



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
**PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA**  
**INGENIERIA MECANICA – DISEÑO MECANICO**

**DESARROLLO DE UN SISTEMA AUXILIADO POR COMPUTADORA PARA EL  
PROCESO DE CORTE DE CUERO PARA LA INDUSTRIA DEL CALZADO**

TESIS  
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:  
DOCTOR EN INGENIERÍA

PRESENTA:  
LUIS GUEVARA PALMA

TUTOR (ES) PRINCIPAL(ES)  
SAUL D. SANTILLÁN GUTIÉRREZ, FACULTAD DE INGENIERÍA  
COMITÉ TUTOR  
TANG XU YU, FACULTAD DE INGENIERÍA  
JESÚS MANUEL DORADOR GONZÁLEZ, FACULTAD DE INGENIERÍA  
GABRIEL ASCANIO GASCA, CCADET  
MAGDALENA, TRUJILLO, BARRAGAN, FACULTAD DE INGENIERÍA

MÉXICO, D. F. FEBRERO 2016

**JURADO ASIGNADO:**

Presidente: DR.TANG XU YU  
Secretario: DR.JESÚS MANUEL DORADOR GONZÁLEZ  
Vocal: DR. SAUL D. SANTILLÁN GUTIÉRREZ  
1<sup>er</sup>. Suplente: DR. GABRIEL ASCANIO GASCA  
2<sup>d o</sup>. Suplente: DRA.MAGDALENA, TRUJILLO, BARRAGAN

Lugar o lugares donde se realizó la tesis: FACULTAD DE INGENIERÍA

**TUTOR DE TESIS:**

DR. SAUL D. SANTILLÁN GUTIÉRREZ

-----  
**FIRMA**

## Contenido

1	INTRODUCCION.....	5
1.1	LA INDUSTRIA DEL CALZADO EN MÉXICO.....	5
1.1.1	Problemas con los productores Asiáticos.....	9
1.1.2	Respuesta del Sector Mexicano.....	10
1.1.3	Proceso Productivo.....	11
1.1.4	Tendencias actuales.....	11
2	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	14
2.1	PROBLEMA.....	14
2.2	NECESIDADES DE LA EMPRESA.....	14
2.3	GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	14
3	ESTADO DEL ARTE.....	16
3.1	EL PROCESO DE CORTE.....	16
3.1.1	Sistemas de corte comerciales.....	16
3.2	El problema del acomodo o nesting.....	17
3.3	SELECCIÓN DE LAS PIELES.....	18
4	ANÁLISIS DEL PROCESO DE CORTE ACTUAL.....	20
4.1	PROCESO DE CORTE PARA LA ELABORACIÓN DE CALZADO.....	20
4.1.1	Elementos previos al Proceso de Corte.....	20
4.1.2	Proceso de corte.....	26
4.2	PROCESO DE COORDINADO.....	28
4.3	ANÁLISIS.....	29
5	OBJETIVO Y ALCANCE.....	31
5.1	OBJETIVO:.....	31
5.2	ALCANCE:.....	31
5.3	ESPECIFICACIÓN.....	31
6	DISEÑO DEL SISTEMA.....	32
6.1	CONSIDERACIONES DE DISEÑO.....	32
6.2	PLANTEAMIENTO DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN.....	33
6.3	DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCESO PROPUESTO.....	34
6.3.1	Captura de la piel.....	34
6.3.2	Importación de las piezas.....	35
6.3.3	Captura de la orden de trabajo y Selección de pieles.....	35
6.3.4	Acomodo (nesting).....	37
7	SISTEMA DE ACOMODO (NESTING).....	38
7.1	CONSIDERACIONES PARA EL ACOMODO DE PIEZAS.....	38

7.1.1	Definición de sistema complejo.....	39
7.1.2	Proceso de Solución .....	39
7.1.3	Premisas del proceso de nesting.....	40
7.2	DISEÑO DE DETALLE .....	40
7.2.1	Etapas del Desarrollo del Programa de acomodo.....	40
7.2.2	Generación de Marcos.....	41
7.2.3	Criterios a considerar en la frontera entre dos zonas. ....	42
7.2.4	Criterios para el manejo de las figuras de las piezas y perfiles .....	42
7.3	ALGORITMO BÁSICO DEL SISTEMA DE ACOMODO .....	42
7.4	ALGORITMO DE ACOMODO PARA CADA PIEZA .....	44
7.4.1	Ubicación primera pieza .....	45
7.4.2	Acomodo grueso.....	45
7.4.3	Acomodo Fino.....	47
7.4.4	Búsqueda de la Mejor Posición.....	52
7.5	MEGA PERFIL .....	54
7.6	PROBLEMA ESCALÓN .....	55
7.7	MEGA PERFIL VERTICAL.....	56
7.8	REQUERIMIENTOS COMPUTACIONALES DEL SISTEMA DE ACOMODO .	57
7.8.1	Análisis de los lenguajes de programación.....	57
7.8.2	Análisis de los Sistemas Gestores de Base de Datos .....	60
7.8.3	Selección del software y hardware .....	63
7.9	REPRESENTACIÓN COMPUTACIONAL DE LOS ELEMENTOS .....	65
7.9.1	Estructura de datos.....	66
8	RESULTADOS .....	67
9	CONCLUSIONES.....	75
10	TRABAJO FUTURO .....	76
11	BIBLIOGRAFÍA .....	77
11.1	Recursos Electrónicos.....	78
12	ANEXO I SIMULACIONES DE SELECCIÓN DE PIELES.....	79

# DESARROLLO DE UN SISTEMA AUXILIADO POR COMPUTADORA PARA EL PROCESO DE CORTE DE CUERO PARA LA INDUSTRIA DEL CALZADO

---

## 1 INTRODUCCION.

### 1.1 LA INDUSTRIA DEL CALZADO EN MÉXICO

La industria del calzado en México es un sector tradicional en la economía de México. Desde la época de la Colonia se registran artesanos desarrollando esta actividad en el estado de Guanajuato. La producción de calzado es importante porque es un artículo de primera necesidad, ubicado sólo después de la alimentación, vivienda y vestido.

La participación de la industria del calzado en la economía ha sido irregular en los últimos años, y mantiene un déficit de producción como se muestra en la Tabla 1[20]. Esta debilidad de la industria tiene como origen varios factores como el bajo crecimiento de su producción, así como a la entrada legal e ilegal de calzado asiático al país y la competencia contra marcas internacionales bien posicionadas en el mercado. Esta irregularidad también ha afectado la participación de la industria a nivel internacional (Tabla 2).[17]

#### PRODUCCIÓN DE CALZADO 2014

Zona	% 2014
Producción	245 millones de pares
Consumo Interno	304 millones de pares
Consumo Promedio Anuales por Habitante	2.7 pares
Importaciones	100 millones de pares
Exportaciones	26 millones de pares

Tabla 1. Producción Nacional de Calzado (2014)

## MAYORES EXPORTADORES DE CALZADO A NIVEL MUNDIAL

Valor: Millones USD

PAÍS	EXPORTACIONES	% de las Exportaciones del País
<b>China</b>   China	48 145	2,2%
<b>Italy</b>   Italia	10 722	2,1%
<b>Viet Nam</b>   Vietnam	10 030	7,3%
<b>Hong Kong</b>   Hong Kong	4 848	7,0%
<b>Belgium</b>   Bélgica	4 688	0,9%
<b>Germany</b>   Alemania	4 446	0,3%
<b>Indonesia</b>   Indonesia	3 755	2,1%
<b>Netherlands</b>   Holanda	3 201	0,5%
<b>Spain</b>   España	3 036	1,0%
<b>France</b>   Francia	2 717	0,5%
<b>Portugal</b>   Portugal	2 305	3,7%
<b>India</b>   India	2 268	0,7%
<b>United Kingdom</b>   Reino Unido	1 876	0,3%
<b>Romania</b>   Rumania	1 304	2,0%
<b>USA</b>   EUA	1 165	0,1%

Tabla 2. Mayores Exportadores de Calzado a nivel mundial



Gráfica 1 Importaciones -Exportaciones de Calzado en México

De acuerdo al Programa para la Competitividad de la Industria del Cuero y del Calzado [Economía, 2003], y a los informes de la Cámara de la Industria del Calzado del Estado

de Guanajuato (CICEG), de 2009 a 2014 las importaciones totales de calzado se incrementaron de forma considerable generando un déficit en la balanza comercial del sector, llegando casi a duplicar la cantidad de exportaciones como se puede observar en la Grafica 1.

Podemos destacar el aumento de la participación de países asiáticos como Vietnam, Indonesia, China, Malasia, Taiwán, Tailandia, Bangladesh, India y Mongolia en las importaciones de calzado en México de 2010 a 2014. Tabla 3. [41]

**Importaciones por México de Calzado (USD)**  
**Periodo: Anual**

<b>Fecha</b> <b>País Exportador</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>
Vietnam	250.875.439	267.974.183	281.149.157	273.601.155	285.225.453
China	105.982.611	143.627.277	245.351.561	323.234.238	398.531.856
Indonesia	91.922.534	121.592.713	134.328.222	111.546.869	106.215.361
Italia	39.205.876	51.143.240	46.554.352	54.269.097	57.247.245
España	33.874.060	45.393.878	43.142.229	46.342.819	54.135.273
Estados Unidos	34.028.751	29.075.946	42.061.116	39.033.104	35.316.442
Brasil	19.964.338	18.096.859	15.949.081	12.887.649	14.586.904
India	11.501.049	13.769.680	9.837.226	7.522.737	10.811.713
Tailandia	14.728.142	14.612.654	5.244.272	4.545.896	5.208.882
Camboya	3.404.333	7.637.694	7.801.231	7.613.540	9.164.381
Otros	35.044.754	55.451.474	40.081.798	33.036.942	33.088.486
<b>Total</b>	<b>640.531.887</b>	<b>768.375.598</b>	<b>871.500.245</b>	<b>913.634.046</b>	<b>1.009.531.996</b>

**Tabla 3 Importaciones de Calzado en México (2009-2014)**

Por otro lado las exportaciones de calzado se centran en el mercado de los Estados Unidos y países europeos. Aunque cabe destacar el aumento en las exportaciones a países como Colombia, Cuba y República Dominicana. También se puede destacar la pérdida de exportaciones en países importantes como Estados Unidos, Japón, Canadá y Brasil. Tabla 4. [41]

**Exportaciones de México de Calzado Por País Destino  
Periodo: Anual (USD)**

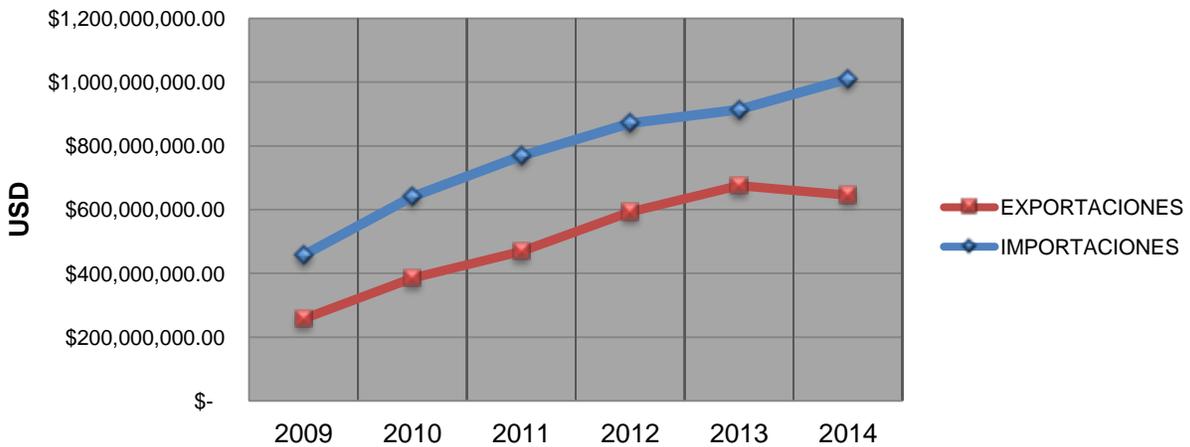
<b>Fecha País Importador</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>
Estados Unidos	324.594.327	380.248.643	495.820.535	556.802.906	522.688.752
Japón		8.504.395	14.899.964	14.405.826	12.552.707
Canadá	6.330.969	9.220.951	10.855.246	13.748.092	8.951.048
Guatemala	4.039.898	5.953.446	5.959.578	6.853.019	9.065.561
Francia	4.613.365	7.665.737	9.635.713	8.246.082	4.858.789
Países Bajos	1.641.743	2.499.505	5.368.100	10.702.153	9.932.316
Colombia	1.449.173	2.706.932	4.156.924	7.995.635	10.381.911
República Dominicana	4.886.569	4.956.762		1.431.276	7.419.801
Brasil	3.703.155	5.583.112	8.153.410	3.094.573	1.865.550
Cuba	1.812.744	4.128.495	4.282.459	3.784.487	4.586.351
Otros	32.292.039	37.316.311	33.827.212	48.334.066	53.516.693
<b>Total</b>	<b>385.363.982</b>	<b>468.784.289</b>	<b>592.959.141</b>	<b>675.398.115</b>	<b>645.819.479</b>

**Tabla 4 Exportaciones de Calzado (2009-2014)**

La competencia en el ámbito internacional que libra la Industria del calzado nacional es fuerte y necesita trabajar entre otros aspectos, el volumen de producción donde el nivel de nuestro país es muy bajo, también la competencia contra marcas establecidas mundialmente, -como las italianas-, y el contrabando de calzado que es casi imposible de eliminar, y la reducción de los costos de producción.

En el rubro económico, cabe destacar la diferencia entre los precios promedio de importación y exportación de calzado lo que puede ser un punto importante para el resultado de la balanza comercial del sector (Gráfica 2). Aunque los precios promedio de exportación han bajado, siguen estando por encima de los precios del calzado internacional que se importa al país, como se puede observar en la Gráfica 3.

## VALOR DE LAS IMPORTACIONES-EXPORTACIONES DE CALZADO EN MÉXICO



Gráfica 2 Balanza Comercial de Calzado



Gráfica 3 Precio Promedio por par de Calzado

### 1.1.1 Problemas con los productores Asiáticos

El aumento acelerado de la participación del calzado asiático en el mercado mexicano representa una amenaza a la industria nacional, ya que se considera que se realiza práctica de dumping hacia el mercado de nuestro país. Por esta razón desde 1993 México aplica cuotas compensatorias a las importaciones de calzado chino, aunque en con la entrada de China a la OMC se determinó que las cuotas compensatorias se eliminaran en diciembre del 2011.

En 2014 el gobierno emitió un decreto de salvaguarda de 35% al calzado chino, que provoco una reducción del 40 por ciento la importación de calzado y un aumento en el precio de ingreso durante el primer bimestre del 2015, pero a pesar de esto los industriales del ramo están pidiendo a la Secretaría de Economía que establezca un

proceso antidumping al calzado proveniente de China. [22] Cabe mencionar que las quejas por dumping contra China se han presentado en varios países como Argentina, Brasil, Colombia e India.

A esto último le debemos agregar el grave problema del contrabando de calzado lo que ha generado reducciones en la producción y pérdida de empleos en una buena parte de las empresas pequeñas y medianas (sobre todo las productoras de calzado deportivo), se estima que ingresaban al país cerca de 20 millones de pares de zapatos de manera ilegal. Sin embargo, se han tomado algunas medidas para combatir la ilegalidad. Por ejemplo, en las aduanas, donde ingresa 85% de las importaciones, hay 17 peritos especializados en la materia.

Sin embargo ha crecido en China el interés por productos de importación y es ahí donde la industria mexicana puede entrar al mercado chino, especialmente con productos realizados con pieles exóticas (víbora, cocodrilo, etc.)

### 1.1.2 *Respuesta del Sector Mexicano*

Para atacar el problema los productores nacionales de calzado han apuntalado el Programa para la Competitividad de la Industria del Cuero y del Calzado con el programa Visión 20/20 buscando de esta forma tomar el control de la estrategia para rescatar al sector y no dejarla únicamente en manos del gobierno.

El objetivo de éste programa es “desarrollar las capacidades de las empresas en materia tecnológica, de innovación, procesos productivos, moda, diseño y comercialización, soportado en actividades de inteligencia competitiva, lo cual les permita alcanzar niveles de competitividad de clase mundial”. [20][21][42][25]

Para cumplir con este objetivo se consideran cuatro frentes de trabajo:

- Competitividad y Desarrollo. En este rubro se pretende generar e impulsar programas cuyas acciones eleven el nivel de competitividad.
- Defensa de la Industria. Realizar acciones para defender a la industria mexicana del calzado de las prácticas comerciales desleales a través de dumping, triangulaciones y subvaluaciones que impulsan países asiáticos como China
- Innovación y Moda. Se apuesta a ésta como elemento diferenciador, con el objetivo de adquirir herramientas para incursionar en nuevos mercados y desarrollar la marca del país.
- Conquista de Mercados. Se busca que la promoción internacional de industria facilita el posicionamiento del calzado mexicano a nivel internacional.

En cuanto a Competitividad y Desarrollo algunas de las acciones que se ha realizado en tiempos recientes son:

- La Secretaría de Desarrollo Económico de Guanajuato, anunció en SAPICA de agosto 2013, un Fondo de Financiamiento de 500 millones de pesos (mdp) para impulsar a las pymes de las cadenas calzado-marroquinería del país con créditos hasta por 1 mdp a personas físicas y hasta por 2 mdp para morales sin garantía prendaria
- La Cámara de la Industria del Calzado del Estado de Guanajuato (CICEG) dio a conocer el documento Visión 2030 que delinea estrategias y programas de trabajo para promover un sector más competitivo.

- La creación de programa de Certificación Mexican Shoes Quality que tiene como propósito elevar el sistema de manufactura de las empresas a niveles internacionales
- Se han creado cursos de capacitación a través de Centro Estratégico de Valor Empresarial(CEVEM)
- Se realizó el programa Mi Zapatería en conjunto con la Secretaría de Economía, el cual comprende un proceso de capacitación y asesoría para la modernización de las empresas de venta de calzado mexicano.
- Se solicitó eximir la cadena proveeduría-cuero-calzado del Tratado de Libre Comercio con Brasil
- Programa de Mejoras de Procesos para proveedores
- Surge PropectaModa, el cual opera como un despacho de investigación, análisis y aplicación de las tendencias de moda y diseño.
- Se han realizado Foros de Moda dirigidos a empresarios, estudiantes y diseñadores profesionales.
- El concurso Internacional de Moda y Diseño Crearé el cual se ha constituido como un semillero de nuevas generaciones de diseñadores a nivel nacional.
- Se Participó en Ferias Internacionales y en misiones comerciales en España y China

### 1.1.3 **Proceso Productivo**

A nivel interno encontramos que las empresas cuentan con un esquema administrativo de buen nivel, pero el esquema de producción actual no les permite responder rápido a los cambios de la demanda. Aunque las empresas están mecanizadas, varias operaciones unitarias básicas están basadas en la operación manual. El nivel de automatización es bajo, impidiendo un aumento rápido en el volumen de producción, así como una mejora en los niveles de calidad, uniformidad y regularidad del producto, a costos menores de lo que se llevaría hacer estos ajustes en el actual esquema manual.

Es por ello indispensable una estrategia de fortalecimiento a la competitividad de las empresas nacionales de la industria del cuero y calzado para poder enfrentarse a la competencia global de forma exitosa, pues la amenaza al sector ya está presente y será cada vez mayor en el futuro.

### 1.1.4 **Tendencias actuales**

En el mundo existen diferentes esquemas de competitividad, los cuales pueden ser adoptados por las empresas mexicanas, para participar con mayor impacto en el panorama internacional. De acuerdo a la Secretaría de Economía [1] los esquemas más exitosos son:

1. **El modelo chino:** Su estrategia se basa en la potencialización del capital productivo, en la manufactura a escala masiva de productos estandarizados a mínimo costo con una organización gerencial de primer nivel. Lo anterior, combinado con una alianza estratégica con el capital comercial y financiero proveído por sus socios de Taiwan y Hong Kong quienes inyectan grandes inversiones de capital y tecnología moderna. En esta alianza, China contribuye con eficiencia en el abastecimiento de materias primas, componentes y manufactura además de que ha desarrollado una eficiencia óptima en la integración con sus socios que lideran los eslabones de logística y comercialización.

2. **El modelo italiano:** Se basa en la eficiencia, en la integración dentro de eslabones de diseño e innovación con diferenciación de producto y marca, apoyándose en el capital organizacional de un distrito industrial o cluster y subcontratando las operaciones de manufactura intensiva en mano de obra y manteniendo la operación de montado y acabado del producto, con lo que mantiene buenos márgenes de ganancia.
3. **Modelo de la empresa multinacional:** Se basa en la especialización por línea de producto con producción a gran escala y controlando los eslabones de diseño e innovación de producto lo mismo que los de distribución, comercialización y venta. Cuentan con un esquema de eficiencia en la integración de abastecimiento de materias primas y componentes con subcontratación de manufactura, todo bajo mínimo costo de manufacturas y sobretodo de mano de obra.

Referente a los sistemas de manufactura en la industria del calzado nacional, ésta se basa en los sistemas JIT con las ventajas y defectos del mismo, utilizando esquemas mecanizados, pero de uso manual. El problema de ello es que en el mundo ya existen tendencias para cambiar los esquemas de producción, de tal forma que se ajusten a los cambios de mercado, ejemplo de esto son las tendencia a personalizar los productos como lo proponen NIKE [35] (Figura 1), o el esquema de proyecto EUROSHOE [16], aprovechando los avances tecnológicos existentes. Para que la industria nacional pueda competir es necesario que se trabaje en la modernización de sus sistemas de producción.

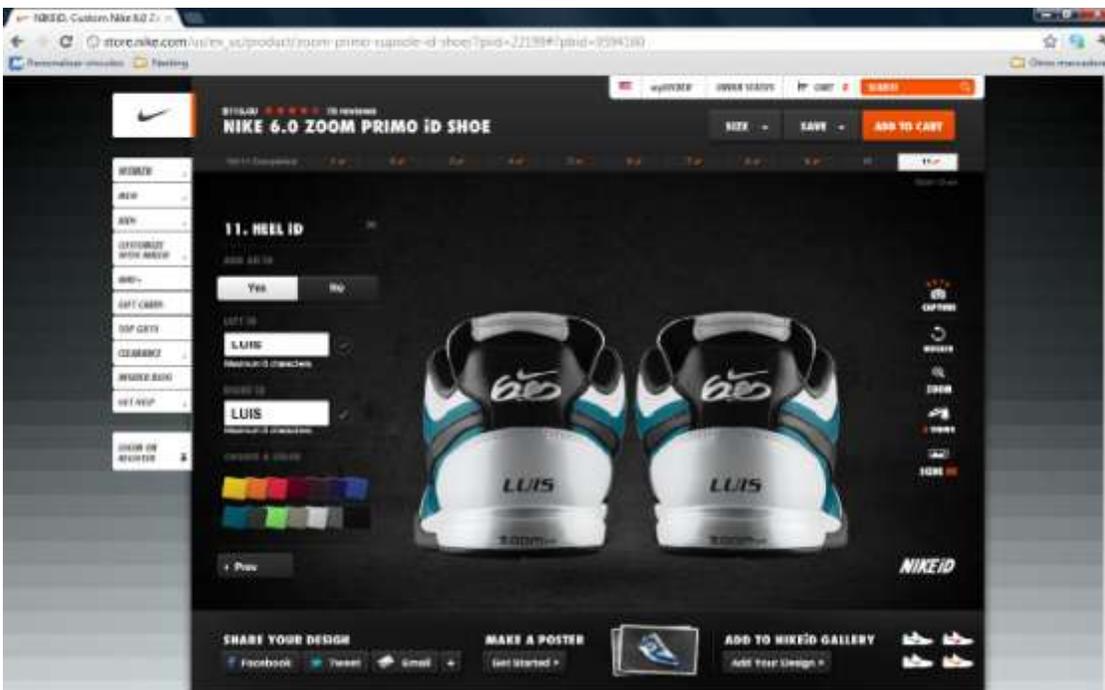


Figura 1 Personalización de Calzado

La competitividad global y las necesidades cambiantes de los usuarios están forzando un cambio primordial en los estilos de fabricación y configuración de organizaciones industriales. La planificación de fabricación centralizada y secuencial, la asignación de recursos, y los mecanismos de control tradicionales están siendo considerados poco flexibles para responder a cambios en los estilos de fabricación y a los requisitos de fabricación altamente variables. Los enfoques tradicionales limitan las capacidades de

expansión y re-configuración de los sistemas de fabricación. La organización centralizada de tipo jerárquico tradicional puede provocar caídas del sistema por fallos en un solo punto, o por fragilidad de los planes.

Las empresas de fabricación del siglo XXI se encuentran en un entorno en el cual los mercados son muy cambiantes, nuevas tecnologías emergen constantemente, y los competidores se multiplican globalmente. Las estrategias de fabricación deben cambiar para soportar la competitividad global, la innovación e introducción de nuevos productos, y la respuesta rápida al mercado. Los sistemas de fabricación futuros deberán ser más orientados al cliente, aunque todavía deberán centrarse en los costos y la calidad de fabricación.

## 2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 2.1 PROBLEMA

Uno de los objetivos de cualquier proceso de producción es la optimización de los recursos. En un ambiente tan competitivo como es la industria del calzado, este objetivo es de la mayor relevancia. Por tal motivo encontrar aquellos puntos del proceso de producción de calzado donde sea posible minimizar el desperdicio es importante.

Dentro del proceso de creación del calzado una etapa crítica es el corte del cuero ya que es la base del producto. La calidad de cada una de las piezas que forman un zapato, tanto en su corte como en su acabado es importante, y el aprovechamiento al máximo de la piel impacta directamente en los costos de producción del producto.

Además de lo anterior, debido a que la industria depende de las tendencias de la moda es importante tener la flexibilidad para cambiar los productos de acuerdo a las tendencias del mercado con la rapidez necesaria a costos adecuados para competir.

Tradicionalmente se ha resuelto con mano de obra especializada, pero este proceso dificulta mantener un alto índice de calidad en los productos, elevar la producción y tener una mayor flexibilidad para absorber cambios en el diseño de los productos.

En el proceso manual, los operarios determinan cuales son las características de cada zona de la piel, al hacer inspecciones visuales y estirar la piel con sus manos en diferentes direcciones, para observar su comportamiento. Así como de realizar el corte de la pieza correspondiente.

### 2.2 NECESIDADES DE LA EMPRESA

La empresa líder en la fabricación de calzado solicitó el apoyo para desarrollar un sistema automatizado que permita la disminución en el proceso de corte de la piel para la elaboración de calzado (Nesting).

Al conversar con el personal y directivos de la empresa, pudimos determinar los siguientes requerimientos con respecto al proyecto:

- El Nesting deberá superar o al menos igualar el ahorro de piel de un cortador manual
- El Nesting deberá de considerar el acomodo de las piezas en base a las líneas de estiramiento de la piel
- El Nesting deberá de considerar las zonas de calidad de la piel para cada pieza del zapato
- El Nesting deberá de considerar tolerancia a fallas de las zonas de cada pieza
- El Nesting deberá de considerar el estilo del zapato y la piel requerida
- El Nesting deberá de realizarse siguiendo el orden de corte que se hace manualmente (empezando por el cuadril hacia la cabeza)

### 2.3 GLOSARIO DE TÉRMINOS

**Cortabilidad:** es la capacidad que tiene un modelo para aprovechar la piel, forro o carnaza, de acuerdo a sus características y al mercado al que va dirigido.

**Crupón Muestra:** Mapa de una hoja de piel donde se muestra el acomodo sugerido del máximo número de piezas de un estilo

**Hoja de piel:** La mitad de todo un cuero con sus rebordes, incluyendo testuz, cuello y flancos, obtenida dividiéndola a lo largo de la línea del espinazo.

**Suaje:** El suaje o troquel es una herramienta confeccionada con placa de acero para cortar, doblar o marcar materiales blandos, como: papel, tela, cuero, etc. Las placas de corte son tiras de metal con filo en un lado. Para realizar el corte se usa una prensa llamada suajadora, la cual presiona el suaje contra el material y lo corta, dobla o marca.

Y el suajado se le llama a la acción que hace la prensa suajadora.

**Rink:** Se le denomina rink a la línea de corte de un modelo de zapato. La línea incluye cortadores, supervisores y operadores que le dan acabado a las piezas cortadas.

**Orden de trabajo:** Es el pedido del número de pares de calzado, modelo y talla a producir.

**Producto:** Es una clase o variante en particular de un Estilo, se diferencia de otra clase por su color o combinación de colores y/o pieles en particular

**Estilo:** Se le denomina a un tipo de zapato en particular. Este estilo puede tener variantes generalmente definidas por un color en particular

**Pespunte:** Es el área donde se unen las piezas de un zapato, tanto las piezas de piel como las de material sintético, excepto la suela que se añade posteriormente.

## 3 ESTADO DEL ARTE

### 3.1 EL PROCESO DE CORTE

Actualmente el proceso de corte piel se lleva a cabo de forma manual o con máquina. El método a usar es determinado por la economía de la empresa y la cantidad de pares a cortar, ya que éste justificará el costo de la maquinaria a utilizar. Pero la calidad de las piezas obtenidas no debe verse afectada por el método de corte seleccionado.

En el corte manual se toman patrones de muestra cuyo costo es económico y siguiendo su contorno se cortan las piezas con una cuchilla. Por otra parte el corte con máquina se realiza con una troqueladora, ya sea manual, electromecánica o electrohidráulica, la cual, al presionar los troqueles o suajes contra la piel realiza el corte [2].

En ambos métodos el cortador es el encargado de inspeccionar la piel para identificar sus propiedades y así seleccionar las piezas a cortar y sus posiciones.

Pero también existen sistemas de corte automatizados basados sistemas de cómputo, con la meta de amentar la cantidad de piezas producidas. Estos sistemas están conformados básicamente de tres etapas:

- Captura de la piel: En ésta etapa se captura la piel en el sistema de cómputo, la forma más común es por medio de una cámara de video, aunque también se usan scanners
- Acomodo o nesting: En ésta etapa se realiza el acomodo de las piezas en la piel. Esto se puede llevar a cabo de forma manual o automatizada, dependiendo de la complejidad del sistema. La forma manual se realiza “arrastrando” las piezas con el mouse y colocándolas en la posición deseada. En el caso de acomodo automático el sistema se encarga de hacer el acomodo.
- Corte de la piel: La última etapa consiste en el corte de la piel basado en el nesting realizado previamente. El proceso puede variar dependiendo de la tecnología seleccionada para el corte. Las tecnologías utilizadas son: el corte por láser, corte por chorro de agua y corte por cuchillas.

#### 3.1.1 *Sistemas de corte comerciales*

Actualmente existen diferentes sistemas comerciales que realizan el procesamiento de piel para su aprovechamiento en diferentes industrias como son la peletería, muebles, automotriz y la industria del calzado, por mencionar las más importantes.

Considerando tanto la industria que se desea cubrir como el tamaño de las empresas a las que se desea llegar, comercialmente se han desarrollado diferentes sistemas que buscan cubrir las necesidades de dichas empresas.

Así tenemos sistemas semi-automáticos como el HideSaver Leather Cutting System de la empresa Automated Solutions, LLC.[30], donde el marcado de defectos, acomodo y corte se hacen en la misma mesa de trabajo, marcándose los defectos de forma manual, al igual que el corte; o el sistema Elitron K1 Booster[33], donde no se marcan los límites de la piel o defectos y se hace un acomodo o “Nesting” manual directamente sobre la hoja de piel , siendo todo el sistema montado sobre la mesa de una máquina para corte por navaja.

Por otra parte existen sistemas con mayor tecnología y enfocados a un mayor grado de automatización, que trabajan haciendo una línea de producción. En este caso encontramos como ejemplo el Taurus™ XD de empresa Gerber Technology [29] el

cual maneja una mesa de corte con un cabezal que tiene la doble función de digitalizar la piel y cortarla, el Nesting se realiza de forma automática, aunque es necesario que la piel se fije con una tela plástica a la mesa antes de cortarla.

Otro ejemplo de sistema que funciona en forma de línea de producción es creado por Gemini CAD[28], donde se tiene una línea de producción con tres estaciones, en las cuales se digitaliza la piel y sus zonas de calidad, a partir de la cual se hace el Nesting de las piezas a cortar, posteriormente se pasa a la siguiente estación donde se realiza el corte de la piel y en la última estación se recogen las piezas cortadas y el desperdicio para dar paso a la siguiente hoja de piel.

En otro nivel encontramos los sistemas de las empresas Zippor[26] y Taglio[27], son flexibles en su configuración e instalación, pues aunque en esencia son automáticos en casi toda su operación, es posible manejar opciones manuales para el acomodo de piezas, y se pueden configurar para operar como una línea de producción o para desarrollar las etapas del proceso en diferentes tiempos.

Como se mencionó anteriormente, los sistemas comerciales Taglio y Zipor son una opción para el acomodo y corte de piel a nivel industrial, aunque presentan problemas al considerar las zonas de estiramiento de la piel en su acomodo y el acomodo que realizan se puede volver muy lento en encontrar un acomodo “óptimo”.

Este problema lo han resuelto de diferente forma. Taglio incorpora la opción de trabajo fuera de línea, permitiendo que el proceso de acomodo se realice sin la presión de mandar el resultado al equipo de corte, siendo posible realizar varios acomodos simultáneamente en varios equipos y hacer una cola de para realizar el corte.

Zippor realiza un acomodo un menos exhaustivo, pero permite que el acomodo que se realizó por el sistema sea modificado por un operador, con lo cual la efectividad del acomodo se ve comprometida

### **3.2 EL PROBLEMA DEL ACOMODO O NESTING**

La etapa de Acomodo o Nesting dentro del proceso de corte, es de gran importancia, ya que es en él donde se acomodan las diferentes piezas del modelo a producir, con la premisa de minimizar el desperdicio de cuero siguiendo las políticas establecidas.

Hooper[6] define como problemas de corte y empaquetamiento(C&P) a aquellos problemas que describen patrones geométricos formados por combinaciones de objetos grandes (como pueden ser las pieles) y objetos pequeños(las piezas)

El objetivo del problema de acomodo es la eficiente disposición de figuras dentro de una región que las contiene sin que éstas se traslapen.

Las investigaciones realizadas a lo largo del tiempo han mostrado que encontrar una solución óptima para el problema de acomodo o nesting es improbable. Cualquier intento de desarrollar un sistema de acomodo para manejar diferentes figuras irregulares que encuentre la solución óptima, si ésta existe, es extremadamente difícil.

Existen diferentes clasificaciones a este problema como el caso de la clasificación de Dyckhoff [18] donde distingue los casos, en aquellos que tienen dimensiones espaciales y aquellos que no las tienen. En el primer caso se encuentran aquellos que pueden ir de 1 hasta 3 dimensiones en el espacio Euclidiano. En el otro caso se consideran aquellos que manejan dimensiones abstractas como el tiempo, ganancias financieras.

En el caso particular del acomodo en ambientes de 2 dimensiones, los diferentes problemas se dividen en dos grandes grupos:

- El problema de acomodo con figuras regulares, que consiste en acomodar figuras regulares (p.ej. rectángulos) en áreas regulares. Ejemplo de esto se encuentra en el corte de hojas metálicas, madera, vidrio o rollos de papel.
- El problema de acomodo con figuras irregulares, consiste en acomodar figuras irregulares en entornos con geometrías tanto regulares como irregulares. Ejemplos de esto es el corte de figuras sobre piel, o madera[5]

En estos casos lo que se pretende es minimizar el desperdicio de material conocido como pérdidas por ajuste durante el proceso de corte.

Una de las principales aplicaciones para esta técnica está en el área de corte de piel ya que la piel que se desperdicia difícilmente puede ser reciclada.

Dependiendo de la industria, el corte de piel tiene diferentes requerimientos. Por ejemplo en el caso del uso de piel para tapicería (muebles o autos) se consideran las zonas de calidad y los defectos, pero no así el estiramiento de la piel [9].

La mayoría de estos trabajos no han considerado el caso de la irregularidad de la superficie del objeto que recibirá las figuras, (como sería el caso de las diferentes zonas de calidad y estiramiento en una piel o cambios en el grano de una hoja metálica) o en su caso opciones como la rotación de las figuras lo manejan de forma limitada.

Los trabajos se enfocan a acomodar un número definido de piezas en una figura mayor ya sea regular o irregular. Nosotros tratamos de acomodar un número definido de figuras en diferentes hojas de piel, tratando de acomodar el mayor número de piezas en cada hoja. Las piezas que deben estar en cada hoja no está pre definido así como la hoja de piel a utilizar

Otro grupo de trabajos en esta área se enfocan hacia el acomodo de piezas irregulares en figuras regulares, como rectángulos, también buscan acomodar un número definido de piezas en una sola figura. Hsu\_hao Yang[7], Whelan[8]

Algunos de los trabajos realizados utilizan figuras regulares como el bounding box como base para acomodar. Batchelor[10]

El trabajo de Crispin[11] aparece más completo al considerar las zonas de calidad, estiramiento y defectos dentro de su metodología, tomando como base el NFP aplicado con algoritmos genéticos para encontrar una solución. Sin embargo sus resultados no son aplicables a una línea de producción pues tardaba entre 2.5hrs y 6hrs con un máximo de aprovechamiento del 67%.

### **3.3 SELECCIÓN DE LAS PIELES**

Las pieles son la materia prima de mayor importancia en la manufactura de calzado, ya que constituyen un alto porcentaje del costo de producción. Por lo que es de suma importancia su máximo aprovechamiento.

Diferentes autores han empleado su esfuerzo en intentar resolver el problema de desperdicio de material en las diferentes industrias, y se le ha dado gran importancia a la optimización del proceso conocido como nesting que consiste en acomodar piezas cuya forma geométrica es variada, dentro de un material de mayor tamaño. El nesting se encuentra dentro de los problemas de empaquetamiento y corte.

Referente al tema del corte de cuero dentro de la industria del calzado se ha trabajado en encontrar una solución al problema de nesting buscando un algoritmo que mejor se adapte a tan complejo problema.

En los trabajos estudiados sobre el nesting de figuras irregulares en áreas irregulares, en particular en aquellos que se enfocan a su aplicación en el aprovechamiento de piel no se encontraron referencias sobre una selección previa de las hojas de piel a utilizar. Sin embargo esta selección puede hacerse mediante la teoría de scheduling que considera una selección previa de material para un buen corte y que sólo se ha hecho para otras industrias como la del vidrio y la acerera; y no específicamente para la del calzado.

Se ha identificado que es posible generar un menor desperdicio impulsando la optimización de otros procesos anteriores al acomodo de las piezas (nesting), por lo que se centrará especial atención a la selección previa del material que será procesada, es decir, que de todo el stock de pieles que se tienen disponibles, se deberá seleccionar aquellas que cumplan con las características necesarias y en el orden adecuado

En los sistemas de corte comerciales presentados anteriormente, la selección de las pieles para la producción se basa principalmente en obtener la cantidad de piel necesaria para satisfacer la cantidad de piezas a producir y ésta selección se realiza de forma manual. Sin embargo como se describió anteriormente existen varios aspectos a considerar además del área de piel a cubrir.

## **4 ANÁLISIS DEL PROCESO DE CORTE ACTUAL**

### **4.1 PROCESO DE CORTE PARA LA ELABORACIÓN DE CALZADO**

#### **4.1.1 Elementos previos al Proceso de Corte**

Actualmente el proceso de corte consiste en la ubicación de cada una de las piezas que conforman un modelo de zapato a producir, en la zona de piel y en la posición adecuada, evitando los defectos existentes de acuerdo a las reglas establecidas para este proceso y posteriormente se procede a cortarlas.

Pero éste procedimiento va precedido de la generación de una gran cantidad de información, a partir de la cual se realizan una serie de toma de decisiones para cada pieza que se corta, lo que hace que el proceso de corte de piel sea complejo y difícil de automatizar.

Dependiendo del tamaño y recursos de la empresa este proceso se puede realizar de diferente equipamiento, ya sea manualmente con navaja, corte con rayo láser, corte con chorro de agua o como el caso de estudio, con suajes y prensas hidráulicas.

Todo esto se realiza para cada una de las piezas necesarias para cumplir con una orden de trabajo, buscando minimizar el desperdicio en cada caso. Actualmente éste proceso se lleva a cabo por operarios capacitados durante varios años para ésta labor.

En el proceso de corte se reúnen los trabajos de diversas áreas para la manufactura de calzado. Como son: el diseño del modelo de calzado, el análisis del mismo para determinar las especificaciones técnicas y operativas para su producción, la disposición de los materiales necesarios para su elaboración, entre otros.

En virtud de lo anterior, para poder entender el proceso de corte es necesario conocer cuál es la información previa, así como los criterios que se deben considerar al realizar el proceso de corte.

A continuación se describen aquellos aspectos que son considerados previamente al proceso de corte, así como el proceso en sí.

#### **4.1.1.1 Características de las pieles y las piezas**

Para determinar el lugar en la hoja de piel de donde se va a cortar la pieza, se deben considerar las características de la pieza a cortar y buscar el lugar en la piel donde existan condiciones similares. A partir de este punto se busca la posición donde se minimice el desperdicio de piel.

Por tanto es necesario conocer las características tanto de las piezas como de la piel para buscar su coincidencia.

Las características de la piel que es necesario considerar para el acomodo son las siguientes Figura 2:

- Irregularidad. La geometría de la piel es diferente en cada caso.
- Zonas de Calidad. La piel se divide en zonas de calidad (máximo 3) basadas en la combinación de la textura y espesor, las cuales varían en las diferentes zonas de la piel.
- Zonas de Estiramiento. Son zonas en las cuales la piel se estira más fácilmente con hacia una dirección.

- Defectos. Los defectos que aparecen en las pieles como son estrías, raspones, piquetes de insectos, manchas, se marcaran y afectara una zona de la piel.
- Grado de Aprovechamiento: este indicador muestra el porcentaje estimado de piel aprovechable en una pieza u hoja. El faltante generalmente es debido a defectos o agujeros. Esta clasificación es importante pues se toma en cuenta para surtir las hojas de piel necesarias para cumplir con una orden de trabajo.
- Concepto: El concepto o acabado es importante al momento de catalogar un defecto, pues dependiendo del tipo de acabado, un defecto puede ser más o menos grave.

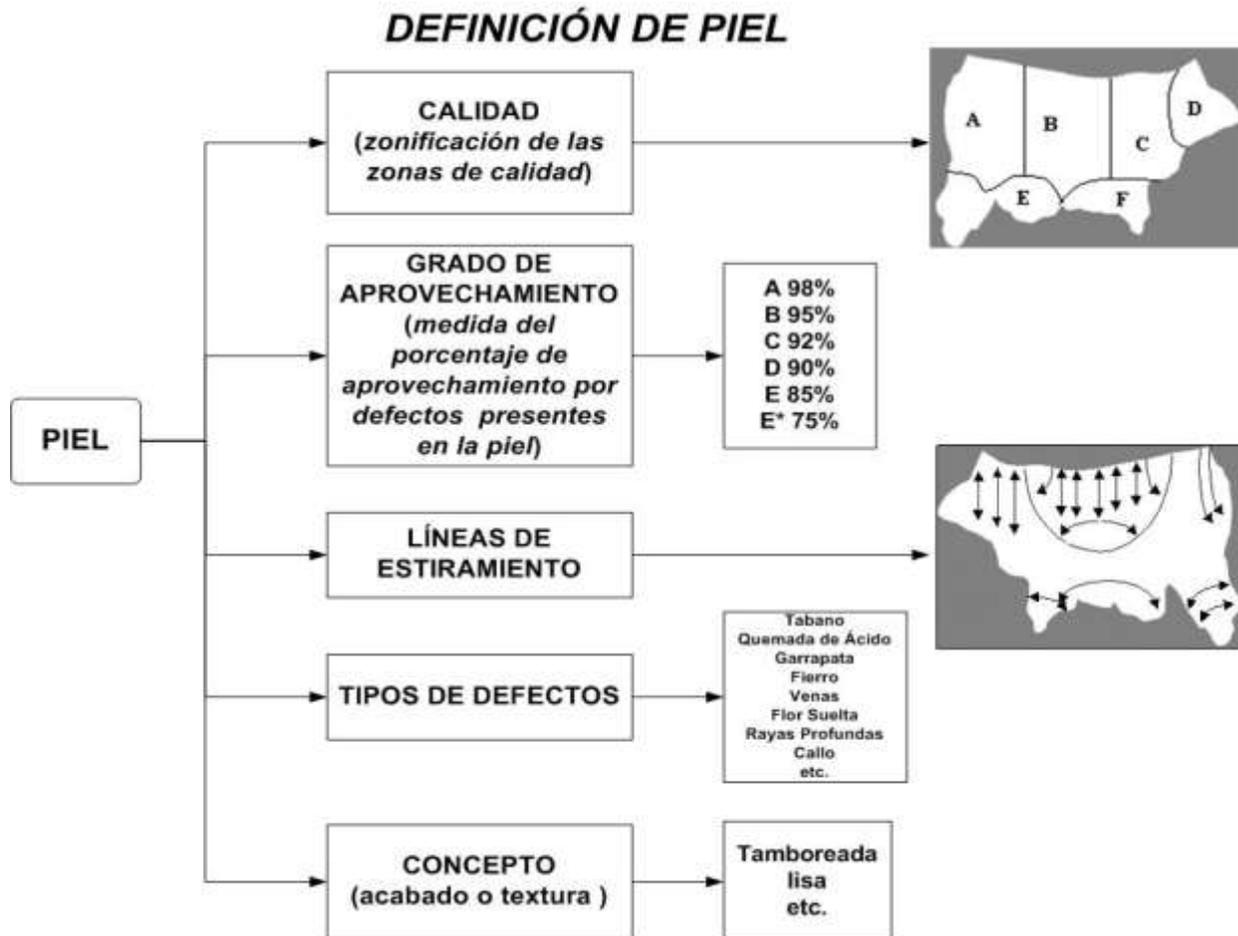


Figura 2 Definición de la Piel

Las piezas a acomodar son las partes del modelo de calzado a producir, presentan las siguientes características Figura 3:

- Zona de Calidad. Cada pieza está asociada a una zona de calidad basada por su localización en el zapato, y debe quedar acomodada en una de las 3 zonas de calidad definidas en la piel.
- Geometría de la pieza. La geometría es diferente en cada pieza y es creada el momento de diseñar el zapato. Al cambiar de talla, la geometría de una pieza puede variar.

- Estiramiento. Cada pieza se estira en una dirección. Para el acomodo cada pieza debe ser alienada con línea de estiramiento existente en la zona de piel donde se pretende acomodar. Se permite una tolerancia de 5 a 10 grados con respecto a la línea de estiramiento de la piel.
- Defectos. Las piezas se dividen en zonas, en las cuales, pueden llegar a tener algún tipo de defecto. El nivel de defecto que puede ser tolerado en cada zona de la pieza se especifican al analizar el diseño del zapato. Figura 4

### DEFINICIÓN DEL ZAPATO

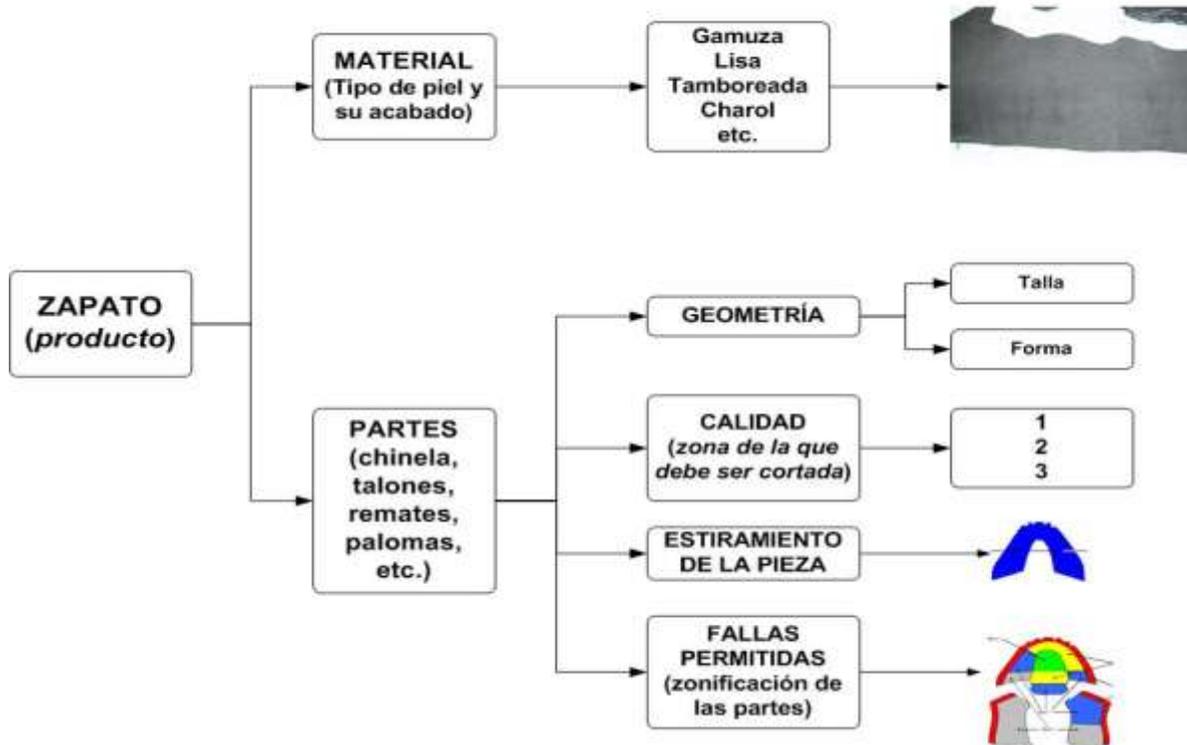


Figura 3 Definición del Zapato

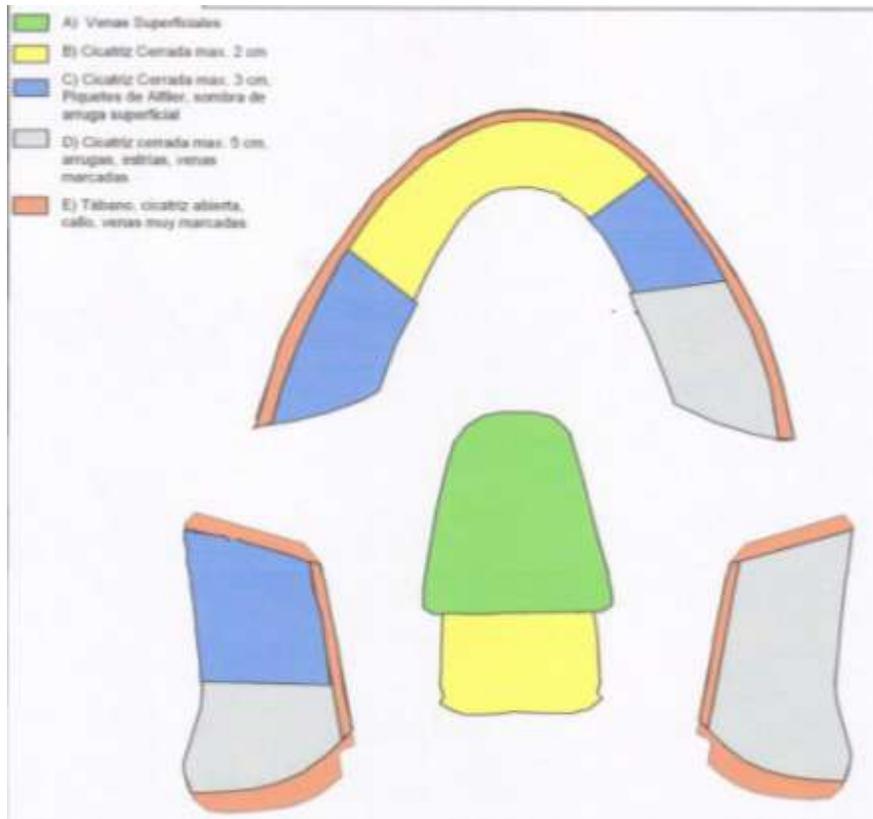


Figura 4 Defectos en las piezas de un zapato

#### 4.1.1.2 Diseño del Zapato:

El diseño de cada modelo de zapato es realizado por medio de un software de CAD, en este proceso se crean los nuevos estilo, así como cada producto en particular, manejando los colores y materiales de cada pieza del zapato. Figura 5.

Administración DM - [Administración de referencia]

Nombre: 08011

GENERO: HOMBRE / MUJER

LINEA: ABSOLUT, ADORAL, ACRIANA, AERO, AIR SANDAL, AIRE, ALDO, ALEXANDER, AUFER

COLECCIÓN: 2010 Primavera-Verano, 2010 Otoño-Invierno, 2009 Primavera-Verano, 2009 Otoño-Invierno, 2008 Primavera-Verano, 2008 Otoño-Invierno, 2007 Primavera-Verano

Referencias	Colección	Genero	Linea	Categoria	Referencia	Versión
2007 Primavera-Verano	MUJER	EVELYN	Modelo	08011 EVELYN	26057	05
2007 Primavera-Verano	MUJER	EVELYN	Modelo	08011 EVELYN	26057	04
2007 Primavera-Verano	MUJER	EVELYN	Modelo	08011 EVELYN	26057	03
2007 Primavera-Verano	MUJER	EVELYN	Modelo	08011 EVELYN	26057	02
2007 Primavera-Verano	MUJER	EVELYN	Modelo	08011 EVELYN	26057	01
2007 Primavera-Verano	MUJER	EVELYN	Modelo	08011 EVELYN	26057	00
2007 Primavera-Verano	MUJER	EVELYN	Plantilla	EVELYN (38011)	26060	02
2007 Primavera-Verano	MUJER	EVELYN	Plantilla	EVELYN (38011)	26060	01

08011 EVELYN (26057) VER. 05: NO APTA VALEAR

Condicion Incompletas	Proyectos	Variantes	Materiales piezas	Piezas	Accesorios	Herramientas					
Variente	Recs	#	Descripcion	Talla	Subcódigo	Tipo	Taller	Sup	C. Metodo	C. Final	Unidad
BEIGE	CHAL-E	1	COACH BEIGE 16/18	24	EXTERIOR PIEL	CORTE	1001 SUAVAR PIEL 1	1.0974	1.2000	1.3956	Decimetro cuadrado
BEIGE	CHAL-I	1	COACH BEIGE 16/18	24	EXTERIOR PIEL	CORTE	1001 SUAVAR PIEL 1	1.1080	1.2200	1.4180	Decimetro cuadrado
BEIGE	COMLAT	1	COACH BEIGE 16/18	24	EXTERIOR PIEL	CORTE	1001 SUAVAR PIEL 1	0.2880	0.3400	0.3954	Decimetro cuadrado
BEIGE	TL-E	1	COACH BEIGE 16/18	24	EXTERIOR PIEL	CORTE	1001 SUAVAR PIEL 1	1.1207	1.3000	1.5119	Decimetro cuadrado
BEIGE	TL-I	1	COACH BEIGE 16/18	24	EXTERIOR PIEL	CORTE	1001 SUAVAR PIEL 1	1.0330	1.1600	1.3491	Decimetro cuadrado
BEIGE	ITA-CHAL-I	1	COACH BEIGE 16/18	24	EXTERIOR PIEL	CORTE	1001 SUAVAR PIEL 1	1.1690	1.2850	1.4886	Decimetro cuadrado
BEIGE	ITA-CHAL-I	1	COACH BEIGE 16/18	24	EXTERIOR PIEL	CORTE	1001 SUAVAR PIEL 1	1.1980	1.3000	1.5119	Decimetro cuadrado
BEIGE	F-CH-E	1	IMITACION FORRO DE CERDO	24	FORRO SINTETICO	CORTE	1016 SUAVAR FORRO SINTETI	1.7401	1.9000	2.0362	Decimetro
BEIGE	F-CH-I	1	IMITACION FORRO DE CERDO	24	FORRO SINTETICO	CORTE	1016 SUAVAR FORRO SINTETI	1.7673	1.9400	2.0730	Decimetro
BEIGE	F-COMLAT	1	IMITACION FORRO DE CERDO	24	FORRO SINTETICO	CORTE	1016 SUAVAR FORRO SINTETI	0.2095	0.2600	0.2776	Decimetro

Figura 5 Pantalla del Sistema de CAD para calzado

A partir de estos modelos se generan los juegos suajes para cada estilo y talla a producir, que se usan para el corte. Figura 6.



Figura 6 Suajes de Diferentes modelos

#### **4.1.1.3 Análisis del Modelo de Zapato**

Una vez concluido el diseño, se realiza un análisis de cada Estilo aprobado, para determinar los costos de producción, y generan las reglas en cuanto a calidad que debe cumplirse durante la realización de cada estilo.

A partir de la información del área de diseño, se generan, la guía para el corte de las piezas, llamada crupón, donde se le muestra a los cortadores como se sugiere el acomodo de las piezas, así como, los mapas de tolerancia a fallas de cada pieza de un Estilo.

La información de los mapas de tolerancia a fallas y crupones -guía se maneja en papel, para los cortadores. Figura 7.

Por otra parte, se define la cortabilidad del modelo, lo cual es importante pues en base a esta característica se definirá la combinación de pieles con las cuales se debe cubrir la orden de trabajo.

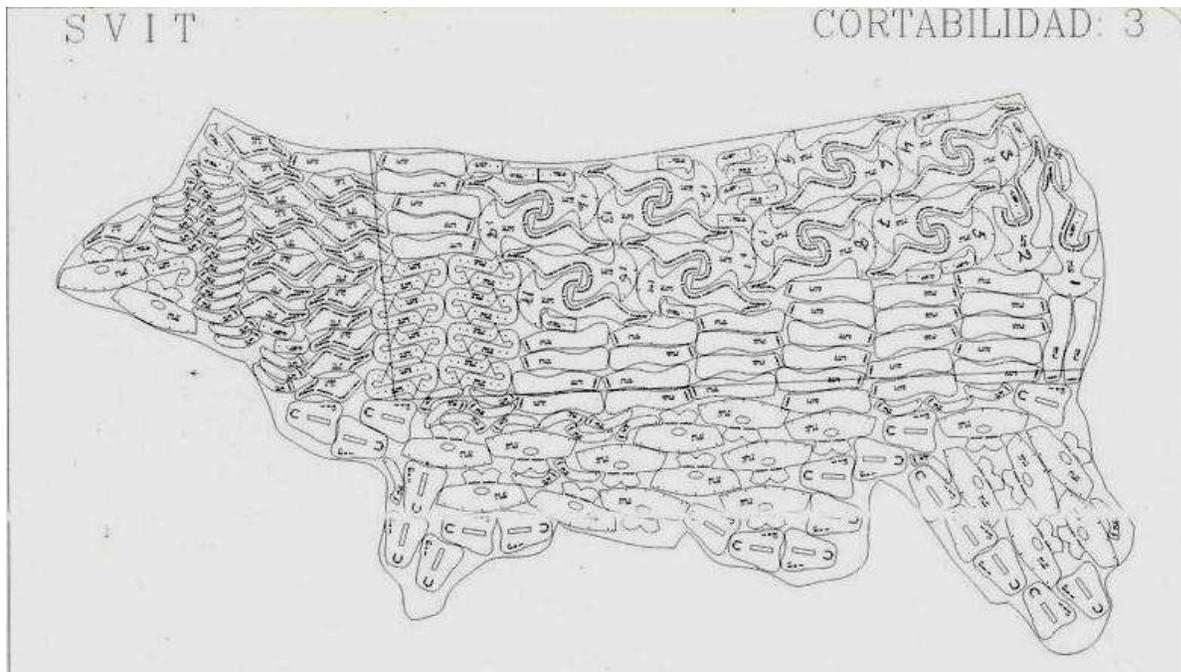


Figura 7 Ejemplo de Crupón

#### 4.1.1.4 Almacenaje de las pieles

En el área de almacenaje se llevan a cabo diferentes tareas preparatorias al proceso de corte.

En ésta etapa las pieles son verificadas, en cuanto al tamaño, calidad, clasificación en base al porcentaje de aprovechamiento, fecha de ingreso al almacén. Figura 8.

También se verifican los defectos y se marcan para que sean considerados al momento de ser cortada.

Una vez que se tiene el programa de trabajo, se escogen las pieles que van a surtir el pedido, considerando tanto el área total de las pieles como la fecha de ingreso al almacén, buscando sacar primero las de mayor antigüedad.



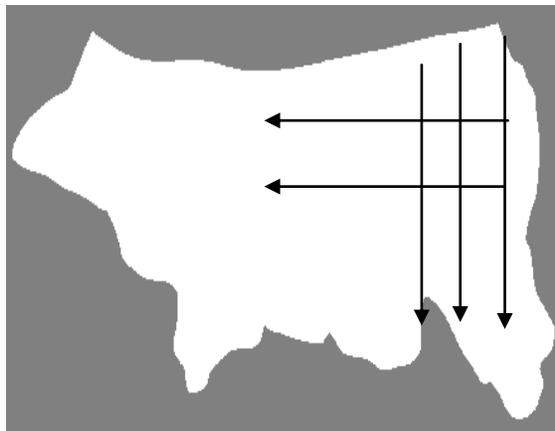
Figura 8 Almacén de Pieles

#### 4.1.2 **Proceso de corte**

En el proceso de corte se reúnen la información generada por los procesos descritos en los puntos anteriores, y se conjuntan para realizar la tarea de corte de piel de la forma adecuada y buscando minimizar el desperdicio.

Para optimizar el corte de piel el operador – o también llamado cortador- debe de seguir varios criterios:

- La dirección del corte se debe de realizar de la cola hacia la cabeza y del lomo hacia las patas. Figura 9
- Cada pieza pertenece a una zona de calidad, -esto quedó definido después del análisis del diseño del estilo-, por lo tanto debe ser ubicada en la correspondiente zona de calidad existente en la piel.
- Cada pieza se debe estirar en una cierta dirección y al ser ubicada en la piel, su posición debe alinear su dirección de estiramiento con la dirección de estiramiento de la piel.
- Cada pieza permite cierto rango de defectos dependiendo de la misma. En caso de coincidir la pieza con un defecto podrá permanecer en esa ubicación sólo si el defecto es de la misma gravedad que la permitida o menor, en caso contrario, la posición deberá de cambiar.
- Se debe buscar que la separación entre piezas sea mínima para optimizar el consumo de piel.



**Figura 9 Líneas de Acomodo de Piezas**

En cuanto a la ubicación tanto por la zona de calidad como por su orientación referente al sentido del estiramiento de las piezas se siguen las sugerencias puestas en los crupones para el corte de las piezas. Aunque actualmente los cortadores ya siguen estas reglas en base a su capacitación y experiencia.

A medida que se van colocando las piezas el operador verifica el estado de la piel. Esto se realiza manualmente, detectando el grosor para determinar la zona de calidad, estirándola para determinar la dirección de estiramiento, así como los defectos que se encuentren en ambos lados de la piel, la gravedad de los cuales, se evalúa en ese momento. Todo éste proceso de análisis y toma de decisiones es realizado en unos cuantos segundos.

Una vez que el trabajador ha inspeccionado la porción de piel y determina las características existentes en ella, selecciona la pieza más adecuada a cortar. Para ello utiliza un suaje con la forma de la pieza. Coloca el suaje en la porción de piel elegida, y

una vez que ubica el suaje en la mejor posición de acuerdo a los criterios establecidos, acciona una prensa hidráulica que al presionar el suaje contra la piel, corta la figura deseada.

Los suajes son reversibles por lo que se utilizan para obtener las piezas tanto del zapato izquierdo como del derecho. Figuras 10 y 11

Cabe mencionar que existe al menos un juego de suajes con todas las piezas de cada modelo, en cada talla a producir para cada cortador del rink de producción.



**Figura 10 Corte de Piel con suajes**



Figura 11 Corte de piel con suajes

Es importante considerar algunas cifras que se manejan en el área de Corte:

- De cada piel se obtiene alrededor de 15 pares de zapatos dependiendo si son de hombre o mujer, además de las tallas y el estilo.
- La piel para cada par de zapatos es de  $12 \text{ dm}^2$  en promedio, pero varía de 10 a  $15 \text{ dm}^2$
- Se procesan 15,000 pares al día
- Cada piel es cortada alrededor de 30 minutos
- Los cortadores ahorran alrededor del 3% de la piel estimada por el almacén
- El área de Corte tiene tiempo límite para entregar el pedido realizado por Pespunte

Una vez que se cortan las piezas, éstas son recolectadas y revisadas, y en su caso numeradas por un supervisor, para seguir al proceso de coordinado.

#### **4.2 PROCESO DE COORDINADO**

El proceso de Coordinado forma parte del área de Corte y en éste se realizan diferentes procesos para facilitar el montaje de las piezas en el Pespunte, esto procedimientos pueden ser lijado, agregado de adhesivos o sintéticos para dar fuerza a la pieza, etc.

Al terminarse el proceso de Coordinado las piezas se integran en sus respectivos recipientes de plástico, donde son nuevamente revisadas. En estos recipientes se incorporan otras partes del zapato como las partes de sintéticos, forros, etc. Cuando todo está completo se actualiza su estatus en el sistema de control y se envía al área de Pespunte.

En caso de que alguna falla no se hubiera detectado y se encontrara en el área de Pespunte, ésta devuelve la pieza(a veces ya cosida) a corte para su reemplazo. Para ello existe un área que se encarga de estos problemas, donde cortadores toman de los retazos de piel para reemplazar las piezas con problemas. Figura 12



Figura 12 Proceso de Coordinado

### 4.3 ANÁLISIS

Al analizar el proceso de corte manual se detectaron los siguientes problemas:

- Es importante reducir o al menos mantener el nivel de desperdicio de piel actual.
- Se fabrican un juego de suajes de cada modelo y talla para cada operador. Estas herramientas pierden su filo en un corto tiempo, por lo que tienen que ser afiladas o reemplazadas con frecuencia.
- La eficiencia en el uso de la piel depende exclusivamente de la experiencia del operador. Por lo tanto la cantidad de pieles estimada para la producción frecuentemente no coincide con el consumo real. Por lo tanto predecir la cantidad de material desperdiciado en una orden de producción es muy difícil.
- Es necesario dar flexibilidad al proceso de corte, de tal forma que permita cambiar los modelos a producir de forma rápida, obteniendo productos de calidad desde un inicio. El proceso actual implica fabricar los juegos de suajes a utilizar y capacitar a los operadores sobre las características del nuevo modelo a producir.
- Hay que minimizar el proceso manual ya que retrasa la flexibilidad del proceso. El proceso manual obliga a capacitar al personal con cada cambio de modelo, cambiar sus herramientas (suajes), y restablecer el proceso de control de calidad.
- La capacitación del personal que lleva a cabo el proceso de corte es largo, lo cual lleva a una inversión importante en la capacitación de los cortadores, siendo éstos muy cotizados en el mercado laboral del ramo, pudiendo ir a otra empresa con cierta facilidad. Por otra parte, debido a que cada cortador lleva a cabo las decisiones sobre el proceso, éste se vuelve prácticamente artesanal.
- La selección de las pieles para la producción no siguen necesariamente los criterios establecidos. No se respeta la mezcla de tipos de pieles. Esto contribuye a que el

consumo de piel necesario para una orden de producción tenga diferencias (a veces importantes) con el estimado, afectando directamente los costos de producción.

- Debido a la naturaleza del proceso, la automatización es complicada, pues las pieles son diferentes entre sí, tanto en forma, tamaño y características internas (zonas de calidad, estiramiento, defectos), por lo que para optimizar su corte es necesario que el proceso se adapte a cada piel y sus características.
- El tiempo de proceso es importante, ya que un operador, corta una piel en aproximadamente 20 min. Por lo que la automatización debe acercarse a esa velocidad de procesamiento.

Con estos antecedentes y con el apoyo de una empresa del ramo, se determinó generar un sistema que permitiera automatizar el proceso del corte de cuero para su uso en la industria del calzado, para reducir el desperdicio de cuero, manteniendo el nivel de calidad de las piezas generadas además de brindar flexibilidad para modificar los modelos de calzado a producir.

El presente trabajo se generó como un proyecto multidisciplinario e interinstitucional de aplicación industrial, ya que se realizaron sistemas de reconocimiento de imágenes, mecánicos, y de tecnologías de información.

## **5 OBJETIVO Y ALCANCE**

### **5.1 OBJETIVO:**

Desarrollar un sistema de producción auxiliado por computadora que permita la optimización de material en el proceso de corte de la piel para la elaboración de calzado (Nesting).

### **5.2 ALCANCE:**

Desarrollar un prototipo de sistema de manufactura auxiliado por computadora, que realice el acomodo de las piezas que conforman un modelo de zapato (Nesting) optimizando el área disponible de piel de tal manera que se pueda cumplir con el equivalente de una orden de producción comercial, en un ambiente de laboratorio

### **5.3 ESPECIFICACIÓN**

El sistema debe cumplir al menos con la productividad de un operador de corte. Por lo tanto las especificaciones a cumplir son las siguientes:

- El Nesting deberá superar o al menos igualar el ahorro de piel de un cortador manual (1 a 3% dependiendo el modelo)
- El sistema debe acomodar entre 2 y 3 pieles por hora
- El sistema debe de acomodar 12 pares de zapatos por piel en promedio
- El tiempo de acomodo debe de ser menor a 45 minutos
- El sistema debe de ser compatible con las instalaciones de la empresa en su piso de manufactura
- El sistema debe de manejar fuera de línea los datos y ser compatible con los sistemas instalados en la empresa para los flujos de información
- El sistema mecánico debe integrar elementos que operen con 220v , aire comprimido
- La operación del sistema debe ser realizada por la mano de obra que tiene la empresa, con nivel de estudios de preparatoria, previo entrenamiento
- El sistema podrá operar en línea o fuera de línea
- El sistema podrá operar hasta 20 líneas de producción
- El costo de integración con los sistemas actuales de la empresa debe ser menor que el de un sistema comercial actual.

## 6 DISEÑO DEL SISTEMA

### 6.1 CONSIDERACIONES DE DISEÑO

Se propone un sistema auxiliado por computadora que opere de manera integral el proceso de corte desde la selección de las pieles en el almacén hasta el proceso de corte.

Lo que se pretende es que al realizar el proceso de corte de forma automatizada, sea posible optimizar los recursos, flexibilizar el proceso, permitiendo con esto que la actualización del catálogo de modelos sea más rápida, manteniendo constante el nivel de calidad y el tiempo de producción, disminuyendo los costos de producción.

El sistema se lleva a cabo de forma paralela al sistema de producción actual de tal forma de no interrumpir la producción durante su elaboración y pruebas. Por otra parte se busca que la implantación pueda hacerse gradualmente y evaluarse contra el sistema actual.

El sistema se diseñó a partir de las siguientes premisas:

- **Diseño en base a la forma de trabajo actual:** Cada una de las etapas se diseñó en base a la forma de trabajo actual, así como la interacción entre ellas. De tal forma que el sistema se adapte a la estructura y forma de trabajo de la empresa.
- **Las diferentes etapas operaran en los lugares de trabajo actuales:** Las diferentes áreas de trabajo contarán con su equipo de cómputo propio, y su propia base de datos. Por lo tanto se interconectarán vía red interna de la empresa, formando con esto una base de datos distribuida que permita interactuar con la información de las diversas áreas para su uso.
- **Formato de Intercambio de Información Homogéneo:** Se consideró un tipo de formato propio para el manejo de los datos de las pieles y las piezas de tal forma que no hubiera que importar o exportar información entre las entidades del sistema.
- **Los operadores cuentan con nivel de secundaria:** Se consideró que la mayoría de los operadores no cuentan con conocimientos profundos del uso de computadoras, por lo que las interfaces de usuario deben ser sencillas

Dada la naturaleza del problema a resolver así como su complejidad, el sistema propuesto quedó integrado por sistemas de diferente naturaleza, incluyendo desarrollo de software, un sistema mecánico, reconocimiento de imágenes e interfaces con diferentes sistemas de información.

Las etapas consideradas para la realización del proceso son las siguientes:

- Digitalización de las pieles con todas sus características
- Adquisición de la información de los modelos a producir (piezas, tallas, material, etc.)
- Adquisición de la orden de trabajo
- Selección de las pieles a considerar para cumplir con la orden de trabajo
- Acomodo o nesting de las piezas en las hojas de piel seleccionadas
- Archivo exportable para su corte.

En vista de lo anterior cada subsistema se desarrolló de forma independiente, integrándose posteriormente.

## 6.2 PLANTEAMIENTO DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN

Se propone un sistema auxiliado por computadora que opere de manera integral el proceso de corte desde el manejo de las pieles en el almacén hasta el proceso de corte.

Actualmente la empresa lleva un manejo computarizado del control de la producción, pero no del proceso en sí.

Como se mencionó anteriormente los objetivos del sistema son la optimización de los recursos en el proceso de corte de piel, considerando para esto tanto la piel, como el uso del personal.

El sistema se subdivide en tres etapas principales:

- **Adquisición de la Información:** Esta etapa incluye la digitalización de las pieles, así como la importación de la información de los modelos de calzado a producir (piezas en las diferentes tallas, zonas de defectos, material)
- **Preparación de la producción:** Esta etapa consiste en la adquisición del pedido u orden de producción, y a partir de ésta, se obtiene el modelo a procesar, la talla y la cantidad a producir. Con esto se estima la cantidad de piel requerida y se seleccionan las pieles a procesar.
- **Acomodo o Nesting:** En esta etapa se lleva a cabo el acomodo de las piezas en las hojas de piel seleccionadas.

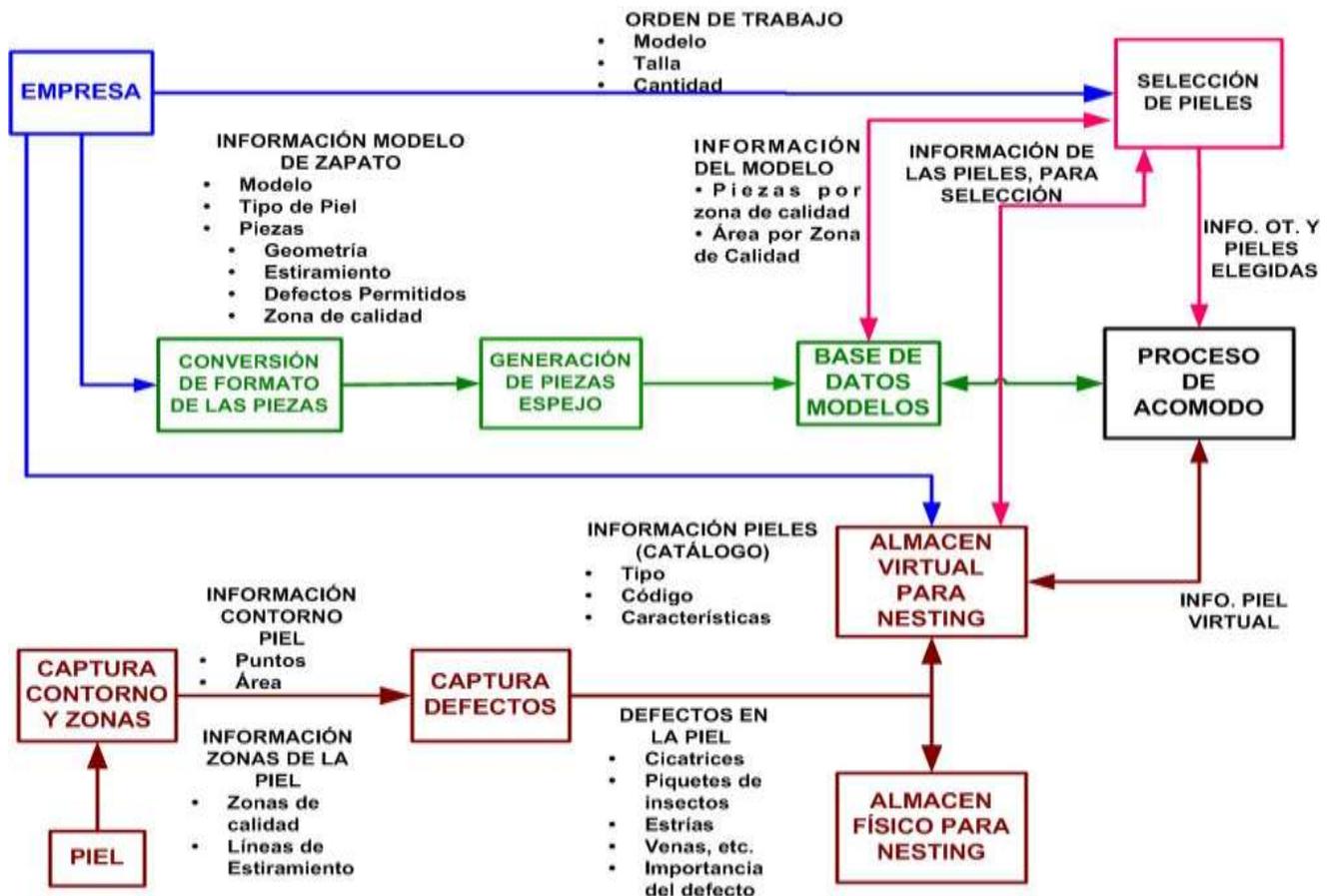


Figura 12 Diagrama de Proceso

## 6.3 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCESO PROPUESTO

A continuación se describe a detalle el funcionamiento de los subsistemas.

### 6.3.1 *Captura de la piel*

El proceso de Captura de la piel se realiza con ayuda de una cámara de video, por medio de la cual se determinan los diferentes elementos a considerar en la piel como son las zonas de calidad, zonas de estiramiento, defectos y el contorno.

La piel es colocada en una mesa y es sujeta por un sistema de succión para evitar que se mueva durante el proceso de captura.

El contorno de la piel se determina al analizar la imagen generada por la cámara y por medio del contraste entre el color de la piel y el color de la mesa.

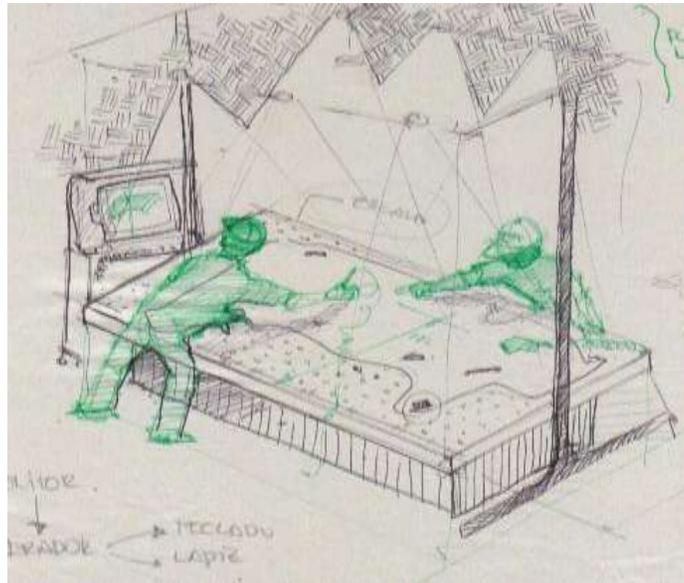


Figura 13 Mesa de Captura de la Piel

Para determinar las zonas de calidad, estiramiento y los defectos, se utilizan dos herramientas adicionales; una varilla con punta de color contrastante con la piel y un control inalámbrico. Figuras 13 y 14. El control se usa para conectar con el programa de captura y habilitar las diferentes opciones de captura. Con la varilla se señalan las áreas y por medio del contraste de colores entre la punta de la varilla y la piel, se determina el contorno de la zona marcada, al habilitar la opción con el control, se guarda éste contorno de acuerdo a su especificación física, Por ejemplo, si es zona de calidad, que tipo de zona, si es zona de estiramiento se marca también en qué dirección o ángulo se estira la piel, etc.

Cabe mencionar que éste procedimiento lo tiene que llevar a cabo un operador que pueda determinar perfectamente las características de la piel.



Figura 14 Captura de la Piel

### 6.3.2 *Importación de las piezas*

Cada modelo de calzado se genera por medio de un software de CAD especializado para diseñar calzado. A partir de ahí se genera la información de cada pieza del modelo en las diferentes tallas a producir.

Para manejar la información de cada pieza, como son contorno, zonas de soporte, de defectos, y dirección de estiramiento es necesario hacer la importación de ésta información y pasarla al formato establecido para el sistema

### 6.3.3 *Captura de la orden de trabajo y Selección de pieles*

La optimización de la piel es una de las metas principales durante el proceso de corte. Por ésta razón se consideró el hecho de buscar minimizar el desperdicio desde la selección de las pieles y no únicamente durante el proceso de nesting, como se ha manejado de forma tradicional.

Se maneja una pantalla de captura para introducir la orden de trabajo, que esencialmente contiene:

- El modelo a producir
- La talla
- El número de pares

Con la información de la Orden de Trabajo, se puede buscar información en la Base de Datos de modelos y en el Almacén Virtual, para complementar los datos necesarios para seleccionar las pieles y hacer el nesting.

La información que se obtiene es:

- A partir del modelo y talla, se busca en la base de datos de modelos, el área de cada una de las piezas del modelo y talla requeridos, así como su correspondiente zona de calidad. También se obtiene la cortabilidad correspondiente al modelo solicitado.
- Conociendo el área de las piezas por zona de calidad, y el número de pares requeridos se calcula el área de piel total y por zona de calidad que se requiere para cubrir la orden de trabajo.
- De las pieles se obtienen su área total, y las áreas de las diferentes zonas de calidad, la fecha de ingreso al almacén, el acabado o material.

Otros elementos que se emplean para la selección de pieles son los siguientes:

- La fecha de ingreso al almacén. Para seleccionar las pieles se consideran en orden de entrada al almacén, las más antiguas primero.
- Una tabla de Cortabilidad. Para cada valor de Cortabilidad se establece un esquema de distribución del tipo de pieles a usar en base a su grado de utilización.

Por ejemplo: Para un modelo con Cortabilidad 5, el 100% de la piel necesaria para cubrir una orden de trabajo se debe repartir en un 44% de piel tipo D (90 % de piel aprovechable) 51% tipo E (86% de piel aprovechable y 5% de E\* ( 75% de piel aprovechable)

<b>Tabla de Mezcla por Cortabilidad</b>						
	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>E*</b>
<b>Cortabilidad</b>	<b>98%</b>	<b>95%</b>	<b>92%</b>	<b>90%</b>	<b>86%</b>	<b>75%</b>
5	0%	0%	0%	44%	51%	5%
4	0%	0%	23%	32%	40%	5%
3	0%	6%	26%	29%	34%	5%
2	3%	10%	22%	29%	32%	4%
1	9%	14%	23%	26%	28%	0%
0	18%	22%	25%	18%	17%	0%
-1	29%	26%	23%	14%	8%	0%
-2	40%	30%	20%	10%	0%	0%
-3	45%	30%	25%	0%	0%	0%

**Tabla 5 Tabla de Mezcla por Cortabilidad**

Con la información antes mencionada, se procede a hacer una simulación de la producción de la orden de trabajo, considerando primero las pieles de mayor antigüedad en el almacén y cumpliendo con los requerimientos de pieles establecidos en la Tabla de Mezcla por Cortabilidad además de los requerimientos propios del modelo a producir.

Esta simulación generará una serie de pieles “sugeridas” para cumplir con la orden de trabajo. Sin embargo para ponerse en producción se tendría que incluir como parte del proceso con el Sistema de Acomodo, para que se actualicen los valores de producción “reales” antes de seleccionar la siguiente piel.

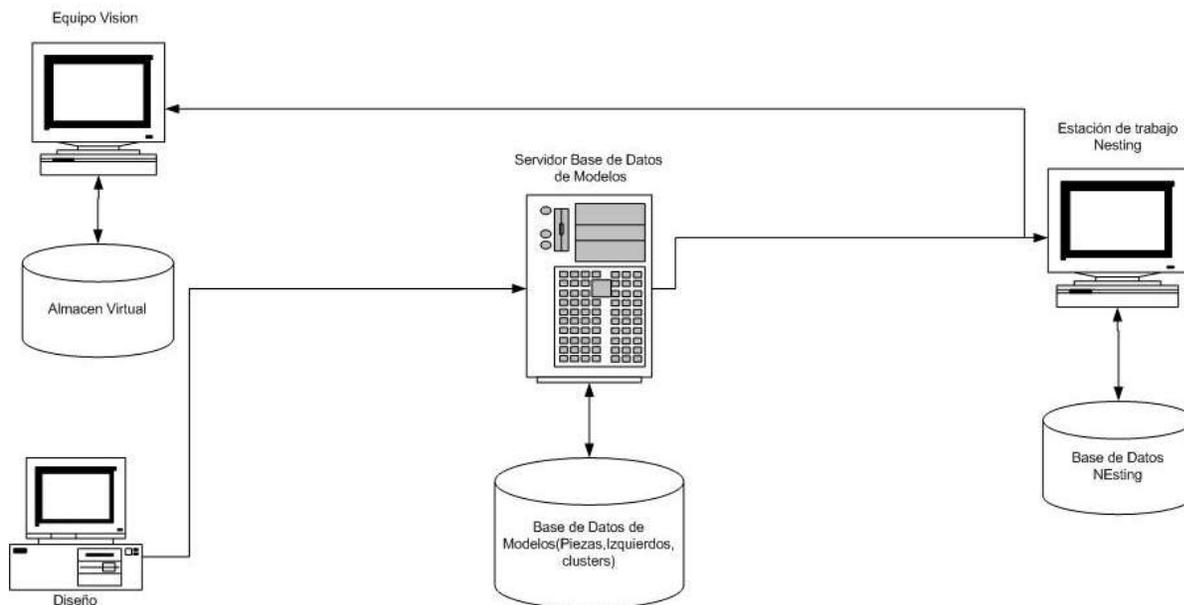
Todo el proceso se podrá llevar a cabo en el sistema y al finalizar se puede almacenar toda la información,- clave de las pieles utilizadas, pieles con el acomodo concluido, estadísticas, archivos, etc-, para su posterior corte con el equipo correspondiente.

#### 6.3.4 *Acomodo (nesting)*

En este proceso, se acomodan las piezas que conforman el modelo del zapato, en las pieles seleccionadas, de tal forma que se cumpla con la orden de trabajo.

Para realizar el acomodo las piezas resultantes se tienen que cumplir con las características especificadas en su diseño al ser ubicadas en las zonas existentes en las pieles que cumplan con dichas especificaciones.

Este proceso se explica en detalle en el Capítulo 7.



**Figura 15 Esquema de distribución de Equipos**

## **7 SISTEMA DE ACOMODO (NESTING)**

El sistema de acomodo es fundamental en el sistema de corte, tanto en su forma manual como automatizada, ya que es en ésta etapa donde se optimiza el uso de la piel.

Al analizar las características del actual proceso de corte para obtener un método que nos permitiera obtener resultados similares al que obtienen los operadores de forma manual comprobamos que el problema es muy difícil de modelar.

El proceso actual entre otras características, tiene el comportamiento no lineal de la piel, las características particulares de cada pieza, la toma de decisiones a nivel personal utilizado por los trabajadores para el proceso de nesting actual, lo cual permite la generación de múltiples conjuntos de soluciones válidas al realizar el acomodo de cada orden de producción.

La definición de un espacio de solución en el entorno con tantas variables es muy difícil. Hay varios juegos de las posibles soluciones y si se pretende un análisis combinatorio para una búsqueda a la fuerza bruta, varios millones de posibilidades con sus respectivas limitaciones deben ser manejados simultáneamente. Para automatizar el proceso de nesting, es necesario tener en cuenta los principios de corte manual y las consideraciones que se mencionan a continuación.

### **7.1 CONSIDERACIONES PARA EL ACOMODO DE PIEZAS**

Para automatizar el proceso de nesting es necesario considerar los siguientes puntos:

- La geometría(contorno) de la piel cambia en cada hoja de piel
- La geometría y tamaño de las zonas de estiramiento varían cada piel.
- La geometría, tamaño y ubicación de las zonas de calidad varía en cada piel
- Número de figuras a acomodar en la piel (el número varía de acuerdo al número de pares especificado en la orden de trabajo y a la cantidad de piezas del modelo solicitado)
- Posiciones posibles de acomodo
- Acomodo de las figuras en la dirección de la zona de estiramiento y la variación en ángulo.
- Interacción pieza-defecto, es decir, si un defecto puede ser soportado en la zona de la pieza que se encuentra.
- Evaluación de la eficiencia del acomodo
- Por otra parte, la geometría de las figuras cambia en cada estilo, y cada estilo a su vez tiene varios productos, en algunos casos con la misma geometría, pero en diferentes tallas con la correspondiente variación de tamaño.

Estos factores, combinados, generan espacios de solución de millones de combinaciones.

Al analizar las características del proceso de corte considerando todas las combinaciones posibles y su impacto en el acomodo, se llegó a la conclusión de que el problema a resolver era un sistema complejo.

### 7.1.1 **Definición de sistema complejo**

Un sistema complejo entre otras características tiene comportamiento que no es lineal, es difícil de modelar y por lo tanto tiene alto grado de incertidumbre en su comportamiento.

Un sistema complejo está formado en su mayoría por elementos similares, los cuales al interactuar localmente generan un comportamiento emergente que no es posible explicar al analizar individualmente sus interacciones y es imposible determinar cómo va a desarrollarse más allá de un corto plazo, este tipo de sistemas casi nunca son objeto de procesos de optimización que obtengan un óptimo global. Esto es inherente a la dificultad de modelarlos.

El utilizar sistemas complejos requiere de probar las partes individuales y una vez funcionando conjuntarlas para que se dé el comportamiento superior. Cada parte se debe de afinar en su funcionamiento individual y las desviaciones se deben de ir compensando o absorbiendo en cada etapa

El nuestro caso, el acomodo realizado en cada piel es diferente, involucra conjuntos de piezas, los cuales, varían mucho en cuanto al resultado final de su acomodo, dependiendo de restricciones establecidas para su acomodo. Ya sea por las características de las figuras a acomodar, -geometrías, tamaños, etc.-, las características propias de la piel, como su propia geometría, la forma y tamaño de sus zonas de calidad y estiramiento, así como por los defectos existentes; al analizar estas características del proceso se llegó a la imposibilidad de determinar con antelación cual será el resultado de el acomodo final en cada caso y por supuesto el grado de optimización que se obtendría.

### 7.1.2 **Proceso de Solución**

Ante esta circunstancia se buscaron diferentes herramientas para atacar el problema como fueron los algoritmos genéticos y los agentes inteligentes. Al tratar de caracterizar las herramientas de inteligencia artificial exploradas, se encontró la necesidad de determinar con mayor precisión la forma en que estos tenían que actuar, es decir, determinar el algoritmo de acomodo que se comportara de manera consistente en todos los casos. Esto nos llevó a la conclusión de que el problema era difícil de modelar para varias de las herramientas de inteligencia artificial.

Al reconocer esta necesidad, se optó por buscar una heurística de acomodo que diera un comportamiento consistente al acomodar las figuras. En el caso del acomodo manual, los operarios no pueden verbalizar este comportamiento, porque implica la toma de varias decisiones simultáneas por cada figura. Se hicieron varias entrevistas en campo y se filmaron a los operarios en acción. Un aspecto también difícil de verbalizar y sintetizar fue el proceso de inspección visual de la piel.

En realidad los operarios no hacen una optimización global durante el acomodo, sino que desarrollan un acomodo secuencial guiado por varias premisas, que llevan a una sumatoria de optimizaciones parciales.

Se tomó en cuenta que al desarrollar el algoritmo de acomodo, se debe poder expresar en código de máquina las decisiones del operario, por lo que hay que racionalizar las reglas y su secuencia para cada etapa del acomodo. Para esto, se definió una estrategia de trabajo, que nos marcara el camino para llegar a los resultados esperados.

### 7.1.3 *Premisas del proceso de nesting*

Considerando lo expuesto en los puntos anteriores, se diseñó el sistema utilizando las premisas de sistematizar las operaciones de acomodo y anidarlas, buscando la aparición del comportamiento emergente mediante el cual se puedan emular las operaciones que realizan los operarios al acomodar de una manera secuencial.

Las reglas heurísticas que se determinaron mediante el estudio de la forma de trabajo de los trabajadores, simulaciones con personal experimentado y entrevistas, son las siguientes:

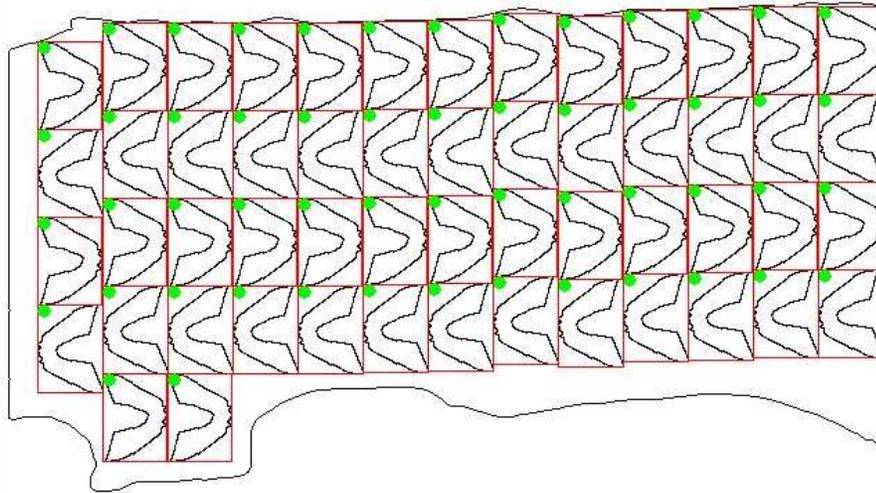
- Se acomoda figura por figura
- Se toman decisiones acerca de cuál figura se va a colocar considerando la sección de la piel donde se esté realizando el proceso de acomodo en ese momento. Ahí se considera la orientación y ubicación de la figura a acomodar.
- La forma de acomodo se realiza siguiendo las reglas del proceso manual de corte, es decir, de la cola hacia la cabeza y del lomo hacia las patas.
- En caso de que una figura salga de la zona de calidad correspondiente mantendrá mientras no pase del 50% de su área. En caso contrario se cambiará por una figura de la otra zona de calidad.
- Es aceptable colocar una pieza de menor calidad en una zona de mayor calidad, pero no al revés.
- En el caso del estiramiento se tendrá una tolerancia de hasta 10° para la ubicación de la figura en relación al ángulo de estiramiento que le corresponda por la zona de la piel en que se encuentre ubicada

## 7.2 DISEÑO DE DETALLE

### 7.2.1 *Etapas del Desarrollo del Programa de acomodo.*

Debido a la complejidad del problema, y de acuerdo a las normas del Proceso Unificado de Desarrollo de Software [43], se decidió realizar el sistema de Acomodo por etapas, las cuales son:

- Acomodo dentro de la piel. El objetivo es generar un algoritmo que acomode las piezas dentro del contorno de la piel. Figura 16.
- Acomodo en las zonas de Calidad. El objetivo es que se detecte la zona e calidad y se selecciones la pieza correspondiente a la zona de calidad. Es importante considerar el manejo de las piezas en las fronteras con las otras zonas de calidad.
- Acomodo considerando las zonas de Estiramiento. El objetivo es realizar el acomodo detectando y considerando la zona de estiramiento en que se desea acomodar la pieza y buscar su mejor posición alineándola con la línea de estiramiento encontrada
- Acomodo considerando los defectos de la piel. El objetivo es realizar el acomodo evitando colocar la pieza sobre algunos de los defectos encontrados



**Figura 16 Acomodo dentro de la piel**

La realización de estas etapas se lleva a cabo de forma progresiva, es decir, cada etapa debe realizar sus funciones además de hacer las funciones especificadas en las etapas anteriores. En todas estas etapas se considera la optimización de la piel.

### **7.2.2 Generación de Marcos**

Considerando la naturaleza del problema, encontrar un algoritmo que encuentre una solución óptima es poco probable, por lo tanto, lo que se pretende es encontrar un algoritmo que obtenga soluciones aceptables para el acomodo de cada caso,- es decir cada piel seleccionada para cubrir una orden de trabajo.

Se decidió seguir con el patrón de acomodo de los cortadores de acomodar y cortar pieza por pieza, tomado en cuenta la posición de la pieza anterior para determinar la posición de la pieza actual. A diferencia de lo realizado por los cortadores, el estudio nos reveló que para fines computacionales, es mejor seguir un acomodo formando "renglones" a lo largo de la piel. Pero se continúa con la regla de avanzar de la cola a la cabeza y del lomo hacia las patas.

Se observó que llevar el acomodo por renglones en toda la piel podía generar problemas al variar el contorno de la misma, que funciona como base para el inicio del acomodo.

Por tal motivo, se decidió subdividir la piel en "Marcos", que permitan un acomodo uniforme parcial buscando que se genere el acomodo uniforme global al término del proceso. Figura 17.

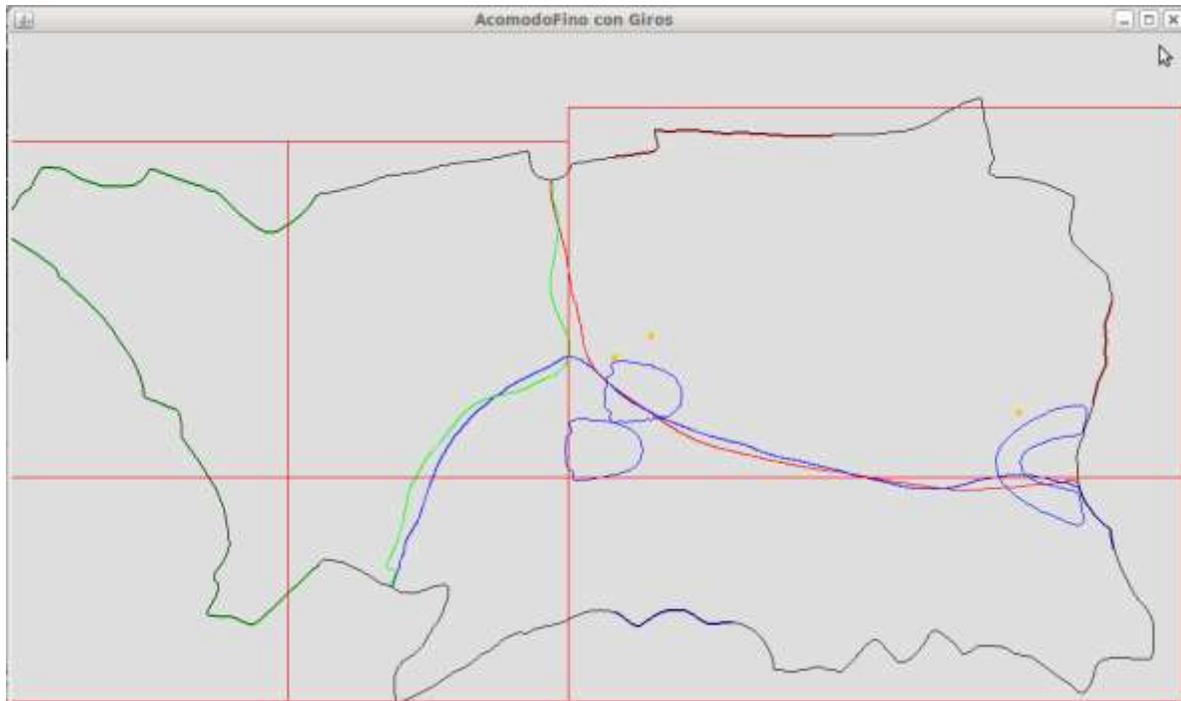


Figura 17 Piel con Marcos

### 7.2.3 ***Criterios a considerar en la frontera entre dos zonas.***

Al acomodar una pieza es importante considerar las reglas establecidas referentes a las diferentes zonas existentes. Pero es posible que una pieza se ubique entre dos zonas y sea necesario tomar decisiones acerca de su ubicación definitiva.

Para ello se determinó hacer ubicar la pieza en su mejor posición y posteriormente verificar a que zona pertenecía, -tanto de calidad como de estiramiento-, y en caso de que no fuera correcta su ubicación hacer la modificación necesaria.

### 7.2.4 ***Criterios para el manejo de las figuras de las piezas y perfiles***

Para representar los diferentes elementos (piel, piezas, y perfiles) se decidió utilizar pares de puntos. Por otra parte para manejar estos elementos es necesario conocer la ubicación de cada punto para determinar los límites entre los diferentes elementos

Para mantener el control de la ubicación de los puntos (piezas, piel, perfiles) se tomó el criterio de que el orden de generación de los puntos siempre será en el sentido de las manecillas del reloj.

## 7.3 **ALGORITMO BÁSICO DEL SISTEMA DE ACOMODO**

El Algoritmo básico del Sistema de Acomodo o nesting es el siguiente:

- De la orden de trabajo se obtiene el número de pares, modelo y talla a producir
- El sistema de selección de pieles indica cual es la piel a procesar
- Se obtiene la piel virtual del Almacén virtual
- El operador divide la piel el Marcos, de tal manera que cada marco contenga aéreas de piel, cuya geometría sea lo más cercana a una figura regular. (cuadrado, rectángulo, etc.)

- Cada Marco es procesando, acomodando la mayor cantidad de piezas posible siguiendo las reglas de acomodo.
- Al realizar el proceso de acomodo se lleva la contabilidad de las piezas acomodadas.
- Se genera el resumen de las piezas acomodadas y las faltantes para cumplir con la orden de trabajo, enviándose esta información al sistema de selección de pieles, para que con ésta información seleccione la piel siguiente.
- Se genera un archivo con la piel y sus piezas, para el proceso de corte.
- Se repite el proceso hasta satisfacer los requerimientos de la orden de trabajo
- Se genera un resumen ejecutivo sobre el nesting de la orden de trabajo.

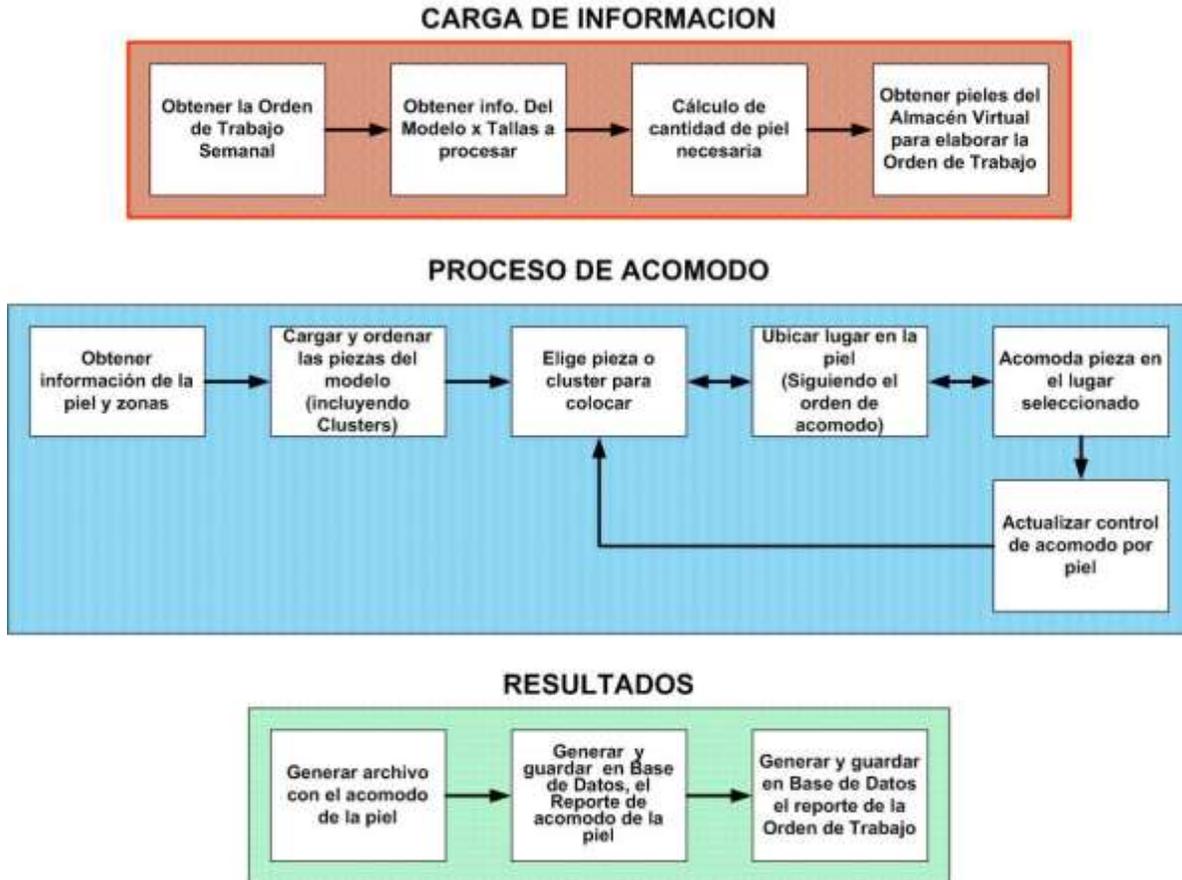


Figura 18 Diagrama de Procesos del Nesting

## 7.4 ALGORITMO DE ACOMODO PARA CADA PIEZA

El algoritmo básico del proceso de Acomodo que se realiza en cada Marco se puede observar en la Figura 19:

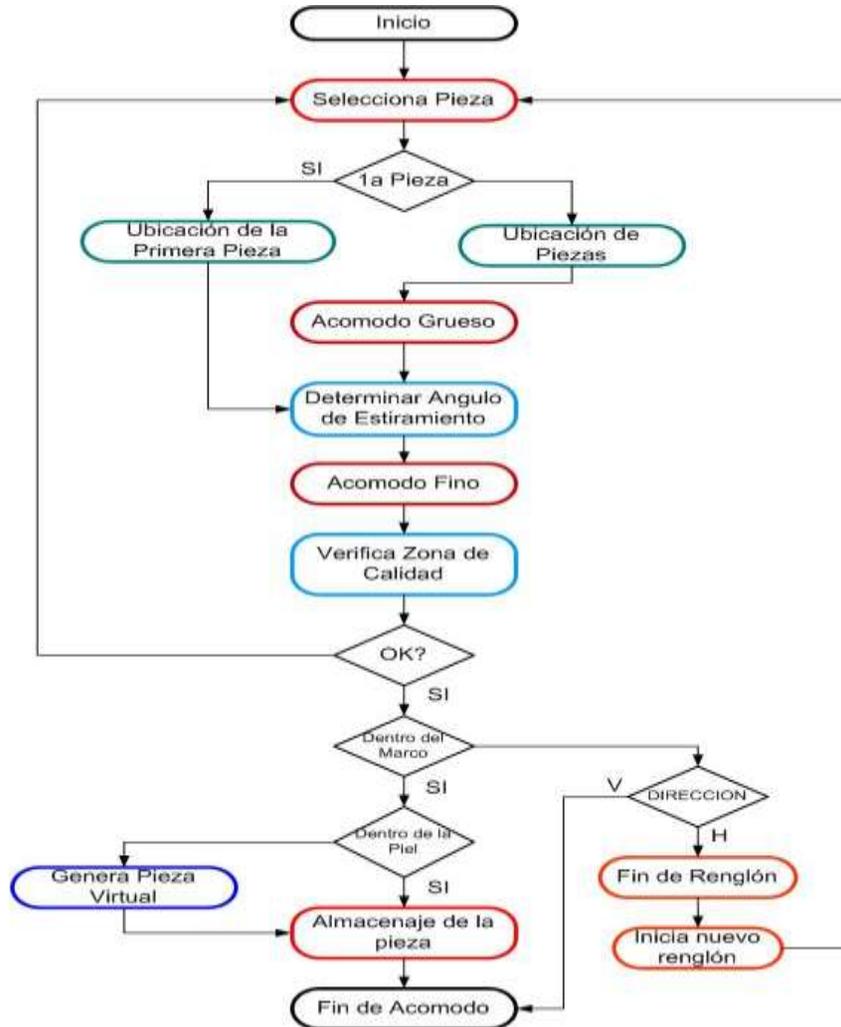


Figura 99 Diagrama de Flujo del Acomodo

El proceso se describe a continuación

- Se selecciona la pieza a ubicar
- Si la pieza es la primera del Marco se utiliza el procedimiento para Ubicación de la primera pieza
- Si la pieza a acomodar no es la primera; se ubica usando el acomodo Grueso
- Identificar el ángulo de la zona de estiramiento
- Refinar el acomodo utilizando el acomodo Fino
- Verificar la ubicación de la pieza en referencia a la zona de calidad .
- En caso de que al colocarse la pieza, ésta salga del límite horizontal del Marco, no se incluirá en el renglón actual y se iniciará uno nuevo. Si la pieza sale del límite Vertical, se termina el acomodo del marco y se inicia con el siguiente.
- En caso de que una pieza salga de la piel, la pieza se almacenará pero como una pieza “virtual”, que podrá ser considerada como referencia para acomodo de piezas posteriormente, pero puede ser encimada.

- Si la pieza se ubica en su mayoría dentro de su zona de calidad, del marco y de la piel se almacena como una pieza acomodada,.
- En caso contrario se selecciona otra pieza y se reinicia su acomodo

#### 7.4.1 **Ubicación primera pieza**

Le primera pieza del acomodo es importante pues sobre ella se basa la posición de las piezas siguientes. El proceso de ubicación de la primera pieza se lleva a cabo al inicio del acomodo de cada uno de los Marcos o Frames.

El acomodo de la primera pieza se basa en localizar la posición en la cual la pieza se ubica en el extremo superior derecho del marco a acomodar y dentro de la piel.

Para esto se hace un barrido con la pieza desde el extremo superior izquierdo del marco hacia la derecha y bajando un pixel por cada recorrido hasta llegar al límite del perfil marcado para la pieza. Este límite puede ser el final de la piel o las piezas ubicadas en el marco anterior. El proceso finaliza cuando la pieza completa se encuentra dentro de la piel.

A partir de esta primera posición, se lleva a cabo el acomodo fino de esta pieza generando el perfil correspondiente. Figura 20

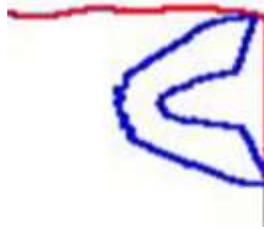


Figura 20 Acomodo de la Primera Pieza

#### 7.4.2 **Acomodo grueso.**

El acomodo grueso permite obtener una ubicación preliminar de la pieza para su ajuste posterior con el Acomodo Fino. El acomodo grueso se basa en el uso de “bounding box”, es decir, un rectángulo construido a partir de los puntos extremos de la figura a ubicar, para determinar su cercanía ya sea con piezas previamente acomodadas o con los bordes de la piel.

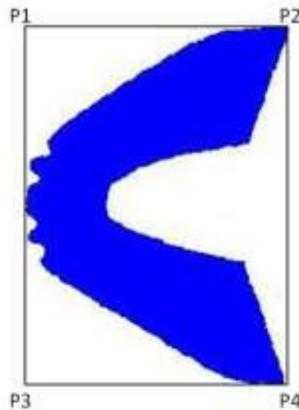


Figura 21 Bounding Box

En la figura 21 se muestra la pieza con su bounding box. Los vértices se han numerado para un manejo más sencillo

.A partir de este momento se definirá a la pieza que se está acomodando como **Pieza Actual** y la pieza que se encuentra inmediatamente a la derecha de ésta como la **Pieza Anterior**, ya que en orden de acomodo ésta es la pieza que se acomodó anteriormente.

El funcionamiento del Acomodo Grueso es relativamente sencillo. A partir de la pieza anterior, la pieza actual se ubica de tal forma que el Punto 2 (P2 en la figura 17) de la pieza actual coincida con el Punto 3 (P3) de la pieza anterior. Una vez realizado este acercamiento la pieza actual se desplaza verticalmente hacia arriba hasta encontrar el límite superior. Este límite puede ser la orilla de la piel, o alguna pieza del renglón anterior. Figura 22

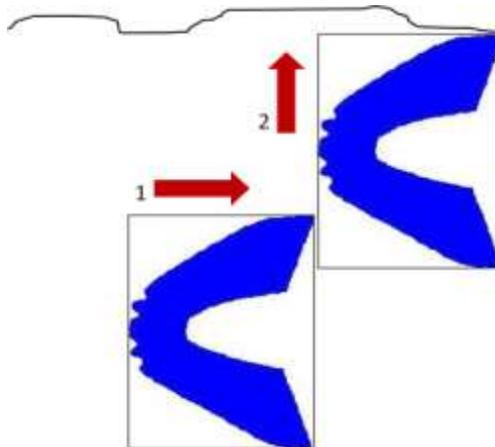


Figura 22 Acomodo Grueso

Este primer acomodo genera un aprovechamiento aceptable, pero en piezas con forma cóncava como la mostrada en la figura 23 se presentan espacios sin ocupar, por lo cual se generó el Acomodo Fino.

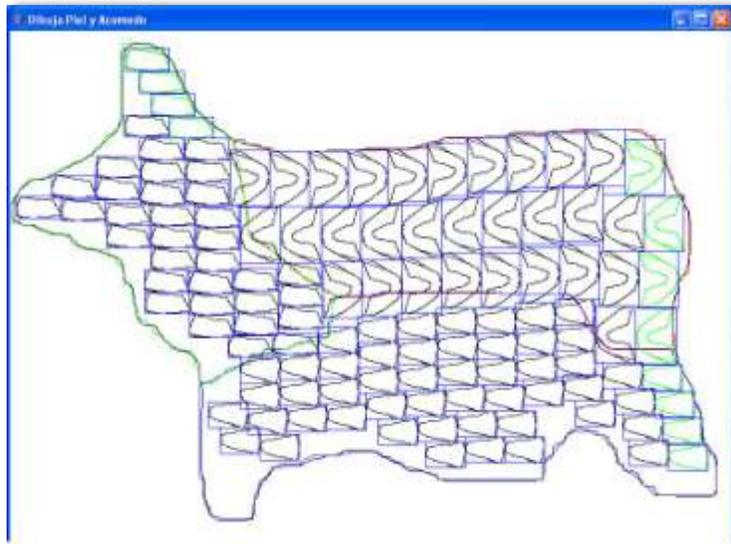


Figura 23 Acomodo Grueso

### 7.4.3 *Acomodo Fino*

El Acomodo Fino busca la mejor posición de una pieza en un espacio de solución reducido, el cual se determina a partir de la pieza anterior y el entorno de la pieza a ubicar considerando la posición obtenida a partir del Acomodo Grueso.

En este procedimiento se hace una búsqueda exhaustiva de la posición que genere el menor desperdicio de piel considerando el ángulo de estiramiento correspondiente a la pieza y el existente de la piel, así como del manejo de los defectos existentes.

Para realizar esta búsqueda exhaustiva es necesario delimitar el espacio de solución. Para ello se generan áreas cerradas a partir de los contornos de las piezas colocadas anteriormente, o del contorno de la piel, dependiendo de la posición de la pieza a colocar. A estos espacios se les denominó PERFILES.

Una vez que se ha determinado el perfil, se realiza la búsqueda de la mejor solución, ubicando la pieza en diferentes posiciones y evaluando en cada una de ellas el área desperdiciada, eligiendo al final aquella posición donde el desperdicio es menor. Este proceso se describe a detalle en el punto 7.4.4 Figura 24.

En la búsqueda de la mejor posición es necesario considerar el ángulo de estiramiento, para lo cual la pieza actual se gira hasta que el ángulo de estiramiento existente en el perfil coincida con el de la pieza. A partir de ahí se hace la búsqueda de la mejor posición de la pieza haciendo variaciones en el ángulo de la pieza en un rango de  $-10^\circ$  a  $10^\circ$ , eligiendo aquella posición que minimice el desperdicio.

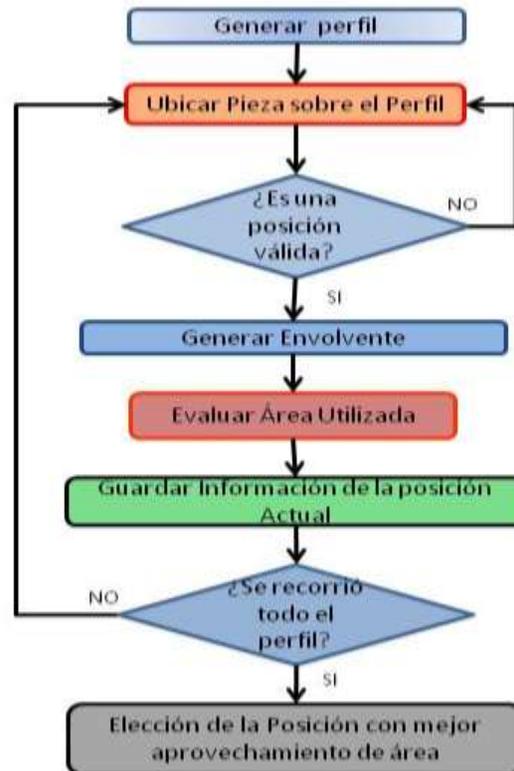


Figura 24 Diagrama de Flujo Acomodo Fino

#### 7.4.3.1 Generación de Perfiles

El acomodo de las piezas se hace de derecha a izquierda y de arriba hacia abajo formando renglones. Así que para la formación de los perfiles se considera el elemento que exista a la derecha y en la parte superior de la pieza a acomodar.

Los contornos de las piezas y la piel se forman por pares de puntos referenciados hacia la esquina superior izquierda de la ventana de despliegue, que es origen estándar en Java. Esta característica permite formar el perfil considerando los puntos del costado izquierdo de la pieza anterior y los puntos inferiores del límite superior, ya sean las piezas ubicadas en la parte superior de la pieza a acomodar o el borde de la piel.

Para dar espacio a encontrar la posición óptima se determinó que el perfil sea un 10% más ancho y 30% más largo de los valores extremos de la pieza actual.

Una vez que se tienen los puntos de las piezas anteriores o la piel, se procede a cerrar el perfil, primero generando un punto hacia la abajo para formar la altura máxima del perfil y uniéndolo con el punto inferior extremo de la pieza anterior.

Esto genera que el perfil no sea “cuadrado” en su parte inferior, sino que su altura disminuya en el extremo de la pieza anterior. Con esto se busca que al barrer el área del perfil, el área con menor desperdicio se encuentre cerca de la pieza anterior.

Posteriormente a partir de los puntos obtenidos se genera un perfil, con el cual se operará la pieza actual para buscar su mejor posición. Figura 25

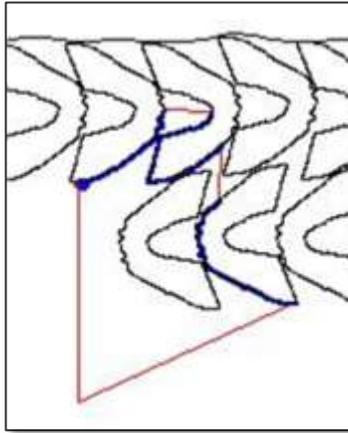


Figura 25 Perfil

### 7.4.3.2 Tipos de perfiles

Dependiendo de la posición en la que se va a buscar la ubicación final de la pieza actual con el Acomodo fino, es necesario determinar las características de su entorno para elegir el procedimiento para generar el perfil.

Para determinar el entorno se utilizan puntos a modo de sensores, estos puntos son trasladados en diferentes direcciones, hasta que salen de la piel o tocan alguna pieza donde se detienen, y dependiendo de las posiciones de todos los puntos se define cual es el perfil adecuado a generar. Figura 26.

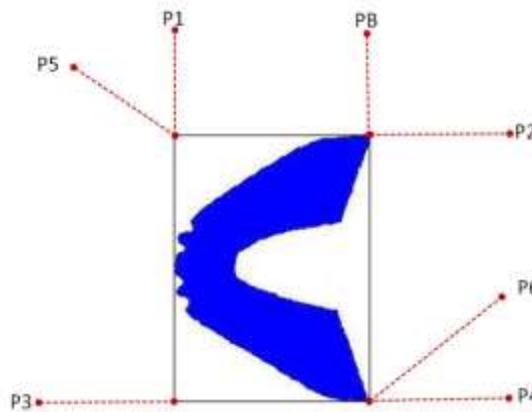


Figura 106 Sensores de posición

Se encontraron 7 casos de perfiles, a partir de los cuales se realiza el Acomodo Fino. Las características de cada perfil se presentan a continuación:

**Primer Perfil:** Piel a la derecha y arriba. Este caso se detecta que existe piel en la parte superior de la pieza actual y a la derecha de la misma. Este caso generalmente es de la primera pieza de toda la piel. Es decir, la pieza en la parte superior derecha de la piel. Figura 27.

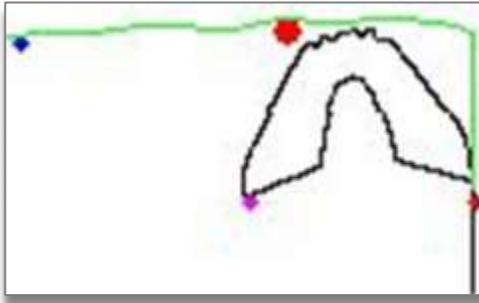


Figura 117 Primer Perfil

**Segundo Perfil:** Piel arriba, pieza existente a la derecha. Este caso se presenta en las piezas que se ubican en la orilla superior de la piel. Este perfil se genera con la el borde de la pieza anterior hasta su coincidencia con el borde de la piel y a partir de ahí se toman los puntos de la piel. Figura 28.

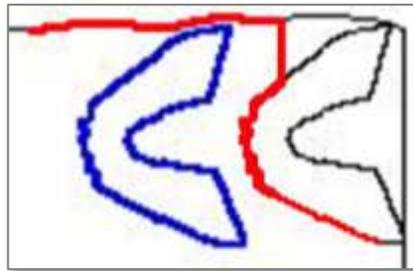


Figura 128 Segundo Perfil

**Tercer perfil:** Piel a la derecha, pieza arriba. Este perfil se genera cuando se detecta que existe una pieza arriba de la pieza actual y piel del lado derecho. Este caso generalmente se presenta cuando se inicia un renglón en el borde derecho de la piel, esto a partir del segundo renglón. Figura 29.

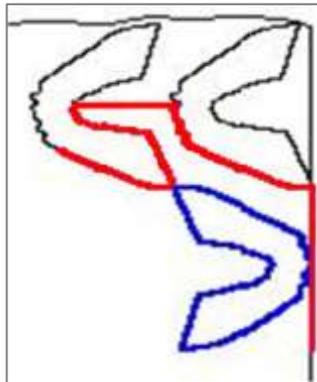


Figura 139 Tercer Perfil

**Cuarto perfil:** Piezas existentes a la derecha y arriba. El cuarto perfil es el que más se utiliza durante el proceso de acomodo, ya que se presenta cuando se acomoda una pieza a la izquierda de otra y debajo de un renglón de piezas ya acomodado.

Para este caso se desarrolló como una opción adicional el Mega Perfil. El uso del Mega Perfil facilita la creación del cuarto perfil pues en lugar de formar la parte superior recorriendo las piezas existentes, solo se utiliza el borde del Mega Perfil para este fin. El desarrollo del Mega Perfil se explicará más adelante. Figura 30.

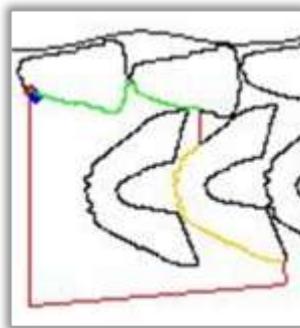


Figura 30 Cuarto Perfil

**Quinto perfil:** Caso escalón. Este perfil se genera en el “caso Escalón” que se presenta cuando la pieza anterior es de mayor altura que la pieza actual. Este caso se explica en el punto 7.6

**Sexto perfil:** Este perfil se utiliza cuando se inicia el acomodo de un nuevo marco, en particular para realizar el acomodo fino de la primera pieza. El perfil se genera tomando como base el Mega Perfil Vertical generado a partir de la última columna del Marco anterior. EL perfil toma como frontera el contorno del Mega Perfil Vertical (MPV) y la orilla de la piel, considerando las dimensiones de la pieza para determinar su tamaño. Figura 31



Figura 31 Sexto Perfil

**Séptimo perfil:** Este perfil también se basa en el MPV para su creación. Este perfil se utiliza en la primera pieza de cada renglón de un Marco ubicado en el interior de la piel, es decir, no tiene frontera con la orilla lateral de la piel. Funciona de manera similar al Cuarto perfil pero de forma vertical. Tomando como base el MPV, las dimensiones de la pieza y la pieza superior, se genera el perfil que se usara en el acomodo fino. Figura 32.



Figura 32 Séptimo Perfil

**Octavo Perfil:** Este perfil se genera cuando al iniciar un renglón (generalmente el segundo), éste no inicia bajo un renglón pre-existente y existe un hueco entre las pieza a ubicar donde puede hacer contacto con la orilla de la piel. Para generar el perfil se toma como inicio la orilla de la última pieza colocada, se sigue la orilla de la piel hasta la pieza del renglón anterior con la que está desfasada, a partir de ésta se sigue su orilla y se cierra el perfil. Figura 33.

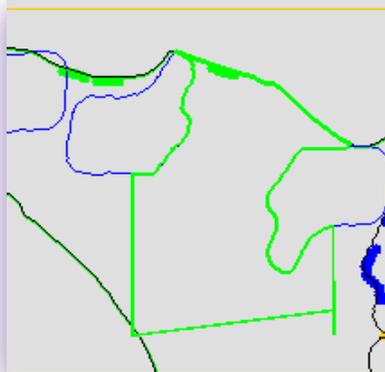


Figura 33 Octavo Perfil

#### 7.4.4 **Búsqueda de la Mejor Posición**

Para encontrar la mejor posición es necesario realizar una búsqueda exhaustiva dentro del perfil. Esta operación se lleva a cabo en dos partes.

1. En la primera parte se barre el espacio del perfil moviendo la pieza desde la parte inferior hacia arriba hasta que la pieza toque el borde del perfil. La posición que toma la pieza al llegar al borde del perfil se considera válida si se encuentra dentro del perfil, está dentro de la piel, y no coincide con alguna falla. Únicamente si la posición es válida, se verifica su aprovechamiento de piel, y se almacena la posición y el aprovechamiento.

Posteriormente se lleva la pieza al borde inferior del perfil, avanzando un pixel en dirección horizontal repitiendo la operación hasta que el punto extremo de la pieza P1 salga del perfil. Figura 34

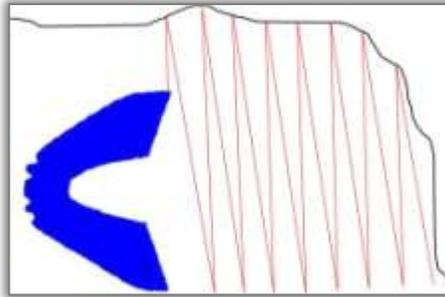


Figura 34 Recorrido Vertical del Perfil

2. La segunda parte del proceso se realiza de forma similar pero el recorrido se hace de forma horizontal de arriba hacia abajo del perfil. En este caso las posiciones validas se consideran cuando la pieza toca la parte derecha del perfil. Figura 35.

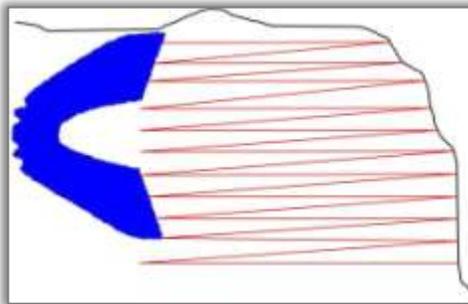


Figura 35 Recorrido Horizontal del Perfil

Cada posición valida se evalúa de la siguiente forma:

- Se obtiene la envolvente convexa de los puntos que forman el perfil (sin cerrar) y la pieza utilizando el algoritmo de Graham. Figura 36
- De la envolvente se obtiene su área, con lo que se obtiene el área de posible uso.
- Se obtiene el área de la pieza
- Se resta el área de la pieza del área de la envolvente, con este paso se obtiene la cantidad de área no utilizada.
- Los valores de la posición de la pieza (basada en su bounding box), el ángulo de orientación, el área no utilizada se almacenan en un arreglo
- Al finalizar de recorrer el perfil se busca aquella posición cuya área no utilizada sea menor, y se considera como la mejor posición.

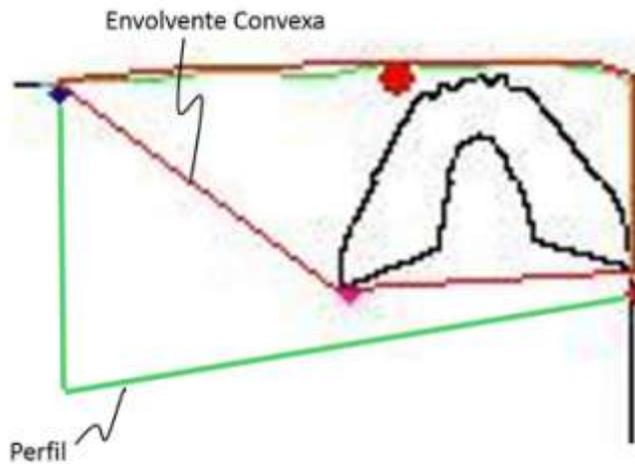


Figura 36 Estimación de área utilizada

Para evaluar las posiciones adecuadas de acuerdo al ángulo de estiramiento de la piel y las piezas, se realiza este procedimiento evaluando la posición de la pieza a partir de su ángulo original y a  $180^\circ$ , con sus respectivas variaciones de  $-10^\circ$  a  $10^\circ$  grados en incrementos de  $5^\circ$ . Figura 37

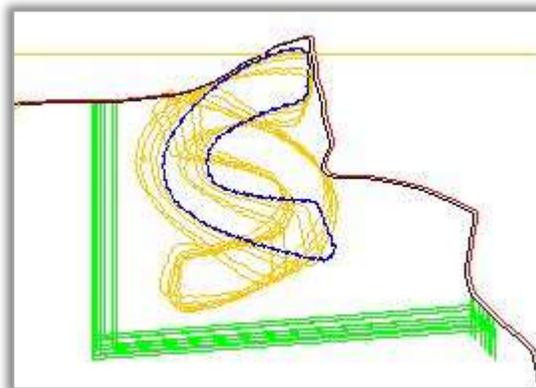


Figura 37 Giros

## 7.5 MEGA PERFIL

El concepto de MegaPerfil surge cuando se desarrolla el Cuarto perfil, es decir, en el caso de ubicar la pieza actual después de una pieza y bajo un renglón de piezas ubicadas previamente.

Al generar el perfil se encontraron casos en los que los puntos sensores de las piezas ubicadas previamente se perdían. Esto ocurría principalmente porque el punto sensor pasaba entre las piezas y al no detectarlas la conformación del perfil fallaba.

Por tal motivo se decidió generar un perfil formado por los puntos de todas las piezas del renglón anterior al que se está acomodando. El perfil se conforma a partir de los puntos de la parte inferior de las piezas.

Una vez recolectados los puntos el perfil se “cierra” formando un polígono, es decir, el MegaPerfil se procesa como si fuera una piel. Esto permite que la generación del perfil para la pieza individual se genere de forma similar al procedimiento usado para el segundo perfil.

El manejo utilizando el MegaPerfil permite que la formación del perfil de la pieza actual sea más rápido pues el procedimiento es más sencillo, además de que eliminan los problemas de pérdida de la ubicación de las piezas superiores, al manejarse como una sola figura el espacio de solución.

Otro beneficio del MegaPerfil es que sirve como referencia al momento de realizar el acomodo de un Marco inferior al del MegaPerfil, pues al formarse a partir de las piezas del último renglón, el acomodo del primer renglón del Marco inferior se basa en él, facilitando su proceso.

El MegaPerfil se genera cada vez que se finaliza un renglón de piezas. Figura 38.

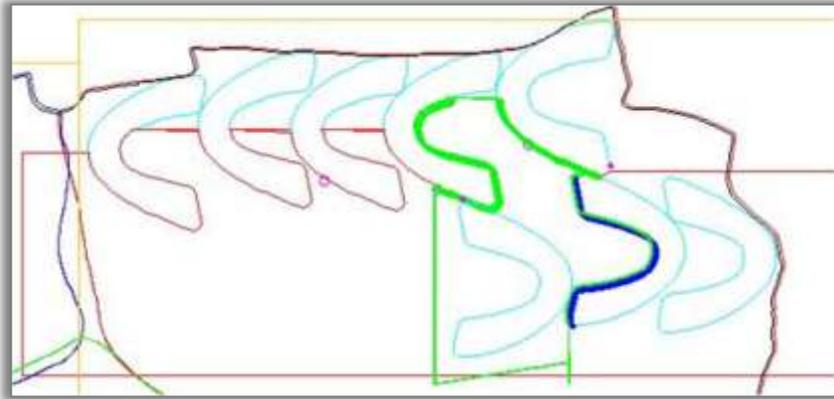


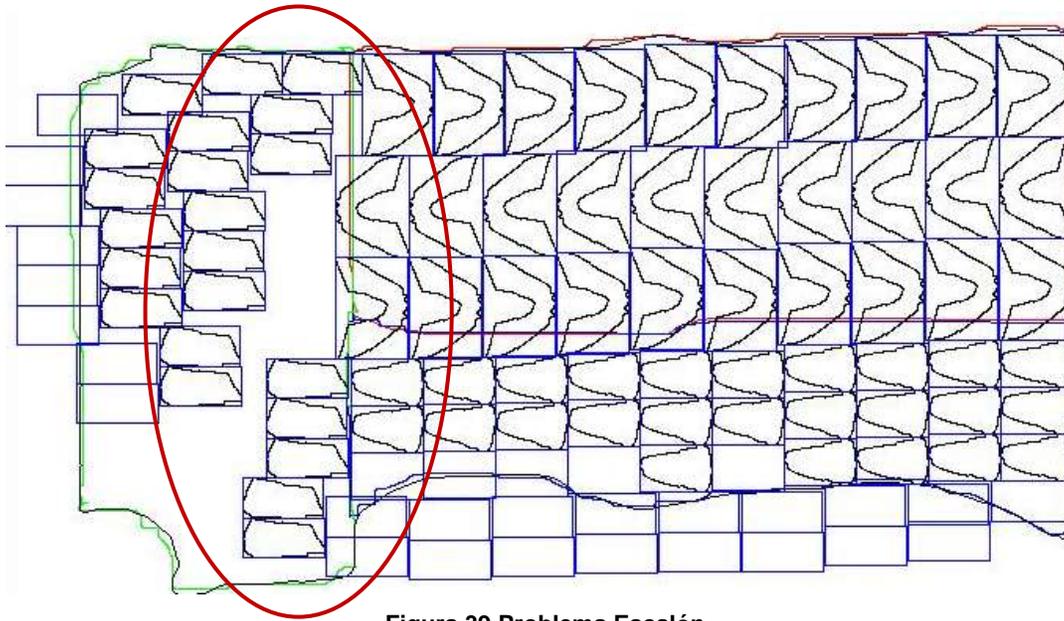
Figura 38 MegaPerfil

## 7.6 PROBLEMA ESCALÓN

Al hacer el estudio que nos permitió determinar la mejor forma de acomodo, se concluyó que acomodar las piezas por renglones es la mejor opción para minimizar el desperdicio.

Pero las piezas tienen diferentes alturas, con lo cual, los renglones se deformaban, el acomodo perdía consistencia y el aprovechamiento de espacio y el acomodo de las piezas siguientes se vio comprometido.

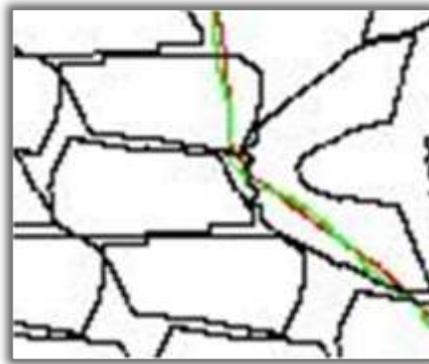
La solución a este problema es "llenar" el espacio que se genera por la diferencia de alturas entre las piezas. Para esto se verifica que la altura de las piezas sea diferente, además de que la diferencia entre los puntos más bajos de ambas piezas sea mayor que la altura de la pieza más baja. Figura 39



**Figura 39 Problema Escalón**

Para evitar que se formara el hueco, se creó un “minirenglón” el cual toma como lugar de inicio la pieza alta, en lugar de la orilla de la piel. De esta forma, al cambiar de pieza, se continúa con el renglón hasta el fin del Marco, y en lugar de iniciar el siguiente renglón en la orilla de la piel, se continúa desde la pieza alta.

Las piezas del “minirenglón” se almacenan como parte del renglón original, para mantener el orden y sirvan como referencia para los acomodos posteriores. Figura 40



**Figura 40 Caso "Escalón"**

## **7.7 MEGA PERFIL VERTICAL**

El Mega Perfil Vertical (MPV), se genera como apoyo para el acomodo de las piezas que hacen frontera con un Marco procesado anteriormente (a la derecha) del Marco actual.

De forma similar al MegaPerfil, el MPV se genera al finalizar el proceso de cada Marco, considerando en este caso las piezas que se acomodaron al límite del Marco. Para su generación se incluyen los puntos que forman el borde izquierdo de las piezas y éstas se procesan en orden vertical.

El MPV, simula el borde derecho de la piel, con lo cual, la generación de los perfiles (6º perfil) necesarios para el acomodo de las piezas que limitan con el Marco anterior se generan de forma similar al Tercer Perfil. Figura 41



Figura 41 MegaPerfil Vertical

## 7.8 REQUERIMIENTOS COMPUTACIONALES DEL SISTEMA DE ACOMODO

Para llevar a cabo el proceso de nesting es necesario que el sistema realice las siguientes tareas:

- Almacenar la información de los elementos que se requieren para el nesting, como son las pieles y los modelos de calzado
- Mantener la integridad de dicha información
- Ser compatible para interactuar con los diferentes módulos del Sistema de Corte
- Obtener la información necesaria para el proceso de nesting de forma ágil y segura
- Almacenar los resultados del proceso en para generar reportes.
- En algunos casos interactuar con el usuario para obtener y corroborar información

Para lograr lo anterior se propone lo siguiente:

- Un sistema que contenga una Base de Datos (BD) para almacenar la información.
- La posibilidad de acceder a la información de manera remota a través de una LAN.
- Utilizar el mismo formato para la información de pieles y piezas
- El sistema de acomodo seguirá las reglas heurísticas de acomodo definidas en el análisis
- El sistema se desarrollará bajo el esquema de la Programación Orientada a Objetos y la metodología de Diseño de Software RUP [43].

### 7.8.1 *Análisis de los lenguajes de programación*

Para desarrollar el software se consideró el uso de los siguientes lenguajes de programación: C++, Python y Java y se realizó un análisis de ventajas y desventajas sobre estos lenguajes:

#### 7.8.1.1 **C++**

Ventajas:

- Al compilarlo, se genera código objeto, nativo de cada máquina. Resultado: C++ es más rápido que los lenguajes interpretados.
- Permite un control total de la memoria y una capacidad de programación de bajo nivel.
- Es un lenguaje que permite crear aplicaciones de gran escala.

Desventajas:

- No es multiplataforma. Para lograr aplicaciones que se ejecuten en varios SO, se requiere de hacer adecuaciones extensas.
- No presenta una arquitectura estándar de desarrollo orientado a Internet.
- No presenta un toolkit tan rico como el de Java. Aunque hay muchas librerías en la red para C++, no son estándar del lenguaje, y algunas son de pago.

### 7.8.1.2 Python

Ventajas:

- Python es un lenguaje muy “expresivo”, es decir, los programas son muy compactos, un programa en Python suele ser bastante más corto que su equivalente en lenguajes como C++ y Java.
- Es muy legible, la sintaxis de python es muy elegante y permite la escritura de programas cuya lectura resulta fácil, en comparación con otros lenguajes.
- Puede usarse como lenguaje imperativo procedimental o como lenguaje orientado a objetos.
- Dinámicamente tipificado, ya que una instrucción de asignación envuelve un nombre que hace referencia a un objeto que puede ser de cualquier tipo, si un nombre es asignado a un objeto de cierto tipo, posteriormente este puede ser asignado a un objeto de un tipo diferente.
- Al ser un lenguaje interpretado los programas son multiplataforma

Desventajas:

- Ningún IDE te permite productividad al hacer aplicaciones graficas (ventanas, web, etc).
- No es tan rápido como C++ en el cálculo de números, lo cual lo limita en aplicaciones de alto rendimiento.
- Requiere un intérprete para correr la aplicación.
- Carencia de un verdadero soporte para multiprocesador.

### 7.8.1.3 Java

Ventajas:

- La mayoría de los programadores en Java aprovechan las ricas colecciones de clases existentes en las *bibliotecas de clases de Java*, que también se conocen como *APIs (Interfaces de programación de aplicaciones) de Java* [4]. Por lo tanto, soporta el desarrollo rápido de aplicaciones, y muchas de las tareas de un programador están resueltas en sus APIs.

- Su enfoque de programación orientado a objetos proporciona una mayor flexibilidad, modularidad y reutilización de código.
- Independencia de la Base de Datos a través del JDBC.
- El compilador, intérprete, y la ejecución contienen varios niveles de seguridad que están diseñados para reducir el riesgo de comprometer la pérdida de datos y la integridad del programa.
- En Java, la programación multihilo se ha integrado brindando la capacidad para realizar varias tareas ejecutando diferentes procesos al mismo tiempo.
- El lenguaje Java tiene un manejo eficaz de la memoria de la computadora, de tal forma que el programador no tiene que preocuparse por apuntadores, liberación de memoria que no se esté utilizando, etc.
- Debido a la popularidad de Java existen varios IDE que permiten desarrollar de una forma ágil.

#### Desventajas:

- Una vez que el código Java es compilado en código objeto, la Máquina Virtual Java, ejecuta el programa, así siendo Java un lenguaje interpretado es más lento que C++.
- Estáticamente tipificado. En Java, todos los nombres de variables junto con sus tipos deben ser declarados explícitamente.
- No es compacto; es abundante en palabras, sus instrucciones contienen varias palabras, dificultando la legibilidad del código.

#### Metodología de desarrollo

LENGUAJE	VENTAJAS	DESVENTAJAS
<b>C++</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mayor rapidez, en comparación con los lenguajes interpretados.</li> <li>• Manejo total de la memoria</li> <li>• Aplicaciones de gran escala</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No es multiplataforma.</li> <li>• En C/C++ se puede manejar la memoria casi sin ninguna restricción.</li> <li>• No presenta una arquitectura estándar de desarrollo orientado a Internet.</li> </ul>
<b>Python</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dinámicamente tipificado.</li> <li>• Lenguaje muy expresivo</li> <li>• Multiplataforma</li> <li>• Muy rápido de programar.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Carencia en el soporte para multiprocesador.</li> <li>• No es tan rápido como C++</li> <li>• Falta de robustez para aplicaciones empresariales.</li> </ul>
<b>Java</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Amplia biblioteca de clases (APIs)</li> <li>• Es independiente de la</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estáticamente tipificado, todas las variables deben ser explícitamente declaradas y no puede asignarseles un tipo de</li> </ul>

	plataforma <ul style="list-style-type: none"> <li>• Independencia del SGBD (JDBC)</li> <li>• Permite la programación multihilo</li> </ul>	dato diferente; lo que dificulta la programación. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Al ser interpretado, se pierde velocidad en tiempo de ejecución.</li> </ul>
--	---	--

Tabla 6 Comparación entre diferentes lenguajes de programación

## 7.8.2 *Análisis de los Sistemas Gestores de Base de Datos*

Para la base de datos se realizó el análisis de los siguientes sistemas gestores de Base de Datos: SQL Server, Oracle y PostgreSQL.

### 7.8.2.1 *SQL Server*

Ventajas:

- SQL Server asegura la continuidad empresarial, ya que incluye características de creación de bases de datos espejo, para aumentar la fiabilidad de las aplicaciones y simplificar la recuperación de éstas en caso de error de almacenamiento.
- Minimiza la supervisión administrativa. Declarative Management Framework (DMF) es un nuevo marco de administración basado en directivas en SQL Server, que simplifica las operaciones de mantenimiento cotidiano y reduce el coste total de propiedad al definir un conjunto común de directivas para la mayoría de las operaciones con bases de datos.
- Integra cualquier tipo de datos. SQL Server ofrece un rendimiento mejorado de las consultas y un almacenamiento de datos eficiente y rentable que le permite administrar y redimensionar grandes cantidades de usuarios y de datos.
- Tiene un costo menor que otros Sistemas Gestores de Base de Datos, pero su facilidad de uso y la tendencia de los directivos a aceptar preferentemente productos de Microsoft le dan una potencia y calidad que lo hacen una buena opción como backend de publicaciones Web de cierto tamaño, aplicaciones internet u offline, y la mayoría de aplicaciones de media escala, con volúmenes no excesivos.

Desventajas:

- Sólo corre sobre plataformas Microsoft
- No es tan robusto como otros manejadores, por ejemplo Oracle
- La licencia tiene un costo

### 7.8.2.2 *Oracle*

Ventajas:

- Oracle corre en cualquier plataforma con gran escalabilidad y estabilidad, se puede migrar en el momento que se quiera.
- Oracle permite el manejo bases de datos de cientos de Giga bytes, con varios cientos de usuarios concurrentes.

- Se pueden desarrollar pequeñas aplicaciones con el Oracle Express Database (OracleXE), basada en la versión Oracle 11gR2, esta es una base de datos gratuita y enfocada a estudiantes, áreas de capacitación y pruebas y aplicaciones de distribución gratuita.
- Soporta todas las funciones que se esperan de un servidor "serio": un lenguaje de diseño de bases de datos muy completo (PL/SQL) que permite implementar diseños "activos", con triggers y procedimientos almacenados, con una integridad referencial declarativa bastante potente.

#### Desventajas:

- La versión Oracle Express, es limitada en la capacidad de almacenamiento, uso de memoria, y número de CPU's en su servidor. No es propia para una aplicación de producción.
- El mayor inconveniente de Oracle es su precio. Incluso las licencias de Personal Oracle son excesivamente caras.
- Otro problema es la necesidad de ajustes. Un error frecuente consiste en pensar que basta instalar el Oracle en un servidor y enchufar directamente las aplicaciones clientes. Un Oracle mal configurado puede ser desesperantemente lento.
- También es elevado el coste de la formación.

### **7.8.2.3 PostgreSQL**

#### Ventajas:

- Es software libre, por lo cual su licencia es gratuita.
- Instalación ilimitada, es frecuente que las bases de datos comerciales sean instaladas en más servidores de lo que permite la licencia. Con PostgreSQL, no hay problemas de licenciamiento, puesto que no hay costo asociado a la licencia del software, esto tiene varias ventajas adicionales como la flexibilidad para hacer investigación y desarrollo sin necesidad de incurrir en costos adicionales de licenciamiento.
- Ahorros considerables en costos de operación, PostgreSQL ha sido diseñado y creado para tener un mantenimiento y ajuste mucho menor que los productos de los proveedores comerciales, conservando todas las características, como una muy buena estabilidad y un buen rendimiento en consultas con un amplio volumen de datos.
- Multiplataforma, PostgreSQL se ejecuta en casi cualquier elección de hardware y sistema operativo; está disponible en casi cualquier plataforma Unix y sistemas operativos basados en UNIX como FreeBSD, Linux y Mac OS X, está completamente integrado dentro de Solaris 10 e inclusive tiene una versión para Windows.
- En cuanto a las herramientas gráficas de diseño y administración de bases de datos, Existen herramientas gráficas de alta calidad para administrar las bases de datos ([pgAdmin](#) , [pgAccess](#)).

- Se pueden desarrollar programas para interactuar con la base de datos en varios lenguajes aparte del lenguaje nativo (PL/pgSQL), como son C, Java, C++, Python, PHP, entre otros.

Desventajas:

Técnicamente, las principales desventajas de usar PostgreSQL están en cuatro áreas.

- La capacidad que proporciona PostgreSQL con su lenguaje PL/pgSQL para escribir funciones y procedimientos almacenados es un poco más limitada que la que se conseguiría con el lenguaje PL/SQL de Oracle. A no ser que se esté desarrollando un trabajo sofisticado en procedimientos almacenados, ésta no es una seria limitación.
- Características para bases de datos muy grandes (millones de registros), como lo son los table spaces, tablas particionadas y una restricción de acceso muy robusta, son aún más fuertes en los Sistemas Gestores de Base de Datos (SGBD) propietarios.
- No cuenta con un gran soporte técnico, como ocurre con programas de código abierto, por lo tanto no se tiene la disponibilidad de un técnico para que dé solución a un determinado problema con nuestra base de datos; pero sí se tiene una enorme comunidad que siempre está dispuesta a ayudar en diferentes foros y sitios de internet.

<b>SISTEMA GESTOR DE BASE DE DATOS</b>	<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>
<b>SQL Server</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Buenas herramientas para la administración de la BD, como el DMF.</li> <li>• Se tiene un gran soporte disponible</li> <li>• Es muy estable con datos de medio nivel.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sólo corre sobre plataformas Microsoft</li> <li>• No es tan robusto como Oracle</li> <li>• La licencia puede ser cara</li> <li>• No maneja compresión de datos</li> </ul>
<b>Oracle</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es multiplataforma</li> <li>• Fácilmente escalable</li> <li>• Es más rápido en consultas que involucran conjuntos de datos muy grandes.</li> <li>• Tecnología de vanguardia.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tiene un costo elevado</li> <li>• Requiere cierto entrenamiento por parte del administrador.</li> <li>• Costo de la formación elevado</li> </ul>
<b>PostgreSQL</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es Software Libre y de código abierto.</li> <li>• Gran Estabilidad</li> <li>• Multiplataforma</li> <li>• Tiene una enorme comunidad de desarrollo</li> <li>• Desarrollo en con varios lenguajes de programación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pequeña diferencia de rendimiento en cuanto a volúmenes de consulta muy grandes.</li> <li>• La capacidad de PL/pgSQL es un poco limitada.</li> <li>• No cuenta con un gran soporte técnico por parte de una empresa</li> </ul>

Tabla 7 comparativo de MBDR

### 7.8.3 Selección del software y hardware

#### 7.8.3.1 Selección del Software

Un punto importante a considerar al seleccionar el lenguaje es que debido a la complejidad del problema, al inicio del proyecto, no era posible estimar con certeza los recursos de cómputo que el sistema iba a consumir. Buscando tener flexibilidad para migrar de Sistema Operativo, manejador de Base de Datos o equipo, -en caso de ser necesario para reducir tiempo de proceso-, a medida que avanzara el desarrollo del sistema, y así no tener que cambiar la programación, se decidió utilizar **Java** como lenguaje de desarrollo.

En lo referente al SGBD, Se eligió **PostgreSQL** como el Manejador de la Base de Datos, se puede implementar un buen diseño de la base de datos, es flexible y escalable, y corre en casi cualquier tipo de servidor y sistema operativo, aunado a su eficaz conexión con Java logrando un gran rendimiento en cuanto al tiempo de respuesta a las consultas. Cabe mencionar que al ser software libre, nos permitió empezar a trabajar con él inmediatamente y así ganamos tiempo al implementar las primeras pruebas.

Finalmente, para la elección del Sistema Operativo del Servidor, en el cual estará alojada la mayor parte de la Base de Datos, se eligió el Sistema Operativo **Linux** en su distribución Ubuntu, para el cual existe una versión nativa de PostgreSQL y con lo cual se logra una mejora en el rendimiento y la compatibilidad. Aunque aprovechando la facilidad de migración se desarrolló el sistema tanto en Windows como en Linux.

### **7.8.3.2 Selección del Hardware**

Debido a la importancia en el tiempo de respuesta de nuestro Sistema a las múltiples consultas hechas desde el programa de Nesting, se requiere tanto de una computadora capaz de proporcionar una gran rapidez de procesamiento para lograr un rendimiento óptimo, así como un servidor de base de datos que proporcione un buen rendimiento de respuesta a las consultas.

Características del Servidor:

A causa del gran almacenamiento que tendrá el sistema, ya que son muchos modelos los que maneja la empresa durante cada temporada, aunado a que cada modelo tiene un archivo asociado a las piezas derechas, un archivo asociado a las piezas izquierdas, y los modelos de las temporadas pasadas prevalecerán en la base de datos; se requiere de un servidor con 2 discos duros de 250 GB de almacenamiento, bajo la configuración Raid1 para replicar la información.

- Procesador Intel Core2 Duo, 2.13 GHz o superior
- 2GB RAM o superior
- Tarjeta Controladora de Discos Duros SATA-RAID 1
- 2 Discos Duros de 250GB o superior
- Tarjeta de red Ethernet 1GB

Características de la estación de trabajo:

- Procesador QuadCore Xeon 2.26GHz o superior
- Sistema Operativo Windows
- Tarjeta de Video Nvidia 256MB o superior
- 4 GB RAM o superior

- Disco Duro 250GB o superior
- Tarjeta de Red Ethernet 1Gb

## 7.9 REPRESENTACIÓN COMPUTACIONAL DE LOS ELEMENTOS

El paradigma de programación utilizado para el desarrollo del sistema es la Programación Orientada a Objetos (POO), en el cual, los diferentes elementos de un sistema son representados por Objetos que son generados a partir de Clases que determinan sus atributos y métodos correspondientes.

Las Clases creadas utilizadas en el sistema de acomodo se presentan a continuación:

**PiezaVirtual:** esta clase representa cada una de las piezas que conforman el modelo de zapato.

**Piel\_Virtual:** Esta clase representa la piel en la que se realiza el acomodo

**AcomodaZonasGiros:** es la clase que representa el acomodo de cada Marco

**Perfil2:** Esta clase maneja el perfil sobre el que se optimiza el espacio al acomodar cada pieza

**MegaPerfil:** Esta clase representa los objetos del tipo MegaPerfil, generados por cada renglón de piezas para guía de acomodos posteriores.

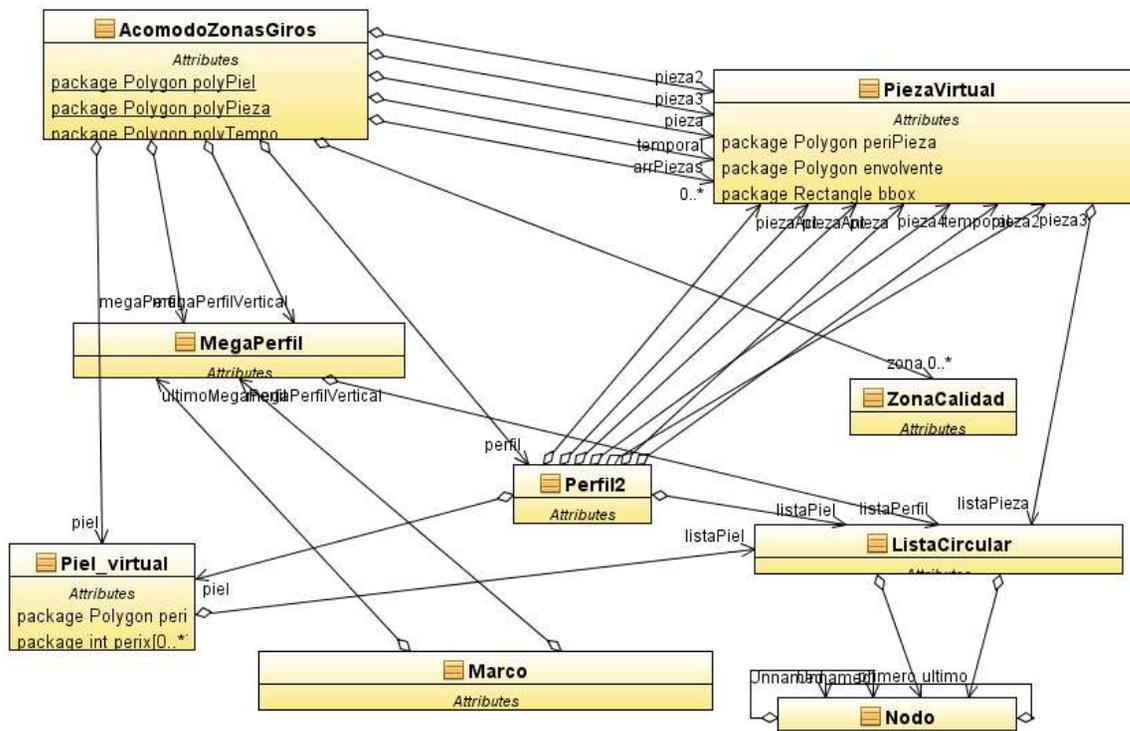


Figura 42 Diagrama de Clases

A parte de estas clases, se utilizan clases ya existentes como parte de las librerías de Java, las clases de mayor uso son:

**Polygon:** Utilizada para manejar los contornos de las piezas, las pieles, y las diferentes zonas.

Point: Se usa para generar puntos que se mueven funcionen como sensores de la ubicación de piezas, así como, delimitadores de los bounding box de cada pieza. También se usan para generar los contornos al leer contener los valores de los pares coordenados de las piezas, pieles y zonas.

Vector: Esta clase permite almacenar una serie de objetos ya sea de la misma clase o diferente, y poder acceder a ellos de forma directa por medio de un índice. La característica de un objeto Vector sobre uno de la Clase Array, es que puede crecer o disminuir su tamaño a medida que se agregan o eliminan elementos.

### 7.9.1 **Estructura de datos**

La forma de acomodo es pieza por pieza tomando como base la ubicación de las piezas anteriores. Por lo tanto, es importante tener fácil acceso a éstas piezas y sus características.

Para ello se necesitó una estructura de datos que permitiera almacenar y acceder a la información del trabajo realizado previamente para su utilización en el acomodo de la pieza actual de forma ágil.

La estructura que se eligió es lo que en términos de programación se denomina un **arreglo**, el cual se define como “una zona de almacenamiento continuo, que contiene una serie de elementos del mismo tipo”. Para su utilización se eligió crear objetos de la Clase Vector debido a que pueden crecer de forma dinámica. A partir del arreglo se diseñó la estructura para manipular la información del acomodo.

El elemento base es una pieza, las piezas se acomodan en la piel formando renglones, -como se definió en el análisis y diseño del nesting-; de forma análoga, cada renglón se almacena como un arreglo cuyos elementos son objetos pieza.

En una estructura similar, cada Marco está conformado de varios renglones, por lo que se forma por un arreglo de renglones. Igualmente la piel se conforma por Marcos, los cuales son elementos de un arreglo que representa a la piel.

Ya que cada marco se procesa de forma independiente, es necesario acceder a la información de las piezas que contiene, especialmente al acomodar las piezas de los marcos con los que tiene frontera.

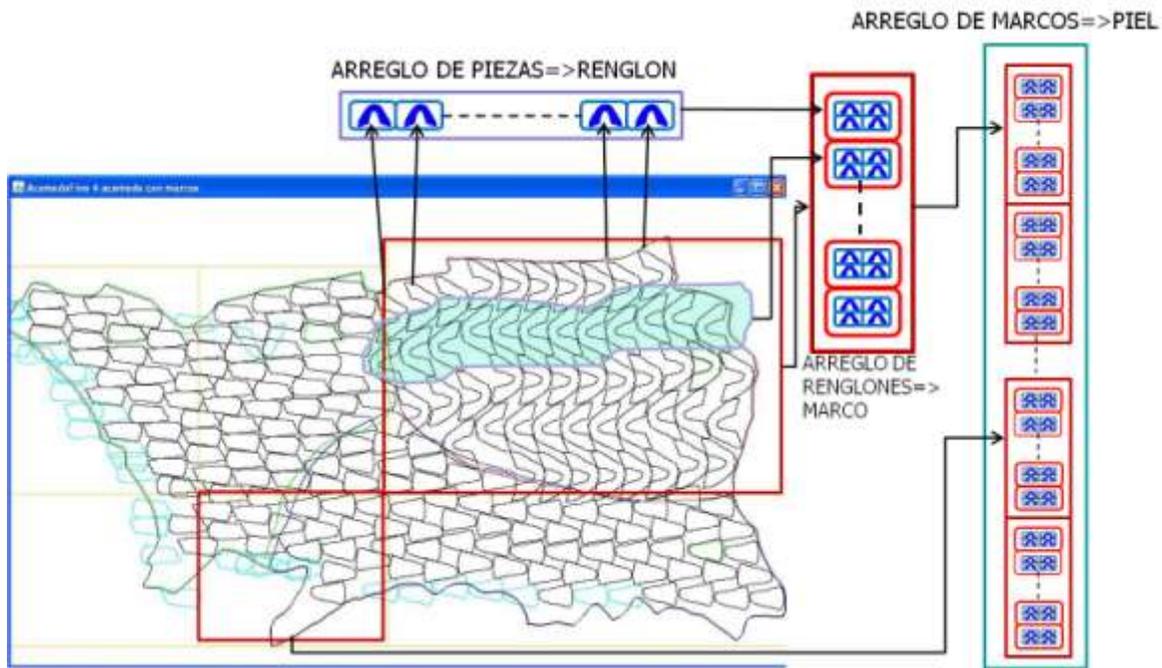


Figura 43 Estructura de Datos

Estos arreglos forman un cubo de información que se forma dinámicamente a medida que se forma el acomodo, y se mantiene en memoria de la computadora durante el mismo. Esto permite que la información necesaria para acomodar una pieza, como las piezas anteriores-, sea fácilmente ubicable y accesible para su uso. Figura 43

## 8 RESULTADOS

En primer término, se desarrolló el programa para incluir las piezas en una piel, siguiendo el esquema de acomodo establecido.

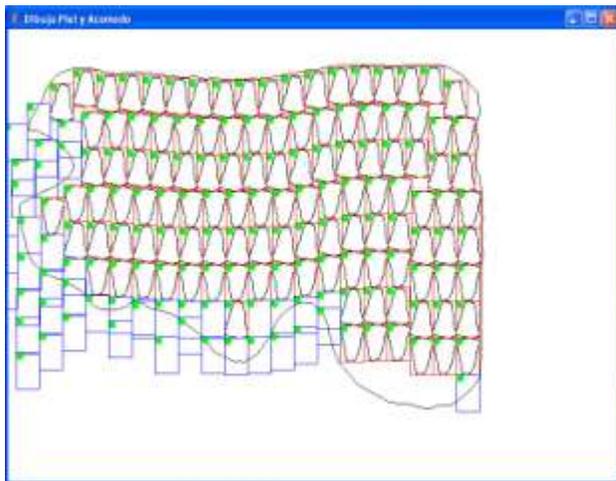


Figura 44 Primera Etapa. Acomodo de Piezas en una Piel con piezas "Virtuales"

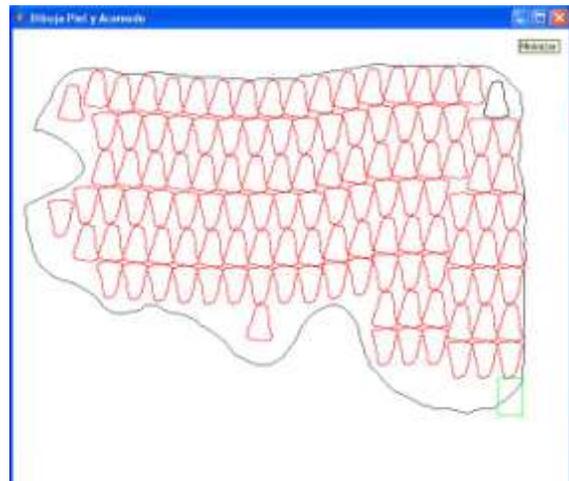
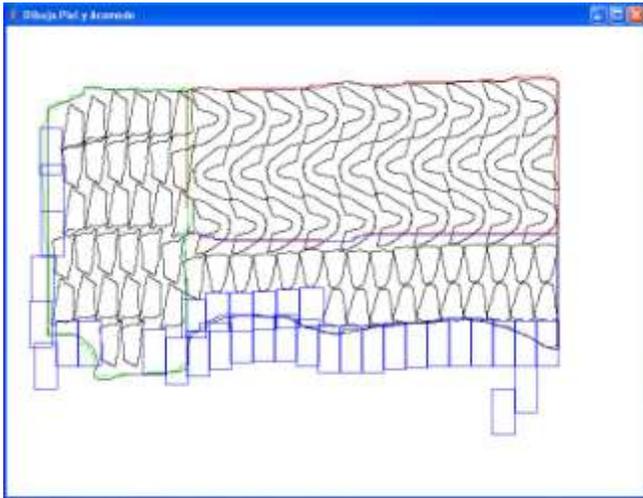


Figura 45 Primera Etapa. Acomodo en piel

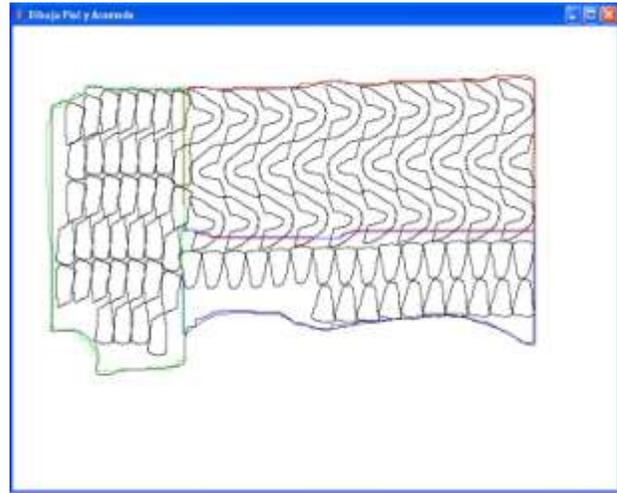
En la Figura 44 se muestra el acomodo de una pieza en una piel, se pueden observar los bounding box de las piezas, el cual sirve de base para el acomodo grueso, así como el punto P1 marcado en verde como referencia. Los cuadros vacíos son aquellos donde

se acomodó una pieza virtual, se consideran solo como referencia. La figura 45 muestra el acomodo sin los bounding box ni las piezas virtuales.

El siguiente paso fue dividir la piel en zonas de calidad y realizar el acomodo cambiando las piezas de acuerdo a las zonas. Cabe recordar que aunque las zonas están delimitadas es posible traspasar el límite hasta en un 50% del tamaño de la pieza, excepto en los defectos.



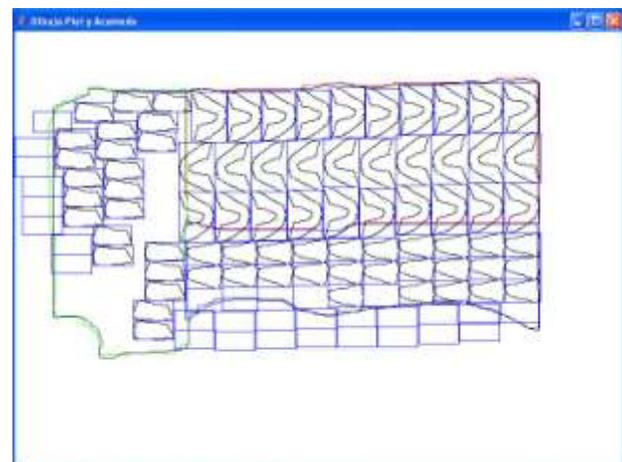
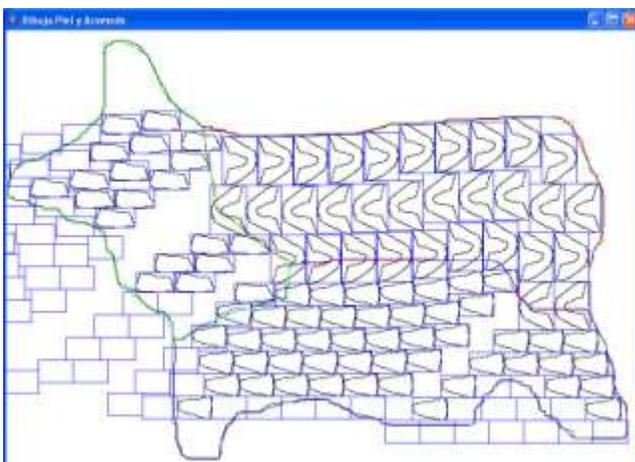
**Figura 4614 Acomodo por zonas mostrando piezas virtuales**



**Figura 47 Acomodo por zonas sin mostrar piezas virtuales**

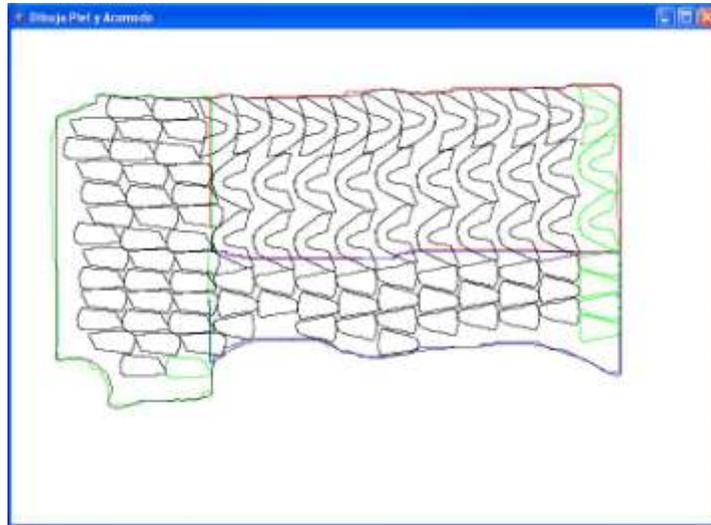
Se puede observar en las Figuras 46 y 47 como las piezas virtuales no quedan contenidas en la piel. Esto basado en el bounding box de las piezas. Al avanzar se advirtió que algunas piezas se acomodan en un ángulo diferente, por lo que se cambió su posición.

El problema del “escalón” se presentó al cambiar el ángulo de las piezas de la zona de calidad 2 pues son de menor altura que las anteriores, generando huecos no deseados. Figura 48



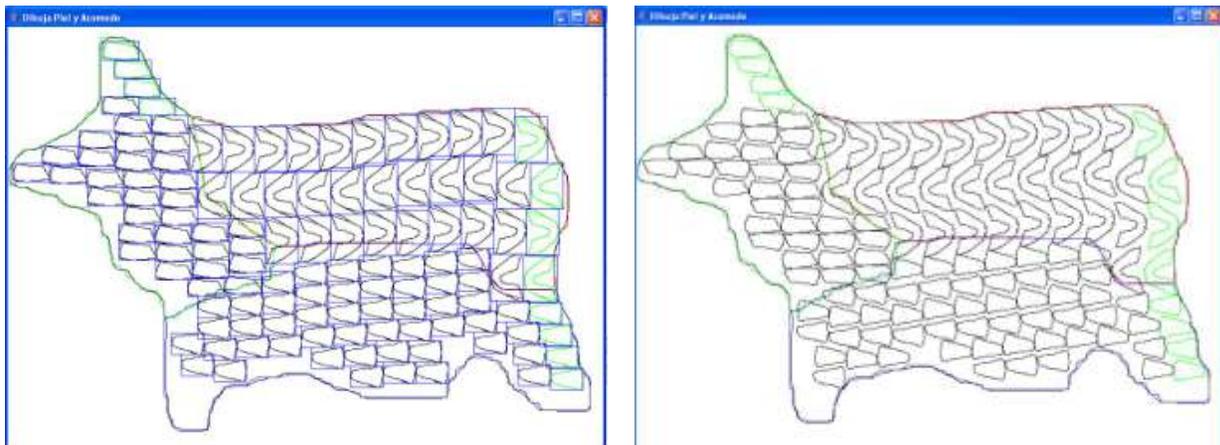
**Figura 48 Problema de "Escalón"**

Una vez que se procesó el problema del escalón el acomodo se presentó de la siguiente forma. Figura 49



**Figura 49 Problema del Escalón corregido**

La piel en la que realizaron éstas pruebas no tiene un contorno tan sinuoso como una piel real, así que se dibujó otra piel para hacer pruebas. También se acomodaron figuras con diferente orientación simulando los giros buscando un mejor acomodo.



**Figura 50 Acomodo en piel sinuosa**

Es posible observar en la Figura 50 como al acomodar las piezas con forma cóncava quedan huecos que se traducen en desperdicio de piel. Para disminuir esto se generó el acomodo Fino permitiendo disminuir el espacio entre piezas como se muestra en la Figura 51

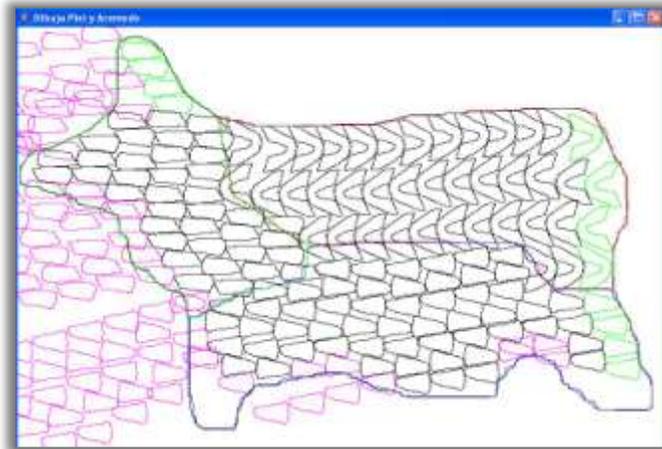


Figura 51 Acomodo con aproximación al bounding box

Comparando el resultado del Acomodo Grueso y el Acomodo fino se nota la mejora como lo muestra la Figura 52. El aumento en el número de piezas en la zona de Calidad 1 es importante como lo muestra la Tabla 8.

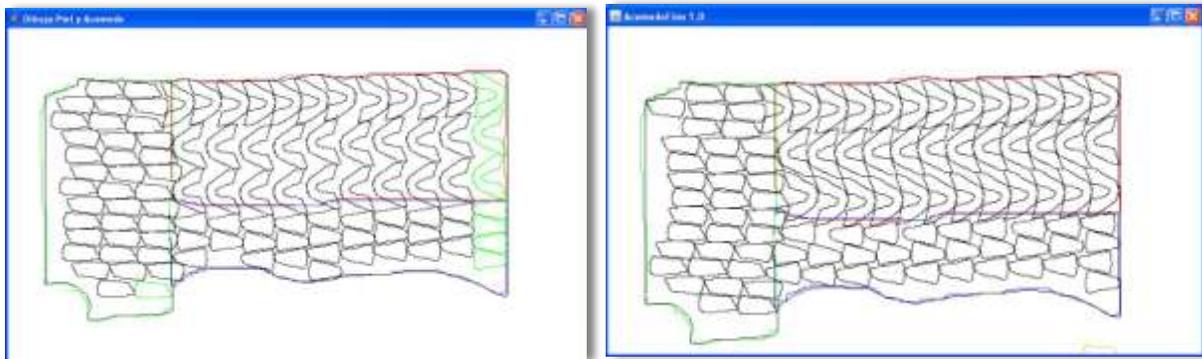
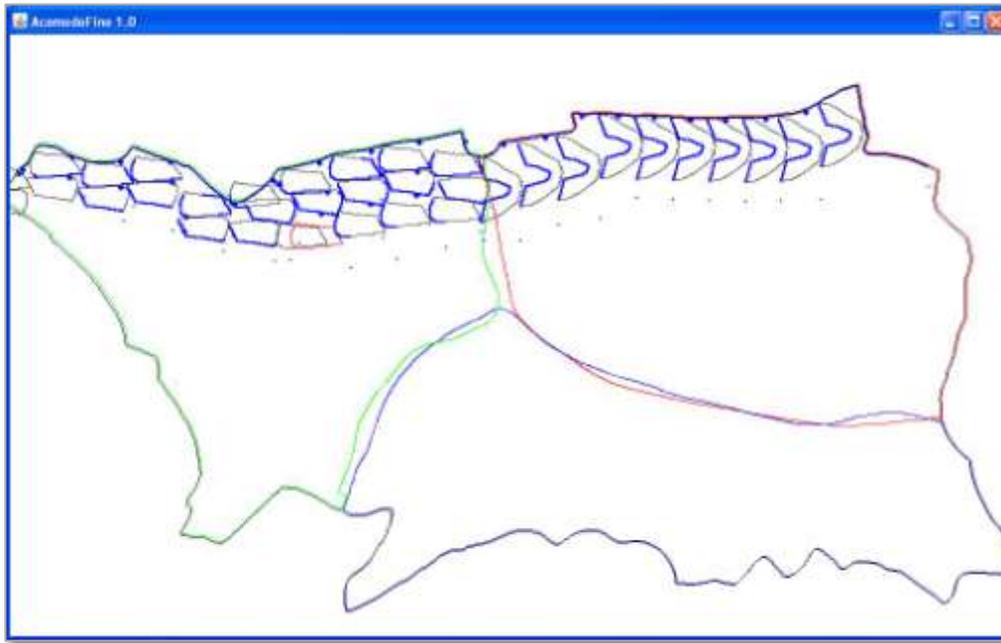


Figura 52 Acomodo Grueso vs. Acomodo Fino

ACOMODO GRUESO		ACOMODO FINO	
Zona de Calidad	Figuras Acomodadas	Zona de Calidad	Figuras Acomodadas
<b>1</b>	<b>33</b>	<b>1</b>	<b>37</b>
<b>2</b>	<b>37</b>	<b>2</b>	<b>36</b>
<b>3</b>	<b>31</b>	<b>3</b>	<b>30</b>
<b>Total</b>	<b>111</b>	<b>Total</b>	<b>115</b>

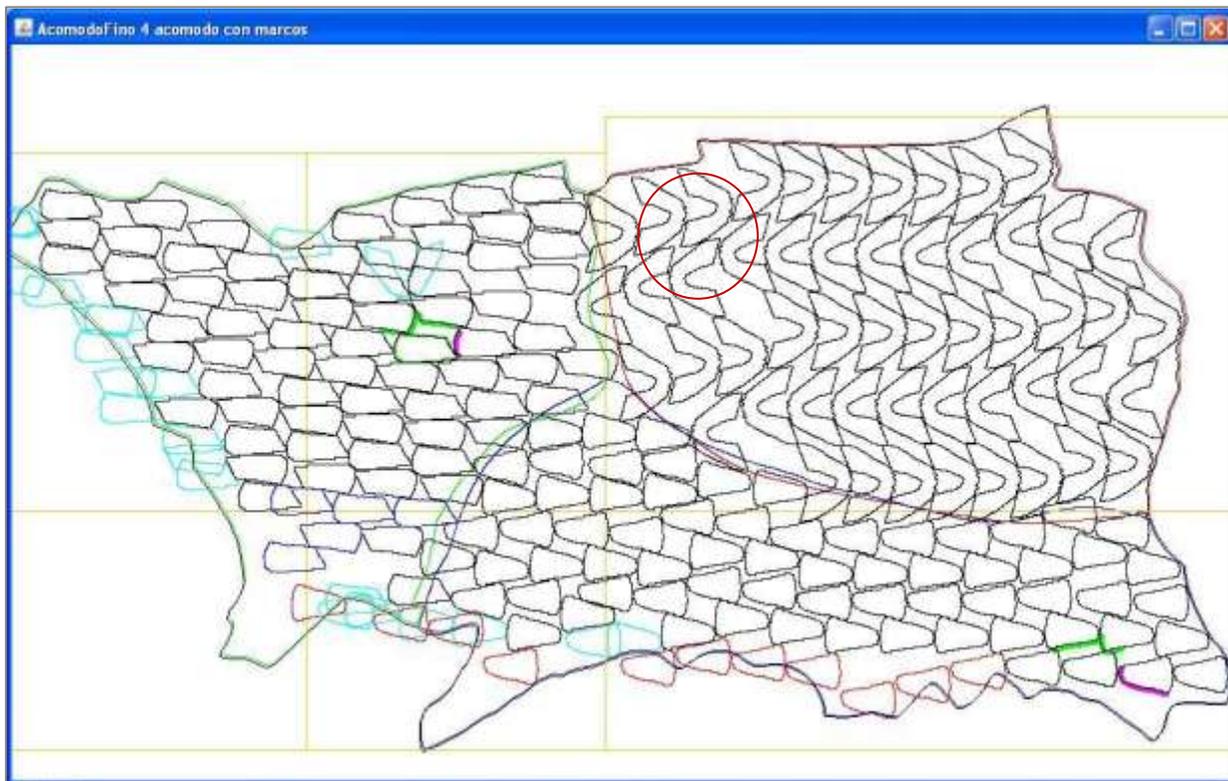
Tabla 8 Resultados de Acomodo Grueso vs. Acomodo Fino

El siguiente paso fue trabajar el programa con una piel virtual generada a partir de una piel real, además de implementar las primeras versiones del Acomodo Fino. En este paso se encontró que la sinuosidad de la piel generaba problemas al acomodar por renglones a todo lo largo de la piel. Figura 53



**Figura 53 Problema al Acomodar en Piel Real**

A partir de esto se decidió dividir la piel en Marcos y acomodarlos por separado, de tal manera que no se propagara la deformación generada por la sinuosidad de una zona de la piel.



**Figura 54 Hueco en la Zona de Calidad 1**

Como se puede observar en la figura 54, en la zona de calidad 1 se presentan huecos. Para solventar esto se revisó el procedimiento del acomodo fino, afinándose los límites

del recorrido en el área de solución. El aprovechamiento del espacio se muestra en la Figura 55

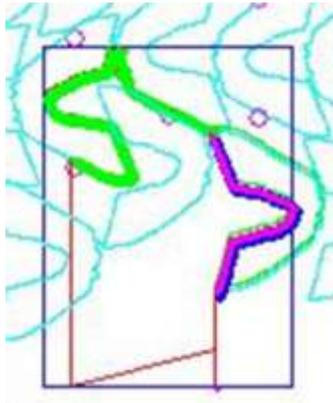


Figura 55 Corrección en el Acomodo Fino

A partir de esta etapa se pudo contar con un juego de piezas de un modelo real y a escala real. Se puede notar que las piezas reales son de mayor tamaño y de figura más sinuosa que las utilizadas anteriormente.

El resultado se muestra a continuación.

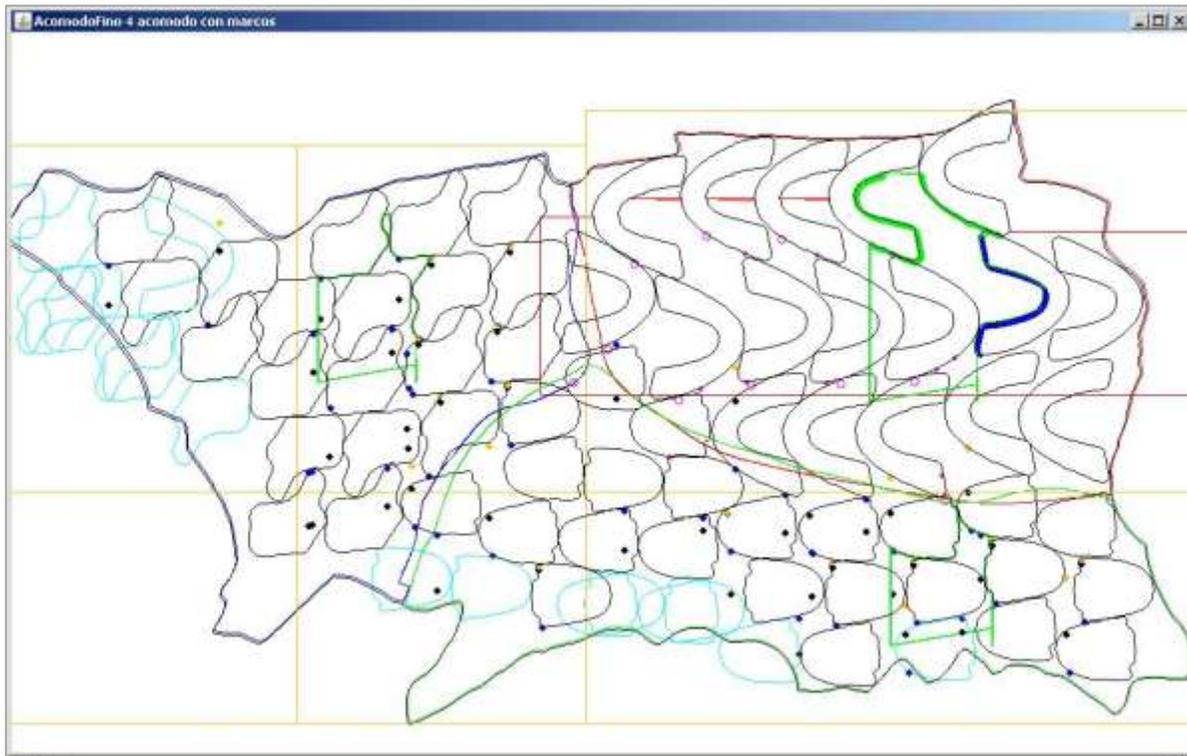


Figura 55 Acomodo con Piezas Reales y Piel real

En la figura 55 se muestra el acomodo de las piezas del modelo real y como las diferentes estructuras trabajan. Se muestra el MegaPerfil en la zona 1. Las piezas en azul son las piezas virtuales, y varios ejemplos de la generación del Perfil 4.

El acomodo de las piezas de tamaño real nos arrojó los siguientes resultados:

Zona de calidad	Cantidad de Piezas
Calidad 1	17
Calidad 2	20
Calidad 3	24

Tabla 9 Cantidad de Piezas Reales Acomodadas

El siguiente paso fue la incorporación de hacer girar las piezas para manejar las zonas de estiramiento. Hasta éste momento los ángulos de los giros de las piezas eran fijos, pero a partir de esta etapa se implementó el manejo de los giros en variaciones de  $+10^\circ$  a  $-10^\circ$ . Con esto se pudieron girar las piezas para optimizar su acomodo, como la muestra la figura siguiente.

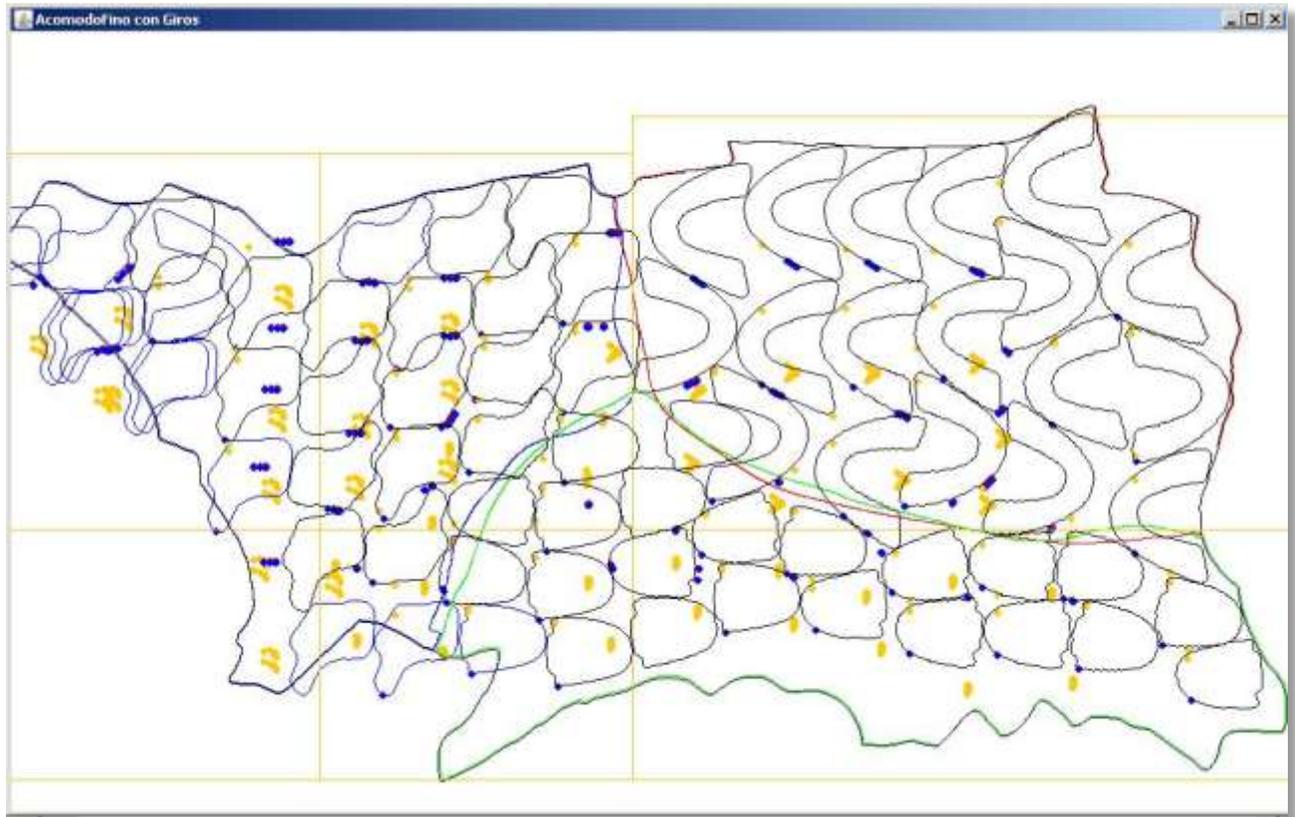


Figura 56 Acomodo con Giros sin MegaPerfil Vertical

Al incluir los giros de cada pieza se generaron más opciones de solución, permitiendo acomoda más piezas de las zonas de Calidad 1 y 2 que la versión anterior. El tiempo aproximado de este acomodo fue de 17 min. Cabe mencionar que son las zonas de piel más finas y por lo tanto su valor es mayor.

Zona de calidad	Cantidad de Piezas
Calidad 1	18
Calidad 2	21
Calidad 3	22

Tabla 10 Acomodo con Giros

Al dividir la piel en secciones para su acomodo individual es importante la optimización en las áreas limítrofes entre las diferentes secciones creadas. Para este caso se creó el Perfil Vertical.

Este perfil se crea partir de las piezas existentes en el límite del marco previo (a la derecha) y la finalidad es la de servir de referencia al acomodar las primeras piezas de cada renglón en el nuevo marco. La ventaja de este Perfil es que el acomodo se hace tomándolo como referencia, en lugar de buscar pieza por pieza del marco anterior para generar la posición de la nueva pieza. Figura 57.

Con este perfil se incrementó nuevamente el número de piezas que se acomodaron en la piel. El tiempo de acomodó se conservó alrededor de los 17 min

Zona de calidad	Cantidad de Piezas
Calidad 1	18
Calidad 2	22
Calidad 3	22

Tabla 11 Acomodo con Perfil Vertical y Horizontal

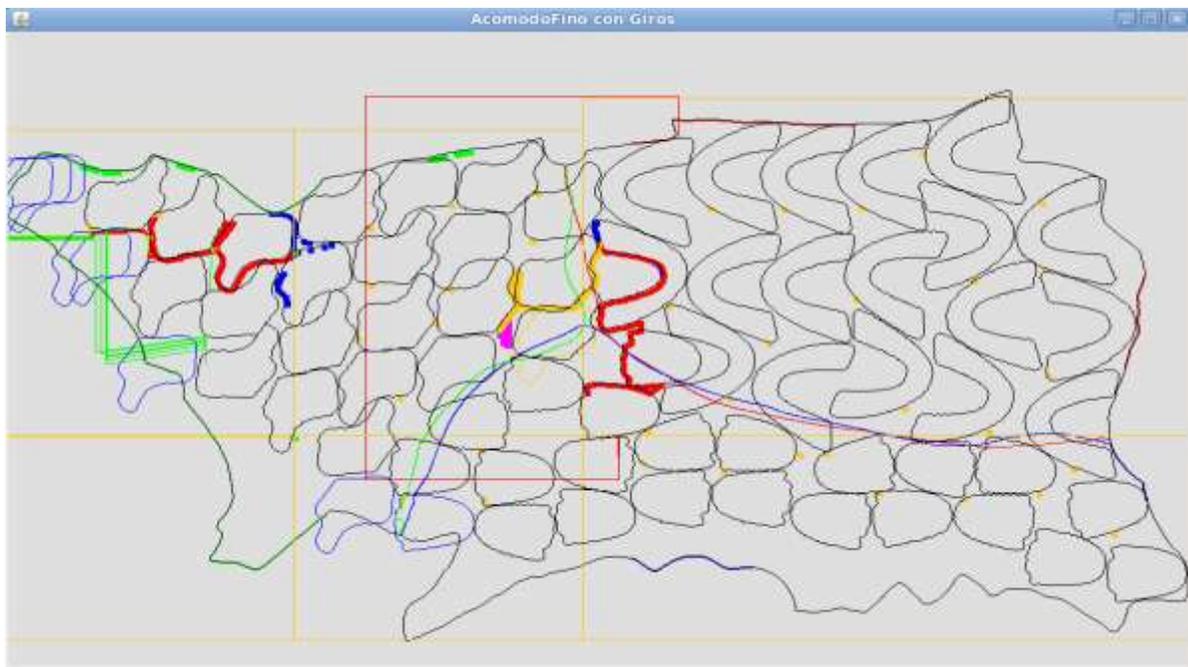


Figura 57 Acomodo con Giros con Mega Perfil Vertical

## 9 CONCLUSIONES

El manejo del proceso de acomodo previo al corte de forma digital permite que el procedimiento de producción sea dinámico y flexible pues la inclusión de nuevos modelos se puede llevar prácticamente de forma inmediata a su diseño, a la línea de producción, sin necesidad de crear elementos físicos o de capacitación a los operadores.

El proceso de acomodo desarrollado en durante el presente trabajo es novedoso y al basarse en movimientos sencillos para realizar una búsqueda exhaustiva de la mejor posición individual para llegar al mejor acomodo global, permite que el proceso se lleve a cabo en un tiempo aceptable para incorporarlo a la línea de producción.

Debido a que el desarrollo se llevó a cabo por diferentes grupos de trabajo, no se han concluido, -hasta el momento de desarrollar este documento-, todas las etapas del sistema, por lo que falta realizar la integración de los diferentes módulos para evaluar el sistema completo.

El proceso de selección de pieles no se había desarrollado para los sistemas existentes. Aunque está desarrollado a la medida para la empresa patrocinadora, la selección de las pieles previa, como parte de la automatización del proceso de corte, permite que el desperdicio se minimice al considerar más criterios de selección que únicamente el área total. El promedio de ahorro obtenido en las simulaciones de prueba realizadas es de 11.7%. Anexo I

El empleo de mecanismos heurísticos para el desarrollo del proceso de acomodo permitió que el funcionamiento del mismo siguiera las bases de la operación manual y consiguiera resultados consistentes, lo cual no es fácil de obtener con el trabajo de varios operadores diferentes, pues cada uno de ellos genera resultados diferentes en base a los criterios que toman considerando su experiencia y conocimientos.

El uso de la metodología RUP para el diseño de software permitió un avance constante en las diferentes etapas del proyecto, generando resultados consistentes en cada una de ellas.

El presente trabajo se basa en los criterios de la industria del calzado, pero las bases de operación del sistema permiten que el sistema pueda ser ajustado para generar productos de cuero en otras industrias como la peletería, o la industria automotriz o de muebles, cuyos criterios para el corte de cuero son similares.

## 10 TRABAJO FUTURO

Es importante completar la incorporación de la detección de los defectos y evitarlos de acuerdo a su gravedad en las diferentes áreas de las piezas. Aunque el momento los principios en los que se basa el sistema permiten incorporar un método básico para el manejo de defectos, es necesario hacer la detección y procesamiento en base a su gravedad y el nivel de la misma soportada por las diferentes regiones de las piezas.

Incorporar defectos

Para completar el sistema es necesario llevar a cabo un proceso para seleccionar entre diferentes piezas que pertenezcan a la misma zona de calidad para realizar el acomodo de las mismas.

Considerando la información que maneja el sistema, será importante la generación de diferentes reportes sobre las pieles utilizadas, como son su utilización, proveedores, áreas con más defectos, tiempos de proceso, etc.

Otro aspecto a desarrollar será la incorporación de los resultados del acomodo con un sistema de corte automatizado, ya sea por chorro de agua o laser, para tener automatizado el proceso de corte.

Completado el sistema sería interesante hacer una comparación con los sistemas comerciales, en cuanto a tiempo de proceso, productividad, ahorro de piel, etc.

Comparación con otros sistemas

Un trabajo a desarrollar será el rediseño de los programas para enfocarlos a un modelo orientado a Agentes Inteligentes. Este modelo permitiría hacer más flexible el sistema, así como más inteligente y con un mayor potencial pues un agente inteligente puede “aprender” y comunicarse con los demás agentes, permitiendo que puedan tomar decisiones complejas, que pueden ayudar a que el acomodo sea más eficiente.

Por otra parte el diseño con Agentes Inteligentes, permitirá detectar y procesar los huecos que se generen durante el proceso de acomodo permitiendo seleccionar piezas que puedan llenarlos

Debido a que faltan módulos por completar e integrar es necesario realizar los manuales de instalación y operación del sistema.

Existe la posibilidad de realizar los cambios necesarios al sistema para ajustarlo a empresas de diferentes ramos, que manejan cuero como material de sus productos, por ejemplo la industria automotriz, la peletería, fabricación de bolsas, trajes de motociclistas, etc.

## 11 BIBLIOGRAFÍA

- [1] Secretaría de Economía. Programa para la Competitividad de la Industria del Cuero y del Calzado. México: 2003. Disponible en: <http://www.economia.gob.mx/pics/p/p1325/Texto.pdf>
- [2] Tecnología del Departamento de Corte. CIATEC, 2008
- [3] Joyanes-Aguilar L. Programación en C, Metodología, algoritmos y estructura de datos. España. McGraw-Hill.2001.
- [4] Deitel H., Deitel P. *Cómo programar en Java*, 5ª edición. México. Pearson. 2004.
- [5] Santillán Gutiérrez S., Yu Xu Tang, Guevara Palma Luis. *Acomodo De Figuras Irregulares En Áreas Irregulares*. Memorias del XVI Congreso Internacional Anual De La SOMIM. 2010 Monterrey, Nuevo León, México.ISBN:978-607-95309-3-8
- [6] Hooper E., Turton, B.C.H. *A Review of the Application of Meta-Heuristic Algorithms to 2D Strip Packing Problems*. Artificial Intelligence Review 16: 257-300, 2001
- [7] Liu Hu-yao,He Yuan-jun.*Algorithm for 2D irregular-shaped nesting problema based in the NFP algorithm and lowest gravity center principle*. Journal of Zhejiang University SCIENCE A ISSN 1009-3095 p. 570-576.
- [8] Whelan P.F. *Automated cutting of natural products: a practical packing strategy*. Machine Vision for the Inspection of Natural Products. Springer-Verlag New York, Inc. New York ,NY, USA 2003.ISBN: 1-85233-525-4 p. 305-329
- [9] Elamvazuhi Irraivan,Kamaruddin Susana.*Automation of Nesting and Cutting Processes of Leather Furniture Production: A case Study*. International Journal of Mechanical & Mechatronics Engineering IJMME Vol: 9 No:10 p.25
- [10] B.G.Batchelor,*Intelligent Image Processing in Prolog*.Springer-Verlag,London,1991
- [11] Crispin Alan, Clay Paul,Taylor Gaynor,*Genethic Algorithm Coding Methods for Leather Nesting*.Applied Intelligence 23,9-20,2005. Springer Science + Bussines Media,Inc. 2005.
- [12] Chan Mark C.,Griffith Steven W, Iasi Anthony. *1001 Tips para programar en Java*. 1a Edición. México. Mc Graw Hill 1998.
- [13] Hardy Vincent. *Java 2D API Graphics*. United States of America. Sun Microsystem Press 2000.
- [14] Bigus Joseph P., Bigus Jennifer. *Constructing Intelligent Agents Using Java*. United States of America. Wiley 2001.
- [15] Zhang Zili, Zhang Chengqi. *Agent-Based Hybrid Intelligent System*. Germa. Springer-Verlag 2004.
- [16] Boër Claudio Roberto,Dulio Sergio. *Mass Customization and Footwear: Myth, Salvation or Reality?*. 1a Edición. Springer 2007. ISBN 978-1-84628-864-7
- [17] Footwear, Components and Leather Goods. 2014 Statistical Study. APICCAPS.(Portuguese Footwear, Components and Leather Goods Manufacturer's Association)
- [18] Dyckhoff,H. (1990). *Typology of cutting and packing problems*. European Journal of Operational Research.

## 11.1 RECURSOS ELECTRÓNICOS

- [19] <http://www.cnnexpansion.com/manufactura/articulos-de-interes/industria-del-calzado>
- [20] [http://www.ciceg.orgpdf/sector\\_datos.pdf](http://www.ciceg.orgpdf/sector_datos.pdf)
- [21] <http://www.prospecta.org.mx/mexico.html>
- [22] <http://www.sdpnoticias.com/nacional/2015/06/08/crisis-de-la-industria-del-calzado-provocada-por-el-comercio-desleal-de-china>
- [23] [http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria\\_industrial/cimmanufacturaintegradaporcomputadora/](http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria_industrial/cimmanufacturaintegradaporcomputadora/)
- [24] <http://www.cnnexpansion.com/manufactura/la-apuesta-por-el-diseno>
- [25] <http://www.sapica.com>
- [26] <http://demo.paloalto.pt/cgi-bin/eloja21.exe?myid=ziporpt&sh=/ziporpt/product/list.htm&family=0&mn=footwear>
- [27] [http://www.taglio.it/cutvision\\_eng/prodotti/1530.htm](http://www.taglio.it/cutvision_eng/prodotti/1530.htm)
- [28] [http://www.geminicad.com/leather\\_goods/production\\_lg.php](http://www.geminicad.com/leather_goods/production_lg.php)
- [29] <http://www.gerberttechnology.com/>
- [30] <http://www.hidesaver.com>
- [31] [http://softsurfer.com/Archive/algorithm\\_0109/algorithm\\_0109.htm#Graham%20Scan](http://softsurfer.com/Archive/algorithm_0109/algorithm_0109.htm#Graham%20Scan)
- [32] [http://www.beart.org.uk/?page\\_id=63](http://www.beart.org.uk/?page_id=63)
- [33] <http://www.elitron.com/products/specifications/booster/>
- [34] <http://www.dei.uc.edu.py/tai2002/BDOO/index.html>
- [35] [http://store.nike.com/us/en\\_us/?l=shop,nikeid](http://store.nike.com/us/en_us/?l=shop,nikeid)
- [36] <http://www.cueronet.com/glosario/glosarioc.htm>
- [37] <http://www.microsoft.com/spain/medianaempresa/products/sql/evaluate.msp#topBenefits>
- [38] [http://soporte.tiendalinux.com/portal/Portfolio/postgresql\\_ventajas.html](http://soporte.tiendalinux.com/portal/Portfolio/postgresql_ventajas.html)
- [39] [http://searchenterprise.linux.techtarget.com/tip/0,289483,sid39\\_qci1222466,00.html](http://searchenterprise.linux.techtarget.com/tip/0,289483,sid39_qci1222466,00.html)
- [40] <http://ict.udlap.mx/people/ingrid/Clases/IS211/Listas.html>
- [41] <http://trade.nosis.com/es/Comex/Importacion-Exportacion/Mexico/calzado-polainas-y-articulos-analogos-partes-de-estos-articulos/MX/64>
- [42] [http://www.economia.gob.mx/files/comunidad\\_negocios/industria\\_comercio/informacionSectorial/calzado\\_170114.pdf](http://www.economia.gob.mx/files/comunidad_negocios/industria_comercio/informacionSectorial/calzado_170114.pdf)
- [43] [https://www.ibm.com/developerworks/rational/library/content/03July/1000/1251/1251\\_bestpractices\\_TP026B.pdf](https://www.ibm.com/developerworks/rational/library/content/03July/1000/1251/1251_bestpractices_TP026B.pdf)

## 12 ANEXO I SIMULACIONES DE SELECCIÓN DE PIELES

<b>NÚMERO DE PARES</b>	<b>ÁREA REQUERIDA (dm2)</b>	<b>ÁREA ENTREGADA (dm2)</b>	<b>ÁREA DIFERENCIA (dm2)</b>	<b>PORCENTAJE SOBRENTE (%)</b>
<b>20</b>	778.612	853	74.388	9.55
<b>30</b>	1167.918	1328	160.082	13.71
<b>40</b>	1557.224	1922	364.776	23.42
<b>45</b>	1751.877	2011	259.123	14.79
<b>50</b>	1946.53	2337	390.47	20.06
<b>60</b>	2335.836	2599	263.164	11.27
<b>65</b>	2530.489	2763	232.511	9.19
<b>70</b>	2725.142	2940	214.858	7.88
<b>100</b>	3893.06	4214	318.94	8.19
<b>150</b>	5839.59	6221	381.41	6.53
<b>200</b>	7786.12	8417	630.88	8.10
<b>250</b>	9732.65	10511	778.35	8.00
<b>300</b>	11679.18	12448	768.82	6.58

