

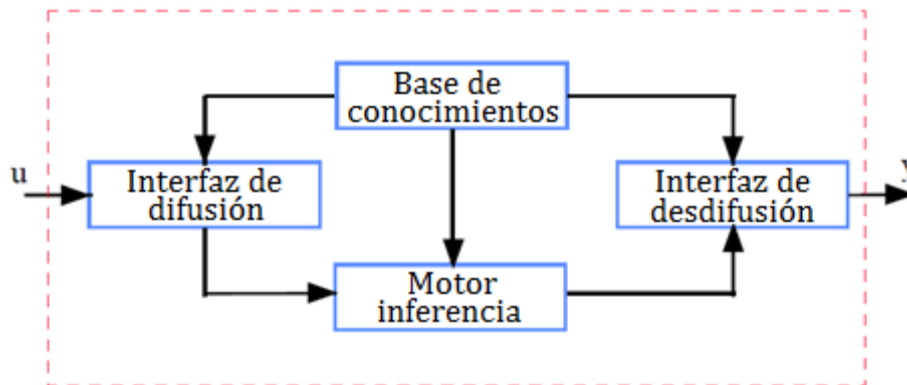
# 3. Diseño de la solución

---

## 3.1. Diseño del Algoritmo

En el siguiente capítulo se desarrollará cada de las variables y requerimientos en el sistema de lógica difusa desarrollado.

## 3.2. Diagrama de bloques



**Interfaz de difusión.** El objetivo es convertir los valores de las variables en valores difusos. Esto se realiza traduciendo los valores de entrada, en un grado de pertenencia a uno o más conjuntos difusos diseñados para estas variables. Es, por lo tanto, un mapeo de los valores de una variable en valores difusos asociados a los grados de pertenencia de los diferentes conjuntos difusos de la variable.

**Base de conocimientos.** En ella están contenidas las reglas lingüísticas del control y la información referente a las funciones de pertenencia de los conjuntos difusos.

**Motor de inferencia.** Una vez obtenidos los valores difusos, el objetivo del motor de inferencia es transportarlos de la premisa a la conclusión de cada regla. Esto resulta en un conjunto difuso para cada variable de salida de cada regla.

**Interfaz de desdifusión.** La desdifusión reduce el conjunto de salidas difusas producido en el paso de Combinación de Reglas y lo convierte de un valor difuso en un valor específico e interpretable.

### 3.2.1. Interfaz de difusión

Se le llama difusión a la acción de transformar una señal de entrada crisp a una forma lingüística, de esta manera, se le asigna un grado de pertenencia dentro de algún conjunto difuso definido.

En el proceso de difusión, las entradas siempre serán valores numéricos crisp contenidos en el universo del discurso y la salida serán los grados de membresía para los diferentes valores lingüísticos.

A continuación se muestra la representación gráfica de los valores de las funciones de membresía de los conjuntos difusos utilizados, y la ecuación que dará su correspondencia con sus valores difusos.

Las siguientes son los gráficos que representan cada una de las funciones de membresía, cuyos valores determinaran los intervalos de los valores difusos de las variables de entrada: *Tasa de Huecos* ( $\eta_H$ ) y *Eficiencia de Área Ocupada* ( $\eta_A$ ).

**Tasa de Huecos.**

La figura 3.1 (a) muestra el intervalo de valores para la función de membresía denominada Muy Chica, definida por la siguiente función:

$$Muy\ Chica = \begin{cases} 1 & T_H \leq 1 \\ \frac{T_H - 30}{1 - 30} & 1 < T_H \leq 30 \end{cases}$$

La figura 3.1.(b) muestra un ejemplo de acomodo que pertenece al conjunto Tasa de Huecos Muy Chica

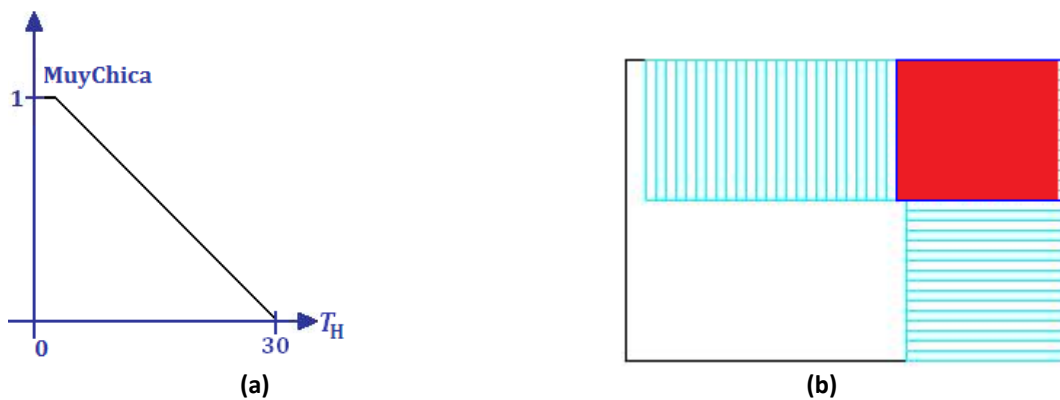


Figura 3.1. (a) Función de Membresía “Muy Chico”. (b) Acomodo Tasa de Huecos Muy chica

La figura 3.2 (a) muestra el intervalo de valores para la función de membresía denominada Chica, definida por la siguiente función:

$$Chica = \begin{cases} \frac{T_H - 10}{30 - 10} & 10 < T_H \leq 30 \\ \frac{T_H - 50}{30 - 50} & 30 < T_H \leq 50 \end{cases}$$

La figura 3.2.(b) muestra un ejemplo de un acomodo que pertenece al conjunto eficiencia a huecos Chica

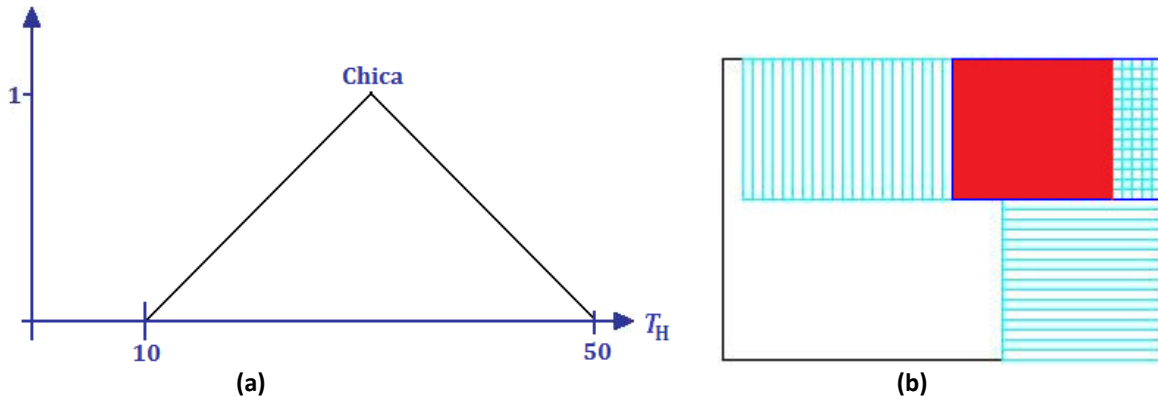


Figura 3.2. (a) Función de Membresía “Chica”. b) Acomodo Tasa de Huecos Chica

La figura 3.3 (a) muestra el intervalo de valores para la función de membresía denominada Media, definida por la siguiente función:

$$Media = \begin{cases} \frac{T_H - 30}{50 - 30} & 30 < T_H \leq 50 \\ \frac{T_H - 70}{50 - 70} & 50 < T_H \leq 70 \end{cases}$$

La figura 3.3 (b) muestra un ejemplo de un acomodo que pertenece al conjunto eficiencia a huecos Media

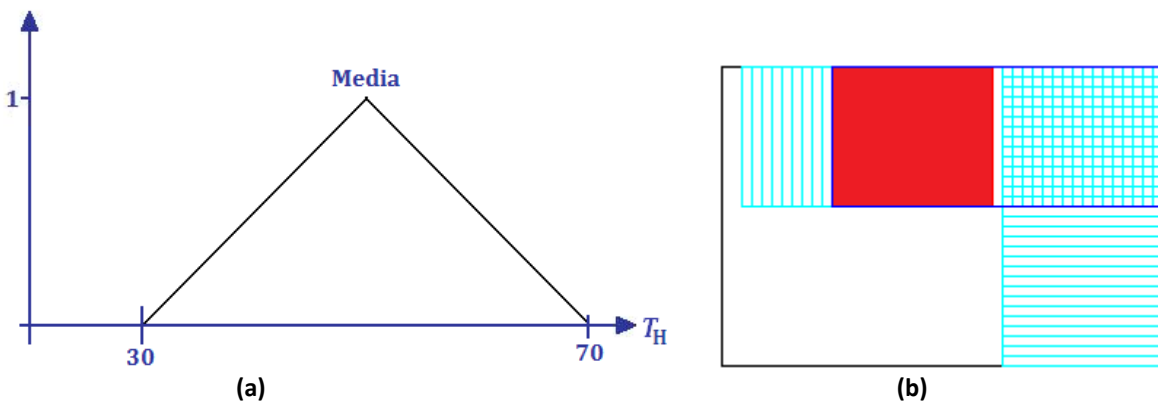


Figura 3.3. a) Función de Membresía “Media”. b) Acomodo Tasa de Huecos Media

La figura 3.4 (a) muestra el intervalo de valores para la función de membresía denominada Grande, definida por la siguiente función:

$$Grande = \begin{cases} \frac{T_H - 50}{70 - 50} & 50 < T_H \leq 70 \\ \frac{T_H - 90}{70 - 90} & 70 < T_H \leq 90 \end{cases}$$

La figura 3.4 (b) muestra un ejemplo de un acomodo que pertenece al conjunto eficiencia a huecos Grande

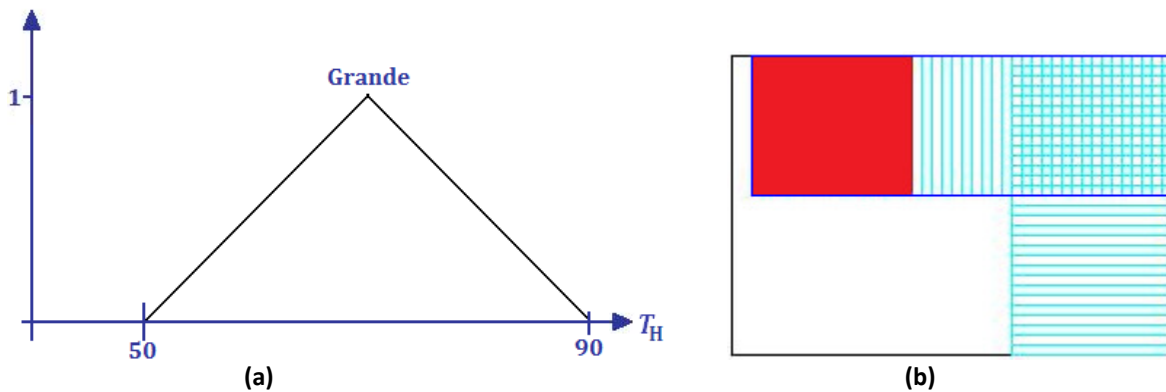


Figura 3.4. a) Función de Membresía "Grande". b) Acomodo Tasa de Huecos Grande

La figura 3.5 (a) muestra el intervalo de valores para la función de membresía denominada Muy Grande, definida por la siguiente función:

$$Muy Grande = \begin{cases} \frac{\eta_H - 70}{90 - 70} & 70 < T_H \leq 90 \\ 1 & T_H > 90 \end{cases}$$

La figura 3.5 (b) muestra un ejemplo de un acomodo que pertenece al conjunto eficiencia a huecos Muy Grande

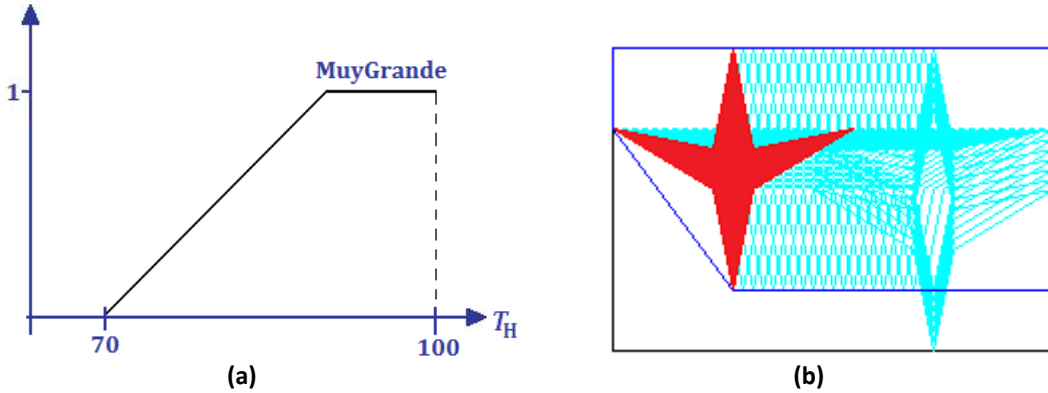


Figura 3.5. a) Función de Membresía “Muy Grande”. b) Acomodo Tasa de Huecos Muy Grande

**Eficiencia de Área Ocupada.**

La figura 3.6 (a) muestra el intervalo de valores para la función de membresía denominada Muy Chica, definida por la siguiente función:

$$Muy\ Chica = \begin{cases} 1 & \eta_A \leq 10 \\ \frac{\eta_A - 30}{10 - 30} & 10 < \eta_A \leq 30 \end{cases}$$

La figura 3.6 (b) muestra un ejemplo de un acomodo que pertenece al conjunto eficiencia de área ocupada Muy Chica

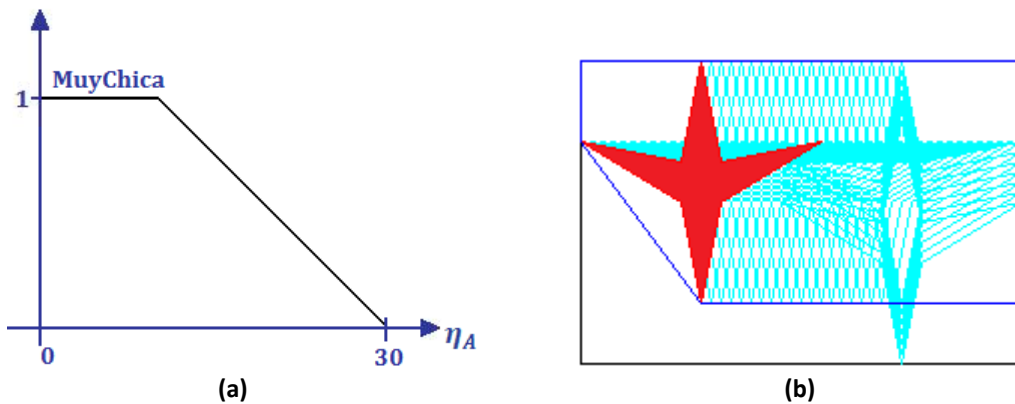


Figura 3.6. a) Función de Membresía “Muy Chica”. b) Acomodo Área Ocupada Muy Chica

La figura 3.7 (a) muestra el intervalo de valores para la función de membresía denominada Chica, definida por la siguiente función:

$$Chica = \begin{cases} \frac{\eta_A - 10}{30 - 10} & 10 < \eta_A \leq 30 \\ \frac{\eta_A - 50}{30 - 50} & 30 < \eta_A \leq 50 \end{cases}$$

La figura 3.7 (b) muestra un ejemplo de un acomodo que pertenece al conjunto eficiencia de área ocupada Chica

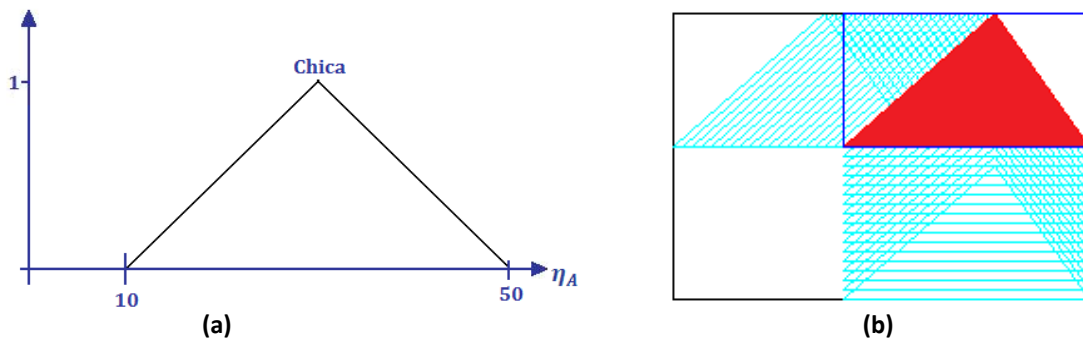


Figura 3.7. a) Función de Membresía “Chica” . b) Acomodo Área Ocupada Chica

La figura 3.8 (a) muestra el intervalo de valores para la función de membresía denominada Media, definida por la siguiente función:

$$Media = \begin{cases} \frac{\eta_A - 30}{50 - 30} & 30 < \eta_A \leq 50 \\ \frac{\eta_A - 70}{50 - 70} & 50 < \eta_A \leq 70 \end{cases}$$

La figura 3.8 (b) muestra un ejemplo de un acomodo que pertenece al conjunto eficiencia de área ocupada Media

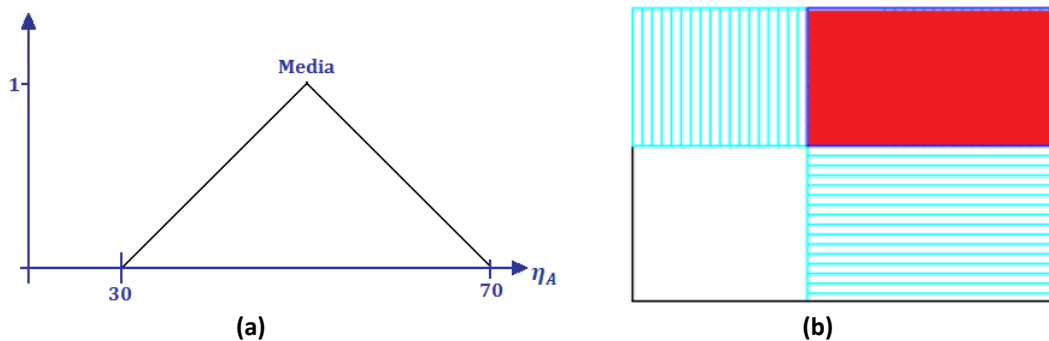


Figura 3.8. a) Función de Membresía “Media” . b) Acomodo Área Ocupada Media

La figura 3.9 (a) muestra el intervalo de valores para la función de membresía denominada Grande, definida por la siguiente función:

$$Grande = \begin{cases} \frac{\eta_A - 50}{70 - 50} & 50 < \eta_A \leq 70 \\ \frac{\eta_A - 90}{70 - 90} & 70 < \eta_A \leq 90 \end{cases}$$

La figura 3.9 (b) muestra un ejemplo de un acomodo que pertenece al conjunto eficiencia de área ocupada Grande

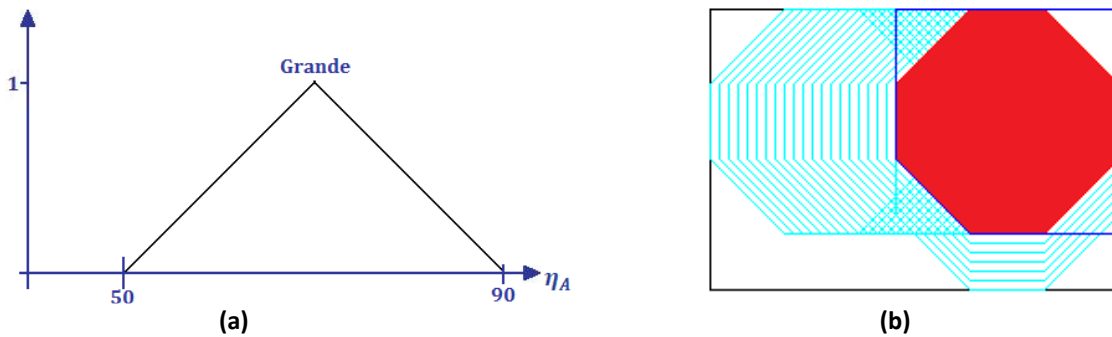


Figura 3.9. a) Función de Membresía "Grande" . b) Acomodo Área Ocupada Grande

La figura 3.10 (a) muestra el intervalo de valores para la función de membresía denominada Muy Grande, definida por la siguiente función:

$$Muy Grande = \begin{cases} \frac{\eta_A - 70}{100 - 70} & 70 < \eta_A \leq 100 \end{cases}$$

La figura 3.10 (b) muestra un ejemplo de un acomodo que pertenece al conjunto eficiencia de área ocupada Muy Grande

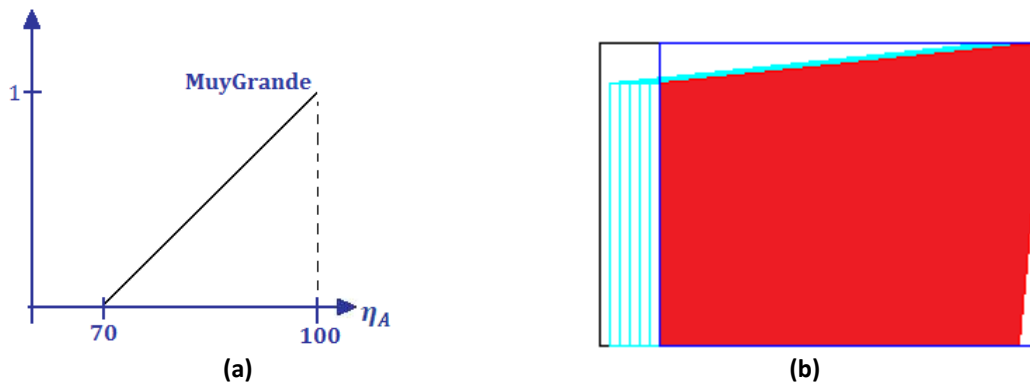


Figura 3.10. a) Función de Membresía "Muy Grande" . b) Acomodo Área Ocupada Muy Grande

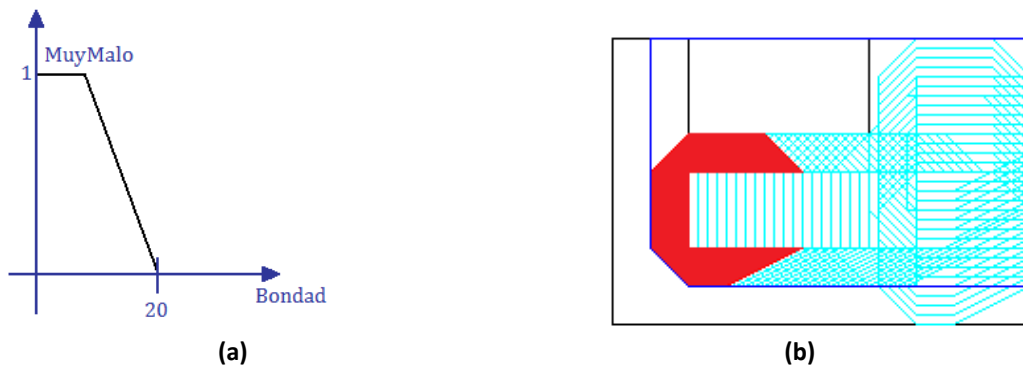
Finalmente se presenta el conjunto de salida denominado “Bondad”, que se obtiene al evaluar los conjuntos de entrada.

### **Bondad**

La figura 3.11 (a) muestra el intervalo de valores para la función de membresía denominada Muy Mala, definida por la siguiente función:

$$Muy\ Mala = \begin{cases} 1 & Bondad \leq 2 \\ \frac{Bondad - 20}{2 - 20} & 2 \leq Bondad \leq 20 \end{cases}$$

La figura 3.11 (b) muestra un ejemplo de un acomodo que pertenece al conjunto bondad Muy Mala



**Figura 3.11. a) Función de Membresía “Muy Mala”. b) Acomodo con Bondad Muy Mala**

La figura 3.12 (a) muestra el intervalo de valores para la función de membresía denominada Mala, definida por la siguiente función:

$$Mala = \begin{cases} \frac{Bondad - 20}{5 - 20} & 5 < Bondad \leq 20 \\ \frac{Bondad - 38}{20 - 38} & 20 < Bondad \leq 38 \end{cases}$$



La figura 3.12 (b) muestra un ejemplo de un acomodo que pertenece al conjunto bondad Mala

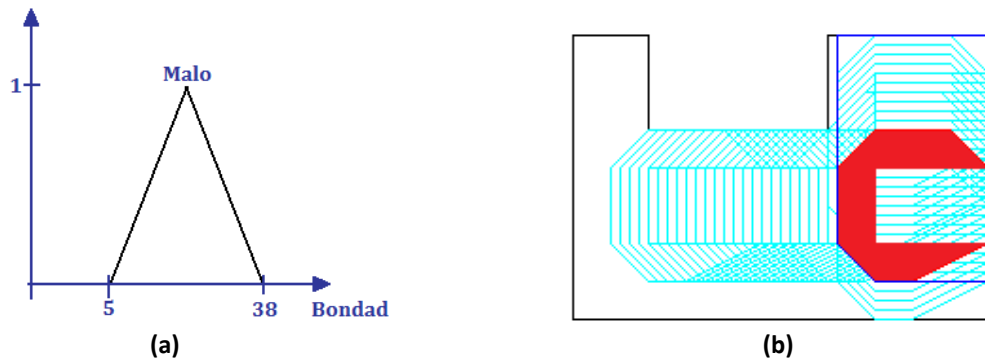


Figura 3.12. a) Función de Membresía "Malo" . b) Acomodo con Bondad Mala

La figura 3.13 (a) muestra el intervalo de valores para la función de membresía denominada Media, definida por la siguiente función:

$$Media = \begin{cases} \frac{Bondad - 10}{30 - 10} & 10 < Bondad \leq 30 \\ \frac{Bondad - 50}{30 - 50} & 30 < Bondad \leq 50 \end{cases}$$

La figura 3.13 (b) muestra un ejemplo de un acomodo que pertenece al conjunto bondad Media

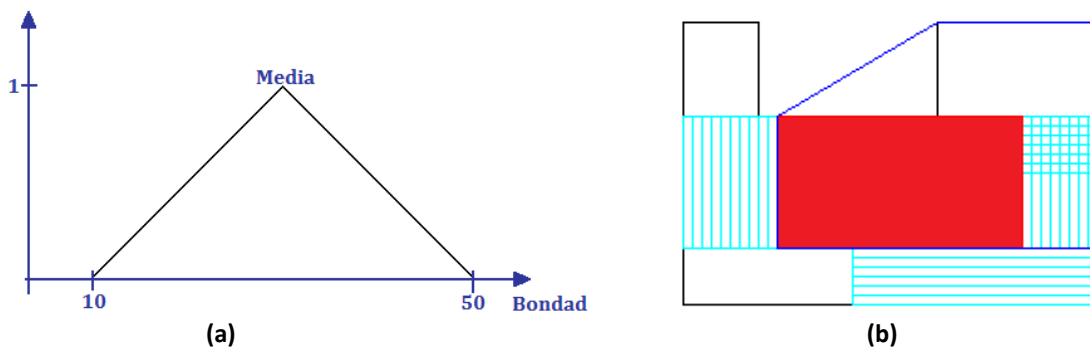


Figura 3.13. a) Función de Membresía "Media" . b) Acomodo con Bondad Media

La figura 3.14 (a) muestra el intervalo de valores para la función de membresía denominada Buena, definida por la siguiente función:

$$Buena = \begin{cases} \frac{Bondad - 30}{60 - 30} & 30 < Bondad \leq 60 \\ \frac{Bondad - 90}{60 - 90} & 60 < Bondad \leq 90 \end{cases}$$

La figura 3.14 (b) muestra un ejemplo de un acomodo que pertenece al conjunto bondad Media

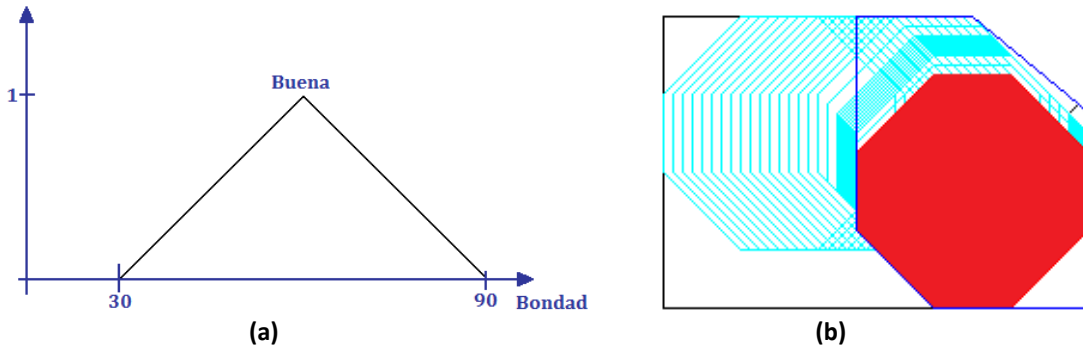


Figura 3.14. a) Función de Membresía "Buena" . b) Acomodo con Bondad Buena

La figura 3.15 (a) muestra el intervalo de valores para la función de membresía denominada Muy Buena, definida por la siguiente función:

$$Muy Buena = \begin{cases} \frac{Bondad - 70}{100 - 70} & 70 < Bondad \leq 100 \end{cases}$$

La figura 3.15 (b) muestra un ejemplo de un acomodo que pertenece al conjunto bondad Muy Buena

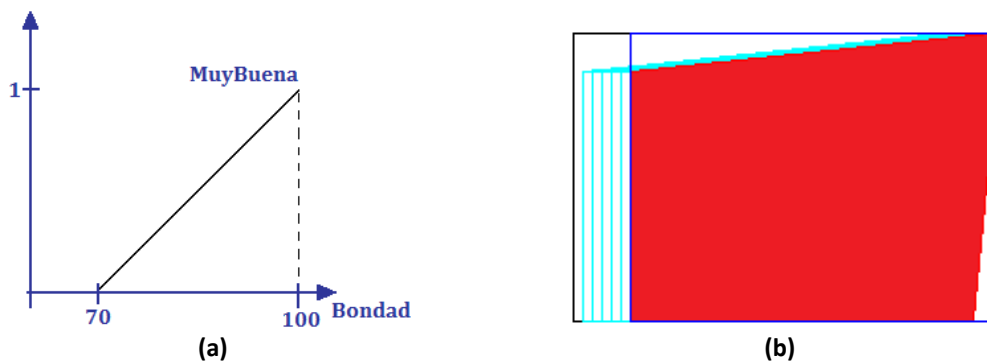


Figura 3.15. a) Función de Membresía "Muy Buena". . b) Acomodo con Bondad Muy Buena

### 3.2.2. Base de Conocimiento

La base de conocimiento está conformada básicamente por las reglas lingüísticas y la información referente a las funciones de pertenencia de los conjuntos difusos.

La elaboración de las reglas difusas corresponde a la etapa más importante del trabajo de diseño del algoritmo difuso ya que en estas reglas se plasma la respuesta del algoritmo a las diferentes situaciones con las que se enfrenta, tanto en lo referente a las áreas de las envolventes como a la Tasa de Huecos.

Para la elaboración de las reglas difusas es necesaria la utilización de variables lingüísticas, esto debido a que las reglas difusas son una descripción lingüística que describe el sistema difuso de entradas y salidas. Para elaborar las reglas difusas se establece inicialmente las funciones de membresía, estas son agrupaciones de uno o varios conjuntos difusos correspondientes a una misma variable lingüística. Estas funciones de membresía son definidas por el operador experto, en este caso, el rol de operador experto fue adoptado por los desarrolladores del proyecto de tesis.

Las entradas y salidas del sistema difuso se denominan valores “crisp”, esto significa que las entradas y salidas del sistema son valores numéricos, dado que el sistema difuso, como se explicó anteriormente, está basado en un sistema lingüístico, es necesario transformar las entradas crisp a valores difusos, esta transformación se denomina difusión, mientras que el caso inverso se denomina desdifusión. La difusión y desdifusión se llevan a cabo a través de las funciones de membresía, definiendo el grado de relación (membresía) del valor crisp a cada conjunto difuso.

En este caso se trabajó con dos variables lingüísticas de entrada: *Tasa de Huecos* y *Área ocupada*. Por otro lado se tiene una variable lingüística de salida: *Bondad*.

La figura 3.16 ilustra las variables de entrada y salida al algoritmo difuso.



Figura 3.16. Variables de Entrada y Salida

Las variables de entrada son obtenidas mediante la medición de las áreas de la pieza que se va a acomodar, así como del área de la envolvente que forma con la zona donde va a ser ubicada. Ambas obtenidas a través de programación y teniendo los puntos que conforman tanto la pieza que se va a colocar como los de la envolvente que forma.

En las figuras 3.17 y 3.18 se muestran los conjuntos variables de entrada, con sus respectivas funciones de membresía.

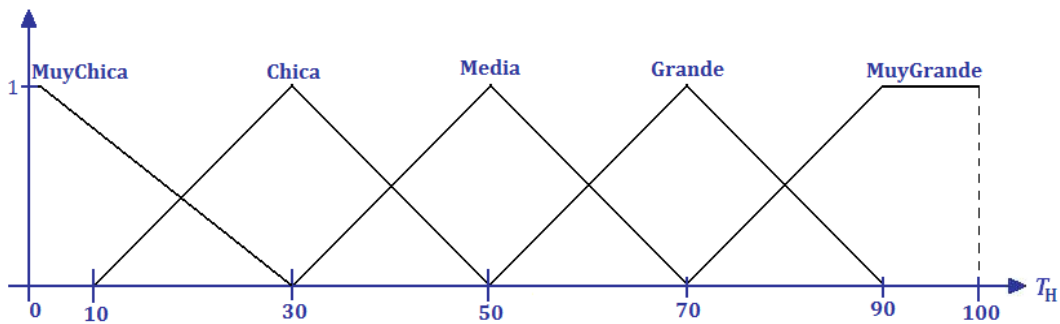


Figura 3.17. Funciones de membresía del conjunto *Tasa de Huecos*

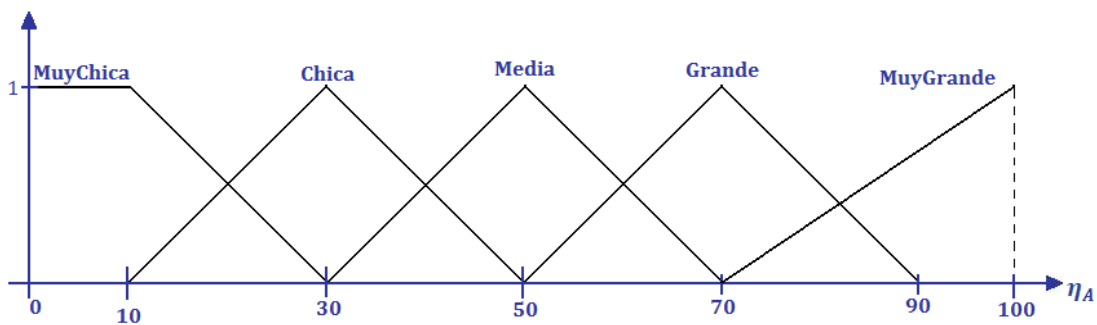


Figura 3.18. Funciones de membresía del conjunto *Eficiencia de Área Ocupada*

En la figura 3.19 se muestra el conjunto de salida con sus respectivas funciones de membresía.

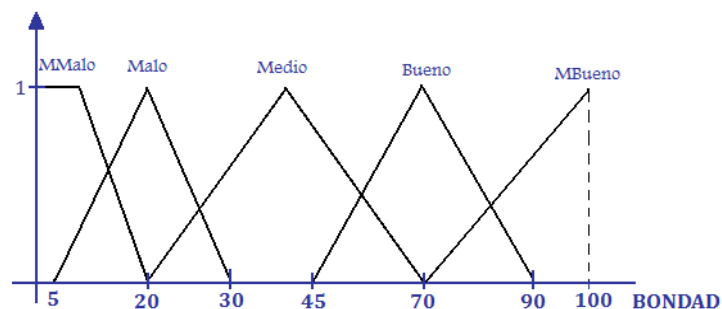


Figura 3.19. Funciones de membresía del conjunto *Bondad*

Luego de diseñar las funciones de membresía y los conjuntos difusos se debe generar las reglas de asociación entre los diferentes conjuntos. Estas reglas se establecen mediante matrices llamadas “FAM” (Fuzzy Associative Memory). Las “FAM” son el componente principal de procesamiento del algoritmo difuso y correlacionan las variables difusas de entrada y de salida, guiando el comportamiento de elección de la pieza óptima.

La tabla 3.1, muestra las FAM usada tomando en cuenta los conjuntos de entrada y salida mencionados.

Área Ocupada Tasa de Huecos	Muy Chica	Chica	Media	Grande	Muy Grande
Muy grande	Muy Mala	Muy Mala	Muy Mala	Mala	Mala
Grande	Muy Mala	Mala	Mala	Media	Media
Media	Mala	Mala	Media	Buena	Buena
Chica	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena
Muy chica	Buena	Buena	Buena	Muy Buena	Muy Buena

**Tabla 3.1. Tabla de Reglas Difusas**

### 3.2.3. Motor de Inferencia

#### *Reglas difusas*

Las reglas difusas son relaciones que se utilizan para expresar la relación existente entre los conceptos imprecisos y el comportamiento que gobierna al algoritmo, se elaboran un conjunto de reglas --tantas como sean necesarias-- para lograr una buena descripción del sistema. Cada regla tiene la forma de una declaración IF – THEN. La parte IF de la regla contiene una o más condiciones, llamadas antecedentes. La parte THEN de la regla contiene una o más acciones, llamadas consecuencias. Los antecedentes de las reglas corresponden directamente al grado de membresía (entrada difusa) calculada durante el proceso de difusión.

La cantidad de reglas depende de todas las posibles combinaciones que se puedan dar entre las funciones de membresía de la entrada y la salida; para nuestro caso tenemos dos variable de entrada y una de salida todas con 5 FAM cada una, se generaran un total de 25 (5x5=25) reglas de control (Tabla 3.1). Cada una de estas reglas cuenta con un grado de

soporte o prioridad, el cual indica que regla contribuirá en mayor o menor parte a la salida generada por el sistema en determinado momento. El grado de soporte permite no ser tan radical en la evaluación de las reglas ya que permite tener una evaluación parcial de las mismas.

A continuación se listan las reglas difusas usadas en este caso:

IF  $T_H = \text{Muy Grande}$  y  $\eta_A = \text{Muy Chica}$  ENTONCES  $\text{Bondad} = \text{Muy Mala}$

IF  $T_H = \text{Muy Grande}$  y  $\eta_A = \text{Chica}$  ENTONCES  $\text{Bondad} = \text{Muy Mala}$

IF  $T_H = \text{Muy Grande}$  y  $\eta_A = \text{Media}$  ENTONCES  $\text{Bondad} = \text{Muy Mala}$

IIF  $T_H = \text{Muy Grande}$  y  $\eta_A = \text{Grande}$  ENTONCES  $\text{Bondad} = \text{Mala}$

IF  $T_H = \text{Muy Grande}$  y  $\eta_A = \text{Muy Grande}$  ENTONCES  $\text{Bondad} = \text{Mala}$

IF  $T_H = \text{Grande}$  y  $\eta_A = \text{Muy Chica}$  ENTONCES  $\text{Bondad} = \text{Muy Mala}$

IF  $T_H = \text{Grande}$  y  $\eta_A = \text{Chica}$  ENTONCES  $\text{Bondad} = \text{Mala}$

IF  $T_H = \text{Grande}$  y  $\eta_A = \text{Media}$  ENTONCES  $\text{Bondad} = \text{Mala}$

IF  $T_H = \text{Grande}$  y  $\eta_A = \text{Grande}$  ENTONCES  $\text{Bondad} = \text{Media}$

IF  $T_H = \text{Grande}$  y  $\eta_A = \text{Muy Grande}$  ENTONCES  $\text{Bondad} = \text{Media}$

IF  $T_H = \text{Media}$  y  $\eta_A = \text{Muy Chica}$  ENTONCES  $\text{Bondad} = \text{Mala}$

IF  $T_H = \text{Media}$  y  $\eta_A = \text{Chica}$  ENTONCES  $\text{Bondad} = \text{Mala}$

IF  $T_H = \text{Media}$  y  $\eta_A = \text{Media}$  ENTONCES  $\text{Bondad} = \text{Media}$

IF  $T_H = \text{Media}$  y  $\eta_A = \text{Grande}$  ENTONCES  $\text{Bondad} = \text{Buena}$

IF  $T_H = \text{Media}$  y  $\eta_A = \text{Muy Grande}$  ENTONCES  $\text{Bondad} = \text{Buena}$

IF  $T_H = \text{Chica}$  y  $\eta_A = \text{Muy Chica}$  ENTONCES  $\text{Bondad} = \text{Buena}$

IF  $T_H = \text{Chica}$  y  $\eta_A = \text{Chica}$  ENTONCES  $\text{Bondad} = \text{Buena}$

IF  $T_H = \text{Chica}$  y  $\eta_A = \text{Media}$  ENTONCES  $\text{Bondad} = \text{Buena}$

IF  $T_H = \text{Chica}$  y  $\eta_A = \text{Grande}$  ENTONCES  $\text{Bondad} = \text{Muy Buena}$

IF  $T_H = \text{Chica}$  y  $\eta_A = \text{Muy Grande}$  ENTONCES  $\text{Bondad} = \text{Muy Buena}$

IF  $T_H = \text{Muy Chica}$  y  $\eta_A = \text{Muy Chica}$  ENTONCES  $\text{Bondad} = \text{Buena}$

IF  $T_H = \text{Muy Chica}$  y  $\eta_A = \text{Chica}$  ENTONCES  $\text{Bondad} = \text{Muy Buena}$

IF  $T_H = \text{Muy Chica}$  y  $\eta_A = \text{Media}$  ENTONCES  $\text{Bondad} = \text{Muy Buena}$

IF  $T_H = \text{Muy Chica}$  y  $\eta_A = \text{Grande}$  ENTONCES  $\text{Bondad} = \text{Muy Buena}$

IF  $T_H = \text{Muy Chica}$  y  $\eta_A = \text{Muy Grande}$  ENTONCES  $\text{Bondad} = \text{Muy Buena}$

Las reglas difusas constituyen las relaciones entre las variables lingüísticas establecidas en un sistema, estas reglas determinan el curso de acción que se debe seguir. Cuando existen reglas que cuentan con más de un antecedente, se utilizan los operadores difusos MAX, MIN; para simplificarlos a uno solo. Del proceso de difusión, se conoce el grado para el cual cada parte del antecedente ha satisfecho cada regla. Este valor será aplicado posteriormente a la función de salida.

En general, una regla por sí misma no es muy útil dentro del proceso difuso, por tanto, es necesario contar con dos o más reglas relacionadas entre sí. El consecuente de una regla difusa es utilizado para asignar completamente un conjunto de salida; si el antecedente es parcialmente verdadero, entonces el conjunto de salida es truncado de acuerdo a un método de evaluación-combinación de reglas.

El método de evaluación-combinación de reglas es definido como la forma que tendrá el consecuente basado en un antecedente. Este proceso ocurre para cada regla. Dado que la salida de cada regla es un conjunto difuso, es necesario que se calcule un valor único de salida para una colección de reglas. A este proceso se le conoce como composición. Los procedimientos más utilizados para llevarlo a cabo son MÍNIMO - MÁXIMO y PRODUCTO - MÁXIMO.

El método MÍNIMO - MÁXIMO evalúa las magnitudes de los antecedentes para cada una de las reglas asignando el valor mínimo al consecuente de estas. Posteriormente simplifica los consecuentes de cada conjunto difuso de salida seleccionando el mayor como valor único.

El método PRODUCTO - MÁXIMO multiplica las magnitudes de los antecedentes para cada una de las reglas asignando el producto al consecuente de estas. Posteriormente simplifica los consecuentes de cada conjunto difuso de salida seleccionando el mayor como valor único.

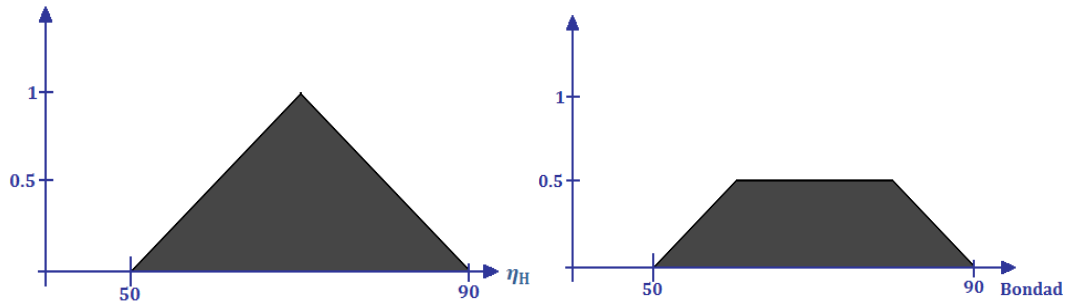
Para los fines de este trabajo usaremos MÍNIMO - MÁXIMO, ya que con ello garantizamos que los valores obtenidos sean de mayor precisión.

### ***Evaluación de la Reglas***

Una vez obtenidos los valores difusos, el objetivo de la evaluación de reglas es transportarlos de la premisa a la conclusión de cada regla. Esto resulta en un conjunto difuso para cada variable de salida de cada regla.

Para este trabajo se usó del Método de *Inferencia Mínimo*.

En este método la función de pertenencia de salida es recortada a la altura correspondiente al grado de pertenencia calculado para la premisa de la regla. La forma de la salida resultante se afecta drásticamente por este método formando un trapecio (figura 3.20)



**Figura 3.20. Conjuntos Difusos de entrada y salida, aplicando el método de Inferencia Difusa**

La nueva figura del conjunto difuso de salida es la forma cómo influye específicamente esta regla en la variable de salida.

Las funciones de pertenencia pueden cambiar varias veces en el desarrollo del sistema, para producir las respuestas deseadas a partir de ciertas entradas.

### ***Combinación de Reglas***

En este paso los subconjuntos difusos de salida asignados para cada variable de salida de las diferentes reglas se combinan en un solo conjunto difuso.

Para determinar la forma del conjunto difuso de salida a partir del conjunto de respuestas obtenidas de las diversas reglas difusas, se puede recurrir al método de Máximo y Suma. Siendo que el método de Máximo es el más consistente con la lógica difusa y uno de los sistemas más comunes en control difuso, se hará uso de él.

Este método evalúa el contorno de todos los conjuntos de salida, formando un solo contorno de salida (figura 3.21).



**Figura 3.21. Conjuntos Difusos de salida, aplicando el método de Máximo**



En este método, la combinación de los subconjuntos difusos se construye tomando el punto máximo de todos los subconjuntos difusos asignados por las reglas difusas utilizando la operación OR.

### 3.2.4. Interfaz de desdifusión

El método más utilizado para realizar el proceso de desdifusión, es el método del Centro de Gravedad. Este método determina el centro del área perteneciente a la función combinada de membresía. El punto representativo de los conjuntos de salida se determina con la expresión:

$$z^* = \frac{\sum z_i \mu(z_i)}{\sum \mu(z_i)}$$

donde:

$z_i$  posiciones de los centroides de las funciones de membresía de salida

$\mu(z_i)$  grado de pertenencia de la función de membresía modificada

Este método presenta dos inconvenientes. El primero se debe a que no todas las funciones de membresía son iguales por lo que aquellas con una mayor área tendrán mayor impacto.

De hecho, una de las razones al escoger una función de membresía con un área pequeña es para lograr un control más sensible cerca del punto de equilibrio. El segundo se debe a que requiere un esfuerzo computacional considerable para realizar los cálculos de integración requeridos. Cuando se utilizan singletons como conjuntos de salida se reduce significativamente el efecto de ambos inconvenientes. Es importante mencionar que para este caso se hará uso de singletons para un mejor resultado, por lo que cabe mencionar los valores que serán usados al automatizar este proceso. Los siguientes son los grados de pertenencia para cada conjunto difuso de salida.

*Conjunto Bondad*

$z(\text{Muy Mala}) = 2$

$z(\text{Mala}) = 20$

$z(\text{Media}) = 30$

$z(\text{Buena}) = 60$

$z(\text{Muy Buena}) = 100$

### 3.3. Implementación de la solución

#### 3.3.1. Definición de las clases

Para llegar a la solución del problema de manera eficiente se hizo de las siguientes clases para llevar a cabo el algoritmo difuso.

