

## 2. ANÁLISIS DEL PROBLEMA

---

### 2.1. Descripción del problema de Nesting

#### 2.1.1. Situación de la industria del calzado.

La industria del calzado en México es un sector importante en la economía por su participación en el PIB total y manufacturero, por su generación de divisas vía exportaciones y por el número de empleos que genera. Adicionalmente, la producción de calzado es importante porque es un artículo de primera necesidad, ubicado sólo después de la alimentación, vivienda y vestido. [10]

A pesar de su importancia, la participación de la industria del calzado en la economía se ha reducido de forma significativa debido al bajo crecimiento de su producción. Lo anterior se debe a que 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. [10]

Ante este escenario, y considerando que este sector es de gran importancia en la producción, empleo y exportaciones a escala nacional y regional, la necesidad de una estrategia y de un programa para fortalecer y aprovechar las ventajas competitivas de las empresas de la cadena cuero-proveeduría-calzado tiene un carácter prioritario. [10]

La estrategia de competitividad internacional de México debe ser una estrategia basada en la calidad y servicio integral al cliente que permita un modelo de respuesta rápida cumplir con un sistema de producto correcto → cantidad correcta → tiempo correcto → lugar correcto → precio correcto, esto es, una estrategia de competitividad internacional que supere a la clásica ventaja comparativa basada en mano de obra barata. Pensando en ello la Secretaría de Economía, crea el “Programa para la Competitividad de la Industria del Cuero y Calzado”, cuya prioridad es diseñar estrategias capaces de fortalecer a la industria de calzado en México; estrategias que permitan aumentar el valor agregado de los productos, tiempos cortos de manufactura y entrega, manteniendo la calidad de la manufactura así como del producto final. [10]

Dentro del proceso de fabricación del calzado existe el procedimiento de corte de las diferentes piezas que lo conforma. Actualmente dicho proceso es realizado por obreros calificados que hacen manualmente el acomodo de las piezas que constituirán el calzado dentro de la piel, previo al corte. A este acomodo se le llama “Nesting”. [10]

Automatizar el proceso de acomodo en la piel de las piezas que conforman el calzado representa una solución para reducir los tiempos de manufactura y costos. [10]

### **2.1.2. Definición de Nesting.**

El problema de Nesting no es exclusivo de la industria del calzado, es importante también para varias industrias en donde se involucra la optimización de materia prima del producto. Industrias como la textil, para diseñar el acomodo de las piezas que constituirán una prenda, en el diseño de circuitos electrónicos, productos laminados, en la industria de papel, etc. El acomodo de las piezas del producto difiere de industria a industria, así como las restricciones de acomodo. [11]

En general el problema del Nesting puede definirse como sigue. Dado un conjunto de  $N$  modelos (piezas, partes), debe encontrarse el acomodo de tal forma que no se sobrepongan las piezas a lo largo de un contenedor (superficie, placa). El acomodo óptimo es aquel en el que todas las piezas se tocan lo más ajustadamente posible. El hueco resultante del espacio entre las piezas y alrededor del acomodo de la pieza es un desperdicio del material y se traduce en pérdidas al realizarse el corte. En la industria del calzado la geometría de las piezas es irregular en la mayoría de los casos. El problema de acomodar piezas irregulares es conocido como Nesting. [12]

Para hacer un par de zapatos el costo de la materia prima es aproximadamente 70% del costo total del proceso de manufactura. [12] De aquí se destaca que lo primordial es obtener una reducción de las pérdidas del material puesto que se traduce en reducción de costos.

La geometría de las piezas que serán cortadas puede variar desde un simple rectángulo hasta una forma irregular. En el caso de piezas irregulares, su geometría puede contener líneas rectas y curvas. Además las piezas de dos dimensiones pueden tener características internas tales como hoyos, también de geometría regular e irregular. De manera similar el contenedor puede ser de geometría regular o irregular y con o sin defectos. [13]

Debido a que el proceso de Nesting incluye muchos tipos de combinaciones es difícil y computacionalmente se consume mucho tiempo para encontrar la solución óptima mediante el uso de métodos de programación que utilizan matemáticas tradicionales. Así las técnicas heurísticas se aplican para resolver el problema, sin embargo, pueden ser lentos y poco aplicables a problemas reales. Existen otras propuestas basadas en algoritmos genéticos, sin embargo, aún su velocidad no se ha mejorado como para aplicaciones prácticas. [13]

El presente trabajo no resuelve el Nesting completo, sino que se enfoca en el acomodo de una sola pieza en un área específica. Es decir, se considera que el Nesting se resuelve acomodando pieza por pieza. Aquí se plantea una solución para acomodar una sola pieza con el auxilio de un perfil que se forma no sólo con el contenedor, sino con las piezas ya acomodadas, sin considerar como éstas fueron acomodadas. Se plantea un método, que se detallará posteriormente, para seleccionar un acomodo óptimo dentro de un conjunto de posibilidades de acomodar una sola pieza dentro de un contorno determinado.

## 2.2. Solución propuesta.

Una vez que se determinó el seguimiento para el acomodo entre el contenedor y la pieza a ser acomodada, el problema a resolver consiste en saber cuál será la siguiente pieza a acomodar y la posición óptima, de tal forma que el área ocupada por la pieza y área de todos los huecos que queden entre la pieza y el contenedor sean mínima.

El problema se reduce, ya que no se toman en cuenta las piezas que han sido acomodadas previamente; únicamente se involucra la pieza que se quiere acomodar y el espacio disponible donde será colocada. El espacio en que la pieza puede acomodarse puede estar restringido únicamente por el contorno de la piel, sin embargo; si ya se han acomodado piezas, el espacio disponible de acomodo queda restringido por las piezas que ya han sido acomodadas, o bien por piel y piezas.

Debido a que los resultados obtenidos sólo son evidentes al ojo humano se propone manejar lógica difusa, ya que nos permite llegar rápidamente a una solución de una manera eficiente y sin tener grandes complicaciones en el algoritmo. Así por ejemplo, se forman conjuntos difusos con el área ocupada de la pieza que resuelve lo siguiente: ¿cómo saber si el área que ocupa una pieza es chica o grande? Ahí es donde la lógica difusa entra en acción y para un valor específico del conjunto *área ocupada* le asigna un valor para cada una de las funciones de membresía, si consideramos que las funciones de membresía son: área chica y área grande, la lógica difusa permite que un valor este en un porcentaje dentro del área chica y en una mayor o menor en el área grande, hecho que no se tiene en la lógica convencional en la cual tendríamos que elegir entre una u otra al 100%.

Clasificar el valor del área que una pieza ocupa y además el área de los huecos que va dejando al ser acomodada en una cierta posición nos permite crear una serie de reglas para determinar una solución óptima.

## 2.3. Cómo aplicar Lógica Difusa.

### 2.3.1. Requerimientos para el sistema fuzzy: generación del perfil y envolvente convexa.

Como se mencionó anteriormente, y haciendo énfasis en que no se resuelve el Nesting completo, se tiene que el problema se reduce a un acomodo de una única pieza dentro de un contenedor y encontrar la posición óptima de la pieza. Por la definición del Nesting sabemos que el objetivo es acomodar la pieza lo más pegada al contenedor y a las piezas adjuntas, en este caso como el contorno de las piezas adjuntas y el contenedor ya forman un perfil, y al acomodar una pieza irregular es posible que existan varios huecos, lo que se busca para llegar a un acomodo óptimo es reducir el área que conforman todos los huecos. Puesto que esos huecos se traducen en desperdicio del material.

A continuación se explica de manera breve y general el procedimiento antes de aplicar lógica difusa; a su vez se listan los requerimientos para que funcione el sistema difuso: el perfil y la envolvente convexa.

Para definir el perfil es necesario determinar el espacio disponible de acomodo que estará delimitado por un contorno o perímetro. Para construirlo se coloca la pieza lo más cercana a la piel o piezas contiguas, sin que ésta se encime o traslape, como se observa en la figura 2.1

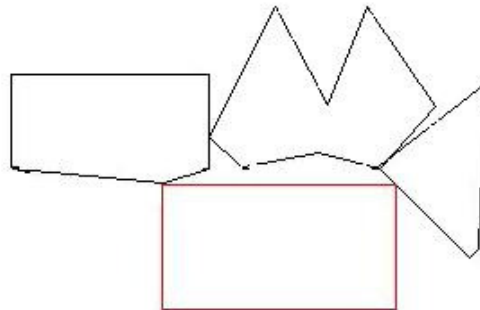


Figura 2.1. Colocando la pieza para generar perfil

Una vez que se colocó la pieza de manera temporal, se procede a definir el perfil que será usado para esa pieza en específico; el perfil obtenido para este caso es el que se muestra en la figura 2.2



Figura 2.2. Perfil generado

La finalidad del perfil es tener un contorno cerrado que sea independiente de los pedazos de piel o piezas que lo conforman, de tal manera que teniendo el contorno el problema se reduzca a acomodar una pieza dentro del mismo, dejando de lado por un momento las piezas acomodadas previamente.

Siguiendo con el procedimiento, cada vez que quiera acomodar una nueva pieza es necesario construir su correspondiente perfil. La posición de la pieza es temporal pues sólo funciona como auxiliar en la construcción del perfil. Dentro del perfil generado la pieza tiene “n” posibles posiciones en ese perfil.

De las “n” posiciones generadas, es necesario determinar cuál será la posición óptima al acomodarla de acuerdo al área que ocupe y los huecos que forme ésta con su respectivo perfil.

Un acomodo óptimo será aquel que tenga una mayor área ocupada y una menor área de huecos. Nótese que los términos *mayor* y *menor* están definiendo los conjuntos difusos que ayudarán a seleccionar posteriormente la pieza así como la condición que ayudará a crear una de las reglas empleadas.

El área ocupada de una pieza es definida por su propia área. El área de los huecos se determinan a partir del perfil, el área de la pieza y la envolvente convexa.

La envolvente convexa de un conjunto de puntos S es el polígono convexo P que contiene a todos los elementos S con menor área (o perímetro) posible. La envolvente convexa se aplica al conjunto de puntos que conforman la pieza y al conjunto de puntos que conforman el perfil, de tal manera que se pueda obtener el área estimada de los huecos que deja el acomodar una pieza de cierta manera.

Para saber si una pieza cumple con los requisitos de área mayor y menor área de huecos es preciso acomodarla y calcular su área de huecos, para posteriormente seleccionar la más adecuada.

Para tener todas las posibilidades de acomodo de una pieza, se coloca la pieza de tal manera que pueda ir recorriendo el perfil poco a poco y barra todas las posibles posiciones que sean válidas de esa pieza. Una posición es válida siempre y cuando no se traslape con otra pieza o se salga de la piel, es decir, no se salga del perfil. Cada vez que se tiene un nuevo acomodo o posición *i* de la pieza se evalúa área y huecos de tal forma que al final se tenga el área ocupada relacionada a la posición *i* y el área de huecos *i* para la posición *i*. Y al final una lista de todas las posibles posiciones así como cada una de las áreas ocupada y áreas de huecos para cada posición en específico, listos para entrar al sistema difuso que será el que elija la pieza cuyo acomodo sea el óptimo.

### 2.3.2. Entradas del sistema difuso: eficiencia de área ocupada, tasa de huecos.

Las variables de entrada para el sistema difuso propuesto son: *la eficiencia de área ocupada*  $\eta_A$  y *la tasa de huecos*  $T_H$ , para cada una de ellas existen conjuntos difusos que le otorgan un nivel de pertenencia a una entrada numérica específica y así por medio ciertas reglas se obtenga una salida.

La  $\eta_A$  es la propia área de la pieza y representa el porcentaje de área que ocupa la pieza o geometría con respecto al perfil, entre mayor sea la  $\eta_A$  se aprovecha más el espacio. Sin embargo, no es suficiente con que se ocupe una mayor cantidad de área, también es necesario verificar si tal área es, en efecto aprovechada, es decir, si el área no es demasiado grande el área de todos los huecos que quedan cuando es “acomodada” la pieza respecto al perfil. La forma de calcular la eficiencia de área ocupada es:

$$\eta_A = \frac{A_P}{A_E} \times 100$$

donde,

$\eta_A$  Eficiencia de área ocupada

$A_E$  Área de la envolvente

$A_P$  Área de la pieza

A continuación se muestran, en la figura 2.3, imágenes que representan algunos de los conjuntos para el Área Ocupada.

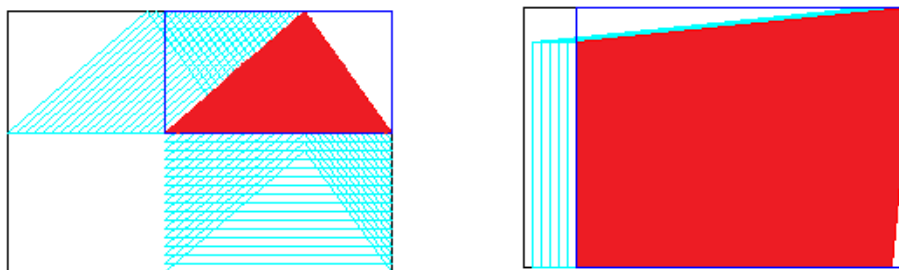


Figura 2.3 ejemplo de los conjuntos Área Ocupada Chica y Área Ocupada Muy Grande

La  $T_H$  representa el área de todos los huecos que deja la pieza al ser “acomodada” con respecto al perfil. Si una pieza tiene una mayor tasa de huecos implica que la suma total

de las áreas de los huecos que se tienen al hacer el “acomodo” es muy grande. La tasa de huecos se calcula como sigue:

$$T_H = \frac{A_E - A_P}{A_E} \times 100$$

donde,

$T_H$  Tasa de huecos

$A_E$  Área de la envolvente

$A_P$  Área de la pieza

Así un acomodo óptimo será el que tenga una alta eficiencia de área ocupada y una baja tasa de huecos.

A continuación se muestran en la figura 2.4, imágenes que representando algunos de los conjuntos para la Tasa de Huecos.

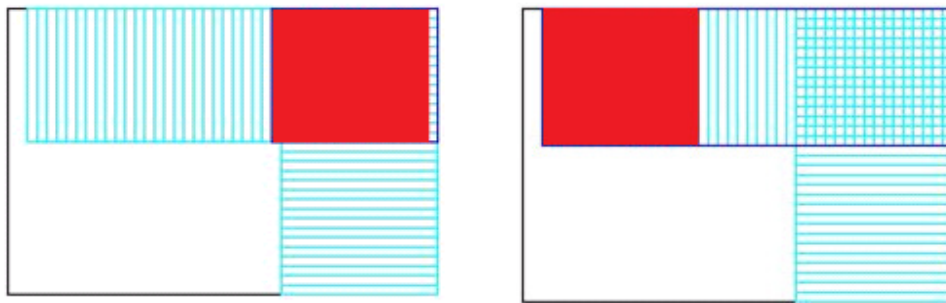


Figura 2.4. Ejemplo de los conjuntos Tasa de Huecos Muy Chica y Tasa de Huecos Grande

En la figura 2.5 se muestra una parte del sistema difuso propuesto.

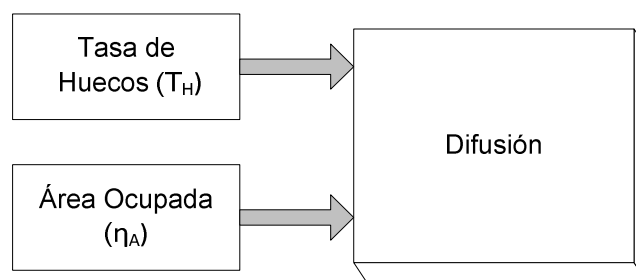


Figura 2.5. Entradas al Sistema Difuso

### 2.3.3. Definición de los conjuntos de entrada.

Una de las características de un conjunto difuso es que permite trabajar con datos numéricos y términos lingüísticos, así para una entrada determinada que es un valor numérico se le asigna un valor de pertenencia para uno o varios conjuntos difusos (que son lingüísticos).

Los conjuntos que conforman la Tasa de Huecos son: *Muy chica*, *Chica*, *Media*, *Grande* y *Muy grande*. La figura 2.6 muestra los conjuntos definidos para la Tasa de Huecos y los rangos que los definen.

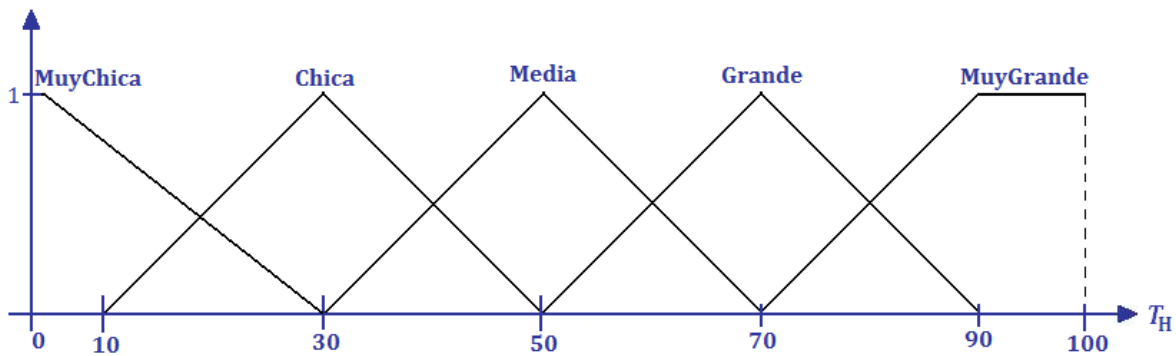


Figura 2.6. Conjunto de entrada Tasa de Huecos

Los conjuntos para la eficiencia de Área Ocupada son cinco: *Muy chica*, *Chica*, *Media*, *Grande* y *Muy grande*. La figura 2.7 muestra los conjuntos difusos y los rangos que los definen.

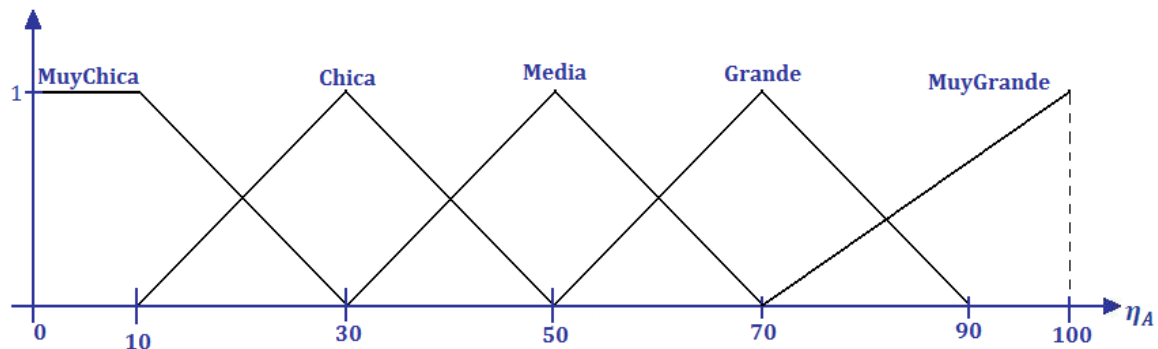


Figura 2.7. Conjunto de entrada eficiencia de Área Ocupada

Cuando el área pertenece en mayor medida al conjunto *Muy chica* implica que el área de la pieza abarca poco espacio del área del perfil. Así un área *Muy grande* implica que la pieza abarca casi la totalidad del área del perfil.



### 2.3.4. Definición de los conjuntos de salida.

En este apartado se define la salida del sistema difuso que es el resultado de las entradas una vez que han pasado por la difusión.

Se define como *Bondad* a la variable de salida, que sirve para determinar que tan eficiente es un acomodo. La bondad está definida en porcentaje, así entre más se acerque al 100% el acomodo se acerca al óptimo.

La figura 2.8 muestra la totalidad del sistema, conjuntos de entrada y salida.

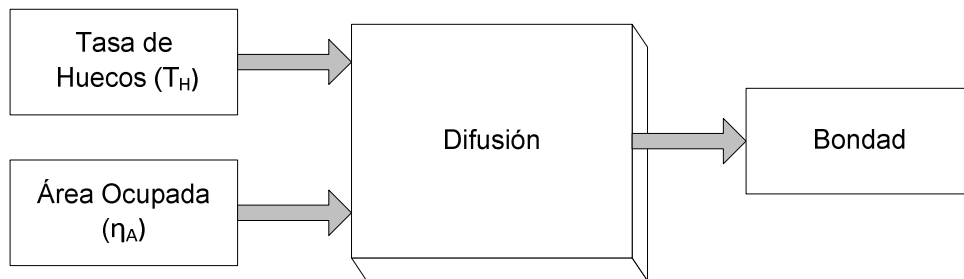


Figura 2.8. Sistema Difuso con entradas y salidas

Los conjuntos difusos para la salida se muestran en la figura 2.9 junto con los rangos que los definen. Los conjuntos de salida son: Muy Mala, Mala, Media, Buena y Muy Buena.

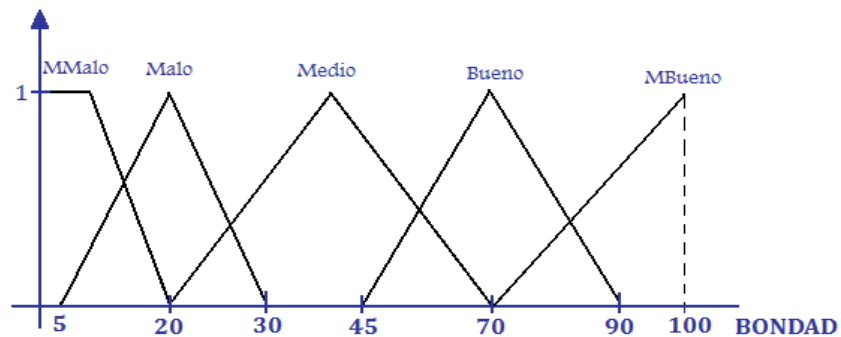


Figura 2.9. Conjunto de Salida

Los conjuntos de la Bondad fueron modificados a lo largo de las pruebas a fin de calibrar el sistema difuso. Es importante aclarar que al plantear los conjuntos difusos de entrada se deben conocer los valores que pueden tomar con piezas reales, lo que puede obtenerse de un estudio estadístico de la producción de la empresa que lo requiera, lo cual sale del alcance de esta tesis.