## Simulador de precipitaciOn y consumo de agua

**Esteban Asla –** [**esteban.asla@hotmail.com**](mailto:esteban.asla@hotmail.com)

**Leonardo S. López –** [**leoslopez@hotmail.com**](mailto:leoslopez@hotmail.com)

**Facultad de Cs Exactas-Universidad Nacional del Centro de la Pcia. De Bs As (UNICEN)**

**RESUMEN**

El objetivo de este trabajo es desarrollar un software que permita simular y estimar precipitaciones y consumos de agua a través de la aplicación de Simulación Montecarlo (precipitaciones) y Lógica Difusa (estimación de consumo).

Para automatizar esta estimación, se simulan eventos de lluvias basados en registros de precipitaciones existentes para una determinada zona que fueron ingresados al sistema y, posteriormente, serán interpretados (junto con otras variables) por un sistema de inferencia de lógica difusa para obtener distintos valores de consumo.

Se dio importancia a la posibilidad de ingresar registros de precipitaciones de manera dinámica y así poder estimar y analizar precipitaciones de distintos periodos y zonas geográficas.

**PALABRAS CLAVE**

Lógica - Difusa - Simulación - Montecarlo - Precipitaciones - Lluvia - Métodología - Consumo - Agua - Superficie

**ABSTRACT**

The main objective of this work is develop a software that allows simulate and estimate rainfall and consumption of water using Monte Carlo simulation (rain) and Fuzzy Logic (consumption estimation).

For the automatization, we have used existent data of rainfall for a given zone that serves like input for the simulation engine. The data simulated is analized by an Engine based on Fuzzy Logic for obtain the values for consumption.

Emphasis was placed on the possibility of entering rainfall records dynamically and in order to estimate and analyze rainfall from different periods and geographical areas.

**KEYWORDS**

Logic - Fuzzy - Simulation - Monte Carlo - Rainfall - Rain - Methodology - Consumption - Water - Surface

**INTRODUCCION**

El trabajo inicia a partir del caso de estudio analizado por el Ing. Rubén para su tesis de grado: ...

En dicho caso de estudio se encuentra involucrada la ciudad de Trenque Lauquen, la cual cuenta con una media de lluvia de 845 mm anuales.

Dicha informe de tesis trató el aprovechamiento de agua de lluvia para consumo humano e higiene personal donde no hay servicio de agua potable y las napas no contienen agua apta para el consumo humano.

El problema que planteaba resolver era encontrar la combinación optima entre la superficie del sistema de captación de agua de lluvia y el volumen del sistema de almacenamiento que permita que las personas dependientes del sistema no sufran faltantes de agua durante el periodo de análisis.

Para ello se realizó un análisis estadístico de las lluvias históricas en la ciudad de Trenque Lauquen, Prov. de Buenos Aires. Seguidamente se hizo una simulación Monte Carlo para los siguientes 10 años y se probaron distintas combinaciones de superficie de captación y volumen de almacenamiento para conocer cuáles eran las combinaciones que permitían que no hubiese faltantes de agua.

Este proceso fue realizado utilizando hojas de cálculo y funciones con el software Microsoft Excel.

Inmersos en el contexto aquí descripto, el actual trabajo pretende automatizar con un software la simulación de precipitaciones a través del Método de Simulación Montecarlo y la estimación del consumo de agua, por medio de su recolección, utilizando el Método de Lógica Difusa.

Uno de los puntos en los cuales se hizo hincapié para llevar a cabo la automatización de proceso antes citado, fue la incorporación de una mecanismo de simulación basado en datos dinámicos de precipitaciones, obtenidos de una archivo en formato estándar (XML) que puede contener información de diferentes periodos y de distintas zonas.

Otra de las características fundamentales fue la incorporación de un sistema de inferencia de Lógica Difusa implementada por una librería de código abierto para c#. En este punto, el software desarrollado, permite a través de una ampliación relativamente simple, modificar los elementos de sistema de inferencia mencionado.

Además de brindar estas ventajas, permite visualizar los datos de manera simple y permite también la exportación de los resultados a formato Excel.

**DESARROLLO**

El lenguaje de programación elegido fue [C#](http://es.wikipedia.org/wiki/C_Sharp), utilizando la tecnología [Windows Presentation Foundation (WPF)](http://es.wikipedia.org/wiki/Windows_Presentation_Foundation) de .NET.

Las librerías utilizadas fueron [AForge.NET](http://www.aforgenet.com/) para el sistema de Lógica Difusa y [NPOI](http://npoi.codeplex.com/) para la generación de informes en Excel. Adicionalmente se usó [WFP Toolkit](http://wpf.codeplex.com/releases/view/40535) para mostrar los resultados.

Podemos detallar el trabajo realizado separándolo en dos partes importantes, la simulación de las precipitaciones utilizando el método Montecarlo y la estimación del consumo de agua a partir de Lógica Difusa.

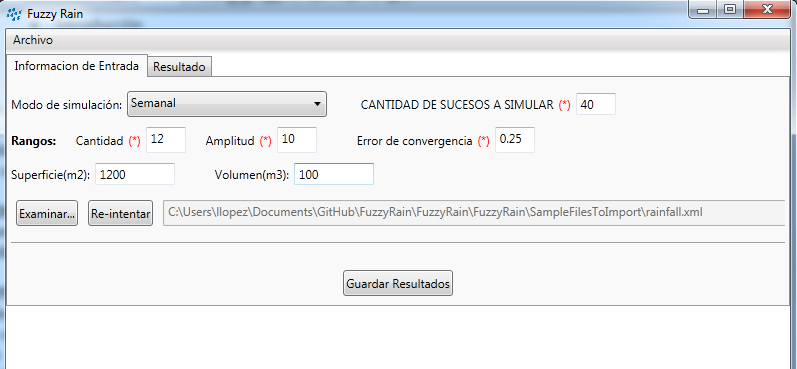
**METODO DE SIMULACION MONTECARLO**

La simulación de Monte Carlo es una técnica que combina conceptos estadísticos (muestreo aleatorio) con la capacidad que tienen los ordenadores para generar números pseudo-aleatorios y automatizar cálculos.

La simulación de Monte Carlo está presente en todos aquellos ámbitos en los que el comportamiento aleatorio o probabilístico desempeña un papel fundamental; precisamente, el nombre de Monte Carlo proviene de la famosa ciudad de Mónaco, donde abundan los casinos de juego y donde el azar, la probabilidad y el comportamiento aleatorio conforman todo un estilo de vida.

En el presente caso de estudio la variable a simular es la cantidad de precipitación caída en un determinado período de tiempo.

Para llevar a cabo dicha simulación, el software implicado permite el ingreso del período de tiempo para el cual se simularan los sucesos (diario, semanal o mensual), la cantidad de sucesos a simular, los rangos de lluvia definidos (cantidad y amplitud), el error de convergencia y los datos estadísticos recolectados (para esto se definió un archivo de entrada con formato xml).



Una vez ingresado los datos al sistema se puede comenzar con el proceso de simulación y estimación (El sistema considerará valores por defecto en el caso de que haya datos faltantes).

Los datos estadísticos ingresados serán analizados por el sistema para generar los rangos dentro de los cuales se agruparan los valores simulados.

**SISTEMA DE INFERENCIA DE LÓGICA DIFUSA**

¿Por qué Lógica Difusa? Pongámonos en situación, estas conduciendo por la típica vía con múltiples carriles, en la cual hay un límite de velocidad establecido de 70 km por hora y no se encuentran semáforos más que cada 1 kilómetro.

Lo más normal y seguro en esta situación es conducir siguiendo el tráfico, es decir siguiendo el ritmo que se marca de forma conjunta entre todos los vehículos, esto situara la velocidad media probablemente algo más que el limite establecido (78-80 km/h).

Definir lo que es seguir el tráfico es algo bastante difuso, ya que hay muchos aspectos ha tenerse en cuenta. En la situación antes descrita habrá muchos conductores que viajaran a una velocidad que ronde los 80 km/h, oscilando por arriba o por abajo (la gran mayoría), pero habrá unos pocos que se mantengan todo el rato a 70 km/h.

Para llevar a cabo la conducción, el conductor va a estar usando la lógica difusa innata que todos los seres humanos poseen. Esto se basa en la observación de la situación para la posterior evaluación de la misma, para ello la información obtenida del medio deberá ser resumida, ponderada y evaluada en conjunto para la toma de la decisión.

Entre los aspectos a evaluar están el número de vehículos que hay por delante, si hay algún pedazo de chatarra avanzando lentamente por alguna de las vías, si el asfalto esta mojado o se ve afectado por alguna otra situación climática adversa, si hay algún camión u otro vehículo largo, si existe la posibilidad de que haya radares en la zona (sabiendo también el margen entre la velocidad límite y una posible sanción por exceso de velocidad).

A pesar de todos estos factores, todos los conductores acabarán llevando a cabo una conducción a una velocidad similar entre sí.

El problema a atacar por el sistema desarrollado se encuadra, desde nuestro punto de vista, dentro de estos parámetros debido a la variabilidad del entorno. La solución se basa en la observación del entorno y la aplicación de reglas para “corregir” el consumo basándonos en el siguiente sistema de inferencia.

**Aplicaciones**

Una de las principales ventajas de la Lógica difusa o también llamado Control Difuso es la velocidad en obtener una salida con una gran fiabilidad. Nos permiten solucionar gran parte de los problemas de control automático de una manera sencilla sin necesidad de conocer un modelo matemático que lo pueda controlar.

Un ejemplo básico puede ser el de la ducha. Nosotros somos los sensores de temperatura y el control de la temperatura lo hacemos sobre los grifos. Inicialmente abrimos el agua caliente, a medida que empieza a salir agua caliente vamos cerrando el grifo del agua caliente y vamos abriendo el del agua fría en este proceso se producen subidas y bajadas de temperatura bruscas.

Cabe aclarar que la Lógica difusa no es una tecnología de futura aplicación, si no que existen ya en el mercado muchos productos basados en esta tecnología, habiéndose vendido ya cientos de millones de Euros de estos productos. Muchas de estas aplicaciones de la Lógica difusa están siendo desarrolladas y aplicadas en países como Japón y Alemania. Entre los productos más comunes se pueden citar los siguientes:

* Lavadoras inteligentes que regulan el uso del agua y el detergente en función del nivel de suciedad de la ropa.
* Medidores de presión sanguínea.
* Aspiradoras, Ascensores, neveras, microondas... y múltiples electrodomésticos.
* Cámaras de video y fotográficas con auto foco.
* Aire acondicionado inteligente, al cual se le indica si uno tiene calor o mucho calor y ya ajusta la temperatura en función de la actual.

En la actualidad gran cantidad de patentes de productos se basa en la Lógica difusa, siendo esta en origen una idea de libre aplicación que ha resultado de gran utilidad para el desarrollo de tecnologías comerciales propietarias en diferentes áreas (control luminosidad, control de humedad, control de temperatura, sistemas de reconocimiento, sistemas basados en Inteligencia Artificial, etc.)

**Definiciones**

- **Fuzzy Sets o**[**conjuntos difusos**](http://cala.unex.es/cala/epistemowikia/index.php?title=Conjuntos_difusos&action=edit): desde el punto de vista de que se aplican palabras a la definición de cualquier propiedad por ejemplo: mujeres altas, edificios viejos, hombres bajos, elevada inteligencia, baja velocidad, viscosidad moderada. Desde este punto de vista estos valores no podrían ser definidos solo con 2 valores, 0 y 1, se ha de establecer un peso para la característica estableciendo valores intermedios (ejemplo entre 0 y 1 tomando todos los valores intermedios, o bien estableciendo una escala de 0 a 100).

- **Grado o función de pertenencia**: este valor establece el punto de transición entre 0 y 1 entre las condiciones del conjunto difuso, por ejemplo si se establece que un edificio en el aspecto de lo nuevo que es tiene un valor de 7, este será el grado de pertenencia entre los nuevos edificios. Un ejemplo de uso del grado de pertenencia podría ser el siguiente, en el control de la velocidad de un vehículo, se contemplaría la pertenencia en el aspecto de velocidad excesiva y no existe necesidad de cambio en la velocidad. Con estos dos aspectos se podría calcular cual es la acción que se ha de llevar a cabo según los valores de entrada de estos valores.

- **Variable difusa o lingüística**: es cualquier valor que esta basado en la percepción humana más que en valores precisos de medición ( Ej. un color, que esta compuesto en realidad por varias tintas, si la presión de la caldera es excesiva, si la temperatura del agua es la adecuada, si la cantidad de sal que lleva la tortilla es excesiva, si la velocidad de un tren es elevada, etc.) todas estas dependen de la percepción y están vinculadas con el uso del lenguaje y pueden ser usadas en estructuras del tipo if-then, como por ejemplo: *if* velocidad es excesiva *then* reducir la presión sobre el acelerador.

El sistema de inferencia está compuesto por 4 variables lingüísticas. La superficie de captación, el volumen de almacenamiento, las precipitaciones fluviales y por último el consumo.

Las funciones de pertenencia y las reglas de inferencia para las variables definidas se encuentran detalladas en el Apéndice A.

El cálculo del consumo, fue realizado para consumos de 2, 4, 6 y 8 personas. Para cada uno de los valores de consumo calculados por el sistema, se utilizan diferentes reglas de inferencia y diferentes conjuntos difusos para contextualizar las variables lingüísticas.

Por cada valor de precipitación estimado y usando los valores de superficie de captación y volumen de almacenamiento (ingresados por el usuario manualmente) se “infiere” un valor de consumo para los cuatro casos antes especificados (2, 4, 6 y 8 personas)

Cada resultado obtenido se va mostrando en una gráfica y permite ver el sistema trabajando en tiempo real. Por otro lado, se permite la exportación de dichos resultados en formato Excel.

**CONCLUSIÓN**

La principal conclusión que se obtiene del proceso llevado a cabo es la gran ventaja que implica poder variar los datos de entrada de precipitaciones y poder así realizar estimaciones versátiles que permiten obtener y analizar resultados. Sería deseable poder además, dinamizar la configuración de sistema de inferencia de Lógica Difusa ya que si bien, el desarrollo actual no lo permite, deja el camino abierto para realízalo en un desarrollo futuro.

**APÉNDICE A**

## Sistema de control para 2 personas.

Predicados.

* A = Superficie de captación.
* B = Volumen de almacenamiento.
* C = Precipitaciones pluviales.
* D = Consumo de agua.

Definimos nuestro universo de discurso U, como un conjunto de pares ordenados (superficie de captación, volumen de almacenamiento, precipitaciones pluviales). De esta forma decimos que U = A x B x C, donde A es el conjunto “superficie de almacenamiento” y se define como A = {a|0 ≤ a ≤ 1200}, B es el conjunto “volumen de almacenamiento” el cual se define como B = {b|0 ≤ b ≤ 100} y C es el conjunto “precipitaciones pluviales” y se define como C = {c|0 ≤ c ≤ 300}. Entonces definimos x є U donde U = {x|x = (a, b, c), para a є A, b є B, c є C}

El fusificador utiliza el conjunto difuso U = A’ x B’ x C’, donde A’, B’ y C’ son conjuntos difusos, los cuales se definen de la siguiente manera:

A’ = {a’ | a’ = (c, µa’ (a)), para a є A, y A’ = (chico, mediano, grande, muygrande}}

El fusificador utiliza las siguientes funciones de pertenencia para calcular el vector que será la entrada al motor de inferencia:

Para la variable A, “superficie de captación”:



Para la variable B, “volumen del sistema de almacenamiento”:



Para la variable C, “precipitaciones pluviales”:



Para la variable de salida D “consumo”:



El motor de inferencia difusa, utiliza las reglas de inferencia para calcular el vector con las salidas parciales que enviara al defusificador. Las reglas de inferencia que se utilizan, se describen en la siguiente tabla:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Regla | Superficie de captación | Volumen de almacenamiento | Precipitaciones pluviales | Consumo de agua. |
| 1 | Chico | Pequeño | Muy baja | Bajo |
| 2 | Chico | Pequeño | Baja | Bajo |
| 3 | Chico | Pequeño | Media | Bajo |
| 4 | Chico | Pequeño | Alta | Promedio |
| 5 | Chico | Pequeño | Muy alta | Promedio |
| 6 | Chico | Intermedio | Muy baja | Bajo |
| 7 | Chico | Intermedio | Baja | Bajo |
| 8 | Chico | Intermedio | Media | Bajo |
| 9 | Chico | Intermedio | Alta | Promedio |
| 10 | Chico | Intermedio | Muy alta | Promedio |
| 11 | Chico | Considerable | Muy baja | Bajo |
| 12 | Chico | Considerable | Baja | Bajo |
| 13 | Chico | Considerable | Media | Bajo |
| 14 | Chico | Considerable | Alta | Promedio |
| 15 | Chico | Considerable | Muy alta | Promedio |
| 16 | Mediano | Pequeño | Muy baja | Bajo |
| 17 | Mediano | Pequeño | Baja | bajo |
| 18 | Mediano | Pequeño | Media | Promedio |
| 19 | Mediano | Pequeño | Alta | Promedio |
| 20 | Mediano | Pequeño | Muy alta | Promedio |
| 21 | Mediano | Intermedio | Muy baja | Bajo |
| 22 | Mediano | Intermedio | Baja | Bajo |
| 23 | Mediano | Intermedio | Media | Promedio |
| 24 | Mediano | Intermedio | Alta | Promedio |
| 25 | Mediano | Intermedio | Muy alta | Alto |
| 26 | Mediano | Considerable | Muy baja | Baja |
| 27 | Mediano | Considerable | Baja | Baja |
| 28 | Mediano | Considerable | Media | Promedio |
| 29 | Mediano | Considerable | Alta | Alto |
| 30 | Mediano | Considerable | Muy alta | Alto |
| 31 | Grande | Pequeño | Muy baja | Bajo |
| 32 | Grande | Pequeño | Baja | Promedio |
| 33 | Grande | Pequeño | Media | Promedio |
| 34 | Grande | Pequeño | alta | Promedio |
| 35 | Grande | Pequeño | Muy alta | Promedio |
| 36 | Grande | Intermedio | Muy baja | Bajo |
| 37 | Grande | Intermedio | Baja | Promedio |
| 38 | Grande | Intermedio | Media | Promedio |
| 39 | Grande | Intermedio | Alta | Alto |
| 40 | Grande | Intermedio | Muy alta | Alto |
| 41 | Grande | Considerable | Muy baja | Bajo |
| 42 | Grande | Considerable | Baja | Promedio |
| 43 | Grande | Considerable | Media | Alto |
| 44 | Grande | Considerable | Alta | Alto |
| 45 | Grande | Considerable | Muy alta | Alto |
| 46 | Muy grande | Pequeño | Muy baja | Bajo |
| 47 | Muy grande | Pequeño | Baja | Promedio |
| 48 | Muy grande | Pequeño | Media | Promedio |
| 49 | Muy grande | Pequeño | Alta | Promedio |
| 50 | Muy grande | Pequeño | Muy alta | Promedio |
| 51 | Muy grande | Intermedio | Muy baja | Bajo |
| 52 | Muy grande | Intermedio | Baja | Promedio |
| 53 | Muy grande | Intermedio | Media | Alto |
| 54 | Muy grande | Intermedio | Alta | Alto |
| 55 | Muy grande | Intermedio | Muy alta | alto |
| 56 | Muy grande | Considerable | Muy baja | Bajo |
| 57 | Muy grande | Considerable | Baja | Alto |
| 58 | Muy grande | Considerable | Media | Alto |
| 59 | Muy grande | Considerable | Alta | alto |
| 60 | Muy grande | Considerable | Muy alta | Alto |

En la tabla anterior se encuentran las 60 reglas de inferencia del motor de lógica difusa, para el entendimiento de las mismas pondré como ejemplo la regla N° 1:

Regla 1: si la superficie de captación es chico, el volumen de almacenamiento es pequeño y las precipitaciones pluviales son muy bajas entonces el consumo debe ser bajo.

## Sistema de control para 4 personas.

Predicados.

* A = Superficie de captación.
* B = Volumen de almacenamiento.
* C = Precipitaciones pluviales.
* D = Consumo de agua.

Definimos nuestro universo de discurso U, como un conjunto de pares ordenados (superficie de captación, volumen de almacenamiento, precipitaciones pluviales). De esta forma decimos que U = A x B x C, donde A es el conjunto “superficie de almacenamiento” y se define como A = {a|0 ≤ a ≤ 1200}, B es el conjunto “volumen de almacenamiento” el cual se define como B = {b|0 ≤ b ≤ 100} y C es el conjunto “precipitaciones pluviales” y se define como C = {c|0 ≤ c ≤ 300}. Entonces definimos x є U donde U = {x|x = (a, b, c), para a є A, b є B, c є C}

El fusificador utiliza el conjunto difuso U = A’ x B’ x C’, donde A’, B’ y C’ son conjuntos difusos, los cuales se definen de la siguiente manera:

A’ = {a’ | a’ = (c, µa’ (a)), para a є A, y A’ = (chico, mediano, grande, muygrande}}

El fusificador utiliza las siguientes funciones de pertenencia para calcular el vector que será la entrada al motor de inferencia:

Para la variable A, “superficie de captación”:



Para la variable B “volumen de almacenamiento”:



Para la variable C “precipitaciones pluviales”:



Para la variable de salida D "Consumo”:



El motor de inferencia difusa, utiliza las reglas de inferencia para calcular el vector con las salidas parciales que enviara al defusificador. Las reglas de inferencia que se utilizan, se describen en la siguiente tabla:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Regla | Superficie de captación | Volumen de almacenamiento | Precipitaciones pluviales | Consumo de agua. |
| 1 | Chico | Pequeño | Muy baja | Bajo |
| 2 | Chico | Pequeño | Baja | Bajo |
| 3 | Chico | Pequeño | Media | Bajo |
| 4 | Chico | Pequeño | Alta | Promedio |
| 5 | Chico | Pequeño | Muy alta | Promedio |
| 6 | Chico | Intermedio | Muy baja | Bajo |
| 7 | Chico | Intermedio | Baja | Bajo |
| 8 | Chico | Intermedio | Media | Bajo |
| 9 | Chico | Intermedio | Alta | Promedio |
| 10 | Chico | Intermedio | Muy alta | Promedio |
| 11 | Chico | Considerable | Muy baja | Bajo |
| 12 | Chico | Considerable | Baja | Bajo |
| 13 | Chico | Considerable | Media | Bajo |
| 14 | Chico | Considerable | Alta | Promedio |
| 15 | Chico | Considerable | Muy alta | Promedio |
| 16 | Mediano | Pequeño | Muy baja | Bajo |
| 17 | Mediano | Pequeño | Baja | bajo |
| 18 | Mediano | Pequeño | Media | Promedio |
| 19 | Mediano | Pequeño | Alta | Promedio |
| 20 | Mediano | Pequeño | Muy alta | Promedio |
| 21 | Mediano | Intermedio | Muy baja | Bajo |
| 22 | Mediano | Intermedio | Baja | Bajo |
| 23 | Mediano | Intermedio | Media | Promedio |
| 24 | Mediano | Intermedio | Alta | Promedio |
| 25 | Mediano | Intermedio | Muy alta | Alto |
| 26 | Mediano | Considerable | Muy baja | Baja |
| 27 | Mediano | Considerable | Baja | Baja |
| 28 | Mediano | Considerable | Media | Promedio |
| 29 | Mediano | Considerable | Alta | Alto |
| 30 | Mediano | Considerable | Muy alta | Alto |
| 31 | Grande | Pequeño | Muy baja | Bajo |
| 32 | Grande | Pequeño | Baja | Promedio |
| 33 | Grande | Pequeño | Media | Promedio |
| 34 | Grande | Pequeño | alta | Promedio |
| 35 | Grande | Pequeño | Muy alta | Promedio |
| 36 | Grande | Intermedio | Muy baja | Bajo |
| 37 | Grande | Intermedio | Baja | Promedio |
| 38 | Grande | Intermedio | Media | Promedio |
| 39 | Grande | Intermedio | Alta | Alto |
| 40 | Grande | Intermedio | Muy alta | Alto |
| 41 | Grande | Considerable | Muy baja | Bajo |
| 42 | Grande | Considerable | Baja | Promedio |
| 43 | Grande | Considerable | Media | Alto |
| 44 | Grande | Considerable | Alta | Alto |
| 45 | Grande | Considerable | Muy alta | Alto |
| 46 | Muy grande | Pequeño | Muy baja | Bajo |
| 47 | Muy grande | Pequeño | Baja | Promedio |
| 48 | Muy grande | Pequeño | Media | Promedio |
| 49 | Muy grande | Pequeño | Alta | Promedio |
| 50 | Muy grande | Pequeño | Muy alta | Promedio |
| 51 | Muy grande | Intermedio | Muy baja | Bajo |
| 52 | Muy grande | Intermedio | Baja | Promedio |
| 53 | Muy grande | Intermedio | Media | Alto |
| 54 | Muy grande | Intermedio | Alta | Alto |
| 55 | Muy grande | Intermedio | Muy alta | alto |
| 56 | Muy grande | Considerable | Muy baja | Bajo |
| 57 | Muy grande | Considerable | Baja | Alto |
| 58 | Muy grande | Considerable | Media | Alto |
| 59 | Muy grande | Considerable | Alta | alto |
| 60 | Muy grande | Considerable | Muy alta | Alto |

En la tabla anterior se encuentran las 60 reglas de inferencia del motor de lógica difusa, para el entendimiento de las mismas pondré como ejemplo la regla N° 1:

Regla 1: si la superficie de captación es chico, el volumen de almacenamiento es pequeño y las precipitaciones pluviales son muy bajas entonces el consumo debe ser bajo.

## Sistema de control para 6 personas.

Predicados.

* A = Superficie de captación.
* B = Volumen de almacenamiento.
* C = Precipitaciones pluviales.
* D = Consumo de agua.

Definimos nuestro universo de discurso U, como un conjunto de pares ordenados (superficie de captación, volumen de almacenamiento, precipitaciones pluviales). De esta forma decimos que U = A x B x C, donde A es el conjunto “superficie de almacenamiento” y se define como A = {a|0 ≤ a ≤ 1200}, B es el conjunto “volumen de almacenamiento” el cual se define como B = {b|0 ≤ b ≤ 100} y C es el conjunto “precipitaciones pluviales” y se define como C = {c|0 ≤ c ≤ 300}. Entonces definimos x є U donde U = {x|x = (a, b, c), para a є A, b є B, c є C}

El fusificador utiliza el conjunto difuso U = A’ x B’ x C’, donde A’, B’ y C’ son conjuntos difusos, los cuales se definen de la siguiente manera:

A’ = {a’ | a’ = (c, µa’ (a)), para a є A, y A’ = (chico, mediano, grande, muygrande}}

El fusificador utiliza las siguientes funciones de pertenencia para calcular el vector que será la entrada al motor de inferencia:

Para la variable A, “superficie de captación”:



Para la variable B, “Volumen de almacenamiento”:



Para la variable C “precipitaciones pluviales”:



Para la variable de salida D "Consumo”:



El motor de inferencia difusa, utiliza las reglas de inferencia para calcular el vector con las salidas parciales que enviara al defusificador. Las reglas de inferencia que se utilizan, se describen en la siguiente tabla:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Regla | Superficie de captación | Volumen de almacenamiento | Precipitaciones pluviales | Consumo de agua. |
| 1 | Chico | Pequeño | Muy baja | Bajo |
| 2 | Chico | Pequeño | Baja | Bajo |
| 3 | Chico | Pequeño | Media | Bajo |
| 4 | Chico | Pequeño | Alta | Promedio |
| 5 | Chico | Pequeño | Muy alta | Promedio |
| 6 | Chico | Intermedio | Muy baja | Bajo |
| 7 | Chico | Intermedio | Baja | Bajo |
| 8 | Chico | Intermedio | Media | Bajo |
| 9 | Chico | Intermedio | Alta | Promedio |
| 10 | Chico | Intermedio | Muy alta | Promedio |
| 11 | Chico | Considerable | Muy baja | Bajo |
| 12 | Chico | Considerable | Baja | Bajo |
| 13 | Chico | Considerable | Media | Bajo |
| 14 | Chico | Considerable | Alta | Promedio |
| 15 | Chico | Considerable | Muy alta | Promedio |
| 16 | Mediano | Pequeño | Muy baja | Bajo |
| 17 | Mediano | Pequeño | Baja | bajo |
| 18 | Mediano | Pequeño | Media | Promedio |
| 19 | Mediano | Pequeño | Alta | Promedio |
| 20 | Mediano | Pequeño | Muy alta | Promedio |
| 21 | Mediano | Intermedio | Muy baja | Bajo |
| 22 | Mediano | Intermedio | Baja | Bajo |
| 23 | Mediano | Intermedio | Media | Promedio |
| 24 | Mediano | Intermedio | Alta | Promedio |
| 25 | Mediano | Intermedio | Muy alta | Alto |
| 26 | Mediano | Considerable | Muy baja | Baja |
| 27 | Mediano | Considerable | Baja | Baja |
| 28 | Mediano | Considerable | Media | Promedio |
| 29 | Mediano | Considerable | Alta | Alto |
| 30 | Mediano | Considerable | Muy alta | Alto |
| 31 | Grande | Pequeño | Muy baja | Bajo |
| 32 | Grande | Pequeño | Baja | Promedio |
| 33 | Grande | Pequeño | Media | Promedio |
| 34 | Grande | Pequeño | alta | Promedio |
| 35 | Grande | Pequeño | Muy alta | Promedio |
| 36 | Grande | Intermedio | Muy baja | Bajo |
| 37 | Grande | Intermedio | Baja | Promedio |
| 38 | Grande | Intermedio | Media | Promedio |
| 39 | Grande | Intermedio | Alta | Alto |
| 40 | Grande | Intermedio | Muy alta | Alto |
| 41 | Grande | Considerable | Muy baja | Bajo |
| 42 | Grande | Considerable | Baja | Promedio |
| 43 | Grande | Considerable | Media | Alto |
| 44 | Grande | Considerable | Alta | Alto |
| 45 | Grande | Considerable | Muy alta | Alto |
| 46 | Muy grande | Pequeño | Muy baja | Bajo |
| 47 | Muy grande | Pequeño | Baja | Promedio |
| 48 | Muy grande | Pequeño | Media | Promedio |
| 49 | Muy grande | Pequeño | Alta | Promedio |
| 50 | Muy grande | Pequeño | Muy alta | Promedio |
| 51 | Muy grande | Intermedio | Muy baja | Bajo |
| 52 | Muy grande | Intermedio | Baja | Promedio |
| 53 | Muy grande | Intermedio | Media | Alto |
| 54 | Muy grande | Intermedio | Alta | Alto |
| 55 | Muy grande | Intermedio | Muy alta | alto |
| 56 | Muy grande | Considerable | Muy baja | Bajo |
| 57 | Muy grande | Considerable | Baja | Alto |
| 58 | Muy grande | Considerable | Media | Alto |
| 59 | Muy grande | Considerable | Alta | alto |
| 60 | Muy grande | Considerable | Muy alta | Alto |

En la tabla anterior se encuentran las 60 reglas de inferencia del motor de lógica difusa, para el entendimiento de las mismas pondré como ejemplo la regla N° 1:

Regla 1: si la superficie de captación es chico, el volumen de almacenamiento es pequeño y las precipitaciones pluviales son muy bajas entonces el consumo debe ser bajo.

## Sistema de control para 8 personas.

Predicados.

* A = Superficie de captación.
* B = Volumen de almacenamiento.
* C = Precipitaciones pluviales.
* D = Consumo de agua.

Definimos nuestro universo de discurso U, como un conjunto de pares ordenados (superficie de captación, volumen de almacenamiento, precipitaciones pluviales). De esta forma decimos que U = A x B x C, donde A es el conjunto “superficie de almacenamiento” y se define como A = {a|0 ≤ a ≤ 1200}, B es el conjunto “volumen de almacenamiento” el cual se define como B = {b|0 ≤ b ≤ 100} y C es el conjunto “precipitaciones pluviales” y se define como C = {c|0 ≤ c ≤ 300}. Entonces definimos x є U donde U = {x|x = (a, b, c), para a є A, b є B, c є C}

El fusificador utiliza el conjunto difuso U = A’ x B’ x C’, donde A’, B’ y C’ son conjuntos difusos, los cuales se definen de la siguiente manera:

A’ = {a’ | a’ = (c, µa’ (a)), para a є A, y A’ = (chico, mediano, grande, muygrande}}

El fusificador utiliza las siguientes funciones de pertenencia para calcular el vector que será la entrada al motor de inferencia:

Para la variable A, “superficie de captación”:



Para la variable B, “Volumen de almacenamiento”



Para la variable C “precipitaciones pluviales”:



Para la variable de salida D "Consumo”:



El motor de inferencia difusa, utiliza las reglas de inferencia para calcular el vector con las salidas parciales que enviara al defusificador. Las reglas de inferencia que se utilizan, se describen en la siguiente tabla:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Regla | Superficie de captación | Volumen de almacenamiento | Precipitaciones pluviales | Consumo de agua. |
| 1 | Chico | Pequeño | Muy baja | Bajo |
| 2 | Chico | Pequeño | Baja | Bajo |
| 3 | Chico | Pequeño | Media | Bajo |
| 4 | Chico | Pequeño | Alta | Promedio |
| 5 | Chico | Pequeño | Muy alta | Promedio |
| 6 | Chico | Intermedio | Muy baja | Bajo |
| 7 | Chico | Intermedio | Baja | Bajo |
| 8 | Chico | Intermedio | Media | Bajo |
| 9 | Chico | Intermedio | Alta | Promedio |
| 10 | Chico | Intermedio | Muy alta | Promedio |
| 11 | Chico | Considerable | Muy baja | Bajo |
| 12 | Chico | Considerable | Baja | Bajo |
| 13 | Chico | Considerable | Media | Bajo |
| 14 | Chico | Considerable | Alta | Promedio |
| 15 | Chico | Considerable | Muy alta | Promedio |
| 16 | Mediano | Pequeño | Muy baja | Bajo |
| 17 | Mediano | Pequeño | Baja | bajo |
| 18 | Mediano | Pequeño | Media | Promedio |
| 19 | Mediano | Pequeño | Alta | Promedio |
| 20 | Mediano | Pequeño | Muy alta | Promedio |
| 21 | Mediano | Intermedio | Muy baja | Bajo |
| 22 | Mediano | Intermedio | Baja | Bajo |
| 23 | Mediano | Intermedio | Media | Promedio |
| 24 | Mediano | Intermedio | Alta | Promedio |
| 25 | Mediano | Intermedio | Muy alta | Alto |
| 26 | Mediano | Considerable | Muy baja | Baja |
| 27 | Mediano | Considerable | Baja | Baja |
| 28 | Mediano | Considerable | Media | Promedio |
| 29 | Mediano | Considerable | Alta | Alto |
| 30 | Mediano | Considerable | Muy alta | Alto |
| 31 | Grande | Pequeño | Muy baja | Bajo |
| 32 | Grande | Pequeño | Baja | Promedio |
| 33 | Grande | Pequeño | Media | Promedio |
| 34 | Grande | Pequeño | alta | Promedio |
| 35 | Grande | Pequeño | Muy alta | Promedio |
| 36 | Grande | Intermedio | Muy baja | Bajo |
| 37 | Grande | Intermedio | Baja | Promedio |
| 38 | Grande | Intermedio | Media | Promedio |
| 39 | Grande | Intermedio | Alta | Alto |
| 40 | Grande | Intermedio | Muy alta | Alto |
| 41 | Grande | Considerable | Muy baja | Bajo |
| 42 | Grande | Considerable | Baja | Promedio |
| 43 | Grande | Considerable | Media | Alto |
| 44 | Grande | Considerable | Alta | Alto |
| 45 | Grande | Considerable | Muy alta | Alto |
| 46 | Muy grande | Pequeño | Muy baja | Bajo |
| 47 | Muy grande | Pequeño | Baja | Promedio |
| 48 | Muy grande | Pequeño | Media | Promedio |
| 49 | Muy grande | Pequeño | Alta | Promedio |
| 50 | Muy grande | Pequeño | Muy alta | Promedio |
| 51 | Muy grande | Intermedio | Muy baja | Bajo |
| 52 | Muy grande | Intermedio | Baja | Promedio |
| 53 | Muy grande | Intermedio | Media | Alto |
| 54 | Muy grande | Intermedio | Alta | Alto |
| 55 | Muy grande | Intermedio | Muy alta | alto |
| 56 | Muy grande | Considerable | Muy baja | Bajo |
| 57 | Muy grande | Considerable | Baja | Alto |
| 58 | Muy grande | Considerable | Media | Alto |
| 59 | Muy grande | Considerable | Alta | alto |
| 60 | Muy grande | Considerable | Muy alta | Alto |

En la tabla anterior se encuentran las 60 reglas de inferencia del motor de lógica difusa, para el entendimiento de las mismas pondré como ejemplo la regla N° 1:

Regla 1: si la superficie de captación es chico, el volumen de almacenamiento es pequeño y las precipitaciones pluviales son muy bajas entonces el consumo debe ser bajo.