

6. ANÁLISIS Y DETERMINACIÓN DEL GRADO DE VULNERABILIDAD DEL SISTEMA

Inicialmente se presentará un marco teórico y conceptual en lo referente a la terminología relacionada con la Evaluación del Riesgo, donde se involucran los términos Amenaza y Vulnerabilidad, siendo éste último el directamente involucrado en el estudio de la red matriz de distribución del Sistema de Acueducto de Bogotá. Posteriormente se presenta formalmente la metodología de los Sistemas de Lógica Difusa (SLD), por medio de la cual se llevará a cabo el tratamiento analítico de las calificaciones dadas por los especialistas a las diferentes variables involucradas. Finalmente, se presentan los SLD's diseñados para la Evaluación de la Vulnerabilidad Física, Vulnerabilidad Operativa, Vulnerabilidad Sísmica y Vulnerabilidad Global de la Red Matriz de Acueducto de Bogotá; así como el SLD diseñado para la Evaluación de la Vulnerabilidad Administrativa de la EAAB

6.1. TERMINOLOGIA RELACIONADA CON LA EVALUACION DEL RIESGO

6.1.1 *SUSCEPTIBILIDAD.*

Predisposición de un ente a cambiar su estado de equilibrio normal, como consecuencia de la interacción con el medio que lo circunda.

6.1.2 *AMENAZA.*

Peligro latente que implica la ocurrencia de un fenómeno extremo, de origen natural o antrópico. Técnicamente, se define como la probabilidad de que se materialice un evento amenazante en un lugar determinado y en un período de tiempo específico.

6.1.3 VULNERABILIDAD.

Grado de daño esperado para un elemento, como consecuencia de su incapacidad de resistir un evento amenazante de una intensidad determinada. La vulnerabilidad de un elemento, se analiza por medio de la caracterización constitutiva de sus componentes intrínsecos.

Comercialmente, hoy en día, se calcula la vulnerabilidad de un elemento expuesto en función de la ocurrencia de un evento amenazante que lo llegue a afectar. Pero, técnicamente, la vulnerabilidad debería evaluarse independientemente de la amenaza. Lo anterior dada la importancia socioeconómica que ello implica para una comunidad.

6.1.4 RIESGO.

Es el nivel de pérdidas esperado para un elemento expuesto, como consecuencia de la probable materialización de un evento amenazante que efectivamente afecte a dicho elemento y en razón de su grado de vulnerabilidad. El riesgo, se calcula mediante la convolución de la amenaza con la vulnerabilidad y este resultado multiplicado por el valor del elemento expuesto.

Las pérdidas pueden ser tangibles (que son factibles de cuantificar materialmente en términos de: dinero, número de víctimas, número de....., cantidad de....) o intangibles (relaciones comunitarias, afectación psicológica, etc.). Además, pueden ser directas (pérdidas generadas sobre el elemento expuesto) o indirectas (aquellas generadas como consecuencia de la falta de continuidad en el funcionamiento del elemento expuesto)

6.1.5 ELEMENTO EXPUESTO.

Es el contexto material, social y/o ambiental, representado por las personas, organizaciones, bienes y servicios, que pueden verse afectados por la materialización de

un evento amenazante. Al elemento expuesto, se le debe analizar: Nivel de Exposición al evento amenazante, Valor (económico, Social, político, etc.) y, Capacidad de Resistencia (física, económica, social, cultural, etc.)

Para el caso del Estudio de la Evaluación de la Red Matriz del Sistema de Acueducto de Bogotá, los anteriores conceptos están representados en:

6.1.6 ELEMENTO EXPUESTO.

Red Matriz del Sistema de Acueducto (Tubería, Válvulas, Cajas y demás Accesorios) y la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá.

6.1.7 AMENAZA.

Sismo, Acciones Antrópicas (construcción de obras de ingeniería, operación del sistema) y Fenómenos de Remoción en Masa.

6.1.8 VULNERABILIDAD.

La vulnerabilidad de un sistema de distribución de agua potable, puede ser física, operativa y administrativa y depende de sus características estructurales, recursos con los que se cuenta para el manejo de los sistemas, capacitación del personal, métodos operativos y la propia organización de la empresa.

El objetivo de la evaluación de la vulnerabilidad, es llegar a prever los escenarios futuros de afectación del sistema por la ocurrencia de fenómenos intrínsecos o extrínsecos, con el fin de determinar las debilidades de los componentes de un sistema para hacerle frente al impacto de una amenaza, con el objeto de establecer las medidas de rehabilitación de los elementos más vulnerables y de mitigación del riesgo remanente.

La determinación de las medidas de mitigación, a partir de la estimación de la vulnerabilidad, permite programar rápidamente las acciones previas para reducir el efecto de la amenaza sobre el sistema. Estas medidas, permiten la formulación de operaciones de emergencia, planes de contingencia, la realización de convenios y acuerdos con otras instituciones, la preparación de cursos de capacitación y la asignación de recursos materiales, entre otros.

6.1.8.1 VULNERABILIDAD FÍSICA.

Se refiere a la cuantificación técnica de la capacidad de resistencia material del tubo, que depende de variables intrínsecas: geométricas (diámetro), constitutivas (material), y de su interacción con el medio circundante, que está en función de variables extrínsecas: temporales (edad), abióticas (geología, geotecnia) y antrópicas (hidráulicas).

6.1.8.2 VULNERABILIDAD OPERATIVA.

Hace referencia a aspectos relacionados con el funcionamiento del sistema, para lo cual es necesario contar con datos relevantes de: flujos, niveles, presiones y calidad del servicio. Para el caso de agua potable, interesa caracterizar la capacidad del sistema, continuidad del servicio, cobertura y calidad del agua (OPS, 1998).

6.1.8.3 VULNERABILIDAD ADMINISTRATIVA:

Para evaluar las debilidades y limitaciones del sistema analizado, es preciso conocer sus normas de funcionamiento y los recursos disponibles que pudieran ser usados para el abastecimiento del servicio en situaciones de emergencia, así como en la fase de rehabilitación (OPS, 1993).

6.2. METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DE LA RED MATRIZ DEL SISTEMA DE ACUEDUCTO DE BOGOTÁ

Inicialmente hay que anotar que el tema de la evaluación de la Vulnerabilidad de líneas vitales, de acuerdo a los diferentes parámetros y variables que se deben analizar, es de complejo tratamiento. Lo anterior, por cuanto no todos los parámetros y variables son homogéneos en su conjunto, lo cual no permite calificarlos siguiendo el mismo procedimiento. Esto es, no todos los resultados se dan en los mismos términos: o numéricos o lingüísticos. Algunos parámetros se califican siguiendo métodos que permiten llegar a dar una evaluación en términos numéricos y otros siguiendo métodos para finalizar cuantificándolos en términos lingüísticos.

La literatura técnica contiene numerosos métodos para hacer los estudios y cálculos de la vulnerabilidad de líneas vitales. Pero se pueden, en general, clasificar en dos grandes grupos básicos: 1) Métodos basados en las correlaciones empíricas a partir de los daños observados en casos de estudio de eventos ocurridos en el pasado; y, 2) Métodos analíticos detallados, que requieren de información detallada y precisa sobre los parámetros que caracterizan a las variables que describen el problema.

Los anteriores métodos son los más utilizados para la evaluación de problemas de ingeniería y otras ramas de la ciencia; sin embargo, en el proceso de evaluación de los problemas que se le presentan al ser humano, éste expresa sus conceptos en términos lingüísticos y, la información estratégica para la toma de decisiones, normalmente es de tipo cualitativo. Con base en lo anterior, Lofti Zadeh en 1965, propone una nueva teoría de conjuntos: los Conjuntos Difusos (Fuzzy Sets); y, de ello surge una aproximación metodológica para modelar el razonamiento humano: la LOGICA DIFUSA.

Con el desarrollo de los computadores, se desarrolla una estructura informática basada en la Lógica Difusa: los SISTEMAS DE LOGICA DIFUSA (SLD). Estos, se constituyen en una poderosa herramienta que permite modelar analíticamente el razonamiento humano y los resultados de los procesos o variables que él mide o cuantifica; es decir, permite el manejo de datos numéricos y lingüísticos, dando resultados adecuados al nivel de

certidumbre y confianza que se tengan sobre los datos históricos, la experiencia y el criterio de los expertos involucrados en su obtención y tratamiento.

6.2.1 SISTEMAS DE LOGICA DIFUSA

Un SLD, sirve para sistematizar la experiencia acumulada (heurística), reflejada en un conjunto de proposiciones condicionales. Se basa en la teoría de Conjuntos Difusos, a partir de los que se formula la Lógica Difusa.

Un conjunto difuso, es el conjunto de parejas ordenadas, tales que el primer elemento de la pareja pertenece al universo de discurso y el segundo elemento es el valor de la función característica o grado de pertenencia del primer elemento al intervalo $[0, 1]$. Para nuestro caso, el primer elemento sería el resultado de la evaluación de un parámetro (Ej. : la edad de la válvula es 25 años; y, el segundo elemento correspondería a que tanto pertenece ése “25 años” al conjunto difuso “vieja” o “alta” o al conjunto “nueva” o “baja”). Esto sirve o permite manejar la vaguedad y la subjetividad, es decir la incertidumbre asociada.

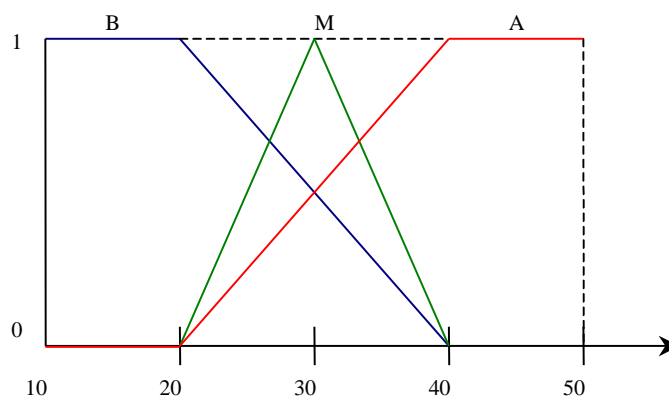


Figura 6.1. Conjunto Difuso

La lógica difusa, parte de la noción de variable lingüística, que es la que se utiliza para construir las proposiciones condicionales (un ejemplo de una proposición condicional, para nuestro caso, sería: “**SI** la edad de la válvula es Alta **y** el mantenimiento que se le ha hecho es Bajo, **ENTONCES** el grado de vulnerabilidad es Alto”). La variable lingüística, se

debe ubicar dentro del contexto o “universo de discurso” de una variable física real. Una variable lingüística es una cuádrupla: donde el primer elemento es el nombre de la variable (para nuestro caso: EDAD), el segundo elemento es el universo de discurso (para nuestro caso: 10 a 50 años), el tercero es el conjunto de términos de la variable (para nuestro caso: Baja, Media, Alta) y, el cuarto elemento es el significador lingüístico (forma y rango de los términos, dentro del sistema coordinado universo de discurso – grado de pertenencia). El significador lingüístico, es el que permite darle valores de verdad a las proposiciones difusas (por ejemplo, en nuestro caso, el valor de verdad de la proposición difusa “la edad de la válvula es Alta”, sería igual al valor que tome la función característica en el significador “Alta”, de acuerdo al valor discreto “25 años”).

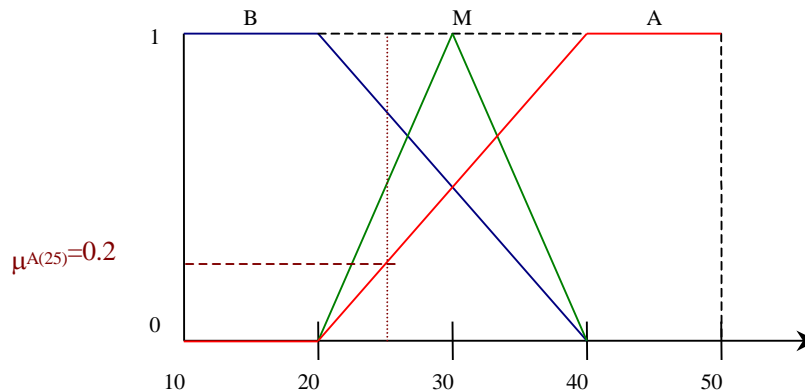


Figura 6.2. Significador Lingüístico para “Alta”

Un SLD, puede entenderse como un sistema no lineal que procesa entradas discretas y genera como resultado salidas concretas (ver estructura en la siguiente gráfica):

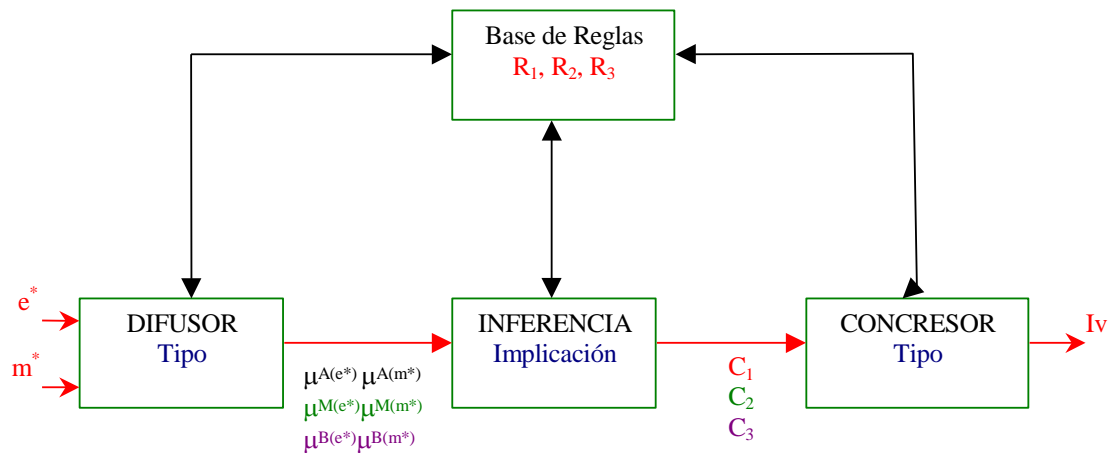


Figura 6.3. Estructura de un Sistema de Lógica Difusa

Cada una de las variables concretas de entrada o de salida, se representa en el sistema de lógica difusa, por medio de una variable lingüística. Un SLD, funciona de la siguiente manera:

1. El **módulo difusor** toma el valor discreto de entrada y produce un conjunto difuso, cuyo centro es el valor concreto de entrada y, su apertura depende del grado de incertidumbre que se tenga con respecto a la medida del dato discreto. Así para nuestro caso, si el dato de la edad de la válvula es “25 años” y se tiene el 100% de certeza de que esa es la edad, el conjunto difuso generado será una línea vertical; pero, si existe incertidumbre acerca de su edad real, por que no se dispone del dato preciso de su instalación o por que la fecha registrada no es legible en el registro de la empresa, el conjunto difuso sería por ejemplo una campana de Gauss con cierta determinada apertura.

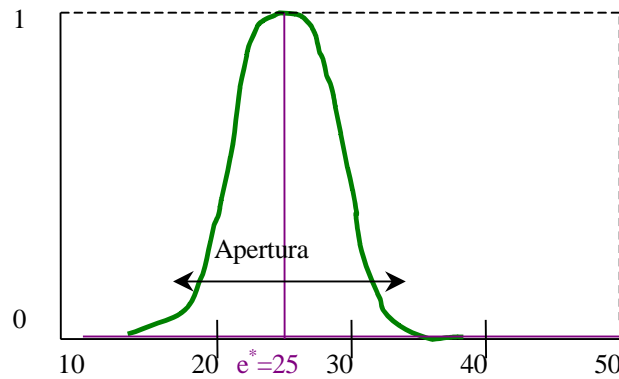


Figura 6.4. Módulo Difusor

2. La base de reglas, esta conformada por el inventario de proposiciones condicionales difusas, que resume la heurística que sobre el tema se tiene.
3. Esta base de reglas, es tomada por el módulo de inferencia (conjunto de implicaciones que le asignan el valor de verdad a las posibles combinaciones de las proposiciones condicionales difusas), para procesar de acuerdo a ellas los conjuntos difusos generados por el módulo difusor y producir conjuntos difusos de salida.

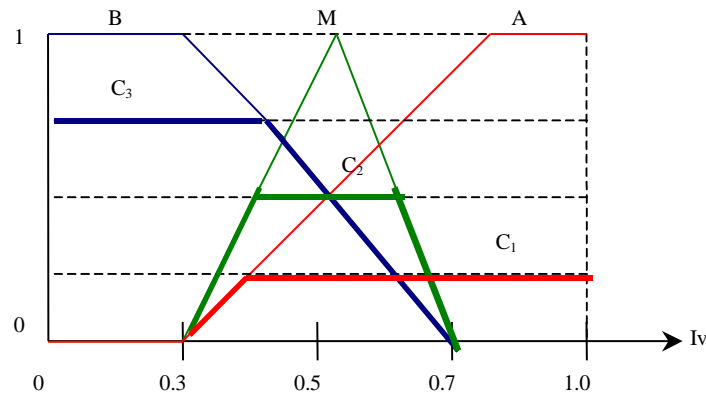


Figura 6.5. Salidas del Módulo de Inferencia

4. Estos conjuntos difusos de salida, son tomados por el módulo congresor, quien los evalúa y da como resultado la salida concreta final (para nuestro caso de ejemplo, sería un índice del grado de vulnerabilidad de la válvula evaluada).

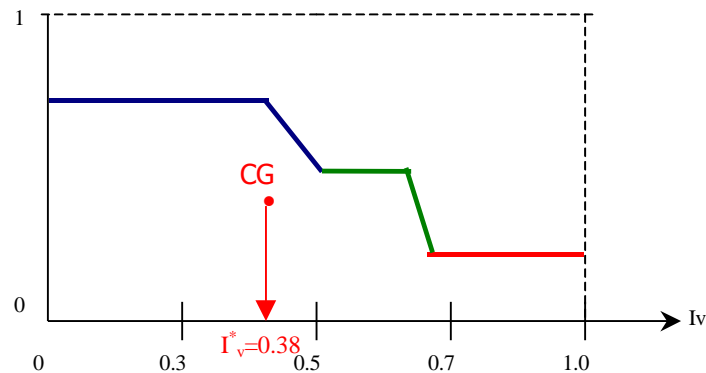


Figura 6.6. Módulo Congresor

Como complemento al anterior marco conceptual, sobre la metodología a utilizar en la evaluación de la vulnerabilidad de la red matriz del sistema de acueducto, se incluyen en el anexo 2 los artículos: “El mundo no es únicamente Blanco o Negro...”, LOGICA DIFUSA (Medina, 2000) y Fuzzy Logic System for Engineering: A Tutorial (Mendel, 1995).

De acuerdo a lo anteriormente expuesto, se puede concluir que las principales ventajas de un SLD, son:

- ✓ Son sistemas dinámicos que permiten el continuo mejoramiento de su diseño, fácil de entender, fácil de operar y que puede llegar a ser parte del proceso de toma de decisiones estratégicas diarias de diseño, negocios y operaciones en las diferentes actividades del ser humano.
- ✓ Son sistemas entrenables a través de tablas, aplicando diferentes técnicas (**universos fijos**: todos los parámetros del sistema son fijados previamente por el diseñador; **universos variables**: a partir de cada renglón de la tabla de entrenamiento, se determinan los parámetros; y, algoritmos de **retropropagación**, entre otros).
- ✓ Permiten el manejo de información numérica y lingüística, que tradicionalmente es la forma como el ser humano discierne acerca del medio que lo rodea.

6.3. APLICACIÓN DE LA METODOLOGIA DE LOS SISTEMAS DE LOGICA DIFUSA (SLD), EN LA EVALUACION DE LA VULNERABILIDAD DE LA RED MATRIZ DEL SISTEMA DE ACUEDUCTO DE BOGOTA

Para la evaluación de la “***Vulnerabilidad Global***” de la red matriz, se tiene en cuenta los siguientes componentes: **Vulnerabilidad Física**, en condiciones normales de operación de la red; **Vulnerabilidad Operativa**, en caso de que se presente un evento que de origen a la falla de una línea; y, **Vulnerabilidad Sísmica**, en caso que ocurra un sismo que genere determinado nivel de aceleración del terreno donde se encuentre instalada la línea. La **Vulnerabilidad Administrativa**, se evaluará independientemente y no se tendrá en cuenta en la obtención de la aquí denominada Vulnerabilidad Global.

El cálculo de la vulnerabilidad global, se realizará por medio del programa UNFUZZY: software para el diseño, análisis, simulación e implementación de Sistemas de Lógica Difusa, desarrollado por el Profesor Oscar Duarte del Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Nacional de Colombia. El Programa corre bajo plataforma Windows 95 o superior y se requieren dos Mb (2 Mb) de espacio disponible en disco duro para su instalación básica.

El Manual del Usuario (ver anexo 2 manual de UNFUZZY), que igualmente se encuentra en el menú de la ventana principal de UNFUZZY en la opción Ayuda, que se puede obtener en la dirección electrónica <http://ohm.ingsala.unal.edu.co/ogduarte>, consta básicamente de los siguientes ítems: Instalación del Programa, Diseño de un SLD (diseño del universo de entrada, diseño del universo de salida, diseño de la base de reglas, diseño del motor de inferencia y comentario descriptivo), Análisis e Implementación de un SLD (cálculo de salidas, cálculo paso a paso, función de transferencia, generación de tablas de entrada-salida y generación de código fuente y su utilización) y un Primer Ejemplo (primeros cálculos, cálculo paso a paso, modificaciones del universo de entrada, modificaciones a la base de reglas, modificaciones a la máquina de inferencia, generación de tablas y generación de código fuente).

6.3.1 VULNERABILIDAD FÍSICA

Para la evaluación de la vulnerabilidad física de la red matriz, se toma como punto de partida, las variables y calificaciones otorgadas por los especialistas que participaron en el presente estudio, y que se mostraron en la PRIORIZACION DE SITIOS CRITICOS. Cuyos resultados servirán, como procedimiento de calibración del Sistema de Lógica Difusa diseñado para la evaluación de la vulnerabilidad física de la red.

De acuerdo a lo presentado como producto de la actividad número 2, se determinaron las variables que se tendrán en cuenta en la evaluación de la Vulnerabilidad Física de la red del Sistema de Acueducto de Bogotá. Dichas variables son:

Variables Físicas

1. Diámetro
2. Material
3. Edad

Variables Externas

4. Fenómenos de Remoción en Masa
5. Geología Estructural
6. Litología
7. Comportamiento del Material de Fundación
8. Índice por Cargas Externas
9. Índice por Agresividad del Suelo (Corrosión Externa)
10. Índice por Cargas Internas

Variables Hidráulicas

11. Velocidad
12. Presión Interna de Trabajo

Para un mejor análisis y operación del SLD, se distribuyeron las doce (12) variables a tener en cuenta en la evaluación, en cuatro grupos, así:

- 1) *Grupo de Variables Físicas (IVVF)*: Material, Edad y Diámetro. Las que dependen de las características físicas y geométricas del tubo, así como de la fecha de instalación.
- 2) *Grupo No. 1 de Variables Externas (IVVE1)*: Fenómenos de Remoción en Masa, Geología Estructural y Litología. Las cuales dependen básicamente de la Geología y, no están en contacto directo y permanente con el elemento expuesto (Tubo).
- 3) *Grupo No. 2 de Variables Externas (IVVE2)*: Comportamiento Geotécnico, Cargas Externas y Agresividad del Suelo. Las que están en contacto permanente y directo con el elemento expuesto (Tubo).
- 4) *Grupo de Variables Hidráulicas (IVVH)*: Cargas Internas, Velocidad del Agua y Presión Interna. Las que dependen básicamente de la operación antrópica del Sistema de Distribución del Acueducto.

De cada uno de los anteriores grupos, mediante el procesamiento de las respectivas calificaciones de sus variables, se obtiene un índice de Vulnerabilidad. Es decir, se obtendrán cuatro (4) índices de Vulnerabilidad (IVVF, IVVE1, IVVE2, IVVH), los que al procesarse mediante un último SLD o por medio del SIG, darán la evaluación final de la VULNERABILIDAD FISICA.

A continuación se presenta la descripción de cada uno de los Sistemas de Lógica Difusa diseñados:

6.3.1.1 GRUPO DE VARIABLES FÍSICAS (IVVF)

Descripción del Sistema de Lógica Difusa

Número de Entradas : 3

Número de Salidas : 1

Número de Reglas : 125

Operador AND : Mínimo

Operador Composición : Mínimo

Operador Implicación : Mínimo

Operador Unión-Intersección : Máximo

ENTRADAS:

Variable de Entrada Número 1:

Nombre de la Variable : Indice Material

Valor Mínimo : 0.000000

Valor Máximo : 1.000000

Número de Conjuntos : 5

Tipo de Difusor : Singleton

Parámetros del Difusor: : 0.497500 0.502500

Conjunto Número 1:

Nombre del Conjunto : Muy Bajo

Tipo de Conjunto : Tipo L

Parámetros :0.100000 0.300000

Conjunto Número 2:

Nombre del Conjunto : Bajo

Tipo de Conjunto : Triángulo

Parámetros :0.100000 0.300000 0.500000

Conjunto Número 3:

Nombre del Conjunto : Moderado

Tipo de Conjunto : Triángulo

Parámetros :0.300000 0.500000 0.700000

Conjunto Número 4:

Nombre del Conjunto : Alto

Tipo de Conjunto : Triángulo
Parámetros :0.500000 0.700000 0.900000
Conjunto Número 5:
Nombre del Conjunto : Muy Alto
Tipo de Conjunto : Tipo Gamma
Parámetros :0.700000 0.900000

Variable de Entrada Número 2:

Nombre de la Variable : Edad
Valor Mínimo : 0.000000
Valor Máximo : 50.000000
Número de Conjuntos : 5
Tipo de Difusor : Singleton
Parámetros del Difusor: : 24.994999 25.005001
Conjunto Número 1:
Nombre del Conjunto : Muy Nueva
Tipo de Conjunto : Tipo L
Parámetros :5.000000 15.000000
Conjunto Número 2:
Nombre del Conjunto : Nueva
Tipo de Conjunto : Triángulo
Parámetros :5.000000 15.000000 25.000000
Conjunto Número 3:
Nombre del Conjunto : Moderada
Tipo de Conjunto : Triángulo
Parámetros :15.000000 25.000000 35.000000
Conjunto Número 4:
Nombre del Conjunto : Vieja
Tipo de Conjunto : Triángulo
Parámetros :25.000000 35.000000 45.000000
Conjunto Número 5:
Nombre del Conjunto : Muy Vieja
Tipo de Conjunto : Tipo Gamma
Parámetros :35.000000 45.000000

Variable de Entrada Número 3:

Nombre de la Variable : Diámetro

Valor Mínimo : 16.000000

Valor Máximo : 78.000000

Número de Conjuntos : 5

Tipo de Difusor : Singleton

Parámetros del Difusor: : 46.994999 47.005001

Conjunto Número 1:

Nombre del Conjunto : Muy Bajo

Tipo de Conjunto : Tipo L

Parámetros :20.000000 30.000000

Conjunto Número 2:

Nombre del Conjunto : Bajo

Tipo de Conjunto : Triángulo

Parámetros :20.000000 30.000000 36.000000

Conjunto Número 3:

Nombre del Conjunto : Moderado

Tipo de Conjunto : Triángulo

Parámetros :30.000000 36.000000 42.000000

Conjunto Número 4:

Nombre del Conjunto : Alto

Tipo de Conjunto : Triángulo

Parámetros :36.000000 48.000000 60.000000

Conjunto Número 5:

Nombre del Conjunto : Muy Alto

Tipo de Conjunto : Tipo Gamma

Parámetros :48.000000 60.000000

SALIDAS:

Variable de Salida Número 1:

Nombre de la Variable : Índice de VVF

Valor Mínimo : 0.000000

Valor Máximo : 1.000000

Número de Conjuntos : 5

Tipo de Concesor : Centro de Gravedad

Conjunto Número 1:

Nombre del Conjunto : Muy Bajo

Tipo de Conjunto : Tipo L

Parámetros :0.100000 0.300000

Conjunto Número 2:

Nombre del Conjunto : Bajo

Tipo de Conjunto : Triángulo

Parámetros :0.100000 0.300000 0.500000

Conjunto Número 3:

Nombre del Conjunto : Moderado

Tipo de Conjunto : Triángulo

Parámetros :0.300000 0.500000 0.700000

Conjunto Número 4:

Nombre del Conjunto : Alto

Tipo de Conjunto : Triángulo

Parámetros :0.500000 0.700000 0.900000

Conjunto Número 5:

Nombre del Conjunto : Muy Alto

Tipo de Conjunto : Tipo Gamma

Parámetros :0.700000 0.900000

La **BASE DE REGLAS** (185 en total) para el Sistema de Lógica Difusa - SLD, correspondiente al primer grupo de variables físicas (IVVF), se incluye en el anexo No. 21

El índice de Vulnerabilidad por Variables Físicas (Material, Edad y Diámetro), que se obtiene para cada línea, de acuerdo a los valores de las calificaciones otorgadas por los especialistas, se presenta en la Tabla 6.1 del Anexo 10.

6.3.1.2 GRUPO NO. 1 DE VARIABLES EXTERNAS (IVVE1)

Descripción del Sistema de Lógica Difusa

Número de Entradas : 3
Número de Salidas : 1
Número de Reglas : 73
Operador AND : Mínimo
Operador Composición : Mínimo
Operador Implicación : Mínimo
Operador Unión-Intersección : Máximo

ENTRADAS:

Variable de Entrada Número 1:

Nombre de la Variable : Susceptibilidad a FRM
Valor Mínimo : 0.000000
Valor Máximo : 5.000000
Número de Conjuntos : 5
Tipo de Difusor : Singleton
Parámetros del Difusor: : 2.487500 2.512500
Conjunto Número 1:
Nombre del Conjunto : Muy Baja
Tipo de Conjunto : Tipo L
Parámetros :0.500000 1.500000
Conjunto Número 2:
Nombre del Conjunto : Baja
Tipo de Conjunto : Triángulo
Parámetros :0.500000 1.500000 2.500000
Conjunto Número 3:
Nombre del Conjunto : Moderada
Tipo de Conjunto : Triángulo
Parámetros :1.500000 2.500000 3.500000
Conjunto Número 4:
Nombre del Conjunto : Alta

Tipo de Conjunto : Triángulo
Parámetros :2.500000 3.500000 4.500000
Conjunto Número 5:
Nombre del Conjunto : Muy Alta
Tipo de Conjunto : Tipo Gamma
Parámetros :3.500000 4.500000

Variable de Entrada Número 2:

Nombre de la Variable : Geología Estructural
Valor Mínimo : 0.000000
Valor Máximo : 5.000000
Número de Conjuntos : 3
Tipo de Difusor : Singleton
Parámetros del Difusor: : 2.495000 2.505000
Conjunto Número 1:
Nombre del Conjunto : Bajo
Tipo de Conjunto : Tipo L
Parámetros :2.000000 3.000000
Conjunto Número 2:
Nombre del Conjunto : Moderado
Tipo de Conjunto : Triángulo
Parámetros :2.000000 3.000000 4.000000
Conjunto Número 3:
Nombre del Conjunto : Alto
Tipo de Conjunto : Tipo Gamma
Parámetros :3.000000 4.000000

Variable de Entrada Número 3:

Nombre de la Variable : Litología
Valor Mínimo : 0.000000
Valor Máximo : 5.000000
Número de Conjuntos : 5
Tipo de Difusor : Singleton
Parámetros del Difusor: : 2.495000 2.505000
Conjunto Número 1:
Nombre del Conjunto : Muy Bajo

Tipo de Conjunto : Tipo L
Parámetros :0.500000 1.500000
Conjunto Número 2:
Nombre del Conjunto : Bajo
Tipo de Conjunto : Triángulo
Parámetros :0.500000 1.500000 2.500000
Conjunto Número 3:
Nombre del Conjunto : Moderado
Tipo de Conjunto : Triángulo
Parámetros :1.500000 2.500000 3.500000
Conjunto Número 4:
Nombre del Conjunto : Alto
Tipo de Conjunto : Triángulo
Parámetros :2.500000 3.500000 4.500000
Conjunto Número 5:
Nombre del Conjunto : Muy Alto
Tipo de Conjunto : Tipo Gamma
Parámetros :3.500000 4.500000

SALIDAS :

Variable de Salida Número 1:

Nombre de la Variable : Indice de VVE1
Valor Mínimo : 0.000000
Valor Máximo : 1.000000
Número de Conjuntos : 5
Tipo de Concesor : Centro de Gravedad
Conjunto Número 1:
Nombre del Conjunto : Muy Bajo
Tipo de Conjunto : Tipo L
Parámetros :0.100000 0.300000
Conjunto Número 2:
Nombre del Conjunto : Bajo
Tipo de Conjunto : Triángulo
Parámetros :0.100000 0.300000 0.500000
Conjunto Número 3:

Nombre del Conjunto : Moderado
Tipo de Conjunto : Triángulo
Parámetros :0.300000 0.500000 0.700000
Conjunto Número 4:
Nombre del Conjunto : Alto
Tipo de Conjunto : Triángulo
Parámetros :0.500000 0.700000 0.900000
Conjunto Número 5:
Nombre del Conjunto : Muy Alto
Tipo de Conjunto : Tipo Gamma
Parámetros :0.700000 0.900000

La **BASE DE REGLAS** (73 en total) para el Sistema de Lógica Difusa - SLD, correspondiente al primer grupo de variables externas (IVVE1), se incluye en el anexo No. 21

El índice de Vulnerabilidad por Variables Externas del Grupo 1 (Fenómenos de Remoción en Masa, Geología Estructural y Litología), que se obtiene para cada línea, de acuerdo a los valores de las calificaciones otorgadas por los especialistas, se presenta en la Tabla 6.2 del Anexo 10.

6.3.1.3 GRUPO NO. 2 DE VARIABLES EXTERNAS (IVVE2)

Descripción del Sistema de Lógica Difusa

Número de Entradas : 3
Número de Salidas : 1
Número de Reglas : 75
Operador AND : Mínimo
Operador Composición : Mínimo
Operador Implicación : Mínimo
Operador Unión-Intersección : Máximo

ENTRADAS :

Variable de Entrada Número 1:

Nombre de la Variable : Comportamiento Geotécnico

Valor Mínimo : 0.000000

Valor Máximo : 5.000000

Número de Conjuntos : 5

Tipo de Difusor : Singleton

Parámetros del Difusor: : 2.487500 2.512500

Conjunto Número 1:

Nombre del Conjunto : Muy Bueno

Tipo de Conjunto : Tipo L

Parámetros :0.500000 1.500000

Conjunto Número 2:

Nombre del Conjunto : Bueno

Tipo de Conjunto : Triángulo

Parámetros :0.500000 1.500000 2.500000

Conjunto Número 3:

Nombre del Conjunto : Regular

Tipo de Conjunto : Triángulo

Parámetros :1.500000 2.500000 3.500000

Conjunto Número 4:

Nombre del Conjunto : Malo

Tipo de Conjunto : Triángulo

Parámetros :2.500000 3.500000 4.500000

Conjunto Número 5:

Nombre del Conjunto : Muy Malo

Tipo de Conjunto : Tipo Gamma

Parámetros :3.500000 4.500000

Variable de Entrada Número 2:

Nombre de la Variable : Indice por Cargas Externas

Valor Mínimo : 1.000000

Valor Máximo : 5.000000

Número de Conjuntos : 3

Tipo de Difusor : Singleton

Parámetros del Difusor: : 2.993333 3.006667

Conjunto Número 1:

Nombre del Conjunto : Bajo

Tipo de Conjunto : Tipo L

Parámetros :1.000000 3.000000

Conjunto Número 2:

Nombre del Conjunto : Moderado

Tipo de Conjunto : Triángulo

Parámetros :1.000000 3.000000 5.000000

Conjunto Número 3:

Nombre del Conjunto : Alto

Tipo de Conjunto : Tipo Gamma

Parámetros :3.000000 5.000000

Variable de Entrada Número 3:

Nombre de la Variable : El Suelo

Valor Mínimo : 0.000000

Valor Máximo : 5.000000

Número de Conjuntos : 5

Tipo de Difusor : Singleton

Parámetros del Difusor: : 2.499750 2.500250

Conjunto Número 1:

Nombre del Conjunto : No Agresivo

Tipo de Conjunto : Tipo L

Parámetros :0.500000 1.500000

Conjunto Número 2:

Nombre del Conjunto : Poco Agresivo

Tipo de Conjunto : Triángulo

Parámetros :0.500000 1.500000 2.500000

Conjunto Número 3:

Nombre del Conjunto : Medianamente Agresivo

Tipo de Conjunto : Triángulo

Parámetros :1.500000 2.500000 3.500000

Conjunto Número 4:

Nombre del Conjunto : Muy Agresivo

Tipo de Conjunto : Triángulo

Parámetros :2.500000 3.500000 4.500000
Conjunto Número 5:
Nombre del Conjunto : Altamente Agresivo
Tipo de Conjunto : Tipo Gamma
Parámetros :3.500000 4.500000

SALIDAS :

Variable de Salida Número 1:

Nombre de la Variable : Indice de VVE2
Valor Mínimo : 0.000000
Valor Máximo : 1.000000
Número de Conjuntos : 5
Tipo de Concesor : Centro de Gravedad
Conjunto Número 1:
Nombre del Conjunto : Muy Bajo
Tipo de Conjunto : Tipo L
Parámetros :0.100000 0.300000
Conjunto Número 2:
Nombre del Conjunto : Bajo
Tipo de Conjunto : Triángulo
Parámetros :0.100000 0.300000 0.500000
Conjunto Número 3:
Nombre del Conjunto : Moderado
Tipo de Conjunto : Triángulo
Parámetros :0.300000 0.500000 0.700000
Conjunto Número 4:
Nombre del Conjunto : Alto
Tipo de Conjunto : Triángulo
Parámetros :0.500000 0.700000 0.900000
Conjunto Número 5:
Nombre del Conjunto : Muy Alto
Tipo de Conjunto : Tipo Gamma
Parámetros :0.700000 0.900000

La **BASE DE REGLAS** (75 en total) para el Sistema de Lógica Difusa - SLD, correspondiente al segundo grupo de variables externas (IVVE2), se incluye en el anexo No. 21

El índice de Vulnerabilidad por Variables Externas del Grupo 2 (Comportamiento Geotécnico, Cargas Externas y Agresividad del Suelo), que se obtiene para cada línea, de acuerdo a los valores de las calificaciones otorgadas por los especialistas, se presenta en la Tabla 6.3 del anexo 10.

6.3.1.4 GRUPO DE VARIABLES HIDRÁULICAS (IVVH)

Descripción del Sistema de Lógica Difusa

Número de Entradas : 3
Número de Salidas : 1
Número de Reglas : 72
Operador AND : Mínimo
Operador Composición : Mínimo
Operador Implicación : Mínimo
Operador Unión-Intersección : Máximo

ENTRADAS:

Variable de Entrada Número 1:

Nombre de la Variable : Índice por Cargas Internas
Valor Mínimo : 0.000000
Valor Máximo : 5.000000
Número de Conjuntos : 3
Tipo de Difusor : Singleton
Parámetros del Difusor: : 2.487500 2.512500
Conjunto Número 1:
Nombre del Conjunto : Correcto
Tipo de Conjunto : Tipo L

Parámetros :0.000000 3.000000
Conjunto Número 2:
Nombre del Conjunto : Crítico
Tipo de Conjunto : Triángulo
Parámetros :0.000000 3.000000 5.000000
Conjunto Número 3:
Nombre del Conjunto : Supercrítico
Tipo de Conjunto : Tipo Gamma
Parámetros :3.000000 5.000000

Variable de Entrada Número 2:

Nombre de la Variable : Velocidad del Agua
Valor Mínimo : 0.000000
Valor Máximo : 5.000000
Número de Conjuntos : 5
Tipo de Difusor : Singleton
Parámetros del Difusor: : 2.495000 2.505000
Conjunto Número 1:
Nombre del Conjunto : Muy Baja
Tipo de Conjunto : Tipo L
Parámetros :0.500000 1.000000
Conjunto Número 2:
Nombre del Conjunto : Baja
Tipo de Conjunto : Triángulo
Parámetros :0.500000 1.000000 1.500000
Conjunto Número 3:
Nombre del Conjunto : Moderada
Tipo de Conjunto : Triángulo
Parámetros :1.000000 1.500000 2.500000
Conjunto Número 4:
Nombre del Conjunto : Alta
Tipo de Conjunto : Triángulo
Parámetros :1.500000 2.500000 3.500000
Conjunto Número 5:
Nombre del Conjunto : Muy Alta
Tipo de Conjunto : Tipo Gamma

Parámetros :2.500000 3.500000

Variable de Entrada Número 3:

Nombre de la Variable : Presión Interna

Valor Mínimo : 0.000000

Valor Máximo : 5.000000

Número de Conjuntos : 5

Tipo de Difusor : Singleton

Parámetros del Difusor: : 2.499853 2.500147

Conjunto Número 1:

Nombre del Conjunto : Muy Baja

Tipo de Conjunto : Tipo L

Parámetros :0.500000 1.000000

Conjunto Número 2:

Nombre del Conjunto : Baja

Tipo de Conjunto : Triángulo

Parámetros :0.500000 1.500000 2.500000

Conjunto Número 3:

Nombre del Conjunto : Moderada

Tipo de Conjunto : Triángulo

Parámetros :1.500000 2.500000 3.500000

Conjunto Número 4:

Nombre del Conjunto : Alta

Tipo de Conjunto : Triángulo

Parámetros :2.500000 3.500000 4.500000

Conjunto Número 5:

Nombre del Conjunto : Muy Alta

Tipo de Conjunto : Tipo Gamma

Parámetros :3.500000 4.500000

SALIDAS:

Variable de Salida Número 1:

Nombre de la Variable : Índice de VVH

Valor Mínimo : 0.000000

Valor Máximo : 1.000000

Número de Conjuntos : 5

Tipo de Concesor : Centro de Gravedad

Conjunto Número 1:

Nombre del Conjunto : Muy Bajo

Tipo de Conjunto : Tipo L

Parámetros :0.100000 0.300000

Conjunto Número 2:

Nombre del Conjunto : Bajo

Tipo de Conjunto : Triángulo

Parámetros :0.100000 0.300000 0.500000

Conjunto Número 3:

Nombre del Conjunto : Moderado

Tipo de Conjunto : Triángulo

Parámetros :0.300000 0.500000 0.700000

Conjunto Número 4:

Nombre del Conjunto : Alto

Tipo de Conjunto : Triángulo

Parámetros :0.500000 0.700000 0.900000

Conjunto Número 5:

Nombre del Conjunto : Muy Alto

Tipo de Conjunto : Tipo Gamma

Parámetros :0.700000 0.900000

La BASE DE REGLAS (72 en total) para el Sistema de Lógica Difusa - SLD, correspondiente al grupo de variables hidráulicas (IVVH), se incluye en el anexo No. 21

El índice de Vulnerabilidad por Variables Hidráulicas (Cargas Internas, Velocidad del Agua y Presión Interna), que se obtiene para cada línea, de acuerdo a los valores de las calificaciones otorgadas por los especialistas, se presenta en la Tabla 6.4 del anexo 10.

6.3.1.5 INDICE DE VULNERABILIDAD FÍSICA (IVF)

Para obtener el resultado del índice de Vulnerabilidad Física, se acudió a lo presentado en el Producto No.2 (Priorización de Sitios Críticos), en el cual constituye la base de las calificaciones otorgadas por los especialistas y en el cual a cada variable se le asignó un porcentaje de participación dependiendo de su importancia relativa. Mediante la sumatoria de los porcentajes de las variables que pertenecen a cada grupo, se obtiene un peso ponderado para cada Índice de Vulnerabilidad, así:

Peso ponderado para IVVF = 20%

- Material : 5 %
- Edad : 10%
- Diámetro: 5%

Peso ponderado para IVVE1 = 20%

- Fenómenos de Remoción en Masa: 10%
- Geología Estructural: 5%
- Litología: 5%

Peso ponderado para IVVE2 = 45%

- Comportamiento Geotécnico del Material de Fundación: 15%
- Cargas Externas: 15%
- Agresividad del Suelo: 15%

Peso ponderado para IVVH = 15%

- Cargas Internas: 5%
- Velocidad del Agua: 5%
- Presión interna: 5%

Los anteriores pesos ponderados se le aplican a cada índice de vulnerabilidad (IVVF*0.2, IVVE1*0.2, IVVE2*0.45 e IVVH*0.15) y, mediante su sumatoria se

obtiene el Índice de Vulnerabilidad Física (Ver Tabla 6.5 del anexo 10), que posteriormente se empleará en la Evaluación de la Vulnerabilidad Global. En la Tabla 6.6 del anexo 10, se presenta la jerarquización de la Vulnerabilidad Física, obtenida de la Tabla anterior.

6.3.2 VULNERABILIDAD OPERATIVA

La evaluación de la vulnerabilidad operativa de la red matriz, se basará en los siguientes aspectos:

1. Las variables que se van a tener en cuenta son: **Niveles** en Tanques, **Presión** remanente en la zona servida, **Suministro Alterno**, **Facilidad de Aislamiento** del tramo, **Facilidad de Acceso** al sitio, **Estado de Accesorios** y **Porcentaje de Área** con respecto a Bogotá.
2. El sentido o contexto en el que se toma cada una de las respectivas variables, es el siguiente:
 - **Niveles:** Se refiere a la afectación de la disponibilidad de almacenamiento en los tanques relacionados directamente con la línea involucrada; esto es, si al presentarse un daño en determinada línea, se afecta el nivel de agua en el (los) tanque (s) hacia donde conduce dicha tubería. En caso de que se afecte el nivel, se pregunta para cuanto tiempo de servicio para el área afectada alcanza lo disponible en dicho (s) tanque (s) y se **califica de 0 a 24 horas** (Universo de Discurso).
 - El universo de discurso, se describe en términos lingüísticos comprendidos en los siguientes rangos: 0 – 4 Horas (tiempo de servicio, *Insuficiente*), 4 – 12 Horas (tiempo de servicio, *Parcial*) y 12 a 24 Horas (tiempo de servicio, *Suficiente*).
 - **Presión:** Se refiere a la presión remanente de servicio en la zona involucrada por el evento en la respectiva tubería; esto es, a cuanto cae la presión de agua una vez

ocurrido en evento y se califica de 0 a 60 metros de cabeza de agua (Universo de Discurso).

- Los rangos y términos del lenguaje que califican tal universo, son: 0 – 30 mca (presión de servicio, *Mala*), 30 – 45 mca (presión de servicio, *Regular*) y 45 – 60 mca (presión de servicio, *Buena*).
- **Suministro Alternativo:** Se refiere a la capacidad remanente del sistema de suministrar el servicio a la zona afectada, en condiciones aceptables. Esto es, si se le puede suministrar el agua a la zona, acudiendo al manejo operativo desde otras líneas. Se califica teniendo en cuenta el porcentaje de cobertura que se logra acudiendo a soluciones alternativas de la red matriz (Universo de Discurso).
- Los rangos y calificativos lingüísticos involucrados, son: 0 – 25 % (porcentaje de suministro alternativo, *Insuficiente*), 25 – 75 % (porcentaje de suministro alternativo, *Moderado*) y 75 - 100 % (porcentaje de suministro alternativo, *Suficiente*)
- **Facilidad de Aislamiento:** Se refiere al nivel de dificultad que se tenga de aislar el tramo involucrado en un evento de la tubería. El Universo de Discurso de esta variable, se describe así: **Fácil** (es fácil desaguar el tramo de tubería, conectar el cabezote y operar la válvula), **Moderado** (el nivel de dificultad de desaguar la tubería, conectar el cabezote y operar la válvula, es el normal) y **Difícil** (cuando los obstáculos e incomodidades, para realizar tales operaciones, demandan mas tiempo del normalmente empleado en éstos casos).
- Para éste universo de discurso se definieron los siguientes rangos de calificación: 0.0 – 1.5 (cuando el nivel de dificultad de aislamiento del tramo es calificado como *Fácil*), 1.5 – 3.5 (cuando el nivel de dificultad de aislamiento del tramo es calificado como *Moderado*) y 3.5 – 5.0 (cuando el nivel de dificultad de aislamiento del tramo es calificado como *Difícil*).

- **Facilidad de Acceso:** Se refiere al nivel de dificultad que se tenga para acceder al sitio del evento. El Universo de Discurso para esta variable, se define de la siguiente forma: **Fácil** (cuando no hay ningún obstáculo para acceder al sitio), **Normal** (cuando los problemas que se presenten para acceder al sitio son superados rápidamente) y **Difícil** (cuando es muy complicado acceder al sitio del evento).
- Para este Universo de Discurso, se definieron los siguientes rangos: 0.0 – 0.3 (cuando el nivel de dificultad de acceso, es calificado como *Fácil*), 0.3 – 0.7 (cuando el nivel de dificultad de acceso, es calificado como *Normal*) y 0.7 – 1.0 (cuando el nivel de dificultad de acceso, es calificado como *Difícil*).
- **Estado de Accesorios:** Se refiere al estado físico y operativo de los diferentes accesorios directamente relacionados con la operación de aislamiento del tramo involucrado. Esto se hace a partir del análisis de la edad y del grado de operabilidad del accesorio. El Universo de Discurso, para ésta variable, es: **Buen Estado** (cuando el accesorio tiene una edad que no supera los 10 años y cuando se opera con frecuencia), **Regular Estado** (cuando el accesorio tiene una edad entre 10 y 25 años y se opera con relativa frecuencia) y **Mal Estado** (cuando el accesorio tiene una edad mayor a 25 años y hace mucho tiempo que no se ha operado).
- Para este Universo de Discurso, se han definido los siguientes rangos: 0.0 – 1.0 (cuando el estado del accesorio es *Bueno*), 1.0 – 4.0 (cuando el estado del accesorio es *Regular*) y 4.0 – 5.0 (cuando el estado del accesorio es *Malo*).
- **Porcentaje de Área:** Se refiere al porcentaje de población afectada por el evento en la tubería con respecto al total de población de Bogotá. Este dato numérico, se utilizará para darle un peso ponderado o grado de importancia a la Vulnerabilidad Operativa que se obtenga como resultado del tratamiento analítico de las demás variables.

Para un mejor análisis y operación del SLD, se distribuyeron las seis (6) variables a tener en cuenta en la evaluación de la vulnerabilidad operativa, en dos grupos, así:

- 1) *Grupo No 1. Variables Operativas por Continuidad del Servicio (IVOCS):* Nivel en Tanques, Presión Remanente y Suministro Alterno. Las cuales se refieren a la continuidad en la prestación del servicio, aunque de manera no óptima.
- 2) *Grupo No.2. Variables Operativas por Operación del Sistema (IVOOS):* Facilidad de Acceso, Estado de Accesorios y Facilidad de Aislamiento. Las que tienen un carácter netamente operativo del sistema.

De cada uno de los anteriores grupos, mediante el procesamiento de las respectivas calificaciones de sus variables, se obtiene un índice de Vulnerabilidad. Es decir, se obtendrán dos (2) índices de Vulnerabilidad (IVOCS, IVOOS), los que al procesarse mediante un último SLD o por medio del SIG, darán la evaluación final de la VULNERABILIDAD OPERATIVA.

A continuación se presenta la descripción de cada uno de los Sistemas de Lógica Difusa diseñados para tal fin:

6.3.2.1 GRUPO NO. 1 DE VARIABLES OPERATIVAS (IVOCS)

Descripción del Sistema de Lógica Difusa

Número de Entradas : 3

Número de Salidas : 1

Número de Reglas : 125

Operador AND : Mínimo

Operador Composición : Mínimo

Operador Implicación : Mínimo

Operador Unión-Intersección : Máximo

ENTRADAS :

Variable de Entrada Número 1:

Nombre de la Variable : Nivel en Tanques

Valor Mínimo : 0.000000

Valor Máximo : 24.000000

Número de Conjuntos : 5

Tipo de Difusor : Singleton

Parámetros del Difusor: : 11.939999 12.060001

Conjunto Número 1:

Nombre del Conjunto : Muy Insuficiente

Tipo de Conjunto : Tipo L

Parámetros :4.000000 8.000000

Conjunto Número 2:

Nombre del Conjunto : Insuficiente

Tipo de Conjunto : Triángulo

Parámetros :4.000000 8.000000 12.000000

Conjunto Número 3:

Nombre del Conjunto : Parcial

Tipo de Conjunto : Triángulo

Parámetros :8.000000 12.000000 16.000000

Conjunto Número 4:

Nombre del Conjunto : Suficiente

Tipo de Conjunto : Triángulo

Parámetros :12.000000 16.000000 20.000000

Conjunto Número 5:

Nombre del Conjunto : Muy Suficiente

Tipo de Conjunto : Tipo Gamma

Parámetros :16.000000 20.000000

Variable de Entrada Número 2:

Nombre de la Variable : Presión Remanente

Valor Mínimo : 0.000000

Valor Máximo : 60.000000

Número de Conjuntos : 5

Tipo de Difusor : Singleton

Parámetros del Difusor: : 29.995001 30.004999
Conjunto Número 1:
Nombre del Conjunto : Pésima
Tipo de Conjunto : Tipo L
Parámetros :5.000000 10.000000
Conjunto Número 2:
Nombre del Conjunto : Muy Mala
Tipo de Conjunto : Triángulo
Parámetros :5.000000 10.000000 15.000000
Conjunto Número 3:
Nombre del Conjunto : Mala
Tipo de Conjunto : Tipo Pi
Parámetros :10.000000 15.000000 25.000000 30.000000
Conjunto Número 4:
Nombre del Conjunto : Regular
Tipo de Conjunto : Tipo Pi
Parámetros :25.000000 30.000000 40.000000 45.000000
Conjunto Número 5:
Nombre del Conjunto : Buena
Tipo de Conjunto : Tipo Gamma
Parámetros :40.000000 45.000000

Variable de Entrada Número 3:

Nombre de la Variable : Suministro Alterno
Valor Mínimo : 0.000000
Valor Máximo : 100.000000
Número de Conjuntos : 5
Tipo de Difusor : Singleton
Parámetros del Difusor: : 49.994995 50.005005
Conjunto Número 1:
Nombre del Conjunto : Muy Insuficiente
Tipo de Conjunto : Tipo L
Parámetros :10.000000 30.000000
Conjunto Número 2:
Nombre del Conjunto : Insuficiente
Tipo de Conjunto : Triángulo

Parámetros :10.000000 30.000000 50.000000
Conjunto Número 3:
Nombre del Conjunto : Moderado
Tipo de Conjunto : Triángulo
Parámetros :30.000000 50.000000 70.000000
Conjunto Número 4:
Nombre del Conjunto : Suficiente
Tipo de Conjunto : Triángulo
Parámetros :50.000000 70.000000 90.000000
Conjunto Número 5:
Nombre del Conjunto : Muy Suficiente
Tipo de Conjunto : Tipo Gamma
Parámetros :70.000000 90.000000

SALIDAS:

Variable de Salida Número 1:

Nombre de la Variable : Indice de VOCS
Valor Mínimo : 0.000000
Valor Máximo : 1.000000
Número de Conjuntos : 5
Tipo de Concretor : Centro de Gravedad
Conjunto Número 1:
Nombre del Conjunto : Muy Bueno
Tipo de Conjunto : Tipo L
Parámetros :0.100000 0.300000
Conjunto Número 2:
Nombre del Conjunto : Bueno
Tipo de Conjunto : Triángulo
Parámetros :0.100000 0.300000 0.500000
Conjunto Número 3:
Nombre del Conjunto : Regular
Tipo de Conjunto : Triángulo
Parámetros :0.300000 0.500000 0.700000
Conjunto Número 4:
Nombre del Conjunto : Malo

Tipo de Conjunto : Triángulo
Parámetros :0.500000 0.700000 0.900000
Conjunto Número 5:
Nombre del Conjunto : Muy Malo
Tipo de Conjunto : Tipo Gamma
Parámetros :0.700000 0.900000

La **BASE DE REGLAS** (125 en total) para el Sistema de Lógica Difusa - SLD, correspondiente a la Vulnerabilidad Operativa por Continuidad del Servicio (IVOCS), se incluye en el anexo No. 21

El índice de Vulnerabilidad Operativa por Continuidad del Servicio (Nivel en Tanques, Presión Remanente y Suministro Alterno), que se obtiene para cada línea, de acuerdo a los valores de las calificaciones otorgadas por los especialistas (Tabla 6.7 del anexo 10), se presenta en la Tabla 6.8 del anexo 10.

6.3.2.2 GRUPO NO. 2 DE VARIABLES OPERATIVAS (IVOOS)

Descripción del Sistema de Lógica Difusa

Número de Entradas : 3
Número de Salidas : 1
Número de Reglas : 125
Operador AND : Mínimo
Operador Composición : Mínimo
Operador Implicación : Mínimo
Operador Unión-Intersección : Máximo

ENTRADAS:

Variable de Entrada Número 1:

Nombre de la Variable : Facilidad de Aislamiento
Valor Mínimo : 0.000000

Valor Máximo : 5.000000
Número de Conjuntos : 5
Tipo de Difusor : Singleton
Parámetros del Difusor: : 2.495000 2.505000
Conjunto Número 1:
Nombre del Conjunto : Muy Fácil
Tipo de Conjunto : Tipo L
Parámetros :0.500000 1.500000
Conjunto Número 2:
Nombre del Conjunto : Fácil
Tipo de Conjunto : Triángulo
Parámetros :0.500000 1.500000 2.500000
Conjunto Número 3:
Nombre del Conjunto : Moderado
Tipo de Conjunto : Triángulo
Parámetros :1.500000 2.500000 3.500000
Conjunto Número 4:
Nombre del Conjunto : Difícil
Tipo de Conjunto : Triángulo
Parámetros :2.500000 3.500000 4.500000
Conjunto Número 5:
Nombre del Conjunto : Muy Difícil
Tipo de Conjunto : Tipo Gamma
Parámetros :3.500000 4.500000

Variable de Entrada Número 2:

Nombre de la Variable : Facilidad de Acceso
Valor Mínimo : 0.000000
Valor Máximo : 1.000000
Número de Conjuntos : 5
Tipo de Difusor : Singleton
Parámetros del Difusor: : 0.495000 0.505000
Conjunto Número 1:
Nombre del Conjunto : Muy Fácil
Tipo de Conjunto : Tipo L
Parámetros :0.100000 0.300000

Conjunto Número 2:

Nombre del Conjunto : Fácil
Tipo de Conjunto : Triángulo
Parámetros :0.100000 0.300000 0.500000

Conjunto Número 3:

Nombre del Conjunto : Normal
Tipo de Conjunto : Triángulo
Parámetros :0.300000 0.500000 0.700000

Conjunto Número 4:

Nombre del Conjunto : Difícil
Tipo de Conjunto : Triángulo
Parámetros :0.500000 0.700000 0.900000

Conjunto Número 5:

Nombre del Conjunto : Muy Difícil
Tipo de Conjunto : Tipo Gamma
Parámetros :0.700000 0.900000

Variable de Entrada Número 3:

Nombre de la Variable : Estado de Accesorios
Valor Mínimo : 0.000000
Valor Máximo : 5.000000
Número de Conjuntos : 5
Tipo de Difusor : Singleton
Parámetros del Difusor: : 2.495000 2.505000

Conjunto Número 1:

Nombre del Conjunto : Muy Bueno
Tipo de Conjunto : Tipo L
Parámetros :0.500000 1.500000

Conjunto Número 2:

Nombre del Conjunto : Bueno
Tipo de Conjunto : Triángulo
Parámetros :0.500000 1.500000 2.500000

Conjunto Número 3:

Nombre del Conjunto : Regular
Tipo de Conjunto : Triángulo
Parámetros :1.500000 2.500000 3.500000

Conjunto Número 4:

Nombre del Conjunto : Malo

Tipo de Conjunto : Triángulo

Parámetros :2.500000 3.500000 4.500000

Conjunto Número 5:

Nombre del Conjunto : Muy Malo

Tipo de Conjunto : Tipo Gamma

Parámetros :3.500000 4.500000

SALIDAS :

Variable de Salida Número 1:

Nombre de la Variable : Indice de VOOS

Valor Mínimo : 0.000000

Valor Máximo : 1.000000

Número de Conjuntos : 5

Tipo de Concesor : Centro de Gravedad

Conjunto Número 1:

Nombre del Conjunto : Muy Bueno

Tipo de Conjunto : Tipo L

Parámetros :0.100000 0.300000

Conjunto Número 2:

Nombre del Conjunto : Bueno

Tipo de Conjunto : Triángulo

Parámetros :0.100000 0.300000 0.500000

Conjunto Número 3:

Nombre del Conjunto : Regular

Tipo de Conjunto : Triángulo

Parámetros :0.300000 0.500000 0.700000

Conjunto Número 4:

Nombre del Conjunto : Malo

Tipo de Conjunto : Triángulo

Parámetros :0.500000 0.700000 0.900000

Conjunto Número 5:

Nombre del Conjunto : Muy Malo

Tipo de Conjunto : Tipo Gamma

Parámetros :0.700000 0.900000

La **BASE DE REGLAS** (125 en total) para el Sistema de Lógica Difusa - SLD, correspondiente a la Vulnerabilidad Operativa por Operación del Sistema (IVOOS), se incluye en el anexo No. 21

El índice de Vulnerabilidad Operativa por Operación del Sistema (Facilidad de Aislamiento, Facilidad de Acceso y Estado de los Accesorios), que se obtiene para cada línea, de acuerdo a los valores de las calificaciones otorgadas por los especialistas, se presenta en la Tabla 6.9 del anexo 10.

6.3.2.3 INDICE DE VULNERABILIDAD OPERATIVA (IVO)

Este índice se obtiene mediante la ponderación relativa de los índices obtenidos para cada grupo de variables involucradas. De acuerdo al criterio del especialista en Operación de Acueductos, el IVOCS tiene un peso del 60% (por cuanto está directamente relacionado con el objetivo de la red: prestar el servicio de conducción de agua a la comunidad); y al IVOOS, le correspondería el 40% restante.

El resultado de procesar los índices obtenidos por SLD, por los pesos ponderados respectivos, se muestra en la Tabla 6.10 del anexo 10. La jerarquización de la Vulnerabilidad Operativa, se presenta en la Tabla 6.11 del anexo 10.

6.3.3 VULNERABILIDAD SÍSMICA

Para llegar a Evaluar la Vulnerabilidad Global es necesario incluir el aspecto sísmico, el cual fue evaluado siguiendo la metodología propuesta por la OPS (se obtiene un dato de número de fallas por kilómetro de tubería, dependiendo de la aceleración sísmica con que se evalúe). El número de roturas por kilómetro de tubería se puede tomar como un índice de Vulnerabilidad de la tubería ante un sismo y, como se trabajó con tres escenarios

(sismo fuerte en la falla frontal, sismo moderado en la falla frontal y sismo lejano), cada uno de ellos debe ser igualmente ponderado, teniendo en cuenta que las líneas que se rompan ante un sismo lejano (menor aceleración sísmica), representarán el mayor grado de vulnerabilidad y, que la aceleración sísmica se haga más fuerte, menor será su probabilidad de ocurrencia, entonces menor será su participación, se asignaron los siguientes pesos ponderados:

Número de fallas por Kilómetro, por sismo lejano = 50%

Número de fallas por Kilómetro, por sismo moderado en la falla frontal = 30%

Número de fallas por Kilómetro, por sismo fuerte en la falla frontal = 20%

Los pesos ponderados de los tres (3) tipos de sismo, se asignaron de acuerdo a su probabilidad de ocurrencia, esto es: es más probable que ocurra un sismo lejano, en éste orden seguiría el sismo moderado en la falla frontal y posteriormente el sismo fuerte en la falla frontal, tal y como se confirma con los datos del tiempo de retorno de cada uno de ellos.

De acuerdo a los anteriores pesos ponderados, procesando la información sobre número de roturas por Kilómetro de tubería para los diferentes escenarios, se obtienen los índices de Vulnerabilidad Sísmica que se presentan en la Tabla 6.12 del anexo 10. La jerarquización de éste índice, se muestra en la Tabla 6.13 del anexo 10.

6.3.4 VULNERABILIDAD GLOBAL

Habiéndose obtenido los Índices de Vulnerabilidad Física (IVF), Vulnerabilidad Operativa (IVO) y el de Vulnerabilidad Sísmica (IVS), de acuerdo a los procedimientos anteriormente desarrollados, se procesan dichos datos mediante el SLD diseñado para obtener la Vulnerabilidad Global. Este último Sistema de Lógica Difusa, se describe a continuación.

Descripción del Sistema de Lógica Difusa

Número de Entradas : 3

Número de Salidas : 1

Número de Reglas : 125

Operador AND : Mínimo

Operador Composición : Mínimo

Operador Implicación : Mínimo

Operador Unión-Intersección : Máximo

ENTRADAS :

Variable de Entrada Número 1:

Nombre de la Variable : IVF

Valor Mínimo : 0.200000

Valor Máximo : 0.700000

Número de Conjuntos : 5

Tipo de Difusor : Singleton

Parámetros del Difusor: : 0.448750 0.451250

Conjunto Número 1:

Nombre del Conjunto : Muy Bajo

Tipo de Conjunto : Tipo L

Parámetros :0.283332 0.366667

Conjunto Número 2:

Nombre del Conjunto : Bajo

Tipo de Conjunto : Triángulo

Parámetros :0.283332 0.366667 0.450000

Conjunto Número 3:

Nombre del Conjunto : Moderado

Tipo de Conjunto : Triángulo

Parámetros :0.366667 0.450000 0.533332

Conjunto Número 4:

Nombre del Conjunto : Alto

Tipo de Conjunto : Triángulo

Parámetros :0.450000 0.533332 0.616668

Conjunto Número 5:

Nombre del Conjunto : Muy Alto

Tipo de Conjunto : Tipo Gamma

Parámetros :0.533332 0.616668

Variable de Entrada Número 2:

Nombre de la Variable : IVO

Valor Mínimo : 0.200000

Valor Máximo : 0.900000

Número de Conjuntos : 5

Tipo de Difusor : Singleton

Parámetros del Difusor: : 0.545000 0.555000

Conjunto Número 1:

Nombre del Conjunto : Muy Bajo

Tipo de Conjunto : Tipo L

Parámetros :0.316667 0.433333

Conjunto Número 2:

Nombre del Conjunto : Bajo

Tipo de Conjunto : Triángulo

Parámetros :0.316667 0.433333 0.550000

Conjunto Número 3:

Nombre del Conjunto : Moderado

Tipo de Conjunto : Triángulo

Parámetros :0.433333 0.550000 0.666667

Conjunto Número 4:

Nombre del Conjunto : Alto

Tipo de Conjunto : Triángulo

Parámetros :0.550000 0.666667 0.783333

Conjunto Número 5:

Nombre del Conjunto : Muy Alto

Tipo de Conjunto : Tipo Gamma

Parámetros :0.666667 0.783333

Variable de Entrada Número 3:

Nombre de la Variable : IVS

Valor Mínimo : 0.000000

Valor Máximo : 3.000000
Número de Conjuntos : 5
Tipo de Difusor : Singleton
Parámetros del Difusor: : 1.495000 1.505000
Conjunto Número 1:
Nombre del Conjunto : Muy Bajo
Tipo de Conjunto : Tipo L
Parámetros :0.500000 1.000000
Conjunto Número 2:
Nombre del Conjunto : Bajo
Tipo de Conjunto : Triángulo
Parámetros :0.500000 1.000000 1.500000
Conjunto Número 3:
Nombre del Conjunto : Moderado
Tipo de Conjunto : Triángulo
Parámetros :1.000000 1.500000 2.000000
Conjunto Número 4:
Nombre del Conjunto : Alto
Tipo de Conjunto : Triángulo
Parámetros :1.500000 2.000000 2.500000
Conjunto Número 5:
Nombre del Conjunto : Muy Alto
Tipo de Conjunto : Tipo Gamma
Parámetros :2.000000 2.500000

SALIDAS :

Variable de Salida Número 1:

Nombre de la Variable : Vulnerabilidad Global
Valor Mínimo : 0.000000
Valor Máximo : 1.000000
Número de Conjuntos : 5
Tipo de Concesor : Centro de Gravedad
Conjunto Número 1:
Nombre del Conjunto : Muy Baja
Tipo de Conjunto : Tipo L

Parámetros :0.166667 0.333333
Conjunto Número 2:
Nombre del Conjunto : Baja
Tipo de Conjunto : Triángulo
Parámetros :0.166667 0.333333 0.500000
Conjunto Número 3:
Nombre del Conjunto : Moderada
Tipo de Conjunto : Triángulo
Parámetros :0.333333 0.500000 0.666667
Conjunto Número 4:
Nombre del Conjunto : Alta
Tipo de Conjunto : Triángulo
Parámetros :0.500000 0.666667 0.833333
Conjunto Número 5:
Nombre del Conjunto : Muy Alta
Tipo de Conjunto : Tipo Gamma
Parámetros :0.666667 0.833333

La **BASE DE REGLAS** (125 en total) para el Sistema de Lógica Difusa - SLD, correspondiente a la Vulnerabilidad Global, se incluye en el anexo No. 21

El resultado de procesar los índices: IVF, IVO e IVS, mediante el anterior Sistema de Lógica Difusa, se presenta en la Tabla 6.14 del anexo 10. A partir de éste resultado, se plantea mediante su jerarquización lo que correspondería al Programa Estructurado (Tabla 6.15 del anexo 10).

En el plano JR-052-VUL-002-E del anexo 12 se presenta el índice de vulnerabilidad global del sistema matriz.

6.3.5 VULNERABILIDAD ADMINISTRATIVA

Para la evaluación de la vulnerabilidad administrativa de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, operadora de la Red Matriz del Sistema del Acueducto de

Bogotá. Se toma como documento de consulta, el informe final del contrato de consultoría para el Análisis de la Vulnerabilidad de la Red Matriz del Sistema de Distribución de Acueducto de Santa Fe de Bogotá, D.C. y Municipio de Soacha (Contrato No. 2-02-8300-501-1999, Consultoría Colombiana S.A., Octubre de 2000).

Dicho estudio consistió en analizar, para la Empresa de Acueducto, los mecanismos formales que existen interinstitucionalmente e institucionalmente para la atención de una emergencia, en condiciones normales de operación de la red y en condiciones de sismo.

6.3.6 ASPECTO INTERINSTITUCIONAL

Se analizó como la EAAB, está involucrada en organizaciones de atención y prevención de emergencias, del nivel Distrital y Nacional; determinándose el nivel de compromiso y participación de la Empresa en dichos organismos.

El análisis se fundamenta básicamente en la normatividad de orden Distrital y Nacional, refiriéndose al marco legal que rige en lo referente a prevención y atención de emergencias:

- Decreto 93 de 1988: establece los objetivos y principios generales para orientar las acciones de las entidades nacionales y territoriales, en relación con la elaboración, ejecución y seguimiento al Plan Nacional para la Prevención y Atención de Desastres.
- Decreto Ley 919 de 1989: mediante el cual el gobierno nacional, organiza el Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres.
- Decreto Distrital 723 de 1999: Dicta las normas para la organización de la atención y prevención de desastres en el Distrito como entidad territorial. Define el Sistema para la Prevención y Atención de Emergencias, como el conjunto de entidades públicas y privadas, políticas, normas, recursos, procedimientos y metodologías, organizados con el fin de contribuir a la reducción de pérdidas humanas, económicas y sociales ocasionadas por fenómenos de origen natural o humano que se presenten en el Distrito.

Al respecto, las áreas donde la EAAB se encuentra involucrada, son:

1. Comité Distrital para la prevención y atención de desastres
2. Comité Técnico
3. Comité Local de Emergencias

6.3.7 ASPECTO INSTITUCIONAL

En la parte institucional, se analizaron los siguientes aspectos:

- Existencia, conformación y operación del Plan de Emergencia
- Existencia, conformación y operación del Comité de Emergencias
- Experiencia en la atención de emergencias y capacidad de aprendizaje de la organización
- Sistemas de comunicación y alerta
- Programas o procedimientos de mantenimiento correctivo y preventivo
- Personal capacitado para actuar en caso de emergencia
- Disponibilidad de equipo y maquinaria
- Ubicación de equipos, maquinaria y proveedores
- Disponibilidad de contratación y de gasto en caso de una emergencia

6.3.7.1 EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD ADMINISTRATIVA (CONSULTORÍA COLOMBIANA)

Teniendo como marco conceptual lo anterior y, mediante la modalidad de encuesta a operarios y funcionarios de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, el estudio de Consultoría Colombiana S.A., presenta la siguiente evaluación.

Los aspectos evaluados fueron:

6.3.7.1.1 ORGANIZACIÓN INTERINSTITUCIONAL

1. Existencia de un programa específico, a nivel del Distrito o del País, para la atención de una emergencia o un desastre.
2. Papel de la EAAB en los planes

6.3.7.1.2 ORGANIZACIÓN INSTITUCIONAL (EAAB)

1. Existencia de un programa para la atención de emergencias y desastres
2. Existe el Comité de Emergencias?
3. Experiencia en la atención de desastres
4. Existe un Sistema de comunicación y alerta?

6.3.7.1.3 OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

1. Existencia de programas o procedimientos de operación
2. Existencia de programas o procedimientos de mantenimiento preventivo
3. Existencia de programas o procedimientos de mantenimiento correctivo
4. Existencia de personal capacitado que podría actuar en caso de una emergencia
5. Existencia y disponibilidad de equipo y maquinaria para atender un desastre
6. Ubicación de equipos y materiales de proveedores

6.3.7.1.4 APOYO ADMINISTRATIVO

1. Existencia de una reserva en los estados financieros, para la atención de una emergencia
2. Disponibilidad en una emergencia para contratar empresas privadas

A continuación se presentan los aspectos analizados, el estado en la Empresa y el porcentaje de avance. De acuerdo con el estado encontrado, se establece el porcentaje de avance con respecto al estado final esperado, que corresponde a la medida de la Vulnerabilidad Administrativa de la Empresa en ese momento (año 2000):

6.3.8 ORGANIZACIÓN INTERINSTITUCIONAL

1. Existencia de un programa específico, a nivel del Distrito o del País, para la atención de una emergencia o un desastre. Existen diferentes normas del orden nacional (Decreto 919 de 1989) y Distrital las cuales regulan los sistemas para atención y prevención de emergencias, como aparece en el marco legal. A nivel Distrital existen los siguientes comités:
 - Comité Distrital para la Atención y Prevención de Emergencias. Conformado y con reglas de funcionamiento, lo cita el Alcalde Mayor y hasta la fecha no ha sido convocado. Sin embargo, para que el comité sea operativo en caso de una emergencia o de un desastre, se recomienda haber realizado reuniones y tener líneas de acción definidas.
 - Comité Técnico. Ejerce la secretaría de la Dirección de Atención y Prevención de Desastres, será un comité regular y en este momento se está planeando sus objetivos y manera de operación. En éste comité está presente la EAAB.
 - Comité Operativo. Debido a la emergencia invernal que se presentó en esa época, ya se ha reunido formalmente. Está al nivel de discusión, los objetivos y mecanismos de operación. Es el comité encargado de solucionar las emergencias en el Distrito, el día a día. Aunque la EAAB, no forma parte de este comité, al hablar con el Coordinador del mismo, afirma que siempre que se le ha requerido la EAAB responde rápida y efectivamente.
 - Comité Técnico. El decreto establece su conformación, funciones y operación. Actualmente se está realizando la planeación de su funcionamiento. Tiene funciones de planeación y mitigación ante todo.

- Comité local de Emergencia. Son comités establecidos y presididos por los alcaldes de cada localidad. Las empresas de servicios públicos tienen la obligación de colaborar con estos comités en lo que se les solicite y en el ámbito de su competencia. Son los comités más activos a nivel del País y están operando para la atención de emergencias. Las localidades con mayores problemas tienen unos comités más activos y con rutinas de apoyo mecanizadas.

Avance: 70 %

2. Papel de la EAAB en los planes: La EAAB forma parte de los siguientes comités: Distrital para la prevención y atención de emergencias, técnico y local (cuando es convocado o colabora con la solución de emergencias). En líneas generales, a la EAAB se le reconoce por su capacidad de respuesta rápida y efectiva.

Avance: 90 %

6.3.9 ORGANIZACIÓN INSTITUCIONAL (EAAB)

1. Existencia de un programa para la atención de emergencias y desastres: Al interior de la EAAB, no existe un programa para la atención de desastres y emergencias. Con base en las preguntas de la encuesta, la EAAB puede conformar y operacionalizar el programa. Como producto del proyecto de Consultoría Colombiana, se realizó los lineamientos para la implantación del Plan de Contingencia para la Empresa. Aunque este programa no existe, la EAAB responde con agilidad a las emergencias que se han presentado. Inclusive la Empresa presta apoyo a otras entidades en caso de emergencia.

Avance: 5 %

2. Existe el Comité de Emergencias: *No está constituido formalmente el comité para la atención y prevención de emergencias. Aunque este comité no existe, la Empresa se organiza rápidamente, gracias a un directorio de disponibilidad de personas y cuadrillas que tienen a su disposición.*

Avance: 1 %

3. Experiencia en la atención de desastres: *Si existe la experiencia en la atención de desastres. Sin embargo, al interior de la Empresa, no se han generado los mecanismos necesarios para hacer de estas experiencias centros de reflexión y mejoramiento. Con base en la forma como se han atendido las emergencias y dilucidando como se han formado los grupos de trabajo, se puede llegar a una primera aproximación del programa para la atención de emergencias.*

Avance: 90 %

4. Existe un Sistema de comunicación y alerta: *Existen directorios con los nombres, cargos, secretaria y forma de contactar a los empleados. La EEAB, tiene buena comunicación con la Dirección de Atención y Prevención de Emergencias. Existe en el área de Operaciones, la información sobre la operación de las cuadrillas y su disponibilidad. Se puede pensar en que el directorio y la información sobre las cuadrillas, se encuentre por lo menos en: otras plantas de la Empresa, la Dirección de Atención y Prevención de Emergencias y en alguna oficina de la Alcaldía, como medida preventiva en caso de un desastre.*

Avance: 80 %

6.3.10 OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

1. Existencia de programas o procedimientos de operación: *Si existen programas y procedimiento de operación, pero falta mayor formalización.*

Avance: 15 %

2. Existencia de programas o procedimientos de mantenimiento preventivo: *Si existen programas y procedimientos de mantenimiento preventivo, pero falta su formalización.*

Avance: 15 %

3. Existencia de programas o procedimientos de mantenimiento correctivo: *Si existen programas y procedimientos de mantenimiento correctivo, pero falta formalizarlos.*

Avance: 15 %

4. Existencia de personal capacitado que podría actuar en caso de una emergencia: *Se cuenta con personal operativo y de mantenimiento, con conocimientos adecuados, los que podrían actuar en caso de emergencia. Sin embargo, unas jornadas de reflexión acerca del tema podrían conllevar a la conformación ideal de grupos de trabajo, para la atención de una emergencia. Adicionalmente, existe un grupo de trabajadores pertenecientes a las brigadas del programa de salud ocupacional, los que han sido entrenados inclusive para salvamento en espacios confinados y se pueden potenciar como grupos de apoyo a las operaciones de salvamento.*

Avance: 80 %

5. Existencia y disponibilidad de equipo y maquinaria para atender un desastre: *La EAAB cuenta con los equipos necesarios para mantener su operación y mantenimiento. Se cuenta con un sistema de información, el cual permite la localización al nivel de área de la Empresa a la que está asignado. Igualmente el sistema permite establecer el estado del equipo y su mantenimiento. Se puede pensar en que la información de equipos y maquinaria, se encuentre por lo menos en: otras plantas de la Empresa, la Dirección de Atención y Prevención de Emergencias y en alguna oficina de la Alcaldía, como medida preventiva en caso de la materialización de un desastre. Lo anterior, con el debido entrenamiento del personal que tenga que llegar a manipular esta información.*

Avance: 80 %

6. Ubicación de equipos y materiales de proveedores: *Al nivel de equipos y mantenimiento, existe un solo proveedor. Es aconsejable establecer y tener a disposición una lista de los posibles proveedores de equipos y materiales a escala nacional e internacional. Este listado, sería útil en caso de un desastre.*

Avance: 70 %

6.3.11 APOYO ADMINISTRATIVO

1. Existencia de una reserva en los estados financieros, para la atención de una emergencia: *En caso de una emergencia, el Gerente de la Empresa tiene la disponibilidad de presupuesto para contratar bienes y servicios, gracias a la declaratoria del Esta de Urgencia Manifiesta. No existe monto límite.*

Avance: 100 %

2. Disponibilidad en una emergencia para contratar empresas privadas: En caso de una emergencia, el gerente puede contratar libremente, una vez declarado el Estado de Urgencia manifiesta. No existe monto límite.

Avance: 100 %

6.3.12 PORCENTAJE TOTAL DE AVANCE: 58 %

Acá se debe anotar, que la forma en que Consultoría Colombiana obtuvo el anterior porcentaje de avance, corresponde al promedio aritmético de los avances obtenidos para cada ítem. Esto es, se sumaron los avances correspondientes a los catorce (14) aspectos que se tuvieron en cuenta en los cuatro grandes temas (Organización Interinstitucional - 2 ítems -, Organización Institucional - 4 ítems -, Operación y Mantenimiento - 6 ítems - y Apoyo Administrativo -2 ítems -). Es decir:

6.3.12.1 ORGANIZACIÓN INTERINSTITUCIONAL.

1. Existencia de un programa específico, a nivel del Distrito o del País, para la atención de una emergencia o un desastre. **Avance: 70 %**
2. Papel de la EAAB en los planes. **Avance: 90 %**

6.3.12.2 ORGANIZACIÓN INSTITUCIONAL (EAAB).

1. Existencia de un programa para la atención de emergencias y desastres. **Avance: 5%**
2. Existe el Comité de Emergencias. **Avance: 1 %**
3. Experiencia en la atención de desastres. Avance: 90 %
4. Existe un Sistema de comunicación y alerta. Avance: 80 %

6.3.12.3 OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

1. Existencia de programas o procedimientos de operación. **Avance: 15 %**
2. Existencia de programas o procedimientos de mantenimiento preventivo. **Avance: 15%**
3. Existencia de programas o procedimientos de mantenimiento correctivo. **Avance: 15 %**
4. Existencia de personal capacitado que podría actuar en caso de una emergencia. **Avance: 80 %**
5. Existencia y disponibilidad de equipo y maquinaria para atender un desastre. **Avance: 80%**
6. Ubicación de equipos y materiales de proveedores. **Avance: 70%**

6.3.12.4 APOYO ADMINISTRATIVO.

1. Existencia de una reserva en los estados financieros, para la atención de una emergencia. **Avance: 100 %**
2. Disponibilidad en una emergencia para contratar empresas privadas. **Avance: 100 %**

Por lo tanto, el Porcentaje Total de Avance, corresponde a : $(70 + 90 + 5 + 1 + 90 + 80 + 15 + 15 + 15 + 80 + 80 + 70 + 100 + 100) / 14 = 811 / 14 = 57,93 \%$

Del procedimiento anterior, Consultoría Colombiana concluyó:

- En el aspecto interinstitucional, los mecanismos y organizaciones existen, algunos de los cuales están y han estado operando con diferentes nombres y niveles de cobertura, según las reglamentaciones cambiantes. Sin embargo, para la mayoría de los casos falta hacer (que) éstos organismos (sean) operativos en caso de un sismo. Esto se lograría sí los diferentes comités se reúnen con cierta periodicidad y se fijan los protocolos de funcionamiento ante un evento desastroso.
- En lo referente a la parte institucional, la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, tiene una capacidad de respuesta rápida y efectiva. Sin embargo, los mecanismos que operan no están establecidos formalmente y dependen en gran medida del compromiso de los empleados y su deseo de servicio.
- Se estima que el porcentaje total de avance de la Empresa, hacia la estructuración de un sistema administrativo, que soporte la atención adecuada en caso de una emergencia, es del 58 %. Este porcentaje sirve también, para estimar la vulnerabilidad administrativa de la EAAB.

6.3.13 EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD ADMINISTRATIVA APLICANDO SISTEMAS DE LÓGICA DIFUSA

De acuerdo a lo propuesto en el presente estudio de consultoría (Contrato No. 1-02-8300-050-2000), a continuación se presenta el Sistema de Lógica Difusa diseñado para la evaluación de la Vulnerabilidad Administrativa de la EAAB, tomando como base la evaluación descrita anteriormente.

Para lo anterior, se han definido las siguientes variables, teniendo en cuenta la agrupación de los ítems en las cuatro grandes áreas temáticas:

1. Organización Interinstitucional
2. Organización Institucional
3. Operación y Mantenimiento
4. Apoyo Administrativo

El universo de discurso de las variables de entrada y los términos del lenguaje que lo califican, tomando el rango de calificación que adoptó Consultoría Colombiana (0 al 100 %), son:

- Muy Malo (a) : 00 – 30 %
- Malo (a) : 10 – 50 %
- Regular : 30 – 70 %
- Bueno (a) : 50 – 90 %
- Bueno (a) : 70 – 100 %

Para el caso del universo de discurso de la variable de salida, se tomó un rango entre 0.0 y 1.0, que corresponde al índice de Vulnerabilidad Administrativa. Los términos del lenguaje que lo califican, están definidos por:

- Muy Alta : 0.0 – 0.3
- Alta : 0.1 – 0.5
- Regular : 0.3 – 0.7
- Baja : 0.5 – 0.9
- Muy Baja : 0.7 – 1.0

Descripción del Sistema de Lógica Difusa

Número de Entradas : 4

Número de Salidas : 1

Número de Reglas : 589

Operador AND : Mínimo

Operador Composición : Mínimo

Operador Implicación : Mínimo

Operador Unión-Intersección : Máximo

ENTRADAS :

Variable de Entrada Número 1:

Nombre de la Variable : Organización Interinstitucional

Valor Mínimo : 0.000000

Valor Máximo : 100.000000

Número de Conjuntos : 5

Tipo de Difusor : Singleton

Parámetros del Difusor: : 79.750000 80.250000

Conjunto Número 1:

Nombre del Conjunto : Muy Mala

Tipo de Conjunto : Tipo L

Parámetros :10.000000 30.000000

Conjunto Número 2:

Nombre del Conjunto : Mala

Tipo de Conjunto : Triángulo

Parámetros :10.000000 30.000000 50.000000

Conjunto Número 3:

Nombre del Conjunto : Regular

Tipo de Conjunto : Triángulo

Parámetros :30.000000 50.000000 70.000000

Conjunto Número 4:

Nombre del Conjunto : Buena

Tipo de Conjunto : Triángulo

Parámetros :50.000000 70.000000 90.000000

Conjunto Número 5:

Nombre del Conjunto : Muy Buena

Tipo de Conjunto : Tipo Gamma

Parámetros :70.000000 90.000000

Variable de Entrada Número 2:

Nombre de la Variable : Organización Institucional

Valor Mínimo : 0.000000

Valor Máximo : 100.000000

Número de Conjuntos : 5

Tipo de Difusor : Singleton

Parámetros del Difusor: : 43.995003 44.004997

Conjunto Número 1:

Nombre del Conjunto : Muy Mala

Tipo de Conjunto : Tipo L

Parámetros :10.000000 30.000000

Conjunto Número 2:

Nombre del Conjunto : Mala

Tipo de Conjunto : Triángulo

Parámetros :10.000000 30.000000 50.000000

Conjunto Número 3:

Nombre del Conjunto : Regular

Tipo de Conjunto : Triángulo

Parámetros :30.000000 50.000000 70.000000

Conjunto Número 4:

Nombre del Conjunto : Buena

Tipo de Conjunto : Triángulo

Parámetros :50.000000 70.000000 90.000000

Conjunto Número 5:

Nombre del Conjunto : Muy Buena

Tipo de Conjunto : Tipo Gamma

Parámetros :70.000000 90.000000

Variable de Entrada Número 3:

Nombre de la Variable : Operación y Mantenimiento

Valor Mínimo : 0.000000

Valor Máximo : 100.000000

Número de Conjuntos : 5

Tipo de Difusor : Singleton

Parámetros del Difusor: : 45.794998 45.805000

Conjunto Número 1:

Nombre del Conjunto : Muy Malo

Tipo de Conjunto : Tipo L

Parámetros :10.000000 30.000000

Conjunto Número 2:

Nombre del Conjunto : Malo
Tipo de Conjunto : Triángulo
Parámetros :10.000000 30.000000 50.000000
Conjunto Número 3:
Nombre del Conjunto : Regular
Tipo de Conjunto : Triángulo
Parámetros :30.000000 50.000000 70.000000
Conjunto Número 4:
Nombre del Conjunto : Bueno
Tipo de Conjunto : Triángulo
Parámetros :50.000000 70.000000 90.000000
Conjunto Número 5:
Nombre del Conjunto : Muy Bueno
Tipo de Conjunto : Tipo Gamma
Parámetros :70.000000 90.000000

Variable de Entrada Número 4:

Nombre de la Variable : Apoyo Administrativo
Valor Mínimo : 0.000000
Valor Máximo : 100.000000
Número de Conjuntos : 5
Tipo de Difusor : Singleton
Parámetros del Difusor: : 99.995003 100.004997
Conjunto Número 1:
Nombre del Conjunto : Muy Malo
Tipo de Conjunto : Tipo L
Parámetros :10.000000 30.000000
Conjunto Número 2:
Nombre del Conjunto : Malo
Tipo de Conjunto : Triángulo
Parámetros :10.000000 30.000000 50.000000
Conjunto Número 3:
Nombre del Conjunto : Regular
Tipo de Conjunto : Triángulo
Parámetros :30.000000 50.000000 70.000000
Conjunto Número 4:

Nombre del Conjunto : Bueno
Tipo de Conjunto : Triángulo
Parámetros :50.000000 70.000000 90.000000
Conjunto Número 5:
Nombre del Conjunto : Muy Bueno
Tipo de Conjunto : Tipo Gamma
Parámetros :70.000000 90.000000

SALIDAS :

Variable de Salida Número 1:

Nombre de la Variable : Vulnerabilidad Administrativa
Valor Mínimo : 0.000000
Valor Máximo : 1.000000
Número de Conjuntos : 5
Tipo de Concesor : Centro de Gravedad
Conjunto Número 1:
Nombre del Conjunto : Muy Alta
Tipo de Conjunto : Tipo L
Parámetros :0.250000 0.350000
Conjunto Número 2:
Nombre del Conjunto : Alta
Tipo de Conjunto : Tipo Pi
Parámetros :0.250000 0.350000 0.450000 0.500000
Conjunto Número 3:
Nombre del Conjunto : Moderada
Tipo de Conjunto : Triángulo
Parámetros :0.450000 0.500000 0.550000
Conjunto Número 4:
Nombre del Conjunto : Baja
Tipo de Conjunto : Tipo Pi
Parámetros :0.500000 0.550000 0.650000 0.750000
Conjunto Número 5:
Nombre del Conjunto : Muy Baja
Tipo de Conjunto : Tipo Gamma
Parámetros :0.650000 0.750000

La **BASE DE REGLAS** (589 en total) para el Sistema de Lógica Difusa - SLD, correspondiente a la Vulnerabilidad Administrativa, se incluye en el anexo No. 21

Teniendo en cuenta que es más lógico obtener promedios aritméticos por agrupación temática (promedio de los ítems involucrados para cada uno de los grandes grupos: Organización Interinstitucional, Organización Institucional, Operación y Mantenimiento, Apoyo Administrativo), se obtiene la siguiente calificación para las variables de entrada del Sistema de lógica Difusa (valores obtenidos de acuerdo a las calificaciones de Consultoría Colombiana):

Organización Interinstitucional	: 80 %
Organización Institucional	: 44 %
Operación y Mantenimiento	: 45.8 %
Apoyo Administrativo	: 100 %

Procesando la anterior información, mediante el SLD iva.dif, se obtiene un índice de Vulnerabilidad Administrativa de 0.60, para la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. Es decir, la Vulnerabilidad Administrativa de la EAAB, sería BAJA.

En archivos digitales adjuntos al presente documento, se presenta: Sistema de Lógica Difusa diseñado para la evaluación de la Vulnerabilidad Administrativa y sus respectivos código fuente (iva.dif, cfiva1.c, cfiva2.c, cfiva3.c y cfiva.doc).

No obstante lo anterior, con el objetivo de actualizar dichas calificaciones, se realizó una revisión de los avances descritos con anterioridad y de acuerdo con el concepto del Especialista en Operación de Sistemas de Acueducto, se tiene:

6.3.13.1 OBSERVACIONES Y COMENTARIOS AL DOCUMENTO DE CONSULTORÍA COLOMBIANA:

Es completo en normatividad Interinstitucional e incompleto en normatividad institucional.

La normatividad interinstitucional muy seguramente no es conocida por el grupo directivo de la Empresa. Los funcionarios al ser removidos de los cargos directivos y permanecer en ellos tiempos cortos y el no haber afrontado inconvenientes en su tiempo de trabajo no están enterados de la Vulnerabilidad Administrativa.

La normatividad institucional se refiere a la conformación del Comité de Emergencias del Distrito Capital, cuenta con la participación de la EAAB, los grupos de atención están conformados por personal calificado primordialmente del área administrativa de la EAAB, pero no cuenta con suficiente personal operativo conocedor exacto de los recursos y operación de la red matriz para ordenar soluciones administrativas y operativas para afrontar contingencias mayores en el sistema de acueducto.

La atención de emergencias con que cuenta la Empresa está enfocada a prevención de problemas menores y planes de emergencias de evacuación menores, atención de primeros auxilios, pero no se cuenta con capacidad para problemas de alto riesgo; por ejemplo para la seguridad en los túneles se recurre a entes externos como Carbocol. La EAAB no cuenta con equipos suficientes y es muy importante, como lo dice el estudio de Consultoría, contar con la asistencia de Contratistas y alto presupuesto que debe estar a disposición de la Gerencia General para su utilización.

Las emergencias de la tubería de Tibitoc-Casablanca, en su mayoría, fueron atendidas por operarios de contratistas de la Empresa, con equipos mecánicos de dichos contratistas y, con la dirección de funcionarios de la Empresa y la asesoría de American Pipe.

Cuando se presentó la emergencia del Túnel del Faro se trabajó con el contratista de la construcción del Embalse de San Rafael.

Siempre se han trabajado los problemas, desde el punto de vista administrativo, con la ingerencia del Alcalde Mayor de la ciudad; y, la contratación por la emergencia, de los contratistas activos en tal momento y que tengan capacidad de equipos y personal. Igualmente, la Sociedad Colombiana de Ingenieros, ha sido un ente asesor importante

El informe de Consultoría Colombiana no presenta cosas concretas, se limita a informar la existencia de normas y de procedimientos; a informar que el personal cuenta con conocimientos, pero no se trabajaron encuestas para calificar este conocimiento en diferentes niveles de trabajadores y de funcionarios.

En cuanto a normas internas, apoyos reales, conocimiento de problemas y su atención, lo más cercano a la realidad pueden ser las entrevistas; pero no presenta análisis de recursos como podría ser conocer los listados de equipos para atender una emergencia de nivel 1, nivel 2, ó nivel 3, no presenta con profundidad el conocimiento real de la atención de un problema específico.

Se informa que la Empresa y sus trabajadores, cuentan con instrucciones pero no detallan cuáles son en forma particular y qué actividad deberá realizar en orden de jerarquía los diferentes niveles de mando.

El estudio de Consultoría, presenta la calificación del avance de la Empresa, hacia la estructuración del Sistema de Vulnerabilidad Administrativa en caso de una emergencia, siendo bondadosa su calificación; y podrá ser correcta para un problema menor de Nivel 1, pero inadecuada para los niveles 2 y 3.

Para un evento mayor a las 72 horas no es suficiente lo trabajado hasta el momento. La Empresa y sus funcionarios, deberán estar con pleno conocimiento de las acciones al interior y los recursos al exterior de la Empresa, los cuales pueden ser solicitados y coordinados satisfactoriamente si los mandos jerárquicos conocen las acciones a seguir. Desafortunadamente nuestra idiosincrasia, por limitación de recursos, ha generado una mala educación para afrontar una emergencia: No ver en un futuro los posibles problemas, conformándonos con afrontarlos en el momento en que suceden, gastando

energías y generando desorden y la falta de un procedimiento claro que no deja actuar con los recursos posibles y se utiliza un tiempo precioso en la organización de un evento o emergencia mayor.

6.3.13.2 OBSERVACIONES Y COMENTARIOS A LA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD ADMINISTRATIVA (CONSULTORÍA COLOMBIANA)

1 ORGANIZACIÓN INTERINSTITUCIONAL

La Empresa tiene la información, pero sus directivos no la conocen en forma clara y no son suficientes las personas que tienen acceso y obligación de estudiarla se recomienda hacer simulaciones o requerimientos de acercamiento con las diferentes Entidades.

2 ORGANIZACIÓN INSTITUCIONAL

La Empresa es miembro y participa, los delegados no siempre son las personas indicadas que deben asistir. En el Manual de Funciones de la Empresa según los cargos deberá incluirse qué cargos o personas deben por obligación y como su función conocer y acudir al Comité de Emergencias del Distrito Capital.

El sistema de comunicación de alerta existe pero falta mucha información de su existencia y divulgación, de su finalidad y qué eventos deberá recibir este sistema de comunicaciones para alertar el Comité de Emergencias.

3 OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Existen programas de operación de la red.

No existen programas de mantenimiento preventivo.

Los programas de mantenimiento correctivo suceden en el momento de encontrarse con problemas.

4 APOYO ADMINISTRATIVO

La reserva económica para la atención de una emergencia no siempre es suficiente por no ser tangible, al ser una situación incierta se recurre a la figura de Urgencia Manifiesta. Sí existe y es necesario la disponibilidad de contratar empresas privadas que sean contratistas de la Empresa al no poder esta atender una emergencia mayor.

A continuación se hacen las observaciones para cada uno de los grupos tratados anteriormente, de acuerdo a como se considera que es su real estado en la Empresa y se califica su respectivo porcentaje de avance, según las observaciones ya realizadas al estudio de Consultoría Colombiana.

6.3.13.2.1 ORGANIZACIÓN INTERINSTITUCIONAL

1.1 Existencia de un programa específico, al nivel de distrito o del país, para la atención de una emergencia o un desastre.

Se informa que el Comité no ha sido convocado (Comité Distrital para la Atención y Prevención de Emergencias).

Comité Técnico. En este momento se están planeando los objetivos y manera de operación.

Comité Operativo. Solucionado los problemas del “día a día”. La Empresa no hace parte, pero acude inmediatamente a los llamados. Se ha reunido por las emergencias invernales. Están en discusión los mecanismos de operación.

Comentarios:

La calificación del 70% es para las acciones ejecutadas, pero el conocimiento formal del cual no es responsable directo la Empresa no se considera aceptable, no existe orden de conocimiento ni de obligatoriedad “si me llaman, asisto” ; no existen procedimientos que deberán ser el fruto de lo trabajado, el Comité del Distrito tiene más de 10 años de

funcionamiento y por lo dicho en el Estudio de Consultoría no a terminado de dictar sus normas. **El avance debería ser del 30%.**

1.2 Papel de la Empresa en los Planes

La Empresa asiste cuando es convocada y colabora en emergencias.

Comentarios:

La colaboración es con personal y equipos dedicados a las actividades propias del área operativa de la Empresa y en el momento de una emergencia dejan su oficio cotidiano para acudir al llamado, la Empresa no cuenta con personal especializado como obreros para tratar las emergencias, se envía el personal de campo, los obreros están capacitados para su labor de trabajo, situación que puede ser peligrosa en el evento de atender una emergencia. La respuesta es rápida pero con las observaciones anteriores.

El avance podría ser del 70%.

6.3.13.2.2 ORGANIZACIÓN INSTITUCIONAL (EAAB)

2.1 Existencia de un programa para la atención de emergencias y desastres.

De acuerdo, avance 5%

2.2 Existe un Comité de Emergencias?

De acuerdo con la calificación de avance de 1% hay que agregar que debe incluirse en el Manual de Funciones y recibir una mínima capacitación el personal a sortear una emergencia operativa. **De acuerdo 1%**

2.3 Experiencia en la atención de Desastres

Existe experiencia en la colaboración después de ocurrida la emergencia, pero no en el momento en que ella sucede. Con este conocimiento deberá hacerse simulaciones y manuales. **El avance debería ser del 60%.**

2.4 Existe un sistema de comunicación y alerta?

De acuerdo, avance 80%

6.3.13.2.3 OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

3.1 Existencia de programas y procedimientos de operación

De acuerdo, avance 15%

3.2 Existencia de programas o procedimientos de mantenimiento preventivo

En desacuerdo, no existen programas de mantenimiento preventivo, **avance 5%**

3.3 Existencia de programas o procedimientos de mantenimiento correctivo

Existen pero incompletos, **avance 15%**

3.4 Existencia de personal capacitado que podría actuar en una emergencia.

De acuerdo con la descripción, pero debe resaltarse que el personal capacitado es un número muy reducido y es un grupo muy cerrado. **Avance 60%**

3.5 Existencia y disponibilidad de equipo y maquinaria para atender un desastre.

En desacuerdo, se cuenta con equipos pero no los necesarios, se cuenta con la facilidad de contratar equipos, existen algunos equipos muy especiales para la atención de emergencias en túneles y debería revisarse su correcto mantenimiento y la cantidad de equipos disponibles. De acuerdo con la información de inventario de equipos. **Avance del 40%**

3.6 ubicación de equipos y materiales de proveedores.

De acuerdo con la descripción, **avance del 70%**.

6.3.13.2.4 APOYO ADMINISTRATIVO

4.1 Existencia de una reserva en los estados financieros para la atención de una emergencia.

De acuerdo. **Avance 100%**

4.2 Disponibilidad en una emergencia para contratar empresas privadas

De acuerdo. **Avance 100%**

Si se realizara la Evaluación, siguiendo el mismo procedimiento de Consultoría Colombiana; es decir, por promedio aritmético otorgándole igual importancia a todos los ítems, el **Porcentaje Total de Avance sería: 46,5 %**

Realizando la calificación de las variables, con base en los anteriores valores de avance, y, teniendo en cuenta que se promedian los ítems calificados por cada grupo temático, se obtienen los siguientes valores discretos para las variables de entrada al SLD:

Organización Interinstitucional	: 50 %
Organización Institucional	: 36.5 %
Operación y Mantenimiento	: 34.2 %
Apoyo Administrativo	: 100 %

Procesando la anterior información, mediante el SLD, iva.dif, se obtiene un índice de Vulnerabilidad Administrativa de 0.40, para la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. Es decir, la Vulnerabilidad Administrativa de la EAAB, es ALTA.

En archivos digitales adjuntos al presente documento, se presenta: Programa UNFUZZY versión 1.2 (UNFFUZZY1.2.zip), Manual del Usuario (unfuzman.zip) (estos dos archivos, se pueden consultar y obtener en la dirección electrónica: **<http://ohm.ingsala.unal.edu.co/ogduarte>**), Sistemas de Lógica Difusa diseñados para la evaluación de la Vulnerabilidad Física y sus respectivos código fuente (ivvf.dif, ivve1.dif, ivve2.dif, ivvh.dif, Vfísica.dif cfivvf.doc, cfivve1.doc, cfivve2.doc, cfivvh.doc y cfivf.doc);

Sistemas de Lógica Difusa diseñados para la evaluación de la Vulnerabilidad Operativa y sus respectivos código fuente (ivocs.dif, ivoos.dif, VOperati.dif, cfivocs.doc, cfivoos.doc y cfivo.doc); Sistema de Lógica Difusa diseñado para la evaluación de la Vulnerabilidad Global y su respectivo código fuente (ivg.dif y cfivg.doc); y, el Sistema de Lógica Difusa diseñado para evaluar la Vulnerabilidad Administrativa de la EAAB, así como su respectivo código fuente (iva.dif y cfiva.doc).

TABLA DE CONTENIDO

6. ANÁLISIS Y DETERMINACIÓN DEL GRADO DE VULNERABILIDAD DEL SISTEMA	6-1
6.1. TERMINOLOGIA RELACIONADA CON LA EVALUACION DEL RIESGO	6-1
6.1.1 SUSCEPTIBILIDAD.	6-1
6.1.2 AMENAZA.	6-1
6.1.3 VULNERABILIDAD.	6-2
6.1.4 RIESGO.	6-2
6.1.5 ELEMENTO EXPUESTO.	6-2
6.1.6 ELEMENTO EXPUESTO.	6-3
6.1.7 AMENAZA.	6-3
6.1.8 VULNERABILIDAD.	6-3
6.1.8.1 Vulnerabilidad Física.	6-4
6.1.8.2 Vulnerabilidad Operativa.	6-4
6.1.8.3 Vulnerabilidad Administrativa:	6-4
6.2. METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DE LA RED MATRIZ DEL SISTEMA DE ACUEDUCTO DE BOGOTA.....	6-5
6.2.1 SISTEMAS DE LOGICA DIFUSA	6-6
6.3. APLICACIÓN DE LA METODOLOGIA DE LOS SISTEMAS DE LOGICA DIFUSA (SLD), EN LA EVALUACION DE LA VULNERABILIDAD DE LA RED MATRIZ DEL SISTEMA DE ACUEDUCTO DE BOGOTA.....	6-11
6.3.1 VULNERABILIDAD FÍSICA.....	6-12
6.3.1.1 Grupo de Variables Físicas (IVVF)	6-14
6.3.1.2 Grupo No. 1 de Variables Externas (IVVE1)	6-18
6.3.1.3 Grupo No. 2 de Variables Externas (IVVE2)	6-21
6.3.1.4 Grupo de Variables Hidráulicas (IVVH)	6-25
6.3.1.5 Indice de Vulnerabilidad Física (IVF)	6-29
6.3.2 VULNERABILIDAD OPERATIVA.....	6-30
6.3.2.1 Grupo No. 1 de Variables Operativas (IVOCS)	6-33
6.3.2.2 Grupo No. 2 de Variables Operativas (IVOOS)	6-37
6.3.2.3 Indice de Vulnerabilidad Operativa (IVO)	6-41
6.3.3 VULNERABILIDAD SÍSMICA	6-41
6.3.4 VULNERABILIDAD GLOBAL.....	6-42



6.3.5	VULNERABILIDAD ADMINISTRATIVA	6-46
6.3.6	ASPECTO INTERINSTITUCIONAL.....	6-47
6.3.7	ASPECTO INSTITUCIONAL.....	6-48
6.3.7.1	Evaluación de la Vulnerabilidad Administrativa (Consultoría Colombiana)	6-48
6.3.7.1.1	Organización Interinstitucional.....	6-49
6.3.7.1.2	Organización Institucional (EAAB)	6-49
6.3.7.1.3	Operación y Mantenimiento.....	6-49
6.3.7.1.4	Apoyo Administrativo.....	6-49
6.3.8	ORGANIZACIÓN INTERINSTITUCIONAL	6-50
6.3.9	ORGANIZACIÓN INSTITUCIONAL (EAAB).....	6-51
6.3.10	OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	6-52
6.3.11	APOYO ADMINISTRATIVO.....	6-54
6.3.12	PORCENTAJE TOTAL DE AVANCE: 58 %	6-54
6.3.12.1	Organización Interinstitucional.	6-54
6.3.12.2	Organización Institucional (EAAB).....	6-55
6.3.12.3	Operación y Mantenimiento	6-55
6.3.12.4	Apoyo Administrativo.	6-55
6.3.13	EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD ADMINISTRATIVA APLICANDO SISTEMAS DE LÓGICA DIFUSA	6-56
6.3.13.1	Observaciones y comentarios al documento de Consultoría Colombiana	6-63
6.3.13.2	Observaciones y comentarios a la evaluación de la vulnerabilidad administrativa (Consultoría Colombiana).....	6-65
6.3.13.2.1	Organización Interinstitucional	6-66
6.3.13.2.2	Organización Institucional (EAAB).....	6-67
6.3.13.2.3	Operación y Mantenimiento.....	6-68
6.3.13.2.4	Apoyo Administrativo	6-69
ANEXO 2. MANUAL DEL PROGRAMA UNFUZZY		
ANEXO 10. TABLAS 6.1 A 6.15 DEL ANALISIS DE VULNERABILIDAD		
ANEXO 21. BASES DE REGLAS PARA EL ANALISIS DE LOGICA DIFUSA		

INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 6.1. Conjunto Difuso</i>	<i>6-6</i>
<i>Figura 6.2. Significador Lingüístico para “Alta”</i>	<i>6-7</i>
<i>Figura 6.3. Estructura de un Sistema de Lógica Difusa</i>	<i>6-8</i>
<i>Figura 6.4. Módulo Difusor</i>	<i>6-9</i>
<i>Figura 6.5. Salidas del Módulo de Inferencia</i>	<i>6-9</i>
<i>Figura 6.6. Módulo Concesor</i>	<i>6-10</i>

