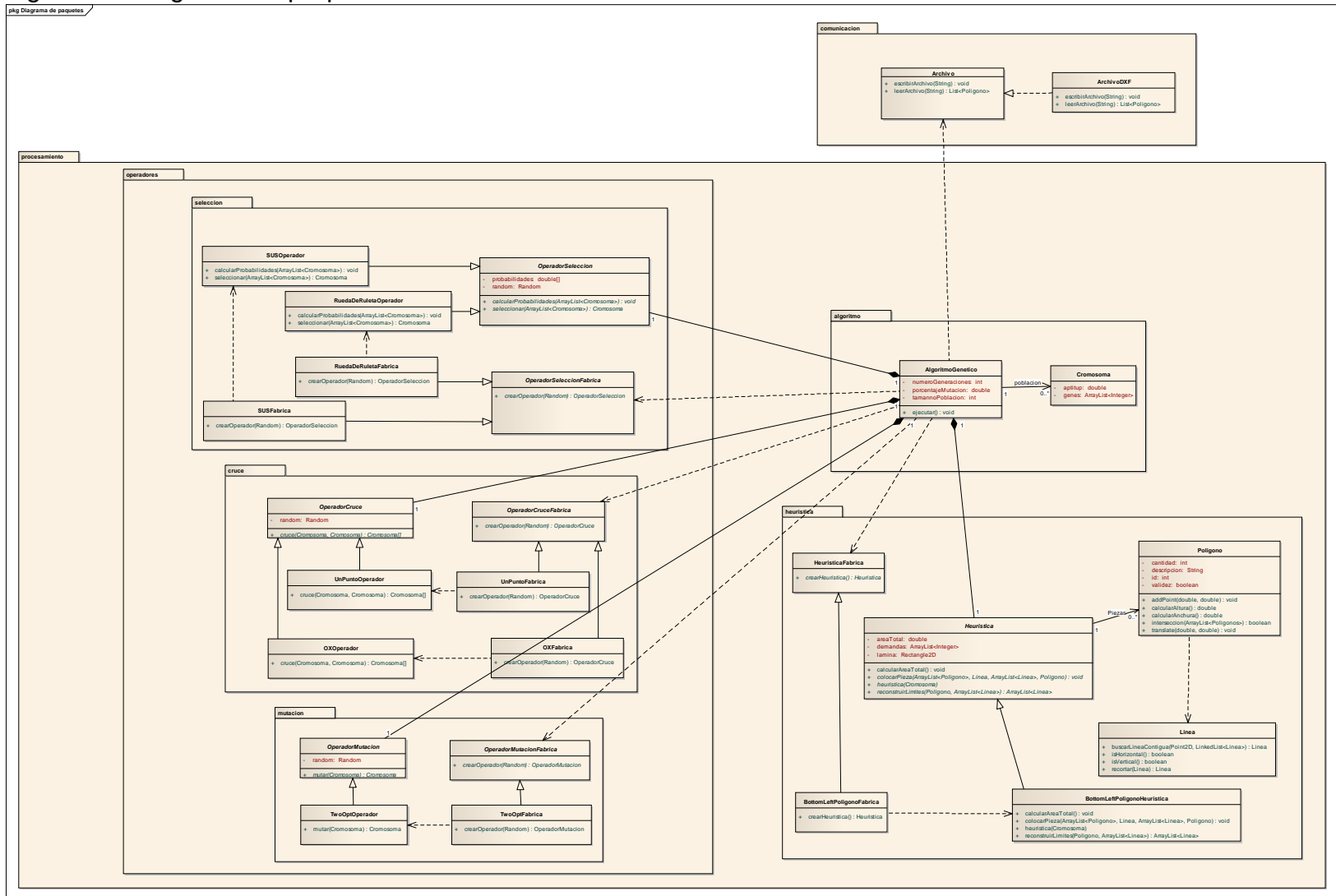
Finalmente el paquete operadores esta también subdivido a su vez por 3 paquetes, para cada uno de los tipos de operadores (selección, cruce, mutación), y en cada uno de estos se encuentra operador abstracto, su fabrica y las clases concretas que las implementan.

Figura 39. Diagrama de clases



Fuente: Elaboración propia.

Figura 40. Diagrama de paquetes



Fuente: Elaboración propia.

## 9 IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO.

La presente sección esta relacionada con los aspectos fundamentales de la implementación del prototipo de la herramienta diseñada en el capítulo anterior, haciendo énfasis en las escogencia de las funcionalidades que serán implementadas en el prototipo, el lenguaje en que será construido y los mecanismos de comunicación con programas de diseño asistido por computadoras.

### 9.1 FUNCIONALIDADES A IMPLEMENTAR.

En el capítulo anterior se presentaron la lista de requerimientos funcionales y no funcionales de la aplicación diseñada, de dichos requerimientos funcionales se deberán escoger los que serán implementados en el prototipo de la herramienta, teniendo como criterio de escogencia aquellos requerimientos que permitan ejecutar la instancia objeto de estudio, obtenido de esta manera la eficiencia de las soluciones, que finalmente permitan realizar un análisis comparativo con los niveles de desperdicio presentados en la organización en la actualidad. A continuación se listan los requerimientos que se consideran cumplen con el criterio de escogencia anterior (ver prioridad de los requerimientos en su descripción), es decir, la lista de requerimientos que serán implementados en la el prototipo de la herramienta:

- ✓ R- 001. Importar piezas creadas en programas de diseño asistido por computadora.
- ✓ R- 003. Validar piezas.
- ✓ R- 004. Visualizar galería de piezas.
- ✓ R- 005. Visualizar características de una pieza.
- ✓ R- 006. Seleccionar demanda de una pieza.
- ✓ R- 007. Seleccionar dimensiones de la lámina.
- ✓ R- 008. Seleccionar los operadores del Algoritmo Genético.
- ✓ R- 009. Seleccionar los parámetros del Algoritmo Genético.
- ✓ R- 010. Ejecutar Algoritmo Genético.

- ✓ R- 011. Visualizar una distribución de piezas en láminas.

En total serán implementados en el prototipo de la herramienta 10 de un total de 13 requerimientos funcionales, lo que corresponde a 77% de funcionalidades implementadas en la herramienta prototipo.

## 9.2 LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN.

El lenguaje de programación con que será implementado el prototipo de la herramienta es Java, este es un lenguaje de programación orientado a objetos, desarrollado por *Sun Microsystems* a principios de los años 90<sup>58</sup>.

Este lenguaje fue escogido para la implementación de la herramienta debido a los siguientes factores:

- ✓ **Orientación a Objetos:** Esta es una de las principales características del lenguaje, la cual permite entre otras cosas la reutilización de código, al igual que la generación de diferentes niveles de abstracción (ver más información sobre programación orientada a objetos en la).
- ✓ **Independencia de la plataforma:** la segunda característica, indica que programas escritos en el lenguaje Java pueden ejecutarse igualmente en cualquier tipo de hardware. Este es el significado de ser capaz de escribir un programa una vez y que pueda ejecutarse en cualquier dispositivo, tal como predica el axioma de Java, "*write once, run any where*".
- ✓ **API grafica:** java posee una rica API grafica, lo cual facilita al momento de programar la creación de interfaces graficas de usuario (GUI), esenciales para la representación de las distribuciones encontradas por el Algoritmo Genético.

---

<sup>58</sup> DEITEL. Op. cit., p. 9.

- ✓ **Amplia comunidad de desarrollo:** java a través de los años a ganado popularidad entre la comunidad de desarrolladores, lo cual genera la creación de muchas utilidades (API o librerías) de licencia publica, estas facilitarían la implementación de ciertas funcionalidades de la herramienta (como la comunicación con programas de diseño asistido por computadoras).

### 9.3 COMUNICACIÓN CON SOFTWARE DE CAD.

Con el fin de comunicarse con programas de diseño asistido por computadoras, se decidió, utilizar el formato DXF, este es un formato de archivo informático para dibujos de diseño asistido por computadora, creado fundamentalmente para posibilitar la interoperabilidad entre los archivos .DWG, usados por el programa AutoCAD, y el resto de programas del mercado.

Este formato fue escogido debido a que es soportado por un gran número de programas de diseño asistido por computadores, incluyendo el más usado de este tipo de programas (AutoCAD).

Una vez se decido el tipo de formato que se desea utilizar para la comunicación, es necesario determinar el mecanismo de lectura y escritura de los archivos con el formato escogido. Una de las posibilidades es utilizar una API o librería que haya sido creada para tal fin, en el lenguaje de programación en el que será implementado el prototipo de la herramienta, es decir, en el lenguaje de programación Java. Se realizo una búsqueda de este tipo de librerías, y se encontraron las siguientes:

- ✓ Kabeja.
- ✓ YCAD
- ✓ DXF Exporter.
- ✓ Jdwglib.

De las cuales se decidió escoger la librería Kabeja, esta es una librería en Java, para el análisis, procesamiento y conversión de archivos en formato DXF. La cual se escogió gracias a que se puede utilizar desde la línea de comandos o embebido en una aplicación (directamente en la herramienta prototipo). Como resultado del análisis realizado al archivo en formato DXF, esta librería permite acceder a los datos mediante una estructura de árbol, lo que facilita el procesamiento de las entidades leídas del archivo, otra de las razones por las cuales fue escogida la librería.

En contraste con las ventajas mencionadas, la librería escogida (Kabeja) presenta como desventaja que solo permite la lectura de archivos, es decir, no permite la escritura de archivos de este tipo, sin embargo, teniendo en cuenta que dentro de los requerimientos funcionales que se determino se van a implementar en el prototipo de la herramienta, no se encuentra el requerimiento relacionado con la escritura de archivos, se puede utilizar esta librería sin inconvenientes.

#### 9.4 VALIDACIÓN HERRAMIENTA PROTOTIPO.

Finalizada la implementación de la herramienta prototipo es fundamental validarla, de tal forma que se pueda constatar que el producto construido satisface las necesidades del usuario, es este caso el gerente de la empresa FERROCARPINTERIA FORMA, el sr. Justo padilla barros. Con el fin de realizar dicha validación se construyo una encuesta (ver Anexo 6), que consta de 3 secciones, información de la elaboración de la encuesta, los criterios de valoración, y una lista de las características de la herramienta.

El listado de características que se encuentran en la encuesta se fundamenta en los requerimientos funcionales, los cuales a su vez se construyeron basados en la información suministrada por el gerente de la empresa FERROCARPINTERIA FORMAR, es decir, se permitirá que el usuario evalúe la forma como se implementaron las características que este mismo propuso para la construcción de la herramienta.



La lista de características se evaluara de acuerdo en los siguientes criterios, los cuales se encuentran en el Anexo 7:

- ✓ Supera las expectativas
- ✓ Cumple las expectativas
- ✓ Necesita mejorar
- ✓ No cumple las expectativas
- ✓ Sin implementar.

De la encuesta realizada al gerente general de la empresa FERROCARPINTERIA FORMAR, se obtuvieron los siguientes resultados (ver evaluación completa en el Anexo 8):

- ✓ 5 de las 12 características (42%) superaron las expectativas del usuario, es decir, estas características tienen un mejor desempeño del que el usuario esperaba.
- ✓ 4 de las 12 características (33%) cumple con las expectativas del usuario, es decir, estas características realizan exactamente lo que el usuario esperaba.
- ✓ 25% de las características no se encontraban implementadas en la herramienta, es decir, 3 de las 12 características. Esta situación se debe a que estas 3 funcionalidades según los criterios determinados en la sección anterior, no tenían la suficiente prioridad para ser incluidas dentro de la implementación de la herramienta prototipo.

## **10 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

En la presente sección se ejecutará la herramienta, presentando las distribuciones encontradas por el Algoritmo Genético, con el fin de determinar el porcentaje promedio de desperdicio para dichas distribuciones, el cual será comparado posteriormente con el porcentaje promedio de desperdicio de las distribuciones realizadas de forma manual por parte de los trabajadores de la empresa FERROCARPINTERIA FORMAR. Finalmente se realizara un análisis de costo, tanto de las distribuciones encontradas por la herramienta como de las distribuciones realizadas de forma manual, determinando la diferencia entre estas dos distribuciones, en términos monetarios.

Se debe tener en cuenta que los algoritmos genéticos realizan una serie de operaciones aleatorias que dan como resultado una solución que podría estar cercana al óptimo, esto depende en gran parte de la forma como se estructure el algoritmo, los operadores genéticos implementados y de los parámetros seleccionados. Debido a la importancia en la escogencia de los parámetros, en la búsqueda de buenos resultados en el Algoritmo Genético, se deberá utilizar mecanismos que permitan la escogencia de estos, en la presente sección se mostrara el mecanismo utilizado para la escogencia de los parámetros.

Una vez se hayan determinado los parámetros que se deberán utilizar durante la ejecución de la herramienta, se calcula el numero de veces que se deberá ejecutar el Algoritmo Genético, para calcular el porcentaje de desperdicio promedio de las distribuciones.

## 10.1 PARÁMETROS DEL ALGORITMO GENÉTICO

La selección de los parámetros tales como el porcentaje de mutación, número de generaciones y tamaño de población, son determinante a la hora de obtener buenos resultados en la ejecución del algoritmo genético, razón por la cual en la investigación se realiza un experimento en el cual se seleccionan unos parámetros determinados acorde con la literatura y los recursos computacionales disponibles. En el caso de la mutación, los porcentajes seleccionados son: 1%, 5% y 10%. En el número de generaciones se tiene: 100, 150, y 200, en la población inicial se experimentó con números de 20 hasta 50, con incrementos de 10 generaciones. En la tabla 5 se muestra los resultados obtenidos del experimento.

Tabla 7. Resultado del experimento para la selección de los parámetros

		MUTACIÓN								
		1%			5%			10%		
		NÚMERO DE GENERACIONES	100	150	200	100	150	200	100	150
TAMAÑO DE POBLACIÓN	20	0,2476663	0,2955444	0,2533333	0,2431681	0,2729517	0,19884150	0,2417517	0,2174335	0,2174335
	30	0,1963166	0,2192436	0,2431681	0,2398804	0,2201455	0,22104535	0,2476663	0,2476663	0,2151894
	40	0,2192436	0,1963166	0,2192436	0,2210453	0,2210453	0,22104535	0,2174335	0,2192436	0,2150069
	50	0,2201455	0,1943985	0,1963166	0,2210453	0,2210453	0,18988716	0,1943985	0,2192436	0,2150069

**Fuente:** Elaboración propia.

Cada valor de la casilla que se encuentra en el cuerpo de la tabla representa el promedio de haber ejecutado 5 veces la herramienta bajo las condiciones indicadas, por ejemplo, el valor que se encuentra en la primera casilla es el promedio de los resultados obtenidos por haber ejecutado la herramienta 5 veces y con porcentaje de mutación del 1%, tamaño de población de 10 y un número de generación de 100.

Como se puede observa en laTabla 7, el menor porcentaje de desperdicio arrojado por la herramienta se obtuvo con una población inicial de 50, número de generación de 200 y un porcentaje de mutación del 5%. Por tal motivo para la solución del caso de estudio y los análisis de los resultados se trabaja con dichos parámetros.

## 10.2 CÁLCULO DEL TAMAÑO DE MUESTRA

Como bien se sabe la naturaleza probabilística de los algoritmos genéticos hace que los resultados entre una ejecución y otra sean variables, esto causa que sea complicado realizar un análisis detallado de los desperdicios arrojados por la herramienta, por tal motivo es necesario tener un valor representativo con el cual poder comparar la calidad de la soluciones obtenidas por la herramienta con las obtenidas de forma manual. Este valor representativo es determinado mediante el promedio de los valores arrojados al ejecutarlo un número determinado veces la herramienta. Ahora es de interés determinar el número adecuado de veces que se ejecuta la herramienta, para esto se recurre a la fórmula de tamaño óptimo de muestra, a continuación se muestra los pasos para determinar el número de ejecuciones adecuadas.

- ✓ **Unidad Poblacional:** La unidad poblacional hace referencia a una solución particular o cromosoma obtenida al ejecutar la herramienta.
- ✓ **Tamaño de población:** La población es el conjunto de soluciones factibles para el problema tratado, como el *bin packing problem* está dentro de la categoría de problemas *NP-Hard*, el espacio de soluciones es demasiado grande, razón por la cual el tamaño de la población se considera como infinita.
- ✓ **Calculo:** Para el cálculo del tamaño óptimo de muestra se procede a tomar una muestra piloto, se decide que el tamaño de la muestra es 10, es decir, que este valor indica el número de veces que será ejecutada la herramienta en busca de distribuciones de piezas en los formatos; para cada una de estas distribuciones la herramienta calculará un porcentaje

de desperdicio, con el cual se determina la desviación estándar y así poder utilizar la fórmula de tamaño óptimo de muestra, la cual se ilustra a continuación.

Ecuación 4. Fórmula de tamaño óptimo de muestra

$$n = \frac{Z^2_{\alpha/2} * s^2}{e^2}$$

De la fórmula anterior  $e$  hace referencia al error permitido,  $s$  es la desviación estándar de los datos perteneciente a la muestra piloto. Alfa es el error muestral, el cual permitirá determinar el valor del estadístico Z que corresponde a la distribución normal estándar.

Los resultados de la muestra piloto se muestran a continuación:

Tabla 8. Datos de la muestra piloto

Distribución	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
% de desperdicio	19,65%	20,21%	19,46%	15,64%	21,52%	21,52%	19,65%	21,77%	24,79%	21,52%

**Fuente:** Elaboración propia.

Para realizar los cálculos se escoge un alfa de %5, error de 0,008 y con la ayuda de los datos de la tabla 6 se determina de la desviación de los datos, finalmente se remplazan estos valores en la Ecuación 4, dando como resultado para el tamaño óptimo de muestra un valor de 33 ejecuciones.

### 10.3 INDICADOR PROMEDIO DE DESPERDICIO ARROJADO POR LA HERRAMIENTA

Una vez determinado el tamaño óptimo de ejecuciones, se procede a ejecutar el Algoritmo Genético tantas veces como lo indique dicho tamaño de muestra, con el fin de obtener una distribución representativa para el producto en cuestión, con la cual se pueda realizar un análisis comparativo

con respecto a las distribuciones realizadas de forma manual actualmente en la empresa FERROCARPINTERIA FORMAR.

La herramienta fue ejecutada 33 veces con los operadores escogidos en el capítulo 7 y los parámetros determinados anteriormente en esta misma sección. En el Anexo 3 se presentan los porcentajes de desperdicio para cada una de las 33 ejecuciones realizadas en la herramienta, cuyo promedio y desviación estándar son iguales a **21,25%** y **1,53%** respectivamente. En Anexo 6 se encuentra una de las 33 distribuciones encontradas por la herramienta.

#### 10.4 ANÁLISIS DE COSTO PARA LA DISTRIBUCIÓN ARROJADA POR LA HERRAMIENTA

Una vez determinado el indicador promedio de desperdicio, se procede a realizar el cálculo de los costos relacionados a dicho indicador. El procedimiento aplicado para hallar el desperdicio en términos monetario es el mismo que el utilizado en la distribución manual, pero con la diferencia que el porcentaje promedio de desperdicio utilizado es el arrojado por la herramienta al ser ejecutadas 33 veces, que es el tamaño óptimo de muestra, de igual forma sucede con el área promedio gastada en la distribución de las piezas, en este caso el área promedio es de **15,45 m<sup>2</sup>**. En la **Tabla 9** se muestra los cálculos pertinentes.

#### 10.5 ANÁLISIS COMPARATIVO

Teniendo en cuenta los resultados del diagnóstico y los obtenidos con la herramienta computacional, se puede establecer un cuadro comparativo en el cual se muestra los resultados obtenidos por ambas formas de realizar la distribución, tal como se muestra a continuación:

Tabla 9. Análisis de costo para la herramienta computacional

DESCRIPCIÓN	FÓRMULA	RESULTADO
Área desperdiciada	$(\text{Porcentaje de desperdicio}) \times (\text{Área gastada promedio})$	3,28 m <sup>2</sup>
	$(21,25\%) \times (15,45 \text{ m}^2)$	
Costo desperdicio por producto	$(\text{Área desperdiciada}) \times \left( \frac{\text{Costo una lamina}}{\text{Área de una lamina}} \right)$	\$ 75.314,84
	$(3,28 \text{ m}^2) \times \left( \frac{\$ 66.000}{2,88 \text{ m}^2} \right)$	
Costo desperdicio mensual.	$(\text{Costo desperdicio por producto}) \times \left( \frac{\text{Número promedio de cocinas fabricadas en el mes}}{\text{Número promedio de cocinas fabricadas en el mes}} \right)$	\$ 376.574,19
	$(\$75.314,00) \times (5)$	
Costo desperdicio anual.	$(\text{Costo desperdicio mensual}) \times \left( \frac{\text{Número de meses del año}}{\text{Número de meses del año}} \right)$	\$ 4.518.890,28
	$(\$376.574,19) \times (4.518.890,28)$	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 10. Cuadro comparativo de resultados

DESCRIPCIÓN	HERRAMIENTA COMPUTACIONAL	DISTRIBUCION MANUAL	AHORRO
Porcentaje de desperdicio	21,29%	31,84%	10,55%
Área desperdiciada	3,286	5,88	2,594
Costo desperdicio por producto	\$ 75.314,84	\$ 134.842,40	\$ 59.527,56
Costo desperdicio mensual.	\$ 376.574,19	\$ 674.212,00	\$ 297.637,81
Costo desperdicio anual	\$ 4.518.890,28	\$ 8.090.544,00	\$ 3.571.653,72

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar, con el uso de la herramienta en el proceso de la distribución de las piezas en láminas, la empresa se ahorra un 10,55% en el consumo de material triplex, lo cual se traduce en \$ 297.637,81 mensual y si se lleva a anual tenemos que el ahorro es de \$ 3.571.653,72.

## 10.6 TIEMPOS COMPUTACIONALES

Se pudo determinar que los tiempo asociados con la distribución de piezas arrojado por la herramienta fueron muy bajos en comparación con los empleados en la distribución manual, como se puede observar en el Anexo 10, se muestra los tiempos computacionales en milisegundo para 33 distribuciones diferentes (las mismas distribuciones utilizadas para el cálculo promedio de desperdicio), la cual da un promedio de 8.8 minutos, al comparar este promedio, con el promedio obtenido de las distribuciones manuales (32,56 minutos) se evidencia una disminución sustancial de 23.67 minutos en promedio.

Se debe tener en cuenta las características del equipo de computo en el que se ejecuto la herramienta computacional (ver Tabla 11. Características del pc.), dado que los tiempos obtenidos están muy relacionados con las capacidades del equipo de computo.

Tabla 11. Características del pc.

Característica	Valor.
<b>Procesador</b>	AMD Turión 2.00GHz
<b>RAM</b>	3 GB
<b>Disco duro.</b>	500GB
<b>Sistema operativo.</b>	Windows 7 Profesional.
<b>Marca</b>	HP
<b>Modelo</b>	Pavilion dv600

**Fuente:** Elaboración propia.



## CONCLUSIONES

Con base en las experiencias obtenidas a lo largo de la presente investigación, se pudo establecer en la fase de diagnóstico el estado actual del proceso de corte de piezas en formatos en la empresa FERROCARPINTERIA FORMAR, determinando el nivel promedio de desperdicio, el cual fue de 31.84%, lo que refleja un alto porcentaje de ineficiencia del proceso, llevándolo a términos monetarios muestra un alto costo para la empresa (\$ 134.842,00 por producto).

Una vez terminada la fase de diagnóstico se procedió con el diseño del Algoritmo Genético, realizando una revisión del estado del arte de las estructura de codificación y operadores existentes para este problema, se selecciono de acuerdo a las ventajas y desventajas el que mejor desempeño podría ofrecer. Para el problema tratado se escogió Object-based representation como estructura de codificación, mientras que los operadores de selección, cruce y mutación escogidos fueron Stochastic universal sampling (SUS), Order Crossover (OX) y Two-OPT respectivamente. A los cuales se les comprobó experimentalmente su eficiencia en comparación con los demás operadores implementados.

De igual forma se realizó el diseño de una herramienta que permitirá distribuir las piezas de un producto en formatos de lámina. Éste realiza la distribución de las piezas características de los productos fabricados, en la empresa FERROCARPINTERIA FORMAR, es decir, polígonos con todos sus ángulos rectos, por lo cual se diseño una heurística que permite distribuir este tipo de piezas.

Basados en el diseño realizado de la herramienta se implementó un prototipo de la misma, permitiendo resolver la instancia objeto de estudio y realizar el análisis comparativo entre los resultados encontrados por la herramienta y las distribuciones manuales.

Se validó la implementación prototipo de la herramienta, realizando una encuesta al gerente de la empresa, en la cual este indicó que el 42% de las características de la herramienta superaron sus expectativas, mientras que un 33% cumplieron sus expectativas, y el restante 25% no fue implementado en el prototipo.

Se resolvió la instancia objeto de estudio utilizando la herramienta construida, obteniendo como resultado un promedio de desperdicio igual a 21.29%, significativamente menor al porcentaje promedio de desperdicio calculado para las distribuciones realizadas de forma manual (31.84%). El porcentaje de desperdicio hallado por la herramienta se traduce en términos monetarios en un costo de \$75.314,84, lo cual significa un ahorro para la empresa de \$59.527,56 por producto.

Finalmente para la mismas ejecuciones de la instancia objeto de estudio se midió la duración en que la herramienta realiza las distribuciones de forma desatendida, esta duración toma el valor en promedio de 8,8 minutos, significativamente menor a la duración promedio en que el operario realiza la distribución de las piezas en las laminas de forma manual, es decir, la utilización de la herramienta le brindaría a la empresa dos grandes beneficios, el primero relacionado con la disminución en los porcentajes de desperdicio, y por ende con la disminución de los costos, y el segundo relacionado con la disminución en la duración de las distribuciones de las piezas, traducidos en mejoras en la productividad de la empresa.

## RECOMENDACIONES

Teniendo en cuenta las experiencias obtenidas en la realización del presente trabajo de investigación, se realizan las siguientes recomendaciones:

- ✓ A la empresa se le recomienda la utilización de la herramienta prototipo construida en los demás productos que fabrican, en busca de mejores distribuciones, de las que actualmente realizan para dichos productos.
- ✓ A las futuras investigaciones que deseen resolver problemas de empaquetamiento similares mediante la construcción de un Algoritmo Genético, se recomienda la utilización como operadores de Selección, Cruce, Mutación y remplazo, a los operadores Stochastic universal sampling (SUS), Order Crossover (OX), Two-OPT y Generacional respectivamente.

## BIBLIOGRAFÍA

ALBANO, Antonio y SAPUPPO, Giuseppe. *Optimal Allocation of Two Dimensional Irregular Shapes Using Heuristic Search Methods* [Asignación óptima de piezas irregulares en dos dimensiones utilizando Heurísticas de búsquedas]. En: Systems, Man and Cybernetics, IEEE Transactions on. Mayo, 1980.Vol. 10, No. 5. p. 242-248.

ÁLVAREZ, David. Solución del problema de empaquetamiento óptimo bidimensional en una sola placa, en placas y rollos infinitos con y sin rotación de piezas usando técnicas metaheurísticas de optimización. Trabajo de grado magíster en ingeniería eléctrica. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Ingeniería, 2010. 77 P.

ÁLVAREZ, David y TORO, Eliana. *A hybrid algorithm for the two-dimensional strip packing problem*[solución al problema de empaquetamiento óptimo bidimensional en rollos infinitos usando un algoritmo híbrido]. En: Scientia et Technica. Junio, 2009.Vol. 15, No. 42. p. 205-210.

Amarras de la peña Jorge, Parra Truyol Antonio, resolución del problema deStrip-packingmediantelaMetaheurísticaalgoritmosgenéticos.Universidad Carlos III, página 2.

BASS, Len y CLEMENTS, Paul Software architecture in practice. Segunda Edición. México D.F.: Addison-Wesley Professional, 2003. p 6. ISBN978-0201199307.

BINKLEY, Kevin y HAGIWARA, Masafumi. *Applying self-adaptive evolutionary algorithms to two-dimensional packing problemas using a fourcorners*[Aplicación de algoritmos evolutivos auto-adaptativos en problemas de empaquetamiento en placas usando las 4 esquinas]. En: *European Journal of Operational Research*. Diciembre, 2006.Vol. 183. p. 1230-1248.

BLUM, Christian y ROLI, Andrea. *Metaheuristics in Combinatorial Optimization: Overview and Conceptual Comparison* [Metaheurísticas en Optimización Combinatoria: Presentación y comparación conceptual]. En: ACM Computing Surveys. Septiembre, 2003. Vol. 35, No. 3. p. 268-308.

CHRISTOFIDES, N. y WHITLOCK, A..Analgorithm for two dimensional cutting problems [Un algoritmo para problemas de corte de 2 dimensiones]. En: *Operational Research*. Enero, 1977. Vol. 25, No. 3. p. 30-44.

DEITEL, Harvey y DEITEL, Paul. Como Programar en C/C++ y Java. Cuarta edición. México: Person Educacion, 2004. 1152 páginas. ISBN 970-26-0531-8.

DOWSLAND, Kathryn. *Some experiments with simulated annealing techniques for packing problems*[Algunas experiencias con tecnicas de Recocido Simulado para problemas de empaquetamiento]. En: *European Journal of Operational Research*. Junio, 1993.Vol. 68, No. 3. p. 389-399.

DYCKHOFF H. *A typology of cutting and packing problems*[Una tipología de los problemas de corte y empaquetamiento]. En: *European Journal of Operational Research*. 1990. Vol. 44. p. 145-160.

GAREY, M. y JOHNSON, D. *Computers and Intractability: A Guide to the Theory of NP-Completeness*. Primera Edición. San francisco: W. H. Freeman, 1979. 340 p. ISBN 978-0716710455.

GESTAL POSE, Marcos. *Introducción a los algoritmos genéticos*. España: Universidad de la Coruña. Dpto. tecnologías de la información y comunicación. 16 p.

GESTAS MARCOS, *Introducción a Los Algoritmos Genéticos*; Departamento de la Información y las Comunicaciones, universidad de Curuña. Página 10.

GILMORE, P. y GOMORY, R. *The theory and computation of knapsack functions* [La teoría y el calculo de las funciones del problema de la mochila]. En: *Operations Research*. Marzo, 1966.Vol. 17. p. 1045-1074.

GLOVER, F. *Future paths for integer programming and links to artificial intelligence*. En: *Computers and Operations Research*. 1986. Vol. 13, No. 5. p. 533-549.

GOLDBERG, D. *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning* [Algoritmos Genéticos en la búsqueda, Optimización y Aprendizaje Automático]. Addison-Wesley. 1989.

HERNANDEZ, Sampier y FERNANDEZ, Carlos. *Metodología de la investigación*. Cuarta Edición. Mexico D.F.: Mc Graw Hill, 2006.p 103. ISBN 978-970-10-5753-7.

HEVNER Alan, MARCH Salvatore, PARK Jinsoo Y RAM Sudha. *Design Science In Information Systems Research*. En: *MIS Quarterly*. Marzo, 2004. Vol. 28. No.1 p. 75 - 105.

HOLLAND, J. *Adaptation in Natural and Artificial Systems* [Adaptación en sistemas naturales y artificiales]. Michigan: Universidad de Michigan. 1992.

J. Drezo A. Petrowski, *Metaheuristics for hard optimization*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2006; Página 83

LAI, K y CHAN, J. A evolutionary algorithm for the rectangular cutting stock problem [Un algoritmo evolutivo para el problema de empaquetamiento optimo de rectángulos en una placa]. En: *International Journal of Industrial Engineering*. Julio, 1997. Vol. 4. p. 130-139.

LAI, Lee. *A Genetic Algorithm for Two-Dimensional Bin Packing Problem* [Un Algoritmo Genetico para el problema de empaquetamiento en placas]. En: *Research Bulletin of Institute for Mathematical Research*. p.34 -39.

LEUNG T. Y YUNG C. *Applications of genetic search and simulated annealing to the two-dimensional non-guillotine cutting stock problem* [Aplicaciones de Algoritmo Genetico y Recocido Simulado para el problema de empaquetamiento optimo en una placa en dos dimensiones]. En: *Computers and Industrial Engineering*. Julio, 2001. Vol. 40. p. 201-214.

LODI A, MARTELLO S, y VIGO D. *Heuristic and metaheuristic approaches for a class of two-dimensional bin packing problems* [Heurísticas y metaheurísticas enfoques para una clase de problema de empaquetamiento optimo en placas en dos dimensiones]. En: *INFORMS J. Computing*. 1999. Vol. 11. p. 345-357.

MARTELLO, Silvano y VIGO, Daniele. *Exact Solution of the Two-Dimensional Finite Bin Packing Problem* [Solucion exacto del problema de empaquetamiento optimo en placas en dos dimensiones]. En: *Management Science*. Marzo, 1998. Vol. 44, No. 3. p. 388-399.

MARTELLO, Silvano y VIGO, Daniele. *The Three Dimensional Bin Packing Problem* [El problema de empaquetamiento en contenedores]. En: *Operations Research*. Marzo, 2000. Vol. 48, No. 2. p. 256-267.

MARTELLO, Silvano. y VIGO, Daniele. *An exact approach to the strip-packing problem* [Una aproximación exacta del problema de

empaquetamiento en rollos]. En: INFORMS Journal on Computing. Septiembre, 2003.Vol. 15, No. 3. p. 310-319.

MITSUO Gen, Runweicheng, Genetic Algorithms and Engineering optimization. John Wiley & Sons, Inc. new York 2000. Página 65

OLIVEIRA, Jose y FERREIRA, Jose. *An improved version of Wang's algorithm for two - dimensional Cutting Problems*[Una versión mejorada del algoritmo de Wang's para problemas de corte en dos dimensiones]. En: *European Journal Operations Research*. Febrero, 1990. Vol. 44, p. 256-266.

OSMAN, I.H. y LAPORTE, G. *Metaheuristics: A bibliography* [Metaheurística: una bibliografía]. En: 1996. No. 63. p. 513-623.

PASHA, Arfath. Geometric bin packing algorithm for arbitrary shapes [Problemas de empaquetamiento óptimo en placas para formas irregulares]. Trabajo de grado magíster en ciencias. Gainesville: Universidad Florida. 2003. 99 P.

PARADA, Victor. *Solution for the Constrained Guillotine Cutting Problem by Simulated Annealing* [Solución del problema de corte con la restricción de guillotina mediante Recocido Simulado]. En: *Journal on Computers and Operations Research*. Enero, 1998.Vol. 25, No. 1. p. 37-47.

PEFFERS, ken y TUUNANEN, tuure. *A Design Science Research Methodology for Information Systems Research*. En: *Journal of Management Information Systems*. Diciembre, 2006.Vol. 24.No.3 p. 45 - 77.

RUMBAUGH, James y JACOBSON, Ivar. El lenguaje unificado de modelado. Manual de referencia. Primera edición. Madrid: Addison Wesley, 2000. 552 páginas. ISBN 84-7829-037-0.

SOMMERVILLE, Ian. Ingeniería del software. Séptima Edición. México D.F.: Pearson Addison Wesley, 2006. p 691. ISBN 84-7829-074-5.

VASKO, F. *Computational improvement to Wang's two-dimensional cutting stock algorithm* [Mejoras computacionales al algoritmo de corte en dos dimensiones de Wang's]. En: *Computers and Industrial Engineering*. Enero, 1989. Vol. 16, p. 109-115.







VELEZ, Mario y MONTOYA, JOSÉ. Metaheurísticos: una alternativa para la solución de problemas combinatorios en administración de operaciones. En: EIA. Diciembre, 2007.No. 8. p. 99-115. ISSN 1794-1237.

WANG, P. *Two algorithms for constrained two dimensional cutting stock problems* [Dos algoritmo para limitados problemas de corte en dos dimensiones]. En: *Operational Research*. Enero, 1983. Vol. 31, p. 573-586.











## ANEXOS

### Anexo 1. Maquinaria industrial.

	
<p>Canteadora</p>	<p>Sierra circular (Escolilladora)</p>
	
<p>Cepillo</p>	<p>Sierra sin fin</p>
	
<p>Sierra Circular</p>	<p>Trompo</p>

Fuente: Elaboración propia.

## Anexo 2. Herramientas manuales.

	
Lijadora	Engrapadora
	
Sierra circular manual	Ruteadora pequeña
	
Sierra caladora	Taladro
	
Ruteadora industrial	Martillo

Fuente: Elaboración propia.

**Anexo 3. Resultado de la ejecución de la herramienta.**

<b>PORCENTAJE DE DESPERDICIO (EJECUCIONES EN AG)</b>					
<b>No. Ejecución</b>	<b>Porcentaje de desperdicio.</b>	<b>No. Ejecución</b>	<b>Porcentaje de desperdicio</b>	<b>No. Ejecución</b>	<b>Porcentaje de desperdicio.</b>
1	22,31%	12	18,75%	23	22,13%
2	21,77%	13	24,79%	24	21,77%
3	21,77%	14	19,65%	25	22,13%
4	19,01%	15	19,65%	26	21,77%
5	19,65%	16	21,77%	27	24,79%
6	21,52%	17	21,52%	28	21,52%
7	22,13%	18	19,65%	29	22,13%
8	22,13%	19	18,26%	30	21,77%
9	19,65%	20	21,95%	31	21,95%
10	21,95%	21	21,77%	32	21,52%
11	19,65%	22	22,13%	33	19,46%
<b>Promedio</b>				<b>21,25%</b>	
<b>Desviación estándar</b>				<b>1,53%</b>	

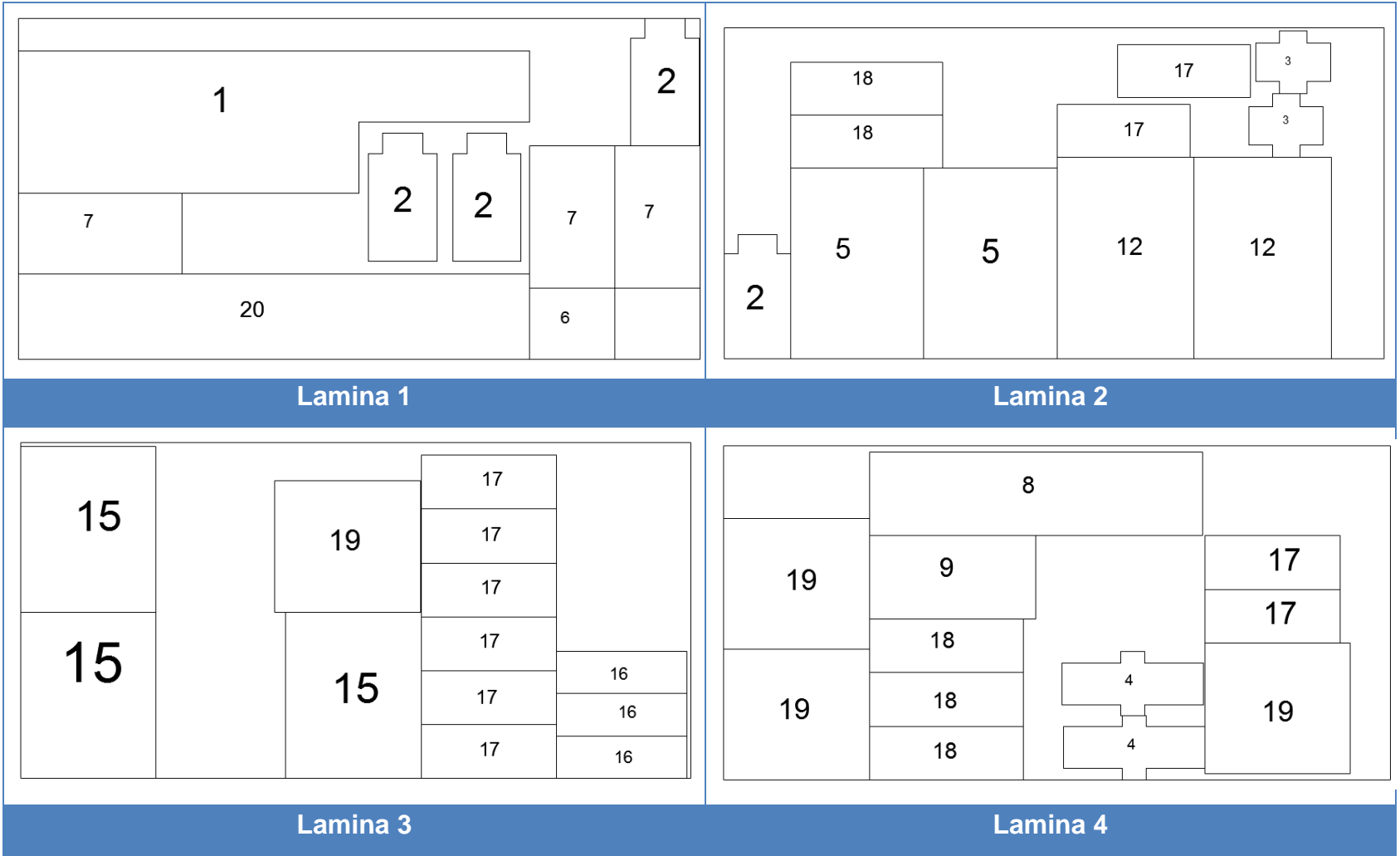
Fuente: Elaboración propia.

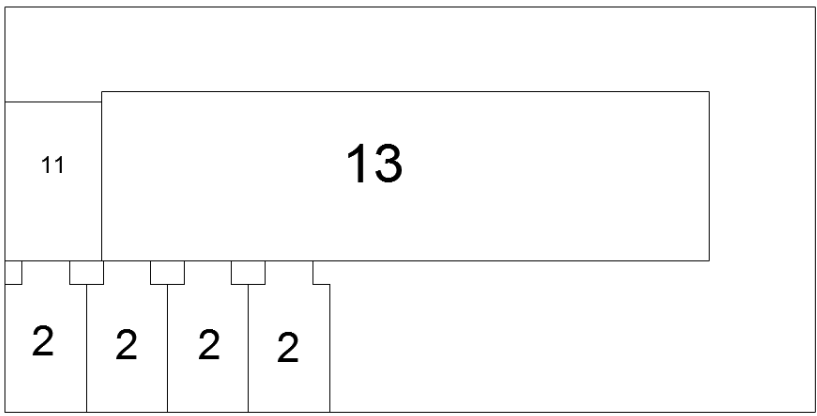
**Anexo 4. Área gastada distribuciones obtenidas con la herramienta.**

<b>ÁREA GASTADA EN LAS DISTRIBUCIONES (EJECUCIONES EN AG)</b>					
<b>No. Ejecución</b>	<b>Área Gastada (m<sup>2</sup>)</b>	<b>No. Ejecución</b>	<b>Porcentaje de desperdicio</b>	<b>Área Gastada (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Porcentaje de desperdicio.</b>
1	15,6360	12	14,9520	23	15,6000
2	15,5280	13	16,1520	24	15,5280
3	15,5280	14	15,1200	25	15,6000
4	15,0000	15	15,1200	26	15,5280
5	15,1200	16	15,5280	27	16,1520
6	15,4800	17	15,4800	28	15,4800
7	15,6000	18	15,1200	29	15,6000
8	15,6000	19	14,8620	30	15,5280
9	15,1200	20	15,5640	31	15,5640
10	15,5640	21	15,5280	32	15,4800
11	15,1200	22	15,6000	33	15,0840
<b>Promedio</b>				<b>15,4383</b>	
<b>Desviación estándar</b>				<b>0,2968</b>	

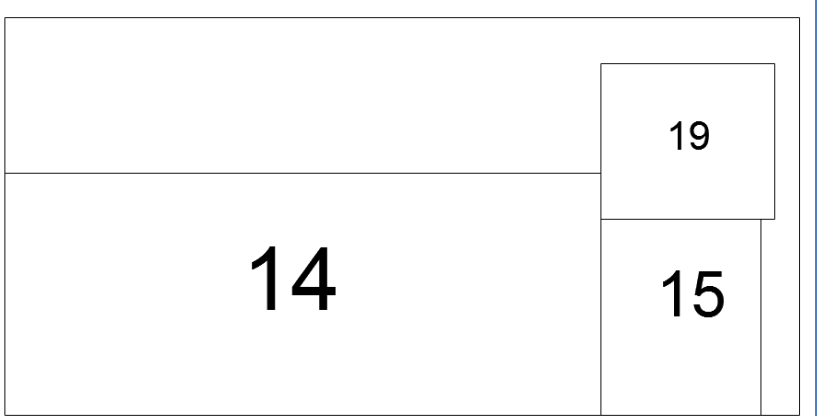
Fuente: Elaboración propia.

**Anexo 5. Distribución manual de las piezas.**

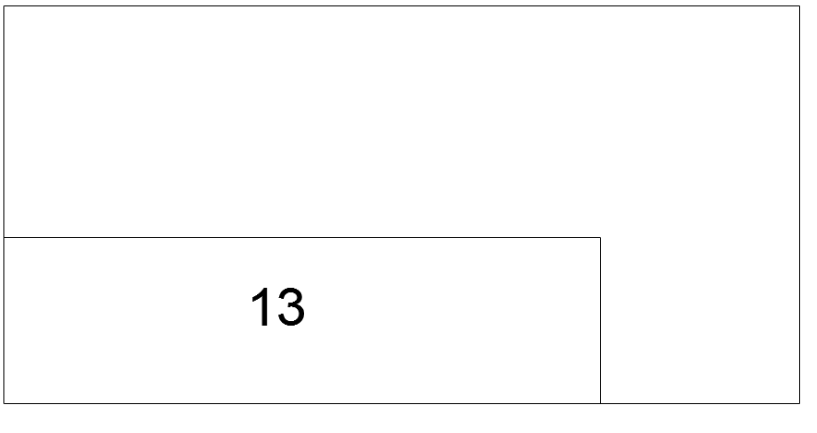




Lamina 5



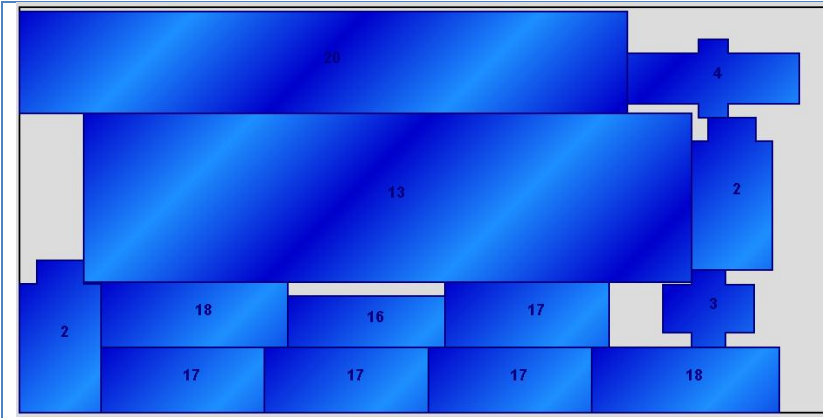
Lamina 6



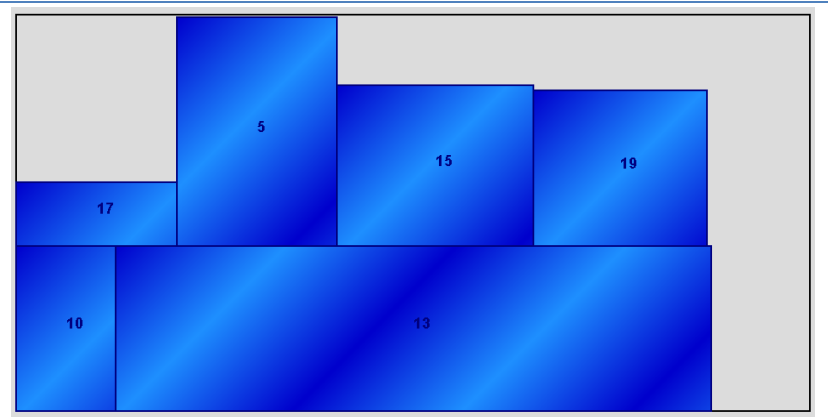
Lamina 7

Fuente: Elaboracion propia.

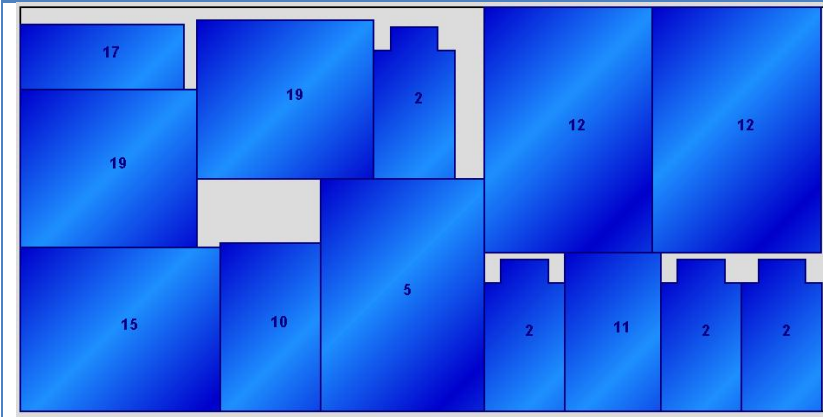
**Anexo 6. Distribución promedio en la herramienta.**



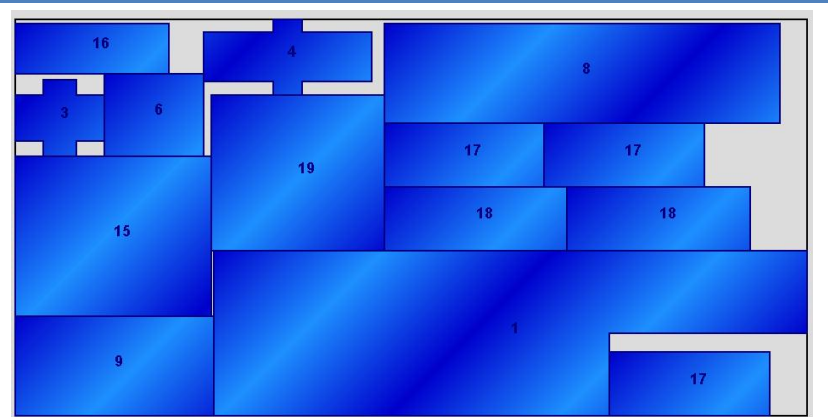
**Lamina 1**



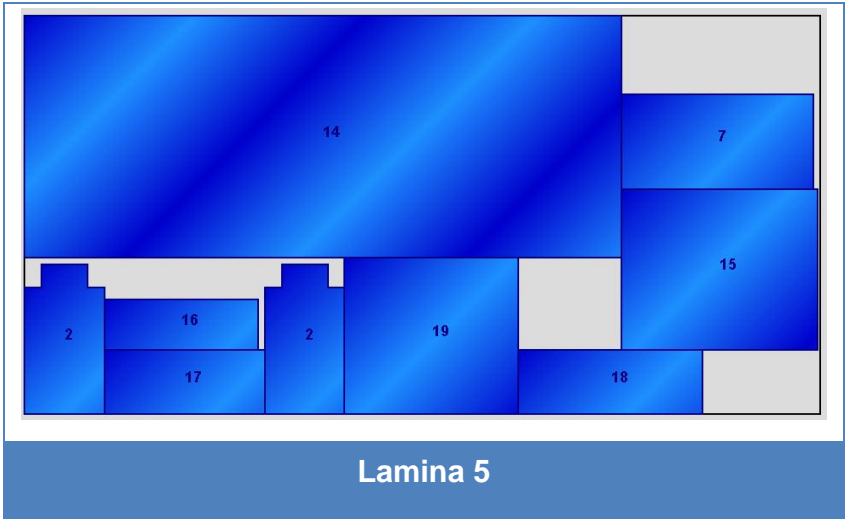
**Lamina 2**



**Lamina 3**




**Lamina 4**



Fuente: Elaboracion propia.




**Anexo 7. Formato validación de la herramienta prototipo.**

	<b>VALIDACIÓN DE LAS FUNCIONALIDADES DE LA HERRAMIENTA COMPUTACIONAL.</b>																																							
<p><b>1. ELABORACIÓN.</b></p> <p>Nombre trabajador: Cargo:</p>																																								
<p><b>2. CRITERIOS DE EVALUACIÓN.</b></p> <p>a. Supera las expectativas b. Cumple las expectativas c. Necesita mejorar d. No cumple las expectativas e. Sin implementar.</p>																																								
<p><b>3. EVALUACIÓN.</b></p> <table border="1" data-bbox="394 951 1333 1774"> <thead> <tr> <th data-bbox="394 951 488 1003">No.</th> <th data-bbox="488 951 1105 1003">Características</th> <th data-bbox="1105 951 1333 1003">Evaluación.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="394 1003 488 1087">1</td> <td data-bbox="488 1003 1105 1087">Importar piezas creadas en programas de diseño asistido por computadora.</td> <td data-bbox="1105 1003 1333 1087"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="394 1087 488 1140">2</td> <td data-bbox="488 1087 1105 1140">Diseñar pieza en la herramienta.</td> <td data-bbox="1105 1087 1333 1140"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="394 1140 488 1192">3</td> <td data-bbox="488 1140 1105 1192">Validación piezas creadas o importadas.</td> <td data-bbox="1105 1140 1333 1192"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="394 1192 488 1245">4</td> <td data-bbox="488 1192 1105 1245">Visualizar galería de piezas</td> <td data-bbox="1105 1192 1333 1245"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="394 1245 488 1297">5</td> <td data-bbox="488 1245 1105 1297">Visualizar características de una pieza.</td> <td data-bbox="1105 1245 1333 1297"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="394 1297 488 1350">6</td> <td data-bbox="488 1297 1105 1350">Seleccionar demanda de una pieza.</td> <td data-bbox="1105 1297 1333 1350"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="394 1350 488 1413">7</td> <td data-bbox="488 1350 1105 1413">Seleccionar dimensiones de la lámina.</td> <td data-bbox="1105 1350 1333 1413"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="394 1413 488 1497">8</td> <td data-bbox="488 1413 1105 1497">Búsqueda de distribución de un conjunto de piezas.</td> <td data-bbox="1105 1413 1333 1497"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="394 1497 488 1570">9</td> <td data-bbox="488 1497 1105 1570">Calidad de las distribuciones, en cuanto al porcentaje de desperdicio.</td> <td data-bbox="1105 1497 1333 1570"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="394 1570 488 1644">10</td> <td data-bbox="488 1570 1105 1644">Visualizar la distribución encontrada por la herramienta.</td> <td data-bbox="1105 1570 1333 1644"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="394 1644 488 1707">11</td> <td data-bbox="488 1644 1105 1707">Exportar distribución encontrada.</td> <td data-bbox="1105 1644 1333 1707"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="394 1707 488 1774">12</td> <td data-bbox="488 1707 1105 1774">Reacomodar distribución de forma manual.</td> <td data-bbox="1105 1707 1333 1774"></td> </tr> </tbody> </table>		No.	Características	Evaluación.	1	Importar piezas creadas en programas de diseño asistido por computadora.		2	Diseñar pieza en la herramienta.		3	Validación piezas creadas o importadas.		4	Visualizar galería de piezas		5	Visualizar características de una pieza.		6	Seleccionar demanda de una pieza.		7	Seleccionar dimensiones de la lámina.		8	Búsqueda de distribución de un conjunto de piezas.		9	Calidad de las distribuciones, en cuanto al porcentaje de desperdicio.		10	Visualizar la distribución encontrada por la herramienta.		11	Exportar distribución encontrada.		12	Reacomodar distribución de forma manual.	
No.	Características	Evaluación.																																						
1	Importar piezas creadas en programas de diseño asistido por computadora.																																							
2	Diseñar pieza en la herramienta.																																							
3	Validación piezas creadas o importadas.																																							
4	Visualizar galería de piezas																																							
5	Visualizar características de una pieza.																																							
6	Seleccionar demanda de una pieza.																																							
7	Seleccionar dimensiones de la lámina.																																							
8	Búsqueda de distribución de un conjunto de piezas.																																							
9	Calidad de las distribuciones, en cuanto al porcentaje de desperdicio.																																							
10	Visualizar la distribución encontrada por la herramienta.																																							
11	Exportar distribución encontrada.																																							
12	Reacomodar distribución de forma manual.																																							



**Anexo 8. Resultados de la encuesta de validación**

 <p>Universidad Tecnológica de Bolívar CARTAGENA DE INDIAS</p>	<p><b>VALIDACIÓN DE LAS FUNCIONALIDADES DE LA HERRAMIENTA COMPUTACIONAL.</b></p>																																							
<p><b>4. ELABORACIÓN.</b></p> <p><b>Nombre trabajador:</b> Justo Padilla Barros. <b>Cargo:</b> Gerente.</p>																																								
<p><b>5. CRITERIOS DE EVALUACIÓN.</b></p> <p>f. Supera las expectativas g. Cumple las expectativas h. Necesita mejorar i. No cumple las expectativas j. Sin implementar.</p>																																								
<p><b>6. EVALUACIÓN.</b></p> <table border="1" data-bbox="394 951 1333 1772"> <thead> <tr> <th>No.</th> <th>Características</th> <th>Evaluación.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Importar piezas creadas en programas de diseño asistido por computadora.</td> <td>b.</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Diseñar pieza en la herramienta.</td> <td>e.</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Validación piezas creadas o importadas.</td> <td>a.</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>Visualizar galería de piezas</td> <td>a.</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>Visualizar características de una pieza.</td> <td>a.</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>Seleccionar demanda de una pieza.</td> <td>b.</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>Seleccionar dimensiones de la lámina.</td> <td>b.</td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>Búsqueda de distribución de un conjunto de piezas.</td> <td>b.</td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>Calidad de las distribuciones, en cuanto al porcentaje de desperdicio.</td> <td>a.</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>Visualizar la distribución encontrada por la herramienta.</td> <td>a.</td> </tr> <tr> <td>11</td> <td>Exportar distribución encontrada.</td> <td>e.</td> </tr> <tr> <td>12</td> <td>Reacomodar distribución de forma manual.</td> <td>e.</td> </tr> </tbody> </table>		No.	Características	Evaluación.	1	Importar piezas creadas en programas de diseño asistido por computadora.	b.	2	Diseñar pieza en la herramienta.	e.	3	Validación piezas creadas o importadas.	a.	4	Visualizar galería de piezas	a.	5	Visualizar características de una pieza.	a.	6	Seleccionar demanda de una pieza.	b.	7	Seleccionar dimensiones de la lámina.	b.	8	Búsqueda de distribución de un conjunto de piezas.	b.	9	Calidad de las distribuciones, en cuanto al porcentaje de desperdicio.	a.	10	Visualizar la distribución encontrada por la herramienta.	a.	11	Exportar distribución encontrada.	e.	12	Reacomodar distribución de forma manual.	e.
No.	Características	Evaluación.																																						
1	Importar piezas creadas en programas de diseño asistido por computadora.	b.																																						
2	Diseñar pieza en la herramienta.	e.																																						
3	Validación piezas creadas o importadas.	a.																																						
4	Visualizar galería de piezas	a.																																						
5	Visualizar características de una pieza.	a.																																						
6	Seleccionar demanda de una pieza.	b.																																						
7	Seleccionar dimensiones de la lámina.	b.																																						
8	Búsqueda de distribución de un conjunto de piezas.	b.																																						
9	Calidad de las distribuciones, en cuanto al porcentaje de desperdicio.	a.																																						
10	Visualizar la distribución encontrada por la herramienta.	a.																																						
11	Exportar distribución encontrada.	e.																																						
12	Reacomodar distribución de forma manual.	e.																																						

### Anexo 9 Tiempos empleados en la distribución manual.

MUESTRAS										
LAMINA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	5,2	4,99	5,11	5,33	5,32	5,6	5,2	5,47	5,32	5,46
2	4,69	5,23	5,19	5,23	5,31	5,2	5,32	5,32	5,43	5,39
3	5,13	5,21	5,34	5,21	5,01	5,3	5,43	5,11	5,21	5,14
4	4,5	5,32	5,49	4,98	5,43	4,6	5,18	5,12	5,18	5,17
5	5,43	5,46	5,3	5,3	5,6	5,5	5,01	4,23	5,31	5,34
6	5,32	5,7	5,51	5,4	4,6	5,3	4,4	5,23	5,49	5,42
7	1	1,2	1,1	1,23	1	1,2	1,6	1,5	1,3	1,3
<b>TOTAL</b>	31,27	33,11	33,04	32,68	32,27	32,7	32,14	31,98	33,24	33,22
<b>PROMEDIO</b>	<b>32,565</b>									

Fuente: Elaboración propia.

### Anexo 10. Tiempos empleados en la distribución por la herramienta computacional

Tiempo empleados en la búsqueda de distribuciones.					
No. Ejecución	Tiempo empleado (mili segundos)	No. Ejecución	Tiempo empleado (mili segundos)	Área Gastada (m <sup>2</sup> )	Tiempo empleado (mili segundos)
1	473,598	12	744,36	23	451,799
2	405,471	13	815,124	24	448,776
3	466,136	14	807,329	25	403,294
4	424,751	15	603,259	26	392,63
5	481,642	16	577,807	27	453,138
6	470,745	17	871,499	28	445,262
7	465,379	18	578,545	29	428,085
8	531,938	19	895,797	30	388,262
9	431,449	20	661,071	31	404,758
10	489,422	21	455,954	32	414,788
11	861,27	22	430,11	33	435,179
<b>Promedio (min)</b>				<b>8,893</b>	
<b>Desviación estándar (min)</b>				<b>2,620257871</b>	

Fuente: Elaboración propia.

**Anexo 11. Descripción de los requerimientos funcionales.**

<b>ID</b>	R- 001
<b>Descripción</b>	Importar piezas creadas en programas de diseño asistido por computadora.
<b>Descripción detallada</b>	El sistema permitirá la importación de las piezas de un producto, las cuales debieron haber sido creadas previamente en un programa de diseño asistido por computadora, y almacenadas en un archivo. El sistema permitirá la selección del archivo que contenga las piezas, y posteriormente procederá a leerlo.
<b>Entrada</b>	Archivo.
<b>Salida</b>	Lista de piezas.
<b>Excepciones</b>	En caso que el formato del archivo no sea soportado por la herramienta, no se leerán las piezas y se le informara de la situación al usuario.
<b>Prioridad</b>	Alta

Fuente: Elaboración propia.

<b>ID</b>	R- 002
<b>Descripción</b>	Diseñar piezas.
<b>Descripción detallada</b>	Alternamente a la importación de las piezas el sistema también deberá permitir el diseño de las piezas de un producto en la propia herramienta. Este diseño se realizara pieza por pieza, utilizando como base para la construcción segmentos de líneas.
<b>Entrada</b>	Segmentos de líneas.
<b>Salida</b>	Listado de piezas.
<b>Excepciones</b>	En caso que se diseñe una pieza que ya fue diseñada anteriormente para el mismo producto, el sistema no permitirá la finalización del diseño y le informara de la situación al usuario.
<b>Prioridad</b>	Media.

Fuente: Elaboración propia.

<b>ID</b>	R- 003
<b>Descripción</b>	Validar piezas.
<b>Descripción detallada</b>	Una vez se generen las piezas, ya sea por la importación y/o diseño, estas serán verificadas, buscando que cumplan con los criterios definidos por la herramienta para una pieza valida.
<b>Entrada</b>	Listado de piezas
<b>Salida</b>	Validación de piezas.
<b>Excepciones</b>	En caso que existan piezas inválidas en el listado de piezas, estas serán marcadas, y se le mostraran al usuario.
<b>Prioridad</b>	Alta.

Fuente: Elaboración propia.

<b>ID</b>	R- 004
<b>Descripción</b>	Visualizar galería de piezas.
<b>Descripción detallada</b>	El sistema permitirá visualizar el listado de piezas, diferenciando aquellas que son validas de las que no lo son.
<b>Entrada</b>	Listado de piezas validando.
<b>Salida</b>	Visualización del listado de piezas.
<b>Excepciones</b>	En caso que todas las piezas sean inválidas no se podrá realizar distribuciones a él producto y se le informara de la situación al usuario.
<b>Prioridad</b>	Alta.

Fuente: Elaboración propia.

<b>ID</b>	R- 005
<b>Descripción</b>	Visualizar características de una pieza.
<b>Descripción detallada</b>	El sistema permitirá la visualización de una pieza en particular que haya sido seleccionado por el usuario.
<b>Entrada</b>	Pieza seleccionada.
<b>Salida</b>	Características de la pieza.
<b>Excepciones</b>	
<b>Prioridad</b>	Alta.

Fuente: Elaboración propia.

<b>ID</b>	R- 006
<b>Descripción</b>	Seleccionar demanda de una pieza.
<b>Descripción detallada</b>	El sistema permitirá la selección de la demanda de una pieza, es decir, la cantidad de veces que se encuentra dicha pieza en el producto.
<b>Entrada</b>	Demanda de la pieza.
<b>Salida</b>	Demanda de la pieza modificada.
<b>Excepciones</b>	En caso que la demanda sea un valor inferior o igual a cero, no se realizara la modificación y se le informara de la situación al usuario.
<b>Prioridad</b>	Alta.

Fuente: Elaboración propia.

<b>ID</b>	R- 007
<b>Descripción</b>	Seleccionar dimensiones de la lámina.
<b>Descripción detallada</b>	El sistema permitirá la modificación de las dimensiones de la lámina. Estas dimensiones deberán estar en las mismas unidades con las que se generaron las piezas.
<b>Entrada</b>	Dimensiones de la lámina.
<b>Salida</b>	Dimensiones de la lámina establecidas.
<b>Excepciones</b>	En caso que alguna de las dimensiones de las láminas sean inferiores o iguales cero, no se realizara la modificación.  En caso que existan piezas cuyas dimensiones sean superiores a las dimensiones de la lámina, el sistema no realizara la modificación de las dimensiones de la lámina y se le informara de la situación al usuario.
<b>Prioridad</b>	Alta.

Fuente: Elaboración propia.

<b>ID</b>	R- 008
<b>Descripción</b>	Seleccionar los operadores del Algoritmo Genético.
<b>Descripción detallada</b>	El sistema le permitirá al usuario seleccionar a partir de una lista de operadores implementados (selección, cruce, mutación), escoger el operador de cada tipo con el cual se ejecutara el algoritmo genético.
<b>Entrada</b>	Selección.
<b>Salida</b>	Operadores seleccionados.
<b>Excepciones</b>	
<b>Prioridad</b>	Alta.

Fuente: Elaboración propia.

<b>ID</b>	R- 009
<b>Descripción</b>	Seleccionar los parámetros del Algoritmo Genético.
<b>Descripción detallada</b>	El sistema le permitirá al usuario escoger los parámetros (Numero de generaciones, tamaño de la población y porcentaje de mutación) con los que se ejecutara el algoritmo genético.
<b>Entrada</b>	Valores ingresados.
<b>Salida</b>	Selección de parámetros.
<b>Excepciones</b>	En caso que los valores no correspondan a los valores validos, no se realizara la selección de los parámetros y se le informara de la situación al usuario.
<b>Prioridad</b>	Alta.

Fuente: Elaboración propia.

<b>ID</b>	R- 010
<b>Descripción</b>	Ejecutar Algoritmo Genético.
<b>Descripción detallada</b>	El sistema permitirá al usuario ejecutar el algoritmo genético en busca de distribuciones para un producto en particular. Esta ejecución se realizara con los parámetros y operadores escogidos por el usuario, o en caso que este no halla establecido estos valores, el algoritmo utilizara los valores por defectos tanto para los parámetros como para los operadores.
<b>Entrada</b>	Listado de piezas validas.
<b>Salida</b>	Distribución
<b>Excepciones</b>	En caso que el usuario no haya establecido las dimensiones de la lámina, el sistema no realizara la ejecución de algoritmo y le informara de la situación al usuario.
<b>Prioridad</b>	Alta.

Fuente: Elaboración propia.

<b>ID</b>	R- 011
<b>Descripción</b>	Visualizar una distribución de piezas en láminas.
<b>Descripción detallada</b>	En sistema deberá permitir visualizar la distribución obtenida previamente durante la ejecución del algoritmo genético.
<b>Entrada</b>	Distribución.
<b>Salida</b>	Visualización de la distribución.
<b>Excepciones</b>	En caso que no se haya ejecutado el algoritmo genético, el sistema no presentara la distribución, y le informara de la situación al usuario.
<b>Prioridad</b>	Alta.

Fuente: Elaboración propia.

<b>ID</b>	R- 012
<b>Descripción</b>	Reacomodar distribución de forma manual.
<b>Descripción detallada</b>	El sistema le permitirá al usuario modificar la posición de una pieza que se encuentre en la distribución obtenida por el algoritmo genético, con el objetivo que el usuario pueda obtener mejoras a la distribución encontrada por el algoritmo genético.
<b>Entrada</b>	Distribución encontrada por AG.
<b>Salida</b>	Distribución modificada.
<b>Excepciones</b>	En caso que al modificar la posición de una pieza, esta se intercepte con otra pieza ubicada en la misma lamina, se retornara la pieza a su posición inicial y se le informara de la situación al usuario.
<b>Prioridad</b>	Media.

**Fuente:** Elaboración propia.

<b>ID</b>	R- 013
<b>Descripción</b>	Exportar distribución encontrada por el Algoritmo genético.
<b>Descripción detallada</b>	El sistema permitirá la exportación de la distribución encontrada por el algoritmo.
<b>Entrada</b>	Distribución.
<b>Salida</b>	Archivo con la distribución.
<b>Excepciones</b>	En caso que no se haya ejecutado el algoritmo genético, el sistema no exportara la distribución, y le informara de la situación al usuario.
<b>Prioridad</b>	Media.

**Fuente:** Elaboración propia.

## Anexo 12. Descripción de los casos de uso.

<b>Código</b>	C-001															
<b>Caso de uso</b>	Importar pieza.															
<b>Actores</b>	Operario.															
<b>Descripción</b>	El sistema será capaz importar las piezas de un producto, las cuales hayan sido creadas previamente en un programa de diseño asistido por computadora (tal como lo es AutoCAD). El sistema leerá el archivo y procederá a transformar la información leída en piezas dentro del sistema.															
<b>Requerimientos relacionados.</b>	R-001															
<b>Eventos</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Acción del actor</th> <th>Acción del sistema</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1. Seleccionar "Importar piezas"</td> <td>2. Presentar ventana que permita seleccionar la ruta del archivo.</td> </tr> <tr> <td>3. Seleccionar la ruta del archivo que contiene las piezas.</td> <td>4. Verificar que el formato del archivo seleccionado sea valido en la herramienta.</td> </tr> <tr> <td></td> <td>5. Leer archivo seleccionado.</td> </tr> <tr> <td></td> <td>6. Convertir la información del archivo a piezas en la herramienta.</td> </tr> <tr> <td></td> <td>7. Almacenar piezas en listado.</td> </tr> <tr> <td></td> <td>8. Confirmar al usuario la finalización de la lectura del archivo.</td> </tr> </tbody> </table>		Acción del actor	Acción del sistema	1. Seleccionar "Importar piezas"	2. Presentar ventana que permita seleccionar la ruta del archivo.	3. Seleccionar la ruta del archivo que contiene las piezas.	4. Verificar que el formato del archivo seleccionado sea valido en la herramienta.		5. Leer archivo seleccionado.		6. Convertir la información del archivo a piezas en la herramienta.		7. Almacenar piezas en listado.		8. Confirmar al usuario la finalización de la lectura del archivo.
Acción del actor	Acción del sistema															
1. Seleccionar "Importar piezas"	2. Presentar ventana que permita seleccionar la ruta del archivo.															
3. Seleccionar la ruta del archivo que contiene las piezas.	4. Verificar que el formato del archivo seleccionado sea valido en la herramienta.															
	5. Leer archivo seleccionado.															
	6. Convertir la información del archivo a piezas en la herramienta.															
	7. Almacenar piezas en listado.															
	8. Confirmar al usuario la finalización de la lectura del archivo.															
<b>Curso Alterno</b>	4.1 Si el formato del archivo seleccionado no es reconocido por el sistema, no se realizara la lectura del archivo y se le informara de la situación al usuario.															

**Fuente:** Elaboración propia.



<b>Código</b>	C-002											
<b>Caso de uso</b>	Diseñar piezas											
<b>Actores</b>	Operario.											
<b>Descripción</b>	El usuario podrá diseñar las piezas de un producto del cual desea obtener una distribución, por lo cual deberá construir pieza por pieza, utilizando los segmentos de líneas necesarios para dicha labor.											
<b>Requerimientos relacionados.</b>	R-002											
<b>Eventos</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Acción del actor</th> <th>Acción del sistema</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1. Seleccionar "Diseñar pieza"</td> <td>2. Presentar panel de diseño al usuario.</td> </tr> <tr> <td>3. Dibujar una pieza, utilizando segmentos de línea.</td> <td></td> </tr> <tr> <td>4. Seleccionar guardar pieza.</td> <td>5. Verificar validez de la pieza.</td> </tr> <tr> <td></td> <td>6. Almacenar la pieza diseñada por el usuario.</td> </tr> </tbody> </table>		Acción del actor	Acción del sistema	1. Seleccionar "Diseñar pieza"	2. Presentar panel de diseño al usuario.	3. Dibujar una pieza, utilizando segmentos de línea.		4. Seleccionar guardar pieza.	5. Verificar validez de la pieza.		6. Almacenar la pieza diseñada por el usuario.
Acción del actor	Acción del sistema											
1. Seleccionar "Diseñar pieza"	2. Presentar panel de diseño al usuario.											
3. Dibujar una pieza, utilizando segmentos de línea.												
4. Seleccionar guardar pieza.	5. Verificar validez de la pieza.											
	6. Almacenar la pieza diseñada por el usuario.											
<b>Curso Alterno</b>	5.1 En caso que la pieza no sea valida, el sistema la almacenara, le informara de la situación al usuario y le permitirá continuar diseñando la pieza.											

Fuente: Elaboración propia.

<b>Código</b>	C-003					
<b>Caso de uso</b>	Validar piezas.					
<b>Actores</b>	--					
<b>Descripción</b>	El sistema verificara que las piezas generadas cumplan con los criterios definidos para una pieza valida, este verificación se le realizara tanto a las piezas que fueron importadas como a las que fueron creadas en el propia herramienta.					
<b>Requerimientos relacionados.</b>	R-003					
<b>Eventos</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Acción del actor</th> <th>Acción del sistema</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1. Importación o diseño de piezas.</td> <td>2. Verificar que cada una de las piezas cumple con los criterios para piezas validas.</td> </tr> </tbody> </table>		Acción del actor	Acción del sistema	1. Importación o diseño de piezas.	2. Verificar que cada una de las piezas cumple con los criterios para piezas validas.
Acción del actor	Acción del sistema					
1. Importación o diseño de piezas.	2. Verificar que cada una de las piezas cumple con los criterios para piezas validas.					

		3. Marcar aquellas piezas que no cumplen con los criterios.
		4. Informar al usuario de aquellas piezas marcadas como invalidas.
<b>Curso Alterno</b>		

Fuente: Elaboración propia.

<b>Código</b>	C-004									
<b>Caso de uso</b>	Ver galería de piezas									
<b>Actores</b>	Operario.									
<b>Descripción</b>	El sistema será capaz de presentar el listado de piezas de un producto, tanto para aquellas piezas que fueron tomadas de un archivo, o aquellas otras que fueron diseñadas en la herramienta.									
<b>Requerimientos relacionados.</b>	R-004									
<b>Eventos</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Acción del actor</th> <th>Acción del sistema</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1. Seleccionar "Ver galería de piezas."</td> <td>2. Buscar listado de piezas importadas.</td> </tr> <tr> <td></td> <td>3. Buscar listado de piezas diseñadas en el sistema.</td> </tr> <tr> <td></td> <td>4. Presentar galería de piezas al usuario.</td> </tr> </tbody> </table>		Acción del actor	Acción del sistema	1. Seleccionar "Ver galería de piezas."	2. Buscar listado de piezas importadas.		3. Buscar listado de piezas diseñadas en el sistema.		4. Presentar galería de piezas al usuario.
Acción del actor	Acción del sistema									
1. Seleccionar "Ver galería de piezas."	2. Buscar listado de piezas importadas.									
	3. Buscar listado de piezas diseñadas en el sistema.									
	4. Presentar galería de piezas al usuario.									
<b>Curso Alterno</b>	2.1 En caso que no se hayan generado piezas en el sistema, no se presentara la galería de piezas y se le informara de la situación al usuario.									

Fuente: Elaboración propia.

<b>Código</b>	C-005									
<b>Caso de uso</b>	Ver propiedades de una pieza									
<b>Actores</b>	Operario.									
<b>Descripción</b>	El sistema permitirá ver las características de una pieza en particular, que previamente se haya importado o se haya diseñado en el sistema. Dentro de las características se encontrara el id de la pieza, la demanda, la descripción de la pieza, entre otra información.									
<b>Requerimientos relacionados.</b>	R-005, R-006									
<b>Eventos</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Acción del actor</th> <th>Acción del sistema</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1. Seleccionar pieza.</td> <td></td> </tr> <tr> <td>2. Seleccionar ver propiedades.</td> <td>3. Buscar pieza seleccionada en el listado de piezas.</td> </tr> <tr> <td></td> <td>4. Presentar características de la pieza seleccionada.</td> </tr> </tbody> </table>		Acción del actor	Acción del sistema	1. Seleccionar pieza.		2. Seleccionar ver propiedades.	3. Buscar pieza seleccionada en el listado de piezas.		4. Presentar características de la pieza seleccionada.
Acción del actor	Acción del sistema									
1. Seleccionar pieza.										
2. Seleccionar ver propiedades.	3. Buscar pieza seleccionada en el listado de piezas.									
	4. Presentar características de la pieza seleccionada.									
<b>Curso Alterno</b>										

Fuente: Elaboración propia.

<b>Código</b>	C-006											
<b>Caso de uso</b>	Distribuir piezas.											
<b>Actores</b>	Operario.											
<b>Descripción</b>	El sistema permitirá obtener distribuciones para las piezas de un producto.											
<b>Requerimientos relacionados.</b>	R-007, R-008, R-009, R-010, R-011											
<b>Eventos</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Acción del actor</th> <th>Acción del sistema</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1. Seleccionar "Configuración"</td> <td>2. Presentar ventana de configuración.</td> </tr> <tr> <td>3. Ingresar valores de la configuración.</td> <td>4. Almacenar valores de la configuración.</td> </tr> <tr> <td>5. Seleccionar opción "Ejecutar Algoritmo Genético"</td> <td>6. Ejecutar el algoritmo genético.</td> </tr> <tr> <td></td> <td>7. Informar de la finalización de la</td> </tr> </tbody> </table>		Acción del actor	Acción del sistema	1. Seleccionar "Configuración"	2. Presentar ventana de configuración.	3. Ingresar valores de la configuración.	4. Almacenar valores de la configuración.	5. Seleccionar opción "Ejecutar Algoritmo Genético"	6. Ejecutar el algoritmo genético.		7. Informar de la finalización de la
Acción del actor	Acción del sistema											
1. Seleccionar "Configuración"	2. Presentar ventana de configuración.											
3. Ingresar valores de la configuración.	4. Almacenar valores de la configuración.											
5. Seleccionar opción "Ejecutar Algoritmo Genético"	6. Ejecutar el algoritmo genético.											
	7. Informar de la finalización de la											

		ejecución.
	8. Seleccionar ver distribución de piezas.	9. Presentar distribución obtenida por el algoritmo genético.
<b>Curso Alterno</b>	4.1 En el caso en que el usuario ingrese valores no validos, estos no se almacenaran y se le informara de la situación al usuario, permitiéndole corregirlos.	

**Fuente:** Elaboración propia.

<b>Código</b>	C-007															
<b>Caso de uso</b>	Configurar algoritmo genético.															
<b>Actores</b>	Operario.															
<b>Descripción</b>	El sistema permitirá la configuración de los parámetros, los operadores, las dimensiones de la lamina y el tamaño de lote (numero de productos a distribuir).															
<b>Requerimientos relacionados.</b>	R-007, R-008, R-009															
<b>Eventos</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Acción del actor</th> <th>Acción del sistema</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1. Seleccionar opción "Configurar"</td> <td>2. Presentar ventana de configuración.</td> </tr> <tr> <td>3. Ingresar los valores de los parámetros.</td> <td></td> </tr> <tr> <td>4. Seleccionar los operadores.</td> <td></td> </tr> <tr> <td>5. Ingresar las dimensiones de la lámina.</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>6. Verificar los valores ingresados por el usuario.</td> </tr> <tr> <td></td> <td>7. Almacenar los valores ingresados.</td> </tr> </tbody> </table>		Acción del actor	Acción del sistema	1. Seleccionar opción "Configurar"	2. Presentar ventana de configuración.	3. Ingresar los valores de los parámetros.		4. Seleccionar los operadores.		5. Ingresar las dimensiones de la lámina.			6. Verificar los valores ingresados por el usuario.		7. Almacenar los valores ingresados.
Acción del actor	Acción del sistema															
1. Seleccionar opción "Configurar"	2. Presentar ventana de configuración.															
3. Ingresar los valores de los parámetros.																
4. Seleccionar los operadores.																
5. Ingresar las dimensiones de la lámina.																
	6. Verificar los valores ingresados por el usuario.															
	7. Almacenar los valores ingresados.															
<b>Curso Alterno</b>	6.1 En caso que los valores ingresados por el usuario sean inválidos, estos no se almacenaran y se le informara de la situación al usuario.															

**Fuente:** Elaboración propia.

<b>Código</b>	C-008													
<b>Caso de uso</b>	Ejecutar Algoritmo.													
<b>Actores</b>	Operario.													
<b>Descripción</b>	El sistema permitirá ejecutar el algoritmo genético, con el fin de obtener distribuciones para las piezas de un producto.													
<b>Requerimientos relacionados.</b>	R-010													
<b>Eventos</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Acción del actor</th> <th>Acción del sistema</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1. Seleccionar opción "Ejecutar algoritmo"</td> <td>2. Verificar que el sistema se configuro.</td> </tr> <tr> <td></td> <td>3. Verificar que se generaron las piezas.</td> </tr> <tr> <td></td> <td>4. Ejecutar algoritmo genético.</td> </tr> <tr> <td></td> <td>5. Informar al usuario la el estado de la ejecución.</td> </tr> <tr> <td></td> <td>6. Informar al usuario la finalización de la ejecución.</td> </tr> </tbody> </table>		Acción del actor	Acción del sistema	1. Seleccionar opción "Ejecutar algoritmo"	2. Verificar que el sistema se configuro.		3. Verificar que se generaron las piezas.		4. Ejecutar algoritmo genético.		5. Informar al usuario la el estado de la ejecución.		6. Informar al usuario la finalización de la ejecución.
Acción del actor	Acción del sistema													
1. Seleccionar opción "Ejecutar algoritmo"	2. Verificar que el sistema se configuro.													
	3. Verificar que se generaron las piezas.													
	4. Ejecutar algoritmo genético.													
	5. Informar al usuario la el estado de la ejecución.													
	6. Informar al usuario la finalización de la ejecución.													
<b>Curso Alterno</b>	<p>2.1 En caso que no se haya realizado la configuración, el sistema no ejecutara el algoritmo genético, y le informara de la situación al usuario.</p> <p>3.1 En caso que no se hayan generado las piezas no se podrá ejecutar el algoritmo genético, y se le informara al usuario.</p>													

**Fuente:** Elaboración propia.

<b>Código</b>	C-009							
<b>Caso de uso</b>	Visualizar distribución							
<b>Actores</b>	Operario.							
<b>Descripción</b>	El sistema será capaz de dibujar las distribuciones para las piezas de un producto obtenidas por el algoritmo genético.							
<b>Requerimientos relacionados.</b>	R-011							
<b>Eventos</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Acción del actor</th> <th>Acción del sistema</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1. Seleccionar “Ver Distribución.”</td> <td>2. Verificar que se haya ejecutado el algoritmo genético.</td> </tr> <tr> <td></td> <td>3. Dibujar distribución del algoritmo genético.</td> </tr> </tbody> </table>		Acción del actor	Acción del sistema	1. Seleccionar “Ver Distribución.”	2. Verificar que se haya ejecutado el algoritmo genético.		3. Dibujar distribución del algoritmo genético.
Acción del actor	Acción del sistema							
1. Seleccionar “Ver Distribución.”	2. Verificar que se haya ejecutado el algoritmo genético.							
	3. Dibujar distribución del algoritmo genético.							
<b>Curso Alterno</b>	2.1 En caso que no se haya ejecutado el algoritmo genético al momento que el usuario desea ver la distribución, esta no se podrá dibujar, informando el motivo de la no visualización al usuario.							

**Fuente:** Elaboración propia.

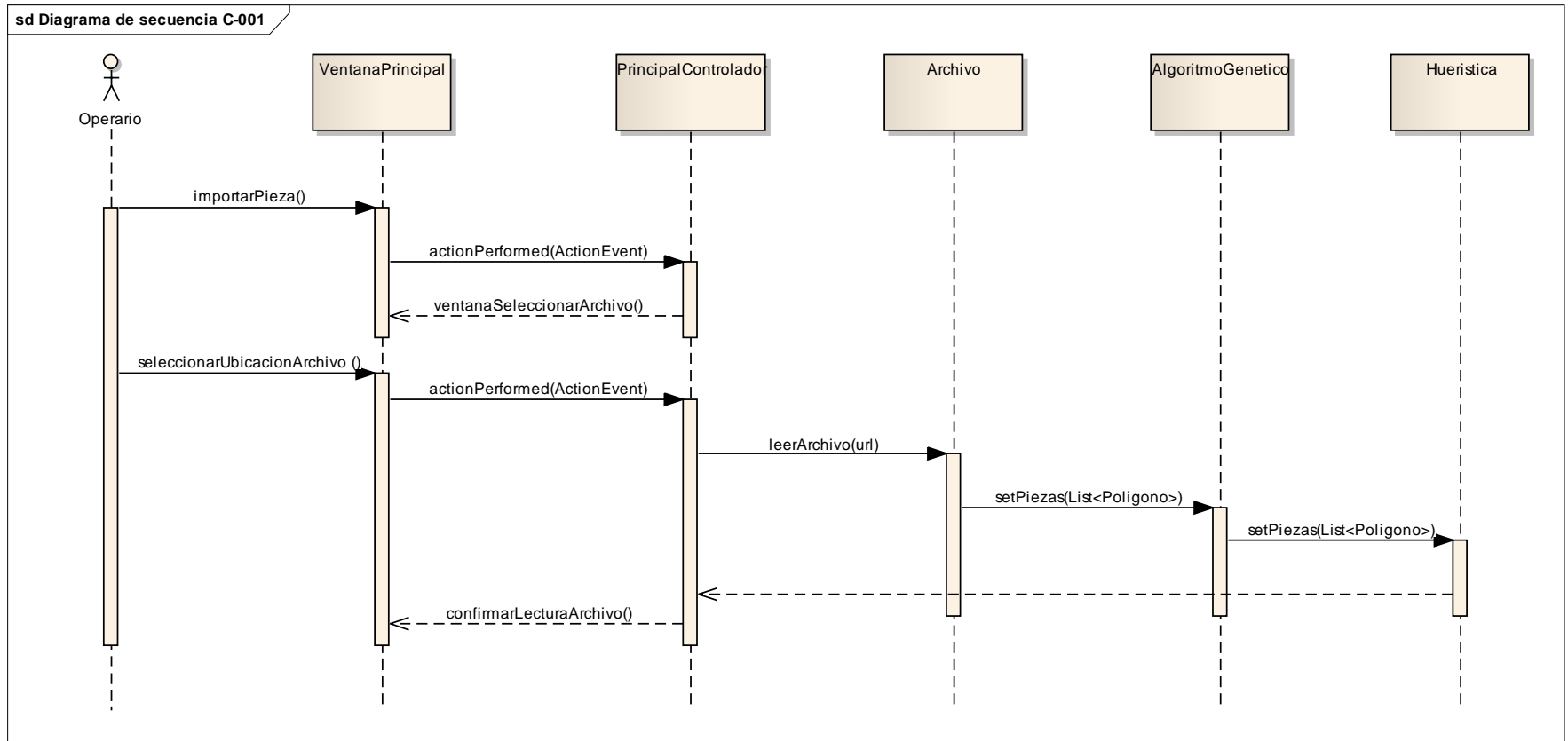
<b>Código</b>	C-010							
<b>Caso de uso</b>	Exportar distribución.							
<b>Actores</b>	Operario.							
<b>Descripción</b>	R-013							
<b>Requerimientos relacionados.</b>	El sistema será capaz de exportar las distribuciones obtenidas por el algoritmo genético, permitiéndole al usuario almacenar externamente las distribuciones.							
<b>Eventos</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Acción del actor</th> <th>Acción del sistema</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1. Seleccionar opción “Exportar distribución.”</td> <td>2. Verificar ejecución del algoritmo.</td> </tr> <tr> <td></td> <td>3. Exportar distribución.</td> </tr> </tbody> </table>		Acción del actor	Acción del sistema	1. Seleccionar opción “Exportar distribución.”	2. Verificar ejecución del algoritmo.		3. Exportar distribución.
Acción del actor	Acción del sistema							
1. Seleccionar opción “Exportar distribución.”	2. Verificar ejecución del algoritmo.							
	3. Exportar distribución.							
<b>Curso Alterno</b>	2.1 En caso que no se haya ejecutado el algoritmo genético al momento que el usuario desea ver la distribución, esta no se podrá ser exportada, informando el motivo de la no visualización al usuario.							

**Fuente:** Elaboración propia.

<b>Código</b>	C-011											
<b>Caso de uso</b>	Reacomodar distribución.											
<b>Actores</b>	Operario.											
<b>Descripción</b>	El sistema le permitirá al usuario reubicar las piezas de una distribución, con que el usuario pueda mejorar de forma manual las distribuciones obtenidas por el algoritmo genético.											
<b>Requerimientos relacionados.</b>	R-012											
<b>Eventos</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Acción del actor</th> <th>Acción del sistema</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1. Seleccionar “reacomodar piezas”.</td> <td>2. Permitir selección de piezas en la distribución.</td> </tr> <tr> <td>3. Seleccionar una pieza para reubicar.</td> <td></td> </tr> <tr> <td>4. Seleccionar nueva ubicación.</td> <td>5. Verificar que la nueva ubicación se encuentre desocupada.</td> </tr> <tr> <td></td> <td>6. Cambiar ubicación de la pieza.</td> </tr> </tbody> </table>		Acción del actor	Acción del sistema	1. Seleccionar “reacomodar piezas”.	2. Permitir selección de piezas en la distribución.	3. Seleccionar una pieza para reubicar.		4. Seleccionar nueva ubicación.	5. Verificar que la nueva ubicación se encuentre desocupada.		6. Cambiar ubicación de la pieza.
Acción del actor	Acción del sistema											
1. Seleccionar “reacomodar piezas”.	2. Permitir selección de piezas en la distribución.											
3. Seleccionar una pieza para reubicar.												
4. Seleccionar nueva ubicación.	5. Verificar que la nueva ubicación se encuentre desocupada.											
	6. Cambiar ubicación de la pieza.											
<b>Curso Alterno</b>	5.1 En caso que la nueva ubicación de la pieza produzca que esta se intercepte con otra u otras piezas, no se realizara el cambio de ubicación y se le informara de la situación al usuario.											

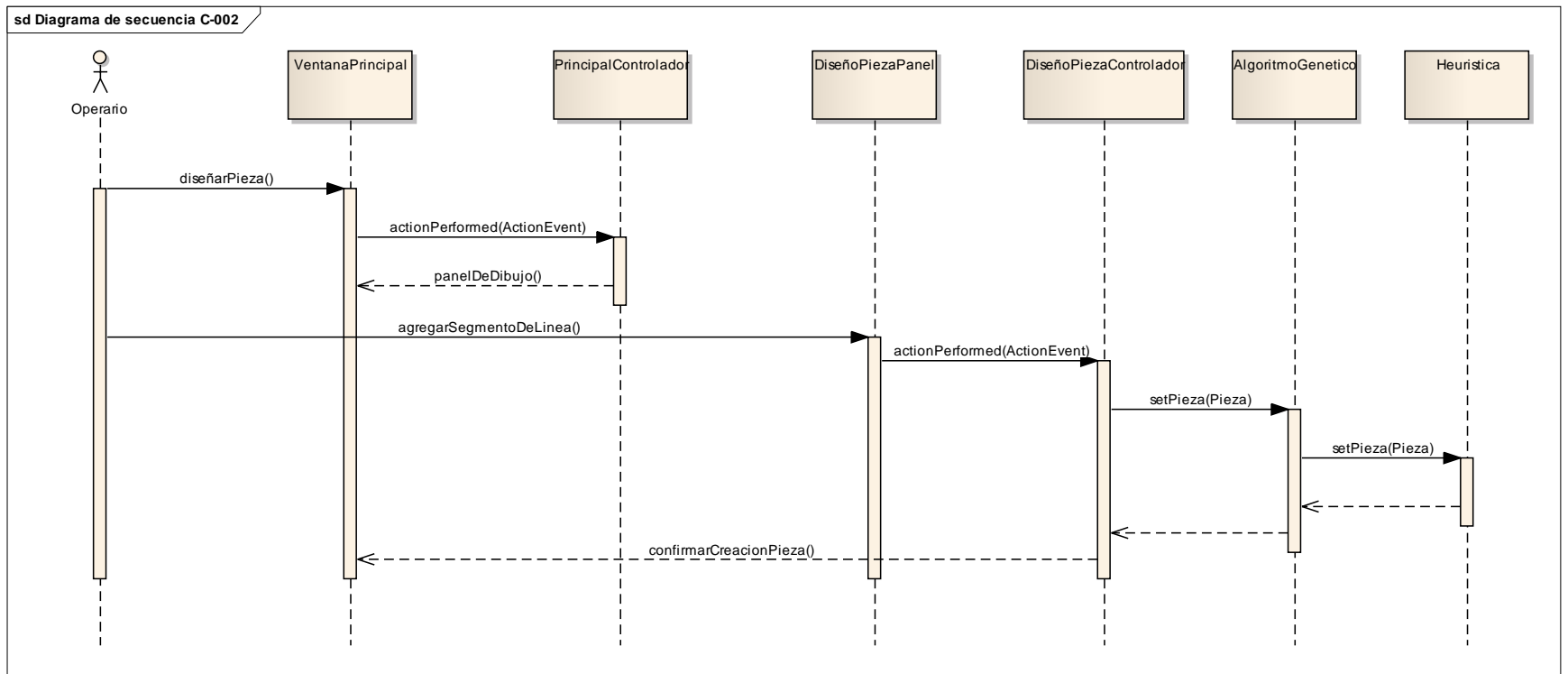
**Fuente:** Elaboración propia.

### Anexo 13. Diagramas de secuencia.

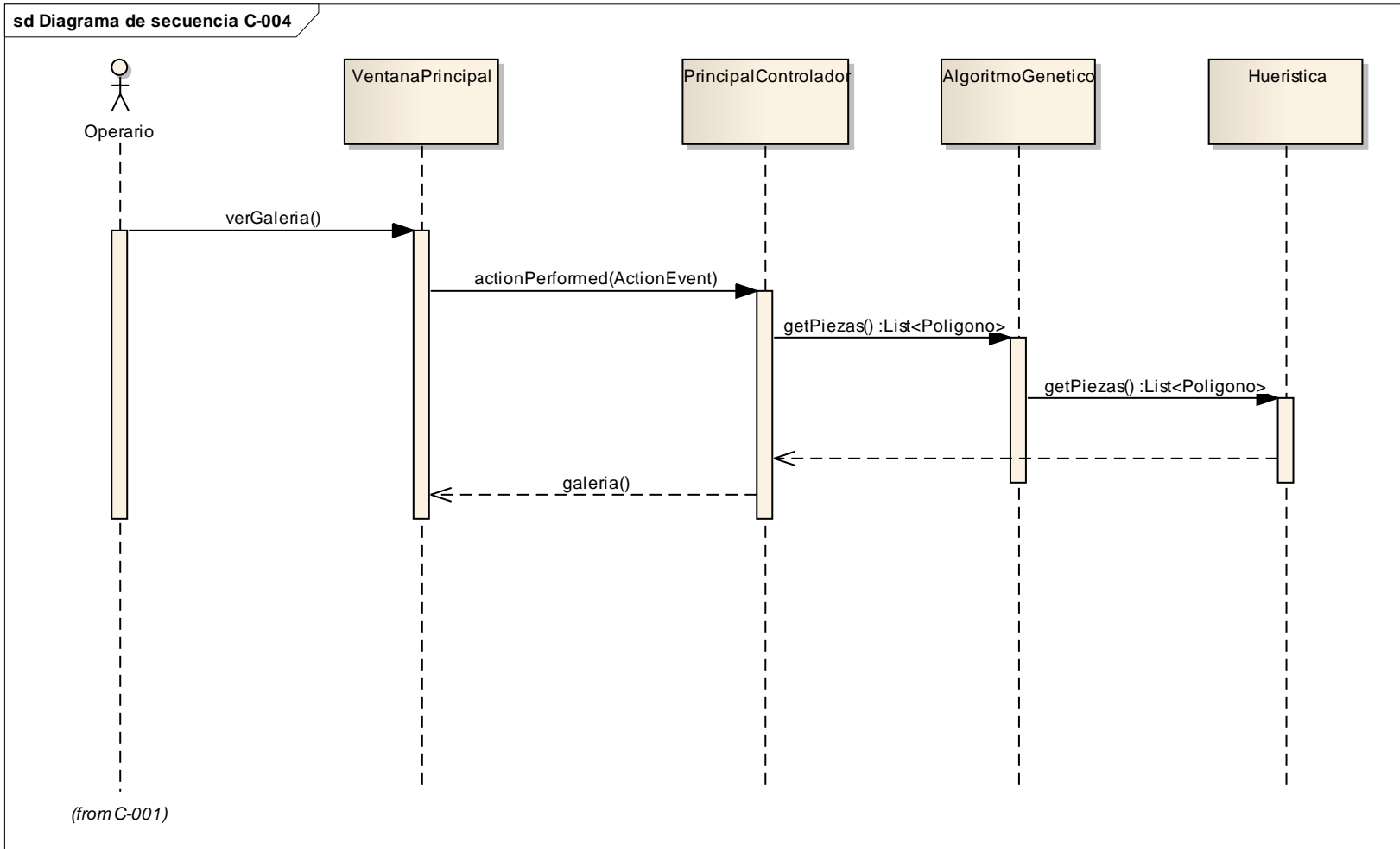


Fuente: Elaboración propia.



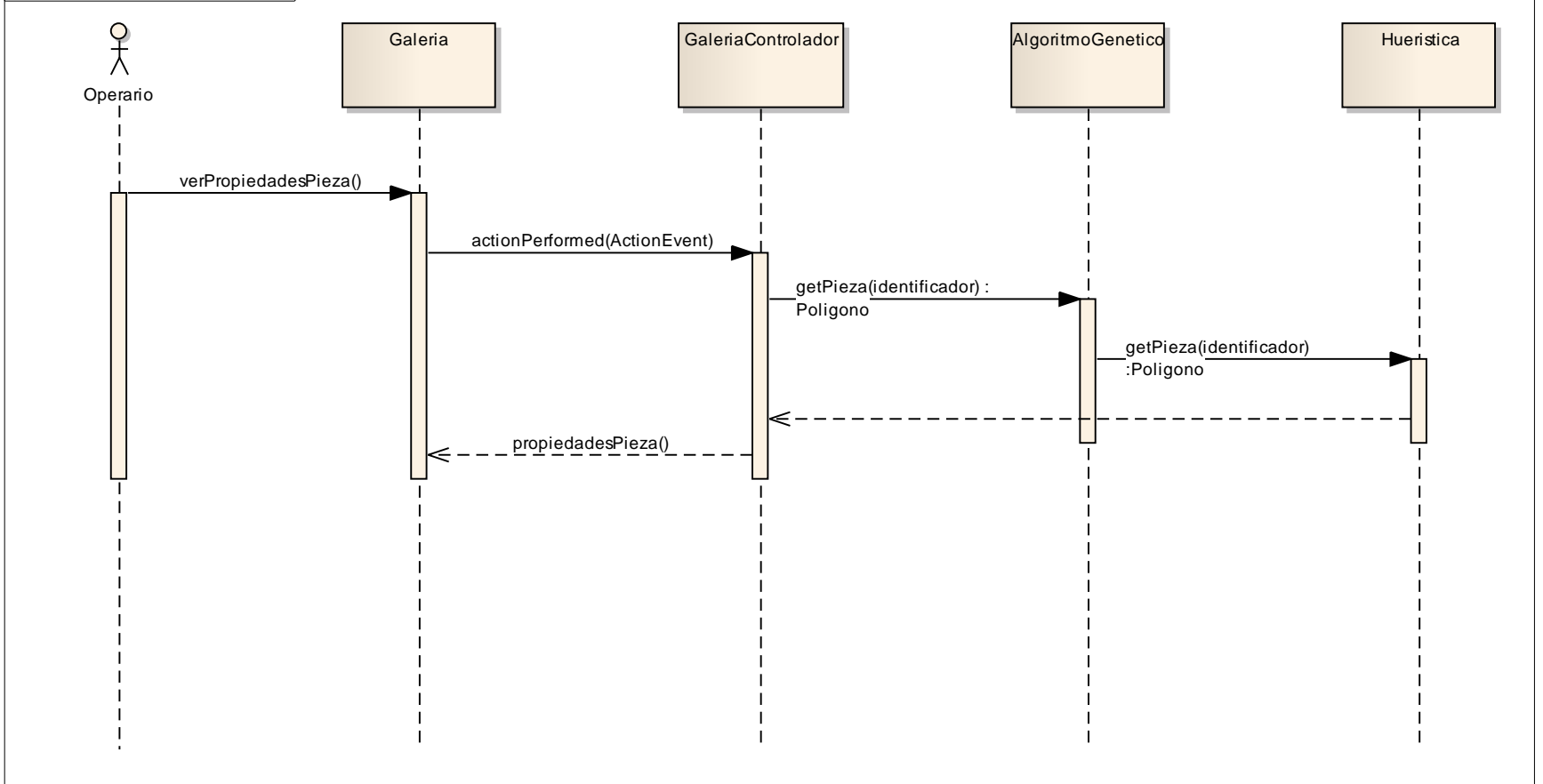


Fuente: Elaboración propia.

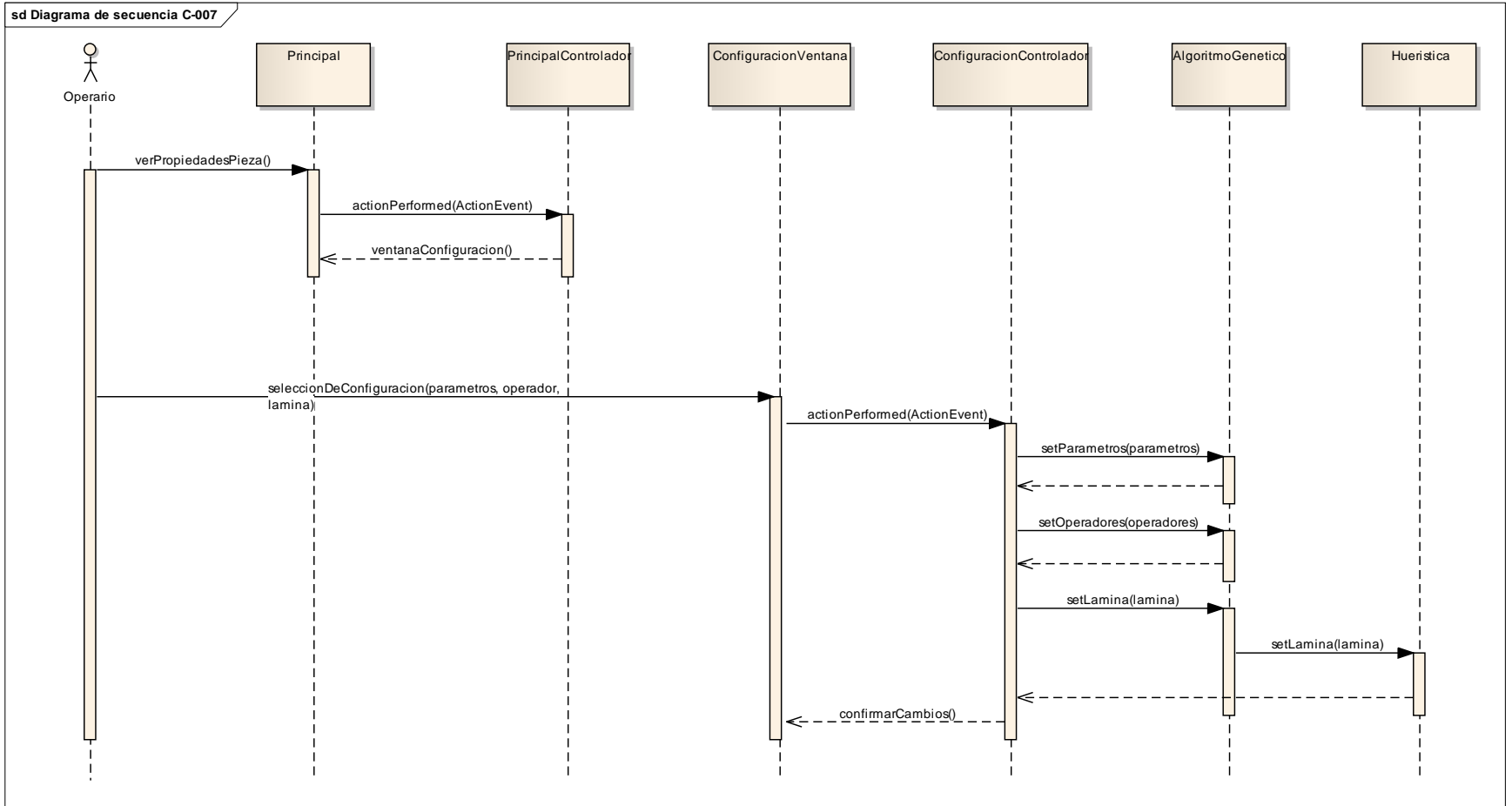


Fuente: Elaboración propia.

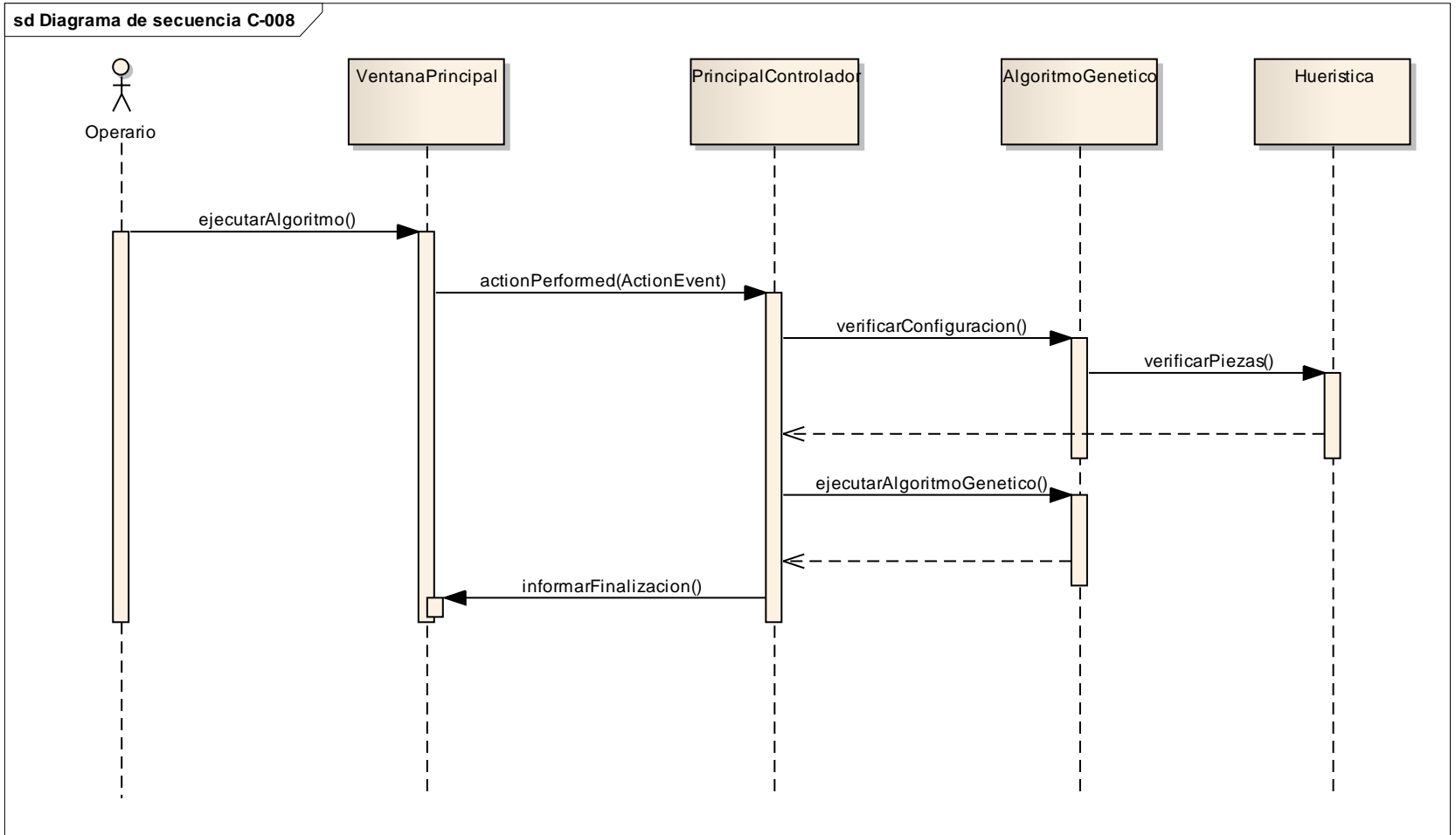
sd Diagrama de secuencia C-005



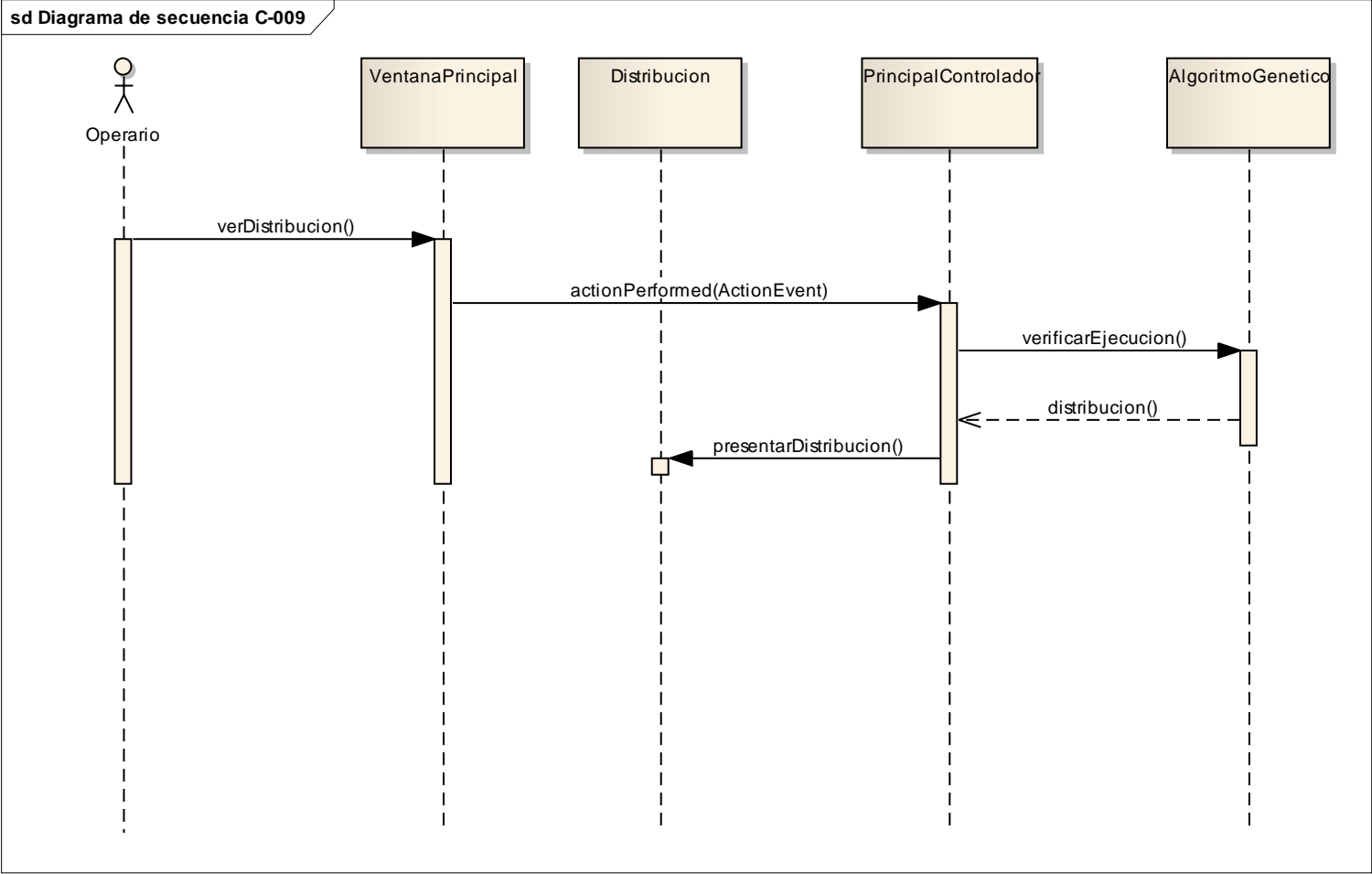
Fuente: Elaboración propia.



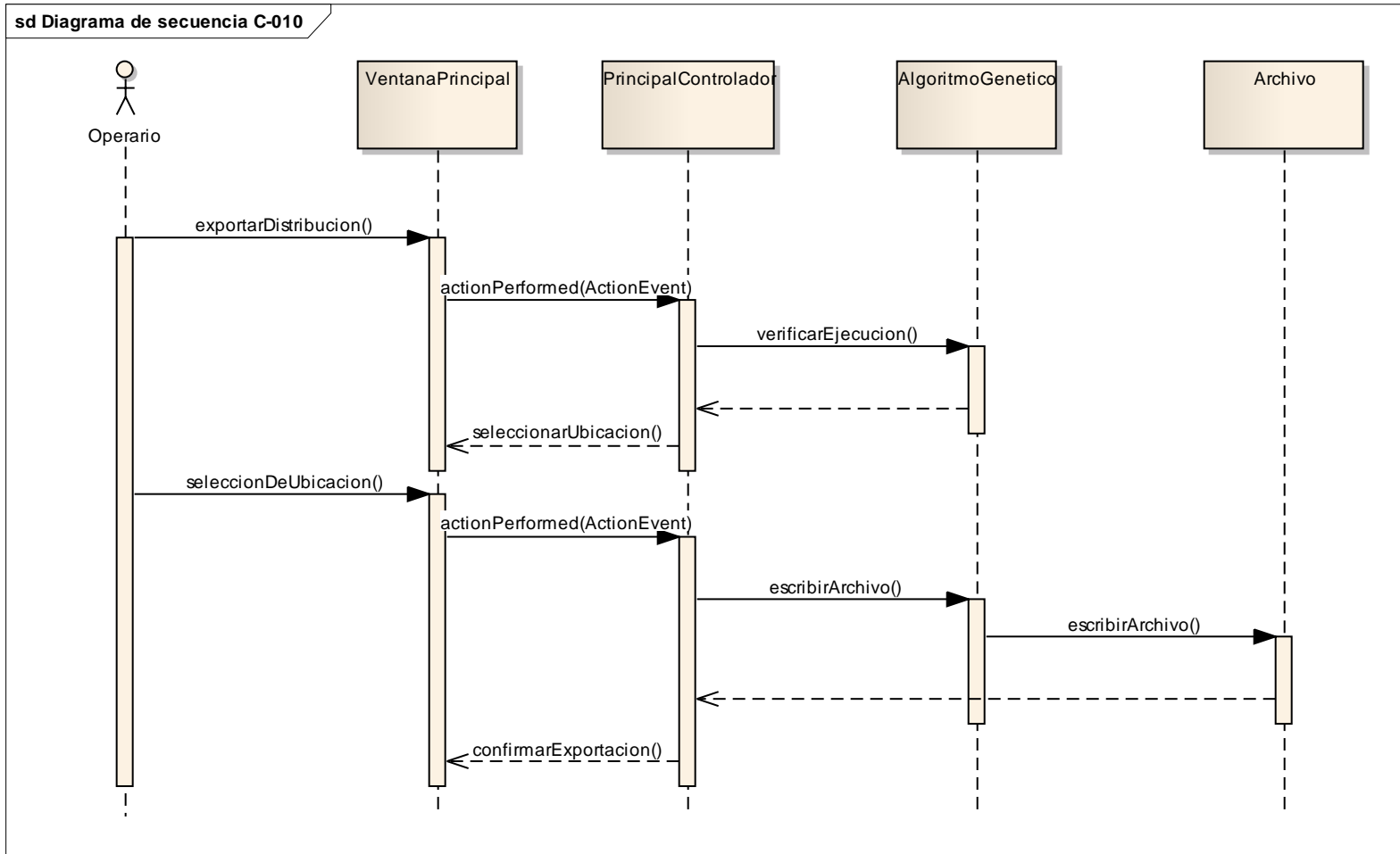
Fuente: Elaboración propia.



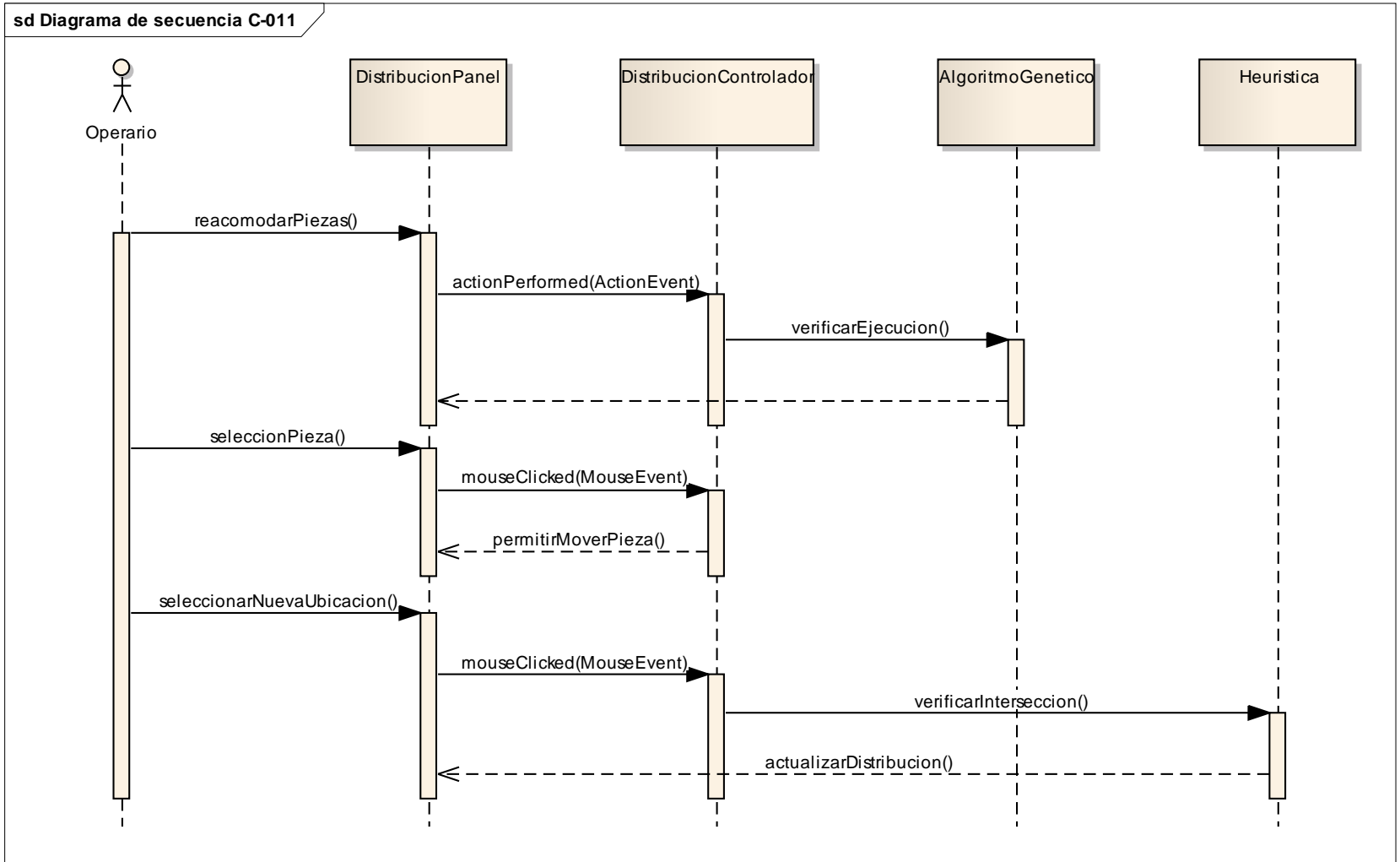
Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.



The page features a decorative graphic consisting of three blue circles of varying sizes, each with a lighter blue ring around its center. These circles are positioned in the upper right and lower right areas. Two thin blue lines intersect at the top left, forming a large 'V' shape that frames the circles.

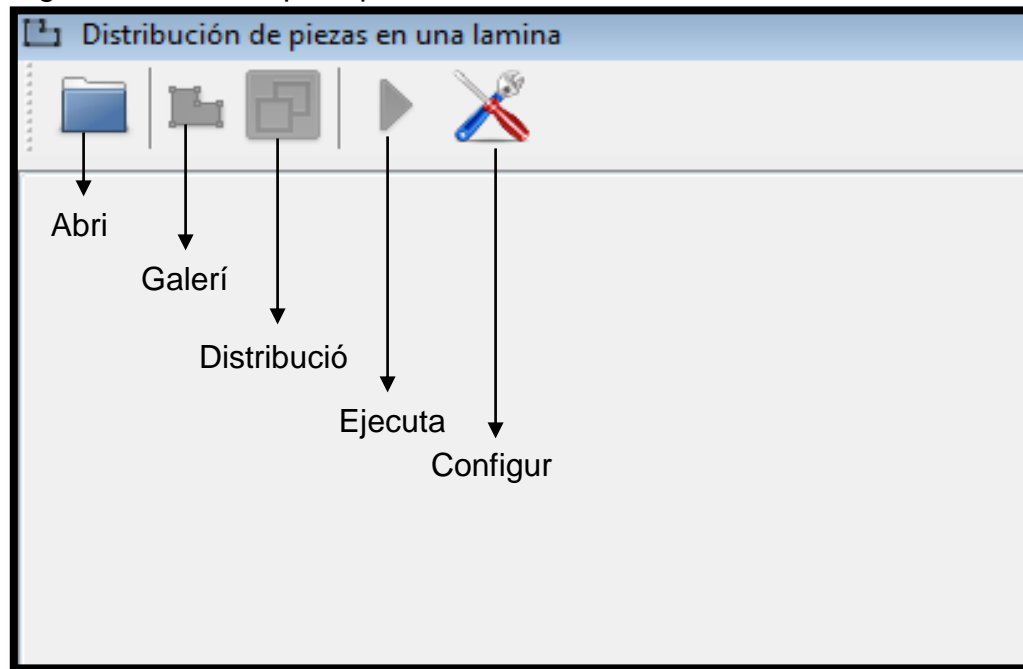
# **Anexo 14: Manual de usuario**

Distribución de piezas en laminas

**Sergio Leottau Sanmiguel**

## 1. Ventana Principal

Figura. 1 Ventana principal



Fuente: Elaboración propia

La ventana principal esta compuesta por cinco iconos que realizan las siguientes funciones:

- ✓ **Abrir:** Permite seleccionar el archivo en el cual se encuentran las piezas que se van a distribuir en la lamina.
- ✓ **Galería:** Se pueden observar las piezas del producto que se desea distribuir.
- ✓ **Distribución:** Al seleccionar el icono se muestran la última distribución de las piezas en láminas encontrada.
- ✓ **Ejecutar:** Este botón permite al usuario ejecutar el Algoritmo Genético, y de esta manera encontrar una distribución para las piezas importadas (Previamente se deben haber importado las piezas y realizado la configuración).

- ✓ **Configurar:** Permite ingresar la información relacionada con la configuración de los parámetros y operadores del algoritmo genético al igual que la información relacionada con las dimensiones de la lamina y el tamaño del lote.

Nota: Los botones 2, 3 y 4 aparecen en primera instancia deshabilitados debido a que no se ha seleccionado el archivo que contiene las piezas que se van a distribuir.

## 2. Importar archivo.


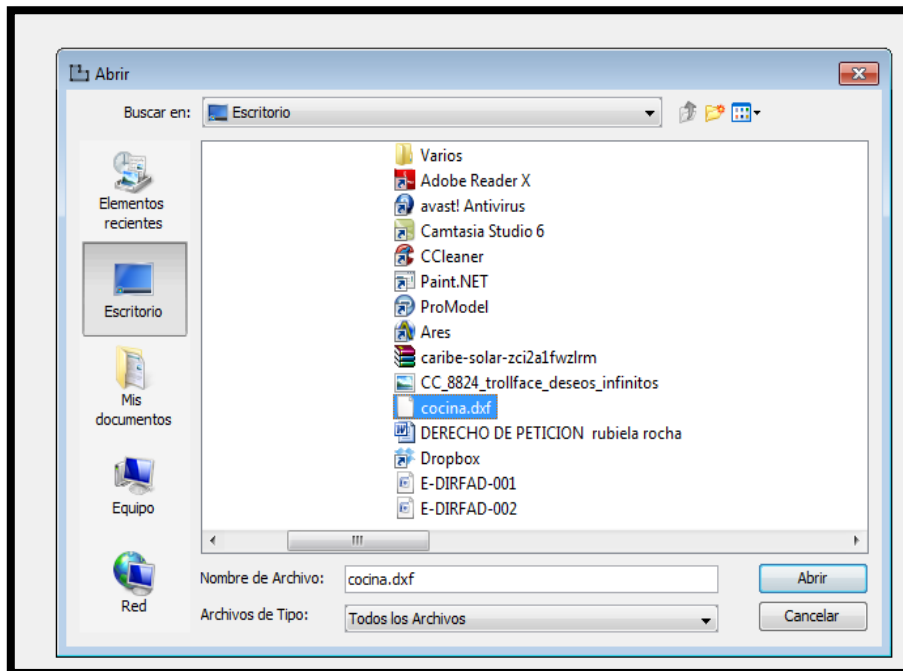
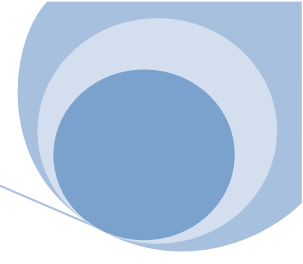
Para realizar la importación del archivo que contiene las piezas diseñadas previamente en un programa de diseño asistido por computadora, se selecciona el primer icono (  ) de la ventana principal. Inmediatamente este permitirá seleccionar el archivo que debe estar en formato dxf, debido a que es uno de los formatos de Auto CAD. Como se observa en la imagen.

Figura. 2 Importación de archivos



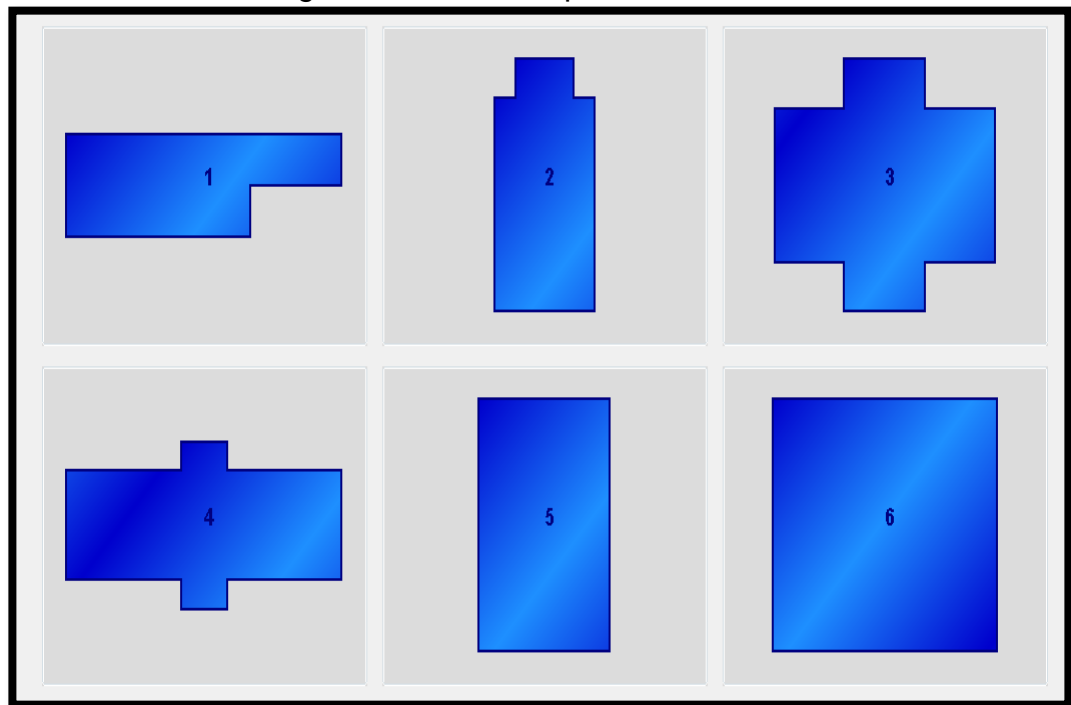
Fuente: Elaboración propia



### 3. Galería de piezas.

Una vez se ha abierto el archivo seleccionado en el paso anterior se visualizan las piezas del producto que se van a distribuir posteriormente. Como se observa en la siguiente figura.

Figura. 3 Galería de piezas



Fuente: Elaboración propia

Puede seleccionar las piezas para observar las propiedades y las cotas, como se aprecia en el siguiente ejemplo, en el cual se selecciona la figura numero 1.

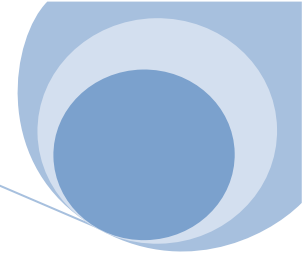
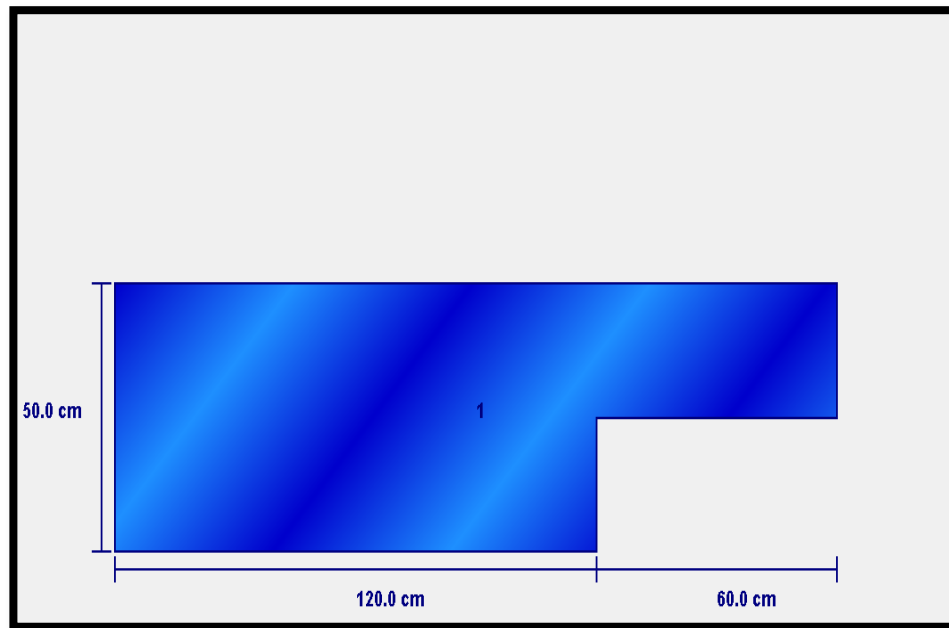


Figura. 4 Detalle de la pieza numero 1



Fuente: Elaboración propia

Para regresar a la galería de todas las figuras se selecciona el botón de galería.

#### 4. Configurar.

Permite ingresar la información relacionada con la configuración de los parámetros y operadores del algoritmo genético, al igual que la información relacionada con las dimensiones de la lámina y el tamaño del lote. En la figura que se observa a continuación es la que aparecerá en el software cuando se requiera ingresar la configuración

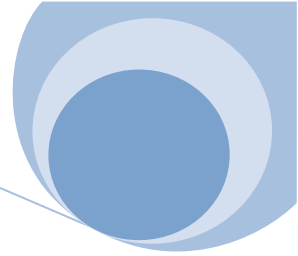
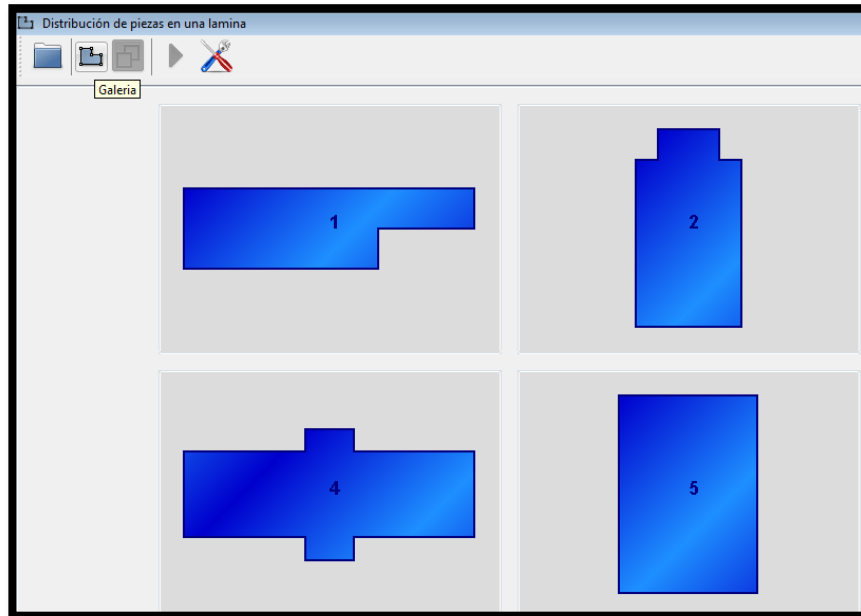
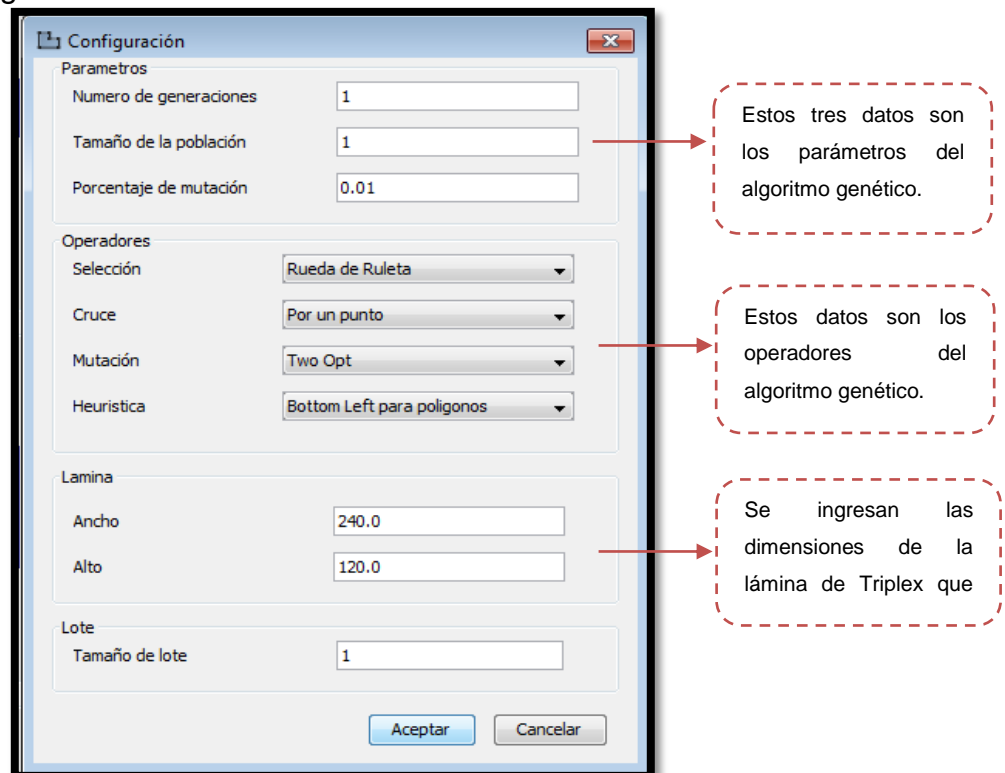


Figura. 5 Galería de figuras



Fuente: Elaboración propia

Figura. 6 Configuración

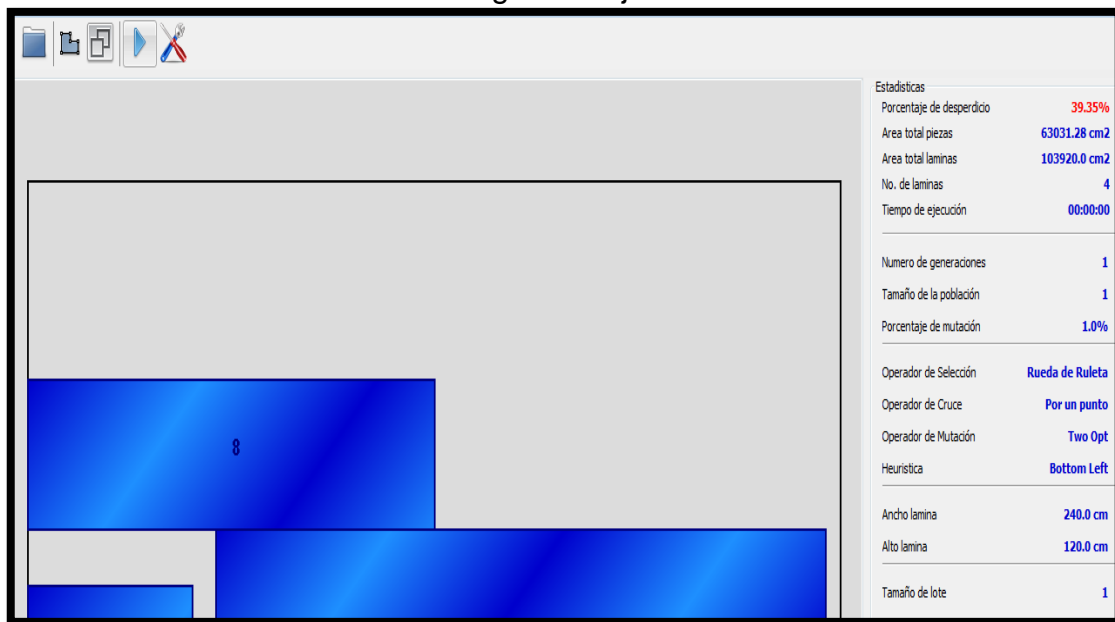


Fuente: Elaboración propia

### 5. Ejecutar.

El icono de ejecutar tiene como funcionalidad realizar la distribución requerida. Una vez se termina de ejecutar se podrá apreciar la distribución y la información relacionada.

Figura. 7 Ejecución



Fuente: Elaboración propia

En la siguiente figura se podrá apreciar de manera más detallada la información que acompaña la distribución de las piezas en la lámina de Triplex.

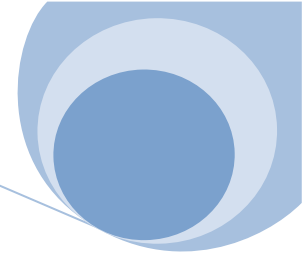


Figura. 8 Información detallada de la pieza

Estadísticas	
Porcentaje de desperdicio	<b>39.35%</b>
Area total piezas	<b>63031.28 cm2</b>
Area total laminas	<b>103920.0 cm2</b>
No. de laminas	<b>4</b>
Tiempo de ejecución	<b>00:00:00</b>
<hr/>	
Numero de generaciones	<b>1</b>
Tamaño de la población	<b>1</b>
Porcentaje de mutación	<b>1.0%</b>
<hr/>	
Operador de Selección	<b>Rueda de Ruleta</b>
Operador de Cruce	<b>Por un punto</b>
Operador de Mutación	<b>Two Opt</b>
Heurística	<b>Bottom Left</b>
<hr/>	
Ancho lamina	<b>240.0 cm</b>
Alto lamina	<b>120.0 cm</b>
<hr/>	
Tamaño de lote	<b>1</b>

Fuente: Elaboración propia

#### 6. Ver distribución.

Si el usuario se encuentra en otra ventana que no sea en la de distribución como por ejemplo en galería, y quiere observar la última distribución realizada se da clic en el icono de distribución. Como se presenta en los siguientes pasos:



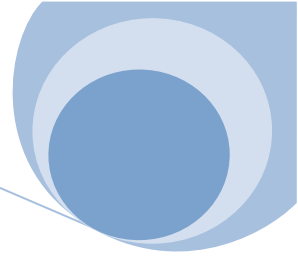
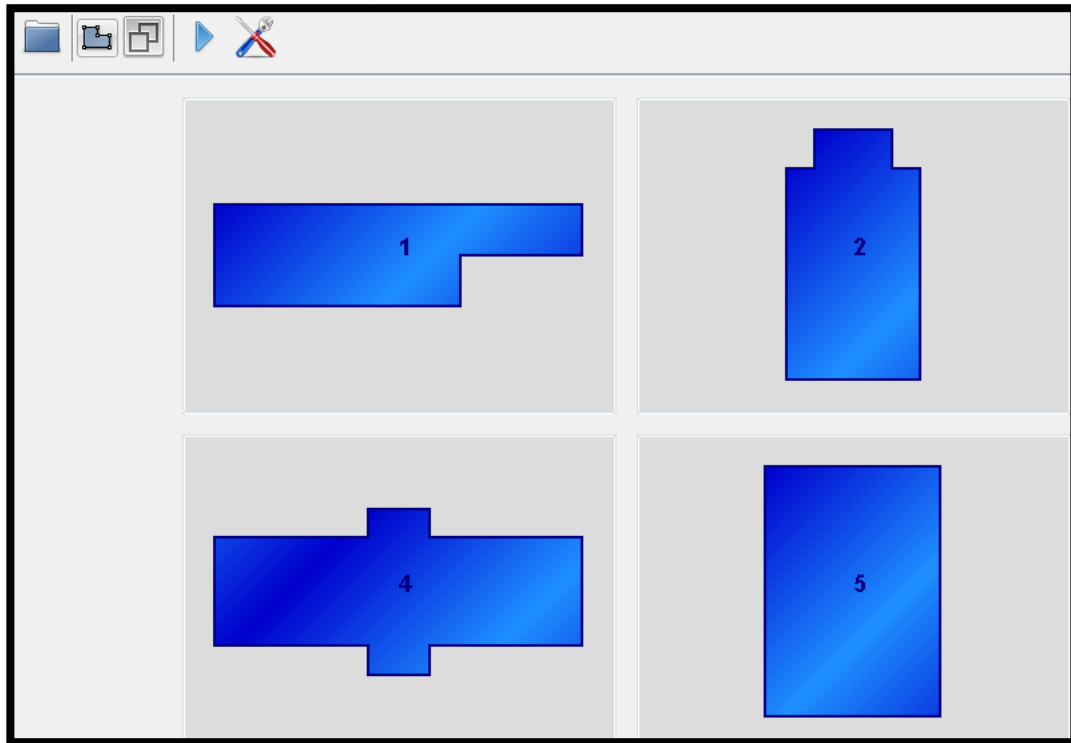


Figura. 9 Galería de las piezas



Fuente: Elaboración propia

Figura. 10 Distribución de las piezas

