



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**Desarrollo de un software para optimizar  
el proceso de búsqueda de cuero en la  
fabricación de calzado**

**TESIS**

Que para obtener el título de  
**Ingeniero en Computación**

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

Ernesto Gutiérrez Zagal

**DIRECTOR DE TESIS**

Dr. Marco Antonio Negrete Villanueva



**Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2019**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

# Agradecimientos

*A mis padres que me han apoyado en todo y me han brindado todo su amor, son una inspiración para solventar cualquier obstáculo que se presente en la vida.*

*A mi hermana que con su empeño demuestra y contagia el no rendirse.*

*A la UNAM que ha sido parte de mi vida desde la infancia y a la Facultad de Ingeniería que me dio los conocimientos a través de los profesores, compañeros y amigos a lo largo de la carrera.*

*A todos mis familiares y amigos que de alguna forma me incentivaron a finalizar la tesis y en especial a Claudia quien siempre me apoyó y ayudó en este camino.*

# Índice

<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
Definición del problema .....	1
Antecedentes.....	2
Justificación .....	2
Objetivo general.....	3
Objetivos específicos .....	3
Consideraciones .....	3
Estructura de la tesis .....	4
<b>LA INDUSTRIA DEL CALZADO .....</b>	<b>5</b>
1.1 El calzado en México a través de los años .....	5
1.2 La industria mexicana del calzado en la actualidad.....	6
1.2.1 Importancia económica .....	8
1.2.2 Exportaciones .....	8
1.2.3 Importaciones.....	10
1.2.4 Problemática .....	12
1.2.5 Acciones tomadas para impulsar a la industria .....	14
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>15</b>
2.1 Proceso de fabricación del calzado .....	15
2.1.1 Etapa de corte de las pieles (Nesting).....	16
2.2 Descripción del problema .....	17
<b>ESTADO DE LA TÉCNICA.....</b>	<b>21</b>
3.1 Tecnología usada para el manejo de la piel .....	21
3.2 Tipos de soluciones en el mercado .....	22
3.2.1 Solución in-line.....	22
3.2.2 Solución off-line.....	22
3.3 Soluciones disponibles para la selección de pieles .....	23
<b>DISEÑO DE LA SOLUCIÓN .....</b>	<b>25</b>
4.1 Elementos considerados en el proceso de fabricación .....	25
4.1.1 Características de la piel .....	25
4.1.1.1 Zonas de calidad .....	27
4.1.1.2 Defectos .....	27
4.1.1.3 Estiramiento.....	29
4.1.1.4 Fecha de almacenamiento .....	30
4.1.1.5 Acabado .....	30
4.1.2 Características de las piezas .....	30
4.1.2.1 Geometría.....	30
4.1.2.2 Zona de calidad .....	31
4.1.2.3 Tamaño .....	31
4.1.2.4 Estiramiento.....	31

4.1.2.5 Tolerancia a imperfecciones.....	32
4.1.3 Características del zapato.....	32
4.1.3.1 Estilo.....	32
4.1.3.2 Material.....	33
4.1.3.3 Modelo.....	33
4.1.3.4 Cortabilidad.....	33
4.1.3.5 Mezcla.....	34
4.1.4 Características de una orden de producción.....	37
4.2 Consideraciones previas.....	37
4.2.1 Distribución del sistema de información.....	37
4.2.1.1 Módulo de captura de la piel.....	38
4.2.1.2 Diseño del zapato.....	39
4.2.1.3 Generación de la orden de trabajo.....	39
4.2.1.4 Selección de rollos de piel.....	39
4.2.1.5 Nesting.....	39
4.3 La selección de pieles como generador de desperdicio.....	40
4.3.1 Desperdicio directo.....	40
4.3.2 Desperdicio indirecto.....	41
4.3.3 Análisis de los tipos de desperdicio.....	44
4.4 Desarrollo de la solución.....	45
4.4.1 La idea inicial.....	45
4.4.2 La entrada.....	46
4.4.3 Método de solución.....	47
<b>DESARROLLO DE LA APLICACIÓN.....</b>	<b>59</b>
5.1 Análisis de los recursos de software.....	59
5.1.1 Requisitos de la aplicación.....	59
5.1.2 Análisis de la metodología de desarrollo de software.....	60
5.1.2.1 Clasificación de las metodologías según el modelo de proceso.....	61
5.1.3 Análisis sobre el tipo de aplicación.....	63
5.1.4 Análisis del lenguaje de programación.....	64
5.1.5 Análisis de la base de datos.....	67
5.2 Selección de herramientas.....	69
5.2.1 Selección de la metodología de desarrollo.....	69
5.2.2 Selección de software.....	70
5.3 Diseño de la base de datos.....	71
5.3.1 Diseño conceptual.....	71
5.3.2 Diseño lógico.....	72
5.3.3 Diseño físico.....	73
5.4 Diagrama de clases.....	74
5.5 Interfaz de usuario.....	76
<b>PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....</b>	<b>78</b>
6.1 Pruebas.....	78
6.1.1 Simulación 1.....	78
6.1.2 Simulación 2.....	81
6.1.3 Simulación 3.....	84

6.2 Análisis del procedimiento de selección de pieles no optimizado.....	87
6.3 Análisis de resultados de las simulaciones.....	89
<b>DISCUSIÓN .....</b>	<b>91</b>
Conclusiones .....	91
Trabajo futuro .....	93
Referencias.....	94

# Introducción

El sector de la industria del calzado permite una gran versatilidad ya que abarca el procesamiento de una gran variedad de materiales (textiles, plástico, caucho, cuero, corcho, madera y materiales trenzados) y genera diferentes tipos de productos como lo es el calzado de uso común, utilizado en la vida cotidiana por adultos y niños, y productos más especializados, como el calzado para la práctica de algún deporte, calzado con fines médicos y de uso industrial entre otros. Esta diversidad de productos es un fiel reflejo de la multitud de procesos industriales, empresas y estructuras de mercado que interactúan dentro de esta noble industria.

Con una historia de más de 400 años en México, la fabricación de calzado es una importante actividad comercial con renombre y prestigio que tiene fuerte impacto en la economía del país.

La industria del calzado en México se ha visto fuertemente golpeada por la competencia desleal a la que se enfrenta, como lo es el ingreso al país de calzado de manera ilegal, principalmente proveniente de China, así como la práctica de reetiquetado que llevan a cabo compañías transnacionales, adquiriendo productos de países como Vietnam e Indonesia a bajo costo para posteriormente asignarles la marca de la compañía por lo que el impuesto que deben de pagar es mucho menor.

## Definición del problema

La puesta en producción de un modelo de zapato es el resultado de un largo y complejo proceso de análisis e investigación que logra que diferentes insumos se transformen en un producto comercialmente viable. En esta etapa inicial se especifica el tipo de material y en qué proporción deberá ser utilizado.

El cuero es el material más costoso dentro de la industria del calzado por lo cual se requiere aprovechar de la mejor manera las diferentes propiedades que la caracterizan.

Respetar las especificaciones de selección de cuero que dicta el área de diseño es fundamental para fabricar el producto tal y como fue planeado, pero existen distintos factores que actualmente afectan este objetivo:

- El proceso de selección de pieles se lleva a cabo de forma manual.
- El personal entrega una mala selección de pieles que serán cortadas.

Estos factores producen:

- Falta de flexibilidad en la creación de nuevos modelos.
- Incremento en el costo del producto final.
- Uso inadecuado de la piel.

## **Antecedentes**

La inserción de nuevas tecnologías dentro de los procesos industriales es hoy por hoy un hecho, esto ayuda a las empresas a fortalecerse para mantener su competitividad dentro del mercado. Como parte de esta revolución tecnológica, la industria del calzado también busca estar a la vanguardia, por lo que hace uso de: sistemas CAD para llevar a cabo el diseño digital del zapato, impresión en 3D para la elaboración de hormas, sistemas de visión por computadora que emplean complejos algoritmos de inteligencia artificial para el acomodo y corte de piezas en un rollo de piel.

La piel al ser un producto de origen animal es única e irrepetible y es considerada como el principal insumo, actualmente no se cuenta con algún software que se enfoque en llevar a cabo un óptimo proceso de selección de pieles previo al proceso de corte.

## **Justificación**

En la búsqueda de un nivel de competitividad de clase mundial, una de las empresas más importantes de calzado en nuestro país ha establecido un convenio con el Centro de Diseño Mecánico e Innovación Tecnológica de la Facultad de Ingeniería de la UNAM para llevar a cabo un proyecto que consiste en la automatización del proceso de corte, el cual se dividió en 3 subprocesos:

- 1.- Digitalización de las hojas de piel o cuero a través de un sistema de cámaras que permita identificar el área y el contorno de toda su superficie, así como el de sus zonas de calidad, sus defectos y líneas de estiramiento.
- 2.- Implementación de una solución que garantice una correcta selección de pieles considerando la cortabilidad (ver glosario de términos) del modelo.



3.- Automatización del proceso de acomodo de piezas sobre la piel para su posterior corte.

El presente trabajo se enfoca en dar solución al problema de selección de rollos de piel, posteriormente se integrará con el desarrollo hecho a los otros dos subprocesos que han sido asignados a otros equipos de trabajo y de esta forma tener una solución conjunta y robusta.

## **Objetivo general**

Lograr la automatización del proceso de selección de rollos de piel necesarios para la fabricación de zapatos que permita aprovechar de manera adecuada las pieles existentes en el almacén para la producción de una orden de trabajo.

## **Objetivos específicos**

- Reducir los costos de producción de las órdenes de trabajo.
- Aumentar el aprovechamiento del cuero, disminuyendo el área total de desperdicio por cada piel procesada.
- Disminuir el tiempo de selección de pieles.
- Facilitar el acomodo de las piezas a cortar sobre la piel de acuerdo con las características de estas.
- Propiciar que todas las piezas cortadas correspondan a la calidad requerida por el diseño.

## **Consideraciones**

Para llevar a cabo la solución de la problemática a través de una aplicación de software se tiene presente que se integrará con otras etapas de operación, en específico con el proceso de nesting (*ver 2.1.1*). Lo anterior implica que es necesario estandarizar la entrada y la salida de datos para que haya una correcta comunicación entre los módulos.

Debido a que la solución para la selección previa de material dependerá de los lineamientos que establece la empresa patrocinadora se diseñará la aplicación a la medida del problema.

## **Estructura de la tesis**

El capítulo 1 “La Industria del calzado” describe de forma resumida la historia e importancia que gira alrededor del zapato tomando como punto de partida un enfoque global y posteriormente se detalla la situación que se presenta en México, donde se considera la gran problemática a la que se enfrenta la industria del calzado nacional, así como las acciones implementadas para salir adelante.

El capítulo 2 “Planteamiento del problema” describe el proceso de fabricación del calzado y se presenta una explicación detallada de los conceptos básicos. Se resalta la importancia que tiene lograr una correcta selección de rollos de piel para poder aprovechar la mayor cantidad de material y generar menor desperdicio.

El capítulo 3 “Estado de la técnica” expone los avances tecnológicos usados por la industria del calzado para sus procesos de fabricación de un zapato.

El capítulo 4 “Diseño de la solución” describe los puntos a considerar para el planteamiento de la solución. Se hace un análisis y se presenta la metodología que se ha de seguir para optimizar la selección.

El capítulo 5 “Desarrollo de la aplicación” presenta un análisis de las herramientas de software que se han de utilizar, así como el planteamiento de la base de datos.

El capítulo 6 “Pruebas y análisis de resultados” muestra ejecuciones de la aplicación con distintos escenarios y se hace un estudio de los resultados.

Finalmente se incluye el apartado de discusión donde se encontrarán las conclusiones del trabajo realizado y las fuentes consultadas

# CAPÍTULO 1

## La industria del calzado

A través de la historia de la humanidad, se ha observado cómo el ser humano ha intentado encontrar la manera de hacer más confortable su día a día, gracias a su curiosidad, imaginación, ingenio e inteligencia ha logrado crear utensilios, máquinas y herramientas que le ayudan a resolver problemas, logrando de esta forma satisfacer de la mejor manera las necesidades de alimentación, vestido, vivienda por solo mencionar algunas. Entre esas necesidades inherentes al ser humano, se encuentran las de poder cubrirse los pies, con el objetivo de protegerse de las inclemencias del clima, de lo agreste del terreno y de posibles accidentes con flora y fauna de la región.

En los siguientes párrafos se mencionarán las características del calzado en las principales civilizaciones de la humanidad, con el objetivo de conocer la transformación del calzado y su importancia.

### 1.1 El calzado en México a través de los años

El calzado ha sufrido transformaciones desde su invención, principalmente por el contexto histórico, político y social que se presentaba en cada época. Los materiales empleados, el proceso de fabricación y el aspecto estético del calzado han ido variando con el tiempo y también, de acuerdo con la ubicación geográfica en donde ha sido elaborado.

Gracias a los restos arqueológicos encontrados, como pinturas murales, dinteles, tallas pétreas de deidades o guerreros, motivos en objetos cerámicos, diversos códices, descripciones de los misioneros que llegaron con la conquista y hallazgos en diversas cuevas, se ha evidenciado que el calzado mexicano existe desde tiempos prehispánicos. El calzado no era muy usual entre la población común que generalmente iban descalzos, fue un símbolo de condición social y denotaba el rango de quien lo portaba. Lo más común era una sandalia llamada *cactli*, hecha de diferentes materiales de acuerdo para quien estaba destinada; se usaban fibras vegetales trenzadas, piel de jaguar, con suela de cuero de venado y cordón de cáñamo. Podía convertirse en una prenda muy lujosa acorde con la jerarquía del portador y en ocasiones era decorada con oro, plumas y pieles teñidas.

Los conquistadores que llegaron a nuestro país tenían una gran necesidad de calzado, la mayoría de ellos no traían consigo otro par de zapatos. Estos hombres no encontraron en el territorio ganado apto para ofrecer pieles para la manufactura de zapatos, por lo que los primeros zapateros de la Nueva España se dedicaron a la compostura de calzado más que a la manufactura del mismo. Fue hasta 1529 cuando se fundó la primera curtiduría del país. [1]

Hasta el siglo XIX se consideraba que la utilización de calzado era un privilegio, por lo que sólo una parte de la población usaba zapatos, mientras que el resto de los habitantes acostumbraban a portar sandalias o andar descalzos.

Fue hasta finales del siglo XIX cuando comenzaron a establecerse fábricas y talleres de calzado. A principios del siglo XX se afianza la industria del calzado del país, asentándose en las ciudades de León, Guadalajara y el Estado de México.

Durante los primeros años de la industria, la elaboración de calzado era fundamentalmente una actividad familiar. A partir de los años 40's se inició la mecanización de los procesos de producción de calzado y los pequeños talleres familiares comenzaron a transformarse en fábricas con sistemas de producción en serie.

En los años 50's la industria se moderniza, incorpora los principios técnicos traídos de Estados Unidos y Europa, este impulso tecnológico hizo posible que en los 60's se pudiera integrar un sistema nacional de producción y comercialización, y se dio origen a las ferias y exposiciones nacionales de calzado.

En la década de los 60's se inició la exportación de la industria del calzado llegando a alcanzar en 1979 un volumen de exportación de once millones de pares de zapatos. Desde 1982 a la fecha se realizan esfuerzos para transformar la estructura de la cadena productiva del calzado a fin de convertirla en una industria eminentemente exportadora.

## **1.2 La industria mexicana del calzado en la actualidad**

La fabricación de calzado mexicano es una actividad comercial de renombre y prestigio para el país, tiene una historia de más de 400 años que han servido para perfeccionar esta industria y lograr así una cadena productiva en proveeduría-cuero-calzado, que es sumamente competitiva.

Los procesos de producción actuales se caracterizan por el uso intensivo de mano de obra, esta situación ha dado pie al surgimiento de un gran número de fabricantes, muchos de los cuales constituyen talleres familiares con una producción muy baja y con tecnología obsoleta.

La industria del calzado en México es heterogénea, por un lado, existen empresas que unifican procesos altamente tecnificados con la experiencia de un trabajo manual y por otro lado existen talleres con sistemas totalmente artesanales y que cuentan con maquinaria obsoleta. Así, se distinguen cuatro niveles tecnológicos de producción en la industria del calzado: el artesanal, los talleres familiares, las empresas medianamente mecanizadas y las altamente mecanizadas y competitivas que siendo una minoría, representan un 15% de la producción del país. [2]

Se localizan fábricas de calzado distribuidas en 16 estados de la república, no obstante, los tres principales polos de producción son Guanajuato, Jalisco y Estado de México. Es en estos tres estados donde se localizan las mayores organizaciones industriales zapateras que constituyen la voz de los industriales mexicanos del sector y que vienen desarrollando en los últimos años una intensa actividad de promoción, desarrollo y modernización de las empresas que tiene como objetivo aumentar sus niveles de competitividad para actuar de forma ventajosa en el mercado internacional.

En la industria del calzado mexicano predominan las empresas nacionales sobre las transnacionales, pero la industria del calzado tiene que rivalizar con países especializados y competitivos como lo son España, Italia y Brasil que producen calzado que está a la vanguardia en diseño, moda y acabados, y también se tiene que competir con los países de la Cuenca del Pacífico, quienes han obtenido ventaja con la utilización de nuevos materiales (plásticos) que reducen los costos y tienen precios competitivos, además de contar con una vocación exportadora que afecta a México.

México compite con los productos asiáticos en los mercados internacionales de calzado de precios bajos, donde las ventajas de costos son notables. En el mercado de productos de alta calidad y vanguardia compite con el calzado europeo, y en calzado medio con Brasil.

Concepto	Volumen	Ranking Mundial
Producción nacional	260 millones de pares	9
Consumo interno	321 millones de pares	15
Consumo promedio por persona al año	2.6 pares	-
Importaciones	88.09 millones de pares	31
Exportaciones	26.35 millones de pares	28

**Tabla 1.1** *Industria del calzado mexicano 2017* [3]

### 1.2.1 Importancia económica

La industria del cuero y el calzado tiene un importante impacto en la economía general del país debido a su participación en el PIB, por el número de empleos que genera y porque tiene un efecto multiplicador sobre otros sectores económicos. Es por lo que resulta significativo saber cuál es la influencia que esta gran industria tiene en el comercio, las finanzas y la competencia a nivel regional.

Según referencias del INEGI, la industria del cuero-calzado participa con el 0.10 % del Producto Interno Bruto (PIB) nacional, además tiene una aportación de 0.17% del PIB considerando la cadena productiva de proveeduría – cuero – calzado.

La industria del zapato genera aproximadamente 400,000 empleos de forma directa e indirecta. [4]

### 1.2.2 Exportaciones

Las exportaciones de calzado, como muchas otras áreas productivas de nuestro país, son altamente dependientes del mercado de Estados Unidos; esta relación, aunque provechosa, puede ser volátil. Una pequeña contracción del mercado estadounidense, sin duda puede provocar que nuestros mercados disminuyan con una magnitud mucho mayor, por lo que México tiene que aumentar su cartera de clientes en lo que a países consumidores de calzado se refiere. Los mercados potenciales, de acuerdo con el rango medio de precio de exportación, son los países europeos, con quienes además se tienen tratados comerciales.

Otro factor por tomar en cuenta al momento de exportar a los países del norte es que, debido a las bajas temperaturas de estas latitudes, utilizan un calzado especial para los meses fríos, el cual quizá sea difícil de producir con la capacidad instalada. Un cambio de tecnología para producir calzado de invierno tendría que evaluarse

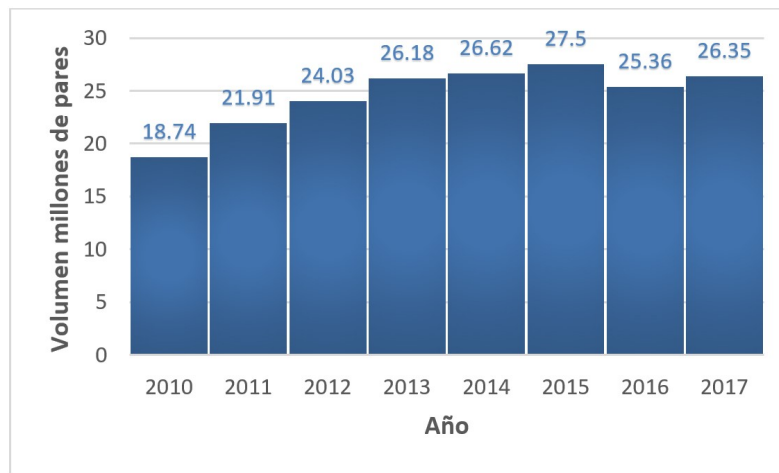
con mucho cuidado debido a la preponderancia del mercado interno ya que zapatos y botas diseñadas para bajas temperaturas podrían ser poco consumidas localmente.

En la tabla 1.2 se observa el listado de los principales países a los que México exporta zapatos.

<b>Mercados de exportación</b>	<b>Volumen (pares)</b>	<b>Valor (dólares)</b>	<b>Costo prom. (dólares)</b>	<b>Participación (%)</b>
Estados Unidos	19,184,711	362,805,141	18.91	72.81
Singapur	1,726,803	43,109,412	24.96	6.55
Guatemala	1,360,136	12,734,622	9.36	5.16
Uruguay	510,682	2,558,673	5.01	1.94
Canadá	468,769	3,663,362	7.81	1.78
Panamá	388,377	3,538,376	9.11	1.47
Chile	383,408	4,595,203	11.99	1.46
Colombia	299,277	3,130,990	10.46	1.14
Costa Rica	273,181	4,857,467	17.78	1.04
Perú	209,524	1,760,216	8.40	0.80
<b>Subtotal</b>	<b>24,804,868</b>	<b>442,753,461</b>	<b>17.85</b>	<b>94.14</b>
<b>Los demás (57)</b>	1,543,022	32,415,111	21.01	5.86
<b>Total</b>	<b>26,347,890</b>	<b>475,168,573</b>	<b>18.03</b>	<b>100.00</b>

**Tabla 1.2 Exportaciones del calzado mexicano 2017 [4]**

En la gráfica 1.1 se muestra el volumen de exportación en millones de pares de calzado en los últimos años.



**Gráfica 1.1** Evolución histórica de las exportaciones del calzado mexicano (2010 – 2017) [4]

En síntesis, la industria mexicana del calzado podría aumentar su capacidad productiva con el objetivo de exportar los excedentes. Este aumento tiene que estar pensado en un calzado de alta calidad. Es importante aprender de los competidores y buscar productos de alto diseño con precios competitivos que permitirán que la industria nacional del calzado mantenga una posición sólida en nuestro país y pueda expandir sus exportaciones a otras latitudes, en donde el zapato mexicano ya es reconocido por su calidad.

### 1.2.3 Importaciones

La industria zapatera mexicana enfrenta una doble realidad. Por un lado, el mercado interno se ha estancado y hay cada vez más importaciones, mientras que el externo ha representado una oportunidad de crecimiento para las empresas que lo han sabido aprovechar.

Pese a la mejoría en la producción y las exportaciones, la competencia asiática sigue siendo un problema por resolver (*ver tabla 1.3*). Al país ingresa calzado subvaluado<sup>1</sup> con precio inclusive por debajo del costo de la materia prima.

---

<sup>1</sup> La mercancía subvaluada es aquella que ha sido declarada con un valor en aduana menor a su costo real, esto se hace con la finalidad de pagar menos impuestos.



Mercados de importación	Volumen (pares)	Valor (dólares)	Costo promedio (dólares)	Participación (%)
China	43,676,873	355,449,780	8.14	49.58
Vietnam	26,280,221	357,512,486	13.60	29.83
Indonesia	9,232,310	127,644,546	13.83	10.48
Brasil	1,387,888	10,024,266	7.22	1.58
Camboya	1,360,242	18,034,712	13.26	1.54
España	1,086,321	39,850,597	36.68	1.23
India	1,057,571	15,970,107	15.10	1.20
Italia	730,443	72,211,487	98.86	0.83
Guatemala	628,091	1,932,566	3.08	0.71
Tailandia	587,185	8,237,451	14.03	0.67
<b>Subtotal</b>	<b>86,027,145</b>	<b>1006,867,999</b>	<b>11.70</b>	<b>97.66</b>
<b>Los demás (60)</b>	<b>2,060,183</b>	<b>38,312,432</b>	<b>18.60</b>	<b>2.34</b>
<b>Total</b>	<b>88,087,328</b>	<b>1,045,180,430</b>	<b>11.87</b>	<b>100.00</b>

**Tabla 1.3** Importaciones del calzado mexicano 2017 [4]

En los últimos años las importaciones de calzado se han incrementado considerablemente (ver gráfica 1.2), inclusive llegan a triplicar la cantidad de exportaciones en volumen de millones de pares.



**Gráfica 1.2** Evolución histórica de las importaciones del calzado mexicano (2010 – 2017) [4]

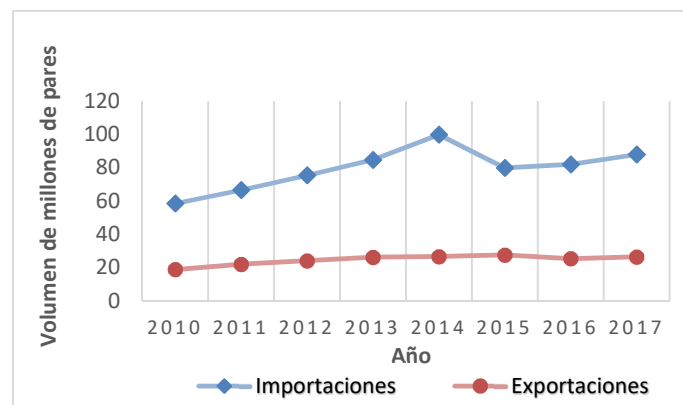
## 1.2.4 Problemática

La industria del calzado es altamente globalizada y, por lo tanto, altamente sensible a los cambios en la competitividad internacional y a las estrategias de las principales compañías transnacionales. Si lo que se quiere es tener un panorama real de las posibilidades de competencia contra los fabricantes asiáticos, europeos o de cualquier otra región del mundo, se tiene que reconocer que la lucha es contra volúmenes de producción mucho mayores a los que la industria nacional registra (*ver tabla 1.4*); marcas bien posicionadas en el comprador (como es el caso de las italianas), y el casi inevitable contrabando de mercancías.

Ranking	País	Pares (millones)	Porcentaje mundial
1	China	13,100	57.4%
2	India	2257	9.6%
3	Vietnam	1,185	5.2%
4	Indonesia	1,110	4.9%
5	Brasil	954	4.2%
6	Turquía	500	2.2%
7	Paquistán	399	1.6%
8	Bangladés	378	1.6%
9	México	254	1.1%
10	Tailandia	200	0.9%

Tabla 1.4 Ranking de países productores de calzado 2017 [3]

El comparativo entre el volumen de las importaciones y las exportaciones (*ver gráfica 1.3*) refleja una diferencia notoria, México importa más de lo que exporta.



Gráfica 1.3 Evolución histórica de las exportaciones vs importaciones (2010 – 2017) [4]

Un tema en el cual se debe poner atención es la cuota arancelaria<sup>2</sup> cuando se habla de competencia desleal, también es importante mencionar que los problemas de la industria no yacen únicamente en esta cuestión, sino en temas de innovación, desarrollo de producto (diseño y marca), capacitación del personal de planta orientada a incrementar la productividad y enfoque hacia a la exportación de producto a los grandes mercados.

Se tienen identificadas acciones de contrabando y prácticas desleales que afectan de gran manera a la industria del calzado nacional [5]:

- **Contrabando técnico.** Es la mercancía que se introduce al país con pedimento de exportación diferente a lo que en realidad lleva el contenedor. Por ejemplo, la documentación informa que se están importando libros que tiene un arancel menor y lo que realmente viene es calzado. En México sólo el 10% de la mercancía que llega a las aduanas es revisada [6].
- **Triangulación de la producción.** Debido a que el calzado fabricado en China es subsidiado por el gobierno, el costo del zapato se reduce considerablemente y es mucho más barato que el producido en México, para contrarrestar lo anterior el gobierno mexicano ha establecido una cuota compensatoria<sup>3</sup>, por ejemplo, si en México se produce un par a 15 dólares y en China a 8 dólares, el precio de referencia es 15 dólares, siendo la diferencia de 7 dólares, que equivale a una cuota de 90%. Por el contrario, si China ofrece ese mismo modelo arriba de 15 dólares no paga cuota, sólo el arancel.

Para evitar el pago de una cuota compensatoria se introduce mercancía a México vía Vietnam u otro país. En otras palabras, China fabrica el zapato y lo envía a otro país asiático para su terminación (unir corte y suela), y por esta operación con costo de 1 dólar, le colocan la etiqueta de origen. El motivo de esta práctica es que a Vietnam no se le cobran cuotas compensatorias, solamente un arancel.

- **Contrabandistas mexicanos.** Son comerciantes que adquieren productos asiáticos para venderlos o incluso consumirlos. Forman una alianza corrupta que

---

<sup>2</sup> Impuesto que se aplica sólo a los bienes que son importados a un país.

<sup>3</sup> Monto monetario (cuota) que iguala el precio de un producto extranjero con uno nacional (compensa), incluso lo puede poner por encima del precio del producto nacional. Entonces por medio de esta medida se trata de limitar la entrada de productos más baratos del extranjero en relación a los productos nacionales. Trae como consecuencia el desánimo de los importadores de introducir esos productos al país y en caso de que opten por hacerlo, tendrá una competencia más justa contra los productos del país destino.

genera un daño a la producción nacional. La contraparte es el consumidor, que ha cambiado calidad por precio.

- **Operación hormiga.** Este tipo de contrabando llega por las fronteras tanto del norte (Nuevo Laredo, Tijuana y Mexicali) como del sur (Campeche, Yucatán y Q. Roo). Son introducidos unos cuantos pares a territorio nacional, pero diario y todo el día, mercancía que en unas cuantas horas llena un camión grande.

### **1.2.5 Acciones tomadas para impulsar a la industria**

El proceso de estancamiento y la pérdida gradual y acelerada del mercado tanto interno como externo han hecho reaccionar a los industriales del sector del calzado mexicano que actualmente invierten capital y esfuerzo en programas de diagnóstico y desarrollo empresarial, para garantizar a medio plazo un impacto positivo dentro del sector y elevar el nivel productivo de las empresas. Igualmente, la Secretaría de Economía, junto con las cámaras nacionales y regionales de las industrias de curtiduría, calzado y de proveeduría, y empresas del sector, diseñaron el Programa para la Competitividad de la Industria del Cuero y Calzado. Su objetivo es desarrollar la competitividad del sector, a fin de permitir la formación y desarrollo de empresas con organización inteligente, flexibilidad productiva y agilidad comercial, así como de un sistema de innovación, mercadotécnica y manufactura a lo largo de la cadena, apoyado por el capital institucional, gubernamental y social.

# CAPÍTULO 2

## Planteamiento del problema

En los procesos industriales, el desperdicio de materiales e insumos es una de las principales fuentes de descontrol e incremento del costo del producto final. En ocasiones esto será la consecuencia de sobrantes de proceso (como en la formación de piezas plásticas), de errores de calidad (piezas defectuosas) o del mismo diseño del producto. Cualquiera que sea el origen del desperdicio, es necesario reducirlo. Esta situación es de gran relevancia para los sectores productivos que buscan soluciones que les permitan garantizar la mejor distribución de las piezas sobre la superficie del material que será cortado. Dentro de la literatura, este tipo de problemas se conocen como problemas de empaquetamiento y corte.

### 2.1 Proceso de fabricación del calzado

El zapato es el resultado de un complejo y laborioso proceso que requiere de creatividad, mano de obra calificada y la coordinación de una gran cantidad de personas que trabajan en distintas etapas a lo largo del proceso. Todo inicia con la búsqueda del perfecto equilibrio entre el diseño y la funcionalidad, teniendo en cuenta los estilos y las tendencias emergentes del mercado.

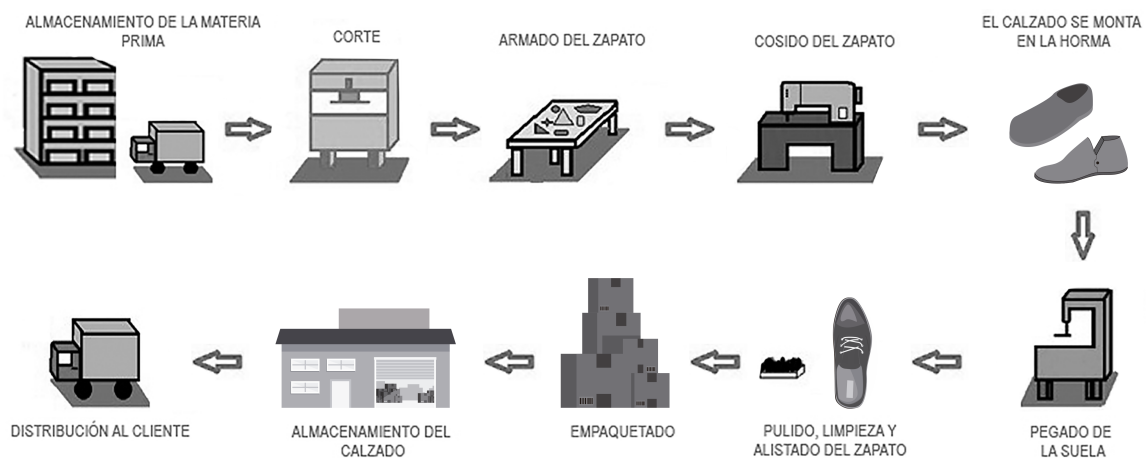
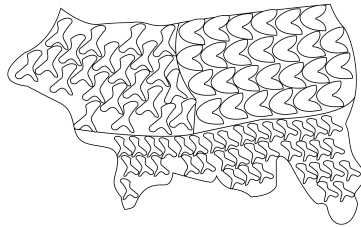


Figura 2.1 Proceso de fabricación del calzado

En la figura 2.1 se muestra de manera sintetizada el proceso que sigue la fabricación de zapatos. El presente trabajo no estudia todas las etapas de fabricación, pero es sumamente importante describir el corte de la piel, con el objetivo de entender la complejidad del proceso e identificar la relevancia que tiene una correcta selección de pieles y a su vez familiarizarse con los términos empleados dentro de la industria del calzado.

### 2.1.1 Etapa de corte de las pieles (Nesting)

En esta etapa, se obtendrán de un rollo de piel todas las piezas que conformarán al zapato, la cantidad dependerá de lo requerido para una orden de producción.



**Figura 2.2** Ejemplo de obtención de las piezas de un zapato sobre un rollo de piel

El acomodo de las piezas sobre la piel no puede realizarse de manera arbitraria de lo contrario no se respetarían los patrones de calidad y provocaría un alto costo de la producción, por lo que es importante que los cortadores tengan muy en claro las características de las piezas para cada estilo a procesar.

Para el proceso de corte se utilizarán unos moldes que corresponden a las figuras de las piezas que conforman al zapato, dichos moldes se conocen en la industria del calzado como suajes y para un estilo de zapato existirán varios juegos de suajes que varían su tamaño de acuerdo con la talla del zapato. El operario hace uso de una prensa hidráulica que oprime el suaje sobre la piel cortándola, la experiencia del cortador hace que este proceso sea constante.

Respetar las propiedades de las piezas agrega un alto nivel de dificultad para su acomodo dentro de una piel, pero esto garantizará calidad y reducción de costos.

Se debe considerar que las piezas acomodadas coincidan en la zona de calidad de la piel para la que fueron pensadas, las líneas de estiramiento entre la pieza y el cuero deberán de tener la misma dirección (*ver 4.1*). Las piezas pueden tolerar ciertos defectos de la piel, por lo que el cortador deberá estar consciente de cuáles son los tipos de desperfectos que deberá evitar.

## 2.2 Descripción del problema

Se ha identificado que hay un paso previo al acomodo de piezas que también se involucra directamente con el aprovechamiento de la piel, este paso es el de la selección de pieles que son necesarias para cumplir con una orden de producción, las cuales deben respetar los lineamientos establecidos por el departamento de diseño. La industria no se ha enfocado en buscar una mejoría en la distribución de las pieles, por lo que el presente trabajo se enfocará en dar solución a dicha situación.

Una orden de trabajo es generada para fabricar zapatos, esta incluye como datos principales la talla, la cantidad de pares y el tipo de producto. Esta información se traduce en la cantidad de material que debe ser utilizado para satisfacer la demanda.

Los especialistas del área de diseño son quienes definen todas las reglas de elaboración para que el producto final que se vaya a obtener resulte como fue planeado y se respeten los costos de producción calculados. Estos lineamientos son sumamente importantes, ya que fueron pensados específicamente con la finalidad y características del zapato.

Hablar de lineamientos es hablar del concepto de mezcla, el cual se detallará en el capítulo 4. Básicamente se trata de definir los tipos de pieles de acuerdo con su calidad y en qué porcentaje se utilizarán para la fabricación del calzado.

Los problemas de no respetar dichos lineamientos son:

- Producir un calzado con piel de mayor calidad a la solicitada que se traduce en un zapato más costoso a lo presupuestado.
- Producir un calzado con piel de menor calidad a la solicitada que se traduce en un zapato de calidad inferior para lo que fue pensado.

Estas variaciones de calidad en la fabricación impactan directamente en el costo de producción. Actualmente la empresa patrocinadora cuenta con un ERP (Sistema de planificación de recursos empresariales) que detalla la cantidad de piel que se necesita, aunado a esto se genera una relación de la distribución del material de acuerdo con la mezcla asociada, es una sugerencia para que el almacenista siga ese patrón y entregue las pieles necesarias. La distribución que genera el ERP no sigue del todo los lineamientos y no indica cuáles rollos de piel deberán de ser utilizados.

## Relacion de presupuestado contra entregado por selección

Kanban	6434004	Sub_kanban	0	Rink	9	Almacen	61	Empleado	108319	
Producto :	<b>MD0NO05815NEPNEG</b>				Pares :	350				
Material	<b>SHANGAY NEGRO 12/14</b>				Calidad	<b>A</b>				
Pedaceria	Calidad	Cantidad	Dm	Equiv	Material	Rollo	Dm. Equiv.	Teneria		
0	A	727	712		SHANGAY NEGRO 12/14	839886	1043	1064		
0	B	888	844		SHANGAY NEGRO 12/14	839887	1034	1055		
	C	1009	928		SHANGAY NEGRO 12/14	839889	1118	1141		
0	D	727	654		<b>Total Calidad A</b>		<b>3</b>	<b>3195</b>	<b>3260</b>	
0	E	686	590		Calidad	<b>D</b>				
0	E*	0	0		Material	Rollo	Dm. Equiv.	Teneria		
<b>0</b>			<b>3728</b>		SHANGAY NEGRO 12/14	839920	395	439		
					<b>Total Calidad D</b>		<b>1</b>	<b>395</b>	<b>439</b>	
Cortabilidad :			3,557							
Diferencia :			171							
					Total de rollos por material:	4				
					Total Global Rollos:	4				

**Figura 2.3** Muestra de una orden de trabajo generada por la empresa patrocinadora

En la figura 2.3 se ejemplifica el abastecimiento de una orden de trabajo real mostrando la relación de material entregado contra lo presupuestado. El kanban y sub\_kanban son datos que identifican a la orden de producción, el rink es la línea de trabajo a la cual se le asignó esa orden, el almacén y el empleado son los identificadores para saber quién y de dónde es entregada la piel.

En el lado izquierdo de la imagen se tiene un estimado en  $\text{dm}^2$  de la cantidad de material que se debe entregar considerando cada tipo de piel, mientras que en la parte derecha se muestra lo que realmente fue entregado por parte del almacén. La tenería o cantidad es el área de un rollo de piel en su totalidad mientras que Dm. Equiv. es el área a la que equivale ese rollo sin considerar sus defectos.

En la actualidad la distribución sugerida por el sistema no está actualizada y otro problema es con el almacenista, ya que no sigue la recomendación sobre la distribución establecida y entrega las pieles que solo satisfacen en cantidad y no en calidad lo requerido.

Analizando los datos proporcionados en la imagen es notorio que no se respeta la distribución establecida. La piel que debe ser más utilizada es la de tipo C, esto se puede interpretar como la tolerancia a ciertas imperfecciones. La distribución entregada por el almacén indica que se suministraron 3 rollos de piel tipo A, es decir, se entregó más piel de mejor calidad y por ende la más cara.



Lo anterior traducido en costo puede reflejar una idea de lo que ocurre, suponiendo que se toma de base una hoja de piel sin imperfecciones cuyo precio es de \$1,642.00, cada tipo de piel tendría diferente valor (*ver tabla 2.1*):

Tipo de piel (Aprovechamiento)	Costo
A (98%)	\$1,609.00
B (95%)	\$1,560.00
C (92%)	\$1,510.00
D (90%)	\$1,478.00
E (86%)	\$1,412.00
E*(75%)	\$1,231.00

**Tabla 2.1** Ejemplo de la variación del costo de la piel según el tipo

Haber elegido 3 rollos de tipo A implica un costo de \$4,827.00, pero si se hubiera elegido 3 rollos de tipo C el costo sería de \$4,530.00 dando una diferencia de \$297.00 para este ejemplo. Las diferencias en costo y calidad podrían ser más altas de acuerdo con lo entregado.

El costo de las pieles varía de acuerdo con su acabado, por lo que se podría tomar como ejemplo una piel cuyo precio base por hoja es de \$ 4,690 y los precios por cada tipo de piel se ven reflejados en la tabla 2.2.

Tipo de piel (Aprovechamiento)	Costo
A (98%)	\$4,596.20
B (95%)	\$4,455.50
C (92%)	\$4,314.80
D (90%)	\$4,221.00
E (86%)	\$4,033.40
E*(75%)	\$3,517.50

**Tabla 2.2** Ejemplo de la variación del costo de la piel según el tipo

Escoger 3 pieles tipo A implica un costo de \$13,788.00 pero si los lineamientos establecidos piden tipo E\* el valor sería de \$10,552.50, la diferencia por haber seleccionado un tipo de piel diferente sería de \$3,235.50 más costoso.

Reducir costos de producción es vital en los procesos de manufactura por lo que es necesario implementar una solución a la problemática de la selección de pieles

a través de un software que sea capaz de operar en conjunto con el sistema de acomodo (nesting) desarrollado por la Facultad de Ingeniería, y que se apegue a los lineamientos establecidos para cada modelo de zapato.

El esfuerzo de desarrollar una aplicación automatizada debe conseguir los siguientes beneficios:

- Reducir el desperdicio de la piel
- Flexibilizar el proceso de producción
- Reducir los tiempos de producción
- Reducir los costos de producción

# **CAPÍTULO 3**

## **Estado de la técnica**

Existe una demanda emergente de soluciones sostenibles para cada etapa del proceso de fabricación del calzado: productos y servicios que propongan maneras diferentes de ser y hacer con respecto a las actualmente dominantes, buscando que sus resultados sean los óptimos en tiempo y calidad.

### **3.1 Tecnología usada para el manejo de la piel**

Mediante asesoría y asistencia técnica, las PYMES mexicanas del calzado tienden hacia la implementación de nuevas tecnologías e innovación de sus procesos productivos que les permitan mejorar sus productos, obteniendo mayor calidad y reducción en el tiempo de fabricación, mejorando de esta forma la competitividad.

Cada área que participa en la elaboración del calzado se ve beneficiado por las distintas soluciones tecnológicas existentes en el mercado. En el proceso de digitalización de la piel se emplean videocámaras de alta resolución que logran obtener la imagen de una piel con todas sus características. Para la obtención de las piezas que conforman a un zapato existen sistemas complejos que optimizan el uso de la piel con ayuda de eficientes algoritmos y para el corte hay sistemas láser, por inyección de agua a altas presiones entre otros.

Las empresas del ramo hacen uso de módulos incorporados a sus sistemas de control para realizar la selección de pieles para una orden de producción, pero si la definición de las reglas que imperan en el proceso no son claras el software fabricado no obtendrá resultados óptimos.

Actualmente la selección previa de las pieles que lleva acabo la empresa patrocinadora de este proyecto, sólo considera que la cantidad de piel requerida para la producción sea cubierta por el material elegido sin que se respete el patrón de selección, mejor conocido como mezcla. Esto es válido, en términos generales, pero no es lo óptimo.

## 3.2 Tipos de soluciones en el mercado

Los productos que se ofertan en el mercado tienen diferentes enfoques, algunos son especializados para ciertas partes del proceso, pero existen otros que pueden ser empleados en varias etapas como parte de una solución conjunta. De acuerdo con la forma de operar de cada sistema se puede clasificar en off-line o in-line.

### 3.2.1 Solución in-line

El conjunto de software y hardware tiene un enfoque global, es decir, se realiza todo el proceso de escaneo, nesting y corte de la piel en una sola estación de trabajo o en una misma línea de fabricación, se emplea principalmente cuando el volumen de producción es mediano o bajo. De esta forma se consigue un tipo de producción en serie, esto implica que durante la manipulación de una piel se impida el uso del equipo para iniciar el proceso con otras pieles ya que la mesa de trabajo será ocupada hasta que la piel sea cortada teniendo de esta manera bloqueado al equipo para escaneo y acomodo de piezas (*ver figura 3.1*).



**Figura 3.1** Tipo de soluciones parciales trabajando in-line [7]

### 3.2.2 Solución off-line

El conjunto de software y hardware tiene un enfoque único, es decir se especializan en una sola tarea, se emplea principalmente cuando el volumen de producción es alto, de esta forma se pueden procesar pieles para su escaneo, nesting o corte en distintas estaciones de trabajo, en diferentes tiempos y sin detener otras líneas de producción logrando de esta forma una operación en paralelo (*ver figura 3.2*).

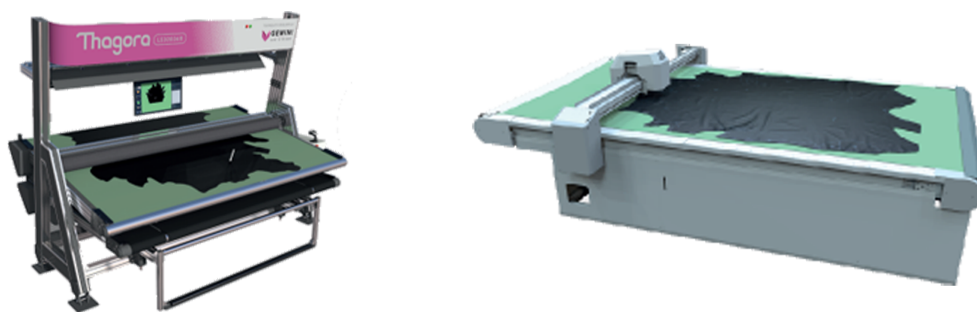


Figura 3.2 Tipo de soluciones parciales trabajando off-line [8]

### 3.3 Soluciones disponibles para la selección de pieles

En muchos de los sectores industriales, la elección de los materiales a cortar no pasa por un proceso de selección tan especializado como en el sector del calzado debido a que se emplean materiales con las mismas características o de formas regulares por lo que su mayor preocupación radica en encontrar la mejor solución para la obtención de las piezas que se ocuparán (nesting).

En el sector del calzado los sistemas comerciales complejos no consideran la selección previa del material como parte de su solución, simplemente se enfocan en poder tener los rollos de piel digitalizados y almacenados en una base de datos para que el operador elija del stock con cual trabajar.

En el mercado existe un sistema modular de nombre Thagora que ayuda en todo el proceso de corte de cuero, ha sido desarrollado por la empresa Gemini Cad Systems. Lo que hace diferente a Thagora de otras soluciones es que tiene un enfoque más amplio ya que no se centra únicamente en optimizar la obtención de las piezas necesarias, sino que permite almacenar cada hoja de piel de forma digitalizada con el tipo de calidad correspondiente. Una vez que se tiene almacenada esa información se podrá procesar una orden de producción, para lograr lo anterior es necesario que un operador defina la cantidad de área requerida de cada tipo de calidad almacenada.

El sistema comercial refleja el interés de la industria por automatizar cada etapa existente en el proceso de fabricación, pero no logra dar solución completamente al problema planteado. La solución que se desarrolla en este documento pretende que el proceso sea automatizado y que no sea necesaria la intervención de algún

operador que le indique al sistema en que porcentajes de cada tipo de piel se haga la selección.

Una de las deficiencias detectadas con la solución Thagora es que no tiene reglas que se apliquen al momento de que algún tipo de piel necesitada no se encuentre disponible, por lo que ese reajuste lo tendrá que hacer un operador de forma manual, es por eso que la solución presentada en este documento pretende solucionar el reajuste en el surtido de piel cuando no haya cuero disponible de la calidad solicitada respetando los lineamientos establecidos por el área de diseño de la empresa.

# CAPÍTULO 4

## Diseño de la solución

En el presente capítulo se hace un análisis más detallado de la problemática, se describen los conceptos relacionados al proceso de fabricación y se plantea un modelo de solución que posteriormente deberá traducirse en una aplicación de software.

### 4.1 Elementos considerados en el proceso de fabricación

Para entender el proceso que sigue la fabricación del calzado, es importante comprender algunos conceptos y las características que presentan los elementos involucrados en cada etapa.

#### 4.1.1 Características de la piel

Se llama cuero a la piel de los animales transformada en una sustancia inalterable, pero en el presente trabajo se usará el término de piel como sinónimo de cuero. En virtud de sus propiedades físicas especiales, la piel ha sido considerada como un material adecuado para la fabricación de calzado.

Entre las propiedades físicas más importantes de la piel están:

- **Elasticidad:** Capacidad de la piel de recobrar su forma al cesar la carga que lo ha deformado.
- **Plasticidad:** Capacidad de la piel para asumir una deformación duradera inducida por una fuerza actuante.
- **Resistencia:** Capacidad para tolerar la acción de fuerzas externas.
- **Alargamiento:** Capacidad de estiramiento de la piel sin romperse.
- **Permeabilidad:** Capacidad de la piel de permitir a un flujo que lo atraviese sin alterar su estructura.
- **Características superficiales:** Propiedades que hacen única una piel.
- **Facilidad para trabajarse:** Simplicidad de la piel para ser manipulada.

La estructura de las pieles varía según la especie, hábitos de vida, estación del año, edad, sexo y la crianza que hayan recibido hasta su sacrificio. Se debe tener presente la particularidad que la piel presenta como material único e irrepetible.

Se considera buena piel cuando su espesor es uniforme y tiene buena resistencia al desgarre, tensión, fricción y flexión, pero una piel delgada, de conformación débil y quebradiza da un producto que una vez industrializado, posee características que lo relegan a destinos inferiores, es decir a un mercado de menor exigencia en calidad.

Se debe tener en cuenta además que el cuero es el insumo más costoso en la matriz de materias primas necesarias para fabricar calzado (representa en la mayoría de los casos un 50% del costo del producto terminado), por consiguiente, dada la importancia de este material se deben vigilar las condiciones de su almacenamiento y las situaciones a la que es sometida durante el proceso.

Las pieles deben almacenarse en lugares que se encuentren alejados de la luz solar directa y que no presenten temperaturas elevadas ya que pueden sufrir:

- Resequedad
- Encogimiento
- Decoloración

La temperatura ambiente del almacén deberá estar comprendida entre 20°C y 25°C y la humedad relativa deberá ser aproximadamente de 70%.

Las pieles deben colocarse en estanterías para que no sean dañadas. El almacenaje deberá ser en rollos, los cuales se recomienda que estén en bolsas para que guarden la humedad, también es conveniente que se tengan charolas con arena y agua para que estén generando humedad.

Para poder trabajar con la piel es necesario identificar ciertas características que influyen directamente en la fabricación del producto deseado: zonas de calidad, defectos en la piel, acabado, fecha de almacenamiento y estiramiento.



#### 4.1.1.1 Zonas de calidad

Según la composición y uniformidad de la estructura de las fibras naturales del cuero, se pueden establecer zonas de diferentes calidades (*ver figura 4.1*) [9]:

**Crupón (1):** Es la parte más apreciada por su consistencia, su presentación y resistencia. El crupón es toda la parte central del lomo del animal. De esa zona se sacan las piezas más importantes y visibles para los diferentes modelos de calzado.

**Cuello (2):** Esta parte del cuero presenta unas betas o pliegues en todo su ancho, producto del movimiento de la cabeza del animal, lo cual hace que dicha parte sea de una textura un poco esponjosa, por esta razón es menos importante que el crupón, aunque tiene casi el mismo grosor.

**Falda (3):** Es la región más flácida y por tanto más elástica, por esta razón no es utilizada en las piezas importantes del zapato.

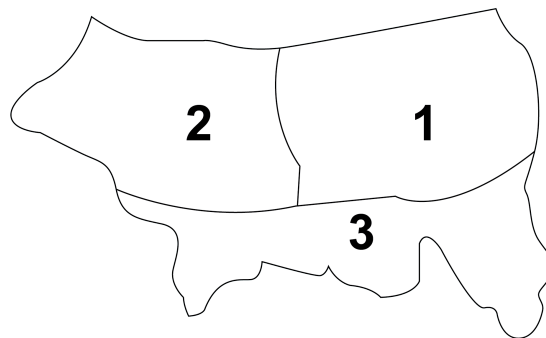


Figura 4.1 Zonas de calidad de cada piel

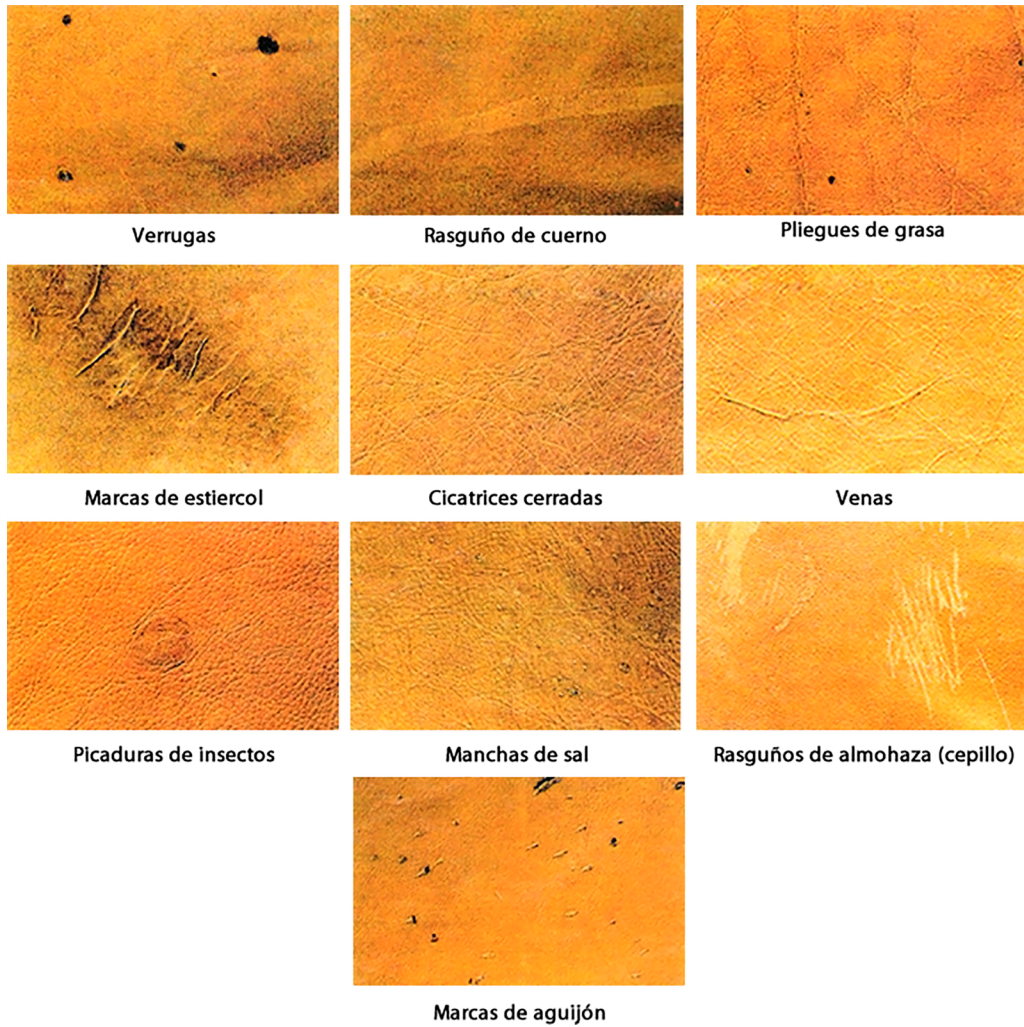
#### 4.1.1.2 Defectos

Puesto que la piel forma parte de un ser vivo, existen numerosos factores que inciden en la calidad final, en su resistencia y durabilidad.

La piel exige cuidados especiales en lo que se conoce como el estado “en pie”, es decir, cuando el animal se encuentra pastando en el campo. Los golpes en la piel, los rasguños realizados por la vegetación silvestre, las heridas provocadas por el alambrado o con otros animales, la cantidad de pariciones<sup>4</sup> que el animal haya tenido, el tipo de alimentación, los insectos y las enfermedades repercuten en la calidad del cuero (*ver figura 4.2*).

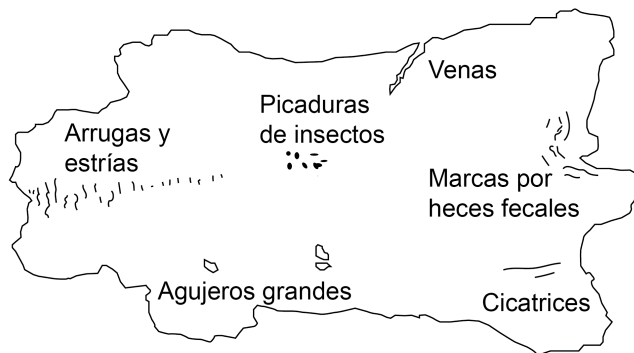
---

<sup>4</sup> En ganadería es la temporada en la que pare el ganado.



**Figura 4.2** Muestras de la piel con diferentes tipos de defectos [10]

En un rollo de piel se pueden encontrar diferentes tipos de defectos los cuales pueden estar distribuidos por distintas zonas (ver figura 4.3).



**Figura 4.3** Ejemplo de distribución de defectos sobre una piel

Debido a los defectos de la piel, no toda su área será utilizable, es por eso que las pieles se clasifican según su porcentaje de aprovechamiento (*ver tabla 4.1*).

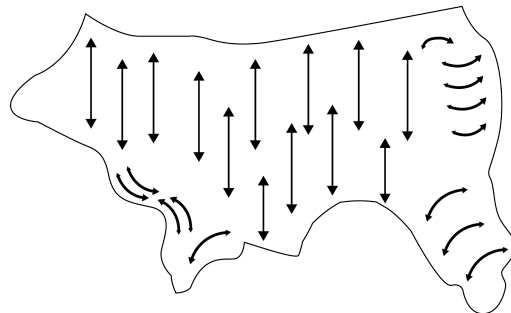
TIPO	% APROVECHAMIENTO
A	98%
B	95%
C	92%
D	90%
E	86%
E*	75%

**Tabla 4.1** Clasificación de las pieles por porcentaje de aprovechamiento

Entre mayor es el porcentaje de aprovechamiento de la piel, mayor será su costo.

#### 4.1.1.3 Estiramiento

Las fibras naturales de la piel tienen diversas direcciones dependiendo de su ubicación, las cuales deberán ser respetadas al momento de obtener cualquier pieza del zapato según el eje de estiramiento definido para ella (*ver figura 4.4*).



**Figura 4.4** Líneas de estiramiento de la piel

#### 4.1.1.4 Fecha de almacenamiento

El registro de ingreso del cuero en el almacén no es una propiedad física, pero es de suma importancia considerarla para darle rotación al material. Con el paso del tiempo las pieles almacenadas cambian sus propiedades, se pueden encoger y endurecer al pasar más de 6 meses almacenadas [11]; por lo que será importante hacer uso de ellas sin dejar que cumplan dicho periodo estando guardadas.

#### 4.1.1.5 Acabado

El acabado y la textura entre las distintas pieles es variada, existen entre otras: lisas, tamboreadas, gamuza, etc. Las pieles pueden tener la misma textura, pero el color será distinto (*ver figura 4.5*).



Figura 4.5 Ejemplos de tipos de material de la piel.

#### 4.1.2 Características de las piezas

Un zapato es el resultado de unir distintos elementos, está conformado por varias piezas fabricadas en cuero las cuales tienen características específicas:

##### 4.1.2.1 Geometría

En su mayoría las piezas carecen de una forma regular, lo que hace más complejo obtener un óptimo acomodo dentro de la piel (*ver figura 4.6*).

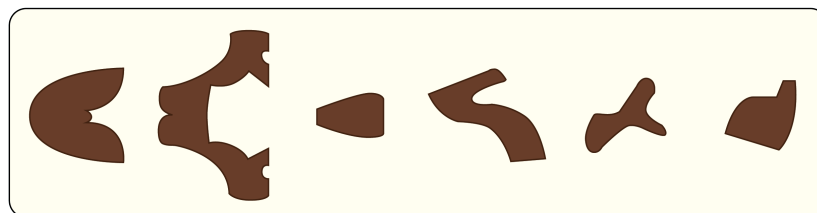


Figura 4.6 Formas irregulares de las piezas de un zapato

#### 4.1.2.2 Zona de calidad

Dependiendo de la posición y la función de la pieza en el diseño del zapato, la pieza debe de ser hecha con cierta calidad de piel, esta deberá de acomodarse en alguna de las tres zonas de la piel definidas en el punto 4.1.1.1 (ver figura 4.7).

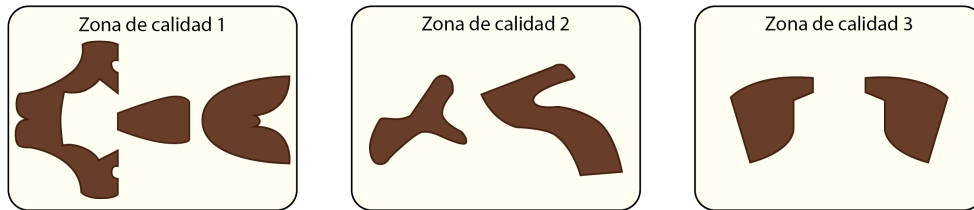


Figura 4.7 Zonas de calidad de las piezas que conforman un zapato

#### 4.1.2.3 Tamaño

La dimensión entre las piezas de un mismo estilo carece de proporción entre sí, las piezas más pequeñas tendrán un acomodo más flexible (ver figura 4.8).

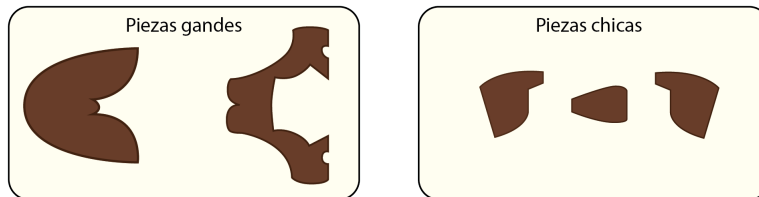


Figura 4.8 Tamaño de las piezas de un zapato

#### 4.1.2.4 Estiramiento

Dirección en la que una pieza puede estirarse (alargarse) con el fin de evitar en lo posible deformaciones o fracturas en su uso (ver figura 4.9). La pieza acomodada deberá respetar las líneas de estiramiento de una piel con un margen de error de +/- 10 grados.

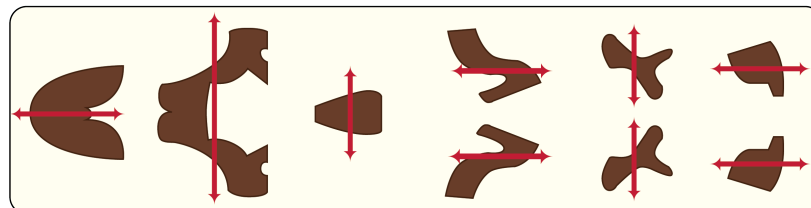
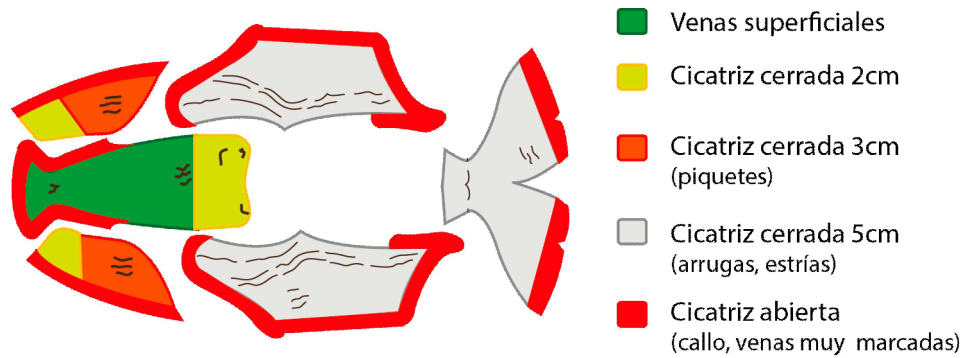


Figura 4.9 Líneas de estiramiento de las piezas de un zapato

#### 4.1.2.5 Tolerancia a imperfecciones

Dependiendo de la calidad del zapato y de la visibilidad que tenga la pieza, esta podrá permitir hasta cierto punto algunas imperfecciones que son características de la piel (*ver figura 4.10*).



**Figura 4.10** Especificación de tolerancia a imperfecciones proporcionada por la empresa

#### 4.1.3 Características del zapato

La industria del calzado define ciertas características generales de un zapato, con el claro objetivo de identificarlos tanto para su elaboración como para su comercialización.

##### 4.1.3.1 Estilo

Hace referencia a un tipo de zapato en particular, y tiene que ver con su diseño, cada variante en diseño corresponderá a un estilo diferente (*ver figura 4.11*). Para cada estilo se determinan las piezas que conforman al zapato y la zona de calidad a la que pertenecen. Se tiene la información de la cantidad de piel que requiere cada pieza para cada talla que se produce y el índice de cortabilidad (*ver 4.1.3.4*) correspondiente al estilo.



**Figura 4.11** Ejemplo de diferentes estilos de zapato.

#### 4.1.3.2 Material

Un zapato puede ser fabricado con cualquier tipo de piel, la cual tiene características de color y textura (*ver figura 4.12*).



Modelo 63802 Nogal(piel)



Modelo 63802 Navi (gamuza)

**Figura 4.12** Ejemplo de diferentes tipos de material para un mismo estilo de zapato.

#### 4.1.3.3 Modelo

Identifica las características del zapato, definidas por el estilo y los materiales que deberán de ser empleados para su fabricación. Aunque dos zapatos tengan el mismo estilo, serán de diferente modelo si son elaborados con diferentes materiales, por ejemplo; que se use la misma piel, pero de colores diferentes (*ver figura 4.13*).



Modelo 61501 Negro



Modelo 61501 Oporto

**Figura 4.13** Modelo del zapato. Productos obtenidos del catálogo de la empresa

#### 4.1.3.4 Cortabilidad

Es un aspecto medular en la selección del material previo a la etapa de corte, se considera la cortabilidad como 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. A partir de la cortabilidad asignada se determina la cantidad (en porcentaje) de cada tipo de piel (clasificado por su porcentaje de piel aprovechable) a utilizar para la producción del estilo diseñado. Esta combinación de pieles es conocida como “**mezcla**” (*ver tabla 4.2*).

Mezcla por Cortabilidad						
	Clasificación de la piel por su porcentaje de área aprovechable					
Cortabilidad	A (98%)	B (95%)	C (92%)	D (90%)	E (86%)	E* (75%)
8	35%	39%	20%	6%	0%	0%
7	18%	22%	27%	18%	13%	2%
6	0%	0%	8%	18%	56%	18%
5	0%	2%	10%	28%	51%	9%
4	0%	4%	22%	24%	42%	8%
3	2%	6%	24%	26%	35%	7%
2	4%	10%	24%	27%	30%	5%
1	10%	16%	28%	24%	18%	4%
0	18%	22%	27%	18%	13%	2%
-1	33%	24%	23%	12%	7%	1%
-2	35%	39%	20%	3%	2%	1%
-3	51%	33%	13%	2%	1%	0%
-4	85%	13%	2%	0%	0%	0%

Tabla 4.2 Mezcla por Cortabilidad

#### 4.1.3.5 Mezcla

La mezcla es el porcentaje de usabilidad correspondiente a cada tipo de piel de acuerdo con la cortabilidad asignada. Por ejemplo, si se desea fabricar un modelo de calzado cuya cortabilidad establecida por el área de diseño es 8, es necesario que del 100% del material requerido para satisfacer la orden de producción se distribuya en los porcentajes definidos según la mezcla, con lo que de la piel tipo A se ocupará un 35%, de la piel tipo B será un 39%, mientras que de la piel tipo C se ocupará un 20% y un 6% de la piel tipo D (ver figura 4.14).

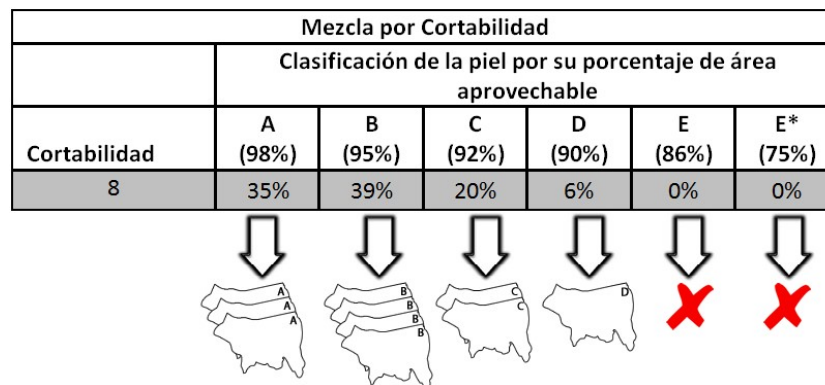


Figura 4.14 Ejemplo de la mezcla para la cortabilidad 8



Cuando el zapato a fabricar tiene una cortabilidad alta significa que la distribución de la mezcla asociada contempla la utilización de pieles de mayor porcentaje de aprovechamiento, es decir las de mayor costo, esto puede entenderse que a mayor índice de cortabilidad se tiene un zapato de mayor calidad y que tolera menos defectos en la piel que lo conforma, por otro lado, cuando la cortabilidad es menor se utilizarán pieles de todo tipo y en menor proporción las pieles más costosas, esto significa que el zapato soportará ciertos defectos en sus piezas.

Entender los conceptos de cortabilidad y mezcla es vital para el desarrollo de la solución. Si se desea fabricar el zapato de la figura 4.15, y el área de diseño ha indicado que la cortabilidad para el estilo elaborado corresponde al valor 0 (ver tabla 4.3), para satisfacer la orden de trabajo es necesario emplear los tipos de piel acorde al respectivo porcentaje.



**Figura 4.15** Ejemplo de zapato a fabricar. Obtenido del catálogo de la empresa

<b>TABLA DE MEZCLA POR CORTABILIDAD</b>						
<b>Cortabilidad</b>	<b>A 98%</b>	<b>B 95%</b>	<b>C 92%</b>	<b>D 90%</b>	<b>E 86%</b>	<b>E* 75%</b>
0	18%	22%	27%	18%	13%	2%

**Tabla 4.3** Mezcla para cortabilidad 0

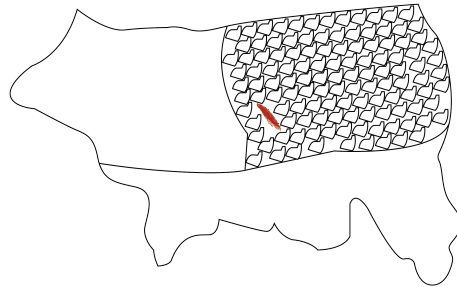
Analizando el estilo del zapato (ver figura 4.16), se identifica que está constituido por varias piezas y el tamaño de cada una de ellas varía, por lo que se puede considerar que este estilo tiene piezas grandes, medianas y chicas, provocando que la mezcla determinada abarque varias clasificaciones de la piel según su aprovechamiento. Al observar la mezcla definida se puede inferir que el modelo del zapato tolera ciertos defectos para algunas piezas en específico.



**Figura 4.16** Despiezado del zapato

### ***Acomodo en una piel tipo B:***

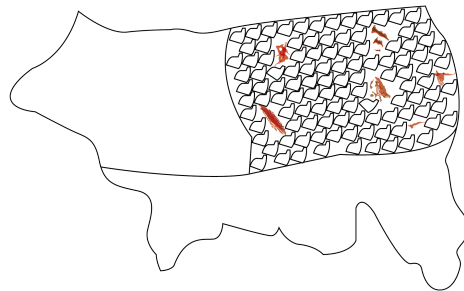
Esta piel tiene un aprovechamiento del 95%, esto quiere decir que la cantidad de defectos en toda su área es reducida, por lo que facilita el acomodo de las piezas sobre su superficie (ver figura 4.17), pero la mezcla definida para el estilo sugiere que no se utilicen muchas pieles de calidad tipo B, sólo un 22% de lo necesario.



**Figura 4.17** Simulación de acomodo de piezas en una piel tipo B

### ***Acomodo en una piel tipo E:***

Esta piel tiene un aprovechamiento del 86%, la cantidad de defectos será alta y propiciará que no exista flexibilidad en el acomodo en algunas partes. Las piezas de este modelo son pequeñas y a la vez tienen la característica de poder tolerar ciertos defectos, esto ayudará a un mejor y más sencillo acomodo (ver figura 4.18).



**Figura 4.18** Simulación de acomodo de piezas en una piel tipo E

Tener ese abanico de distribuciones en la mezcla permite señalar como es una correcta selección de pieles para obtener las diferentes piezas del zapato de acuerdo con las características establecidas por el departamento de diseño.

#### **4.1.4 Características de una orden de producción**

La orden de producción establece la cantidad de pares de zapatos que deberán de fabricarse, así como la talla y el modelo. Teniendo la orden de producción, se puede calcular con exactitud la cantidad de piel que será requerida, así como tener un estimado de la distribución de área necesitada por cada tipo de piel de acuerdo con la mezcla definida para el zapato.

### **4.2 Consideraciones previas**

El proceso de selección de pieles automatizado y optimizado que se debe de plantear es parte de una solución a una problemática más grande, por lo que se plantea el desarrollo de un software capaz de interactuar con los módulos de diseño, digitalización de pieles y nesting. La aplicación desarrollada deberá de ser capaz de comunicarse con las diferentes bases de datos que integran a los diferentes subsistemas.

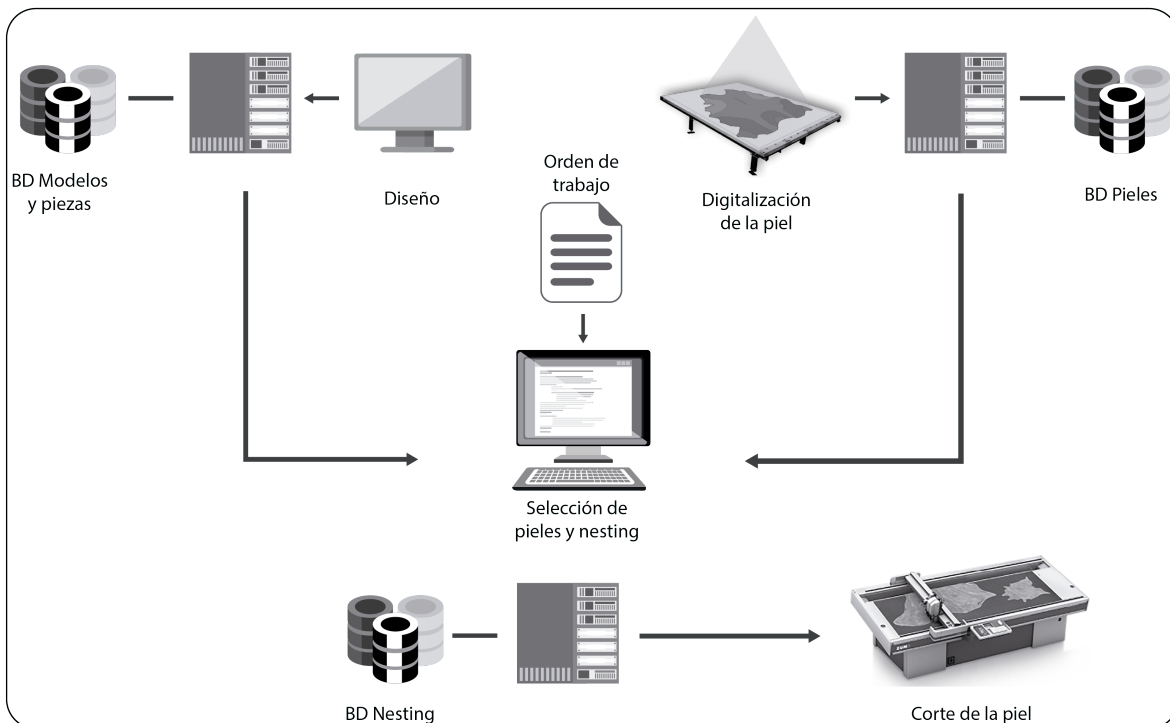
Debido a que la solución completa lleva un desarrollo paulatino, el software deberá entregar resultados, aunque el proceso de nesting automatizado no se encuentre operando y el acomodo de las piezas se haga de forma manual, esto permitirá hacer una comparación de resultados con su forma de selección original y poder calcular el porcentaje de aprovechamiento de la piel. En los apartados siguientes se da una breve explicación de la implementación de cada módulo, y que formarán parte de la solución integral.

#### **4.2.1 Distribución del sistema de información**

Como se ha hecho mención con anterioridad la solución que comprende este trabajo es parte de una solución integral con un esfuerzo multidisciplinario de enfoque industrial que permiten integrar sistemas mecánicos con sistemas en tecnologías de la información (*ver figura 4.19*).

Los subsistemas que participan en el proceso son:

- Digitalización de pieles
- Diseño del zapato, información de modelos y piezas
- Generación de la orden de trabajo
- **Selección de pieles** (Módulo desarrollado en el presente documento)
- Nesting de las piezas en los rollos de piel
- Corte de las piezas de acuerdo con el Nesting



**Figura 4.19** Solución integral

#### 4.2.1.1 Módulo de captura de la piel

La digitalización de la piel se realiza sobre una mesa donde el rollo es estirado y por medio de una cámara de video se identifica el contorno del material gracias al contraste de color entre la piel y la mesa.

Un operador experto es el encargado de definir las zonas de calidad de la piel, señalar los defectos y la clasificación de cada imperfección, también tendrá que determinar las líneas de estiramiento de cada zona y esto lo realiza gracias a una varilla con punta de color contrastante con la piel y un control inalámbrico (ver figura 4.20).



**Figura 4.20** *Marcando digitalmente defectos en la piel [12]*

#### **4.2.1.2 Diseño del zapato**

A través de un software CAD especializado en el diseño de calzado se lleva a cabo la generación de los distintos modelos, este proceso involucra el diseño de las piezas por separado en sus diferentes tallas. De este proceso se obtendrá la información de área y zona de calidad a la que pertenece la pieza y la cortabilidad del modelo diseñado.

#### **4.2.1.3 Generación de la orden de trabajo**

La aplicación recibirá la información de una orden de trabajo, la cual es generada por el actual ERP de la empresa.

#### **4.2.1.4 Selección de rollos de piel**

La solución de esta etapa del proceso se obtendrá del desarrollo del presente trabajo. La aplicación diseñada tendrá como finalidad seleccionar los mejores insumos, se buscarán los rollos de piel que alimentarán al sistema de acomodo (nesting). El proceso iniciará con una orden de trabajo que indicará el nombre del producto y la cantidad de pares a fabricar.

#### **4.2.1.5 Nesting**

Es el proceso que aprovechará el resultado generado por la etapa de la selección de rollos acomodando y obteniendo las piezas que conformaran al modelo de un zapato.

## 4.3 La selección de pieles como generador de desperdicio

El resultado de seleccionar las pieles que serán usadas para completar una orden de producción incide directamente con el proceso de corte. Es posible que matemáticamente se satisfaga la cantidad de piel necesaria para todo el proceso, aunque no se cumpla con la mezcla definida.

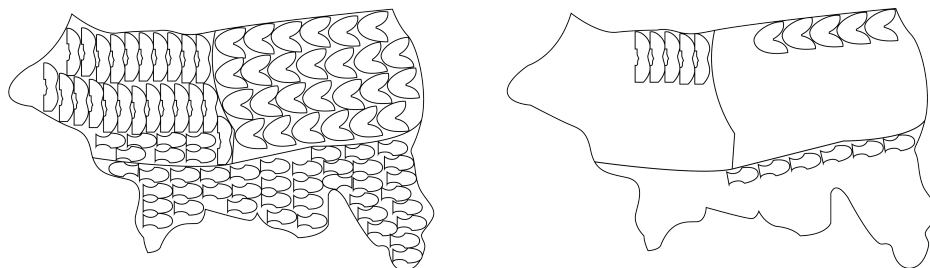
Respetar la mezcla significa que se están siguiendo los lineamientos establecidos por el área de diseño. Basándose en su experiencia y su alta capacidad, el área de diseño asigna dicha mezcla porque tiene la certeza de que esa distribución establecida permitirá obtener las piezas requeridas con las características de calidad deseadas. Una incorrecta selección de pieles puede generar desperdicio de dos formas distintas:

### 4.3.1 Desperdicio directo

Sucedará cuando se entrega mayor cantidad de piel que la necesaria independientemente de que se siga la mezcla o no, esto provocará que haya un excedente de material, en ocasiones se podrá tener una piel con más del 50% de su superficie total sin ser ocupada, aunque estos retazos de material puedan ser reutilizados, actualmente se complica su manejo al no tener un proceso automatizado para su uso posteriormente. Es importante encontrar el equilibrio entre la mezcla y la cantidad de área de piel entregada, ya que no siempre se obtendrá con exactitud la cantidad de material deseado.

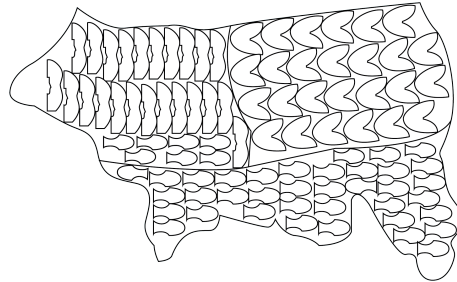
#### Ejemplo 1

Supongamos que se requiere cierta cantidad de piel tipo A, y del almacén se surten sólo dos pieles para realizar el acomodo de las piezas (*ver figura 4.21*):



**Figura 4.21** Simulación de acomodo de piezas en dos pieles tipo A

Es posible observar que de la segunda piel hay gran cantidad de superficie que no será utilizado, pero si se hace un reacomodo de la mezcla se podría encontrar una sola piel de tipo B que satisfaga el requerimiento de área y se evitaría el manipular dos rollos (ver figura 4.22).



**Figura 4.22** Simulación de acomodo de piezas en una piel tipo B

### 4.3.2 Desperdicio indirecto

La selección de pieles afecta directamente a la etapa de corte, ya que se trabaja con las pieles entregadas, y si el material que se ha abastecido no respeta la mezcla definida para el modelo del zapato, podría complicar al cortador todo el proceso de acomodo de las piezas.

Como ya se sabe, los zapatos están constituidos por varias piezas, dependiendo del estilo del zapato este contendrá pocos o muchos elementos. Generalmente cuando el área de diseño especifica una cortabilidad alta indica que el zapato a fabricar contiene muchas piezas o que simplemente el zapato se definió para tener alta calidad y tendencias de moda actuales, pero si la cortabilidad es baja esto quiere decir que el estilo del zapato contiene pocas piezas o está enfocado al uso laboral, como fábricas o al uso cotidiano sin llegar a ser un producto de primera calidad.

Aunque el algoritmo empleado por las diversas soluciones existentes en el mercado para el acomodo de piezas sea el óptimo, o la experiencia del cortador sea amplia, la cantidad de material aprovechado tal vez no sea la más alta si la piel que se proporcionó al área de corte no ha sido la correcta o cuyas características no propicien un acomodo más sencillo.

## Ejemplo 1

Supongamos que se desea fabricar el zapato de la figura 4.23:



Figura 4.23 Despiezado de un zapato

El área de diseño ha indicado que la cortabilidad para el estilo elaborado corresponde al valor -4, con lo que para satisfacer la orden de trabajo es necesario emplear las siguientes pieles con el respectivo porcentaje (ver tabla 4.4).

TABLA DE MEZCLA POR CORTABILIDAD						
Cortabilidad	A	B	C	D	E	E*
-4	98%	95%	92%	90%	86%	75%
	85%	13%	2%	0%	0%	0%

Tabla 4.4 Mezcla para cortabilidad -4

Al analizar el estilo es posible notar que son pocas las piezas las que lo conforman, y el tamaño de ellas es relativamente grande. Dada la cortabilidad también se puede observar que la mayor cantidad de piel necesaria proviene de la piel tipo A, esto implica que se trata de un zapato cuya característica principal será su alta calidad y que no tolerará defectos o serán pocos y los permitidos serán selectos. Ahora se ejemplificará el acomodo de la pieza izquierda de la figura 4.24 en dos pieles de características diferentes.

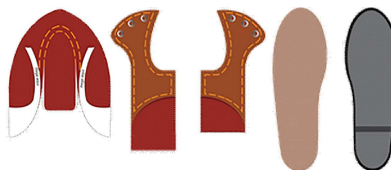
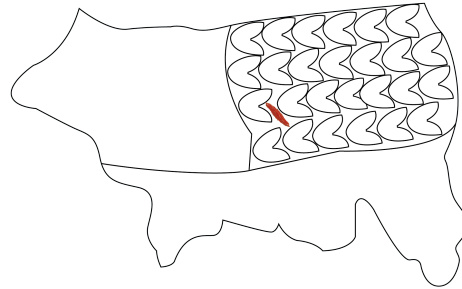


Figura 4.24 Despiezado de un zapato



### ***Acomodo de la pieza en una piel tipo A:***

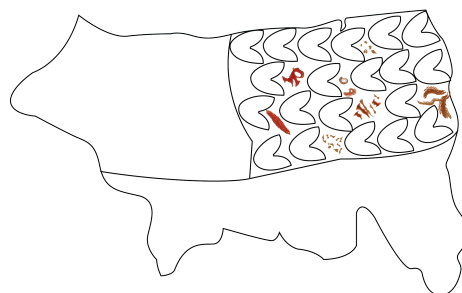
La piel tipo A tiene un aprovechamiento del 98%, esto quiere decir que la cantidad de defectos en toda su área es reducida, por lo que facilita el acomodo de las piezas sobre su superficie ya que son pocas las zonas defectuosas que se deben evitar. En la figura 4.25 se ejemplifica lo anterior y se marca en café algún tipo de defecto.



**Figura 4.25** Simulación de acomodo de piezas en una piel tipo A

### ***Acomodo en una piel tipo E\*:***

Esta piel tiene un aprovechamiento del 78%, esto quiere decir que dentro de toda su área la cantidad de defectos será alta y propiciará la falta de flexibilidad al momento de realizar el acomodo ya que las piezas deberán evitar distintas zonas, esto es más notorio cuando las piezas que serán acomodadas se consideran de alta calidad y en sus especificaciones se indica evitar los defectos, es por ese motivo que en la mezcla no se usa ese tipo de piel para cumplir la orden de trabajo. En la figura 4.26 se ejemplifica lo anterior y se marcan en café los diferentes tipos de defecto.



**Figura 4.26** Simulación de acomodo de piezas en una piel tipo E\*

Al hacer una comparación de los acomodos obtenidos, es posible observar que en la primera piel la cantidad de piezas que se consiguieron colocar ha sido superior que en el segundo caso, esto se debe a que la pieza al ser de gran tamaño, alta

calidad, y no tolerar imperfecciones, dificulta al cortador encontrar una posición idónea sobre una superficie con mayor cantidad de defectos que deberán de ser evitados, esto propicia que existan varios espacios sin poder ser utilizados debido a la cantidad de imperfecciones del material, con lo que el total de piel desperdiciada se incrementa y sería necesario sumar otra piel para completar la orden de trabajo.

### **4.3.3 Análisis de los tipos de desperdicio**

Interpretando los acomodos obtenidos en los ejemplos presentados, es claro ver que sobre la piel tipo A se pueden ubicar las piezas a lo largo y ancho de la superficie con gran facilidad para el cortador ya que las zonas a evitar son muy pocas, en una situación ideal todos los zapatos serían fabricados con este tipo de piel, pero el costo sería muy elevado.

Observando que hay piezas pequeñas que permiten un fácil acomodo sobre pieles con defectos y que a su vez, algunas piezas toleran cierto tipo de imperfecciones, es importante considerar todas las clasificaciones de la piel ya que se pueden emplear rollos cuyo costo es menor, todo dependerá del estilo del zapato a fabricar, el tipo de mercado al cual va dirigido y la habilidad del cortador, es por eso, que seguir el patrón de la mezcla definida por la cortabilidad es sumamente importante para la empresa.

En conclusión, el uso de una piel u otra dependerá de que tan flexible es el modelo a fabricar para que sus piezas toleren defectos.

## 4.4 Desarrollo de la solución

Dadas las reglas de manufactura dictadas por la empresa patrocinadora que involucran directamente a la manipulación de la piel se ha identificado que es posible generar un menor desperdicio impulsando la optimización de procesos anteriores al acomodo de las piezas (nesting) como lo es la etapa de la selección previa de la piel a procesar, es decir, que de todo el stock de pieles que se tienen disponibles, se deben seleccionar aquellas que cumplan con las características necesarias y en el orden adecuado.

Existen diversos métodos para la resolución de un problema según su naturaleza, por un lado, se encuentran los métodos exactos que se basan en modelos matemáticos y por otro lado están los métodos heurísticos. Los modelos matemáticos se basan en una función objetivo o multiobjetivo la cual se desea minimizar, maximizar o ambas y pueden contener restricciones expresadas en funciones matemáticas las cuales pueden ser igualdades ( $=$ ) o desigualdades ( $\leq$ ,  $\geq$ ). Un método heurístico frente a uno exacto generará una solución al problema que se considerará buena, aunque tal vez no sea la óptima, a diferencia de los métodos exactos que proporcionan una solución óptima del problema.

Cada empresa o taller que fabrica zapatos dicta sus propias pautas durante las diversas etapas en su cadena de producción. Para el problema presentado se involucran los conceptos de mezcla y cortabilidad, los cuales han sido introducidos y definidos por la empresa patrocinadora. Debido a esto, se plantea una solución diseñada específicamente para operar de acuerdo a los lineamientos establecidos, buscando obtener resultados en tiempo razonable y de calidad. Es justificable la utilización de técnicas heurísticas para la resolución de problemas de optimización ya que permiten flexibilidad a la hora de abordar aspectos de complicada modelización, su bajo costo computacional para implementarlas y la posibilidad de dar soluciones factibles.

### 4.4.1 La idea inicial

El algoritmo diseñado para la selección de cuero ha sido pensado para que su comportamiento sea el más apegado al proceso de acomodo de piezas que se desean obtener de cada rollo de piel trabajada, es decir, que la lógica seguida emulará de forma virtual la selección y acomodo de piezas que un cortador altamente especializado define para realizar el corte sobre la piel.

El planteamiento propone procesar primero las pieles con menores defectos, es decir con mayor porcentaje de aprovechamiento siguiendo lo establecido por la mezcla de acuerdo con la cortabilidad del zapato, hasta utilizar las pieles de menor superficie de área aprovechable.

Al estar la piel guardada en el almacén por largos periodos de tiempo sus propiedades se ven afectadas a pesar de que dicho espacio cuente con condiciones de humedad y temperatura controladas, por lo que es necesario que el algoritmo de selección de pieles considere esta situación, así que se deberá de dar prioridad a las pieles cuyo tiempo de almacenaje sea mayor.

#### 4.4.2 La entrada

La entrada del algoritmo recibirá la información contenida en una orden de producción, extrayendo de ella los siguientes datos fundamentales:

- **Modelo:** Se traduce en identificar el estilo del zapato, de esta forma se determina la cortabilidad y por ende la mezcla.
- **Talla del zapato:** Se traduce en poder identificar la lista de piezas que conforman al modelo con sus respectivas dimensiones de área, así como la zona de calidad a la que pertenece cada una.
- **Tipo de material del zapato:** Sirve para saber cuáles pieles serán candidatas para ser elegidas.
- **Cantidad de pares:** Sirve para conocer la cantidad de elementos a fabricar por pieza las cuales deberán de ser acomodadas.

Para el diseño de la solución es necesario establecer ciertos requerimientos que deberán de ser provistos por las áreas de diseño y digitalización de pieles, las cuales deben garantizar que se disponga de:

- Dimensión de cada pieza del modelo, de la talla solicitada.
- Identificación de la zona de calidad a la que pertenece cada pieza.
- Tipo de material existente en el almacén, y su clasificación por porcentaje de aprovechamiento.
- Identificación de las zonas de calidad de cada rollo de piel.
- Contar con la cantidad de área asociada a cada zona de calidad de la piel.
- Fecha de almacenamiento de los rollos de piel.

### 4.4.3 Método de solución

La solución para el problema de selección de pieles está pensada para que simule un acomodo de piezas sobre el material, es decir, se realiza un acomodo virtual definiendo cierto orden de colocación de las piezas, esto se hace para entregar en el orden adecuado los rollos de cuero que serán cortados y así respetar los lineamientos establecidos por el área de diseño. La solución presentada sólo pretende determinar cuál y en qué orden se entregará el material, hacer un nesting virtual es una aproximación de como un operador con su experiencia trabaja y como el módulo de nesting operará, por lo que el acomodo virtual puede diferir del real pero sirve de gran ayuda como guía.

El proceso de nesting real sobre la piel es un proceso más complejo debido a la naturaleza de la piel y las piezas considerando su forma, defectos y líneas de estiramiento.

Una de las ventajas que se pretende aprovechar será la utilización de la selección de pieles, aunque el módulo de nesting automatizado no estuviera disponible ya que con la relación de rollos arrojadas se podría trabajar por parte de los cortadores de forma manual.

El proceso inicia cuando se selecciona una orden de trabajo para ser procesada, en ella se identificará:



- Modelo del zapato
- Talla del zapato
- Cantidad de pares a fabricar ( $C_P$ )

**Figura 4.27** Orden de trabajo

Conociendo el modelo y talla del zapato se identifica la lista de piezas que lo conforman, de esta manera es posible extraer las características de cada una. Se ingresará dicha lista a una tabla temporal en la base de datos, la cual será empleada para ordenar las piezas según su prioridad.



**Figura 4.28** Piezas de un zapato conforme a su modelo

La prioridad de cada pieza (P) se determina a partir de:

- La zona de calidad (Z) a la que pertenece
- El área de su superficie (A)

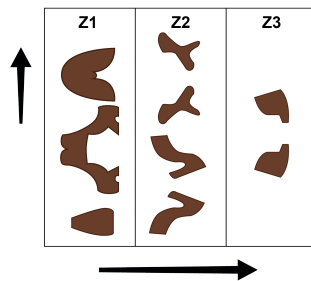
Entre mejor sea la zona de calidad a la que pertenece una pieza ( $P_z$ ), más alta será la prioridad de esta para realizar su acomodo virtual sobre la piel.

$$P_{z1} > P_{z2} > P_{z3}$$

Cuando existen varias piezas que pertenecen a la misma zona de calidad, se ordenarán por tamaño, donde a mayor área de la pieza (AP) más alta será su prioridad contra las demás piezas.

$$\begin{aligned} AP_{1Z1} &\geq AP_{2Z1} \geq AP_{3Z1} \dots \geq AP_{nZ1} \\ AP_{1Z2} &\geq AP_{2Z2} \geq AP_{3Z2} \dots \geq AP_{nZ2} \\ AP_{1Z3} &\geq AP_{2Z3} \geq AP_{3Z3} \dots \geq AP_{nZ3} \end{aligned}$$

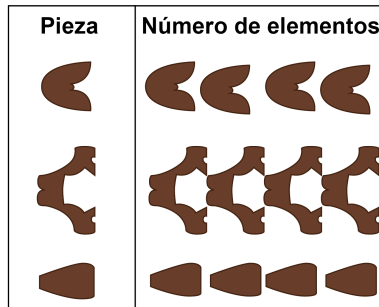
Ordenar las piezas por prioridad es de gran importancia, ya que de esta manera es como trabajará el proceso de nesting sobre la piel.



**Figura 4.29** Ordenamiento de las piezas por prioridad

Es necesario calcular en su totalidad la cantidad de elementos de cada pieza ( $E_P$ ) que se requieren para satisfacer toda la orden de trabajo, por lo que se considera el número de pares ( $C_p$ ) a fabricar y los elementos del pie izquierdo y derecho (2) que conforman a un par. Se tomará  $N_P$  como la cantidad de veces que una misma pieza se repite en un solo zapato.

$$\begin{aligned} E_{P1} &= (N_{P1} * C_p) * 2 \\ E_{P2} &= (N_{P2} * C_p) * 2 \\ &\cdot \\ &\cdot \\ E_{Pn} &= (N_{Pn} * C_p) * 2 \end{aligned}$$



**Figura 4.30** Ejemplificación de número de elementos a acomodar por pieza

Anteriormente se ha mencionado que el modelo de un zapato tiene relacionado un índice de cortabilidad y que a este se le asocia la mezcla (M) de las pieles que se deberá de seguir como patrón para la selección del material, obteniendo así los porcentajes de utilización (%) para cada tipo de rollo de piel (R).

$$M = \{\%R_A, \%R_B, \%R_C, \%R_D, \%R_E, \%R_{E^*}\}$$

<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>
<b>8</b>	35%	39%	20%	6%	0%	0%

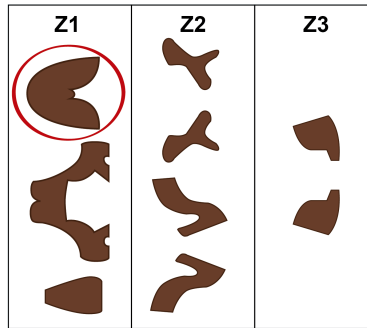
**Figura 4.31** Ejemplo de mezcla asociada al índice de cortabilidad 8

La mezcla asociada al índice de cortabilidad define en qué proporción se deben de utilizar los diferentes tipos de piel en función del área requerida y no por el número de pares a fabricar, es decir, si se desean fabricar 100 pares de zapatos cuyo modelo tiene una cortabilidad de -4, la mezcla correspondiente es:

$$M = \{A=85\%, B=13\%, C=2\%, D=0\%, E=0\%, E^*=0\%\}$$

Esto no significa que se fabricarán 85 pares completos de A, 13 de B y 2 de C, ya que de esta forma podría sobrar mucha piel.

Definida la mezcla a utilizar y teniendo la cantidad de elementos por acomodar de todas las piezas, se tomará del listado la de mayor prioridad (Pv), es decir, aquella que pertenezca a la mejor zona de calidad y que sea la de mayor tamaño.



**Figura 4.32** *Pieza de mayor prioridad*

La pieza elegida se utilizará como pivote para determinar la distribución de todos los elementos de dicha pieza en la zona de calidad correspondiente en los diferentes tipos de clasificación de la piel de acuerdo con los porcentajes de utilización (*ver figura 4.32*).

Seguir el patrón de la mezcla considerando la prioridad de las piezas para su acomodo propicia que la utilización de las pieles sea correcta. Cuando mayor es la prioridad de una pieza es recomendable usar las pieles de mayor área de aprovechamiento, y cuando las piezas sean de menor prioridad se deberán utilizar pieles de menor porcentaje de aprovechamiento.

Establecer esta distribución haciendo uso de una pieza pivote ayuda a saber en qué momento se deberá buscar en otro tipo de piel debido a que es la más importante al pertenecer a la zona de calidad más alta y ser la de mayor tamaño. Los elementos distribuidos para cada tipo de piel se consideran como elementos que faltan por ser acomodados ( $E_F$ ). Esto se traduce en distribuir de la mejor manera el trabajo, utilizando todos los tipos de piel propuestos, o la mayoría de ellos.

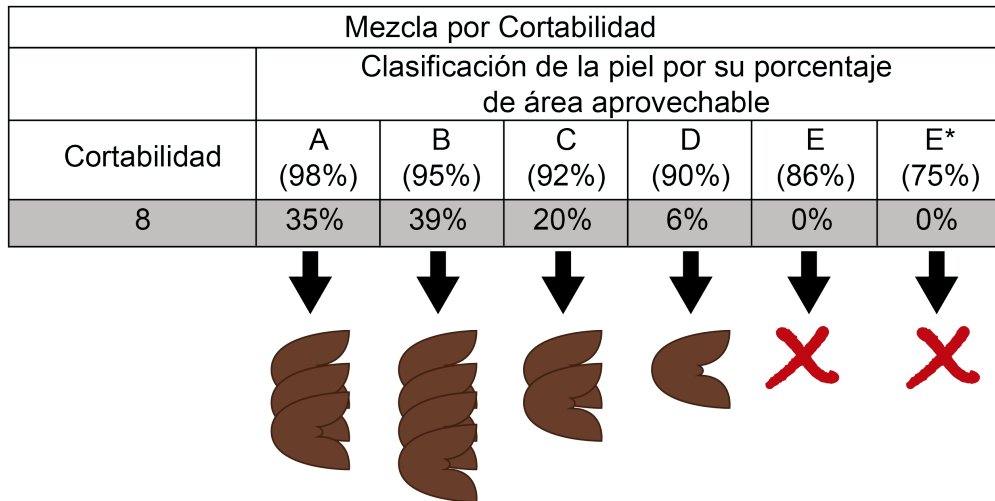
$$E_{FP_V}R_A = (E_{P_V})^*(\%R_A)$$

$$E_{FP_V}R_B = (E_{P_V})^*(\%R_B)$$

:

$$E_{FP_V}R_{E^*} = (E_{P_V})^*(\%R_{E^*})$$





**Figura 4.33** Distribución de los elementos de la pieza pivote para cada tipo de piel

Para entender lo anterior supongamos que se requieren fabricar 250 pares de zapatos cuya cortabilidad del modelo es de -1, la mezcla asociada es

$$M = \{A=33\%, B=24\%, C=23\%, D=12\%, E=7\%, E^*=1\%\}$$

Se procede a buscar la pieza pivote del modelo deseado y se calcula la distribución de todos sus elementos faltantes que tendrán que ser acomodados por cada tipo de piel.

$$E_{FPV}R_A = 165, E_{FPV}R_B = 120, E_{FPV}R_C = 115, E_{FPV}R_D = 60, E_{FPV}R_E = 35, E_{FPV}R_{E^*} = 5$$

El acomodo anterior indica que para que haya un cambio en la búsqueda hacia un nuevo tipo de piel se necesitan acomodar el total de elementos faltantes de la pieza pivote correspondiente.

Es necesario realizar una verificación previa de la disponibilidad del material, del universo de pieles disponibles en el almacén y que se encuentran registradas en la base de datos, se seleccionará el conjunto que cumpla con el acabado del material necesitado y que a su vez su clasificación pertenezca a uno de los tipos de piel definidos por la mezcla. En dado caso que no existieran rollos de piel de la clasificación indicada, se llevará a cabo un reajuste, por lo que se reubicarán los elementos faltantes de la pieza pivote que deberían de ser acomodadas en dicha clasificación a otra, la cual deberá de ser la siguiente de mayor porcentaje de aprovechamiento según la mezcla, si no hubiera opción se optará por la siguiente de menor porcentaje.

Reasignación de elementos faltantes al siguiente tipo de piel de MAYOR calidad:

$$\begin{aligned} \nexists R_B &\rightarrow E_{FPV}R_A = E_{FPV}R_A + E_{FPV}R_B && \text{y } E_{FPV}R_B = 0 \\ \nexists R_B \text{ y } \nexists R_C &\rightarrow E_{FPV}R_A = E_{FPV}R_A + E_{FPV}R_B + E_{FPV}R_C && \text{y } E_{FPV}R_B = 0, E_{FPV}R_C = 0 \end{aligned}$$

Considerando la distribución de elementos faltantes por tipo de piel que ha sido descrito en el ejemplo anterior, se hace la suposición que en el almacén no se tiene en stock pieles de tipo C, por lo que la cantidad de elementos faltantes de C pasan a su inmediato superior, en este caso B quedando la distribución final:

$$E_{FPV}R_A = 165, E_{FPV}R_B = 235, E_{FPV}R_C = 0, E_{FPV}R_D = 60, E_{FPV}R_E = 35, E_{FPV}R_{E^*} = 5$$

Si no hubiera disponibilidad de C ni de B, entonces los elementos faltantes por acomodar pasarían al tipo de piel A:

$$E_{FPV}R_A = 400, E_{FPV}R_B = 0, E_{FPV}R_C = 0, E_{FPV}R_D = 60, E_{FPV}R_E = 35, E_{FPV}R_{E^*} = 5$$

Reasignación de elementos faltantes al siguiente tipo de piel de MENOR calidad:

$$\begin{aligned} \nexists R_A &\rightarrow E_{FPV}R_B = E_{FPV}R_A + E_{FPV}R_B && \text{y } E_{FPV}R_A = 0 \\ \nexists R_A \text{ y } \nexists R_B &\rightarrow E_{FPV}R_C = E_{FPV}R_A + E_{FPV}R_B + E_{FPV}R_C && \text{y } E_{FPV}R_A = 0, E_{FPV}R_B = 0 \end{aligned}$$

Considerando el ejemplo anterior, si en el stock del almacén no existen pieles de tipo A, entonces el reajuste se hace hacia el tipo de piel más próximo de menor grado de aprovechamiento, en este caso sería B:

$$E_{FPV}R_A = 0, E_{FPV}R_B = 285, E_{FPV}R_C = 115, E_{FPV}R_D = 60, E_{FPV}R_E = 35, E_{FPV}R_{E^*} = 5$$

Si no hubiera disponibilidad de A ni de B entonces los elementos faltantes de A y B pasarían a C:

$$E_{FPV}R_A = 0, E_{FPV}R_B = 0, E_{FPV}R_C = 400, E_{FPV}R_D = 60, E_{FPV}R_E = 35, E_{FPV}R_{E^*} = 5$$

Todo empieza con la búsqueda de la primera piel óptima, para ello se tomará el conjunto de rollos del tipo de piel cuyo porcentaje de utilización es el más alto definido por la mezcla para el modelo elegido.

$$M = (\%R_x, \geq)$$

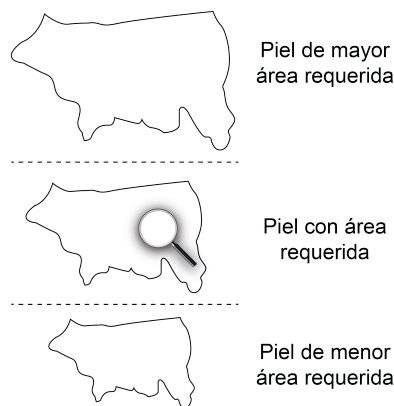
Obteniendo todo el conjunto de rollos del tipo deseado se hará una distinción, este proceso tendrá dos caminos, seleccionar las pieles con mayor y menor área a la solicitada:

1) Buscando área mayor:

Se seleccionarán las pieles que cuya zona de calidad de interés se aproxime en tamaño de su superficie a la cantidad de área solicitada de acuerdo con el número de elementos que requieren ser acomodados. Se ha establecido un margen de 30% como máximo de área solicitada.

2) Buscando área menor:

Se elegirán las pieles cuya zona de calidad de interés sea menor a la cantidad de piel necesitada.



**Figura 4.34** *Búsqueda de pieles con mayor y menor área requerida*

Una vez que se tienen todas las pieles candidatas ya sea de área superior o inferior a la requerida se procede a elegir un rollo, se considera como primera opción las pieles de mayor área, si no hubiera se trabajará con las de menor área. Para evitar que las pieles se queden en el almacén por mucho tiempo, siempre se tomará la piel de mayor antigüedad a pesar de que exista otra cuya área sea más cercana a la necesitada por lo que se priorizará basándose en su fecha de almacenamiento, es decir, que se seleccionará la piel cuyo ingreso al almacén tenga la fecha más antigua.

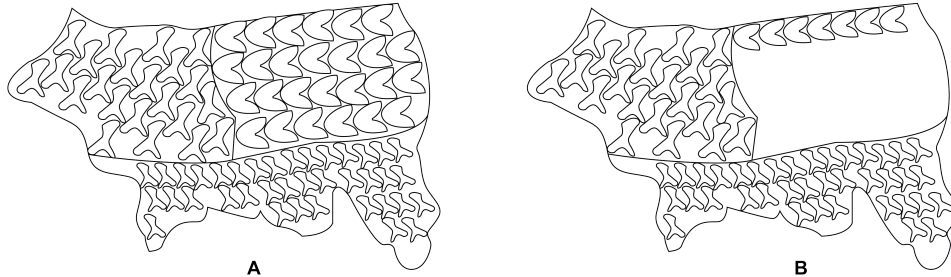
Seleccionado el rollo, se procede a realizar un acomodo virtual de los elementos de todas las piezas de mayor prioridad de cada una de las zonas de calidad. Esto implica que se calculará la cantidad de elementos por pieza que son colocados ( $E_C$ ) en su respectiva zona de calidad de la piel, para ello se divide el área de la zona de calidad objetivo sobre el área de la pieza prioritaria.

$$E_{cP_1Z_1} = AR_{Z_1} / AP_1Z_1$$

$$E_{cP_1Z_2} = AR_{Z_2} / AP_1Z_2$$

$$E_{cP_1Z_3} = AR_{Z_3} / AP_1Z_3$$

En la figura 4.35 se ejemplifica la distribución de los diferentes elementos de cada pieza prioritaria a lo largo de toda la piel. En la piel tipo A se ha completado toda la superficie del material, mientras que en la piel B se logró el acomodo total y sobró parte de la piel.



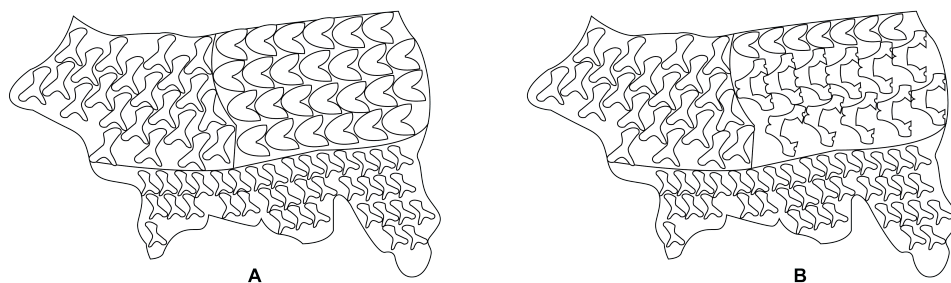
**Figura 4.35** Simulación de acomodo de piezas en dos tipos de piel

Si el total de elementos faltantes de una pieza por acomodar es ubicado completamente y aún queda superficie de piel sin utilizar para esa zona de calidad, entonces primero se actualiza la información de área disponible en esa sección del rollo y se seleccionará la siguiente pieza de mayor prioridad de la misma zona de calidad para realizar el acomodo virtual y conocer cuántos elementos de la nueva pieza fueron colocados.

$$AR_{Z_1} = AR_{Z_1} - (AR_{Z_1} / AP_1Z_1)$$

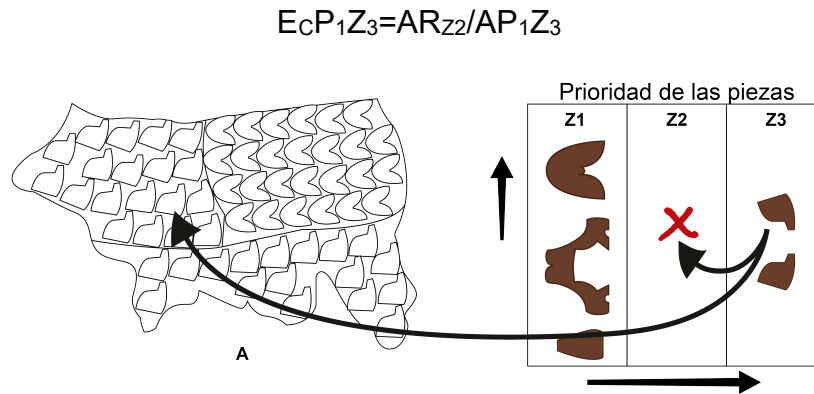
$$E_{cP_2Z_1} = AR_{Z_1} / AP_2Z_1$$

En la figura 4.36 se observa como en la piel de tipo B su zona de calidad 1 es completada con la siguiente pieza en el orden de prioridad.



**Figura 4.36** Acomodo de nueva pieza en la zona de calidad 1 en la piel B

Si existe piel sobrante en una zona de calidad del rollo, pero no hay más elementos de esa zona por acomodar, se procede a seleccionar los elementos de una pieza de zona de calidad inferior y de alta prioridad los cuales serán acomodados.



**Figura 4.37** Acomodo de una pieza de  $Z_3$  en  $Z_2$

En la figura 4.37 no existen más piezas por acomodar de la zona de calidad 2 por lo que se toman las piezas faltantes de la zona de calidad 3 para ser acomodadas en la zona de calidad 2 de la piel.

Si existe piel sobrante en una zona de calidad del rollo, pero no hay más elementos de esa zona por acomodar y no hay piezas por acomodar de zonas de calidad inferior, pero existen piezas de zona de calidad superior, estas no serán consideradas para ser acomodadas en las zonas de menor calidad. Se tomará esa zona de calidad como sobrante y no como desperdicio, por lo que se considera que esa sección de piel será reingresada al stock de pieles en el almacén, por lo que deberá de ser digitalizada nuevamente.

$$R_{Z_1} = \{P_{Z_1}, P_{Z_2}, P_{Z_3}\}$$

$$R_{Z_2} = \{P_{Z_2}, P_{Z_3}\}$$

$$R_{Z_3} = \{P_{Z_3}\}$$

Es necesario hacer un reajuste en la cantidad de elementos faltantes para cada pieza que fue considerada en el rollo de piel seleccionado para las diferentes zonas de calidad, por lo que a la cantidad de elementos que originalmente se tenía como faltantes se le resta la cantidad de elementos acomodados para dar un nuevo valor de elementos faltantes.

$$E_C P_1 Z_1 = A R_{Z_1} / A P_1 Z_1$$

$$E_F P_1 Z_1 = E_F P_1 Z_1 - E_C P_1 Z_1$$

Si después de realizar el acomodo virtual, se lograron colocar todos los elementos de la pieza pivote en la zona de calidad para el tipo de piel seleccionado, se procede a realizar una nueva búsqueda de rollos, pero con el siguiente tipo de piel definido por la mezcla.

La selección para las pieles siguientes repetirá el proceso descrito en los párrafos anteriores. Una vez que se han recorrido todos los tipos de piel en búsqueda de los mejores rollos siguiendo el orden establecido, pero se detecta que hay elementos de alguna pieza que faltan por acomodar, pero ya no se cuenta con rollos del menor porcentaje de utilización entonces se llevará a cabo un nuevo proceso de búsqueda, donde el faltante por acomodar se reubicará al tipo de piel de mayor porcentaje de utilización según la mezcla.

$$\begin{aligned} \%R_x &\geq \%R_y \\ E_{FP} \in R_y &\rightarrow E_{FP} \in R_x \end{aligned}$$

El proceso que se sigue en la selección de rollos de piel que ha sido descrito anteriormente se refleja como un diagrama de bloques en la figura 4.38.

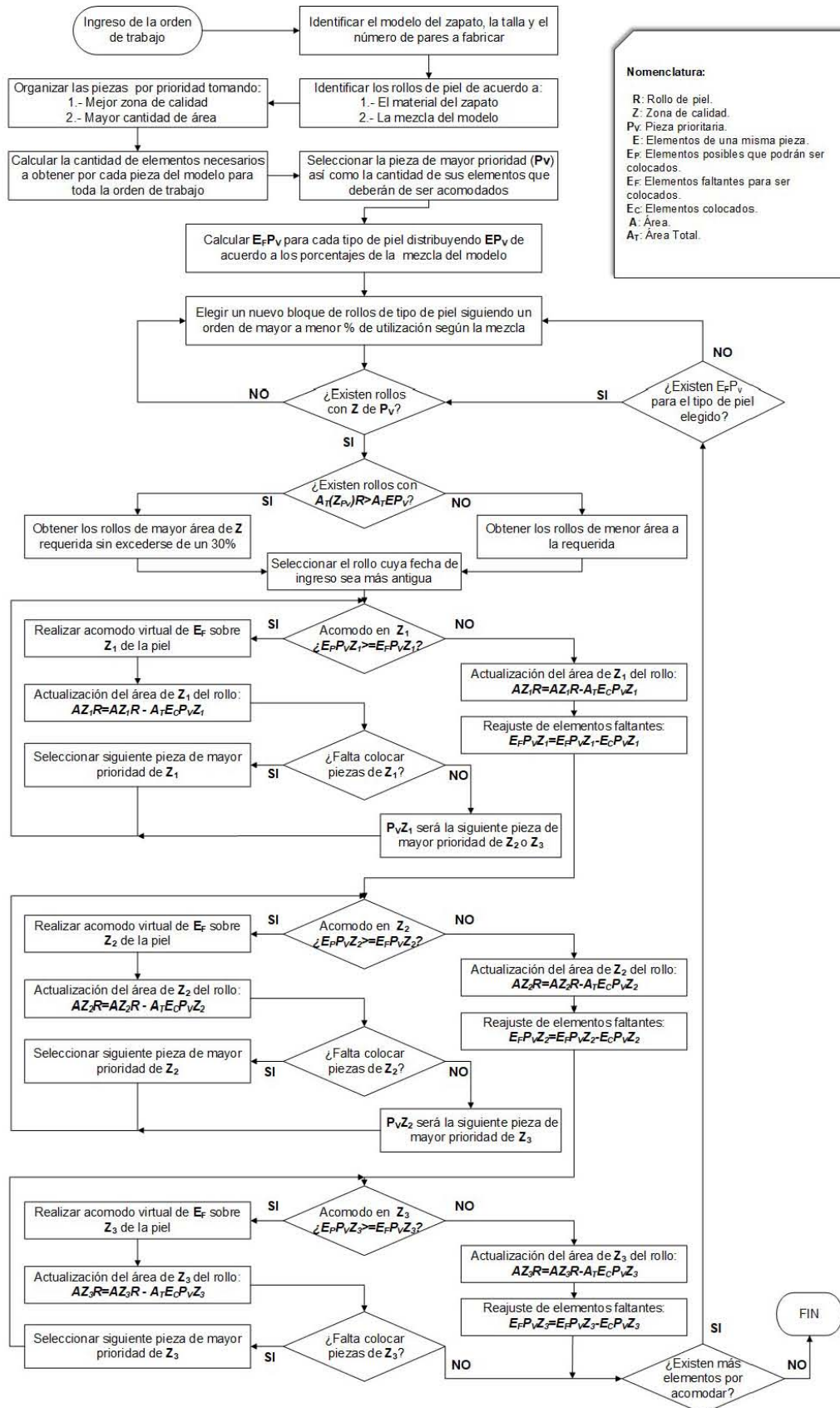


Figura 4.38 Diagrama de flujo de la solución propuesta

En la figura 4.39 puede verse plasmado de forma más ilustrativa lo explicado en los párrafos previos.

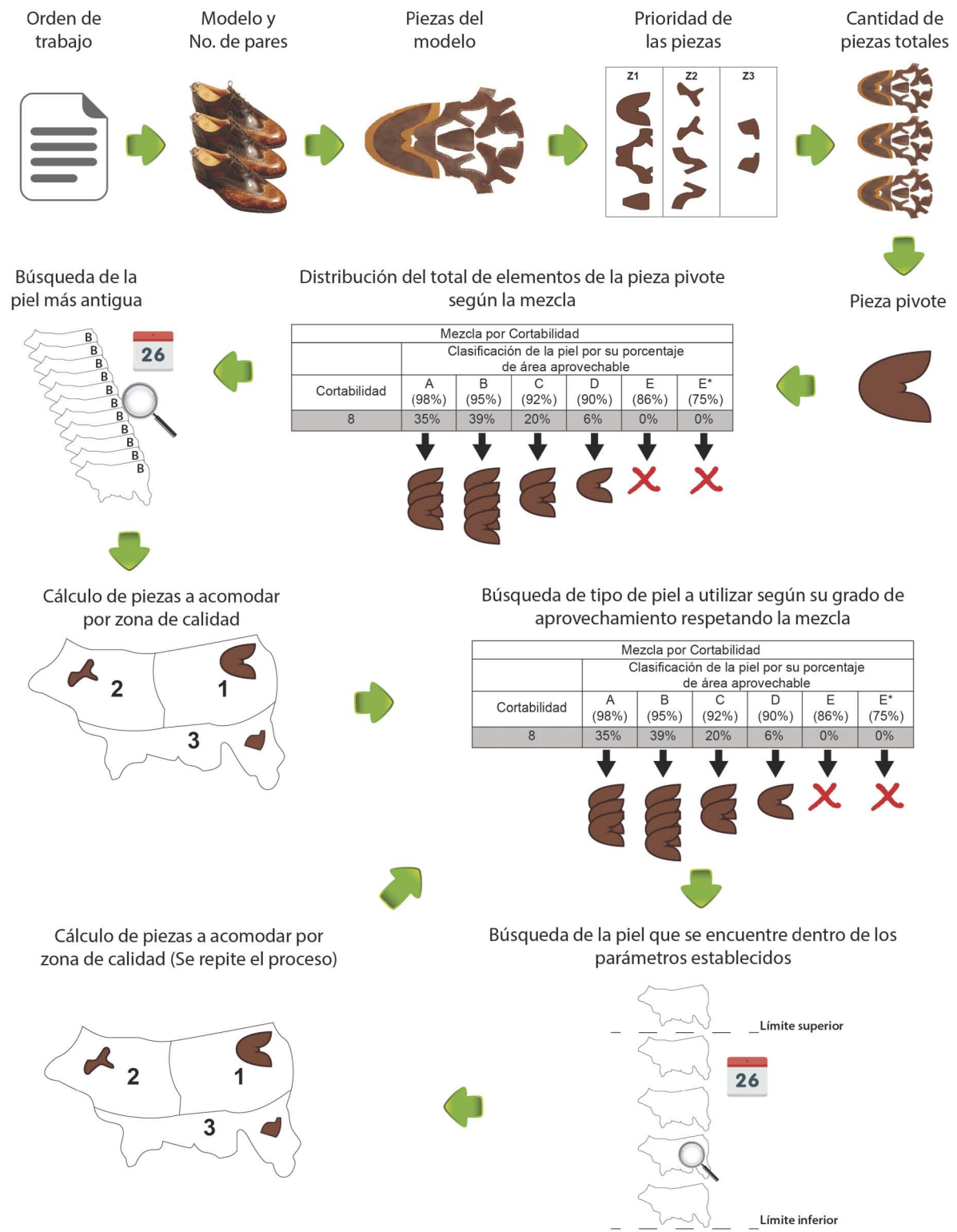


Figura 4.39 Ilustración sobre el proceso de selección de pieles



# CAPÍTULO 5

## Desarrollo de la aplicación

Enfocarse en dar solución a un problema real haciendo uso de una aplicación de software implica seguir un proceso de análisis y diseño con el objetivo de forjar buenos cimientos que ayudarán a un sano desarrollo de la solución. Para lograr lo anterior, es importante respetar lineamientos que se establecen dentro de los procesos de ingeniería de software y que se involucran en el desarrollo de la aplicación.

### 5.1 Análisis de los recursos de software

Durante la planificación del desarrollo de software es necesario hacer una estimación de los recursos requeridos para solventar la problemática planteada, para ello es importante conocer las herramientas de software y hardware que se encuentran disponibles en la actualidad.

#### 5.1.1 Requisitos de la aplicación

El sistema debe ser capaz de:

- Analizar órdenes de trabajo para sustraer los datos necesarios.
- Realizar una búsqueda seleccionando todos los rollos de piel que en conjunto satisfagan una orden de trabajo aprovechando la mayor cantidad de material.
- Generar el listado de los rollos a utilizar y almacenar esos resultados para posteriormente generar un reporte.

Para lograr lo anterior se requiere que el sistema considere:

- Acceder a las distintas bases de datos que contenga la información sobre las pieles, la mezcla, los estilos y las piezas del zapato.
- Ejecución de la aplicación independientemente de la plataforma.

## 5.1.2 Análisis de la metodología de desarrollo de software

Existen metodologías que son empleadas como modelos o paradigmas por parte de la ingeniería de software que permiten llevar a cabo un proceso cuantificable y ordenado del ciclo de vida del desarrollo de software. Una metodología empleada para la fabricación de software se identifica como el entorno que se usa para estructurar, planear y controlar todo el proceso de desarrollo, considerando también a todas las actividades y artefactos (productos intermedios) necesarios para desarrollar una solución.

A lo largo de los años se han creado una gran variedad de metodologías empleadas en el proceso de desarrollo de software, cada una de ellas cuenta con fortalezas y debilidades. No todos los proyectos y aplicaciones a implementar son iguales ya que pueden tener enfoques, tecnología y una robustez diferente, esto quiere decir que una determinada metodología no es necesariamente efectiva para todos los tipos de aplicaciones. No existen metodologías perfectas o soluciones universales, se buscará la que se adapte a las necesidades del proyecto a enfrentar.

En términos generales todas las metodologías de desarrollo de software cuentan implícitamente o explícitamente por lo menos con las siguientes actividades:

**Análisis del problema:** Es necesario entender y comprender de forma detallada cuál es la problemática a resolver, verificando el entorno en el cual se encuentra, se pondrá énfasis en la descripción del problema desde el punto de vista de los clientes y desarrolladores.

**Diseño:** Permite describir cómo el sistema va a satisfacer los requisitos establecidos, considerando los recursos de hardware y software disponibles para poder alcanzar el objetivo. Esta etapa a menudo tiene diferentes niveles de detalle. Los niveles más altos describen en síntesis los módulos y el funcionamiento de componentes más generales. Los niveles más bajos, describen minuciosamente cada módulo que contendrá el sistema.

**Implementación:** Se codifica el software siguiendo el diseño establecido en la etapa previa. Dependiendo del tamaño del proyecto, la programación puede ser distribuida entre distintos programadores o grupos de programadores.

**Pruebas:** Se ejecuta el programa y se comprueba rigurosamente su desempeño, se eliminan todos los errores que puedan aparecer para asegurar que todas las funciones están correctamente implementadas dentro del sistema.

**Mantenimiento:** Es el proceso de mejoramiento y optimización del software después de que ha sido entregado al usuario, se contempla la corrección y prevención de fallos, así como las modificaciones que respondan a los nuevos requerimientos. Las mantenciones se pueden clasificar en: correctiva, adaptativa, perfecta y preventiva.

### 5.1.2.1 Clasificación de las metodologías según el modelo de proceso

Un modelo empleado para el proceso de desarrollo de software es una representación simplificada de pasos desde una perspectiva específica y que permite al analista de sistemas desarrollar un plan de trabajo en forma ordenada. Por su naturaleza los modelos son simplificados, por lo tanto, un modelo de procesos del software es una abstracción de un proceso real.

Debido a que el software es de una naturaleza abstracta e intangible se complica su definición, es por eso que los procesos de desarrollo suelen ser complejos en especial cuando no se cuenta con precedentes de productos parecidos.

Existen numerosas propuestas metodológicas para llevar a cabo el proceso de desarrollo de software, las cuales se pueden dividir en dos tipos principales: ágiles y tradicionales (*ver tabla 5.1*). Las metodologías híbridas están tomando mayor importancia al considerar algunas de las mejores características de las dos metodologías.

Metodologías tradicionales:

Las metodologías tradicionales se enfocan en el control del proceso, determinando las actividades, los artefactos, las herramientas y notaciones que se emplearán. Se lleva una documentación exhaustiva de todo el desarrollo y se busca cumplir con un plan de proyecto. Es en la fase inicial donde se realizará toda la definición de la planificación. En proyectos donde el entorno es volátil se carece de flexibilidad, y la implementación de modificaciones suele ser costoso.

Estas metodologías aportan un orden y una estructura bien definida para el desarrollo de software, esto implica que todos los miembros del equipo deberán de ser disciplinados. Emplear este tipo de metodología conlleva el invertir mucho tiempo en el modelado del sistema, no se tiene una respuesta rápida a los cambios y puede llegar a generar documentación innecesaria (Piattini et al., 2007). Por mencionar algunos ejemplos se encuentran RUP, Métrica 3, Yourdon, OMT, entre otros [13].

## Metodologías ágiles:

Las metodologías ágiles se basan en dos aspectos fundamentales, la planificación adaptativa y retrasar las decisiones, dan prioridad a la capacidad de respuestas rápidas y efectivas que se tiene cuando se presenta un cambio y ponen la mínima atención al seguimiento estricto de un plan por lo que son flexibles.

Este tipo de procesos se caracterizan por tener un desarrollo de software incremental (entregas pequeñas en lapsos de tiempo cortos), cooperativo (comunicación constante entre cliente y desarrolladores), sencillo (es fácil de aprender) y adaptable (permite realizar modificaciones). Su desventaja radica en generar poca documentación y no hacer uso de métodos formales. Algunos ejemplos de estos tipos de metodología son: XP y Scrum.

<b>Metodologías Tradicionales</b>	<b>Metodologías Ágiles</b>
Basadas en normas de estándares de desarrollo.	Basadas en heurísticas a partir de prácticas de producción de código.
Procesos muy controlados por políticas y normas.	Procesos menos controlados, pocas políticas y normas.
Seguimiento estricto del plan inicial de desarrollo.	Capacidad de respuesta ante los cambios.
Los clientes interactúan con el equipo de desarrollo mediante reuniones.	Los clientes son parte del equipo de desarrollo.
Grupos de gran tamaño y distribuidos en diferentes sitios.	Grupos pequeños (max.10 personas) trabajando en el mismo lugar.
Mínimos roles.	Diversidad de roles.
Rigidez ante los cambios, de manera lenta o moderada.	Flexibilidad ante los cambios del proyecto de forma moderada a rápida.
Dependencia de la arquitectura de software mediante modelos.	Menor dependencia de la arquitectura de software.
Poca retroalimentación, lo que extiende el tiempo de entrega.	Continúa retroalimentación, acortando el tiempo de entrega.

**Tabla 5.1** Cuadro comparativo entre metodologías tradicionales y ágiles [14]

## Metodologías híbridas:

Las metodologías híbridas son una combinación de las mejores prácticas de las metodologías ágiles y tradicionales. La nueva tendencia dentro de la Ingeniería de Software es realizar el diseño de metodologías híbridas. Esta propuesta es atribuida

a Ivar Jacobson, uno de los tres creadores de UML, creador de UP (Unified Process, Proceso Unificado), y ahora creador de EssUP (combina RUP con Scrum).

### 5.1.3 Análisis sobre el tipo de aplicación

Una de las primeras decisiones que se debe de tomar cuando se planea desarrollar cualquier software que sea capaz de dar solución a una problemática, es definir el tipo de aplicación que se implementará, para ello se analizan los objetivos a cumplir, las necesidades e inclusive la ubicación del personal que hará uso de la solución entre otros muchos factores. El software podría desarrollarse con un enfoque web, o como una aplicación de escritorio, la mayor diferencia es que la aplicación de escritorio deberá ser instalada y ejecutada en el puesto de trabajo del usuario, mientras que la aplicación web será instalada en un servidor para que los distintos usuarios se conecten a ella desde sus puestos de trabajo sin necesidad de instalar la aplicación en sus propios equipos de cómputo.

Característica	Web (Navegador)	Escritorio (Sistema Operativo)
<b>Mantenimiento y actualización</b>	Es suficiente con realizar los cambios del lado del servidor WEB.	Los cambios se realizan en cada estación de trabajo (PC) donde se tenga la aplicación.
<b>Accesibilidad y cobertura</b>	Cualquier lugar que cuente con acceso a Internet.	Sólo en la estación de trabajo donde se haya instalado previamente la aplicación.
<b>Capacidad de usuarios concurrentes</b>	Alta, puede procesar diversas peticiones de distintos usuarios al mismo tiempo.	Baja ya que la aplicación está centrada en un único usuario local.
<b>Portabilidad</b>	Dependencia del navegador.	Dependencia de la plataforma.
<b>Movilidad</b>	Solo es necesario conectarse a Internet, inclusive desde dispositivos móviles.	Está restringido a la ubicación del puesto de trabajo.
<b>Seguridad</b>	Al estar expuesto es vulnerable a gran cantidad de ataques.	Responsable el administrador y el usuario que usa el sistema localmente.
<b>Disponibilidad</b>	Cualquier problema con el servidor afectará a todos los usuarios.	Cualquier problema en un equipo de cómputo no afectará a las demás estaciones.

Tabla 5.2 Cuadro comparativo entre aplicaciones de escritorio y web

Analizando las características de los tipos de aplicación mostrados en la tabla 5.2, se pueden identificar diversas ventajas y desventajas, es importante determinar de qué modo estas afectan o benefician a la solución planeada para el problema de la selección de pieles.

Para atender el problema que abarca este documento se tiene identificado que las estaciones de trabajo se encuentran dentro de las instalaciones de la fábrica por lo que no es necesario que los equipos de cómputo cuenten con acceso a internet, sólo requieren acceso al servidor de la base de datos.

Es probable que las estaciones de trabajo cuenten con plataformas que sean diferentes entre ellas, esto implica que se deberá de recurrir a aplicaciones que sean capaces de ser ejecutadas en cualquier sistema operativo. Elegir un lenguaje de programación multiplataforma podrá resolver esa situación.

Es común que una aplicación de software reciba mantenimiento después de que ya ha sido puesta en producción, ya sea para corregir errores, aplicar modificaciones solicitadas por los usuarios, mejorar el performance, o por la adaptación de nuevos lineamientos en las reglas de negocio establecidas por la gerencia. Una vez que ha sido modificada la aplicación, esta deberá ser sustituida en producción mientras los usuarios no la estén utilizando, con el objetivo de que sus actividades no se vean interrumpidas. Actualizar una aplicación web implica que debe ser reemplazada sólo en el servidor web, mientras que si se trata de una aplicación de escritorio la instalación deberá ser manual en cada puesto de trabajo, El inconveniente de actualizar un software de escritorio puede ser solventado si se indica a la aplicación que busque actualizaciones automáticamente y las descargue directamente de algún servidor.

#### **5.1.4 Análisis del lenguaje de programación**

Desarrollar el software que dará solución al problema de la selección de pieles implica que se deben de tener en cuenta los requisitos computacionales concretos: la plataforma donde se ejecutará, los plazos de ejecución, etc. El tipo de aplicación a realizar tiene una influencia clara en la elección del lenguaje de programación. La plataforma es un factor muchas veces determinante, aunque sólo sea para acotar los lenguajes disponibles.

Un lenguaje de programación puede ser dinámico o estático, compilado o interpretado, de alto o bajo nivel y enfocarse a un cierto tipo de paradigma de

programación; estos son factores importantes, pero sin el contexto que establece la problemática, no ayudan demasiado a tomar una decisión.

Un lenguaje de programación es una herramienta que ayuda al desarrollo de software, por lo que es importante encontrar el que se ajuste a las necesidades de cada momento, pero con un poco de sentido común. Aunado a esto hay que considerar el soporte que se le da al lenguaje, las extensiones y funcionalidades que hay alrededor de él, la documentación, la comunidad que proporciona asistencia, la madurez y las expectativas de vida.

Existen diversos lenguajes de programación por este motivo se hace un comparativo de los que han sido considerados como candidatos a utilizar:

Java:

- Es un lenguaje principalmente orientado a objetos, este paradigma se asemeja al modelo de abstracción del mundo real, aunque permite el uso de otros paradigmas; procedimental, genérico, funcional (desde Java 8).
- El código es pasado a bytecode para posteriormente ser interpretado y traducido a código de máquina por medio de JVM<sup>5</sup> lo que permite que pueda ser ejecutado en diferentes plataformas.
- Ejecución de distintas tareas al mismo tiempo con su característica de ser multihilo permitiendo hacer uso óptimo de los recursos del equipo.
- La principal desventaja de los lenguajes basados en máquina virtual, es que son más lentos que los lenguajes completamente compilados, debido a la sobrecarga que genera tener una capa de software intermedia entre la aplicación y el hardware de la computadora. Esta desventaja no es demasiado crítica.
- Java utiliza un modelo de memoria conocido como "administración automática del almacenamiento" en el que el sistema en tiempo de ejecución de Java mantiene un seguimiento de los objetos. En el momento que no están siendo referenciados por alguien, automáticamente se libera la memoria asociada a ellos.
- Permite la adaptación de una infinidad de librerías y componentes por parte de terceros que ayudan a simplificar tareas y enriquecen las aplicaciones

---

<sup>5</sup> JVM es un programa especializado, es el intérprete de Java que debe ir leyendo el código del programa instrucción a instrucción para descubrir cuál es la próxima acción a realizar. Esta operación cuesta muchos más ciclos de CPU que ejecutar un programa en código máquina nativo ya que en este último caso es el propio microprocesador el que se encarga de decodificar las instrucciones en hardware.

## C++:

- Lenguaje híbrido que maneja distintos paradigmas; procedimental, funcional, genérica y orientado a objetos
- Es compilado directamente a código de máquina para posteriormente ser ejecutado directamente por el sistema operativo.
- El código debe ser compilado específicamente para la plataforma donde se quiere que se ejecute la aplicación.
- Al ser un lenguaje que se necesita compilar indicando la plataforma específica, se genera una aplicación que en tiempo de ejecución será más rápida que una con un lenguaje de programación que requiera ser interpretado.
- Permite desarrollar aplicaciones con funcionalidad web, pero es de gran complejidad ya que no es su enfoque principal.
- El manejo de memoria puede realizarse de forma manual.

## Python:

- Es multiparadigma ya que permite: programación orientada a objetos, programación imperativa y programación funcional. Otros paradigmas están soportados mediante el uso de extensiones.
- Es un lenguaje interpretado por lo que se ejecuta más lento que un lenguaje compilado ya que el código fuente se traduce a bytecode generando archivos .pyc o .pyo, que son los que se ejecutarán en sucesivas ocasiones.
- Es multiplataforma ya que es un lenguaje interpretado que no depende de una compilación específica de acuerdo al sistema operativo donde se ejecutará.
- La cantidad de documentación y el soporte que brinda la comunidad es menor comparada con otros lenguajes de programación más populares.
- Requiere de librerías de terceros para hacer un buen manejo de cálculos matemáticos exhaustivos.
- Es un lenguaje de programación tipado.<sup>6</sup>

---

<sup>6</sup> Un lenguaje de programación es dinámicamente tipado si una misma variable puede tomar valores de distinto tipo en distintos momentos. La mayoría de lenguajes de tipado dinámico son lenguajes interpretados, como Python o Ruby. Un lenguaje que no es dinámicamente tipado se dice que es de tipado estático, o estáticamente tipado.



### 5.1.5 Análisis de la base de datos

Almacenar todos los datos que pertenezcan a un mismo contexto es vital para una empresa o institución, pero el manejo de un gran volumen de información puede volverse complicado, para ello se emplean las bases de datos. Una base de datos es una herramienta que permite almacenar información y cuyo propósito dentro de un negocio es ayudar a usar dicha información como un recurso organizacional. Es necesario procesar los datos almacenados para encontrar un significado útil de acuerdo a las reglas del negocio. El procesamiento de datos puede ser tan sencillo como organizar estos para revelar patrones o tan complejos como para hacer pronósticos o sacar inferencias con el uso de modelos estadísticos.

Siendo una herramienta de gran importancia, se hará un análisis de algunos gestores de bases de datos disponibles en el mercado con el objetivo de seleccionar aquel que podrá ser utilizado en el desarrollo de la aplicación y que satisfaga la necesidad de encontrar la óptima selección de rollos de piel. En el corazón de todas estas herramientas están la captura, el almacenamiento, agregado, la manipulación, la disseminación y la administración de datos.

Oracle:

- Es multiplataforma, se puede instalar en cualquier sistema operativo, cada distribución disponible está dedicada para cierta plataforma en específico.
- Para utilizar todo el potencial de la herramienta es necesario adquirir alguna licencia para su uso, cuyo costo es elevado, aunque Oracle ofrece una versión gratuita de su base de datos con el objetivo principal de introducir en el “mundo Oracle” a desarrolladores, DBAs, estudiantes, profesores, y vendedores de hardware y software que quieran distribuir junto con sus productos una base de datos sin costos de licencia. La distribución gratuita tiene limitaciones, como el cierto número de procesadores que se podrán utilizar, la cantidad de memoria RAM que se puede aprovechar, la cantidad de datos que se permiten almacenar, etc.
- Aporta características útiles para el manejo de bases de datos distribuidas en múltiples servidores agregando mayor poder de procesamiento.
- La curva de aprendizaje sobre la herramienta es pronunciada y en ocasiones podría necesitarse de la ayuda de un profesional para que optimice la configuración, ya que un sistema de gestión de Oracle mal configurado puede provocar lentitud en el procesamiento de los datos.
- Permite actualizaciones garantizando integridad de los datos.

## MySQL:

- Es de código libre por lo que puede ser usado por cualquiera sin necesidad de alguna licencia.
- Es sencillo de utilizar ya que no se requiere conocimiento extra, salvo el básico de SQL para poder operarlo.
- Es multiplataforma, ya que puede ser instalado en la mayoría de los sistemas operativos sin perder poder en su rendimiento.
- Maneja de forma eficiente el uso de memoria ya que evita fugas y requiere menor espacio en disco.
- Sufre de limitaciones al trabajar con bases de datos robustas, un gran volumen de datos y operaciones simultaneas produce una notable baja en el rendimiento por eso se recomienda para aplicaciones pequeñas y medianas.

## PostgreSQL:

- Es un sistema relacional orientado a objetos y libre, al ser de código libre no es necesario contar con una licencia para su uso, por lo que se permite un Instalación ilimitada sin costo alguno.
- Su velocidad de respuesta no es la más eficiente en bases de datos pequeñas, pero esta velocidad se mantiene constante al aumentar el tamaño, cosa que no sucede con otras bases de datos que se enlentecen.
- Ha sido diseñado para tener un mantenimiento y ajuste menor que otros productos de proveedores comerciales, conservando todas las características de estabilidad y rendimiento con lo que hay ahorro en los costos de operación.
- Es extensible ya que el código fuente está disponible de forma gratuita para que quien necesite extender o personalizar el programa pueda hacerlo sin coste.
- Es multiplataforma ya que puede ser instalado y ejecutado en distintos sistemas operativos y no pierde estabilidad.
- Existen herramientas gráficas de diseño y administración para sus bases de datos.
- Buena escalabilidad ya que es capaz de ajustarse de forma óptima al número de procesadores y a la cantidad de memoria disponible, soportando una mayor cantidad de peticiones simultáneas a la base de datos de forma correcta.
- En comparación con MySQL es más lento en inserciones y actualizaciones, ya que cuenta con cabeceras de intersección que no tiene MySQL.
- Consume más recursos de hardware que MySQL.

## 5.2 Selección de herramientas

Después de presentar las características más generales de las distintas herramientas que nos podrían ayudar en el desarrollo de la aplicación se mencionará las que son elegidas.

### 5.2.1 Selección de la metodología de desarrollo

Las metodologías para el desarrollo de software son disciplinas que cuya implementación no es sencilla, requiere un esfuerzo extra y tiene un coste por lo que se deben considerar las dificultades y beneficios al implementarla.

La aplicación que se pretende desarrollar está pensada como una solución de software que tendrá pocas funciones, no tendrá módulos y su objetivo es muy específico. Es importante seccionar todo el proceso de desarrollo en tareas muy específicas y muy bien acotadas, esto ayudará enormemente en el desarrollo.

Debido a la carencia de personal para formar equipos de trabajo no es posible distribuir las actividades para que se lleven a cabo en paralelo por lo que se vuelve complicado cumplir con los lineamientos de las metodologías ágiles, tampoco se pretende entregar fases del producto sino hasta que este se encuentre terminado ya que una entrega parcial no le es útil a la empresa. Se tiene muy presente que el desarrollo de software no es perfecto, y por más precauciones que se tomen es propenso a errores por lo que es importante tomar medidas para minimizar algún impacto negativo.

Se ha optado por hacer uso de un enfoque tradicional, un desarrollo en cascada se adapta más a la naturaleza del problema y del recurso humano con el que se cuenta (*ver figura 5.1*), si bien el proceso de desarrollo interno podría ser iterativo e incremental la entrega de producto al usuario tendrá que ser hasta completada la solución. Dado que el software es evolutivo y podría ser enriquecido con nuevas funciones propuestas por el cliente se podría implementar metodologías ágiles para futuras modificaciones.

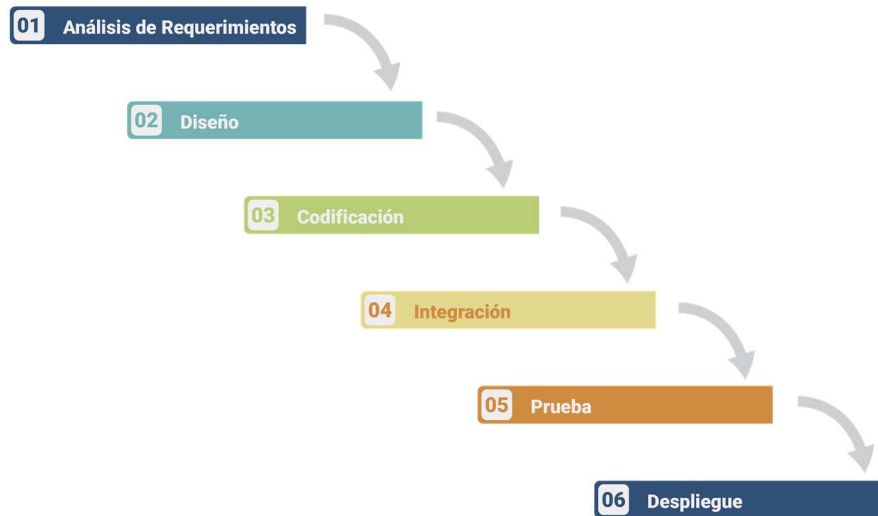


Figura 5.1 Metodología de desarrollo en cascada [15]

## 5.2.2 Selección de software

La aplicación que dará solución a la selección de pieles no se considera robusta, ya que no está compuesta por módulos y su objetivo está muy bien delimitado. La carga de trabajo radica en hacer cálculos de áreas de todos los elementos implicados. Debido a que la aplicación está fuertemente ligada con el proceso de nesting se aprovechará la misma estación de trabajo empleada para ese proceso, esto permitirá que se emplee al 100% la capacidad de cómputo del equipo, por lo tanto, se ha optado por el desarrollo de una aplicación de escritorio.

Existe una cantidad importante de lenguajes de programación, para el presente proyecto se ha optado a Java como lenguaje de desarrollo, al ser orientado a objetos ayuda a mantener el orden en la programación gracias al uso de clases que reflejan las características de los objetos de la vida real, el código es flexible, multiplataforma, modular y escalable, además se cuenta con conocimiento previo.

Después de haber hecho el análisis sobre las diferentes opciones de gestores de bases de datos se ha seleccionado PostgreSQL para dar solución al problema debido a que permite desarrollar bases de datos robustas y eficientes, implementa perfectamente el estándar SQL, ofrece distintos tipos de datos, se puede instalar en diversos sistemas operativos y al ser software libre no será necesario realizar algún gasto para su utilización, además cuenta con una herramienta gráfica (pgAdmin) que permite diseñar y administrar las bases de datos agilizando el proceso de desarrollo.

## 5.3 Diseño de la base de datos

El diseño de una base de datos es un proceso que tiene como propósito definir la estructura de los datos que tendrá un sistema de información. Seguir una metodología facilita el diseño y sirve de soporte de la base de datos haciendo uso de procedimientos, herramientas y ayudas para la generación de la documentación. Debido a que un correcto diseño de la base de datos es esencial para dar solución de forma óptima a la problemática hay que considerar ciertos factores como lo son:

- Comprensión de los requerimientos del usuario.
- Comprensión de lo que el usuario no puede pedir.
- Consideración de aquellas cosas que el usuario no ha identificado pero que necesitará más adelante.

El diseño de una base de datos pasa por 3 fases:

- Diseño conceptual
- Diseño lógico
- Diseño físico

### 5.3.1 Diseño conceptual

El diseño conceptual se elabora sin considerar al gestor de la base de datos que se vaya a emplear. Se busca una descripción de alto nivel de toda la información donde la idea es lograr una abstracción de los hechos para formar conceptos y reglas, el modelado conceptual proporciona un conjunto de símbolos estandarizados que se utilizan para la descripción.

Un modelo conceptual debe poseer las siguientes cualidades:

- Expresividad
- Simplicidad
- Minimalidad
- Formalidad

Se utilizará el modelo entidad relación para representar la abstracción de la información de la presente aplicación.

### 5.3.2 Diseño lógico

En esta fase se transforma el diseño conceptual en un conjunto de estructuras de datos que se relacionan entre sí y que pueden ser procesados por algún tipo de SGBD. Se transforman las entidades y sus relaciones en tablas comprensibles y sin ambigüedad. Se hace uso de la normalización que es el proceso de organizar los datos de manera eficiente con la finalidad de evitar redundancia, dependencia incoherente y proteger la integridad de la información. En el diseño es independiente de los detalles de implementación, pero dependiente del tipo de SGBD.

En la figura se muestra como el modelo entidad relación se traduce en tablas buscando que en la transformación se logre un equilibrio entre los requerimientos que dicta el usuario con la eficiencia del sistema.

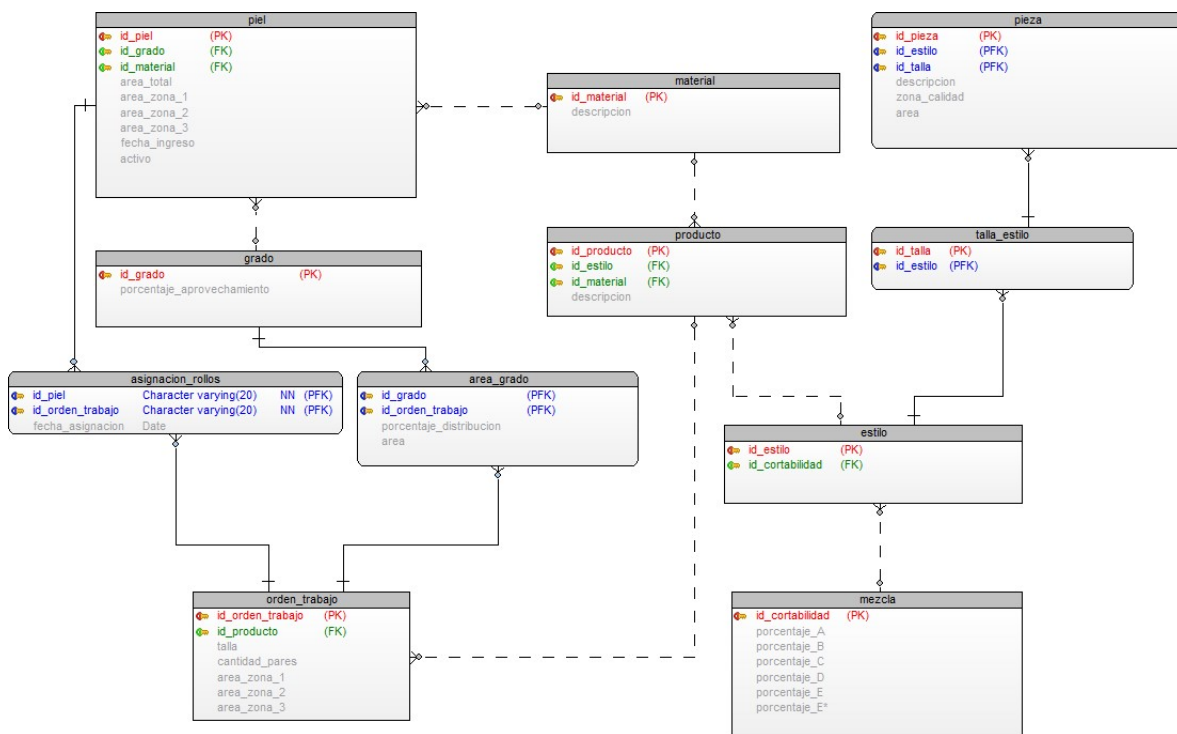


Figura 5.2 Diseño lógico de la base de datos

### 5.3.3 Diseño físico

El objetivo de esta fase es generar una descripción de la implementación de la base de datos en un almacenamiento secundario. Se traduce el esquema lógico para un SGBD en específico y es muy dependiente de este, se hace una representación física donde se analizan las transacciones, se eligen los índices, se busca minimizar el espacio de almacenamiento en disco y optimizar los recursos, se diseñan los mecanismos de seguridad y se monitorea el performance de la base de datos para afinarla

En la figura se muestra el diseño físico de la base de datos, donde se anexan los tipos de datos que maneja en específico el SGBD.

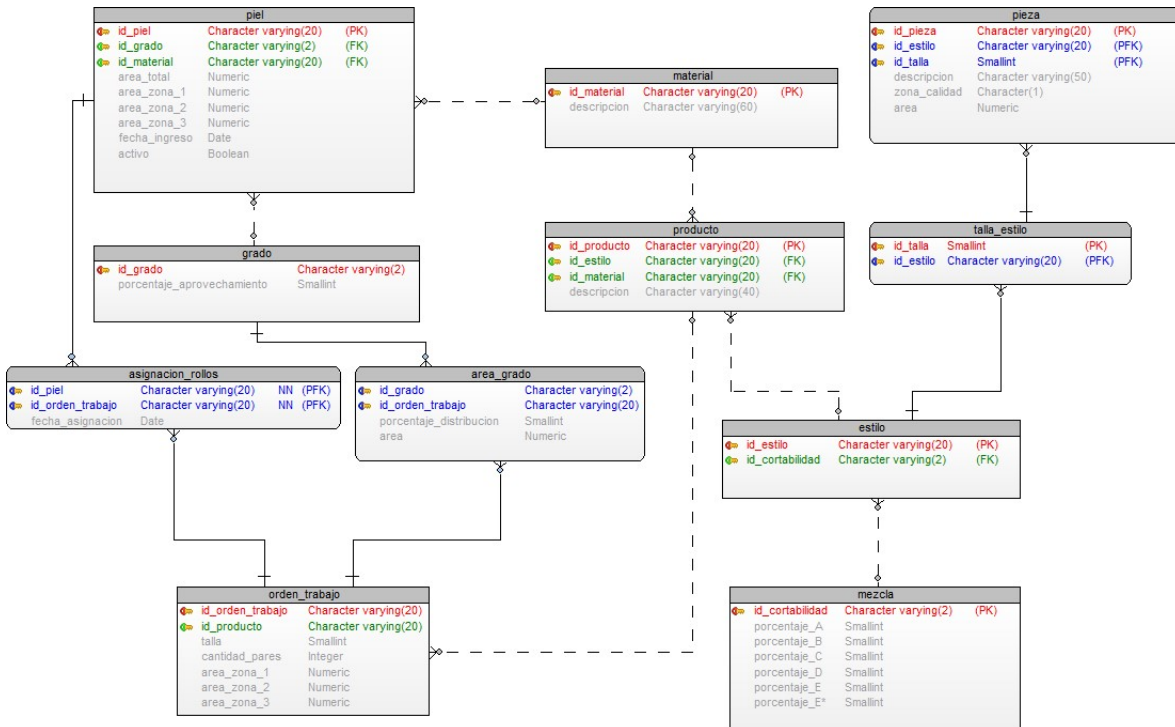


Figura 5.3 Diseño físico de la base de datos

## 5.4 Diagrama de clases

Una clase es la estructura que describe al conjunto de objetos que comparten los mismos atributos, métodos, relaciones y semántica. El diagrama de clases es una representación de las clases que serán utilizadas y permite identificar como se relacionan entre ellas dentro de un sistema. Realizando un análisis y una abstracción de la posible solución se ha determinado la siguiente estructura de clases para las diferentes capas de la aplicación (ver figuras de 5.4 a 5.7).

### Modelo:

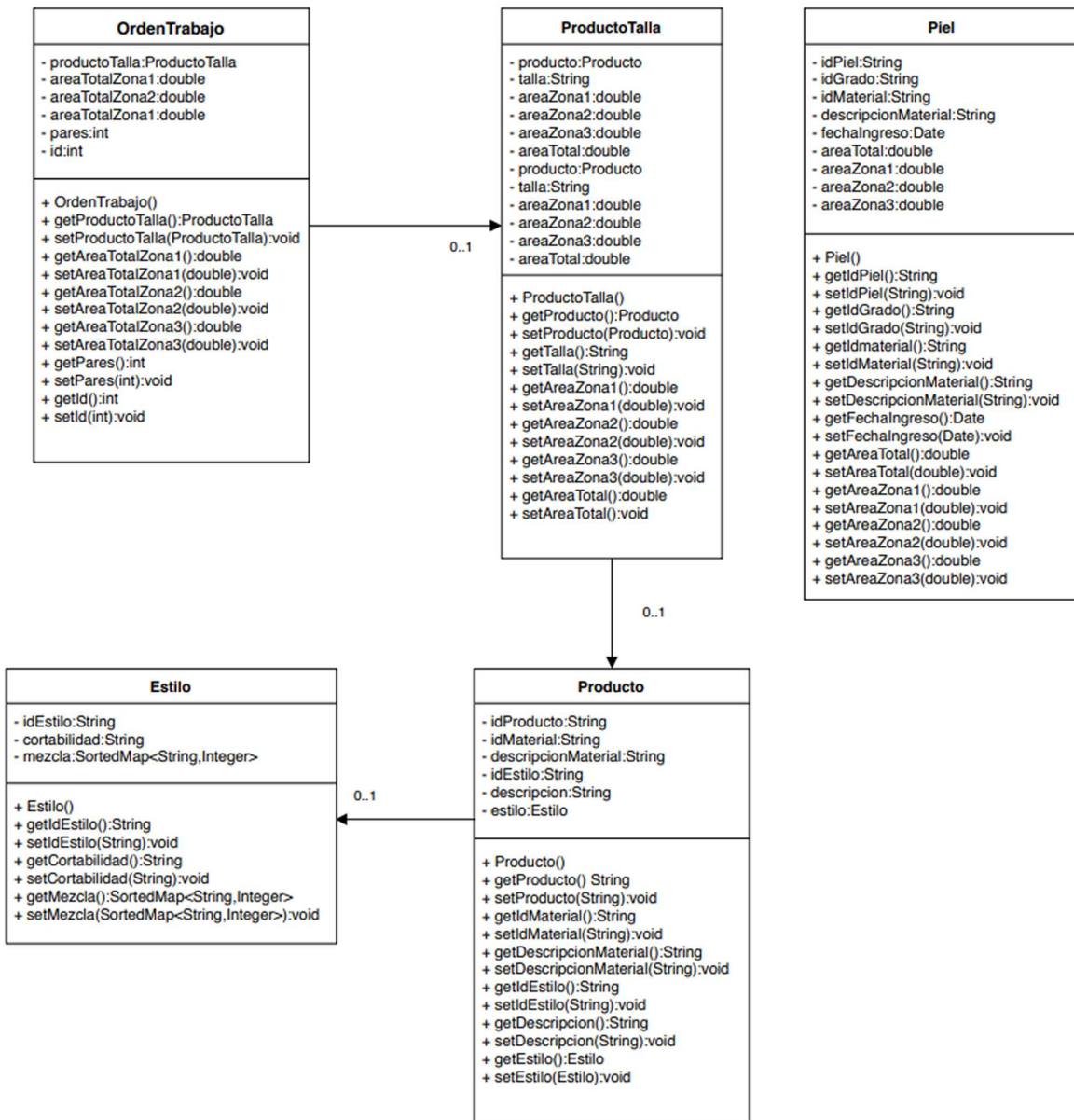


Figura 5.4 Diagrama de clases de la capa del modelo



## Vista:

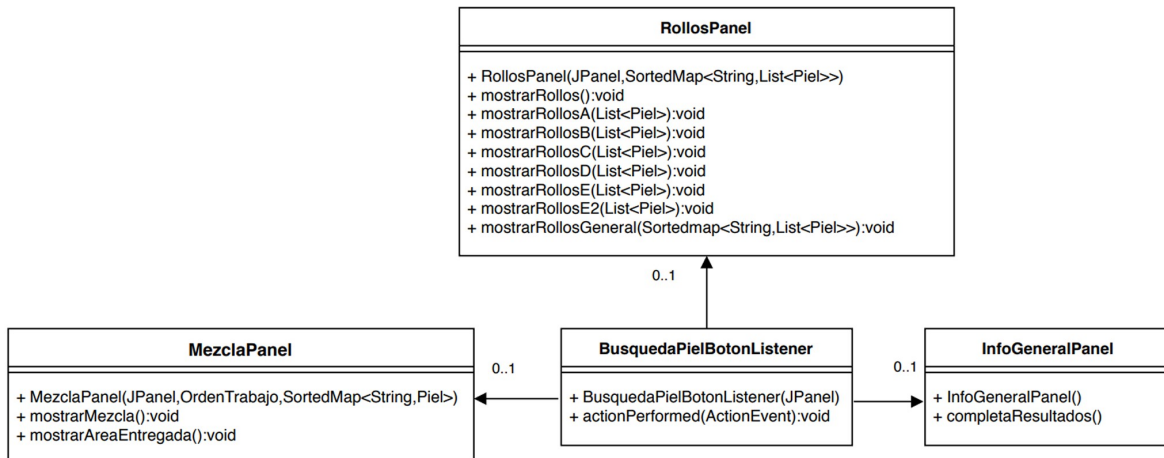


Figura 5.5 Diagrama de clases de la vista de la aplicación

## Controlador:

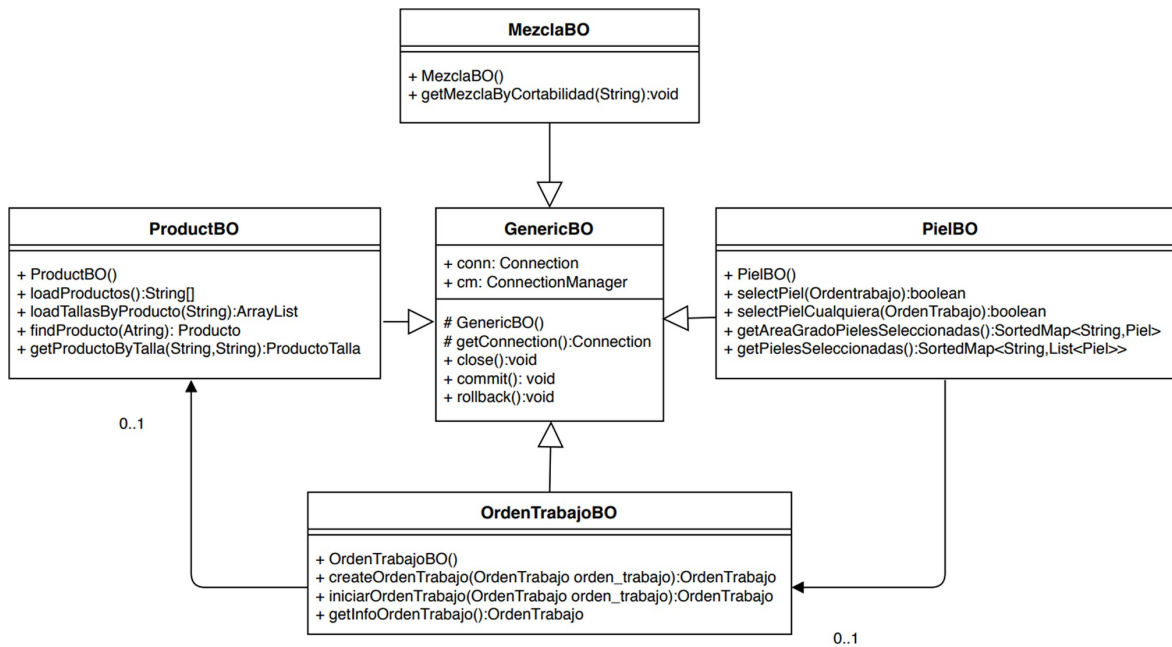


Figura 5.6 Diagrama de clases del controlador de la aplicación

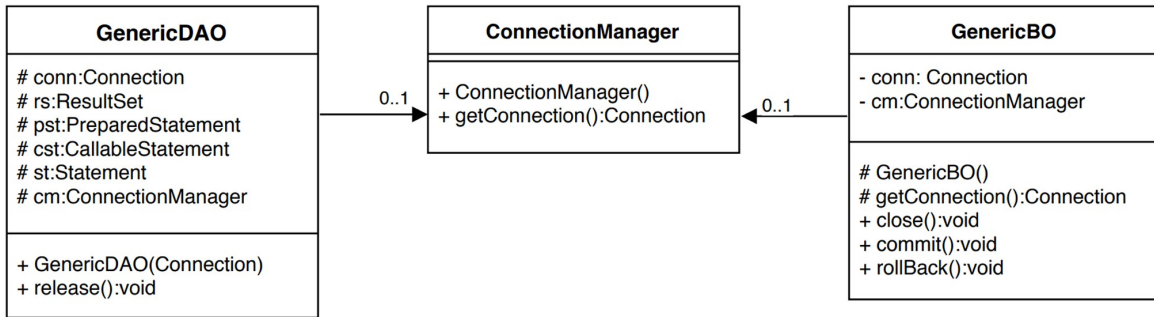


Figura 5.7 Diagrama de clases del controlador para acceso a la base de datos

## 5.5 Interfaz de usuario

Para esta primera versión de la aplicación se ha optado por hacer un prototipo de interfaz de usuario lo más sencilla posible (ver figura 5.8), esto ayudará a que los operarios que actualmente trabajan de forma manual se vayan relacionando con el uso de la tecnología en sus procesos. La pantalla de la aplicación permitirá agregar los datos de una orden de trabajo y mostrará los resultados de la búsqueda de pieles agrupándolas de acuerdo a su clasificación por porcentaje de aprovechamiento.

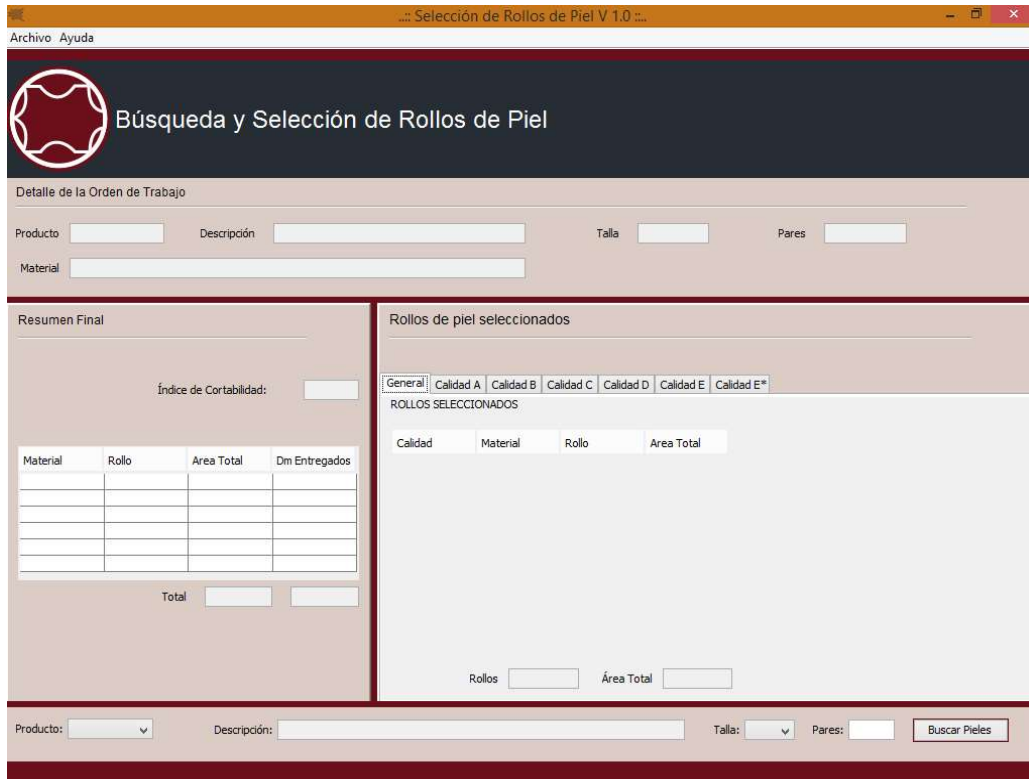


Figura 5.8 Interfaz de usuario de la aplicación

... Selección de Rollos de Piel V 1.0 ::-

Archivo Ayuda

## Búsqueda y Selección de Rollos de Piel

Detalle de la Orden de Trabajo

Producto: 1390003265 Descripción: 73503 CAFE Talla: 27 Pares: 200

Material: CHOPI CAFE 14/16

---

Resumen Final

Índice de Cortabilidad: 2

Material	Rollo	Area Total	Dm Entregados
A	0	330.3216	0.0
B	1	825.804	1103.0
C	3	1981.9296	3211.0
D	4	2229.6708	3326.0
E	0	2477.412	0.0
E*	1	412.902	1114.0
<b>Total</b>		<b>8258.04</b>	<b>8754.0</b>

Rollos de piel seleccionados

General Calidad A Calidad B Calidad C Calidad D Calidad E Calidad E\*

ROLLOS SELECCIONADOS

Calidad	Material	Rollo	Area Total
B	CHOPI CAFE ...	7446872	1,103
C	CHOPI CAFE ...	7446873	1,078
C	CHOPI CAFE ...	7446875	1,076
C	CHOPI CAFE ...	7446877	1,057
D	CHOPI CAFE ...	7446884	1,149
D	CHOPI CAFE ...	7446888	1,077
D	CHOPI CAFE ...	7446886	664
D	CHOPI CAFE ...	7577596	436
E*	CHOPI CAFE ...	7577598	1,114

Rollos: 9 Área Total: 8754.0

---

Producto: 1390003265 Descripción: 73503 CAFE Talla: 27 Pares: 200 [Buscar Piel](#)

Figura 5.9 Interfaz de usuario de la aplicación con datos

# CAPÍTULO 6

## Pruebas y análisis de resultados

Con el objetivo de corroborar el correcto funcionamiento de la aplicación se han llevado a cabo diferentes pruebas donde fueron seleccionados distintos productos, los cuales entre ellos no comparten las mismas características de forma y material. Se tiene un catálogo de estilos de más de 200 registros, pero es indispensable que se cuente con toda la información de las piezas asociadas ya que de lo contrario la aplicación no podrá operar.

### 6.1 Pruebas

Dada la importancia y tamaño de la empresa patrocinadora se ha tomado en cuenta el volumen de producción que esta tiene, esto quiere decir que es necesario hacer pruebas con una gran cantidad de datos para que el comportamiento de la aplicación se asemeje lo más posible al performance real de producción. Para lo anterior se ha considerado realizar la búsqueda de rollos dentro de un stock de 12,500 pieles de diferentes tamaños, materiales y grados de aprovechamiento, dicho listado ha sido proporcionado por la empresa haciendo que las pruebas se ejecuten con datos reales.

Usando la aplicación desarrollada se ha simulado cuál sería la distribución de los rollos de piel para abastecer diferentes órdenes de trabajo.

#### 6.1.1 Simulación 1

Los siguientes son los datos correspondientes a la orden de trabajo para la simulación 1:

**Producto:** 1390003033

**Estilo:** 73504

**Material:** Chopi negro 14/16 (grosor entre 1.4 y 1.6 mm)

**Descripción:** 73504 Negro

**Talla:** 27 (estándar de diseño)

Para el ejemplo planteado se tiene que el modelo tiene un índice de cortabilidad de 2, lo que definirá su respectiva mezcla (ver tabla 6.1).

<b>Mezcla para Cortabilidad 2</b>						
	<b>Clasificación de la piel por su porcentaje de área aprovechable</b>					
<b>Cortabilidad</b>	<b>A (98%)</b>	<b>B (95%)</b>	<b>C (92%)</b>	<b>D (90%)</b>	<b>E (86%)</b>	<b>E* (75%)</b>
2	4%	10%	24%	27%	30%	5%

**Tabla 6.1** Mezcla para el índice de cortabilidad 2

En la tabla 6.2 se observa el listado de piezas que conforman al estilo 73504, se pueden identificar sus características de dimensión y zona de calidad a la que pertenecen y que son necesarias para que la aplicación pueda funcionar.

<b>NOMBRE DE LA PIEZA</b>	<b>ZONA DE CALIDAD</b>	<b>SUPERFICIE dm2</b>
CHINELA EXTERNA	1	3.8633
CHINELA INTERNA	1	3.9548
FLORETA	1	2.5375
TALON EXTERNO	2	2.9261
LENGUA	3	1.143
REMATE	3	2.1374
TALON INTERNO	3	2.9032

**Tabla 6.2** Datos de las piezas del producto 1390003033

Para analizar el comportamiento de los resultados se hará una simulación de diferentes órdenes de trabajo donde el valor del número de pares a fabricar irá cambiando.

La ejecución de la aplicación para el producto seleccionado ha registrado los resultados globales mostrados en la tabla 6.3, donde se compara la cantidad de área requerida contra la que ha sido entregada.

NÚMERO DE PARES	ÁREA REQUERIDA (dm2)	ÁREA ENTREGADA (dm2)	ÁREA DIFERENCIA (dm2)	PORCENTAJE SOBRENTE (%)
20	778.612	853	74.388	9.55
30	1167.918	1328	160.082	13.71
40	1557.224	1922	364.776	23.42
50	1946.53	2337	390.47	20.06
60	2335.836	2599	263.164	11.27
70	2725.142	2940	214.858	7.88
100	3893.06	4214	318.94	8.19
150	5839.59	6221	381.41	6.53
200	7786.12	8417	630.88	8.1
250	9732.65	10511	778.35	8
300	11679.18	12448	768.82	6.58
350	13625.71	14511	885.29	6.49
400	15572.24	17080	1507.76	9.68
450	17518.77	18661	1142.23	6.52

Tabla 6.3 Resultados obtenidos en la simulación para el producto 1390003033

Analizando los resultados, se observa que se ha obtenido un promedio de piel excedente entregada de 10.4 % para esta simulación.

En la figura 6.1 se muestran los resultados representados en una gráfica, donde se puede observar el comportamiento de los datos obtenidos para las diferentes cantidades de pares de zapato y cuál es el excedente de piel entregada.

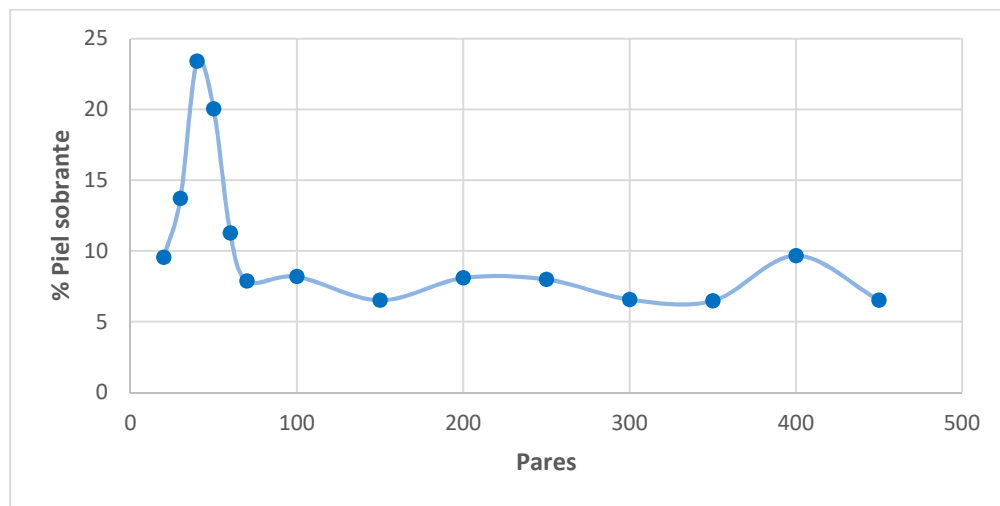


Figura 6.1 Gráfica de resultados de la simulación para el producto 1390003033

En la tabla 6.4 se puede observar la distribución en porcentaje de la cantidad de material entregado de cada tipo de piel para los diferentes números de pares.

<b>NÚMERO DE PARES</b>	<b>%A</b>	<b>%B</b>	<b>%C</b>	<b>%D</b>	<b>%E</b>	<b>%E*</b>
20	0	20.16	27.08	52.76	0	0
30	0	48.34	51.66	0	0	0
40	0	49.63	50.37	0	0	0
50	0	0	47.55	0	24.13	28.32
60	0	0	42.76	0	40.66	16.58
70	20.51	5.85	37.80	21.32	14.52	0
80	0	28.50	44.71	26.79	0	0
90	0	16.75	29.32	30.55	11.26	12.12
100	18.53	4.10	26.36	27.47	23.54	0
150	0	17.44	34.75	18.61	18.56	10.64
200	9.27	12.90	26.13	26.96	13.74	11
250	7.43	20.24	30.96	21.59	10.98	8.80
300	11.11	10.09	26.31	26.79	17.24	8.46
350	9.53	14.70	29.86	22.27	15.64	8
400	8.10	16.21	30.20	25.40	13.29	6.80
450	7.41	12.32	12.81	21.58	17.94	11.84

**Tabla 6.4** Resultados de la mezcla obtenida en la simulación para el producto 1390003033

## 6.1.2 Simulación 2

Los siguientes son los datos correspondientes a la orden de trabajo para la simulación 2:

**Producto:** 1390003265

**Estilo:** 73503

**Material:** Chopi café 14/16 (grosor entre 1.4 y 1.6 mm)

**Descripción:** 73503 Café

**Talla:** 27 (estándar de diseño)

Para el ejemplo planteado se tiene que el modelo tiene un índice de cortabilidad de 2, lo que definirá su respectiva mezcla (*ver tabla 6.5*).

<b>Mezcla para Cortabilidad 2</b>						
<b>Clasificación de la piel por su porcentaje de área aprovechable</b>						
<b>Cortabilidad</b>	<b>A (98%)</b>	<b>B (95%)</b>	<b>C (92%)</b>	<b>D (90%)</b>	<b>E (86%)</b>	<b>E* (75%)</b>
2	4%	10%	24%	27%	30%	5%

**Tabla 6.5** Mezcla para el índice de cortabilidad 2

En la tabla 6.6 se observa el listado de piezas que conforman al estilo 73503, se pueden identificar sus características de dimensión y zona de calidad a la que pertenecen y que son necesarias para que la aplicación pueda funcionar.

<b>NOMBRE PIEZA</b>	<b>ZONA CALIDAD</b>	<b>SUPERFICIE dm2</b>
CHINELA	1	8.75
CHALECO EXTERNO	2	2.97
CHALECO INTERNO	3	2.97
LATIGO DELANTERO	2	0.71
LATIGO TRASERO	2	0.86
LENGUA	3	1.27
REMATE	3	3.08

**Tabla 6.6** Datos de las piezas del producto 1390003265

Para analizar el comportamiento de los resultados se hará una simulación de diferentes órdenes de trabajo donde el valor del número de pares a fabricar irá cambiando.

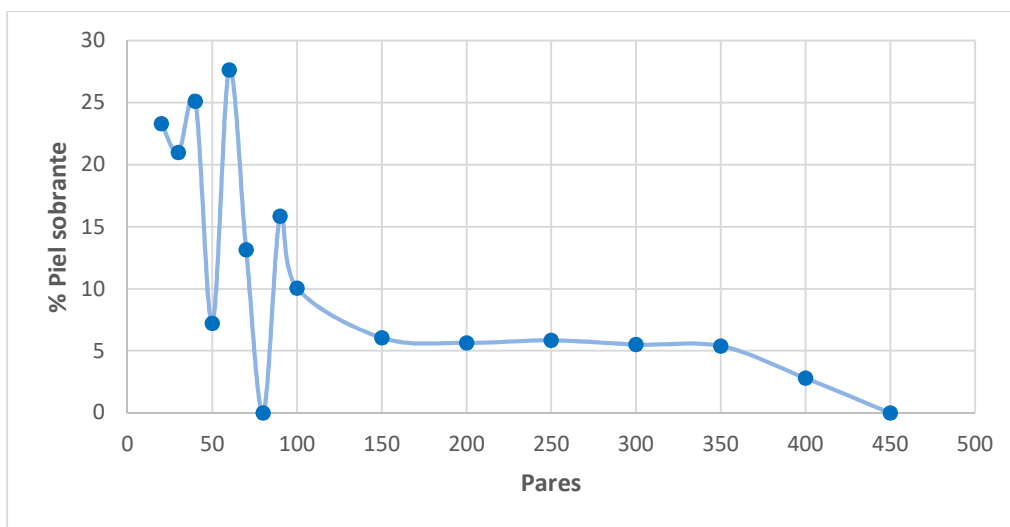
La ejecución de la aplicación para el producto seleccionado ha registrado los resultados mostrados en la tabla 6.7, donde se compara la cantidad de área requerida contra la que ha sido entregada.



NÚMERO DE PARES	ÁREA REQUERIDA (dm2)	ÁREA ENTREGADA (dm2)	ÁREA DIFERENCIA (dm2)	PORCENTAJE SOBRANTE (%)
20	825.804	1077	251.196	23.32
30	1238.706	1568	329.294	21
40	1651.608	2206	554.392	25.13
50	2064.51	2227	162.49	7.23
60	2477.412	3425	947.588	27.66
70	2890.314	3329	438.686	13.17
80	3303.216	3304	0.784	0.02
90	3716.18	4418	701.82	15.88
100	4129	4591	462	10.06
150	6193.53	6594	400.47	6.07
200	8258.04	8754	495.96	5.66
250	10322.55	10967	644.45	5.87
300	12387.06	13111	723.94	5.52
350	14451.57	15276	824.43	5.4
400	16516.08	16995	478.92	2.81
450	18580.59	18582	1.41	0.01

**Tabla 6.7** Resultados obtenidos en la simulación para el producto 1390003265

Analizando los resultados, se observa que se ha obtenido un promedio de piel excedente entregada de 10.9 % para esta simulación. En la figura 6.2 se muestran los resultados representados en una gráfica, donde se puede identificar el comportamiento de los datos.



**Figura 6.2** Gráfica de resultados de la simulación para el producto 1390003265

En la tabla 6.8 se puede observar la distribución en porcentaje de la cantidad de material entregado de cada tipo de piel para los diferentes números de pares.

NÚMERO DE PARES	%A	%B	%C	%D	%E	%E*
20	0	0	0	100	0	0
30	26.72	0	0	73.28	0	0
40	0	0	47.92	52.08	0	0
50	0	0	48.40	51.60	0	0
60	35	0	0	65	0	0
70	0	33.14	0	66.86	0	0
80	0	0	32.62	67.38	0	0
90	0	0	24.40	50.38	0	25.22
100	13.58	0	23.48	62.94	0	0
150	0	0	32.66	50.45	0	16.89
200	0	12.60	36.68	38	0	12.72
250	10.95	10.05	48.68	30.32	0	0
300	9.14	24.76	40.74	25.36	0	0
350	7.84	28.15	34.95	21.77	0	7.29
400	10.72	25.30	31.41	19.57	0	13
450	18.34	23.12	28.74	17.90	0	11.90

Tabla 6.8 Resultados de la mezcla obtenida en la simulación para el producto 1390003265

### 6.1.3 Simulación 3

**Producto:** 1390005382

**Estilo:** 73505

**Material:** Chopi Negro 14/16 (grosor entre 1.4 y 1.6 mm)

**Descripción:** 73505 Negro

**Talla:** 27 (estándar de diseño)

Para el ejemplo planteado se tiene que el modelo tiene un índice de cortabilidad de 0, lo que definirá su respectiva mezcla (ver tabla 6.9).

<b>Mezcla para Cortabilidad 0</b>						
<b>Clasificación de la piel por su porcentaje de área aprovechable</b>						
<b>Cortabilidad</b>	<b>A (98%)</b>	<b>B (95%)</b>	<b>C (92%)</b>	<b>D (90%)</b>	<b>E (86%)</b>	<b>E* (75%)</b>
0	18%	22%	27%	18%	13%	2%

**Tabla 6.9** Mezcla para el índice de cortabilidad 0

En la tabla 6.10 se observa el listado de piezas que conforman al estilo 73503, se pueden identificar sus características de dimensión y zona de calidad a la que pertenecen y que son necesarias para que la aplicación pueda funcionar.

<b>NOMBRE PIEZA</b>	<b>ZONA CALIDAD</b>	<b>SUPERFICIE dm2</b>
CHINELA	1	14.54
TALON EXTERNO	2	5.07
TALON INTERNO	2	5.06

**Tabla 6.10** Datos de las piezas del producto 1390005382

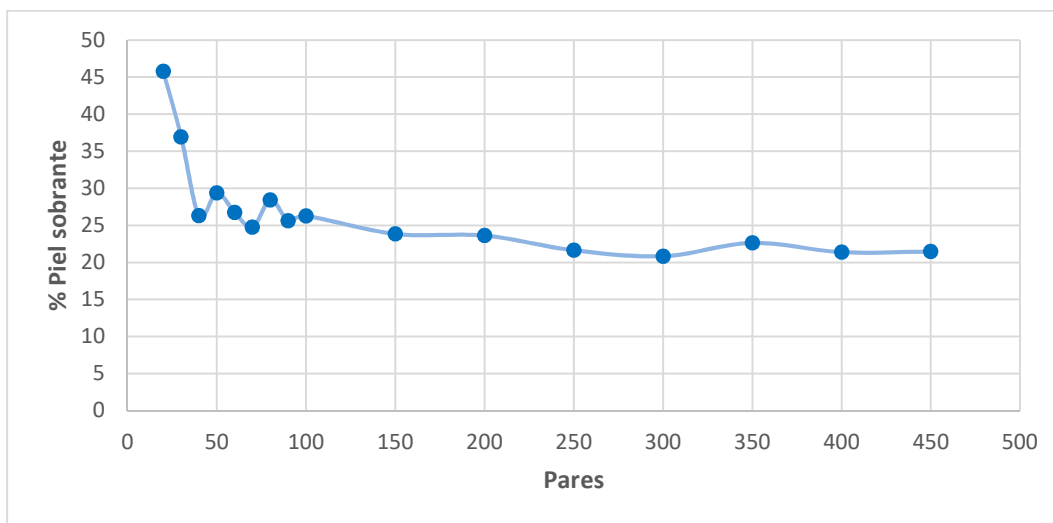
Para analizar el comportamiento de los resultados se hará una simulación de diferentes órdenes de trabajo donde el valor del número de pares a fabricar irá cambiando.

La ejecución de la aplicación para el producto seleccionado ha registrado los resultados mostrados en la tabla 6.11, donde se compara la cantidad de área requerida contra la que ha sido entregada.

NÚMERO DE PARES	ÁREA REQUERIDA (dm2)	ÁREA ENTREGADA (dm2)	ÁREA DIFERENCIA (dm2)	PORCENTAJE SOBRANTE (%)
20	987.336	1821	833.664	45.78
30	1481.004	2349	867.996	36.95
40	1974.672	2680	705.328	26.31
50	2468.34	3497	1028.66	29.41
60	2962.008	4044	1081.992	26.75
70	3455.676	4594	1138.324	24.77
80	3949.344	5521	1571.656	28.46
90	4443.012	5976	1532.988	25.65
100	4936.68	6698	1761.32	26.29
150	7405.02	9727	2321.98	23.87
200	9873.36	12931	3057.64	23.64
250	12341.7	15756	3414.3	21.66
300	14810.04	18715	3904.96	20.86
350	17278.38	22340	5061.62	22.65
400	19746.72	25124	5377.28	21.40
450	22215.06	28293	6077.94	21.48

**Tabla 6.11** Resultados obtenidos en la simulación para el producto 1390005382

Analizando los resultados, se observa que se ha obtenido un promedio de piel excedente entregada de 26.6 % para esta simulación. En la figura 6.3 se muestran los resultados representados en una gráfica, donde se puede identificar el comportamiento de los datos.



**Figura 6.3** Gráfica de resultados de la simulación para el producto 1390005382

En la tabla 6.12 se puede observar la distribución en porcentaje de la cantidad de material entregado de cada tipo de piel para los diferentes números de pares.

NÚMERO DE PARES	%A	%B	%C	%D	%E	%E*
20	42.88	0	32.39	24.71	0	0
30	33.24	0	41.20	25.54	0	0
40	29.14	6.41	40.14	24.29	0	0
50	22.33	18.35	31.77	27.53	0	0
60	19.31	26.82	27.47	26.38	0	0
70	17	23.61	24.18	25.20	0	9.99
80	14.14	19.65	24.30	20.97	20.92	0
90	13.06	18.15	30.07	19.37	19.32	0
100	20.66	16.19	31.03	17.28	14.81	0
150	14.22	21.87	28.68	23.33	11.87	0
200	10.70	24.29	29.89	17.55	17.55	0
250	8.78	21.02	27.50	21.42	21.25	0
300	7.39	22.12	28.80	18.03	23.63	0
350	6.19	21.58	27.20	20.01	19.80	5.20
400	5.50	21.33	26.57	17.79	26.14	2.63
450	4.89	22.06	26.50	19.20	23.21	4.1

**Tabla 6.12** Resultados de la mezcla obtenida en la simulación para el producto 1390005382

## 6.2 Análisis del procedimiento de selección de pieles no optimizado

Es importante tener una referencia previa que permita identificar si con la solución propuesta se logra obtener una mejoría de resultados en el proceso de selección de rollos de piel, por tal motivo se ha tomado un muestreo de 2685 órdenes de producción que fueron procesadas anteriormente a través del sistema con el que actualmente cuenta la empresa patrocinadora. El histórico de registros ha sido proporcionado en archivos Excel, se identificó la cortabilidad correspondiente de cada orden y posteriormente para cada una de ellas se analizó la distribución real de pieles entregadas contra la distribución ideal esperada definida por la mezcla.

El análisis mostrado en la tabla 6.13 refleja la cantidad de veces que se satisface la distribución de tipo de piel al completar una orden de trabajo, la agrupación se ha

hecho considerando el índice de cortabilidad, pero sin distinción en el estilo de cada orden, la talla o la cantidad de pares.

El objetivo es contar con un panorama general del comportamiento de la solución con la que actualmente cuenta la empresa y que pueda servir para identificar si con la aplicación propuesta se obtienen mejores resultados en cantidad y distribución.

Extraer la información necesaria para elaborar la tabla en forma de resumen ha conllevado un esfuerzo extra debido a que los archivos en Excel que fueron proporcionados contenían gran cantidad de información incluyendo otras etapas del proceso. Por lo anterior se tuvo que elaborar un script en java que permitiera leer cada archivo Excel y a su vez extraer el número de ocurrencias para cada distribución generada de acuerdo al índice de cortabilidad.

<b>Análisis de la distribución de las pieles entregadas por orden de producción</b>				
<b>ORTABILIDAD</b>	<b>RESPETARON LA MEZCLA</b>	<b>RESPETARON LA MEZCLA PARCIALMENTE</b>	<b>NO RESPETARON LA MEZCLA</b>	<b>ÓRDENES ANALIZADAS</b>
-4	0	11	29	40
-3	0	9	1	10
-2	0	259	69	328
-1	0	17	8	25
0	1	244	96	341
1	1	415	112	528
2	2	452	56	510
3	2	359	47	408
4	0	223	66	289
5	0	101	66	167
6	1	12	3	15
7	0	6	0	6
8	0	17	1	18
<b>TOTAL ÓRDENES ANALIZADAS:</b>				<b>2685</b>

**Tabla 6.13** *Análisis de pieles entregadas para órdenes de producción reales*

El análisis hecho sobre la tabla mostrada anteriormente refleja que las distribuciones entregadas para las distintas órdenes de producción no respetan del todo la mezcla correspondiente.

Se considera que no siguen la mezcla debido a 2 factores:

1. Se hace uso de tipos de rollos de piel que no deberían de ser utilizados, ya que en las recomendaciones de fabricación se indica 0% de su empleo para el estilo a elaborar.
2. Se satisface el total de las órdenes de trabajo con los tipos de piel que menos se deberían de utilizar.

Otra situación que se ha identificado es la existencia de casos donde se utilizan únicamente los tipos de piel de porcentaje más alto y no se toman en cuenta las otras clasificaciones, aunque estas se encuentren definidas en la mezcla.

En la mayoría de los resultados registrados se ofrece una distribución aleatoria de pieles sin llegar a cumplir la mezcla. Se entregan rollos haciendo combinaciones de pieles de necesidad alta con baja, o simplemente de necesidad media, sin utilizar el porcentaje de distribución sugerido.

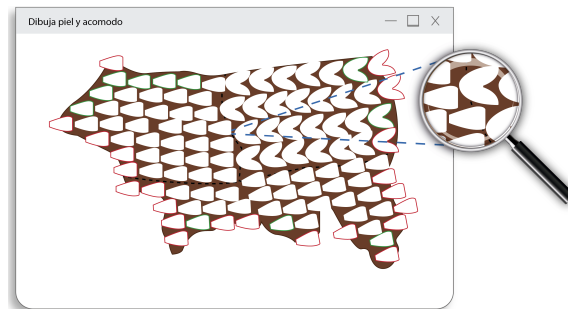
Todo el análisis mostrado en la tabla sólo considera las repeticiones que se presentaron para cada combinación encontrada, no se ha desglosado cada caso para saber realmente si la proporción en porcentaje se acerca a lo ideal, por tal motivo la cantidad de resultados entregados no recomendados podría incrementarse considerablemente.

### **6.3 Análisis de resultados de las simulaciones**

Después de haber ejecutado las simulaciones ejemplificando diferentes órdenes de trabajo se ha observado que hay una cierta inclinación en los resultados. Se tiene una mejor distribución de material cuando la cantidad de piel solicitada es alta y se mejoran los resultados cuando la cantidad de rollos de piel del material especificado es abundante, ya que se tienen más opciones para abastecer la cantidad necesitada. Cuando se requiere una baja cantidad de pares la cantidad de área del rollo de piel sobrante es alta, esto podría modificarse ya que durante la producción se podrán reingresar al almacén aquellos trozos de rollo que pueden ser utilizados por lo que se tendrán más opciones para elegir de diferentes tamaños y se mejorarán los resultados.

Debido a que el proceso de selección de pieles traduce las piezas y rollos en cantidades de área y no se consideran sus formas geométricas se podría tener

como resultado una cantidad de acomodo mayor de piezas a la real debido a la naturaleza de los contornos de las piezas que se tienen espacios que no podrán ser llenados (ver figura 6.4).



**Figura 6.4** Espacios sin aprovechar en simulación de nesting

Se puede observar en la figura anterior que existen espacios sin utilizar entre las piezas acomodadas, la propia geometría de las figuras evita que se pueda aprovechar cada rincón, esto hace pensar que teóricamente las piezas se podrían considerar más grandes que su tamaño real, por lo que se podría crear un factor de área ocupada que se multiplique por el área real de la pieza. Esta situación debería de ser considerada cuando la aplicación trabaje sin que haya sido integrada a la respuesta que el nesting retorne después de haber hecho el acomodamiento.

Se han analizado los datos obtenidos por la aplicación desarrollada y se ha hecho una comparación con la información arrojada por el sistema a sustituir. Para llevar a cabo lo anterior se tomó un muestreo de un histórico de distintos órdenes de trabajo y se identificó como fueron abastecidas. En algunas ocasiones el material entregado rebasaba en más de 100% la cantidad de cuero necesitado. En otras circunstancias, el área entregada ha sido mucho menor, llegando apenas al 75% de piel solicitada. Para poder obtener un valor promedio referente al porcentaje excedente o faltante de la cantidad de área entregada se han suprimido del análisis los valores máximos y mínimos que se tienen registrados, es decir, se descartan aquellos casos donde se podría tener menos piel disponible en el almacén a la requerida y también los que registran porcentajes muy altos entrega de material suponiendo que la cantidad de pares en la orden de producción fuera muy pequeña para un rollo de piel completa. Quitando estos picos, se ha observado que se tiene un porcentaje de entrega excedente que se encuentra en el rango de un 17.5 %. Comparando los resultados obtenidos por la aplicación desarrollada en el presente trabajo (10.9%) contra lo que se genera en el sistema no optimizado (17.5%), se observa que se ha alcanzado una mejoría en el ajuste de material entregado de acuerdo al requerido por una orden de producción.



# Discusión

En este apartado se mencionan las conclusiones que se han generado como resultado del trabajo expuesto en este documento. Se hace una valoración del alcance, las ventajas y limitantes de la solución, así como el trabajo a futuro que puede continuar desarrollándose.

## Conclusiones

Considerando que se aborda un problema complejo y difícil de modelar, el haber hecho uso de un planteamiento heurístico permitió que se simulara un acomodo de piezas de forma matemática, teniendo un resultado esperado semejante a lo que arrojaría el nesting.

Una de las limitantes para el uso de la aplicación es que es necesario contar con toda la información previa, es decir, disponer de los datos relacionados con la cantidad de área de cada zona de calidad de la piel y de las piezas, de lo contrario el aplicativo no podría ser ocupado, por lo que es necesario que las adecuaciones en las etapas previas a la selección de pieles estén hechas.

Debido a que el sistema de nesting se encuentra en fase de desarrollo, no se ha podido hacer una integración con la selección previa de material, considerando que eso podía pasar, o que por alguna situación el módulo de acomodo de piezas de forma automática no se encontrara operando debido a mantenimiento o por alguna falla de software o de hardware, se podrá seguir obteniendo un resultado de la selección de pieles para que el operador continúe el trabajo de forma manual.

El sistema de nesting es el módulo más importante para llevar a cabo un buen aprovechamiento de la piel, aunque el conjunto de pieles entregadas por parte de la aplicación de selección de material sea la óptima se podría generar un gran desperdicio si la solución empleada para el acomodo de las piezas no es la correcta, la cantidad de sobrante podría inclusive rebasar los resultados entregados por la operación manual.

Durante el desarrollo de la aplicación se tuvieron que hacer adecuaciones al código debido a que los parámetros de la mezcla fueron ajustados por la empresa, al ocurrir esta situación se tomó conciencia del estado cambiante de los lineamientos. Considerando este comportamiento se optó por desarrollar el software lo más

configurable posible, por lo que la aplicación soporta aumento o reducción de índices de cortabilidad con sus respectivas asociaciones de mezcla, cambios en la relación de porcentaje del aprovechamiento de la piel y modificaciones en el porcentaje de utilización de algún tipo de piel. Todos los cambios requeridos de esa índole son soportados simplemente con realizar modificaciones en el contenido de las tablas de la base de datos sin tener que modificar su estructura ni la del código fuente.

En el capítulo anterior se llevaron a cabo las pruebas de selección de pieles con diferentes modelos y cantidad de pares donde se pueden observar los resultados de forma gráfica y se ha identificado que hay una tendencia, cuando las órdenes de trabajo señalan una producción de zapatos alta, es mayor el porcentaje de aprovechamiento de la piel, esto es debido a que cuando la cantidad de pares es menor, este requerimiento puede ser cubierto con una 1 o  $\frac{1}{2}$  piel, quedando así gran parte de la piel sin ser ocupada.

El lograr un buen resultado en la entrega de la piel también dependerá de la cantidad de rollos que se tengan disponibles en el stock del almacén, ya que entre mayor cantidad se tenga, la aplicación podrá tener más posibilidades para seleccionar y hacer las combinaciones.

Acomodar una pieza sobre la piel dependerá del entorno que lo rodea, es decir, de su propia forma, los bordes del rollo y las piezas vecinas. Siempre existirán espacios que no podrán ser utilizados por lo que sería sano introducir un factor de aprovechamiento por pieza considerando la forma que esta tenga.

Un aspecto a mejorar es la evaluación de la aplicación. La empresa patrocinadora proporcionó los datos de los modelos incluyendo el área de sus piezas, pero la cantidad de modelos que contienen toda la información suficiente para realizar las pruebas no es muy amplia. Esta situación deberá cambiar conforme se vayan implementando las adecuaciones a todos los módulos del proceso para lograr integrar todas las etapas y tener un análisis de resultados integral.

La diferencia entre el área necesitada y el área entregada no significa precisamente que la piel no utilizada sea desechada, podría tratarse de pieles casi completas, de las cuales solo se utilizó parte de una zona de calidad por lo que podrán ser digitalizadas y reingresadas a la base de datos para su uso futuro. Como resultado de la tesis desarrollada se ha obtenido una aplicación cuya finalidad es optimizar el proceso de selección de pieles, una vez concluido el trabajo y analizando los resultados se puede identificar que se han alcanzado los objetivos planteados al inicio del presente trabajo.

## Trabajo futuro

Un sistema de software siempre está en constante transformación, ya sea para corregir alguna situación, agregar nuevas funcionalidades a la aplicación o realizar una reingeniería debido a modificaciones en los procedimientos que establece el cliente.

Para realizar una entrega más exacta, la aplicación deberá de ser capaz de trabajar en paralelo con el módulo de nesting, es decir, piel que sea seleccionada deberá de ser inmediatamente procesada para el acomodo de las piezas, de esa forma se sabría cuáles piezas y cuántos elementos por pieza han sido acomodados, permitiendo actualizar en tiempo real los datos sobre el área disponible de cada zona de calidad y la información referente a las piezas faltantes.

Una de las características que se podrían añadir para futuras versiones sería que la aplicación tuviera la capacidad de procesar órdenes de trabajo que contengan más de un modelo a fabricar y que se pueda considerar más de una talla a la vez.

La solución propuesta ha sido desarrollada para una empresa en particular, por lo que se adapta a sus características operacionales, pero puede ser un punto de partida para ser adaptada a otras empresas sobretodo cuyo volumen de producción diario sea alto.

Será importante implementar la funcionalidad de generación de reportes, con lo que se podrá estructurar detalladamente en forma de resumen toda la información referente a una orden de trabajo y como fue procesada.

Desarrollar un apartado de administración para que el personal designado tenga la posibilidad de configurar los porcentajes de la mezcla si es que se define algún cambio y no sea necesario algún administrador de base de datos para tales modificaciones.

## Referencias

- [1] M. Bayardy, «El difícil arte de calzar bien,» Revista Industria, Organó informativo de la CONCAMIN, vol. 1, pp. 30 - 31, abril 1990.
- [2] Fondo Nacional de Estudios y Proyectos, NAFINSA, La industria del calzado en México.
- [3] APICCAPS (Portuguese Footwear, Components and Leather Goods Manufacturers' Association), World Footwear Yearbook 2017, CEGEA, 2017.
- [4] CICEG (Cámara de la industria del calzado del estado de Guanajuato), [http://www.ciceg.org/pdf/SectorCalzado\\_2018.pdf](http://www.ciceg.org/pdf/SectorCalzado_2018.pdf).
- [5] Expansión, <http://expansion.mx/manufactura/articulos-de-interes/industria-del-calzado>.
- [6] La jornada, <http://www.jornada.unam.mx/2008/06/12/index.php?section=politica&article=010n2p0l>.
- [7] «ZUND. Swiss cutting systems, <https://www.zund.com/en/leather>.
- [8] Gemini CAD Systems, «Thagora,» <https://www.geminiCAD.com/industry-leather-ranking/>.
- [9] [http://biblioteca.sena.edu.co/exlibris/aleph/u21\\_1/alephe/www\\_f\\_spa/icon/35337/mo\\_dulo4/3/7.html](http://biblioteca.sena.edu.co/exlibris/aleph/u21_1/alephe/www_f_spa/icon/35337/mo_dulo4/3/7.html).
- [10] «Step 2 Sustainability,» Enero 2016. <https://www.step2sustainability.eu/docs/Unit2.pdf>.
- [11] Ministerio de Educación y Ciencia, Calzado y Marroquería, España, 1994.
- [12] «Mirisys,» <https://www.mirisys.com/product/digitizing-import/interactive-marking-defects/>.
- [13] S. D. O. J. Eréndira Miriam Jiménez Hernández, «Revista Digital Universitaria,» <http://www.revista.unam.mx/vol.13/num1/art16/>.
- [14] C. P. Patricio Letelier, «Métodologías ágiles para el desarrollo de software,» Ciencia y Técnica Administrativa, vol. 5, nº 26, 2006.
- [15] M. James, «Scrum Reference Card,» 2012.
- [16] V. Burbridge, «Revista de artes,» Julio 2007. <http://www.revistadeartes.com.ar/revistadeartes%207/historiadelcalzado.html>.
- [17] M. Mateos, «Manufactura,» Mayo 2007. <http://www.manufactura.mx/industria/2007/05/02/industria-del-calzado-un-diagnostico>.
- [18] E. I. Lesaga, Las industrias del cuero y del calzado en México, IIEc-UNAM, 1998.
- [19] L. R. A. C. Álvarez, «Perspectivas de la industria del calzado en México,» 2007.
- [20] Instituto Valenciano de la Exportación, «Sector calzado en México,» Valencia, España, 2009.
- [21] G. F. Ledesma, Calzado mexicano. Cactlis y huaraches, vol. 2, Secretaria de Educación Pública, 1930.
- [22] «Tu interfaz de negocios,» 2012. <http://www.tuinterfaz.mx/index.php?e=9>.

- [23] Servicio de Formación Profesional Reglada, «Consejería de Educación y Cultura-Gobierno de Extremadura,»  
[http://fp.educarex.es/fp/oferta\\_formativa/fciclo/text\\_conf\\_piel/tcpcal2p.pdf](http://fp.educarex.es/fp/oferta_formativa/fciclo/text_conf_piel/tcpcal2p.pdf).
- [24] Felipe Ochoa y Asociados, S.C., «Instituto Nacional de la Economía Social,»  
[http://www.inaes.gob.mx/doctos/pdf/guia\\_empresarial/calzado\\_de\\_cuero.pdf](http://www.inaes.gob.mx/doctos/pdf/guia_empresarial/calzado_de_cuero.pdf).
- [25] Universidad de Palermo, I Encuentro Latinoamericano de Diseño "Diseño en Palermo" Comunicaciones Académicas, Buenos Aires, 2006, pp. 131-132.
- [26] U. P. Bolivariana, Guía para el manejo integral de residuos, Medellín, Colombia, 2008.
- [27] Periódico Oficial del Gobierno del Estado de Guanajuato, «Condiciones para el manejo y la disposición de los residuos sólidos generados por la industria del calzado,» Guanajuato, 2000.
- [28] Secretaría de economía, «La importancia económica de la protección a la industria del calzado en México,» 2011.
- [29] P.-V. M. M. E. De Miguel-Castaño A., Diseño de bases de datos, Colombia: Alfaomega, 2000.
- [30] P. R, Ingeniería del Software un enfoque práctico,5, España: McGrawHill, 2002.
- [31] H. Dyckhoff, «A typology of cutting and packing problems,» European Journal of Operational Research, vol. 44, 1990.
- [32] H. D. Paul Deitel, Cómo programar en java, 9 ed., México, Pearson, 2012.
- [33] P. R, Ingeniería del Software un enfoque práctico, España: McGraw-Hill, 2002.
- [34] Y. X. T. G. P. L. Santillán Gutiérrez S., «Acomodo de figuras irregulares en áreas irregulares,» Memorias del XVI congreso internacional anual de la SOMIM. 2010 Monterrey, Nuevo León, 2010.
- [35] «Catálogo de calzado Flexi,» <https://flexi.shoes/mx/>.
- [36] Cámara de la industria del calzado del estado de Guanajuato, 2010.  
<http://www.ciceg.org/estadisticas/estadisticas.pdf>.

## Anexo A. 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.

**Estilo:** Se le denomina a un tipo de zapato en particular y no está definido por un color en particular o por el tipo de material.

**Modelo:** Se refiere al nombre con que se identifica la relación del estilo y el material del calzado.

**Nesting:** Proceso automático de acomodo de piezas de calzado sobre una piel previamente digitalizada. Se efectúa por medio de un equipo de cómputo y tiene como finalidad minimizar el desperdicio de la piel.

**Orden de trabajo:** Es el pedido que comprende el número de pares y la talla de calzado de un producto en específico que será fabricado.

**Pieza:** Es la representación digital del contorno de cada una de las piezas físicas que conforman al zapato.

**Prioridad:** Valor calculado dinámicamente que indica cual es la siguiente pieza que será acomodada virtualmente.

**Producto:** Es el resultado final de la fabricación de calzado, y es identificado por un valor numérico.

**Zonas de calidad:** Se refiere a las regiones de la piel, definidas por la variación en el grosor de la piel, existen los tipos: 1, 2 y 3 siendo la zona 1 la de mejor calidad.

**Zonas de estiramiento:** Se refiere a las regiones de la piel las cuales se alargan en cierta dirección.

## Anexo B. Diccionario de datos.

Tabla: area_grado		Descripción: Tabla de registros temporales que permite llevar un control del acomodo de área por grado					
Nombre	Acrónimo	Tipo de dato	Longitud	Nulo	Llave	Relación	Descripción
Identificador del grado	id_grado	character varying	2	NO	PK,FK	grado	Identificador del grado de la piel
Identificador de la orden	id_orden_trabajo	character varying	20	NO	PK,FK	orden_trabajo	Identificador de la orden de trabajo
Porcentaje	porcentaje_distribucion	smallint		YES			% definido para la distribución por grado
Área	area	numeric		YES			Área asignada por grado

Tabla: asignacion_rollos		Descripción: Tabla que especifica los rollos seleccionados para completar una orden de trabajo					
Nombre	Acrónimo	Tipo de dato	Longitud	Nulo	Llave	Relación	Descripción
Identificador de orden	id_orden_trabajo	character varying	20	NO	PK,FK	orden_trabajo	Identificador de la orden de trabajo
Identificador del rollo de piel	id_piel	character varying	20	NO	PK,FK	piel	Identificador del rollo de piel
Fecha de asignación de la piel	fecha_asignación	date		NO			Fecha de asignación del rollo de piel a una orden

Tabla: estilo		Descripción: Tabla que contiene el catálogo de estilos de zapato					
Nombre	Acrónimo	Tipo de dato	Longitud	Nulo	Llave	Relación	Descripción
Identificador del estilo	id_estilo	character varying	20	NO	PK		Identificador del estilo del zapato
Identificador de la cortabilidad	id_cortabilidad	character varying	2	NO	FK	mezcla	Identificador del índice de cortabilidad

Tabla: grado		Descripción: Tabla que contiene el listado de grados con su respectivo porcentaje de aprovechamiento					
Nombre	Acrónimo	Tipo de dato	Longitud	Nulo	Llave	Relación	Descripción
Identificador de grado	id_grado	character varying	2	NO	PK		Identificador del grado de un rollo de piel
Aprovechamiento	porcentaje_aprovechamiento	smallint		YES			% de área aprovechable de un rollo de piel

Tabla: material		Descripción: Tabla que contiene el catálogo de materiales de un rollo de piel					
Nombre	Acrónimo	Tipo de dato	Longitud	Nulo	Llave	Relación	Descripción
Identificador del material	id_material	character varying	20	NO	PK		Identificador del material
Descripción del material	descripcion	character varying	60	YES			Descripción del material

Tabla: mezcla		Descripción: Tabla que describe la distribución de la mezcla por índice de cortabilidad					
Nombre	Acrónimo	Tipo de dato	Longitud	Nulo	Llave	Relación	Descripción
Identificador de la cortabilidad	id_cortabilidad	character varying	2	NO	PK		Identificador del índice de cortabilidad
Porcentaje grado A	porcentaje_A	smallint		NO			% de utilización de A
Porcentaje grado B	porcentaje_B	smallint		NO			% de utilización de B
Porcentaje grado C	porcentaje_C	smallint		NO			% de utilización de C
Porcentaje grado D	porcentaje_D	smallint		NO			% de utilización de D
Porcentaje grado E	porcentaje_E	smallint		NO			% de utilización de E
Porcentaje grado E*	porcentaje_E*	smallint		NO			% de utilización de E*

Tabla: orden_trabajo		Descripción: Tabla que contiene la información de cada orden de trabajo generada					
Nombre	Acrónimo	Tipo de dato	Longitud	Nulo	Llave	Relación	Descripción
Identificador de orden	id_orden_trabajo	character varying	20	NO	PK		Identificador de la orden de trabajo
Identificador del producto	id_producto	character varying	20	NO	FK	producto	Identificador del producto
Talla	talla	smallint		NO			Talla del zapato
Cantidad de pares	cantidad_pares	integer		NO			Cantidad de pares a elaborar
Área de la zona de calidad 1	area_zona_1	numeric		YES			Cantidad de área a surtir para la zona de calidad 1
Área de la zona de calidad 2	area_zona_2	numeric		YES			Cantidad de Área a surtir para la zona de calidad 2
Área de la zona de calidad 3	area_zona_3	numeric		YES			Cantidad de área a surtir para la zona de calidad 3



Tabla: piel		Descripción: Listado de rollos de piel disponibles en el almacén					
Nombre	Acrónimo	Tipo de dato	Longitud	Nulo	Llave	Relación	Descripción
Identificador del rollo de piel	id_piel	character varying	20	NO	PK		Identificador del rollo de piel
Identificador del grado de la piel	id_grado	character varying	2	YES	FK	grado	Identificador del grado del rollo de piel
Identificador del material	id_material	character varying	20	YES	FK	material	Identificador del material
Área total	area_total	numeric		YES			Cantidad de área total del rollo de piel
Área de la zona de calidad 1	area_zona_1	numeric		YES			Cantidad de área de la zona de calidad 1 de la piel
Área de la zona de calidad 2	area_zona_2	numeric		YES			Cantidad de área de la zona de calidad 2 de la piel
Área de la zona de calidad 3	area_zona_3	numeric		YES			Cantidad de área de la zona de calidad 3 de la piel
Fecha de ingreso de la piel	fecha_ingreso	date		YES			Fecha de ingreso del rollo de piel al almacén
Activo	activo	boolean		YES			Bandera de activación del rollo de piel

Tabla: pieza		Descripción: Tabla que contiene la información de las piezas que conforman a un zapato					
Nombre	Acrónimo	Tipo de dato	Longitud	Nulo	Llave	Relación	Descripción
Identificador de la pieza	id_pieza	character varying	20	NO	PK		Identificador de la pieza del zapato
Identificador del estilo	id_estilo	character varying	20	NO	FK	estilo	Identificador del estilo
Talla	id_talla	smallint		NO	FK	talla_estilo	Talla de la pieza
Descripción	descripcion	character varying	50	YES			Descripción de la pieza
Zona de calidad	zona_calidad	character	1	NO			Zona de calidad a la que pertenece la pieza
Área	area	numeric		YES			Cantidad de área de la pieza

Tabla: producto		Descripción: Tabla que contiene el catálogo de productos disponibles					
Nombre	Acrónimo	Tipo de dato	Longitud	Nulo	Llave	Relación	Descripción
Identificador del producto	id_producto	character varying	20	NO	PK		Identificador del producto
Identificador del estilo	id_estilo	character varying	20	YES	FK	estilo	Identificador del estilo
Identificador del material	id_material	character varying	20	YES	FK	material	Identificador del material
Descripción	descripcion	character varying	40	YES			Descripción del producto

Tabla: talla_estilo		Descripción: Tabla que especifica las tallas disponibles para cada estilo					
Nombre	Acrónimo	Tipo de dato	Longitud	Nulo	Llave	Relación	Descripción
Talla	id_talla	smallint		NO	PK		Talla del zapato
Identificador del estilo	id_estilo	character varying	20	NO	PK	estilo	Estilo del zapato