

	<b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78” TIBITOC - CASABLANCA</b>	 <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>	
<b>CONTRATO 1-02-25400-514-2006</b>	<b>PRODUCTO 8.1. INFORME DE METODOLOGÍA DEFINITIVA PARA LA VALORACIÓN DEL RIESGO DE LA LÍNEA</b>	<b>RTC-IF-GE-002</b>	<b>VERSIÓN: 2</b>
		<b>PÁGINA 1 DE 42 FECHA: 2008-01-02</b>	

## CONTENIDO

<b>1</b>	<b>DESCRIPCIÓN GENERAL DE LAS ACTIVIDADES A REALIZAR.....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>TERMINOLOGIA EMPLEADA .....</b>	<b>5</b>
2.1	DEFINICIONES GENERALES .....	5
2.1.1	Amenaza .....	5
2.1.2	Vulnerabilidad.....	6
2.1.3	Análisis de vulnerabilidad .....	6
2.1.4	Riesgo .....	6
2.1.5	Análisis de riesgo .....	6
2.1.6	Elemento expuesto.....	6
2.1.7	Modelo.....	6
2.1.8	Universo de Discurso .....	6
2.2	DEFINICIONES ESPECÍFICAS PARA EL PROYECTO .....	7
2.2.1	Amenaza .....	7
2.2.2	Vulnerabilidad.....	7
2.2.3	Análisis de vulnerabilidad .....	7
2.2.4	Riesgo .....	7
2.2.5	Análisis de riesgo .....	7
2.2.6	Elemento expuesto.....	8
2.2.7	Modelo.....	8
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA EMPLEADA PARA EL MANEJO DE INCERTIDUMBRE .....</b>	<b>8</b>
<b>4</b>	<b>MANEJO DE INCERTIDUMBRE – PROGRAMA COMPUTACIONAL.....</b>	<b>9</b>
<b>5</b>	<b>APLICACIÓN DE LA METODOLOGIA PARA LA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD Y DETERMINACION DE VARIABLES .....</b>	<b>10</b>
5.1	VULNERABILIDAD GLOBAL .....	10
5.2	VULNERABILIDAD FÍSICA.....	10
5.2.1	Variables Físicas .....	10
5.2.2	Variables de Comportamiento del Suelo .....	10
5.3	VULNERABILIDAD OPERATIVA .....	10
5.4	VULNERABILIDAD SISMICA.....	10
5.4.1	Variables Deformaciones Permanentes.....	10
5.4.2	Variables Deformaciones Transientes.....	10
5.5	VULNERABILIDAD ASOCIADA A VARIABLES EXOGENAS.....	10
<b>6</b>	<b>ANALISIS Y VALORACION DEL RIESGO .....</b>	<b>10</b>
<b>7</b>	<b>BIBLIOGRAFIA DE REFERENCIA .....</b>	<b>10</b>

	<b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78" TIBITOC - CASABLANCA</b>	  SILVA CARREÑO Y ASOCIADOS S.A. <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>	
<b>CONTRATO 1-02-25400-514-2006</b>	<b>PRODUCTO 8.1. INFORME DE METODOLOGÍA DEFINITIVA PARA LA VALORACIÓN DEL RIESGO DE LA LÍNEA</b>	<b>RTC-IF-GE-002</b>	<b>VERSIÓN: 2</b>
		<b>PÁGINA 2 DE 42 FECHA: 2008-01-02</b>	

**ANEXO 1 FUZZYNET - MANUAL DE USUARIO - OSCAR G. DUARTE V.**

	<b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78” TIBITOC - CASABLANCA</b>	  SILVA CARREÑO Y ASOCIADOS S.A. <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>	
<b>CONTRATO</b> <b>1-02-25400-514-2006</b>	<b>PRODUCTO 8.1. INFORME DE METODOLOGÍA DEFINITIVA PARA LA VALORACIÓN DEL RIESGO DE LA LÍNEA</b>	<b>RTC-IF-GE-002</b>	<b>VERSIÓN: 2</b>
		<b>PÁGINA 3 DE 42</b> <b>FECHA: 2008-01-02</b>	

## 1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LAS ACTIVIDADES A REALIZAR

La EMPRESA DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE BOGOTÁ – E.S.P. suscribió con el CONSORCIO TIBITOC 2006 el Contrato 1-02-25400-514-2006 para realizar los “Estudios y Diseños para la Rehabilitación de la Línea Red Matriz de 78” Tibitoc – Casablanca.

Dada la importancia que tiene la Línea Red Matriz de 78” en la prestación del servicio de distribución de Agua en Bogotá, es de vital importancia analizar los diferentes factores involucrados a su correcto funcionamiento, para determinar las debilidades de los componentes del sistema y así establecer una priorización de sitios críticos y su concordancia con la rehabilitación o recomendación de mejoramiento propuesta, como producto final de este estudio.

En este informe se presenta la metodología definitiva para realizar el análisis de riesgo de la línea de 78” Tibitoc – Casablanca, desde el punto de vista de la evaluación de los tramos 1 y 3 rehabilitados y sin rehabilitar. En efecto, en este documento (versión 2) se incorporaron los ajustes realizados a la propuesta de metodología (versión 1) como resultado de la reunión-taller, descrita más adelante, y se presenta el nuevo software empleado para los análisis, teniendo en cuenta la propuesta de cambio del programa computacional planteada en el “Informe de avance y revisión propuesta de metodología para la valoración del riesgo de la línea” – documento RTC-IF-CT-006 v.0.

Tal como lo establece el numeral 1.5 de los Términos de Referencia que dieron origen a este contrato se revisó toda la información de los estudios de 1) Vulnerabilidad Física, 2) Vulnerabilidad Operativa y 3) Vulnerabilidad Sísmica desarrollados en el estudio del Consultor Jairo René Rojas, con el fin de estudiar la metodología y definir la aplicabilidad del manejo de escenarios de incertidumbre usados y de las variables propuestas en el mencionado estudio.

Una vez revisada la información se procedió a la sustentación teórica de metodología de análisis de incertidumbre a utilizar, al estudio y definición del modelo y definición de entradas y salidas del mismo. La Vulnerabilidad Global será producto del análisis de los resultados que arroje el modelo al involucrar las variables relacionadas, para así determinar en que sitios el sistema puede ser afectado gravemente ante la ocurrencia de un evento, es decir en donde es mas vulnerable el sistema. Vale la pena anotar que para hacer que la información que se introduzca en el modelo sea real y así disminuir la incertidumbre del análisis, se incluirá, para el tramo 1, la información que arroje la

	<b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78” TIBITOC - CASABLANCA</b>	  SILVA CARREÑO Y ASOCIADOS S.A. <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>	
<b>CONTRATO 1-02-25400-514-2006</b>	<b>PRODUCTO 8.1. INFORME DE METODOLOGÍA DEFINITIVA PARA LA VALORACIÓN DEL RIESGO DE LA LÍNEA</b>	<b>RTC-IF-GE-002</b>	<b>VERSIÓN: 2</b>
		<b>PÁGINA 4 DE 42 FECHA: 2008-01-02</b>	

inspección interna de la tubería mediante ondas electromagnéticas que se va a realizar como actividad adicional de este contrato, lo que permitirá conocer las condiciones reales de este tramo de la línea Red Matriz de 78” y a su vez realizar el análisis de riesgo con bases más contundentes para la toma de decisiones.

Adicionalmente y de manera interdisciplinaria se realizaron varias reuniones con los especialistas en las diferentes áreas involucradas en el estudio, destacándose la reunión-taller celebrada el 25 de septiembre de 2007 con los expertos de la Dirección Red Matriz y de las Áreas Operativa y de Seguros de la Empresa de Acueducto y de los especialistas de la Asesoría de la Interventoría, para definir la variables de vulnerabilidad físicas, operativas y sísmicas aplicables específicamente a la Línea Red Matriz de 78” Tibitoc - Casablanca, asignándole a cada una de manera juiciosa el criterio de ponderación para cada caso y su incidencia en la vulnerabilidad global. Adicionalmente, se involucró en el estudio de la vulnerabilidad Global un análisis de los efectos de variables exógenas que serán definidas en el correspondiente capítulo.

Como producto de las reuniones mencionadas anteriormente se presenta el listado completo de las variables a analizar agrupadas por tipo de Vulnerabilidad Física, Operativa, Sísmica y relacionada con Variables Exógenas y como de estas se llega a la Vulnerabilidad Global.

De manera simultánea se realizó el análisis de la información tomada en campo de carácter físico y geotécnico y los aspectos operativos y sísmicos, para definir los sub-tramos que se evaluarán dentro del estudio concluyendo que estos se dividirán de acuerdo con los cambios en las condiciones de la tubería, es decir cuando se presenten cambios importantes en las variables físicas, operativas y sísmicas involucradas, de acuerdo con los resultados de cada uno de los estudios de los que se requiere esta información primaria, la cual será complementada y en algunos casos sustituida por la que arroje el “Reporte de la inspección interna de la tubería para el tramo 1”.

En este informe se presenta la sustentación de la metodología de análisis de riesgo, el programa computacional utilizado y las variables involucradas en el análisis. Una vez ajustada esta metodología al programa computacional, se procederá a incluir la estructura de las variables para medir la: 1) Vulnerabilidad Física, 2) Vulnerabilidad Operativa, 3) Vulnerabilidad Sísmica y 4) Vulnerabilidad Relacionada con Variables Exógenas, mediante el programa FUZZYNET, para las dos condiciones:

	<b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78” TIBITOC - CASABLANCA</b>	  SILVA CARREÑO Y ASOCIADOS S.A. <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>	
<b>CONTRATO 1-02-25400-514-2006</b>	<b>PRODUCTO 8.1. INFORME DE METODOLOGÍA DEFINITIVA PARA LA VALORACIÓN DEL RIESGO DE LA LÍNEA</b>	<b>RTC-IF-GE-002</b>	<b>VERSIÓN: 2</b>
		<b>PÁGINA 5 DE 42 FECHA: 2008-01-02</b>	

- Sin Rehabilitar. Con ayuda del programa y de la totalidad de las variables concretas definidas en cada sub-tramo, correspondientes a las características existentes en la tubería, se determinará la Vulnerabilidad Global.
- Rehabilitado. Con ayuda del programa y una vez definidas las recomendaciones y conclusiones de los Estudios y Diseños para la Rehabilitación de la Línea Red Matriz de 78” Tibitoc - Casablanca, se incorporará esta condición en cada sub-tramo para determinar la Vulnerabilidad Global, luego que sea rehabilitada o mejorada en sus condiciones operativas la línea de 78”

Para los dos casos se definirán los tramos de más a menos vulnerables tomando como base del análisis los escenarios donde se presenten los daños más probables en la Línea Red Matriz de 78” y se valorará el riesgo expresado en términos económicos.

A continuación se describe la metodología definitiva para la valoración del riesgo de la línea, de acuerdo con los lineamientos establecidos en los Términos de Referencia del Contrato.

## **2 TERMINOLOGIA EMPLEADA**

### **2.1 DEFINICIONES GENERALES**

A continuación se presentan las definiciones básicas relacionadas con la evaluación de riesgo la mayoría de ellas tomadas del diccionario de la Real Academia de la lengua y las referencias [1] y [2]:

#### **2.1.1 Amenaza**

Factor de riesgo externo de un sistema, representado por un peligro latente asociado con un fenómeno físico de origen humano o natural que puede manifestarse en un sitio específico o produciendo efectos adversos, matemáticamente se define como la probabilidad de ocurrencia de un evento potencialmente desastroso durante cierto periodo de tiempo en un sitio dado.

	<b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78" TIBITOC - CASABLANCA</b>	  SILVA CARREÑO Y ASOCIADOS S.A. <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>	
<b>CONTRATO</b> <b>1-02-25400-514-2006</b>	<b>PRODUCTO 8.1. INFORME DE METODOLOGÍA DEFINITIVA PARA LA VALORACIÓN DEL RIESGO DE LA LÍNEA</b>	<b>RTC-IF-GE-002</b>	<b>VERSIÓN: 2</b>
		<b>PÁGINA 6 DE 42</b> <b>FECHA: 2008-01-02</b>	

### 2.1.2 Vulnerabilidad

Grado de daño esperado para un elemento, como consecuencia de su incapacidad para resistir un evento amenazante de una intensidad determinada.

### 2.1.3 Análisis de vulnerabilidad

Proceso mediante el cual se determina el nivel de exposición y la predisposición a la pérdida de un elemento o un grupo de elementos ante una amenaza específica.

### 2.1.4 Riesgo

Dificultad de un sistema para asumir las demandas impuestas.

### 2.1.5 Análisis de riesgo

Herramienta para la toma de decisiones bajo incertidumbre.

### 2.1.6 Elemento expuesto

Es el contexto material representado por las personas, bienes o servicios que pueden verse afectados por la materialización del evento amenazante.

### 2.1.7 Modelo

Esquema Teórico, generalmente en forma matemática, de un sistema o de una realidad compleja, que se elabora para facilitar su comprensión y el estudio de su comportamiento. El Modelo describe la transformación de variables de entrada en variables de salida, a través de un conjunto de procesos internos, con el objeto de predecir el comportamiento del sistema.

### 2.1.8 Universo de Discurso

Conjunto de posibilidades definida para un evento.

	<b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78” TIBITOC - CASABLANCA</b>	  SILVA CARREÑO Y ASOCIADOS S.A. <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>	
<b>CONTRATO</b> <b>1-02-25400-514-2006</b>	<b>PRODUCTO 8.1. INFORME DE METODOLOGÍA DEFINITIVA PARA LA VALORACIÓN DEL RIESGO DE LA LÍNEA</b>	<b>RTC-IF-GE-002</b>	<b>VERSIÓN: 2</b>
		<b>PÁGINA 7 DE 42</b> <b>FECHA: 2008-01-02</b>	

## 2.2 DEFINICIONES ESPECÍFICAS PARA EL PROYECTO

A continuación se presentan las definiciones básicas relacionadas con la evaluación de riesgo de la línea red matriz de 78”.

### 2.2.1 Amenaza

Falla de la tubería por condiciones relacionadas sus propiedades y funcionamiento, suelo circundantes, características de operación, sismo y factores exógenos como terrorismo y construcción de obras de ingeniería en la zona adyacente al tubo.

### 2.2.2 Vulnerabilidad

Grado de daño esperado para la tubería Red Matriz de 78”, como consecuencia de su incapacidad para resistir un evento relacionado con fallas físicas correspondientes a sus características, o fallas operativas o ante un sismo o ante un acto de terrorismo o ante una construcción adyacente o ante una combinación de estas.

### 2.2.3 Análisis de vulnerabilidad

Proceso mediante el cual se determinara el nivel de exposición y la predisposición a la pérdida en los diferentes tramos de tubería a lo largo de los tramos 1 y 3 ante una amenaza específica.

### 2.2.4 Riesgo

Probabilidad de falla en partes o toda la línea red Matriz de 78” (tramos 1 y 3) ocasionada por todas las causas posibles estudiadas: físicas, operativas, sismo, construcciones adyacentes y terrorismo.

### 2.2.5 Análisis de riesgo

Magnitud de la falla en partes o toda la línea red Matriz de 78” (tramos 1 y 3) expresada en términos económicos.

	<b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78" TIBITOC - CASABLANCA</b>	 <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>	
<b>CONTRATO 1-02-25400-514-2006</b>	<b>PRODUCTO 8.1. INFORME DE METODOLOGÍA DEFINITIVA PARA LA VALORACIÓN DEL RIESGO DE LA LÍNEA</b>	<b>RTC-IF-GE-002</b>	<b>VERSIÓN: 2</b>
		<b>PÁGINA 8 DE 42 FECHA: 2008-01-02</b>	

### 2.2.6 Elemento expuesto

Es el contexto material representado por las personas, bienes o servicios que pueden verse afectados por la materialización del evento amenazante.

### 2.2.7 Modelo

Esquema teórico, generalmente en forma matemática, de un sistema o de una realidad compleja, que se elabora para facilitar su comprensión y el estudio de su comportamiento.

El Modelo describe la transformación de variables de entrada en variables de salida, a través de un conjunto de procesos internos, con el objeto de predecir el comportamiento del sistema.

## 3 METODOLOGIA EMPLEADA PARA EL MANEJO DE INCERTIDUMBRE

El objetivo del uso de una metodología de manejo de incertidumbre es establecer el grado de vulnerabilidad de un sistema a partir de una serie de información, que para el caso que nos ocupa, no esta perfectamente determinada, ni corresponde en algunos casos a variables matemáticas definidas, es decir no todos los resultados están en los mismos términos, pueden estar en términos numéricos o en términos lingüísticos (que dependen de la apreciación del experto), lo que complica un poco el análisis del comportamiento futuro del sistema ante un posible evento.

Es por esto que para el manejo de incertidumbre se estudiaron las diferentes alternativas que permitieran hacer para algunas variables (que se presentan mas adelante), el análisis a partir de la calificación del experto en el tema; las alternativas estudiadas fueron: (1) evaluación puntual, (2) distribución triangular, (3) definición de intervalos y (4) lógica difusa.

Después de revisar las diferentes metodologías, se concluyó que el método que más se aproxima a las necesidades del proyecto, dado el gran número de variables lingüísticas involucradas es la lógica difusa, por cuanto los métodos de evaluación puntual, distribución triangular y definición de intervalos, si bien es cierto permiten la introducción de variables lingüísticas en el análisis, también lo es que cada variable debe ser definida por una función matemática, lo que complica demasiado el análisis, dado que

	<b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78" TIBITOC - CASABLANCA</b>	  SILVA CARREÑO Y ASOCIADOS S.A. <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>	
<b>CONTRATO 1-02-25400-514-2006</b>	<b>PRODUCTO 8.1. INFORME DE METODOLOGÍA DEFINITIVA PARA LA VALORACIÓN DEL RIESGO DE LA LÍNEA</b>	RTC-IF-GE-002	VERSIÓN: 2
		PÁGINA 9 DE 42 FECHA: 2008-01-02	

los límites de las variables y diferentes criterios no son claros. La lógica difusa según Zadeh [3] se utiliza para modelar situaciones en las que los límites entre criterios no son claros, su argumento principal es que las limitaciones del conocimiento en ingeniería no obedecen a la falta de computadores, sino al hecho de que el software y hardware se basan en modelos que no corresponden al razonamiento humano.

La teoría en la que se basa la lógica difusa y las diferentes definiciones, los principios, los conjuntos difusos, las variables lingüísticas y el razonamiento de la teoría es explicada en detalle en el Capítulo 12 del Manual del usuario Fuzzynet elaborado por el profesor Duarte [5], que se presenta en el Anexo 1.

#### 4 MANEJO DE INCERTIDUMBRE – PROGRAMA COMPUTACIONAL

Una vez definida la metodología para el manejo de escenarios y de incertidumbre, se procedió al análisis del programa computacional propuesto en el estudio del Consultor Jairo Rene Rojas [1], introduciendo la información del análisis realizado por el y corroborando los resultados. Para el mencionado análisis fue necesaria la inclusión y el montaje de todas las variables involucradas en el análisis, posteriormente se introdujo la información relativa al tramo 1 para evaluar los resultados. Del análisis de los resultados se puede concluir, con respecto al programa Unfuzzy, lo siguiente:

1. El programa no funciona cuando las variables tienen un peso diferente unas a otras.
2. El programa no tiene capacidad de analizar más de tres variables simultáneas.
3. El programa no permite manejar la sensibilidad, ya que la información específica para cada tramo se tiene que introducir manualmente y no da la posibilidad de almacenamiento de datos.

Por lo anterior, se concluye que, el programa es versátil en el manejo de la Teoría de la Lógica Difusa y de los conjuntos difusos incorporados a la teoría, para el caso de obras lineales, únicamente si las variables tienen la misma ponderación y si se trata de evaluar máximo tres variables simultáneamente. Es por esto que se decidió investigar con el desarrollador del software, el Profesor Oscar Duarte del Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Nacional de Colombia, quien confirmó que el programa para el análisis que se pretende desarrollar es algo obsoleto (1997) y poco versátil cuando se involucran varios grupos de variables.

	<b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78” TIBITOC - CASABLANCA</b>	  SILVA CARREÑO Y ASOCIADOS S.A. <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>	
<b>CONTRATO 1-02-25400-514-2006</b>	<b>PRODUCTO 8.1. INFORME DE METODOLOGÍA DEFINITIVA PARA LA VALORACIÓN DEL RIESGO DE LA LÍNEA</b>	<b>RTC-IF-GE-002</b>	<b>VERSIÓN: 2</b>
		<b>PÁGINA 10 DE 42 FECHA: 2008-01-02</b>	

El profesor Duarte sugirió para éste análisis un nuevo software desarrollado por él mismo llamado Fuzzynet, del cual se explicará la teoría en la que se fundamenta, de acuerdo con lo anotado por él en el manual del usuario.

Existen algunas situaciones en las que es necesario hacer algunos cálculos en los que una parte de la información disponible es numérica y otra parte es lingüística (son palabras). Fuzzynet provee una solución a este tipo de problemas empleando para ello Redes de Cálculo con Palabras.

Un archivo de Fuzzynet contiene un Proyecto (ver Capítulo – Anexo 1), que en esencia es una colección de Metodologías (ver Capítulo 3 – Anexo 1) que se aplican a un conjunto de Casos (ver Capítulo 4 – Anexo 1).

Cada Metodología es una forma de calcular algo. Cada Caso contiene una información específica para hacer esos cálculos. En el Capítulo 11 del Anexo 1 se ilustra un ejemplo de estos conceptos.

Dicho programa fue suministrado directamente por el Profesor Oscar Duarte.

## **5 APLICACIÓN DE LA METODOLOGIA PARA LA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD Y DETERMINACION DE VARIABLES**

La vulnerabilidad de un sistema de distribución de agua potable, puede ser física, operativa y por factores exógenos tales como sismo, terrorismo o construcciones adyacentes, depende de las características estructurales de la línea red matriz de 78”, recursos con los que se cuenta para el manejo de los sistemas, métodos operativos y eventos externos.

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

	<b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78” TIBITOC - CASABLANCA</b>	  SILVA CARREÑO Y ASOCIADOS S.A. <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>	
<b>CONTRATO 1-02-25400-514-2006</b>	<b>PRODUCTO 8.1. INFORME DE METODOLOGÍA DEFINITIVA PARA LA VALORACIÓN DEL RIESGO DE LA LÍNEA</b>	RTC-IF-GE-002	VERSIÓN: 2
		PÁGINA 11 DE 42 FECHA: 2008-01-02	

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.<sup>1</sup>

Se adopto la metodología propuesta por el Consultor Jairo René Rojas [1], en cuanto al esquema de evaluación de la “***Vulnerabilidad Global***” de la red matriz, en el sentido de involucrar los siguientes componentes: Vulnerabilidad Física, Vulnerabilidad Operativa y, Vulnerabilidad Sísmica, adicionalmente se involucró en el análisis la Vulnerabilidad relacionada con variables exógenas.

Sin embargo nos apartamos del programa computacional utilizado para el análisis por el Consultor Jairo René Rojas, por las razones expuestas en el capítulo 4, y en general porque el programa Unfuzzy, no es operativo para el caso objeto de nuestro análisis. El cálculo de la Vulnerabilidad Global y de cada una de las vulnerabilidades física, operativa, sísmica y asociada a variables exógenas se realizará por medio del programa FUZZYNET.

## 5.1 VULNERABILIDAD GLOBAL

Tal como se mencionó para el cálculo de la vulnerabilidad Global se identificaron los componentes que hacen parte de esta y que pueden afectar las tuberías o que podrían generar un daño ocasionalmente y se agruparon por sus características **físicas, operativas, sísmicas y asociadas a variables exógenas**, para que una vez determinada la vulnerabilidad asociada a cada uno de estos factores, se ponderen de acuerdo con su grado de incidencia y se pueda estimar la Vulnerabilidad Global.

Los componentes asociados a la Vulnerabilidad Global son:

- **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 la tubería.
- **Vulnerabilidad Sísmica**, en caso que ocurra un sismo que genere determinado nivel de aceleración del terreno donde se encuentre instalada la línea.

<sup>1</sup> Rojas Peña, Jairo René. Estudio para la evaluación del estado de la red matriz de distribución del sistema de acueducto y formulación de un programa estructurado para su rehabilitación. Bogotá: Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá – ESP. 2002.

	<b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78" TIBITOC - CASABLANCA</b>	  SILVA CARREÑO Y ASOCIADOS S.A. <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>	
<b>CONTRATO</b> <b>1-02-25400-514-2006</b>	<b>PRODUCTO 8.1. INFORME DE METODOLOGÍA DEFINITIVA PARA LA VALORACIÓN DEL RIESGO DE LA LÍNEA</b>	<b>RTC-IF-GE-002</b>	<b>VERSIÓN: 2</b>
		<b>PÁGINA 12 DE 42</b> <b>FECHA: 2008-01-02</b>	

- **Vulnerabilidad Asociada a Variables Exógenas**, en caso que ocurra un evento, tal como un acto de terrorismo o una construcción que afecte el terreno donde esta instalada la línea.

Para realizar la ponderación de los diferentes componentes asociados a la Vulnerabilidad Global, tal como se mencionó anteriormente, de manera interdisciplinaria se realizaron varias reuniones con los especialistas en las diferentes áreas involucradas en el estudio y con los expertos de la Red Matriz, el Área Operativa y de Seguros de la Empresa de Acueducto y la Asesoría de la Interventoría, y se definieron la variables de vulnerabilidad físicas, operativas y sísmicas aplicables específicamente a la Línea Red Matriz de 78" Tibitoc - Casablanca, asignándole a cada una el criterio de ponderación para cada caso y su incidencia en la vulnerabilidad global. El análisis realizado se resume así:

En principio, se consideró que las 4 vulnerabilidades mencionadas, se pueden dividir en dos grupos:

1. Las dadas por las condiciones mismas de la tubería, es decir sus condiciones físicas y de operación, y
2. Las dadas por eventos externos ajenos al estado físico de la tubería y a sus condiciones de operación, es decir el evento de un sismo o el evento de falla asociada a factores externos (terrorismo, construcciones cercanas).

Así las cosas y después del análisis realizado se atribuyó una probabilidad de ocurrencia al evento 1 (condiciones mismas de la tubería) del 65% y al evento 2 (eventos externos) un peso del 35%.

Una vez establecida esta diferenciación, se estudiaron las variables asociadas a cada uno de los eventos concluyendo que:

1. Para el evento 1 (condiciones mismas de la tubería), se tienen 2 condiciones asociadas, una a las características físicas de la tubería y otra a las condiciones de operación; una vez analizadas estas condiciones y las variables asociadas a cada se puede concluir que en caso de falla, tienen mayor responsabilidad en el evento las condiciones asociadas a sus características físicas y las del medio circundante, debido a que es mayor el número de variables asociadas, que las asociadas a la condición 2 (operación). Por esta razón se estableció que dada la

	<b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78” TIBITOC - CASABLANCA</b>	 <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>	
<b>CONTRATO 1-02-25400-514-2006</b>	<b>PRODUCTO 8.1. INFORME DE METODOLOGÍA DEFINITIVA PARA LA VALORACIÓN DEL RIESGO DE LA LÍNEA</b>	<b>RTC-IF-GE-002</b>	<b>VERSIÓN: 2</b>
		<b>PÁGINA 13 DE 42 FECHA: 2008-01-02</b>	

cantidad de componentes atribuibles a la Vulnerabilidad física, esta es la que debe tener mayor peso y se le asignó el 40% de peso con respecto a la vulnerabilidad Global y a la condición asociada a la operación se le asignó el 25% de peso con respecto a la vulnerabilidad Global.

2. Para el evento 2 (eventos externos), se tienen 2 condiciones asociadas una a ocurrencia de un sismo y otra a terrorismo y a afectación por construcciones cercanas; una vez analizadas estas condiciones y las variables asociadas a cada una se concluyó que por la información histórica de casos presentados, la condición 1 (que haya un sismo) es del 20% y la probabilidad de la condición 2 (que haya un acto terrorista o una construcción cercana que produzca falla en la tubería) es del 15% sobre la Vulnerabilidad Global.

Vale la pena anotar que el Universo de discurso (resultado) para la Vulnerabilidad Global se definió numéricamente de 0 a 1 y puede ser: “Muy Baja (0 – 0.22)”, “Baja (0.22 - 0.44)”, “Moderada (0.44 - 0.66)”, “Alta (0.66 - 0.88)” y “Muy Alta (0.88 - 1.00)”, y será el resultado de ponderar la vulnerabilidad física, operativa, sísmica y la asociada a variables exógenas, según los pesos establecidos y dependerá de la información específica de línea red matriz de 78” en el programa FUZZYNET.

Las variables identificadas se presentan en el cuadro No.5.1 y se organizaron de mayor a menor incidencia en la vulnerabilidad Global.

	<b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78" TIBITOC - CASABLANCA</b>	  SILVA CARREÑO Y ASOCIADOS S.A. <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>	
<b>CONTRATO 1-02-25400-514-2006</b>	<b>PRODUCTO 8.1. INFORME DE METODOLOGÍA DEFINITIVA PARA LA VALORACIÓN DEL RIESGO DE LA LÍNEA</b>	<b>RTC-IF-GE-002</b>	<b>VERSIÓN: 2</b>
		<b>PÁGINA 14 DE 42 FECHA: 2008-01-02</b>	

### CUADRO 5.1 PONDERACION DE LOS CRITERIOS DE EVALUACION CON RESPECTO A LA VULNERABILIDAD GLOBAL

CRITERIOS DE EVALUACION	Peso
Población Efectivamente Afectada	12,5%
Vulnerabilidad Asociada a Daños por Construcciones Adyacentes	12%
Facilidad de Aislamiento	5,00%
Facilidad de Acceso	5,00%
Características Circundantes de la Tubería Instalada	6,0%
Indice de Presión Interna	6,0%
Agresividad del Suelo	6,0%
Material	4,0%
Susceptibilidad de Fenómenos de Remoción en Masa (Comportamiento del Suelo)	3,6%
Indice de Cargas Externas	3,0%
Estado de Accesorios	3,0%
Comportamiento Geotécnico (Deformaciones Permanentes)	3,0%
Efectos de Amplificación Local	3,0%
Velocidad Pico del Terreno (PGV)	3,0%
Vulnerabilidad Asociada a Terrorismo (IVET)	3,0%
Variables Hidráulicas	2,5%
Efecto deformación Onda Transiente (Tp, Vp, C)	2,5%
Comportamiento Geotécnico (Comportamiento del Suelo)	2,4%
Tipo de Instalación	2,0%
Alineamiento	2,0%
Tipo de Juntas y Longitud entre Juntas	2,0%
Susceptibilidad de Fenómenos de Remoción en Masa (Deformaciones Permanentes)	2,0%
Potencial de Licuación	2,0%
Aceleración Pico de Terreno (PGA)	2,0%
Cambio de Rigidez	1,5%
Potencial de Asentamiento Post-Sismo	1,0%

La ponderación de cada componente y su incidencia en la Vulnerabilidad Global y en la Vulnerabilidad Asociada se presenta en el cuadro 5.2, estos valores fueron ajustados como producto de la reunión con los funcionarios de la Empresa de Acueducto.

	<b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78" TIBITOC - CASABLANCA</b>	  SILVA CARREÑO Y ASOCIADOS S.A. <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>	
<b>CONTRATO 1-02-25400-514-2006</b>	<b>PRODUCTO 8.1. INFORME DE METODOLOGÍA DEFINITIVA PARA LA VALORACIÓN DEL RIESGO DE LA LÍNEA</b>	<b>RTC-IF-GE-002</b>	<b>VERSIÓN: 2</b>
		<b>PÁGINA 15 DE 42 FECHA: 2008-01-02</b>	

### CUADRO 5.2 PONDERACION DE LOS CRITERIOS DE EVALUACION CON RESPECTO A LA VULNERABILIDAD ASOCIADA

	TIPO DE VULNERABILIDAD ASOCIADA		VARIABLES	CRITERIOS DE EVALUACION	Peso (%)			
<b>Vulnerabilidad Global</b>	Vulnerabilidad Física	40%	Variables Físicas	70%	Material	10,0%		
					Características Circundantes de la Tubería Instalada	15,0%		
					Tipo de Instalación	5,0%		
					Indice de Presión Interna	15,0%		
					Indice de Cargas Externas	7,5%		
					Alineamiento	5,0%		
					Tipo de Juntas y Longitud entre Juntas	5,0%		
					Estado de Accesorios	7,5%		
					Variables de Comportamiento del Suelo	30%	Susceptibilidad de Fenómenos de Remoción en Masa	9,0%
							Comportamiento Geotécnico	6%
	Agresividad del Suelo	15%						
	Vulnerabilidad Operativa	25%	Variables Operativas	100%	Población Efectivamente Afectada	50,0%		
					Facilidad de Aislamiento	20,0%		
					Facilidad de Acceso	20,0%		
					Variables Hidráulicas	10,0%		
	Vulnerabilidad Sísmica	20%	Deformaciones Permanentes	40%	Comportamiento Geotécnico	15,0%		
					Susceptibilidad de Fenómenos de Remoción en Masa	10,0%		
					Potencial de Licuación	10,0%		
			Deformaciones Transientes	60%	Potencial de Asentamiento Post-Sismo	5,0%		
					Efecto deformación Onda Transiente (Tp, Vp, C)	12,5%		
Efectos de Amplificación Local					15,0%			
Vulnerabilidad Asociada a variables Exógenas	15%	Variables Exógenas	100%	Aceleración Pico de Terreno (PGA)	10,0%			
				Velocidad Pico del Terreno (PGV)	15,0%			
				Cambio de Rigidez	7,5%			
				Vulnerabilidad Asociada a Terrorismo (IVET)	20,0%			
					Vulnerabilidad Asociada a Daños por Construcciones Adyacentes	80,0%		

Estos componentes a su vez involucran diferentes factores y variables asociadas a las características específicas de cada tipo de vulnerabilidad; estos factores se describen a

	<b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78” TIBITOC - CASABLANCA</b>	 <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>	
<b>CONTRATO 1-02-25400-514-2006</b>	<b>PRODUCTO 8.1. INFORME DE METODOLOGÍA DEFINITIVA PARA LA VALORACIÓN DEL RIESGO DE LA LÍNEA</b>	RTC-IF-GE-002	VERSIÓN: 2
		PÁGINA 16 DE 42 FECHA: 2008-01-02	

continuación. En este informe se presenta el esquema del modelo que se introdujo en el FUZZYNET.

## 5.2 VULNERABILIDAD FÍSICA.

Se refiere a la cuantificación de la capacidad de resistencia material del tubo, que depende de variables intrínsecas: constitutivas (material), características e interacción con el medio circundante, tipo de instalación, alineamiento, tipo de juntas, estado de accesorios, índices de presión y cargas internas y variables de comportamiento del suelo.

Se considero para este análisis que la vulnerabilidad física tiene una incidencia del 40% en la vulnerabilidad global.

Para el cálculo de la vulnerabilidad física se identificaron los factores físicos que pueden afectar las tuberías o que podrían generar un daño ocasionalmente. Estos factores serán agrupados de la siguiente forma:

- Factores relacionados con el trazado y las propiedades de la tubería: constitutivas (material), características e interacción con el medio circundante, de instalación, alineamiento, tipo de juntas, estado de accesorios, índices de presión interna y de cargas externas (**Variables Físicas**)
- Factores relacionados con el comportamiento del suelo (**Variables de Comportamiento del Suelo**)

Para cada una de las variables identificadas se realizo un proceso de análisis de los factores intervinientes en el comportamiento de cada una, que fue el que determinó el peso que tendría cada tipo de variable en la **Vulnerabilidad física**. Los pesos dados a cada una de las variables dentro de la Vulnerabilidad Física son:

- Variables Físicas: 70%
- Variables de Comportamiento del Suelo: 30%

Vale la pena anotar que el Universo de discurso (resultado) para la Vulnerabilidad Física se definió numéricamente de 0 a 1 y puede ser: “Muy Baja (0 – 0.22)”, “Baja (0.22-0.44)”, “Moderada (0.44-0.66)”, “Alta (0.66-0.88)” y “Muy Alta (0.88-1.00)”, y será el resultado de ponderar la vulnerabilidad asociada a variables físicas y de

	<b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78" TIBITOC - CASABLANCA</b>	  SILVA CARREÑO Y ASOCIADOS S.A. <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>	
<b>CONTRATO 1-02-25400-514-2006</b>	<b>PRODUCTO 8.1. INFORME DE METODOLOGÍA DEFINITIVA PARA LA VALORACIÓN DEL RIESGO DE LA LÍNEA</b>	<b>RTC-IF-GE-002</b>	<b>VERSIÓN: 2</b>
		<b>PÁGINA 17 DE 42 FECHA: 2008-01-02</b>	

comportamiento del suelo, según los pesos establecidos y dependerá de la información específica de línea red matriz de 78" en el programa FUZZYNET.

La ponderación de cada componente, su incidencia en la Vulnerabilidad Física y los criterios de evaluación de cada una se presentan en el cuadro 5.3, estos valores fueron ajustados como producto de la reunión con los funcionarios de la Empresa de Acueducto.

	<b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78" TIBITOC - CASABLANCA</b>	 <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>						
<b>CONTRATO 1-02-25400-514-2006</b>	<b>PRODUCTO 8.1. INFORME DE METODOLOGÍA DEFINITIVA PARA LA VALORACIÓN DEL RIESGO DE LA LÍNEA</b>	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">RTC-IF-GE-002</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">VERSIÓN: 2</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">PÁGINA 18 DE 42</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">FECHA: 2008-01-02</td> </tr> </table>	RTC-IF-GE-002	VERSIÓN: 2	PÁGINA 18 DE 42		FECHA: 2008-01-02	
RTC-IF-GE-002	VERSIÓN: 2							
PÁGINA 18 DE 42								
FECHA: 2008-01-02								

### CUADRO 5.3 CRITERIOS DE EVALUACION VULNERABILIDAD FISICA

TIPO DE VULNERABILIDAD	VARIABLES (PONDERACION)	CRITERIO (PONDERACION)	CONDICIÓN / RANGO	CATEGORIA (de menos a mas crítico)
<b>Vulnerabilidad Física (40%)</b>	Variables Físicas (70%)	Material (10%)	CCP	1
			Acero	2
			PCCP	3
		Características Circundantes de la Tubería Instalada (15%)	Despoblado	1
			Despoblado con Infraestructura Vial	2
			Poblado e Instalacion en Zona Verde sin Servicios	3
			Poblado e Instalacion en Zona Verde con Servicios	4
			Poblado e Instalación en Calzada	5
			Poblado y Concentración de Servicios e Infraestructura	6
			Tipo de Instalación (5%)	Embebida en Concreto
		Recubrimiento en Concreto		2
		Aérea		3
		En Zanja		4
		En Terraplen		5
		Sumergida		6
		Indice de Presión Interna (15%)	Mayor de 1,5	1
			1,2-1,5	2
			1,1-1,2	3
			1,05-1,1	4
			1,0-1,05	5
	Indice de Cargas Externas (7,5%)	Mayor de 2	1	
		2,0 - 1,5	2	
		1,5 - 1,2	3	
		1,2 - 1,0	4	
		Menor de 1	5	
	Alineamiento (5%)	Recto o en Curva con deflexiones sucesivas hasta 30°	1	
		En Curva con deflexiones sucesivas entre 30° y 60°	2	
		En Curva con deflexiones sucesivas entre 60° y 90°	3	
		Codos menores de 30°	4	
		Codos entre 30° y 60°	5	
Codos entre 60° y 90°		6		
Tipo de Juntas y Longitud entre Juntas (5%)	Espigo Campana L = < 2 m	1		
	Espigo Campana L = entre 2 y 4 m	2		
	Espigo Campana L = entre 4.01 y 7 m	3		
	Soldada	4		
Estado de Accesorios (7,5%)	Buen Estado: Tiene una edad que no supera 10 años y se opera con frecuencia	1		
	Estado Normal: Tiene una edad ente 10 y 25 años y se opera con frecuencia	2		
	Regular Estado: Tiene una edad mayor a 25 años y se opera con frecuencia	3		
	Casi Crítico: Tiene una edad que no supera 10 años y hace mucho tiempo que no se ha operado	4		
	Crítico: Tiene una edad ente 10 y 25 años y hace mucho tiempo que no se ha operado	5		
	Muy Crítico: Tiene una edad mayor a 25 años y hace mucho tiempo que no se ha operado	6		
Variables de Comportamiento del Suelo (30%)	Susceptibilidad de Fenómenos de Remoción en Masa (9%)	Muy Baja (Muy estable)	1	
		Baja (Estable)	2	
		Moderada (Moderadamente estable)	3	
		Alta (Poco estable)	4	
		Muy Alta (Inestable)	5	
	Comportamiento Geotécnico (6%)	Zona 1 - Cerros (Roca)	1	
		Zona 2 - Piedemonte	2	
		Zona 3 Lacustre (Depósito > 50m)	3	
		Zona 4 Lacustre B (Depósito > 200m)	4	
	Agresividad del Suelo (15%)	Practicamente No Agresivo	1	
		Debilmente Agresivo	2	
		Agresivo	3	
	Fuertemente Agresivo	4		

	<b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78" TIBITOC - CASABLANCA</b>	 <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>	
<b>CONTRATO 1-02-25400-514-2006</b>	<b>PRODUCTO 8.1. INFORME DE METODOLOGÍA DEFINITIVA PARA LA VALORACIÓN DEL RIESGO DE LA LÍNEA</b>	<b>RTC-IF-GE-002</b>	<b>VERSIÓN: 2</b>
		<b>PÁGINA 19 DE 42 FECHA: 2008-01-02</b>	

A continuación se presenta una breve descripción de las variables estudiadas.

### 5.2.1 Variables Físicas

Las variables identificadas y su ponderación dentro del 70% correspondiente a las **Variables físicas** son:

1. Material: 10%
2. Características Circundantes de la Tubería Instalada: 15%
3. Tipo de Instalación: : 5%
4. Índice de Presión Interna: 15%
5. Índice de Cargas Externas: 7.5%
6. Alineamiento: : 5.0%
7. Tipo de Juntas y Longitud entre Juntas: 5.0%
8. Estado de Accesorios: 7.5%

La ponderación de cada factor (criterio) se realizó con en base en la opinión de los expertos, según la incidencia que presenta cada una en las **Variables físicas** y se presenta en el cuadro 5.2.

#### 5.2.1.1 Material

El tipo de Material que compone la tubería juega un papel importante en el funcionamiento de la misma. Las fallas generalmente son atribuidas al tipo de material asociado con la protección exterior a los agentes que la rodean.

Aunque para el caso que nos ocupa la tubería en los dos tramos en estudio es de tipo PCCP que corresponde a un tubo de concreto pretensado, fabricado bajo la norma AWWA C301, instalada en el año 1.970, es importante incorporar esta variable, por cuanto parte del estudio es el análisis de vulnerabilidad de la rehabilitación propuesta, caso en el cual se pueden presentar cambios de material en alguno o los dos tramos. Adicionalmente, se presentan otros tipos de material como son: acero en los sitios de las válvulas, tubos con salidas para accesorios y pasos aéreos o CCP en el caso del cruce del canal San Francisco.

	<b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78" TIBITOC - CASABLANCA</b>	 <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>	
<b>CONTRATO 1-02-25400-514-2006</b>	<b>PRODUCTO 8.1. INFORME DE METODOLOGÍA DEFINITIVA PARA LA VALORACIÓN DEL RIESGO DE LA LÍNEA</b>	<b>RTC-IF-GE-002</b>	<b>VERSIÓN: 2</b>
		<b>PÁGINA 20 DE 42 FECHA: 2008-01-02</b>	

Para la valoración de este criterio se tendrán en cuenta las inspecciones y demás información recopilada dentro del presente estudio, especialmente la relacionada en el entregable de caracterización de la línea y se actualizará la información una vez se tengan los resultados de la inspección interna de la tubería mediante ondas electromagnéticas.

Esta variable se califica de **1 a 3** (Universo de Discurso), dependiendo del tipo de material, así. CCP: **1**, Acero: **2**; PCCP: **3**.

#### **5.2.1.2 Características Circundantes de la Tubería Instalada**

Se incorporo este factor pensando en la incidencia que tienen las características externas del sitio en el que esta colocado cada tramo de tubería a lo largo de la línea. Este factor esta relacionado con que tan poblado esta el tramo en estudio, si cuenta con infraestructura vial o por el contrario se trata de zonas verdes con redes de otros servicios públicos o sin ellas, si esta instalado en calzada o no, si hay concentración de servicios e infraestructura.

Para la valoración de este criterio se tendrán en cuenta las inspecciones, los planos de obra construida y demás información recopilada dentro del presente estudio, especialmente la relacionada en el entregable de caracterización de la línea.

Esta variable se califica de **1 a 6** (Universo de Discurso), dependiendo de las Características Circundantes de la Tubería Instalada, así: Despoblado: **1**, Despoblado con infraestructura vial: **2**, Poblado e instalación en zona verde sin servicios: **3**, Poblado e instalación en zona verde con servicios: **4**, Poblado e instalado en calzada: **5** y Poblado y concentración de servicios e infraestructura: **6**.

#### **5.2.1.3 Tipo de Instalación**

Se incorporo este factor ya que lo largo de la línea se encuentran diferentes tipos de instalación que pueden variar la vulnerabilidad de los tramos, es así que se considera para el presente estudio tubería embebida en concreto, recubrimiento en concreto, aérea, en zanja, en terraplén y sumergida.

Para la valoración de este criterio se tendrán en cuenta las inspecciones, los planos de obra construida y demás información recopilada dentro del presente estudio, especialmente la relacionada en el entregable de caracterización de la línea.

	<b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78" TIBITOC - CASABLANCA</b>	 <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>	
<b>CONTRATO 1-02-25400-514-2006</b>	<b>PRODUCTO 8.1. INFORME DE METODOLOGÍA DEFINITIVA PARA LA VALORACIÓN DEL RIESGO DE LA LÍNEA</b>	<b>RTC-IF-GE-002</b>	<b>VERSIÓN: 2</b>
		<b>PÁGINA 21 DE 42 FECHA: 2008-01-02</b>	

Esta variable se califica de **1 a 6** (Universo de Discurso), dependiendo de las Características instalación de la Tubería, así: Embebida en Concreto: **1**, Recubrimiento en Concreto: **2**, Aérea: **3**, En Zanja: **4**, En Terraplén: **5** y Sumergida: **6**.

#### 5.2.1.4 Índice de Presión Interna

Se incorporo este factor con el fin de involucrar en el análisis la relación entre clase de tubería diseñada y la columna de agua de cada tramo de tubería considerado.

Para la valoración de este criterio se tendrán en cuenta las mediciones, los planos de obra construida y demás información del informe hidráulico elaborado dentro del presente estudio.

Esta variable se califica de **1 a 5** (Universo de Discurso), dependiendo del índice de presión interna considerado en cada tramo, así: Mayor de 1.5: **1**; entre 1.2 y 1.5: **2**; entre 1.1 y 1.2: **3**; entre 1.05 y 1.1: **4** y entre 1.0 y 1.05: **5**.

#### 5.2.1.5 Índice de Cargas Externas

Se incorporo este factor con el fin de involucrar en el análisis la relación entre la carga real de relleno encima del tubo y la carga para la cual fue diseñado.

Para la valoración de este criterio se tendrán en cuenta las mediciones, los planos de obra construida y demás información del informe hidráulico elaborado dentro del presente estudio.

Esta variable se califica de **1 a 5** (Universo de Discurso), dependiendo del índice de cargas externas considerado en cada tramo, así: Mayor de 2: **1**; entre 1.5 y 2.0: **2**; entre 1.2 y 1.5: **3**; entre 1.0 y 1.2: **4** y menor de 1: **5**.

#### 5.2.1.6 Alineamiento

Se incorporo este factor para tener en cuenta el diseño geométrico de la línea y las piezas con las cuales se deflectan los alineamientos en curva. Esta condición puede incidir en la variación de la vulnerabilidad física entre uno y otro tramo, es así como consideramos para nuestro estudio las siguientes condiciones: recto o en curva con deflexiones sucesivas hasta 30°; en curva con deflexiones sucesivas entre 30° y 60°; en

	<b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78" TIBITOC - CASABLANCA</b>	 <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>	
<b>CONTRATO 1-02-25400-514-2006</b>	<b>PRODUCTO 8.1. INFORME DE METODOLOGÍA DEFINITIVA PARA LA VALORACIÓN DEL RIESGO DE LA LÍNEA</b>	<b>RTC-IF-GE-002</b>	<b>VERSIÓN: 2</b>
		<b>PÁGINA 22 DE 42 FECHA: 2008-01-02</b>	

curva con deflexiones sucesivas entre 60° y 90°; codos menores de 30°; codos entre 30° y 60° y codos entre 60° y 90°.

Para la valoración de este criterio se tendrán en cuenta las inspecciones, los planos de obra construida y demás información recopilada dentro del presente estudio, especialmente la relacionada en el entregable de caracterización de la línea.

Esta variable se califica de **1 a 6** (Universo de Discurso), dependiendo del alineamiento en cada tramo, así: recto o en curva con deflexiones sucesivas hasta 30°: **1**; en curva con deflexiones sucesivas entre 30° y 60°: **2**; en curva con deflexiones sucesivas entre 60° y 90°: **3**; codos menores de 30°: **4**; codos entre 30° y 60°: **5** y codos entre 60° y 90°: **6**.

#### 5.2.1.7 Tipo de Juntas y Longitud entre Juntas

Se incorporo este factor ya que a lo largo de la línea se encuentran diferentes tipos de juntas y longitud de juntas entre uno y otro tubo, es así como consideramos para nuestro estudio las siguientes condiciones: Espigo Campana y longitud de tubos  $L < 2$  m; Espigo Campana y longitud de tubos  $L =$  entre 2 y 4 m; Espigo Campana y longitud de tubos  $L =$  entre 4 y 7 m y Junta Soldada.

Para la valoración de este criterio se tendrán en cuenta las inspecciones, los planos de obra construida y demás información recopilada dentro del presente estudio, especialmente la relacionada en el entregable de caracterización de la línea.

Esta variable se califica de **1 a 4** (Universo de Discurso), dependiendo del tipo de junta y longitud entre juntas en cada tramo, así: Espigo Campana y longitud de tubos  $L < 2$  m: **1**; Espigo Campana y longitud de tubos  $L =$  entre 2 y 4 m: **2**; Espigo Campana y longitud de tubos  $L =$  entre 4 y 7 m: **3** y Junta Soldada: **4**.

#### 5.2.1.8 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), **Estado Normal** (cuando el accesorio tiene una edad entre 10 y 25 años y se opera con relativa frecuencia),

	<b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78" TIBITOC - CASABLANCA</b>	  SILVA CARREÑO Y ASOCIADOS S.A. <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>	
<b>CONTRATO</b> <b>1-02-25400-514-2006</b>	<b>PRODUCTO 8.1. INFORME DE METODOLOGÍA DEFINITIVA PARA LA VALORACIÓN DEL RIESGO DE LA LÍNEA</b>	<b>RTC-IF-GE-002</b>	<b>VERSIÓN: 2</b>
		<b>PÁGINA 23 DE 42</b> <b>FECHA: 2008-01-02</b>	

**Regular Estado** (Cuando el accesorio tiene una edad mayor a 25 años y se opera con frecuencia), **Estado Casi Crítico** (cuando el accesorio tiene una edad que no supera 10 años y hace mucho tiempo que no se ha operado), **Estado Crítico** (cuando el accesorio tiene una edad ente 10 y 25 años y hace mucho tiempo que no se ha operado) y **Estado Muy Crítico** (cuando el accesorio tiene una edad mayor a 25 años y hace mucho tiempo que no se ha operado)

### 5.2.2 Variables de Comportamiento del Suelo

Las variables identificadas y su ponderación dentro del 30% correspondiente a la Vulnerabilidad por Variables de Comportamiento del Suelo son:

1. Susceptibilidad de Fenómenos de Remoción en Masa: 9%
2. Comportamiento Geotécnico: 6%
3. Agresividad del Suelo: 15%

La ponderación de cada factor (criterio) se realizó con en base en la opinión de los expertos, según la incidencia que presenta cada una en las **Variables de Comportamiento del Suelo**.

#### 5.2.2.1 Susceptibilidad de Fenómenos de Remoción en Masa

Esta variable mide el grado de peligro o susceptibilidad a la remoción en masa de la formación geológica superficial y suelos generados por factores hidrometeorológicos, sísmicos, químicos o una combinación de éstos, que pueda afectar la tubería a lo largo de su trazado. Incluye desde cárcavas, avalanchas, deslizamientos, desprendimientos de roca, flujos de materiales mixtos, derrumbes y en general cualquier tipo de erosión intensa del suelo o de la formación geológica superficial.

Para la valoración de este criterio se utilizarán los resultados de la caracterización y zonificación geotécnica de la línea.

Esta variable se califica de **1 a 5** (Universo de Discurso), dependiendo de la susceptibilidad a la remoción en masa considerada en cada tramo, así: Muy baja (muy estable): **1**; Baja (Estable): **2**; moderada (moderadamente estable): **3**; Alta (Poco estable): **4** y muy alta (inestable): **5**.

	<b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78" TIBITOC - CASABLANCA</b>	  SILVA CARREÑO Y ASOCIADOS S.A. <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>	
<b>CONTRATO 1-02-25400-514-2006</b>	<b>PRODUCTO 8.1. INFORME DE METODOLOGÍA DEFINITIVA PARA LA VALORACIÓN DEL RIESGO DE LA LÍNEA</b>	<b>RTC-IF-GE-002</b>	<b>VERSIÓN: 2</b>
		<b>PÁGINA 24 DE 42 FECHA: 2008-01-02</b>	

### 5.2.2.2 Comportamiento Geotécnico

Esta variable mide el conjunto de características geológicas y propiedades geotécnicas determinadas a partir de los ensayos de identificación y mecánicos realizados en campo como en laboratorio, que definen la capacidad portante de los suelos, estabilidad de taludes, cortes y excavaciones, comportamiento esfuerzo-deformación (asentamientos, expansiones). Suelos blandos comprensibles, suelos expansivos, suelos dispersivos, suelos licuables, son algunos de los tipos de suelos que generarían inestabilidad sobre el terreno y la tubería enterrada.

Para la valoración de este criterio se utilizarán los resultados de la caracterización y zonificación geotécnica de la línea.

Esta variable se califica de **1 a 4** (Universo de Discurso), dependiendo del comportamiento geotécnico considerado en cada tramo, así: Zona 1 - Cerros (roca): **1**; Zona 2 - Piedemonte: **2**; Zona 3 - lacustre (depósito > 40 m): **3** y Zona 4 - lacustre (depósito > 200 m): **4**.

### 5.2.2.3 Agresividad del suelo

Por necesidades mecánicas, económicas y de seguridad, las estructuras y elementos de acero enterrados, pueden verse sometidos a procesos de corrosión generados por: bacterias sulfato-reductoras en función del potencial Redox, caracterización fisicoquímica de los suelos, resistividad del terreno, aireación diferencial (atravesando terrenos de naturaleza diferente, ya que puede ser muy distinta la permeabilidad al aire en cada uno de sus componentes y por tanto mayores sus diferencias en la concentración de oxígeno), corrientes parásitas, entre otros procesos, por lo que es necesario proteger la tubería contra la corrosión.

Es por eso que se hace necesario introducir esta variable, ya que la agresividad del suelo también puede afectar las tuberías debido a la presencia de celdas anódicas, indicadores probables de corrosión y defectos en el mortero de protección de los alambres pre-esforzados de la tubería. Se deben evaluar las tuberías que tienen un historial de mantenimiento excesivo debido a fugas y daños causados por la corrosión.

Para la valoración de este criterio se tendrán en cuenta los resultados de los estudios de corrosión adelantados dentro del presente estudio.

	<b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78” TIBITOC - CASABLANCA</b>	 <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>	
<b>CONTRATO 1-02-25400-514-2006</b>	<b>PRODUCTO 8.1. INFORME DE METODOLOGÍA DEFINITIVA PARA LA VALORACIÓN DEL RIESGO DE LA LÍNEA</b>	<b>RTC-IF-GE-002</b>	<b>VERSIÓN: 2</b>
		<b>PÁGINA 25 DE 42 FECHA: 2008-01-02</b>	

Esta variable se califica de **1 a 4** (Universo de Discurso), dependiendo de la agresividad del suelo considerada en cada tramo, así: No Agresivo: **1**; Poco Agresivo: **2**; Agresivo: **3** y Muy Agresivo: **4**.

### 5.3 VULNERABILIDAD OPERATIVA

Hace referencia a aspectos relacionados con la prestación del servicio, para lo cual es necesario contar con datos relevantes de calidad del servicio. Para el caso de agua potable, interesa caracterizar la capacidad del sistema (población atendida), continuidad del servicio, cobertura y facilidad de suministro alterno.

- Para el cálculo de la vulnerabilidad operativa se identificaron los factores operativos que pueden afectar la prestación del servicio.
- Se realizó un proceso de análisis de las variables intervinientes en el comportamiento del sistema, que fue el que determinó el peso que tendría cada tipo de variable en la **Vulnerabilidad Operativa**.

Se considero para este análisis que la vulnerabilidad operativa tiene una incidencia del 25% en la vulnerabilidad global.

Vale la pena anotar que el Universo de discurso (resultado) para la Vulnerabilidad Operativa se definió numéricamente de 0 a 1 y puede ser: “Muy Baja (0 – 0.22)”, “Baja (0.22-0.44)”, “Moderada (0.44-0.66)”, “Alta (0.66-0.88)” y “Muy Alta (0.88-1.00)”, y será el resultado de ponderar la vulnerabilidad asociada a variables operativas, según los pesos establecidos y dependerá de la información específica de línea red matriz de 78” en el programa FUZZYNET.

Las variables identificadas y su ponderación son:

1. Población Efectivamente Afectada: 50%
2. Facilidad de Aislamiento: 20%
3. Facilidad de Acceso: 20%
4. Variables Hidráulicas: 10%

La ponderación de cada factor (criterio) se realizó con en base en la opinión de los expertos. Para la valoración de los criterios asociados a las variables de vulnerabilidad operativa, se tendrán en cuenta las inspecciones y demás información recopilada dentro

	<b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78" TIBITOC - CASABLANCA</b>	  SILVA CARREÑO Y ASOCIADOS S.A. <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>	
<b>CONTRATO 1-02-25400-514-2006</b>	<b>PRODUCTO 8.1. INFORME DE METODOLOGÍA DEFINITIVA PARA LA VALORACIÓN DEL RIESGO DE LA LÍNEA</b>	<b>RTC-IF-GE-002</b>	<b>VERSIÓN: 2</b>
		<b>PÁGINA 26 DE 42 FECHA: 2008-01-02</b>	

del presente estudio, especialmente la relacionada en el entregable de caracterización de la línea.

La ponderación de cada componente, su incidencia en la Vulnerabilidad Operativa y los criterios de evaluación de cada una se presentan en el cuadro 5.4; estos valores fueron ajustados como producto de la reunión con los funcionarios de la Empresa de Acueducto.

	<b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78" TIBITOC - CASABLANCA</b>	 <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>						
<b>CONTRATO 1-02-25400-514-2006</b>	<b>PRODUCTO 8.1. INFORME DE METODOLOGÍA DEFINITIVA PARA LA VALORACIÓN DEL RIESGO DE LA LÍNEA</b>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">RTC-IF-GE-002</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">VERSIÓN: 2</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">PÁGINA 27 DE 42</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">FECHA: 2008-01-02</td> </tr> </table>	RTC-IF-GE-002	VERSIÓN: 2	PÁGINA 27 DE 42		FECHA: 2008-01-02	
RTC-IF-GE-002	VERSIÓN: 2							
PÁGINA 27 DE 42								
FECHA: 2008-01-02								

## CUADRO 5.4 CRITERIOS DE EVALUACION VULNERABILIDAD OPERATIVA

TIPO DE VULNERABILIDAD	VARIABLES (PONDERACION)	CRITERIO (PONDERACION)	CONDICIÓN	DEFINICIONES	CATEGORIA (de menos a mas crítico)
<b>Vulnerabilidad Operativa (25%)</b>	Variables Operativas (100%)	Población Efectivamente Afectada (50%)	No Crítico	No hay afectación a usuarios y de existir son relativamente pocos	1
			Medianamente Crítico	< 500.000 personas	2
			Casi Crítico	Entre 500.000 y 1.000.000 personas	3
			Crítico	Entre 1.000.000 y 1.500.000 personas	4
			Muy Crítico	> 1.500.000 personas	5
		Facilidad de Aislamiento (20%)	Fácil	Es fácil desaguar el tramo de tubería, conectar el cabezote y operar la válvula	1
			Moderado	el nivel de dificultad de desaguar la tubería, conectar el cabezote y operar la válvula, es el normal	2
			Difícil	Cuando los obstaculos e incomodidades para realizar tales operaciones demandan mas tiempo del normal	3
		Facilidad de Acceso (20%)	Fácil	No hay ningún Obstaculo para acceder al sitio	1
			Moderado	Los problemas que se presentan para acceder al sitio son superados rápidamente	2
			Difícil	Es muy complicado acceder al sitio del evento	3
		Variables Hidráulicas (10%)	Bajo	Presión entre 30 y 50 mca y caudal menor de 4.0 m3/s o Presión entre 50 y 75 mca y caudal menor de 2.0 m3/s	1
			Moderado	Presión entre 30 y 50 mca y caudal mayor de 4.0 m3/s o Presión entre 50 y 75 mca y caudal menor de 4.0 m3/s	2
			Alto	Presión entre 50 y 75 mca y caudal mayor de 4.0 m3/s o Presión mayor de 75 mca y cualquier caudal	3

	<b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78” TIBITOC - CASABLANCA</b>	  SILVA CARREÑO Y ASOCIADOS S.A. <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>	
<b>CONTRATO</b> <b>1-02-25400-514-2006</b>	<b>PRODUCTO 8.1. INFORME DE METODOLOGÍA DEFINITIVA PARA LA VALORACIÓN DEL RIESGO DE LA LÍNEA</b>	<b>RTC-IF-GE-002</b>	<b>VERSIÓN: 2</b>
		<b>PÁGINA 28 DE 42</b> <b>FECHA: 2008-01-02</b>	

### 5.3.1.1 Población Efectivamente Afectada

Se refiere al porcentaje de población afectada por el evento en la tubería con respecto al total de población de Bogotá y se califica de 0 a aproximadamente 2.000.000 de personas (Universo de Discurso), teniendo en cuenta que a través de la línea matriz de acueducto Tibitoc – Casablanca se suministra agua al 30% de la población. Vale la pena anotar que el término “Efectivamente”, se refiere a que se entiende Población Efectivamente Afectada cuando ya se hayan agotado todas las alternativas de suministro alterno (esto es, si se le puede suministrar el agua al sector, acudiendo al manejo operativo desde otras líneas) y es en definitiva la población a la que no le llega agua, ni aún utilizando esas alternativas. El Universo de Discurso para esta variable, se define de la siguiente forma: **No crítico** (cuando no hay afectación a usuarios y de existir son pocos); **Medianamente Crítico** (menos de 500.000 personas); **Casi Crítico** (entre 500.000 y 1.000.000 de personas); **Crítico** (entre 1.000.000 y 1.500.000 personas) y **Muy Crítico** (mayor a 1.500.000 personas).

### 5.3.1.2 Facilidad de Aislamiento

Se refiere al nivel de dificultad que se tenga de aislar el tramo involucrado en un evento de salida de servicio 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), el tiempo de drenaje de la tubería es menor de 5 horas; **Moderado** (el nivel de dificultad de desaguar la tubería, conectar el cabezote y operar la válvula, es el normal), se considera para este caso un tiempo de drenaje de la tubería entre 5 y 12 horas; **Difícil** (cuando los obstáculos e incomodidades, para realizar tales operaciones, demandan mas tiempo del normalmente empleado en éstos casos).

### 5.3.1.3 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).

	<b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78" TIBITOC - CASABLANCA</b>	 <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>	
<b>CONTRATO 1-02-25400-514-2006</b>	<b>PRODUCTO 8.1. INFORME DE METODOLOGÍA DEFINITIVA PARA LA VALORACIÓN DEL RIESGO DE LA LÍNEA</b>	<b>RTC-IF-GE-002</b>	<b>VERSIÓN: 2</b>
		<b>PÁGINA 29 DE 42 FECHA: 2008-01-02</b>	

### 5.3.1.4 Variables Hidráulicas

Estas variables se califican de **1 a 3** (Universo de Discurso), dependiendo de la presión interna y el caudal considerado en cada tramo, así: **Bajo** (presión entre 30 y 50 mca y caudal menor de 4 m<sup>3</sup>/s, o presión entre 50 y 75 mca y caudal menor de 2 m<sup>3</sup>/s): **1**; **Moderado** (presión entre 30 y 50 mca y caudal mayor de 4 m<sup>3</sup>/s, o presión entre 50 y 75 mca y caudal menor de 4 m<sup>3</sup>/s): **2** y **Alto** (presión entre 50 y 75 mca y caudal mayor de 4 m<sup>3</sup>/s, o presión mayor de 75 mca y cualquier caudal): **3**.

Para la valoración de este criterio se tendrán en cuenta las mediciones y demás información del informe hidráulico elaborado dentro del presente estudio.

### 5.4 VULNERABILIDAD SISMICA

Bajo la ocurrencia de un sismo, el terreno puede presentar deformaciones permanentes causadas por superficies de falla, licuación, asentamientos y deslizamientos, los cuales pueden generar la falla por rotura de las tuberías, goteos o puesta fuera de servicio.

Se considero para este análisis que la vulnerabilidad sísmica tiene una incidencia del 20% en la vulnerabilidad global.

Las características finales de la respuesta sísmica de un determinado depósito de suelo, ante la ocurrencia de eventos sísmicos, depende de (Véase Figura 1):

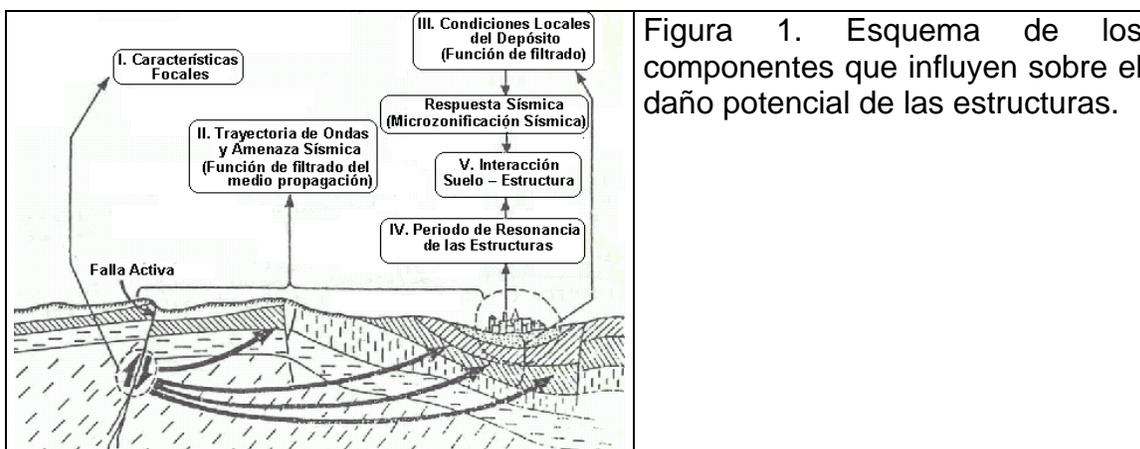


Figura 1. Esquema de los componentes que influyen sobre el daño potencial de las estructuras.

	<b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78" TIBITOC - CASABLANCA</b>	 <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>	
<b>CONTRATO 1-02-25400-514-2006</b>	<b>PRODUCTO 8.1. INFORME DE METODOLOGÍA DEFINITIVA PARA LA VALORACIÓN DEL RIESGO DE LA LÍNEA</b>	<b>RTC-IF-GE-002</b>	<b>VERSIÓN: 2</b>
		<b>PÁGINA 30 DE 42 FECHA: 2008-01-02</b>	

- Características Focales del movimiento: parámetros del mecanismo focal, duración, amplitud, energía liberada, periodo fundamental, contenido frecuencial del movimiento sísmico.
- Trayectoria de ondas: topografía superficial y subterránea atravesada, efectos de los materiales sobreyacentes (no linealidad, amortiguamiento).
- Amenaza Sísmica: condiciones naturales ambiente (sismicidad local, regional, tectónica).
- Efectos de sitio: Características del subsuelo, fenómenos de triple resonancia suelo–sismo–estructuras.

En general, puede presentarse fenómenos de amplificación del movimiento ondulatorio en la superficie por fenómenos de amplificación topográfica y triple resonancia por similitud entre los periodos de vibración de los depósitos de suelo, el sismo y las estructuras cimentadas sobre ellos. Los suelos pueden amplificar o atenuar los movimientos incidentes dependiendo de sus características dinámicas y de las características y amplitud de los movimientos en la base.

Para el cálculo de la vulnerabilidad sísmica se identificaron los factores sísmicos que pueden afectar las tuberías o que podrían generar un daño ocasionalmente. Estos factores serán agrupados de la siguiente forma:

- Deformaciones Permanentes
- Deformaciones Transientes

Para cada una de los factores identificados se realizó un proceso de análisis de las variables intervinientes en el comportamiento de cada uno, que fue el que determinó el peso que tendría cada tipo de variable en la **Vulnerabilidad Sísmica**. Los pesos dados a cada una de las variables dentro de la Vulnerabilidad Sísmica son:

- Variables Deformaciones Permanentes: 40%
- Variables Deformaciones Transientes: 60%

	<b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78” TIBITOC - CASABLANCA</b>	 <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>	
<b>CONTRATO 1-02-25400-514-2006</b>	<b>PRODUCTO 8.1. INFORME DE METODOLOGÍA DEFINITIVA PARA LA VALORACIÓN DEL RIESGO DE LA LÍNEA</b>	<b>RTC-IF-GE-002</b>	<b>VERSIÓN: 2</b>
		<b>PÁGINA 31 DE 42 FECHA: 2008-01-02</b>	

- Se le asigno un mayor peso a las Variables de Deformaciones Transientes, en razón a que es la que agrupa mayor número de factores debido a la ocurrencia en sí del sismo.

Vale la pena anotar que el Universo de discurso (resultado) para la Vulnerabilidad Sísmica se definió numéricamente de 0 a 1 y puede ser: “Muy Baja (0 – 0.22)”, “Baja (0.22-0.44)”, “Moderada (0.44-0.66)”, “Alta (0.66-0.88)” y “Muy Alta (0.88-1.00)”, y será el resultado de ponderar la vulnerabilidad asociada a las deformaciones permanentes y deformaciones transientes, según los pesos establecidos y dependerá de la información específica de línea red matriz de 78” en el programa FUZZYNET.

La ponderación de cada componente, su incidencia en la Vulnerabilidad Sísmica y los criterios de evaluación de cada una se presenta en el cuadro 5.5.

### CUADRO 5.5 CRITERIOS DE EVALUACION VULNERABILIDAD SISMICA

TIPO DE VULNERABILIDAD	VARIABLES (PONDERACION)	CRITERIO (PONDERACION)	CONDICIÓN / RANGO	CATEGORIA (de menos a mas crítico)
<b>VULNERABILIDAD SISMICA (20%)</b>	Deformaciones Permanentes (40%)	Comportamiento Geotécnico (15%)	Zona 1 - Cerros (Roca)	1
			Zona 2 - Piedemonte	2
			Zona 3 Lacustre (Depósito > 50m)	3
			Zona 4 Lacustre B (Depósito > 200m)	4
		Susceptibilidad de Fenómenos de Remoción en Masa (10%)	Muy Baja (Muy estable)	1
			Baja (Estable)	2
			Moderada (Moderadamente estable)	3
			Alta (Poco estable)	4
			Muy Alta (Inestable)	5
		Potencial de Licuación (10%)	Bajo	1
			Moderado	2
			Alto	3
	Potencial de Asentamiento Post-Sismo (5%)	Bajo	1	
		Moderado	2	
		Alto	3	
	Deformaciones Transientes (60%)	Efecto deformación Onda Transiente (Tp, Vp, C) (12.5%)	Bajo	1
			Moderado	2
			Alto	3
		Efectos de Amplificación Local (15%)	Muy Bajo	1
			Bajo	2
			Moderado	3
			Alto	4
			Muy Alto	5
		Aceleración Pico de Terreno (PGA) (10%)	Bajo	1
Moderado			2	
Alto			3	
Velocidad Pico del Terreno (PGV) (15%)		Bajo	1	
	Moderado	2		
	Alto	3		
Cambio de Rigidez (7.5%)	Suelo - Suelo	1		
	Piedemonte - Suelo	2		
	Roca - Suelo	3		

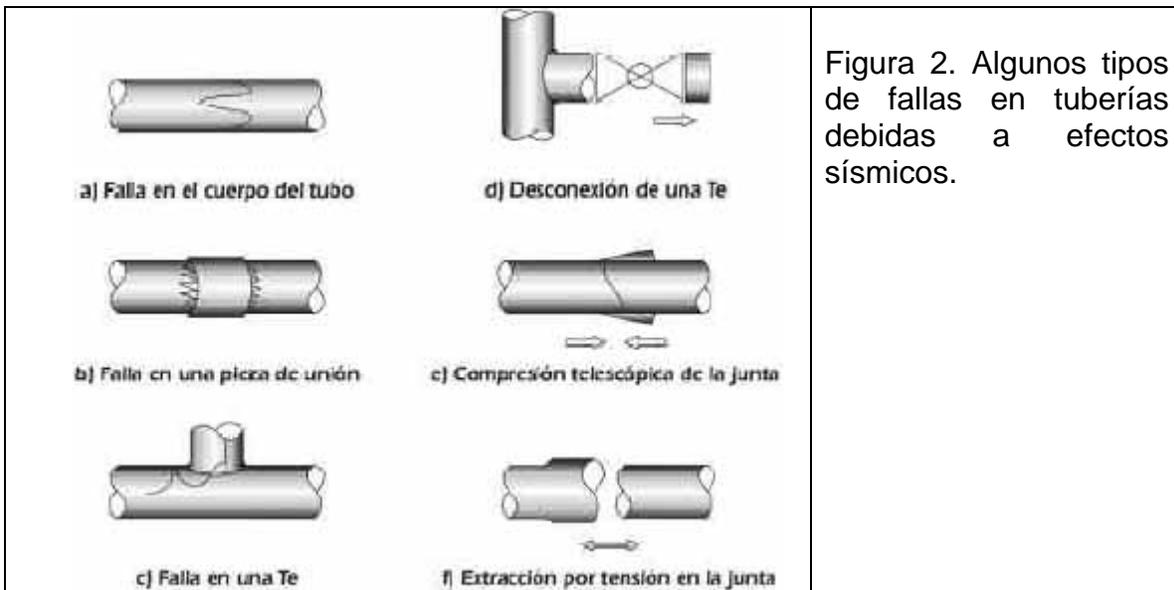
	<b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78" TIBITOC - CASABLANCA</b>	 <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>	
<b>CONTRATO 1-02-25400-514-2006</b>	<b>PRODUCTO 8.1. INFORME DE METODOLOGÍA DEFINITIVA PARA LA VALORACIÓN DEL RIESGO DE LA LÍNEA</b>	<b>RTC-IF-GE-002</b>	<b>VERSIÓN: 2</b>
		<b>PÁGINA 32 DE 42 FECHA: 2008-01-02</b>	

El análisis se presenta a continuación:

#### 5.4.1 Variables Deformaciones Permanentes

Los materiales sufren deformaciones permanentes al someterlos a carga y descarga, originando una pérdida de energía y por lo general un cambio de las propiedades con él numero de ciclos.

Las tuberías se mueven con el suelo durante la licuefacción o el flujo lateral, el asentamiento diferencial, el agrietamiento y el deslizamiento. Las tuberías fallan porque se doblan, se someten a esfuerzos de corte, a tracción y a compresión (Véase Figura 2). Este mecanismo de daño (deformaciones permanentes del suelo) incrementa las tasas de falla en comparación con la propagación de ondas. Las tuberías parcialmente vacías (principalmente alcantarillados de gravedad) pueden flotar debido a la licuefacción si la profundidad a la que se encuentra enterrada la tubería está dentro de la capa licuada. Así mismo, las conexiones pueden romper la tubería y afectar los servicios.



	<b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78" TIBITOC - CASABLANCA</b>	  SILVA CARREÑO Y ASOCIADOS S.A. <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>	
<b>CONTRATO 1-02-25400-514-2006</b>	<b>PRODUCTO 8.1. INFORME DE METODOLOGÍA DEFINITIVA PARA LA VALORACIÓN DEL RIESGO DE LA LÍNEA</b>	RTC-IF-GE-002	VERSIÓN: 2
		PÁGINA 33 DE 42 FECHA: 2008-01-02	

Las variables permanentes identificadas y su ponderación dentro del 40% correspondiente a la Vulnerabilidad por Deformaciones Permanentes son:

1. Comportamiento Geotécnico: 15%
2. Susceptibilidad de Fenómenos de Remoción en Masa: 10%
3. Potencial de Licuación: 10%
4. Potencial de Asentamiento: 5%

La ponderación de cada factor (criterio) se realizó con base en la opinión de los expertos, según la incidencia que presenta cada una en las **Deformaciones Permanentes** y se muestra en el cuadro 5.5.

#### 5.4.1.1 Comportamiento Geotécnico

Dependiendo del tipo y estructura del suelo, de las propiedades geotécnicas (ángulo de fricción interna, resistencia al corte, cohesión, permeabilidad, grado de saturación, deformabilidad, etc.), de la magnitud de los esfuerzos inducidos, de las condiciones de frontera, el suelo puede presentar deslizamientos, fallas por pérdida de capacidad portante o generación de superficies de falla, lo cual puede generar la falla de la tubería.

Los factores que afectan el comportamiento de los suelos bajo cargas dinámicas, son de dos tipos: composicionales (composición, estructura) y ambientales (factores externos), los cuales pueden enumerarse así:

1. Tipo de suelo y propiedades (densidad, contenido de agua, fábrica y estructura, etc.)
2. Estados de esfuerzos
3. Historia de esfuerzos,
4. Condiciones de frontera,
5. Historia de las deformaciones cíclicas del depósito,
6. Características del sismo (amplitud, frecuencia y magnitud de las cargas ),
7. Grado de saturación, del tiempo y la temperatura.
8. Acumulación de exceso de presiones de poros con el incremento de ciclos de carga.
9. Número de ciclos de carga-descarga

	<b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78" TIBITOC - CASABLANCA</b>	 <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>	
<b>CONTRATO 1-02-25400-514-2006</b>	<b>PRODUCTO 8.1. INFORME DE METODOLOGÍA DEFINITIVA PARA LA VALORACIÓN DEL RIESGO DE LA LÍNEA</b>	RTC-IF-GE-002	VERSIÓN: 2
		PÁGINA 34 DE 42 FECHA: 2008-01-02	

Esta variable se introduce en el análisis con el fin de incorporar la incidencia del comportamiento geotécnico desde el punto de vista sísmico en la ponderación de la Vulnerabilidad Sísmica.

Para la valoración de este criterio se utilizarán los resultados de la caracterización y zonificación geotécnica de la línea.

Esta variable se califica de **1 a 4** (Universo de Discurso), dependiendo del Comportamiento Geotécnico considerado en cada tramo, así: Zona 1-Cerros (roca): **1**; Zona 2-Piedemonte: **2**; Zona 3-lacustre (depósito>50 m): **3** y Zona 4-lacustre (depósito>200 m): **4**.

#### 5.4.1.2 Susceptibilidad de Fenómenos de Remoción en Masa

Esta variable mide la ocurrencia de deslizamientos disparados por el evento sísmico como detonante, puede generar la ruptura de la tubería o que esta quede fuera servicio.

Para la valoración de este criterio se utilizarán los resultados de la caracterización y zonificación geotécnica de la línea.

Esta variable se califica de **1 a 5** (Universo de Discurso), dependiendo de la susceptibilidad a la remoción en masa considerada en cada tramo, así: Muy baja (muy estable): **1**; Baja (Estable): **2**; Moderada (moderadamente estable): **3**; Alta (Poco estable): **4** y Muy Alta (inestable): **5**.

#### 5.4.1.3 Potencial de Licuación

Estudios internacionales han mostrado que las tasas de falla de las tuberías (en reparaciones por unidad de longitud) son más altas en áreas que tienen fallas en el terreno o licuefacción<sup>2</sup>.

El desplazamiento causado por la transformación de un suelo saturado, poco cohesivo a un estado de licuación ó de reducción sustancial de la resistencia al corte, induce deformaciones a la tubería causadas por: 1) deslizamiento lateral, 2)

<sup>2</sup> Yegian, Mishac; Holtz, Robert (1998). Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics III. ASCE, Vol.2 Pág. 1392-1426.

	<b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78" TIBITOC - CASABLANCA</b>	 <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>	
<b>CONTRATO 1-02-25400-514-2006</b>	<b>PRODUCTO 8.1. INFORME DE METODOLOGÍA DEFINITIVA PARA LA VALORACIÓN DEL RIESGO DE LA LÍNEA</b>	RTC-IF-GE-002	VERSIÓN: 2
		PÁGINA 35 DE 42 FECHA: 2008-01-02	

falla por flujo, 3) subsidencia local, 4) asentamiento post-sismo, 5) efectos de flotación, y 6) pérdida de capacidad de soporte.

Esta variable se introduce en el análisis con el fin de incorporar la incidencia del fenómeno en el análisis.

Esta variable se califica de **1 a 3** (Universo de Discurso), dependiendo del potencial de licuación considerado en cada tramo, así: Bajo: **1**; Moderado: **2** y Alto: **3**.

#### 5.4.1.4 Potencial de Asentamiento

Los esfuerzos de corte cíclicos a los que es sometido el terreno durante el sismo, generan en suelos blandos y granulares, la densificación por la liberación del exceso de presión de poros acumulado durante el sismo y sobrecarga dinámica aplicada en suelos cohesivos blandos, y por acomodación del material granular y licuación en los suelos granulares. Esta densificación puede llegar a originar deformaciones diferenciales que pueden generar la rotura de la tubería ó las uniones.

Esta variable se introduce en el análisis con el fin de incorporar la incidencia del fenómeno en la ponderación de la Vulnerabilidad Sísmica.

Esta variable se califica de **1 a 3** (Universo de Discurso), dependiendo del potencial de asentamiento post-sismo considerado en cada tramo, así: Bajo: **1**; Moderado: **2** y Alto: **3**.

#### 5.4.2 Variables Deformaciones Transientes

Se relacionan a continuación las principales variables asociadas con los parámetros del movimiento sísmico resultantes luego de modelar la respuesta dinámica de terreno por la propagación de los sismos de diseño.

La respuesta dinámica del subsuelo con los acelerogramas escogidos para representar la amenaza sísmica, la malla de elementos finitos diseñada, los parámetros geotécnicos del subsuelo (estáticos y dinámicos) y los programas dinámicos de propagación de ondas de corte (QUAD4M) sobre el perfil geotécnico, se medirá con la obtención de los siguientes parámetros (para cada acelerograma): aceleraciones horizontales máximas en el perfil (Ah<sub>máx</sub>), espectros de respuesta a

	<b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78" TIBITOC - CASABLANCA</b>	  SILVA CARREÑO Y ASOCIADOS S.A. <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>	
<b>CONTRATO</b> <b>1-02-25400-514-2006</b>	<b>PRODUCTO 8.1. INFORME DE METODOLOGÍA DEFINITIVA PARA LA VALORACIÓN DEL RIESGO DE LA LÍNEA</b>	<b>RTC-IF-GE-002</b>	<b>VERSIÓN: 2</b>
		<b>PÁGINA 36 DE 42</b> <b>FECHA: 2008-01-02</b>	

nivel de cimentación de la tubería (PSA) y velocidades pico máximas generados por la propagación de los esfuerzos de corte al subsuelo por los sismos.

Las variables transientes identificadas y su ponderación dentro del 60% correspondiente a la Vulnerabilidad por Deformaciones Transientes son:

1. Efecto deformación Onda Transiente: 12.5%
2. Efectos de Amplificación Local: 15%
3. Aceleración Pico de Terreno (PGA): 10%
4. Velocidad Pico de Terreno (PGV): 15%
5. Cambio de Rigidez: 7.5%

Esta variable se califica de **1 a 3** (Universo de Discurso), dependiendo del efecto deformación onda transiente considerado en cada tramo, así: Bajo: **1**; Moderado: **2** y Alto: **3**.

La ponderación de cada factor (criterio) se realizó con en base en la opinión de los expertos, según la incidencia que presenta cada una en las **Deformaciones Transientes** y se muestra en el cuadro 5.5.

#### 5.4.2.1 Efecto Deformación Onda Transiente

Las tuberías se rompen debido al paso de la onda sísmica como resultado del movimiento diferencial a lo largo del eje longitudinal de la tubería. La tracción y compresión producen el movimiento diferencial primario. La tasa de falla (reparación por unidad de longitud) es pequeña comparada con otros mecanismos de fallas. La flexión o rotación de las uniones es insignificante; sin embargo, el daño generalmente no ocurre en una unión típica de la tubería.

Esta variable se introduce en el análisis con el fin de incorporar la incidencia del fenómeno en la ponderación de la Vulnerabilidad Sísmica.

Esta variable se califica de **1 a 3** (Universo de Discurso), dependiendo del efecto deformación onda transiente considerado en cada tramo, así: Bajo: **1**; Moderado: **2** y Alto: **3**.

	<b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78" TIBITOC - CASABLANCA</b>	 <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>	
<b>CONTRATO 1-02-25400-514-2006</b>	<b>PRODUCTO 8.1. INFORME DE METODOLOGÍA DEFINITIVA PARA LA VALORACIÓN DEL RIESGO DE LA LÍNEA</b>	RTC-IF-GE-002	VERSIÓN: 2
		PÁGINA 37 DE 42 FECHA: 2008-01-02	

#### 5.4.2.2 Efectos de Amplificación Local

Pueden presentarse fenómenos de amplificación del movimiento ondulatorio en la superficie por fenómenos de amplificación topográfica y triple resonancia por similitud entre los periodos de vibración de los depósitos de suelo, el sismo y las estructuras cimentadas sobre ellos. Los suelos pueden amplificar o atenuar los movimientos incidentes dependiendo de sus características dinámicas y de las características y amplitud de los movimientos en la base. Los esfuerzos y deformaciones generados durante el sismo pueden producir la ruptura de la tubería en sitios donde se identifiquen grandes amplificaciones del movimiento incidente (aceleraciones).

Esta variable se introduce en el análisis con el fin de incorporar la incidencia del fenómeno en la ponderación de la Vulnerabilidad Sísmica.

Esta variable se califica de **1 a 5** (Universo de Discurso), dependiendo del efecto de amplificación local considerado en cada tramo, así: Muy Bajo: **1**; Bajo: **2**; Moderado: **3**; Alto: **4** y Muy Alto: **5**.

#### 5.4.2.3 Aceleración Pico de Terreno (PGA)

La variación de las aceleraciones máximas en toda la sección estudiada (como curvas de isoaceleraciones horizontales del terreno), y la obtención de las aceleraciones horizontales máximas ( $A_{hm\acute{a}x}$ ) a lo largo de la superficie y nivel de cimentación de la tubería (a lo largo de todo el trazado), para cada uno de los acelerogramas utilizados (sismos de diseño), serán utilizadas para identificar puntos críticos en los cuales ciertas condiciones geotécnicas, geológicas pueden favorecer la generación de fenómenos de licuación, subsidencia, deslizamientos que puedan afectar la tubería del proyecto. En diversas investigaciones internacionales, este parámetro ha sido usado para evaluar la vulnerabilidad de los sistemas de conducción de agua potable.<sup>3</sup>

Esta variable se introduce en el análisis con el fin de incorporar la incidencia del fenómeno en la ponderación de la Vulnerabilidad Sísmica.

<sup>3</sup> Toprak, Selcuk; KOC, A.; Taskin, Filiz. Evaluation of water distribution pipeline performance against earthquakes. 4th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering. June 25-28, 2007. Paper No.1748.

	<b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78" TIBITOC - CASABLANCA</b>	  SILVA CARREÑO Y ASOCIADOS S.A. <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>	
<b>CONTRATO</b> <b>1-02-25400-514-2006</b>	<b>PRODUCTO 8.1. INFORME DE METODOLOGÍA DEFINITIVA PARA LA VALORACIÓN DEL RIESGO DE LA LÍNEA</b>	<b>RTC-IF-GE-002</b>	<b>VERSIÓN: 2</b>
		<b>PÁGINA 38 DE 42</b> <b>FECHA: 2008-01-02</b>	

Esta variable se califica de **1 a 3** (Universo de Discurso), dependiendo de aceleración pico de terreno considerada en cada tramo, así: Bajo: **1**; Moderado: **2** y Alto: **3**.

#### 5.4.2.4 Velocidad Pico de Terreno (PGV)

Investigaciones recientes, han mostrado que sitios con suelos blandos y sueltos en donde se producen altas aceleraciones y velocidades del terreno pico ante la propagación del movimiento sísmico, generaron la ocurrencia de mayores daños y puestas fuera de servicio de tuberías existentes.

Esta variable se introduce en el análisis con el fin de incorporar la incidencia del fenómeno en la ponderación de la Vulnerabilidad Sísmica.

Esta variable se califica de **1 a 3** (Universo de Discurso), dependiendo de velocidad pico de terreno considerada en cada tramo, así: Bajo: **1**; Moderado: **2** y Alto: **3**.

#### 5.4.2.5 Cambio de Rigidez

El paso de la tubería de un medio rígido a uno mas blando, genera la ocurrencia de grandes impedancias (diferencias en la velocidad de propagación de onda), lo que genera un delta de deformaciones y esfuerzos transmitidos de una capa a otra, lo que se transmite a la tubería, la cual puede fallar o adsorber dichos esfuerzos y deformaciones diferenciales mediante las juntas.

Esta variable se introduce en el análisis con el fin de incorporar la incidencia del fenómeno en la ponderación de la Vulnerabilidad Sísmica.

Esta variable se califica de **1 a 3** (Universo de Discurso), dependiendo del cambio de rigidez de Terreno considerada en cada tramo, así: Suelo-Suelo: **1**; Piedemonte-Suelo: **2** y Roca-Suelo: **3**.

### 5.5 VULNERABILIDAD ASOCIADA A VARIABLES EXOGENAS

Hace referencia a aspectos relacionados con eventos externos a la condición de la tubería y a su ubicación, y para este estudio se considera que esta condición está relacionada con la ocurrencia de actos terroristas o la ocurrencia de un daño o falla

	<b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78” TIBITOC - CASABLANCA</b>	  SILVA CARREÑO Y ASOCIADOS S.A. <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>	
<b>CONTRATO 1-02-25400-514-2006</b>	<b>PRODUCTO 8.1. INFORME DE METODOLOGÍA DEFINITIVA PARA LA VALORACIÓN DEL RIESGO DE LA LÍNEA</b>	RTC-IF-GE-002	VERSIÓN: 2
		PÁGINA 39 DE 42 FECHA: 2008-01-02	

producido por la ejecución de una construcción adyacente a la tubería. Estos factores serán agrupados de la siguiente forma:

- Factores relacionados con la ocurrencia de actos terroristas
- Factores relacionados con la ocurrencia de un daño o falla producido por la ejecución de una construcción adyacente a la tubería, medidos por la facilidad de acceso a los diferentes sectores la tubería.

Para cada una de los factores identificados se realizó un proceso de análisis que fue el que determinó el peso que tendría cada factor en la **Vulnerabilidad Asociada a Variables Exógenas**. Los pesos asignados luego del análisis son:

- Factores relacionados con la ocurrencia de actos terroristas: 20%
- Factores relacionados con la ocurrencia de un daño o falla producido por la ejecución de una construcción adyacente a la tubería: 80%

Se considero para este análisis que la vulnerabilidad asociada a variables exógenas tiene una incidencia del 15% en la vulnerabilidad global.

Vale la pena anotar que el Universo de discurso (resultado) para la Vulnerabilidad asociada a Variables Exógenas se definió numéricamente de 0 a 1 y puede ser: “Muy Baja (0 – 0.22)”, “Baja (0.22-0.44)”, “Moderada (0.44-0.66)”, “Alta (0.66-0.88)” y “Muy Alta (0.88-1.00)”, y será el resultado de ponderar la vulnerabilidad asociada a variables exógenas, según los pesos establecidos y dependerá de la información específica de la línea red matriz de 78” en el programa FUZZYNET.

La ponderación de cada componente, su incidencia en la Vulnerabilidad Asociada a Variables Exógenas y los criterios de evaluación de cada una se presenta en el cuadro 5.6, estos valores fueron ajustados como producto de la reunión con los funcionarios de la Empresa de Acueducto.

	<b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78" TIBITOC - CASABLANCA</b>	 <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>	
<b>CONTRATO 1-02-25400-514-2006</b>	<b>PRODUCTO 8.1. INFORME DE METODOLOGÍA DEFINITIVA PARA LA VALORACIÓN DEL RIESGO DE LA LÍNEA</b>	<b>RTC-IF-GE-002</b>	<b>VERSIÓN: 2</b>
		<b>PÁGINA 40 DE 42 FECHA: 2008-01-02</b>	

### CUADRO 5.6 CRITERIOS DE EVALUACION ASOCIADOS A VARIABLES EXOGENAS

TIPO DE VULNERABILIDAD	VARIABLES (PONDERACION)	CRITERIO (PONDERACION)	CONDICIÓN	CATEGORIA (de menos a mas crítico)
<b>Vulnerabilidad Variables Exogenas</b>	Vulnerabilidad Asociada a Terrorismo (IVET) (20%)	Tubería Enterrada	Baja	1
		Tubería Medianamente expuesta	Moderada	2
		Tubería expuesta	Alta	3
	Vulnerabilidad Asociada a Daños por Construcciones Adyacentes (80%)	No existen obras en el sector y de existir son obras menores	Baja	1
		Obras de Mediano Impacto (por calzadas)	Moderada	2
		Obras Cercanas a intersecciones viales	Alta	3

## 6 ANALISIS Y VALORACION DEL RIESGO

Una vez calculada la Vulnerabilidad Global, se realizará un análisis de los resultados obtenidos, con el fin de evaluar si en cada tramo es o no representativo algún tipo de vulnerabilidad, o alguna variable, se ajustará el modelo y se realizará un análisis de sensibilidad de las variables que permita comparar y evaluar la vulnerabilidad para los tramos 1 y 3 en el escenario sin rehabilitar.

Con los resultados del análisis anterior se procederá a la valoración cuantitativa del riesgo mediante la asignación de los costos asociados a la ocurrencia de los eventos probables, es decir cuanto costaría alguno o la conjunción de los eventos estudiados, para así proponer las recomendaciones sobre las obras de protección y/o rehabilitación de la línea y/o el costo de los correctivos aplicables en cada situación específica.

	<b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78" TIBITOC - CASABLANCA</b>	  SILVA CARREÑO Y ASOCIADOS S.A. <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>	
<b>CONTRATO 1-02-25400-514-2006</b>	<b>PRODUCTO 8.1. INFORME DE METODOLOGÍA DEFINITIVA PARA LA VALORACIÓN DEL RIESGO DE LA LÍNEA</b>	RTC-IF-GE-002	VERSIÓN: 2
		PÁGINA 41 DE 42 FECHA: 2008-01-02	

Una vez definidas las nuevas condiciones de la red de 78", bajo la hipótesis de que se realizarán las obras de rehabilitación recomendadas, se evaluará nuevamente la vulnerabilidad global del sistema y se cuantificarán los costos asociados al riesgo en el escenario rehabilitado.

## 7 BIBLIOGRAFIA DE REFERENCIA

[1] Rojas Peña, Jairo René. Estudio para la evaluación del estado de la red matriz de distribución del sistema de acueducto y formulación de un programa estructurado para su rehabilitación. Bogotá: Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá – ESP. 2002.

[2] Sanchez Silva, Mauricio. Introducción a la confiabilidad y Evaluación de Riesgos: Teoría y Aplicaciones en Ingeniería. Bogotá: Universidad de los Andes, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental. 2004.

[3] Zadeh Lofty.A. Fuzzy sets. J. Information Control. 1965.

[4] Jason Consultants. Investigación de la línea Tibitoc-Casablanca. Bogotá: Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá – ESP. 1993.

[5] Duarte, Oscar. <http://www.ing.unal.edu.co/~ogduarte/softwareDetallado.htm>. (Consulta 16 de julio de 2007). UNFUZZY: software para el diseño, análisis, simulación e implementación de Sistemas de Lógica Difusa. Universidad Nacional de Colombia. Departamento de Ingeniería Eléctrica.

Duarte, Oscar. FUZZYNET: software para el diseño, análisis, simulación e implementación de Sistemas de Lógica Difusa. Universidad Nacional de Colombia. Departamento de Ingeniería Eléctrica

[6] Yegian, Mishac; Holtz, Robert (1998). Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics III. ASCE, Vol..2 Pág. 1392-1426.

[7] Toprak, Selcuk; KOC, A.; Taskin, Filiz. Evaluation of water distribution pipeline performance against earthquakes. 4th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering. June 25-28, 2007. Paper No.1748.

	<b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78" TIBITOC - CASABLANCA</b>	  SILVA CARREÑO Y ASOCIADOS S.A. <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>	
<b>CONTRATO 1-02-25400-514-2006</b>	<b>PRODUCTO 8.1. INFORME DE METODOLOGÍA DEFINITIVA PARA LA VALORACIÓN DEL RIESGO DE LA LÍNEA</b>	<b>RTC-IF-GE-002</b>	<b>VERSIÓN: 2</b>
		<b>PÁGINA 42 DE 42 FECHA: 2008-01-02</b>	

[8] Manoy, Dimitra; Alexoudi, María; Raptakis, Dimitiros; Pitilakis, Kyriazis. Duzce (M7.2, 1999) Earthquake: Damage Correlation with The Microzonation Study and Vulnerability Assessment of the Water System in Duzce, Turkey. June 25-28, 2007. Paper No.1621