

Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas.

Facultad Matemática Física y Computación

Ingeniería Informática



TRABAJO DE DIPLOMA

*Sistema experto para la evaluación técnica de elementos
verticales en edificaciones.*

Autor:Dailén Abreu Rodríguez.

Tutor(es):Dra. María Matilde García Lorenzo.

Dr. José Armando Chávez.

"Año 55 de la Revolución "

2012-2013

Santa Clara

Dictamen



Hago constar que el presente trabajo fue realizado en la Universidad Central Marta Abreu de Las Villas como parte de la culminación de los estudios de la especialidad de Ingeniería Informática, autorizando a que el mismo sea utilizado por la institución, para los fines que estime conveniente, tanto de forma parcial como total y que además no podrá ser presentado en eventos ni publicado sin la autorización de la Universidad.

Firma del autor

Los abajo firmantes, certificamos que el presente trabajo ha sido realizado según acuerdos de la dirección de nuestro centro y el mismo cumple con los requisitos que debe tener un trabajo de esta envergadura referido a la temática señalada.

Firma del tutor

Firma del jefe del
Laboratorio.

“La única manera de realizar un buen trabajo es amando lo que haces.

Si todavía no lo has encontrado sigue buscando y no te conformes.”

Steve Jobs.

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mis padres por todo su apoyo y dedicación, especialmente a mi mamá y abuela por todas sus horas de desvelo, paciencia y amor, a mi hermana que siempre me brindó su ayuda cuando la necesité.

Agradecimientos

Agradezco a todas aquellas personas que de una forma u otra han hecho posible la realización de este trabajo.

A mi familia que me apoya incondicionalmente y siempre está presente para mí.

A mis tutores la Dra. María Matilde García y el Dr. José A. Chávez por toda su ayuda y dedicación, por brindarme su tiempo, estando siempre dispuestos a ofrecerme sus conocimientos cuando los necesité. Gracias a Marilyn por no flaquear en su empeño de ser cada vez más exigente y hacer de mí una mejor estudiante, demostrado que con esfuerzo y confianza puedo lograr mejores resultados.

A mis compañeros de aula (con los que comencé y los que tengo ahora) que me apoyaron en toda mi carrera universitaria.

Al claustro de profesores de la carrera de Ingeniería Informática que durante estos cinco años aportaron a mi formación y mi sed de aprender.

En fin agradezco a todos aquellos que me han apoyado en mis buenos y malos momentos, que han soportado mi alegría, desespero, impaciencia, pero que por sobre todas las cosas me han brindado su hombro siempre que lo necesité y confiaron plenamente en que llegaría exitosamente a la culminación de este trabajo.

RESUMEN

El rápido desarrollo de la tecnología ha contribuido a que la industria de la construcción adopte cada vez más estrategias de automatización para realizar los procesos de evaluación técnica de las edificaciones.

El presente trabajo implementa un sistema para la evaluación técnica de elementos verticales (muros, columnas y arcos) de una edificación, ETEV 1.0. Se desarrollan tres sistemas de inferencia borrosa para realizar una evaluación detallada de lesiones superficiales y estructurales para una posterior evaluación general de cada elemento previamente identificado, todo lo cual se logra a partir de las distintas etapas de la ingeniería del conocimiento.

El conocimiento necesario para concebir cada una de las bases de reglas fue el resultado de la experiencia acumulada por profesores e investigadores de la facultad de Construcciones de la UCLV. El software Xfuzzy 3.0 fue empleado para la construcción de estas bases. Posteriormente las bases se integran a una interfaz desarrollada con el IDENetBeans 7.1.1 que responden a los requerimientos del usuario.

ETEV constituye un módulo del sistema para el diagnóstico patológico de edificaciones y se encuentra en fase de validación.

ABSTRACT

The rapid development of technology has contributed to the construction industry to adopt automation strategies for technical evaluation of construction processes.

This paper implements a system for the technical evaluation of vertical elements (walls, columns and constructive arches) of a building, ETEV 1.0. Three fuzzy inference systems are developed to perform a detailed assessment of surface and structural lesions for subsequent general assessment of each element previously identified, all of which is achieved from the different stages of knowledge engineering.

The necessary knowledge to design each base of rules is the result of the experience of teachers and researchers of the Faculty of Constructions at the UCLV. The software Xfuzzy 3.0 was used to construct these bases. The bases are integrated to an interface developed with NetBeans IDE 7.1.1 that responds to the user requirements.

ETEV is a module of the system for pathologic diagnosis of buildings and is being validated.

Tabla de contenido

RESUMEN	v
ABSTRACT.....	vi
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: BREVE RESEÑA SOBRE SISTEMAS BASADOS EN CONOCIMIENTO EN EL DIAGNÓSTICO.	5
1.1. Sistemas Basados en el Conocimiento (SBC):	5
1.2. Sistemas de inferencia borrosa (SIB):.....	8
1.3. Ingeniería de Conocimiento.....	10
1.4. Evaluación de los SBC y SIB:	14
1.5. Los SBC en el diagnóstico:.....	15
1.5.1. SBC en problemas de diagnóstico de edificaciones.....	16
1.6. Conclusiones parciales del capítulo:	17
CAPÍTULO 2: DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE UN SISTEMA INTELIGENTE PARA LA EVALUACIÓN TÉCNICA DE LOS ELEMENTOS VERTICALES DE LAS EDIFICACIONES.	18
2.1. Planteamiento del problema:	18
2.2. Conceptos fundamentales:.....	19
2.2.1. Definición borrosa de conceptos:	21
2.3. Sistema para la evaluación técnica de elementos estructurales.	24
2.4. Metodología de desarrollo.	26
2.4.1. Diseño de la interfaz.	27
2.5. Implementación computacional del sistema.....	27
2.5.1. Diagrama de actividades.	28
2.5.2. Diagrama de paquetes.....	28

2.6. Integración de ETEV con Xfuzzy.....	30
2.7. Conclusiones parciales del capítulo:	31
CAPÍTULO 3: IMPLEMENTACIÓN COMPUTACIONAL DEL SISTEMA INTELIGENTE.....	32
3.1. Requerimientos del sistema.	32
3.2. Facilidades del sistema.	32
3.3. Validación del sistema.....	33
3.4. Descripción del sistema.....	33
3.5. Conclusiones parciales.	40
CONCLUSIONES:	41
RECOMENDACIONES:	42
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	43

INTRODUCCIÓN

En los momentos actuales se trata de explicar el comportamiento de la humanidad ante los retos de la Revolución Científico Técnica que ha constituido un gran salto en la acumulación de saberes humanos.

El rápido desarrollo científico – técnico en la actualidad es de vital importancia para la humanidad, lo cual conlleva a que las diferentes ramas del quehacer humano empleen y se adapten a este desarrollo tecnológico.

Las técnicas de estudio y procesamiento para el conocimiento han adquirido nuevas dimensiones producto del desarrollo alcanzado en las herramientas y equipos empleados en la obtención de datos, volumen de información y variables para dar solución a diversos problemas.

Estas técnicas son aplicadas en diferentes áreas tales como la medicina, ingeniería mecánica, ingeniería química y la arquitectura.

A lo largo de la historia han perdurado varias edificaciones patrimoniales construidas con materiales como la piedra y la cerámica, donde se puede observar el perfeccionamiento de la construcción en el mundo, de ahí la importancia de conservarlos y mantenerlos vigentes como parte de nuestro patrimonio cultural.

Gran importancia adquieren las actividades orientadas a la preservación del patrimonio pues con estas perdura nuestro legado cultural y el de generaciones anteriores, riqueza que constituyen los bienes fruto de la creación humana, es decir, lo que se formula como identidad cultural.

Con el paso del tiempo las edificaciones sufren deterioro que puede ser de mayor o menor grado producto de las lesiones que presentan, las cuales se clasifican en estructurales (grietas inclinadas 45°, grietas horizontales, grietas verticales, fisuras) y superficiales (disgregación o desagregación, descamaciones y desplazaciones, exfoliaciones y laminados, erosión, escamas, acanaladuras, escorrentías, alveolización, ampollas, depósitos superficiales, picaduras, decoloración, pátinas y manchas, eflorescencias, costras).

Aunque existen manuales de evaluación con completas descripciones de los diferentes niveles de daño, la información que se maneja es altamente subjetiva y depende de la

percepción del evaluador en cada caso, por lo que los evaluadores inexpertos tienden a calificar erróneamente los daños (Martha Liliana Carreño et al., 2003).

Para auxiliar el trabajo de estos profesionales de la construcción, varias herramientas informáticas han sido elaboradas, sin embargo, se desconoce de la existencia de trabajos que apoyen la toma de decisiones para la evaluación técnica en las edificaciones, por lo cual, se está perdiendo el potencial de la informática para hacer trabajos de evaluación de forma más rápida y eficiente, evitando perder la experticia acumulada.

Los estudios para la evaluación técnica en edificaciones patrimoniales construidas de piedra natural o cerámica se han desarrollado sin que se diseñen en estrecha participación con técnicas de cómputo, estas técnicas son empleadas con éxito en varios campos de investigación y en el campo de la construcción se está en condiciones para utilizar algunas como la Inteligencia Artificial (IA) y la Lógica Difusa.

Dentro del campo de la Inteligencia Artificial el área de mayor difusión es la de los Sistemas Basados en Conocimiento (SBC) definidos como sistemas computacionales que adquieren conocimiento especializado en un campo específico para explotarlo mediante métodos de razonamiento que emulan el desempeño del experto humano en la solución de problemas (Ayala., 2006).

Los rasgos en los SBC pudieran ser de diversos dominios tales como booleanos, caracteres o simbólicos (uno o una cadena) y reales denominados también como continuos los cuales pueden ser discretizables o tratarse por medio de la lógica difusa.

La Lógica Difusa se dedica a la formalización de modos de razonamiento que son aproximados y no exactos (Moreno, 2009). Permite incorporar a la computadora esquemas de pensamiento típicamente humanos, haciendo posible expresar en términos lingüísticos el conocimiento de uno o varios expertos en un dominio dado; este conocimiento puede ser aprovechado en la computadora a través de algoritmos adecuados (Pérez, 2010).

La inteligencia computacional puede ser utilizada para superar las dificultades en el proceso de evaluación técnica de edificaciones. La lógica difusa es una técnica innovadora que permite representar la información cualitativa o subjetiva en forma numérica y que es muy útil para aplicaciones tecnológicas e ingenieriles donde se requieren conceptos y criterios de expertos.

Problema de investigación

Se necesita diversificar la experticidad acumulada en muy pocos especialistas sobre la evaluación técnica de edificaciones patrimoniales de forma que no se pierda con el tiempo y que se sistematice sobre la base de su empleo a partir de sistemas automatizados que actúen como entrenadores o tutores en el dominio de interés.

Objetivo general

Diseñar e implementar un sistema experto para la evaluación técnica de los elementos verticales en edificaciones patrimoniales.

Este objetivo general se desglosa en los siguientes objetivos específicos:

Objetivos específicos

- Analizar el marco teórico referencial sobre desarrollos en el campo de los Sistemas Basados en Conocimiento para problemas de diagnóstico de edificaciones.
- Desarrollar la Ingeniería de Conocimiento para construir la Base de Conocimiento que diagnostique el estado general de la edificación según elementos verticales.
- Diseñar una interfaz para el sistema de evaluación técnica de elementos verticales en las edificaciones.
- Implementar el Sistema Experto a partir del prototipo requerido.
- Realizar la documentación y prueba del sistema con expertos del dominio.

Hipótesis de investigación

Implementar un sistema inteligente para modelar la evaluación técnica de edificaciones a partir del análisis de los distintos elementos estructurales (verticales), partiendo de la experiencia acumulada por los expertos en esta área contribuye favorablemente a la toma de decisiones y actúa como posible entrenador en este dominio.

Para el logro de los objetivos planteados y la hipótesis de investigación se plantean las siguientes *tareas de investigación*:

- Estudio de técnicas utilizadas para construir Sistemas Basados en Conocimiento para problemas de diagnóstico.
- Caracterización del problema a resolver con sus aspectos fundamentales y las lesiones de mayor riesgo en los elementos verticales de la edificación.

- Creación de la Base de Conocimiento.
- Validación del prototipo de Sistema.
- Realización de la interfaz de la aplicación para el diagnóstico realizado a los elementos verticales de la edificación.
- Evaluación con expertos del dominio.

Justificación de la Investigación

El desarrollo y elaboración de un Sistema Experto (SE) constituirá una valiosa herramienta de trabajo para los profesionales de la construcción al afrontar problemas reales relacionados con la evaluación técnica de edificaciones pues aunque existen manuales que ayudan en la evaluación de las diferentes patologías de las obras ya en deterioro, esta puede ser subjetiva, debido a que el nivel de experticidad con que se cuenta sobre esto se somete a un número limitado de ingenieros en el país. Con la elaboración de este software además de viabilizar el trabajo se minimiza el margen de error al dar el diagnóstico final.

Viabilidad de la Investigación

La investigación desarrollada es viable pues con la experiencia acumulada por parte de los profesionales de la construcción y el avance logrado en las técnicas de Inteligencia Artificial y los lenguajes de programación se han conseguido sistemas computacionales que son utilizados por varios profesionales en diferentes ramas. Además se cuenta con los recursos de hardware y software necesarios para la creación del sistema experto partiendo de las necesidades solicitadas por el usuario.

La tesis se estructura en tres capítulos. El capítulo 1 se dedica al marco teórico referente a las técnicas de inteligencia artificial usadas en la construcción de Sistemas Basados en Conocimiento y los trabajos en lo referente al diagnóstico de edificaciones patrimoniales. Posteriormente en un segundo capítulo se hace referencia al diseño e implementación del SE, y por tanto todo lo relativo a la construcción de la Base de Conocimiento y los mecanismos de inferencia implementados. Por último, se trabaja en el tercer capítulo la implementación, documentación y prueba del sistema desarrollado.

CAPÍTULO I: BREVE RESEÑA SOBRE SISTEMAS BASADOS EN CONOCIMIENTO EN EL DIAGNÓSTICO.

Se expone de forma breve que son los Sistemas Basados en Conocimiento (SBC), caracterización, las partes fundamentales que componen un SBC y los diferentes tipos que existen, Se hace referencia a los Sistemas de Inferencia Borrosa (SIB), como un tipo de SBC y su utilización en los problemas de diagnóstico.

1.1. Sistemas Basados en el Conocimiento (SBC):

En la década del 70 se reconoció que los métodos de solución de problemas generales eran insuficientes para resolver los problemas orientados a aplicaciones. Se determinó que era necesario conocimiento específico sobre el problema, limitado a los dominios de aplicación de interés, en lugar de conocimiento general aplicable a muchos dominios. Este reconocimiento condujo al desarrollo de Sistemas Basados en el Conocimiento (SBC).

El conocimiento representado en los SBC es el de expertos en el dominio específico del problema, procedente de casos resueltos o de diferentes fuentes de información científica técnica. De ahí que la eficacia de un SBC radica en el conocimiento que posee. Un experto posee habilidades que le permiten obtener conclusiones de experiencias pasadas y rápidamente focalizar sobre el centro de un problema dado. Las mayores posibilidades del éxito de un experto en la solución de problemas, se deben a que ha adquirido un conjunto de relaciones de causa y efecto poderosas, basadas en la experiencia. Un experto es capaz de utilizar este conocimiento básico para reconocer rápidamente rasgos sobresalientes del problema, clasificar este de acuerdo a estas características y buscar una solución; también se basa en casos similares al problema a resolver y toma de estos las soluciones dadas como punto de partida para encontrar la solución al nuevo problema.

Al experto según (Lio., 2006) lo caracterizan por:

1. Amplitud en la variedad de problemas que puede resolver con respecto a otros profesionales del dominio.
2. Rapidez en encontrar una solución.
3. Calidad en la solución encontrada.

En términos generales un Sistema Basado en Conocimiento (SBC) se define como:

Un sistema computarizado que usa conocimiento sobre un dominio para arribar a una solución de un problema de ese dominio. Esta solución es esencialmente la misma que la obtenida por una persona experimentada en el dominio del problema cuando se enfrenta al mismo(Lio., 2006).

De acuerdo a lo planteado por(Oloriz, 2004)un SBC es un sistema computarizado capaz de resolver problemas en el dominio en el cual posee conocimiento específico.

Según(Zenaida Gacia, 2006)un SBC se puede definir como un sistema informático que simula el proceso de aprendizaje, de memorización, de razonamiento, de comunicación y de acción de un experto humano en una determinada rama de la ciencia, suministrando, de esta forma, un consultor que puede sustituirle con unas ciertas garantías de éxito”.

Podemos decir que los SBC son un resultado importante de la Inteligencia Artificial, pues dan solución a problemas a través del conocimiento de igual forma que lo hace el experto humano.

Los SBC poseen ventajas y desventajas según (Lio., 2006)dentro de las cuales están:

Ventajas:

1. Amplia distribución de experticidad escasa.
2. Fácil modificación (conocimiento explícito y accesible).
3. Consistencia en las respuestas (los expertos humanos pueden diferir sus explicaciones, incluso un mismo experto puede responder de formas diferentes en momentos diferentes).
4. Preservación de la experticidad (constituye una memoria institucional y poseen la capacidad para adquirir nuevo conocimiento y perfeccionar el que poseen).
5. Solución de problemas que incluyen datos incompletos.
6. Explicación de soluciones
7. Permite evaluar el efecto de nuevas estrategias añadiendo o modificando el conocimiento.
8. Constituye un entrenador en el dominio de aplicación.

Desventajas:

1. Las respuestas no siempre son correctas.
2. El conocimiento se encuentra limitado al dominio de experticidad.
3. La ausencia de sentido común.
4. No reconocen el límite de su conocimiento.

De acuerdo al tema en que se desarrolla la problemática a enfrentar por los SBC, así como la forma de representar el conocimiento y el mecanismo de inferencia que utilice puede existir variación en la realización de estos sistemas.

Los SBC reflejan tres componentes fundamentales los cuales son: su base de conocimiento (BC) la cual es el componente principal, además de la máquina de inferencia (MI) y la interfaz de usuario (UI):

- **Base de Conocimiento (BC):** comprende todo el conocimiento ya sea público o privado que posee el experto para la solución de problemas en un dominio de aplicación preciso. Existen diversas formas de representar ese conocimiento. La selección adecuada de la Forma de Representación del Conocimiento (FRC) desempeña un papel importante e influye sustancialmente en la efectividad de todo el sistema.
- **Máquina de Inferencia (MI):** utiliza algún método de solución de problemas (MSP) (búsqueda a ciegas, búsqueda heurística, razonamiento basado en casos, sistema de razonamiento no monótono, razonamiento bajo incertidumbre) necesarios para el desarrollo del SBC pues manipula el conocimiento almacenado en la BC además de informaciones sobre estados iniciales, estados actuales de la solución del problema, etc., las cuales procesa dinámicamente en una estructura que se le llama Base de Datos (BD) o Memoria de Trabajo.
- **Interfaz de Usuario (UI):** mediante ella el usuario plantea los problemas al sistema, recibe preguntas del mismo y ofrece explicaciones necesarias. Se encarga de establecer el protocolo de diálogo: a través de parámetros, íconos, lenguaje natural. Debe ser capaz de argumentar las razones por las que formula cierta pregunta y llega a una conclusión específica.

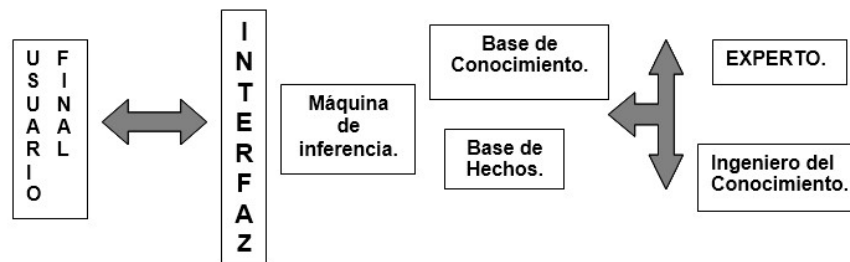


Figura. 1.1. Arquitectura de los Sistemas Basados en Conocimiento.

Atendiendo a la forma de representación del conocimiento (FRC) y a la máquina de inferencia (MI) existen varios tipos de SBC dentro de los cuales están los sistemas basados en reglas (SBR), los sistemas basados en casos (SBCasos) y los sistemas de inferencia borrosa (SIB), entre otros.

Sistemas basados en reglas (SBR): son los más conocidos, la FRC usada son las reglas de producción y como método de inferencia DEPTH FIRST dirigido por objetivo o dirigido por datos (Bello, 2002).

Sistemas basados en casos (SBCasos): El Razonamiento Basado en Casos (RBC) es un método para resolver problemas no estructurados, en el cual el razonamiento se realiza a partir de una memoria asociativa que usa un algoritmo para determinar una medida de semejanza entre dos objetos, su BC está conformada por casos (Lio, 1998).

Sistemas de inferencia borrosa (SIB): Un sistema de inferencia borroso (SIB) es un sistema computacional basado en los conceptos de la teoría de conjuntos borrosos, reglas If-Then borrosas y razonamiento borroso (Bello, 1998).

Aunque existen varios tipos de SBC como ya se explicó, se hace referencia a los tres anteriores por ser los más relacionados con el tema de la tesis, haciendo énfasis en los SIB pues estos constituyen el principal eslabón en el desarrollo de la investigación.

1.2. Sistemas de inferencia borrosa (SIB):

A principios de los años sesenta Lofti A. Zadeh propone la generalización de la teoría clásica de conjuntos y sienta las bases de la lógica borrosa (Zadeh 1965).

La lógica difusa o borrosa permite representar el conocimiento común que es mayoritariamente del tipo lingüístico cualitativo y no necesariamente cuantitativo, en un lenguaje matemático a través de la teoría de conjuntos difusos y funciones características asociadas a ellos. Permite trabajar a la vez con datos numéricos y términos lingüísticos;

estos términos lingüísticos son inherentemente menos precisos que los datos numéricos pero en muchas ocasiones aportan una información más útil para el razonamiento humano.

Los conjuntos borrosos y los sistemas construidos a partir de ellos, han servido como una de las herramientas para resolver problemas en presencia de vaguedad; por ejemplo, cuando es necesario usar conceptos vagos como edad y altura como Joven, Adulto, Viejo o Alto, Mediano, Bajo por situar algunos ejemplos.

Los SIB se conocen por nombres como: Sistemas basados en reglas borrosos, Sistemas expertos borrosos, etc.(Bello, 1998).

La estructura básica de los sistemas de inferencia borrosos consiste de tres componentes conceptuales. Primera, una base de reglas, la cual contiene una selección de reglas borrosas que tienen la forma “*if x is A then y is B*”, donde A y B son valores lingüísticos definidos por conjuntos borrosos sobre universos de discurso X e Y respectivamente. La segunda componente es una base de datos que contiene las funciones de membresía para los conjuntos borrosos que aparecen en las reglas. La tercera componente es un mecanismo de razonamiento el cual realiza la inferencia a partir de las reglas y los hechos dados permitiendo derivar conclusiones razonables(Morell and Bello, 2007).

De acuerdo a lo planteado por(Bello, 1998)un variable lingüística se caracteriza por un quintuplo $(x, T(x), X, G, M)$ en el cual x es el nombre de la variable, $T(x)$ es el conjunto de términos, o sea, el conjunto de sus valores o términos lingüísticos, X es el universo de discurso, G es la regla sintáctica la cual genera los términos en $T(x)$, y M es una regla semántica la cual asocia a cada valor lingüístico A su significado $M(A)$, donde $M(A)$ denota un conjunto borroso en X .

La **función de inclusión o pertenencia** (membership function) de un conjunto borroso consiste en un conjunto de pares ordenados $F = ((u, \mu_F(u)) / u \in U)$ si la variable es discreta, o una función continua si no lo es. El valor de $\mu_F(u)$ indica el grado en que el valor u de la variable U está incluida en el concepto representado por la etiqueta F (Brío and Molina).

Para el trabajo con conjuntos difusos es válida cualquier función de pertenencia, pero en la práctica existen funciones típicas que se emplean de manera frecuente pues poseen

gran facilidad computacional y estructura lógica para definir su valor lingüístico asociado. Las más utilizadas son: Función triangular, función trapezoidal, función gaussiana y función S. Ver anexo 1.

Los modelos borrosos pueden ser de tipo Mandani, Sugeno o Tsukamoto.

- **Modelo borroso de Mamdani:**

En este modelo el antecedente y el consecuente de las reglas son conjuntos borrosos; la regla puede tener múltiples antecedentes.

El método de inferencia de este modelo se basa en el empleo de un esquema de composición para producir el conjunto borroso final. Este esquema de composición indica como acotar el conjunto borroso consecuente de cada regla a partir de los valores de sus antecedentes y luego como integrar (agregar) todos los conjuntos borrosos resultantes en uno solo.

- **Modelo de Sugeno:**

Fue propuesto por Takagi, Sugeno y Kang en (1985 - 1988) desarrolla una técnica sistemática de generación de reglas.

Conocido también como TSK, utiliza reglas de la forma:

If x is A and y is B Then $z=f(x, y)$.

donde A y B son conjuntos borrosos en el antecedente y z es una función dura como consecuente. Usualmente $f(x, y)$ es un polinomio.

- **Modelo borroso de Tsukamoto :**

En este modelo el consecuente de cada regla borrosa se representa por un conjunto borroso con una MF monótona. El resultado inferido de cada regla es definido como un valor duro inducido por el acotamiento que resulta del antecedente de la regla.

Para el correcto desarrollo de los SBC se hace necesario realizar el proceso de ingeniería del conocimiento.

1.3. Ingeniería de Conocimiento.

La ingeniería del conocimiento engloba un enfoque científico, en conjunto a la tecnología y metodología necesarias para procesar y transmitir el conocimiento.

Las fuentes de conocimiento más comunes para la transmisión del saber en el sistema de enseñanza - aprendizaje, son:

1. Expertos humanos en el dominio del problema.
2. Libros y manuales que ilustren el problema y técnicas de resolución.
3. Ejemplos de casos resueltos.

La ingeniería del conocimiento es una rama más de la Inteligencia Artificial, siendo una de las disciplinas emergentes que nació en la era del conocimiento.

De acuerdo a lo expuesto por Schildt, *La Ingeniería del Conocimiento* es la disciplina que trata la forma en que se organizan, construyen y verifican las bases de conocimiento. Podemos ver también a la Ingeniería de Conocimiento como la disciplina orientada a la creación de sistemas basados en conocimiento para el análisis y solución de problemas de un dominio específico.

Si bien los conocimientos pueden obtenerse de varias fuentes, incluyendo la documentación y los sistemas de información existentes, una buena parte de esta se adquiere de personas expertas. El conocimiento proporcionado por expertos, tiene un alto grado de especialización orientada hacia un tema específico.

El Ingeniero de Conocimientos (IC): es el que obtiene los conocimientos del experto u otras fuentes como libros, artículos, casos resueltos del área de aplicación en cuestión y los representa en el sistema basado en conocimientos.

Algunos de los modelos de adquisición de conocimiento:

El experto puede interactuar más directamente con el sistema experto a través de un programa editor inteligente, capacitado con diálogos sofisticados y un conocimiento acerca de la estructura de las bases de conocimiento (Tansley, 1993).

- **Experto ► Programa Editor Inteligente ► Base de Conocimientos**

Las bases de conocimiento pueden ser construidas parcialmente por un programa de inducción a partir de casos descritos en libros y experiencias pasadas.

- **Libros ► Programa de Inducción ► Base de Conocimientos**

Un método de adquisición del conocimiento más avanzado es el aprendizaje directo desde libros.

- **Libros ► Procesamiento de Datos ► Base de Conocimientos**

El experto interactúa con el ingeniero del conocimiento para construir la Base de Conocimiento.

▪ Experto ► Ingeniero del Conocimiento ► Base de Conocimientos

El ingeniero plantea las preguntas al experto, estructura sus conocimientos y los implementa en el sistema. En la creación de la aplicación, el ingeniero y el experto trabajan muy unidos.

El punto clave del desarrollo de un Sistema Basado en el Conocimiento es el momento de transmitir el conocimiento que posee el experto a un sistema real. En este proceso no sólo se han de captar los elementos que componen el dominio del experto, sino que también se han de adquirir las metodologías de resolución que utilizan éstos. Este trabajo de extracción del conocimiento se realiza durante la interacción entre dos personajes, el ingeniero del conocimiento (IC) (persona que conoce el formalismo de representación que utilizará el SBC) y el experto (persona que posee el conocimiento, pero que no tiene por qué usar un formalismo para representarlo).

Durante las entrevistas entre el IC y el experto, el primero ha de ayudar a sistematizar el conocimiento del experto, consiguiendo que vaya explicitando las diferentes técnicas que utiliza para resolver los problemas de su dominio, de manera que se puedan representar en un formalismo computable.

La adquisición del conocimiento en el ámbito de la ingeniería del conocimiento es conocida como el “cuello de botella” de los sistemas expertos (J.M.Font, 2008), ya que hay que tener bien presente que el objetivo final es la creación de un modelo computacional cualitativo de comportamiento inteligente, en un dominio de aplicación concreto.

Al realizar la adquisición del conocimiento desde varias fuentes, el ingeniero de conocimientos transita por varias etapas antes de producir un SE. Entiéndase por adquisición del conocimiento “al proceso de extracción, codificación y verificación del conocimiento de un experto humano u otra fuente” (P.Bonissone, 2000).

Etapas a seguir por el IC:

- I) Etapa de identificación: En esta etapa se caracteriza el problema según sus aspectos más relevantes.
- II) Etapa de conceptualización: en esta etapa se definen de forma explícita los conceptos y relaciones claves identificadas en la etapa anterior, la misma se

desarrolla por medio de interacciones constantes entre el experto y el IC se selecciona una herramienta apropiada para desarrollar el diseño.

- III) Etapa de formalización: en esta etapa se crea una representación formal, basada en las herramientas de la Ingeniería del Conocimiento, de todas las características analizadas en la etapa anterior.
- IV) Etapa de implementación: el conocimiento determinado en la etapa previa se lleva a la forma de representación escogida, quedando conformada la B.C. Se implementa además el M.S.P escogido, detallando las estructuras de datos, las reglas de inferencia y los mecanismos de control, construyéndose un programa ejecutable.
- V) Etapa de prueba: se evalúa el prototipo empleando dos o tres ejemplos. Al ejecutarlo correctamente con estos, es necesario probar con una variedad de casos, que incluyan tanto los más comunes como los más raros, para determinar así las debilidades de la BC.
- VI) Revisión del prototipo: el refinamiento del prototipo encierra el reciclaje a través de las etapas de implementación y prueba para ajustar las reglas y las estructuras de control. Esta etapa debe conducir a que el razonamiento sea estable y el sistema eficiente.

Para el caso de los SIB este proceso tiene particularidades diferentes pues trata de concebir la modelación borrosa que es el proceso de construir un SIB. La modelación borrosa se ejecuta en dos etapas. En la primera se identifica la estructura superficial del sistema y en la segunda la estructura profunda (Bello, 1998).

Primera etapa:

- *Seleccionar las variables de entrada y salida relevantes*: se realiza un análisis para determinar las variables de entrada y salida a tener en cuenta dentro del sistema.
- *Seleccionar un tipo específico de SIB*: en este paso el IC y el experto deciden el tipo de SIB más apropiado a utilizar, este puede ser de tipo: (Mamdani, Sugeno o Tsukamoto).

- *Determinar la cantidad de términos lingüísticos asociados con cada variable de entrada o salida (para el modelo de Sugeno determinar el grado de la función consecuyente):* el experto y el IC definen los términos lingüísticos para las variables que serán utilizadas dentro del sistema que se va a implementar.
- *Definir el conjunto de reglas borrosa:* con esta tarea se definen las reglas borrosas que van a ser utilizadas en la realización del SIB por lo que es de vital importancia que el experto y el IC estén en total acuerdo.

Segunda etapa:

- *Seleccionar una familia apropiada de funciones de pertenencia parametrizadas:* en esta fase ya una vez definidas las variables necesarias con sus respectivos términos lingüísticos, el experto y el IC prueban las funciones de pertenencia que van a emplear para luego seleccionar la que más se ajuste a las necesidades requeridas.
- *Entrevistar a los expertos humanos para determinar los parámetros de las funciones de pertenencia usadas (y los coeficientes de las funciones consecuentes si se usa el modelo de Sugeno):* en esta fase se hacen entrevistas a los expertos para determinar los parámetros que se van a utilizar en las funciones de membresía definidas anteriormente.
- *Refinar los parámetros de las funciones de pertenencia usando técnicas de regresión y optimización (si hay un conjunto de datos de entrada-salida):* en esta fase se realizan las pruebas necesarias para perfeccionar las funciones de pertenencia hasta obtener los parámetros más óptimos para cada función.

1.4. Evaluación de los SBC y SIB:

La representación del conocimiento sobre el dominio de la aplicación que se modela, el formalismo y el método utilizado para manipular este conocimiento, es parte de la evaluación dentro del ciclo de vida de un SBC. Con el formalismo se describe el conocimiento que se tiene sobre el dominio del problema, y con el método de solución se brindan los operadores y las estructuras de control que permiten resolver el problema, en la creación de estos sistemas, el conocimiento sobre el dominio se guarda en una BC, que requiere además ser verificada de forma tal que se garantice que sea correcta,

completa y consistente; y que al estar separada del llamado método de solución de problemas, se puede modificar una de ellas sin alterar la otra(Bello, 2002).

En la evaluación deberán contestarse las siguientes preguntas según (Bello, 2002):

¿Cuándo evaluar?

¿Qué evaluar?

¿Cómo evaluar?

1.5. Los SBC en el diagnóstico:

Una de las áreas de aplicación de la Inteligencia Artificial es el diagnóstico el cual se puede formular como dado un conjunto de síntomas y la descripción de un problema, encontrar una explicación a esos síntomas.

Los SBC se han aplicado a varias áreas del saber tales como diagnóstico en la medicina:donde su función es realizar diagnósticos de enfermedades basados en el cálculo de probabilidades, diagnóstico en componentes electrónicos donde además de emitir un diagnóstico se orienta su reparación, en la agricultura también se han utilizado en el diagnóstico y tratamiento de tierras, control de plagas, creación de nuevos herbicidas y tratamiento de animales.

Los problemas de diagnóstico pueden verse de formas diferentes de acuerdo al criterio de los especialistas en la rama como por ejemplo:

- Para Peng y Reggia(Y. Peng and Reggia, 1990) un problema de diagnóstico es en el que se presenta un conjunto de manifestaciones (síntomas) y se tiene que explicar porque ellos están presentes usando el conocimiento del dominio.
- Según G. Friedrich(Friedrich., 1993)diagnosticar es analizar un sistema que funciona mal con el objetivo de identificar las fallas responsables del mal funcionamiento.

Por lo que podemos llegar a la conclusión que el diagnóstico es la tarea de identificar las causas del mal funcionamiento de algún dispositivo y se puede formular como dado un conjunto de síntomas y la descripción de un dispositivo, encontrar una explicación a esos síntomas.

En la forma de razonamiento usualmente se involucran procesos como: generación de hipótesis, actualizaciones de hipótesis (actualización de las hipótesis existentes o

generación de nuevas hipótesis basadas en nueva información disponible) y prueba de hipótesis (existe ambigüedad en las hipótesis).

1.5.1. SBC en problemas de diagnóstico de edificaciones.

En el campo de la Arquitectura y la Ingeniería Civil también se han utilizado los SBC en problemas de diagnóstico y evaluación de edificaciones.

- En(Pérez, 2010)se define como problema la construcción de un software que permita el análisis y diagnóstico patológico en los diferentes materiales de la construcción, dígase cerámica y piedra, los cuales pueden presentar diferentes patologías. Las mismas pueden presentarse en cualquier parte o elemento específico de la edificación y cada una con diferentes síntomas. Lo que requiere el fuerte trabajo de los expertos en la rama. Para dar solución al mismo se llevó a cabo la creación de un software que permite el diagnóstico patológico en edificaciones patrimoniales llamado ExpertRepair.
- Otros ejemplos de investigaciones en este campo lo constituyen el artículo(Martha Liliana Carreño et al., 2003)en el cual se realiza una evaluación de la habitabilidad de edificios afectados por sismo utilizando convenientemente la teoría de conjuntos difusos y las redes neuronales artificiales. Por otra parte, en(Tibaduiza)se describe un sistema experto para la evaluación del daño postsísmico en edificios está basado en redes neuronales artificiales y permite calibrar el daño usando el criterio de especialistas y conjuntos difusos pues la información que se maneja en el mismo es incompleta y subjetiva.
- Otro ejemplo lo constituye Emergex(MONZO and SANCHO)un sistema para el control de emergencias en grandes edificios, posee una estructura modular en la que se distinguen ocho módulos dentro de los cuales están: interfaz del técnico de seguridad, interfaz del jefe de emergencia, base de datos del edificio, mantenimiento de los atributos de la emergencia, base de conocimiento, digitalización de planos, mantenimiento de los atributos del edificio y manejador de la emergencia.

1.6. Conclusiones parciales del capítulo:

Para el desarrollo de un sistema de inferencia borroso se requieren de un conjunto de etapas comunes a cualquier SBC tales como: identificar las variables lingüísticas con sus respectivos términos lingüísticos así como las funciones de pertenencia de cada variable. Para la modelación borrosa se deberá puntualizar en que variables se modelarán difusas, así como el tipo de sistema de inferencia borrosa a implementar y los mecanismos de agregación a emplear.

Los estudios realizados demuestran la factibilidad de los sistemas de inferencia borrosa para la realización de problemas en el campo de la Ingeniería Civil y la Arquitectura, donde el diagnóstico y evaluación de edificaciones presupone el manejo de términos subjetivos e imprecisos. El problema a resolver referido a la evaluación técnica de elementos verticales donde se manejan conceptos con dominio numérico y discreto no está exento de lo anterior.

CAPÍTULO 2: DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE UN SISTEMA INTELIGENTE PARA LA EVALUACIÓN TÉCNICA DE LOS ELEMENTOS VERTICALES DE LAS EDIFICACIONES.

Se describen los conceptos fundamentales a tener en cuenta para la realización del sistema inteligente para la evaluación técnica de los elementos verticales de las edificaciones, teniendo en cuenta la modelación borrosa de los mismos, además se realiza una breve explicación sobre la herramienta utilizada para la elaboración de las diferentes bases de reglas necesarias para el sistema.

2.1. Planteamiento del problema:

Desde que el hombre construyó las primeras edificaciones pudo percatarse que se deterioran con el paso del tiempo. En su afán de alargar la vida útil de estas, surgen las primeras técnicas de rehabilitación, lo que demuestra que la actividad de restauración aparece prácticamente junto con la construcción (Rodríguez, 2005).

El desarrollo alcanzado en las técnicas constructivas en esta época, dotan a la rehabilitación y restauración de edificaciones de eficaces herramientas para conservar el patrimonio construido no sólo desde el punto de vista constructivo y social, sino también en la conservación de valores históricos, inevitablemente presentes en toda obra arquitectónica (Rodríguez, 2005).

De los procesos de rehabilitación de una edificación, la evaluación y el diagnóstico constituyen el paso quizás más importante, puesto que de acuerdo con su definición vendrá la decisión de la intervención. Acertar en el diagnóstico representa el éxito de la inversión y por supuesto en la solución de las patologías causantes del problema. Por lo que no resulta fácil definir una metodología expresa y única para realizar la evaluación y diagnóstico (MUÑOZ., 2001).

En nuestro país existen diversas edificaciones que por su antigüedad forman parte del patrimonio cultural de la nación, las cuales con el paso del tiempo sufren deterioro que puede ser de mayor o menor grado de acuerdo a las afectaciones que presenten los diferentes elementos constructivos de la misma, así como las lesiones que afectan a cada uno de ellos, por lo que se hace necesario llevar a cabo en ellas un proceso de

diagnóstico para realizar luego la evaluación técnica de los elementos constructivos que integran las mismas.

El diagnóstico y evaluación es realizado a través de especialistas en el tema, pero puede presentar dificultades pues existen diversos criterios, por lo que se hace necesario utilizar otras técnicas que contribuyan a esta evaluación. Una de estas es la inteligencia computacional a través de la lógica difusa que es una técnica innovadora, permite representar la información cualitativa o subjetiva en forma numérica y es muy útil para aplicaciones donde se requieran criterios de expertos. Por esta razón nos planteamos el siguiente problema:

Se necesita diversificar la experticidad acumulada en muy pocos especialistas sobre la evaluación técnica de edificaciones patrimoniales de forma que no se pierda con el tiempo y que se sistematice sobre la base de su empleo a partir de sistemas automatizados que actúen como entrenadores o tutores en el dominio de interés.

2.2. Conceptos fundamentales:

Las edificaciones pueden verse con el paso del tiempo afectadas por diferentes patologías constructivas las cuales pueden tener mayor o menor importancia de acuerdo al grado de afectación de esta en los diferentes elementos constructivos.

Se consideran Patologías Constructivas las diferentes lesiones patológicas habituales en la construcción, que se clasifican según su causa o agente causante.

Para la evaluación de los elementos verticales se tienen en cuenta tres etapas: evaluación inicial, evaluación detallada y evaluación general.

En la evaluación inicial se toman en cuenta resultados de observaciones preliminares del técnico. Para esto se analizan los siguientes aspectos, los cuales constituyen las variables más importantes de dicha etapa:

Importancia: con esta variable el usuario puede determinar la importancia que posee un elemento (muro, columna o arco) dentro de la edificación, para así comenzar la etapa de evaluación inicial, su dominio se encuentra entre 0-1.

Riesgo al fallo: con esta variable el usuario puede determinar el riesgo al fallo que tiene un elemento (muro, columna, arco) en la edificación, su dominio se encuentra entre 0-1.

Demoler o Apuntalar: con estas variables el usuario puede determinar que tan afectado está un elemento de acuerdo a una visión preliminar, las mismas son booleanas o sea responden **si** o **no** con valores **0** o **1**.

Para la evaluación detallada se tienen en cuenta las lesiones que afectan los elementos constructivos estas pueden ser lesiones estructurales y lesiones superficiales.

Las estructurales (fisuras, grietas inclinadas o de 45°, grietas verticales y grietas horizontales), su dominio se encuentra entre 0-1 y son caracterizadas de acuerdo a las variables:

Longitud:

$$e_{ilong} = \frac{\text{longitud de la lesión}}{l}$$

Donde:

Profundidad:

$$e_{ip} = \frac{\text{profundidad de la lesión}}{\text{espesor del elemento}}$$

Actividad: puede ser no activa, activa pasiva, activa progresiva.

Abertura:

$$e_{iabert} = \begin{cases} \frac{x}{0.12}, & \text{para } x < 0.12 \\ 1, & \text{en caso contrario} \end{cases}$$

Donde x es la abertura de la lesión

Localización:

$$e_{il} = 1 - \frac{\left(h_m - \frac{h}{2}\right)}{H - h}$$

donde H es la altura del elemento, h_1 y h_2 son las alturas de comienzo y final de la lesión respectivamente, $h = h_2 - h_1$, y $h_m = \frac{h_1 + h_2}{2}$.

Tipo de Grieta: con este término se determina el tipo de grieta que afecta el elemento. Pueden ser inclinadas, verticales, horizontales.

Las superficiales (disgregación o desagregación, descamaciones y desplazaciones, exfoliaciones y laminados, erosión, escamas, acanaladuras, escorrentías, alveolización,

ampollas, depósitos superficiales, picaduras, decoloración, pátinas y manchas, eflorescencias, costras), su dominio se encuentra entre 0-1 y son caracterizadas de acuerdo a las variables lingüísticas:

Profundidad:

$$e_{ip} = \begin{cases} \frac{x}{0.02}, & \text{si } x < 0.02 \\ 1, & \text{en caso contrario} \end{cases}$$

Donde x es la profundidad de la lesión.

Área:

$$e_{ia} = \frac{\text{área de lesión}}{\text{área de elemento}}$$

Localización: en el caso de las lesiones superficiales esta variable se calcula de igual forma que para las lesiones estructurales.

Para la etapa de evaluación general se tienen en cuenta las variables:

Evaluación grupal de las lesiones estructurales (EvalEstructurales): con esta variable el experto puede determinar la evaluación que tiene el elemento de acuerdo a las lesiones estructurales que presente, su dominio se encuentra entre 0-1.

Evaluación grupal de las lesiones superficiales (EvalSuperficial): esta variable es necesaria para el experto pues con ella puede determinar la evaluación del elemento luego de analizar las lesiones superficiales que presente, su dominio se encuentra entre 0-1.

2.2.1. Definición borrosa de conceptos:

Atendiendo al dominio de los conceptos anteriormente mencionados y siguiendo los requerimientos del usuario se decidieron modelar usando conjuntos difusos los siguientes conceptos

De la evaluación inicial las variables modeladas de forma borrosa fueron:

Importancia: considerando su modelación borrosa, esta variable posee los términos lingüísticos siguientes: Nula, Poca, Media, Alta, Muy Alta. Con función de pertenencia trapezoidal la cual se muestra a continuación:

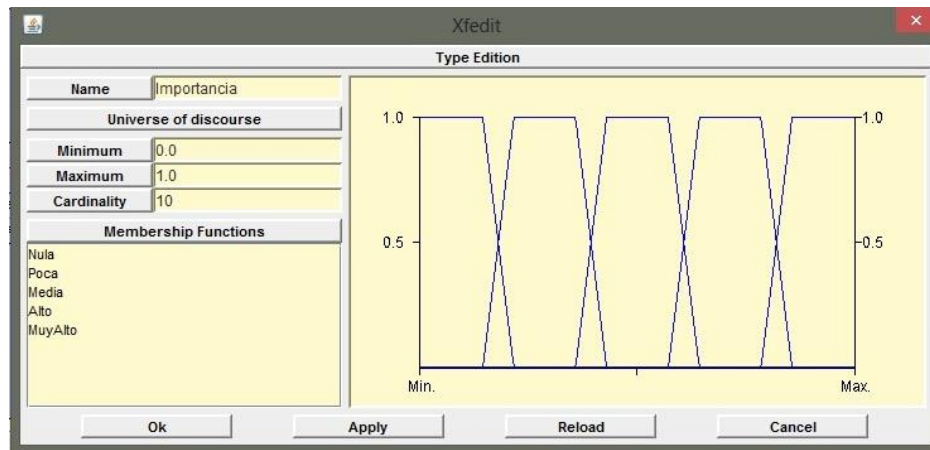


Figura 2.1: Función de pertenencia de la variable Importancia.

Los puntos de cruce de esta función de pertenencia son: 0.1785, 0.3929, 0.6071, 0.8214. De igual forma son tratadas las variables lingüísticas con 5 términos, pues para todas se utiliza la misma forma de partición.

Riesgo al fallo: considerando su modelación borrosa con los términos lingüísticos: Nulo, Poco, Medio, Alto, Muy Alto. Con función de pertenencia trapezoidal.

De la evaluación detallada se modelaron de manera borrosa las variables siguientes:

En las Lesiones Estructurales:

Profundidad: cuyos términos lingüísticos son: Poco profunda, Medianamente, Profunda. Con función de pertenencia trapezoidal la cual se muestra a continuación:

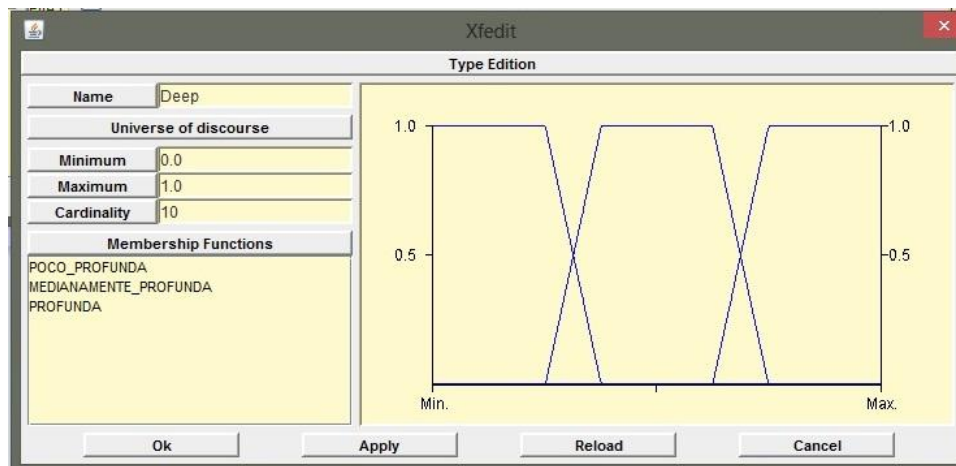


Figura 2.2: Función de pertenencia de la variable Profundidad.

Los puntos de cruce de esta función de pertenencia son: 0.3125, 0.6875.

De igual forma son tratadas las variables lingüísticas con términos con 3 términos, pues para todas se emplea la misma forma de partición.

Longitud: cuyos términos lingüísticos son: Corta, Media, Larga. Con función de pertenencia trapezoidal.

Abertura: cuyos términos lingüísticos son: Pequeña, Media, Grande. Con función de pertenencia trapezoidal.

Localización: cuyos términos lingüísticos son: Inferior, Intermedia, Superior. Con función de pertenencia trapezoidal.

En las lesiones Superficiales

Área: cuyos términos lingüísticos son: Poca, Afectada, Muy afectada. Con función de pertenencia trapezoidal.

Profundidad: cuyos términos lingüísticos son: Poco profunda, Medianamente, Profunda. Con función de pertenencia trapezoidal.

Localización: cuyos términos lingüísticos son: Baja, Media, Superior. Con función de pertenencia trapezoidal.

Una vez finalizada la evaluación detallada se realiza la evaluación general de cada elemento constructivo de acuerdo a las lesiones que presente el mismo y a la evaluación grupal de cada tipo de lesión. Esta evaluación se realiza mediante la siguiente formula:

Donde:

La variable **Wi**, atendiendo a criterio experto toma los valores siguientes:

0 → Bien.

0.1 → Regular.

0.2 → Mal.

0.3 → Crítica.

0.4 → Muy Crítica.

n es la cantidad de lesiones tanto estructurales como superficiales evaluadas de (bien, regular, mal, crítica, muy crítica) en el elemento.

Evaluación general del elemento (Eval-general) la cual tiene como términos lingüísticos:

Evaluación grupal lesiones estructurales: se modela borrosa la variable utilizando como términos lingüísticos Bien, Regular, Mal, Crítica, Muy Crítica, cuyo dominio está entre 0-1.

Evaluación grupal lesiones superficiales: se modela borrosa la variable utilizando como términos lingüísticos Bien, Regular, Mal, Crítica, Muy Crítica, cuyo dominio está entre 0-1.

Evaluación general del elemento: se modela borrosa la variable utilizando como términos lingüísticos Bien, Regular, Mal, Crítico, Muy Crítico, cuyo dominio está entre 0-1.

2.3. Sistema para la evaluación técnica de elementos estructurales.

Inicialmente se realiza una captura de datos para identificar el elemento. Posteriormente se lleva a cabo la evaluación inicial del elemento en la cual mediante una evaluación preliminar se dan a conocer algunas características que presentan los diferentes elementos constructivos (verticales).

Se construyeron para la evaluación detallada y general de los elementos verticales en edificaciones tres bases de reglas de tipo Mandani, las cuales se explican a continuación: En la etapa de evaluación detallada tenemos las bases de reglas siguientes (Evaluación Estructural y Evaluación Superficial).

En el caso de la base de reglas Evaluación Estructural está elaborada para dar una evaluación detallada de cada lesión estructural que presente el elemento, la misma consta de ocho reglas las cuales se presentan a continuación:

Reglas para las lesiones estructurales.

1. Si Actividad = Activa Progresiva entonces Lesión estructural = Muy Crítica.
2. Si Abertura = Grande y Profundidad = Profunda y Longitud = Larga entonces Lesión estructural = Crítica.
3. Si Localización = Inferior y Tipo no= Horizontal y Longitud no= Corta entonces Lesión estructural = Crítica.
4. Si Actividad = Activa Pasiva entonces Lesión estructural = Mal.
5. Si Abertura = Grande y Profundidad = Profunda y Longitud no= Larga entonces Lesión estructural = Mal.

6. Si Abertura = Grande y Profundidad no= Profunda y Longitud = Larga entonces Lesión estructural = Mal.
7. Si Tipo = Horizontal y Longitud no= largo y Profundidad no= Profunda y Abertura no= Grande entonces Lesión estructural = Regular.
8. Si Abertura = Pequeña y Longitud = Corta y Profundidad = Poco entonces Lesión estructural = Regular.

La base de reglas Evaluación Superficial está elaborada para dar la evaluación detallada de cada lesión superficial que afecte el elemento constructivo, consta de siete reglas las cuales se presentan a continuación:

Reglas para las lesiones superficiales:

1. Si Área = Muy Afectada entonces Lesión superficial = Muy Crítica.
2. Si Profundidad = Profunda entonces Lesión superficial = Muy Crítica.
3. Si Localización no= Superior y (Área = Muy Afectada o Profundidad = Profunda) entonces Lesión superficial = Muy Crítica.
4. Si Localización = Superior y (Área = Muy Afectada o Profundidad = Profunda) entonces Lesión superficial = Crítica.
5. Si Localización no= Superior y (Área = Afectada o Profundidad = Medianamente) entonces Lesión superficial = Crítica.
6. Si Localización = Baja y Área = Poca y Profundidad = Medianamente entonces Lesión superficial = Mal.
7. Si Área = Poca y Profundidad = Poco entonces Lesión superficial = Regular.

Para la etapa de evaluación general se construyó la base de reglas (Evaluación General) elaborada para dar una evaluación final al elemento constructivo de acuerdo a la evaluación grupal que presente cada tipo de lesión en dicho elemento, consta de siete reglas para realizarla las cuales se presentan a continuación:

Reglas para la evaluación general de los elementos:

1. Si Eval-estructural = Muy crítica entonces Eval-general = Muy crítica.
2. Si Eval-estructural = Mal y Eval-superficial = Muy crítica entonces Eval-general = crítica.
3. Si Eval-estructural = Mal entonces Eval-general = Mal.

4. Si Eval-estructural = Crítica y Eval-superficial = Muy crítica entonces Eval-general = Muy crítica.
5. Si (Eval-estructural = Regular o Bien= y Eval-superficial = Mal entonces Eval-general = Regular.
6. Si (Eval-estructural = Regular o Bien) y Eval-superficial = Crítica entonces Eval-general = Mal.
7. Si (Eval-estructural = Regular o Bien) y Eval-superficial = Muy crítica entonces Eval-general = Crítica.

Las bases de reglas expuestas anteriormente se construyeron usando XFuzzy versión 3.0 (IMSE-CNM, 1997-2003) software que constituye un ambiente de desarrollo para los sistemas de inferencia borrosa, incluye herramientas gráficas para la definición del sistema así como para la simulación, supervisando y representando gráficamente la conducta del mismo, en el podemos modelar la lógica difusa con sus variables de entrada y salida, además la función de pertenencia que se desea utilizar y las reglas definidas para la implementación de manera visual, además permite definir los operadores necesarios para el trabajo con dichas variables, el mismo crea un fichero .xfl en el cual está el código del sistema de inferencia borroso desarrollado, además da al usuario la posibilidad de generar dicho fichero en código JAVA, C, C++ para luego poder utilizar el sistema borroso en cualquier plataforma. Ver anexo 2.

2.4. Metodología de desarrollo.

Grady Booch, Rumbaugh, Jacobson y James Odell han dado aportes significativos en el desarrollo de metodologías de análisis y diseño orientadas a objetos. Por ello no sorprende que ellos junto a otros investigadores trabajaran en la creación de una metodología de análisis y diseño orientado a objetos unificada (Lenguaje Unificado de Modelación “UML”) con toda una serie de ventajas con respecto a las anteriores metodologías, sobre todo por la integridad que posee.

La Programación Orientada a Objetos (POO) es el método de implementación en el que los programas se organizan como colección corporativas de objetos, cada uno de los cuales representa una instancia de una clase. Estas clases están relacionadas y son miembro de una jerarquía en la que se unen mediante relaciones de herencia(BOOCH, 1991.).

2.4.1. Diseño de la interfaz.

El Sistema Experto posee una interfaz creada para que tanto al experto como al usuario, les sea de fácil comprensión y utilización. La misma está compuesta por una ventana principal en la cual el usuario puede seguir las diferentes etapas de la evaluación técnica en los distintos elementos constructivos (muros, columnas y arcos) para así llegar a obtener la evaluación general de cada elemento de acuerdo a las lesiones que presente, para luego guardarlas en una base de datos para posteriores consultas. A continuación se muestra en la figura 2.3 la interfaz principal del software.

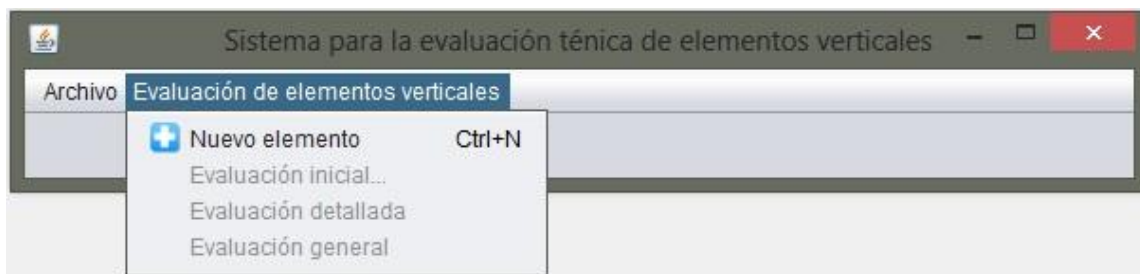


Figura 2.3: Interfaz principal del sistema.

En la misma se emplean *menús* y *submenús*, también se hace uso dentro del diseño de la interfaz de los *deslizadores* para dar al usuario una opción más cómoda de introducir los datos requeridos en las diferentes evaluaciones, se utilizan además las *casillas de activación* para los datos que responden si o no y los *botones* utilizados en los momentos de realizar algunas selecciones así como para guardar los datos.

2.5. Implementación computacional del sistema.

Durante el proceso de desarrollo del SE deben tomarse decisiones de implementación como la plataforma de desarrollo y el lenguaje de programación para poder dar cumplimiento de manera efectiva a los objetivos planteados. Para llevar a cabo dicha tarea se seleccionó como lenguaje de programación Java. Este es un lenguaje de alto nivel orientado a Objetos el cual ofrece amplias posibilidades para el desarrollo de aplicaciones. Existen un conjunto de Entornos de Desarrollo Integrado (IDE, de sus siglas en inglés) que permiten el desarrollo de proyectos en Java. El IDE NetBeans 7.1.1 fue el seleccionado como ambiente de programación con jdk 1.7.0.

2.5.1. Diagrama de actividades.

El funcionamiento general del sistema se basa en la ejecución de ETEV.jar el cual brinda al usuario la posibilidad de introducir un nuevo elemento correspondiente a la edificación que está siendo evaluada y realizar la evaluación inicial del mismo, así como la evaluación detallada en la cual el usuario selecciona el tipo de lesión que afecta al elemento y determina su evaluación de acuerdo a los parámetros de cada tipo de lesión, para posteriormente realizarle la evaluación general y guardar los datos de las evaluaciones.

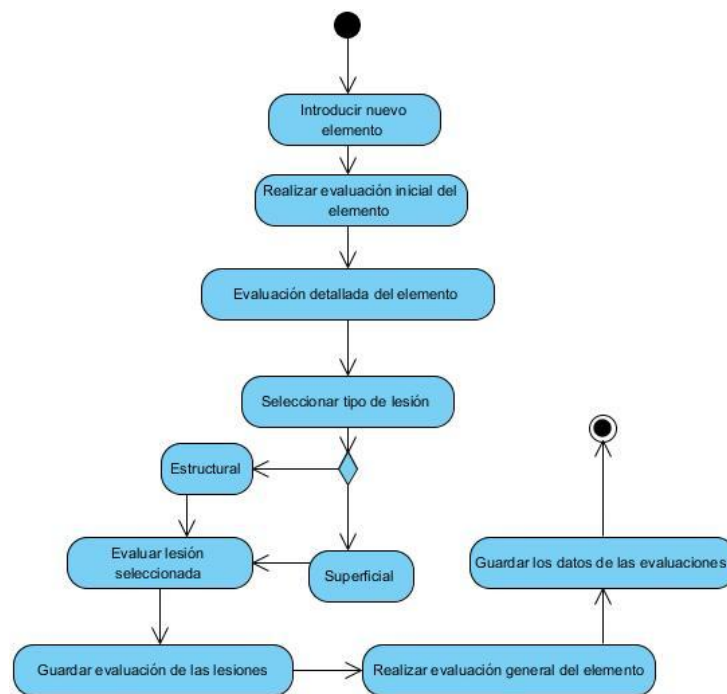


Figura 2.4: Diagrama de actividades del sistema.

2.5.2. Diagrama de paquetes.

Para concebir la aplicación ETEV se necesitan 3 paquetes en los cuales se agrupan las clases del sistema y las relaciones de uso entre paquetes (las clases contenidas en ellos), por ejemplo alguna de las clases pertenecientes al paquete “GUI” usan a clases que están dentro del paquete “ETEV” y además importan clases del paquete “Xfuzzy”. Este

diagrama muestra la arquitectura global del sistema las relaciones entre los paquetes desarrollados y los que vienen en el “FRAMEWORK” de Java.

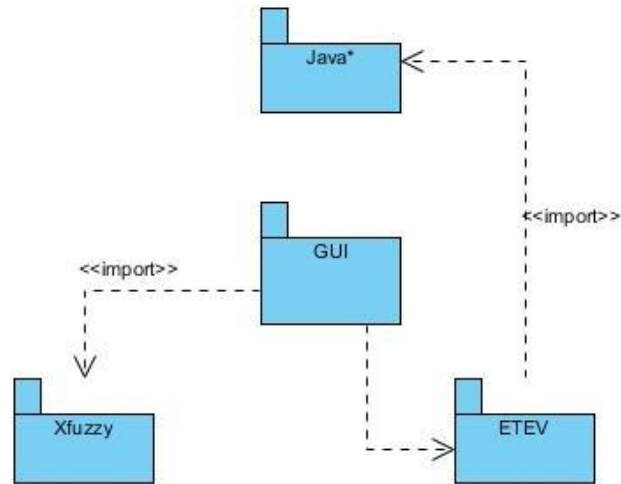


Figura 2.5: Diagrama de paquetes del sistema.

GUI: contiene la interfaz gráfica del sistema para que los usuarios puedan realizar las operaciones sobre el SE de manera amigable y fácil.

etev: contiene las clases que representan las funcionalidades del sistema. En la figura 2.6 se muestran dichas clases y la relación entre ellas.

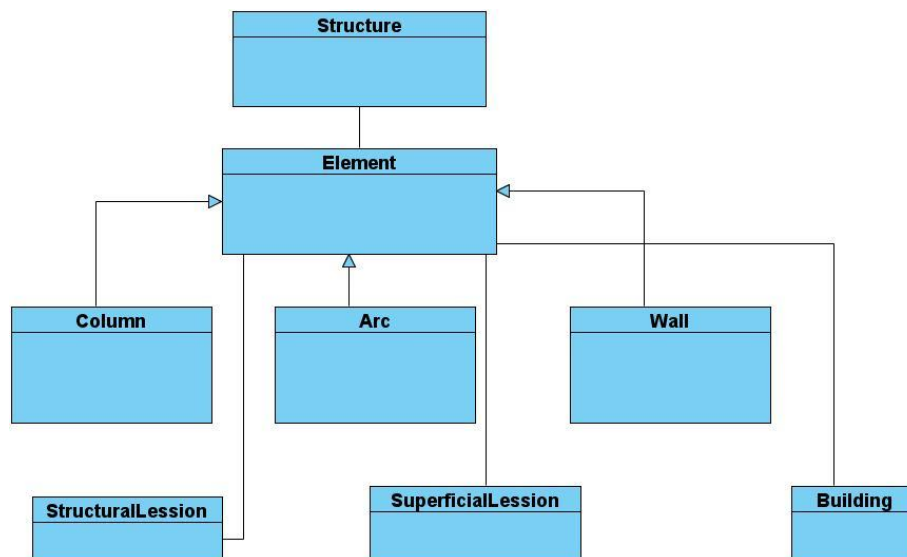


Figura 2.6: Diagrama de clases del paquete etev.

Xfuzzy: contiene las clases generadas por el software Xfuzzy 3.0 que se utilizan en el paquete GUI. Las clases son:

EvaluacionEstructural.java: contiene las clases y métodos en los que se definen las variables de entrada, los operadores, las variables de salida, las funciones de pertenencia, las bases de reglas, describe el sistema de inferencia borroso, es una aplicación de la interfaz **FuzzyInferenceEngine**, posee los métodos que desarrollan la inferencia **crispInference** y **fuzzyInference**.

EvaluacionSuperficial.java: contiene las clases y métodos en los que se definen las variables de entrada, los operadores, las variables de salida, las funciones de pertenencia, las bases de reglas, describe el sistema de inferencia borroso, es una aplicación de la interfaz **FuzzyInferenceEngine**, posee los métodos que desarrollan la inferencia **crispInference** y **fuzzyInference**.

General.java: contiene las clases y métodos en los que se definen las variables de entrada, los operadores, las variables de salida, las funciones de pertenencia, las bases de reglas, describe el sistema de inferencia borroso, es una aplicación de la interfaz **FuzzyInferenceEngine**, posee los métodos que desarrollan la inferencia **crispInference** y **fuzzyInference**.

FuzzyInferenceEngine.java: describe una interfaz Java que define el sistema de inferencia borroso. La misma define cuatro métodos para llevar a cabo el proceso de inferencia.

FuzzySingleton.java: implementa la clase MembershipFunction.

MembershipFunction.java: contiene la descripción de una interfaz usada para describir un número borroso, posee un método llamado compute que toma el grado del número de miembros para cada valor del universo de discurso.

2.6. Integración de ETEV con Xfuzzy.

Para la integración de ETEV con Xfuzzy se hace necesario la creación de un paquete dentro de la aplicación en el cual se tengan las clases generadas por el software Xfuzzy 3.0 correspondientes a las tres bases de reglas (EvaluaciónEstructural, EvaluaciónSuperficial, General), una vez creado este paquete (xfuzzy) se importa en la clase principal del sistema para su posterior uso, de esta forma cuando se necesiten usar

dichas clases se crea un método en el cual se llama al método fuzzyInference que forma parte del código generado por el Xfuzzy 3.0 y se le pasan los parámetros que se necesitan para la realización de las diferentes evaluaciones, luego se llama al método crispInference que propone el Xfuzzy 3.0 para dar la respuesta.

2.7. Conclusiones parciales del capítulo:

Como resultado de la ingeniería de conocimiento, se determinaron las variables del sistema, modelándose usando la lógica borrosa aquellas que lo requirieron

Se crearon tres bases de reglas tipo Mandani mediante la utilización del software Xfuzzy 3.0, las cuales permiten realizar la evaluación de las lesiones estructurales y superficiales y la evaluación general del elemento.

Se realizó una descripción de la implementación del Sistema de Evaluación Técnica de Elementos Verticales (ETEV) usando variables difusas a partir de la modelación borrosa con Xfuzzy 3.0.

CAPÍTULO 3: IMPLEMENTACIÓN COMPUTACIONAL DEL SISTEMA INTELIGENTE.

Se exponen los requerimientos de hardware del y software para lograr un rendimiento óptimo del SE, así como las facilidades desde el punto de vista del usuario que brinda el mismo, concluyendo este capítulo con un manual de usuario para la correcta utilización del SE con el objetivo de lograr un mayor rendimiento del mismo.

3.1. *Requerimientos del sistema.*

Para el correcto funcionamiento del *software* se necesitan un mínimo de requerimientos técnicos ya que el mismo fue desarrollado en Java que ofrece la ventaja de ser multiplataforma.

Requerimientos:

- Sistema operativo Windows: NT, 98, 2000, XP, Vista, 7.
- Memoria Disponible para Windows 512MB;
- Procesador: Intel(R) Celeron(R) M procesador 1.40GHz;
- Memoria RAM: 256MB.
- Jdk versión 1.7.

3.2. *Facilidades del sistema.*

El Sistema de Evaluación Técnica de Elementos Verticales (ETEV) ofrece una interfaz gráfica de usuario GUI amigable, que provee al usuario de una herramienta poderosa para una fácil y rápida utilización del SE. Entre las funcionalidades se encuentran:

- Comenzar la evaluación por el nivel que desee el usuario así como seleccionar el elemento que desea evaluar en ese nivel, identificando ele elemento.
- Realizar la evaluación inicial en la cual se caracteriza el elemento identificado de acuerdo a: Importancia, Riesgo al fallo y si es necesario demoler o apuntalar el mismo.
- Realizar evaluación detallada atendiendo al tipo de lesión: superficial o estructural, ysegún sus parámetros evaluativos.
- Realizar la evaluación general de cada elemento constructivo.

- Visualizar los resultados de cada evaluación los cuales se ofrece de manera lingüística y numérica.
- Guardar los resultados de las evaluaciones realizadas.
- Cargar ficheros ya creados para completar evaluaciones ya iniciadas o actualizar algún dato en caso de ser necesario.

3.3. Validación del sistema.

Para realizar la validación del sistema experto se analizaron dos casos de estudio los cuales se presentan en el anexo 3, los resultados de los mismos se asemejan a los propuestos por los expertos en el tema, en la tabla 3.1 que se muestra a continuación se exponen dichos resultados.

Caso de estudio.	Resultado.	Evaluación del experto.
Caso 1	Regular (0.35)	Bien-Regular
Caso 2	Crítico (0.625)	Bien-Regular
Caso 3	Mal (0.5)	Mal

Tabla 3.1: Resultados de la validación.

Luego de realizar la validación hubo que incorporar una regla en la base de reglas de la evaluación general pues no existía una para el caso en que la evaluación grupal de las lesiones superficiales fuera de regular.

3.4. Descripción del sistema.

Sistema de Evaluación Técnica de Elementos Verticales (ETEV) en su ventana principal muestra una barra de menú en la cual se tienen las opciones que brinda el sistema, las mismas se agrupan en el Menú “Archivo” y en el Menú “Evaluación de elementos verticales”.

- **Menú “Archivo”** contiene las opciones siguientes: Abrir, Guardar, Guardar como, Salir los cuales exponemos a continuación:
 - Menú “**Abrir**” permite cargar ficheros de evaluación ya realizados.
 - Menú “**Guardar**” con este el usuario puede guardar los datos que le ha introducido al sistema.
 - Menú “**Guardar como**” este le da la opción al usuario de guardar los datos con la extensión que desee.
 - Menú “**Salir**” cierra el sistema.

La figura 3.1 muestra el Menú “Archivo” con sus opciones de menú.



Figura 3.1: Menú “Archivo”

- Menú “Evaluación de elementos verticales” contiene los siguientes menús Nuevo elemento, Evaluación inicial, Evaluación detallada, Evaluación general:

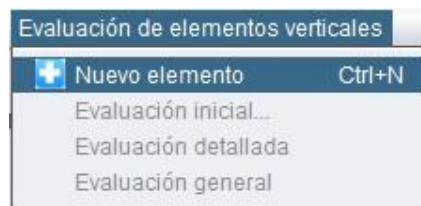


Figura 3.2: Menú “Evaluación de elementos verticales”

- Menú “Nuevo elemento” permite al usuario introducir un nuevo elemento constructivo (vertical) para realizarle su evaluación.

Una vez activada esta opción se muestra la ventana que le permitirá al usuario introducir el nuevo elemento constructivo con los datos necesarios para identificarlo tales como: *Nivel*: se refiere al piso que puede ir desde 1 hasta el número máximo de niveles (pisos). *Tipo*: hace referencia al tipo de elemento vertical que puede ser (muro, columna o arco). *Código*: es un identificador para el elemento que puede ser definido como el usuario desee. El usuario deberá pulsar la pestaña *Dimensiones* para entrar los datos que caracterizan las dimensiones de dicho elemento. Lo expuesto anteriormente se ejemplifica en la figuras 3.3 y 3.4.

Figura 3.3: Introducir un nuevo elemento.

Figura 3.4: Datos generales del elemento.

- **Menú “Evaluación inicial”** con este, el usuario puede realizar una primera evaluación al elemento de acuerdo a sus observaciones preliminares.

Una vez activada esta opción del menú se activará la ventana con la cual el usuario puede entrar los datos preliminares de la evaluación (Importancia, Riesgo al fallo, si es necesario Apuntalar o Demoler). Como se muestra en la figura 3.5. Utilizando el *slider* el usuario marca cuanta importancia que concede al elemento y en la observación preliminar como considera que será el riesgo al fallo, asociado a estas dos variables de

entradas aparecerá entonces el término lingüístico de máximo grado de pertenencia en dependencia de los grados de pertenencia que se calculan. A su vez el usuario debe seleccionar si se debe apuntalar o demoler el elemento. El usuario siempre tendrá información del elemento que se trata.

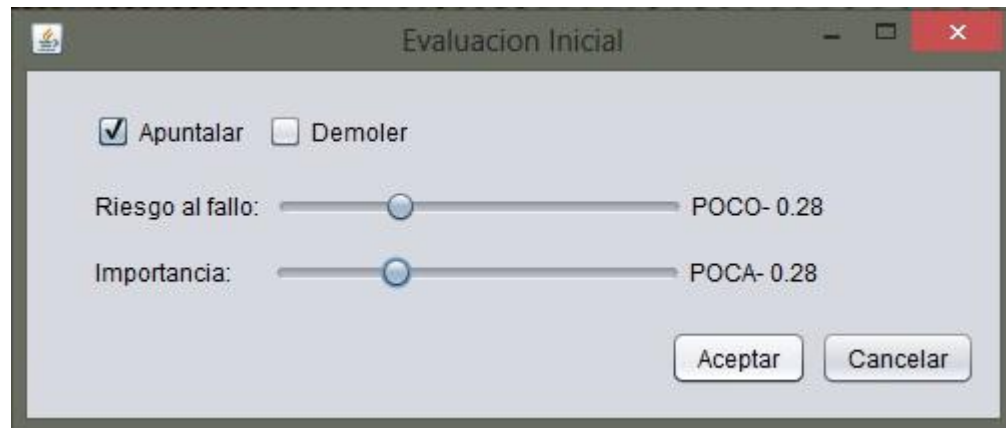


Figura 3.5: Evaluación inicial.

- **Menú “Evaluación detallada”** con este el usuario puede realizar una evaluación más profunda del elemento de acuerdo a las lesiones que lo afectan.

Una vez activado este menú se mostrara la ventana en la cual el usuario seleccionará el tipo de lesión que afecta el elemento (estructural o superficial).



Figura 3.6: Seleccionar el tipo de lesión a evaluar.

Al seleccionar el tipo de lesión el usuario podrá evaluarla de acuerdo a los parámetros correspondientes a cada una.

Para el caso de las lesiones estructurales será necesario captar información relativa a: **longitud, profundidad, abertura de la lesión y total**, en dicho caso se espera por el valor asociado a cada aspecto. Para localización el usuario se auxilia del *slider* y obtiene una valoración numérica de la misma entre 0 y 1. En todos los casos al lado de los parámetros requeridos se obtendrá el término lingüístico de máximo grado de

pertenencia en dependencia de los grados de pertenencia que se calculan. En la figura 3.7 aparece una ventana ejemplo.

The image shows a software window titled "Lesiones estructurales" with a standard Windows-style title bar (minimize, maximize, close buttons). The window contains a form with the following fields:

- Tipo de Grieta:** A dropdown menu with "Vertical" selected.
- Longitud Lesión (m):** A text input field containing "60", with the label "MEDIA" to its right.
- Profundidad Lesión (m):** A text input field containing "0.1", with the label "MEDIANAMENTE PROFUNDA" to its right.
- Actividad:** A dropdown menu with "No Activa" selected.
- Abertura Lesión(m):** A text input field containing "0.3", with the label "MEDIA" to its right.
- Abertura Total (m):** A text input field containing "0.5".
- Localización:** A slider control with a blue knob positioned at approximately 14% from the left, with the label "INFERIOR- 0.14" to its right.

At the bottom right of the window, there are two buttons: "Evaluar" and "Cancelar".

Figura 3.7: Evaluación de las lesiones estructurales.

Para el caso de las lesiones superficiales se identifica el **tipo** de lesión y será necesario captar información relativa a: **área de la lesión, profundidad**, en dicho caso se espera por el valor asociado a cada aspecto. Para **localización** el usuario se auxilia del *slider* y obtiene una valoración numérica del mismo entre 0 y 1. En todos los casos, al lado de los parámetros requeridos se obtendrá el término lingüístico de máximo grado de pertenencia en dependencia de los grados de pertenencia que se calculan. En la figura 3.8 aparece una ventana ejemplo.



Figura 3.8: Evaluación de las lesiones superficiales.

- **Menú “Evaluación general”** esta evaluación se realiza transparente al usuario, solo mostrando los resultados utilizando los términos lingüísticos BIEN, REGULAR, MAL, CRÍTICO, MUY CRÍTICO y el valor de pertenencia asociado. Siendo el término lingüístico en donde se alcanza el mayor grado de pertenencia. La figura 3.9 muestra un ejemplo de lo expuesto anteriormente.

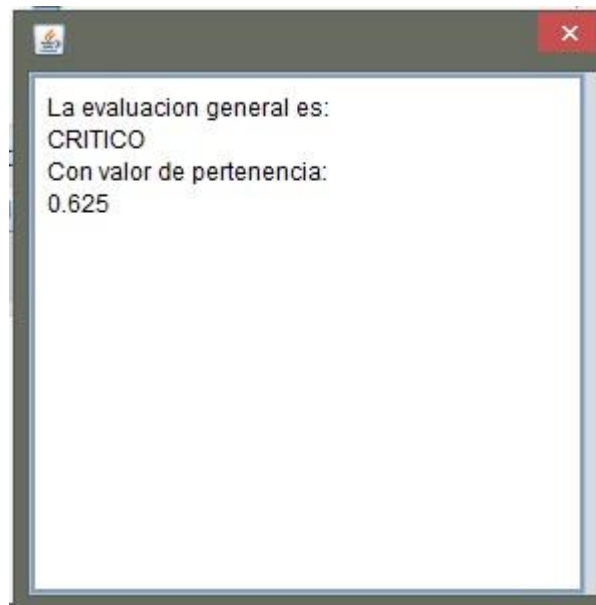


Figura 3.9: Evaluación general.

Luego de realizadas ya todas las evaluaciones el usuario puede proceder a guardar los datos introducidos al sistema así como el resultado de las evaluaciones para luego poder consultarlos o actualizarlos en caso de ser necesario.

Para esto el sistema mostrará la siguiente ventana en la cual el usuario tendrá la opción de guardar o no los cambios (datos):

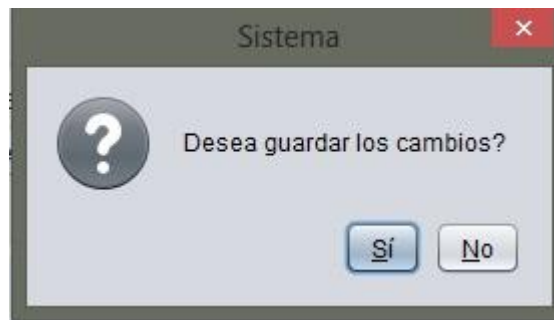


Figura 3.10: Guardar los cambios.

Una vez seleccionada la opción si es positiva se activará la ventana para seleccionar donde se desea guardar los datos así como con el nombre con que se desea guardar el fichero y la extensión del fichero a guardar y ya dados la dirección, el nombre y la extensión se activa la opción aceptar y ya tenemos los datos guardados.



Figura 3.11: Seleccionar el destino en que se desean guardar los datos.

Si la opción escogida fuera **NO** se cerraría el sistema y el usuario perdería todos los datos introducidos así como las evaluaciones realizadas.

3.5. Conclusiones parciales.

Interfaz amigable, fácil de navegar en las funcionalidades.

Sistema experto implementado que integra el conocimiento de las bases de reglas difusas construidas desde Xfuzzy y la interfaz definida para intercambiar con el usuario.

Con el sistema desarrollado el usuario podrá obtener una evaluación parcial o general de los elementos verticales siempre que identifique el elemento que se trate concluyendo un módulo del sistema general de diagnóstico patológico de edificaciones.

CONCLUSIONES:

Se implementó un sistema para la evaluación técnica de elementos verticales (muros, columnas y arcos) de una edificación que constituye un módulo del sistema general de diagnóstico de edificaciones para lo cual:

- Se realizó el análisis del marco teórico sobre desarrollos en el campo de los sistemas basados en conocimiento para problemas de diagnóstico de edificaciones detectándose la factibilidad de la modelación difusa en la solución de este tipo de problemas.
- Se desarrolló la ingeniería de conocimiento para construir los sistemas de inferencia borrosos requeridos que permitan realizar la evaluación detallada y la evaluación general, de los elementos verticales de la edificación.
- Se implementó una interfaz visual que se adapta a los requerimientos del usuario y que favorece la realización de evaluaciones parciales o totales de muros columnas y arcos.
- ETEV integra las 3 bases de reglas creadas con Xfuzzy y guarda los resultados de cada evaluación en cada momento en dependencia del elemento identificado.
- El sistema se encuentra en fase de prueba por parte de los expertos que suministraron el conocimiento, para su integración al sistema general de diagnóstico patológico de edificaciones.

RECOMENDACIONES:

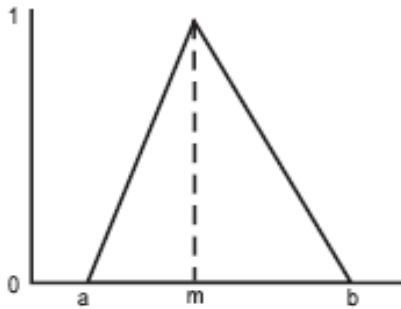
- Trabajar en el ajuste de las funciones de pertenencia que constituyen elementos fundamentales en el sistema de inferencia.
- Trabajar en el ajuste de los valores de W_i para la evaluación grupal de las lesiones estructurales y superficiales.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- AYALA., A. P. 2006. *Sistemas basados en Conocimiento: Una base para su concepción y desarrollo.*, Instituto Politécnico Nacional. Mexico., Instituto Politécnico Nacional. Mexico.
- BELLO, D. R. 1998. SOLUCION DE PROBLEMAS BAJO INCERTIDUMBRE. RAZONAMIENTO BAJO INCERTIDUMBRE EN LA
- BELLO, D. R. 2002. Aplicaciones de la Inteligencia Artificial.
- BOOCH, G. 1991. Object Oriented Design: with Applications, U.S.A, The Benjamín Cummings Publishing Company inc. .
- BRÍO, B. M. D. & MOLINA, A. S. Redes Neuronales y Sistemas Difusos.
- FRIEDRICH., G. 1993. Model Based diagnosis and repair. *AI Communications* [Online], Vol.6.
- IMSE-CNM, G. D. A. 1997-2003. *FUZZY LOGIC DESIGN TOOLS*.
- J.M.FONT 2008. Generación de Sistemas Basados en Reglas mediante la programación genética.
- LIO, D. D. G. 1998. Sistemas Basados en el Conocimiento.
- LIO., D. G. 2006. *Sistemas Basados en Conocimiento*, Universidad Central, Universidad Central.
- MARTHA LILIANA CARREÑO, OMAR DARÍO CARDONA. A & ., A. C. G. 2003. *Sistema Experto para la toma de decisiones de la habitabilidad y reparabilidad en edificios después de un sismo*, Asociacion Colombiana de Ingenieria Sismica., Asociacion Colombiana de Ingenieria Sismica.
- MONZO, J. L. R. & SANCHO, J. M. A. B. Sistema experto para el control de emergencias en grandes edificios.
- MORELL, C. & BELLO, R. 2007. Una arquitectura unificada para el razonamiento borroso., Vol. 1.
- MORENO, A. S. 2009. La Lógica Borrosa. Instrumento para el análisis de las fases entrópicas de la realidad político-social.
- MUÑOZ., I. H. A. 2001. EVALUACIÓN Y DIAGNÓSTICO DE LAS ESTRUCTURAS EN CONCRETO.
- OLORIZ, M. G. 2004. Sistemas Basados en Conocimiento.
- P.BONISSONE 2000. Hybrid Soft Computing Systems: Where Are We Going? , IOS Press.
- PÉREZ, R. A. M. 2010. Sistema de inferencia basado en Lógica Borrosa: Fundamentos y caso de estudio. *Revista de Investigación de Sistemas e Informática* [Online], 1.
- RODRÍGUEZ, L. F. 2005. PROPUESTA DE INTERVENCIÓN DE LAS EDIFICACIONES PATRIMONIALES DE LA CIUDAD DE MATANZAS.
- TANSLEY, D. 1993. Knowledge-based systems analysis and design: a KADS developer's Handbook.
- TIBADUIZA, M. L. C. SISTEMA EXPERTO PARA LA EVALUACIÓN DEL DAÑO POSTSÍSMICO EN EDIFICIOS.
- Y. PENG & REGGIA, J. 1990. Abductive inference models for diagnostics problem - solving. *Springer - Verlag* [Online], 1.
- ZENAIDA GACIA, I. B., NORMA E. CABRERA. 2006. Sistema de diagnóstico para la estimación de secciones en fallo en sistemas eléctricos de potencia.

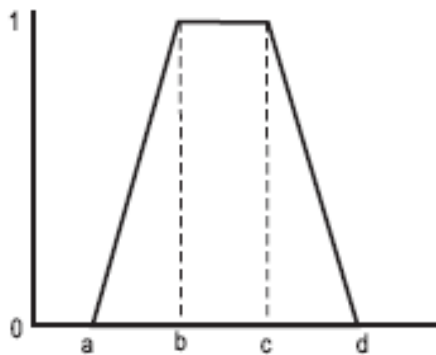
ANEXO # 1: FUNCIONES DE PERTENENCIA PARA REPRESENTAR CONJUNTOS BORROSOS.

- Función triangular:



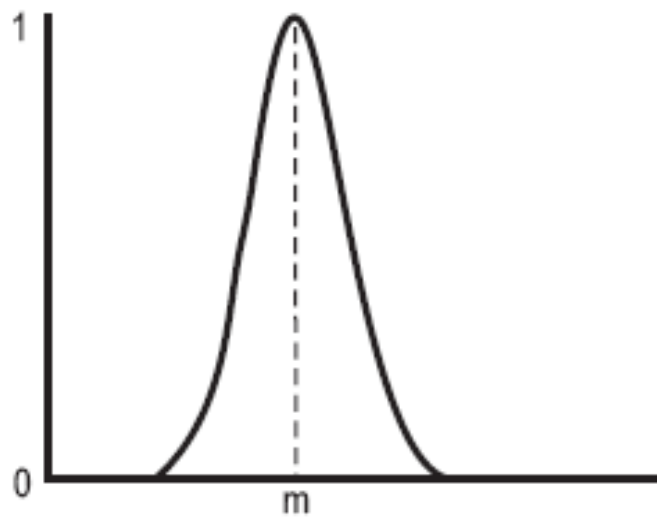
$$\text{Función } \mu_A(x) = \begin{cases} 0, & \text{si } x \leq a \\ [(x - a) / (m - a)], & \text{si } a < x \leq m \\ [(b - x) / (b - m)], & \text{si } m < x < b \\ 0, & \text{si } x \geq b \end{cases}$$

- Función trapezoidal:



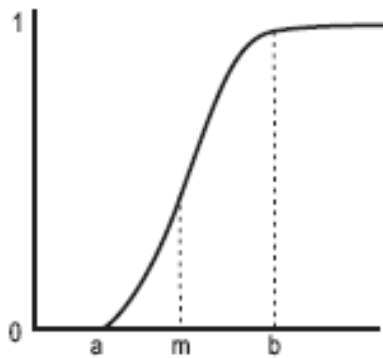
$$\text{Función } \mu_A(x) = \begin{cases} 0, & \text{si } x < a \text{ ó } x > d \\ [(x - a) / (b - a)], & \text{si } a < x \leq b \\ 1, & \text{si } b \leq x \leq c \\ [(d - x) / (d - c)], & \text{si } c \leq x < d \end{cases}$$

Función gaussiana:



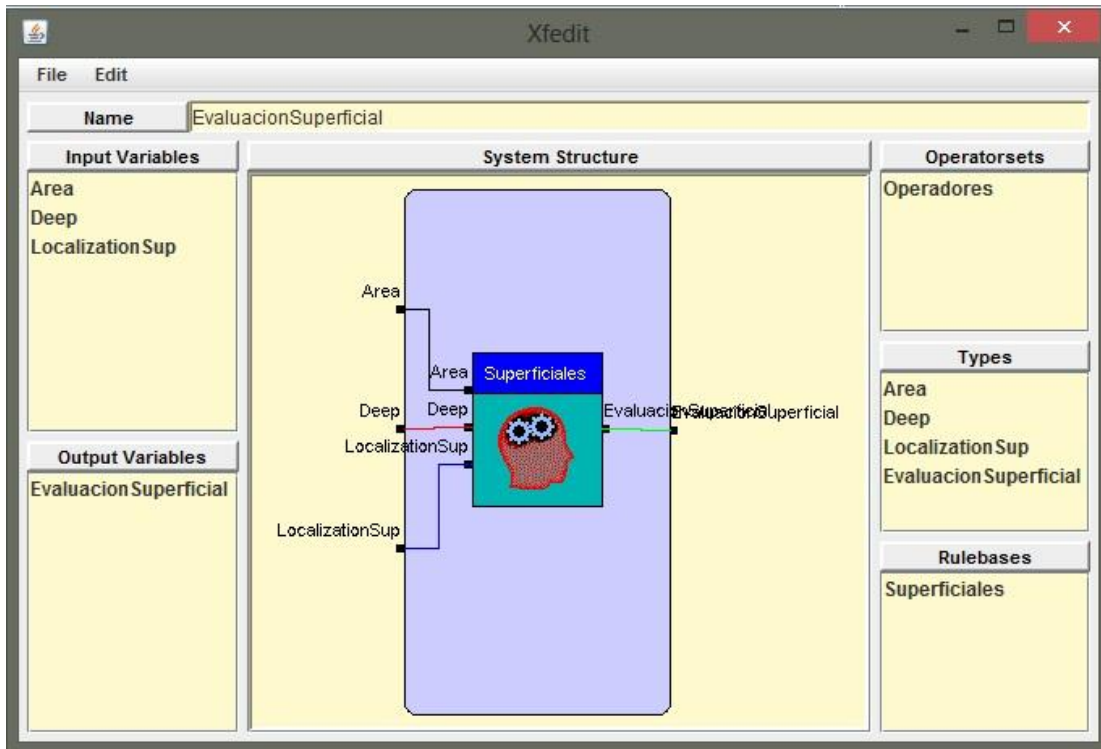
$$\mu_A(x) = \exp [-k (x-m)]^2$$

- Función S:

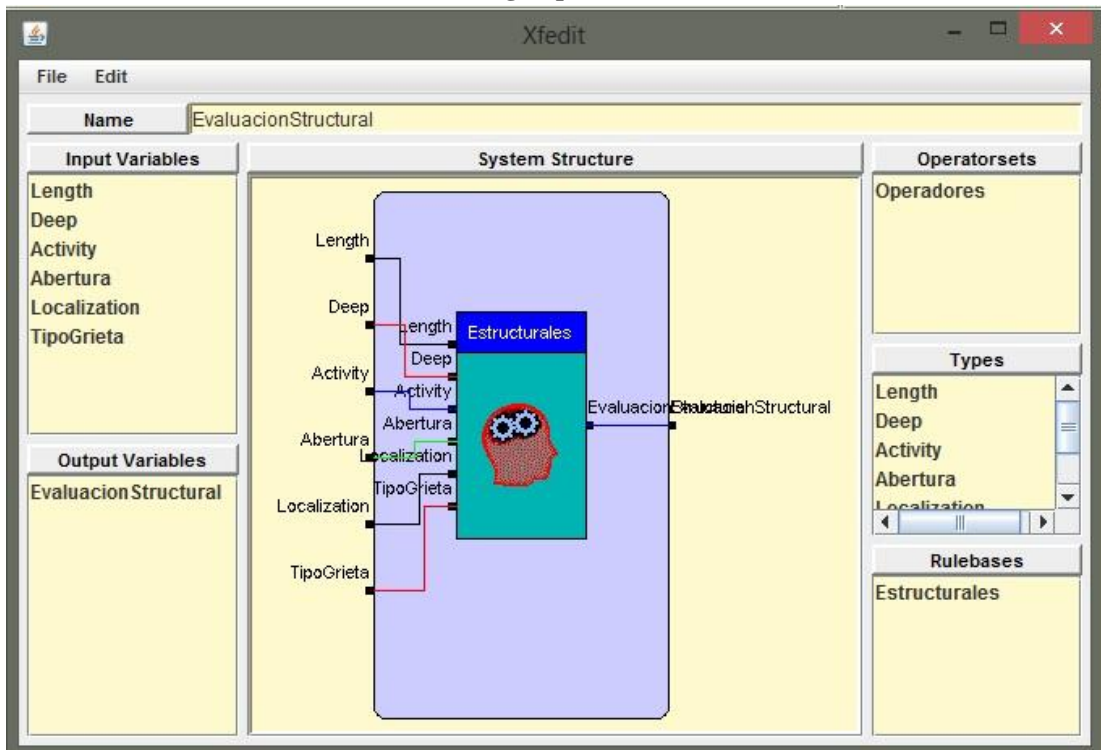


$$S(x; a, m, b) = \begin{cases} 0, & \text{para } x < a \\ 2[(x - a) / (b - a)]^2, & \text{si } a < x \leq m \\ 1 - 2[(x - b) / (b - a)]^2, & \text{si } m < x < b \\ 1, & \text{si } x \geq b \end{cases}$$

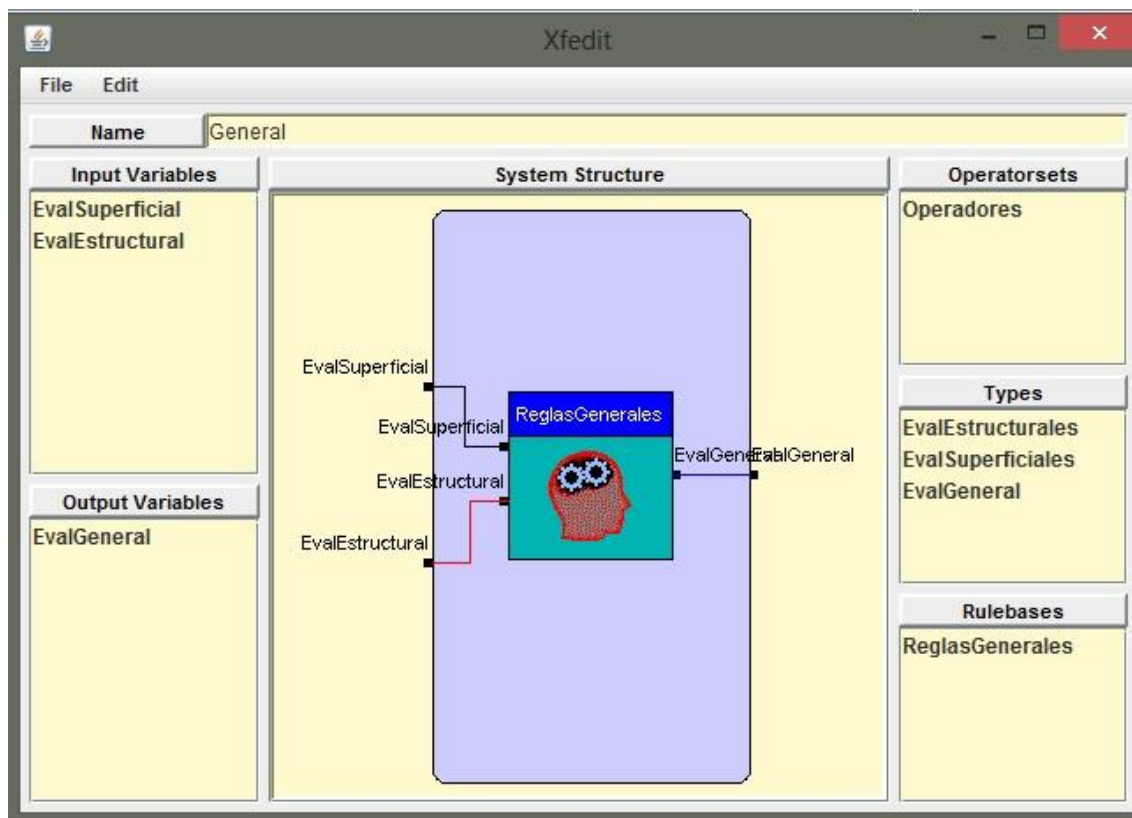
ANEXO # 2: INTERFAZ VISUAL DEL XFUZZY 3.0.



Interfaz de la base de reglas para la Evaluación Estructural.



Interfaz de la base de reglas para la Evaluación Superficial.



Interfaz de la base de reglas para la Evaluación General.

Caso de estudio 3:

Nivel: 1.

Tipo: Muro divisorio.

Altura (m): 7.

Código: MD1-5.

Espesor (m): 0,86.

Importancia: Media.

Longitud (m): 5.

Riesgo al fallo: Ninguno.

Lesiones que afectan el elemento.

Lesión estructural 1:

Tipo: Grieta horizontal.

Lesión superficial 1:

Longitud (m): 2.

Tipo: Escama.

Profundidad (m): 0,3.

Área (m): 20.

Localización (m): 0,6.

Profundidad (m): 0,02.

Actividad: Activa pasiva.

Localización (m): 0,5.

Abertura lesión (m): 0,003.

Abertura total (m): 0,005.

ANEXO # 4: DIAGRAMA DE CLASES DEL Xfuzzy.

