



| | | | |
|---|---|--|-------------------|
|  | ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78" TIBITOC – CASABLANCA |  CONSORCIO TIBITOC 2006 | |
| CONTRATO 1-02-25400-514-2006 | PRODUCTO 8.3 INFORME DE ANALISIS Y VALORACION DEL RIESGO | RTC-IF-GE-007 | VERSIÓN: 0 |
| | | PÁGINA 1 DE 37 FECHA: 2008-06-26 | |

CONTENIDO



| | | |
|------------|---|-----------|
| 1. | INTRODUCCION | 4 |
| 2. | METODOLOGIA DE ANALISIS DE RIESGO | 4 |
| 3. | ALCANCE DEL PRESENTE INFORME | 5 |
| 4. | ACTIVIDADES DESARROLLADAS..... | 5 |
| 5. | MODELO UTILIZADO PARA LA EVALUACION DE LA VULNERABILIDAD | 6 |
| 6. | RESULTADOS DE VULNERABILIDAD TRAMOS 1 Y 3 SIN REHABILITAR..... | 13 |
| 6.1. | ANALISIS DE RESULTADOS TRAMO 1 SIN REHABILITAR | 16 |
| 6.2. | ANALISIS DE RESULTADOS TRAMO 3 SIN REHABILITAR | 20 |
| 6.3. | CONCLUSIONES APLICABILIDAD DEL MODELO DE VULNERABILIDAD GLOBAL..... | 21 |
| 7. | IDENTIFICACION DE SITIOS CRITICOS Y ESCENARIOS DE SOLUCION | 22 |
| 7.1. | ESCENARIOS DE SOLUCION ANALIZADOS..... | 23 |
| 7.1.1 | Tramo 1 | 23 |
| 7.1.2 | Tramo 3 | 23 |
| 8. | RESULTADOS VULNERABILIDAD TRAMOS 1 Y 3 REHABILITADOS | 26 |
| 9. | ANALISIS DE RIESGO Y COSTOS ASOCIADOS..... | 27 |
| 9.1. | COSTO DE ASUMIR EL RIESGO | 28 |
| 9.2. | COSTOS DE LAS POSIBLES ALTERNATIVAS DE INTERVENCION..... | 30 |
| 9.3. | COMPARACION ECONOMICA | 31 |
| 10. | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 35 |
| 10.1. | TRAMO 1..... | 35 |
| 10.2. | TRAMO 3..... | 36 |

ANEXO 1 CUADRO DE EVALUACION VULNERABILIDAD GLOBAL TRAMO 1- SIN REHABILITAR

ANEXO 2 GRAFICO ANALISIS VALORACION DEL RIESGO TRAMO 1- SIN REHABILITAR

ANEXO 3 DIAGRAMA DE BARRAS VULNERABILIDAD FÍSICA, OPERATIVA, SÍSMICA, VARIABLES EXOGENAS Y GLOBAL- TRAMO 1 SIN REHABILITAR

ANEXO 4 CUADRO DE EVALUACION VULNERABILIDAD GLOBAL TRAMO 1 SIN REHABILITAR - DE MAYOR A MENOR VULNERABILIDAD GLOBAL

| | | | |
|---|---|---|-------------------|
|  | ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78” TIBITOC – CASABLANCA |  | |
| CONTRATO 1-02-25400-514-2006 | PRODUCTO 8.3 INFORME DE ANALISIS Y VALORACION DEL RIESGO | RTC-IF-GE-007 | VERSIÓN: 0 |
| | | PÁGINA 2 DE 37 FECHA: 2008-06-26 | |

ANEXO 5 CUADRO DE EVALUACION VULNERABILIDAD GLOBAL TRAMO 3- SIN REHABILITAR

ANEXO 6 GRAFICO ANALISIS VALORACION DEL RIESGO TRAMO 3 - SIN REHABILITAR

ANEXO 7 DIAGRAMA DE BARRAS VULNERABILIDAD FÍSICA, OPERATIVA, SÍSMICA, VARIABLES EXOGENAS Y GLOBAL- TRAMO 3 SIN REHABILITAR

ANEXO 8 CUADRO DE EVALUACION VULNERABILIDAD GLOBAL TRAMO 3 SIN REHABILITAR - DE MAYOR A MENOR VULNERABILIDAD GLOBAL

ANEXO 9 CUADRO DE EVALUACION VULNERABILIDAD GLOBAL TRAMO 1- REHABILITADO

ANEXO 10 GRAFICO ANALISIS VALORACION DEL RIESGO TRAMO 1- REHABILITADO

ANEXO 11 DIAGRAMA DE BARRAS VULNERABILIDAD FÍSICA, OPERATIVA, SÍSMICA, VARIABLES EXOGENAS Y GLOBAL- TRAMO 1 REHABILITADO

ANEXO 12 CUADRO DE EVALUACION VULNERABILIDAD GLOBAL TRAMO 1 REHABILITADO - DE MAYOR A MENOR VULNERABILIDAD GLOBAL

ANEXO 13 CUADRO DE EVALUACION VULNERABILIDAD GLOBAL TRAMO 3- REHABILITADO

ANEXO 14 GRAFICO ANALISIS VALORACION DEL RIESGO TRAMO 3 - REHABILITADO

ANEXO 15 DIAGRAMA DE BARRAS VULNERABILIDAD FÍSICA, OPERATIVA, SÍSMICA, VARIABLES EXOGENAS Y GLOBAL- TRAMO 3 REHABILITADO



ANEXO 16 CUADRO DE EVALUACION VULNERABILIDAD GLOBAL TRAMO 3 REHABILITADO - DE MAYOR A MENOR VULNERABILIDAD GLOBAL

ANEXO 17 GRAFICO COMPARATIVO ANALISIS VALORACION DEL RIESGO TRAMO 1 – REHABILITADO Y SIN REHABILITAR

ANEXO 18 GRAFICO COMPARATIVO ANALISIS VALORACION DEL RIESGO TRAMO 3 – REHABILITADO Y SIN REHABILITAR

ANEXO 19 VARIABLES FISICAS CRÍTICAS

ANEXO 20 VARIABLES OPERATIVAS CRÍTICAS




| | | | |
|---|---|--|-------------------|
|  | ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78" TIBITOC – CASABLANCA |  CONSORCIO TIBITOC 2006 | |
| CONTRATO 1-02-25400-514-2006 | PRODUCTO 8.3 INFORME DE ANALISIS Y VALORACION DEL RIESGO | RTC-IF-GE-007 | VERSIÓN: 0 |
| | | PÁGINA 3 DE 37 FECHA: 2008-06-26 | |

ANEXO 21 VARIABLES EXOGENAS CRÍTICAS

ANEXO 22 ANALISIS DE EQUIVALENCIA FINANCIERA ENTRE INVERTIR EN LA INSTALACION DE LA TUBERIA PARALELA DE 60" O INVERTIR EN EL MEJORAMIENTO DE LA TUBERIA Y LAS REPARACIONES DE DAÑOS.

ANEXO 23 ANALISIS DE EQUIVALENCIA FINANCIERA ENTRE INVERTIR EN LA INSTALACION DE LA TUBERIA PARALELA DE 72" O INVERTIR EN EL MEJORAMIENTO DE LA TUBERIA Y LAS REPARACIONES DE DAÑOS.

ANEXO 24 ANALISIS DE EQUIVALENCIA FINANCIERA ENTRE INVERTIR EN LA REHABILITACION O INVERTIR EN EL MEJORAMIENTO DE LA TUBERIA Y LAS REPARACIONES DE DAÑOS.

| | | | |
|---|---|--|-------------------|
|  | ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78” TIBITOC – CASABLANCA |   SILVA CARREÑO Y ASOCIADOS S.A. CONSORCIO TIBITOC 2006 | |
| CONTRATO 1-02-25400-514-2006 | PRODUCTO 8.3 INFORME DE ANALISIS Y VALORACION DEL RIESGO | RTC-IF-GE-007 | VERSIÓN: 0 |
| | | PÁGINA 4 DE 37 FECHA: 2008-06-26 | |

1. INTRODUCCION

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 contrato.

La Línea se compone de los siguientes tramos:

Tramo 1: Desde la Planta Tibitoc hasta el sector denominado Los Clubes de 5.5 Km

Tramo 2: Desde Los Clubes hasta la Calle 80 de 31.4 km




Tramo 3: Desde la Calle 80 hasta el Tanque de Casablanca de 16.3 Km

El contrato tiene por objetivo realizar los Estudios y Diseños para la Rehabilitación de la Línea de Red Matriz de 78” de los tramos 1 y 3.

2. METODOLOGIA DE ANALISIS DE RIESGO

Como Producto 8.1 se presentó la metodología para realizar el análisis de riesgo de la línea de 78” Tibitoc – Casablanca, desde el punto de vista de la evaluación de la vulnerabilidad de los tramos 1 y 3 rehabilitados y sin rehabilitar. En el mencionado producto y 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, se estudió la metodología y aplicabilidad del manejo de escenarios de incertidumbre usados y de las variables propuestas en el mencionado estudio y se presentaron las conclusiones del análisis y el modelo a usar específicamente para la Línea Red Matriz de 78” Tibitoc – Casablanca.

Adicional al análisis mencionado, en el Producto 8.1 se presentó la sustentación teórica de la metodología de análisis de incertidumbre a utilizar, el estudio y definición del modelo y definición de entradas y salidas del mismo. La Vulnerabilidad Global es producto del análisis de los resultados que arroje el modelo al involucrar las variables relacionadas, para así determinar en qué sitios el sistema puede ser afectado gravemente ante la ocurrencia de un evento, es decir en donde es más vulnerable el sistema. Vale la pena anotar que para el tramo 1 aunque se realizó el análisis de vulnerabilidad con la metodología propuesta tanto para el escenario sin

| | | | |
|---|---|--|-------------------|
|  | ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78” TIBITOC – CASABLANCA |   SILVA CARREÑO Y ASOCIADOS S.A. CONSORCIO TIBITOC 2006 | |
| CONTRATO 1-02-25400-514-2006 | PRODUCTO 8.3 INFORME DE ANALISIS Y VALORACION DEL RIESGO | RTC-IF-GE-007 | VERSIÓN: 0 |
| | | PÁGINA 5 DE 37 FECHA: 2008-06-26 | |

rehabilitar, como para el escenario rehabilitado, las conclusiones del análisis son producto de los resultados que arrojó la inspección no destructiva que hace parte de este contrato, lo que permitió conocer las condiciones reales de la línea Red Matriz de 78” en el tramo 1 y a su vez realizar el análisis de las soluciones con información real.

Como parte del proceso de construcción de la metodología de valoración de la línea y del modelo a utilizar para el análisis, de manera interdisciplinaria se realizaron varias reuniones con los especialistas en las diferentes áreas involucradas en el estudio y con los expertos en Red Matriz, el área operativa y de seguros de la Empresa de Acueducto y 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. En éste informe con el fin de contextualizar la variables a analizar, se presenta nuevamente el listado completo de variables agrupadas por tipo de Vulnerabilidad Física, Operativa, Sísmica y relacionada con variables exógenas y como de estas se llega a la Vulnerabilidad Global, las definiciones de cada una de las vulnerabilidades asociadas y de cada variable fueron presentadas en el informe metodológico (Producto 8.1).




3. ALCANCE DEL PRESENTE INFORME

En este informe se presenta el análisis de Vulnerabilidad para los tramos 1 y 3 para el escenario sin rehabilitar de acuerdo con el modelo planteado, la identificación de los sitios críticos por tipo de variable y los escenarios de solución analizados, el análisis de Vulnerabilidad para los tramos 1 y 3 para el escenario rehabilitado (que corresponde a la recomendación de intervención), el análisis de riesgo con los costos asociados a los escenarios analizados, la conclusión del análisis y recomendación de intervención de la tubería.

4. ACTIVIDADES DESARROLLADAS

En desarrollo del Producto 8.3 para la valoración del riesgo en la línea se adelantaron las siguientes actividades:

Análisis de Vulnerabilidad para los tramos 1 y 3 para el escenario sin rehabilitar: Para el análisis de los tramos 1 y 3 sin rehabilitar se procesaron los resultados de la valoración realizada por los expertos (tubo a tubo) de carácter físico, geotécnico, los análisis sísmicos, para definir los sub-tramos a evaluar dentro del estudio dividiéndolos 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; se introdujo la información en el programa Fuzzynet, de acuerdo con la metodología de análisis planteada y se realizó la descripción y presentación de los resultados del mencionado análisis.

| | | | |
|---|---|--|-------------------|
|  | ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78" TIBITOC – CASABLANCA |   SILVA CARREÑO Y ASOCIADOS S.A. CONSORCIO TIBITOC 2006 | |
| CONTRATO 1-02-25400-514-2006 | PRODUCTO 8.3 INFORME DE ANALISIS Y VALORACION DEL RIESGO | RTC-IF-GE-007 | VERSIÓN: 0 |
| | | PÁGINA 6 DE 37 FECHA: 2008-06-26 | |

Identificación de los sitios críticos por tipo de variable y los escenarios de solución analizados, para el escenario sin rehabilitar: Para los tramos 1 y 3, una vez se identificaron los subtramos con mayor vulnerabilidad, se estudiaron las variables críticas presentes, para con esa información plantear una matriz de solución a esas variables críticas identificadas que incluya las acciones que permitan mitigar sus efectos. Se plantearon escenarios de solución que van desde no rehabilitar, sino realizar mejoramientos puntuales, hasta rehabilitar completamente y las variables críticas que se controlan en cada uno de los escenarios.

Análisis de Vulnerabilidad para los tramos 1 y 3 para el escenario rehabilitado: Para el análisis de los tramos 1 y 3 rehabilitado se procesaron los resultados de la valoración realizada por los expertos (tubo a tubo) para las variables que no se afectan con la intervención de la tubería y se valoraron nuevamente las que se ven afectadas con las obras propuestas. Se presenta un comparativo entre la valoración de la vulnerabilidad en los escenarios sin rehabilitar y rehabilitado para cada uno de los tramos en estudio.




Análisis de riesgo con los costos asociados a los escenarios analizados: Se estudió el costo del riesgo de no intervenir la tubería (solo mejorar parcialmente sus condiciones), pero reparar cuando se presente el daño, considerando que este valor debe tener asociados los costos de la reparación como tal, costos operativos y costos externos y se realizaron proyecciones financieras que permitieran comparar económicamente la reparación ahora en dos escenarios planteados con la reparación en el momento en que se presenten las fallas y a partir de estos resultados se presenta la conclusión del análisis y recomendación de intervención de la tubería.

5. MODELO UTILIZADO PARA LA EVALUACION DE LA VULNERABILIDAD

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, éstos fueron explicados a profundidad en el informe de metodología de análisis de riesgo (Producto 8.1), 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 por medio del Programa FuzzyNet, el modelo se estructuró a partir de la definición de los componentes que hacen parte de 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.

| | | | |
|---|---|--|-------------------|
|  | ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78” TIBITOC – CASABLANCA |   SILVA CARREÑO Y ASOCIADOS S.A. CONSORCIO TIBITOC 2006 | |
| CONTRATO 1-02-25400-514-2006 | PRODUCTO 8.3 INFORME DE ANALISIS Y VALORACION DEL RIESGO | RTC-IF-GE-007 | VERSIÓN: 0 |
| | | PÁGINA 7 DE 37 FECHA: 2008-06-26 | |



- **Vulnerabilidad Sísmica**, en caso que ocurra un sismo que genere determinado nivel de desplazamiento del terreno donde se encuentre instalada la línea.
- **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, durante reuniones interdisciplinarias de los especialistas del Consorcio y especialistas de la Empresa de Acueducto 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 de 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).



Las variables identificadas se presentan en el cuadro 5.1 y se organizaron de mayor a menor incidencia en la vulnerabilidad Global.

| | | | |
|---|---|--|-------------------|
|  | ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78" TIBITOC – CASABLANCA |  CONSORCIO TIBITOC 2006 | |
| CONTRATO 1-02-25400-514-2006 | PRODUCTO 8.3 INFORME DE ANALISIS Y VALORACION DEL RIESGO | RTC-IF-GE-007 | VERSIÓN: 0 |
| | | PÁGINA 8 DE 37 FECHA: 2008-06-26 | |

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

| CRITERIOS DE EVALUACION | Peso |
|--|-------|
| Poblacion Efectivamente Afectada | 12,5% |
| Vulnerabilidad Asociada a Daños por Construcciones Adyacentes | 12,0% |
| Características Circundantes de la Tubería Instalada | 6,0% |
| Índice de Presión Interna | 6,0% |
| Agresividad del Suelo | 6,0% |
| Facilidad de Aislamiento | 5,0% |
| Facilidad de Acceso | 5,0% |
| Material | 4,0% |
| Susceptibilidad de Fenómenos de Remoción en Masa (Comportamiento del Suelo) | 3,6% |
| Índice 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 una de las variables asociadas a la Vulnerabilidad Global, agrupada de acuerdo con el tipo de vulnerabilidad asociada se presenta en el cuadro 5.2.

| | | | |
|---|---|--|-------------------|
|  | ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78” TIBITOC – CASABLANCA |  CONSORCIO TIBITOC 2006 | |
| CONTRATO 1-02-25400-514-2006 | PRODUCTO 8.3 INFORME DE ANALISIS Y VALORACION DEL RIESGO | RTC-IF-GE-007 | VERSIÓN: 0 |
| | | PÁGINA 9 DE 37 | |
| | | FECHA: 2008-06-26 | |

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

| | TIPO DE VULNERABILIDAD ASOCIADA | | VARIABLES | | CRITERIOS DE EVALUACION | | Peso (%) | | |
|--|---------------------------------|--------------------|---------------------------|---|--|-------|--|--|------|
| | | | | | | | | | |
| Vulnerabilidad Global | 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% | | | |
| Potencial de Asentamiento Post-Sismo | | | | | | 5,0% | | | |
| Deformaciones Transientes | | | 60% | Efecto deformación Onda Transiente (Tp, Vp, C) | | 12,5% | | | |
| | | | | Efectos de Amplificación Local | | 15,0% | | | |
| | | | | Aceleración Pico de Terreno (PGA) | | 10,0% | | | |
| Vulnerabilidad Asociada a variables Exógenas | 15% | Variables Exógenas | 100% | 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% | | | |



Los criterios de evaluación de la Vulnerabilidad Física se presentan en el cuadro 5.3.

| | | | | | | | | |
|---|---|--|---------------|------------|-----------------|--|-------------------|--|
|  | ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78" TIBITOC – CASABLANCA |  CONSORCIO TIBITOC 2006 | | | | | | |
| CONTRATO 1-02-25400-514-2006 | PRODUCTO 8.3 INFORME DE ANALISIS Y VALORACION DEL RIESGO | <table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">RTC-IF-GE-007</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">VERSIÓN: 0</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">PÁGINA 10 DE 37</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">FECHA: 2008-06-26</td> </tr> </table> | RTC-IF-GE-007 | VERSIÓN: 0 | PÁGINA 10 DE 37 | | FECHA: 2008-06-26 | |
| RTC-IF-GE-007 | VERSIÓN: 0 | | | | | | | |
| PÁGINA 10 DE 37 | | | | | | | | |
| FECHA: 2008-06-26 | | | | | | | | |

CUADRO 5.3 CRITERIOS DE EVALUACION VULNERABILIDAD FISICA



| TIPO DE VULNERABILIDAD | VARIABLES (PONDERACION) | CRITERIO (PONDERACION) | CONDICIÓN / RANGO | CATEGORIA (de menos a mas crítico) |
|---|---|---|--|------------------------------------|
| Vulnerabilidad Física (40%) | 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 | 1 |
| | | | Recubrimiento en Concreto | 2 |
| | | | Aérea | 3 |
| | | | En Zanja | 4 |
| | | | En Terraplen | 5 |
| | | Indice de Presión Interna (15%) | Sumergida | 6 |
| | | | Mayor de 1,5 | 1 |
| | | | 1,5 - 1,2 | 2 |
| | | | 1,2 - 1,1 | 3 |
| | | | 1,1 - 1,05 | 4 |
| | | Indice de Cargas Externas (7,5%) | 1,05 - 1,0 | 5 |
| | Mayor de 2 | | 1 | |
| | 2,0 - 1,5 | | 2 | |
| | 1,5 - 1,2 | | 3 | |
| | 1,2 - 1,0 | | 4 | |
| | Alineamiento (5%) | Menor de 1 | 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 | |
| | Tipo de Juntas y Longitud entre Juntas (5%) | Codos entre 60° y 90° | 6 | |
| | | 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 | |
| | Estado de Accesorios (7,5%) | Soldada | 4 | |
| | | 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 | |
| Variables de Comportamiento del Suelo (30%) | Susceptibilidad de Fenómenos de Remoción en Masa (9%) | Muy Crítico: Tiene una edad mayor a 25 años y hace mucho tiempo que no se ha operado | 6 | |
| | | Muy Baja (Muy estable) | 1 | |
| | | Baja (Estable) | 2 | |
| | | Moderada (Moderadamente estable) | 3 | |
| | | Alta (Poco estable) | 4 | |
| | Comportamiento Geotécnico (6%) | Muy Alta (Inestable) | 5 | |
| | | Zona 1 - Cerros (Roca) | 1 | |
| | | Zona 2 - Piedemonte | 2 | |
| | | Zona 3 Lacustre (Depósito > 50m) | 3 | |
| | Agresividad del Suelo (15%) | Zona 4 Lacustre B (Depósito > 200m) | 4 | |
| | | Practicamente No Agresivo | 1 | |
| | | Debilmente Agresivo | 2 | |
| Agresivo | 3 | | | |
| Fuertemente Agresivo | 4 | | | |

Los criterios de evaluación de la Vulnerabilidad Operativa se presentan en el cuadro 5.4.

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---------------|------------|-----------------|--|-------------------|--|
|  | ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78" TIBITOC – CASABLANCA |  CONSORCIO TIBITOC 2006 | | | | | | |
| CONTRATO 1-02-25400-514-2006 | PRODUCTO 8.3 INFORME DE ANALISIS Y VALORACION DEL RIESGO | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">RTC-IF-GE-007</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">VERSIÓN: 0</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">PÁGINA 11 DE 37</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">FECHA: 2008-06-26</td> </tr> </table> | RTC-IF-GE-007 | VERSIÓN: 0 | PÁGINA 11 DE 37 | | FECHA: 2008-06-26 | |
| RTC-IF-GE-007 | VERSIÓN: 0 | | | | | | | |
| PÁGINA 11 DE 37 | | | | | | | | |
| FECHA: 2008-06-26 | | | | | | | | |

CUADRO 5.4 CRITERIOS DE EVALUACION VULNERABILIDAD OPERATIVA



| TIPO DE VULNERABILIDAD | VARIABLES (PONDERACION) | CRITERIO (PONDERACION) | CONDICIÓN | DEFINICIONES | CATEGORIA (de menos a mas crítico) |
|---------------------------------------|-----------------------------|--|----------------------|---|------------------------------------|
| Vulnerabilidad Operativa (25%) | 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 presenten 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 |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---------------|------------|-----------------|--|-------------------|--|
|  | ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78" TIBITOC – CASABLANCA |  CONSORCIO TIBITOC 2006 | | | | | | |
| CONTRATO 1-02-25400-514-2006 | PRODUCTO 8.3 INFORME DE ANALISIS Y VALORACION DEL RIESGO | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">RTC-IF-GE-007</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">VERSIÓN: 0</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">PÁGINA 12 DE 37</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">FECHA: 2008-06-26</td> </tr> </table> | RTC-IF-GE-007 | VERSIÓN: 0 | PÁGINA 12 DE 37 | | FECHA: 2008-06-26 | |
| RTC-IF-GE-007 | VERSIÓN: 0 | | | | | | | |
| PÁGINA 12 DE 37 | | | | | | | | |
| FECHA: 2008-06-26 | | | | | | | | |

Los criterios de evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica se presentan 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) |
|---|---|--|-------------------------------------|---------------------------------------|
| VULNERABILIDAD SISMICA (20%) | 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 | | |

| | | | |
|---|---|--|-------------------|
|  | ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78” TIBITOC – CASABLANCA |  CONSORCIO TIBITOC 2006 | |
| CONTRATO 1-02-25400-514-2006 | PRODUCTO 8.3 INFORME DE ANALISIS Y VALORACION DEL RIESGO | RTC-IF-GE-007 | VERSIÓN: 0 |
| | | PÁGINA 13 DE 37 FECHA: 2008-06-26 | |

Los criterios de evaluación de la Vulnerabilidad Asociada a Variables Exógenas se presentan en el cuadro 5.6.



CUADRO 5.6 CRITERIOS DE EVALUACION VULNERABILIDAD ASOCIADA A VARIABLES EXOGENAS

| TIPO DE VULNERABILIDAD | VARIABLES (PONDERACION) | CRITERIO (PONDERACION) | CONDICIÓN | CATEGORIA (de menos a mas crítico) |
|--|---|--|-----------|------------------------------------|
| Vulnerabilidad Variables Exogenas | 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. RESULTADOS DE VULNERABILIDAD TRAMOS 1 Y 3 SIN REHABILITAR

La cuantificación de las variables para cada uno de los sectores fue evaluada por los especialistas en cada tema y una vez se contó con la información completa, la misma fue introducida en el programa Fuzzynet, tanto los valores de cada variable como los resultados de las vulnerabilidades asociadas y la vulnerabilidad global, se presentan en el Anexo 1 para el tramo 1 y en el Anexo 5 para el tramo 3.



Aunque en el desarrollo del estudio se realizaron para el tramo 1 dos corridas de ajuste y calibración del modelo y dos más eliminando algunas variables que no tenían mayor incidencia en el análisis para este tramo, se considera que para el informe de resultados se debe presentar la corrida que involucra todas las variables en cada uno de los tramos para hacerlos

| | | | |
|---|---|--|-------------------|
|  | ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78” TIBITOC – CASABLANCA |  CONSORCIO TIBITOC 2006 | |
| CONTRATO 1-02-25400-514-2006 | PRODUCTO 8.3 INFORME DE ANALISIS Y VALORACION DEL RIESGO | RTC-IF-GE-007 | VERSIÓN: 0 |
| | | PÁGINA 14 DE 37 FECHA: 2008-06-26 | |

comparables. Para visualizar el árbol de decisión que maneja el programa y la información introducida, se presenta la figura 6.1, adicionalmente se presenta un ejemplo de interpretación de las variables de salida en la figura 6.2, vale la pena anotar que la interpretación lingüística el programa Fuzzynet la hace bajo la teoría de la lógica difusa, tal como se explicó en el Producto 8.1 informe metodológico, lo que quiere decir que se tienen dos resultados posibles y de acuerdo con el grado de pertenencia que tengan los datos de entrada, la lógica difusa determina un grado de la cercanía entre el valor de un parámetro y un concepto o una descripción semántica, por lo que un valor concreto no necesariamente tiene la misma interpretación para datos de entrada diferentes.

Los valores de las variables introducidas y los resultados de la vulnerabilidad global se presentan así:

- Tramo 1 sin rehabilitar (condiciones actuales): Se presenta en el Anexo 1 los resultados numéricos (valores) de las variables y resultados de las vulnerabilidades asociadas y vulnerabilidad global, gráficamente en los Anexos 2 y 3 y en el Anexo 4 se ordena la vulnerabilidad de mayor a menor.
- Tramo 3 sin rehabilitar (condiciones actuales): Se presenta en el Anexo 5 los resultados numéricos (valores) de las variables y resultados de las vulnerabilidades asociadas y vulnerabilidad global, y gráficamente en los Anexos 6 y 7. En el Anexo 8 se ordena la vulnerabilidad de mayor a menor.

| | | | | | | | | |
|---|---|--|---------------|------------|-----------------|--|-------------------|--|
|  | ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78" TIBITOC – CASABLANCA |  CONSORCIO TIBITOC 2006 | | | | | | |
| CONTRATO 1-02-25400-514-2006 | PRODUCTO 8.3 INFORME DE ANALISIS Y VALORACION DEL RIESGO | <table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;">RTC-IF-GE-007</td> <td style="width: 50%;">VERSIÓN: 0</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">PÁGINA 15 DE 37</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">FECHA: 2008-06-26</td> </tr> </table> | RTC-IF-GE-007 | VERSIÓN: 0 | PÁGINA 15 DE 37 | | FECHA: 2008-06-26 | |
| RTC-IF-GE-007 | VERSIÓN: 0 | | | | | | | |
| PÁGINA 15 DE 37 | | | | | | | | |
| FECHA: 2008-06-26 | | | | | | | | |

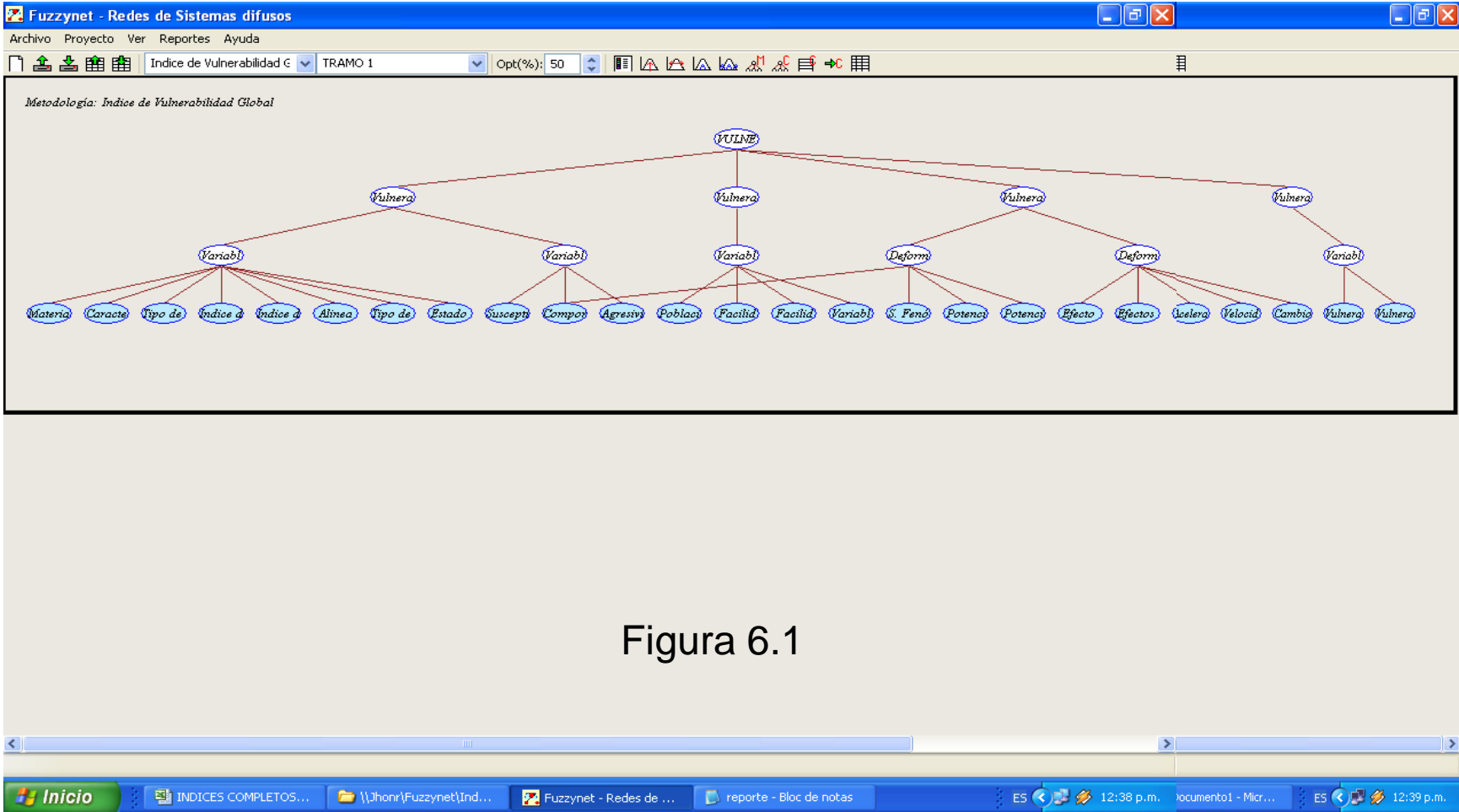


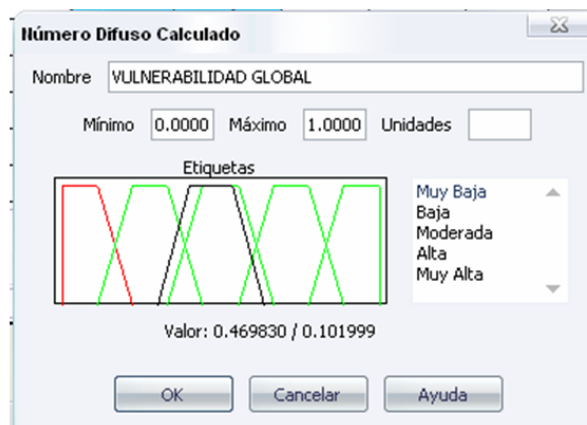


Figura 6.1

| | | | |
|---|---|--|-------------------|
|  | ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78” TIBITOC – CASABLANCA |  CONSORCIO TIBITOC 2006 | |
| CONTRATO 1-02-25400-514-2006 | PRODUCTO 8.3 INFORME DE ANALISIS Y VALORACION DEL RIESGO | RTC-IF-GE-007 | VERSIÓN: 0 |
| | | PÁGINA 16 DE 37 FECHA: 2008-06-26 | |



Resultado: 0.469830

Interpretación Número Difuso: Moderado

Muy Baja

0.0000 – 0.11111

0.0000 – 0.22222

Baja

0.22222 – 0.33333

0.11111 – 0.44444

Moderada

0.44444 – 0.55556

0.33333 – 0.66667

Alta

0.66667 – 0.77778

0.55556 – 0.88889

Muy Alta

0.88889 – 1.00000



0.77778 – 1.00000

Figura 6.2

6.1. ANALISIS DE RESULTADOS TRAMO 1 SIN REHABILITAR

En general se puede decir que en el tramo 1, para el modelo descrito en el capítulo 2 de éste informe, se presentan condiciones de **Vulnerabilidad Global** de Moderada a Baja, por cuanto la Vulnerabilidad es moderada en la mayoría del tramo y pasa a ser baja en algunos sectores puntuales: 1) De la Planta de Tratamiento al predio la urbanización (K-1+110 al K0-200); 2) Finca el Edén (K0+250 al K0+400); 3) La Aldea 2 (K1+000 al K1+100); 3) Finca los Hornos (K1+486 al K1+600); 4) Adelante del Embalse Bajo Teusacá (K2+600 al K3+150) y 5) Extremo norte del campo de Golf Rincón Grande (K3+616 al K3+850). Sin embargo, las deficientes condiciones de la tubería únicamente se ven reflejadas en la vulnerabilidad física, que incluye variables que pueden ser mejoradas una vez se decida intervenir la tubería. Al analizar individualmente los diversos componentes de la vulnerabilidad global, a partir de los resultados del anexo 1, se puede concluir:

1. Que la **Vulnerabilidad asociada a variables exógenas** presenta la condición más favorable de las consideradas en la mayoría del tramo, es decir que dado que pesa el 25%, se tiene que para el análisis este 25% no tiene incidencia alguna. Los únicos tramos que presentan una condición diferente son: a) el sector cercano al predio La




| | | | |
|---|---|--|-------------------|
|  | ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78” TIBITOC – CASABLANCA |  CONSORCIO TIBITOC 2006 | |
| CONTRATO 1-02-25400-514-2006 | PRODUCTO 8.3 INFORME DE ANALISIS Y VALORACION DEL RIESGO | RTC-IF-GE-007 | VERSIÓN: 0 |
| | | PÁGINA 17 DE 37 FECHA: 2008-06-26 | |

Fabula de Luis Gabriel Marulanda (K1+100 al K1+460), en el que se tiene una vulnerabilidad baja y b) en el sector del embalse bajo Teusacá (K2+160 al K2+620) y el sector de Flores Britania 2 (K3+160 al K3+610) en donde la vulnerabilidad asociada a está condición es alta.

2. Que la **Vulnerabilidad Operativa** presenta condiciones favorables en la mayoría del tramo y dado que tiene un peso del 15% dentro de la vulnerabilidad global, favorece su resultado. El único sector que presenta una condición diferente es el sector del embalse bajo Teusacá (K2+150 al K2+610) en donde la vulnerabilidad asociada a está condición es moderada.
3. Que la **Vulnerabilidad Sísmica** presenta condiciones favorables en la mayoría del tramo y dado que tiene un peso del 20% dentro de la vulnerabilidad global, favorece su resultado. Los únicos tramos que presentan una condición diferente son: a) el sector del predio de la Urbanización (K0-500 al K0-100), b) el sector de la Finca el Edén de Cecilia Lozano, 3) el sector del embalse bajo Teusacá (K2+160 al K2+620), 4) el sector Rincón Grande 2B Fidubancoop en donde la vulnerabilidad asociada a está condición es moderada.
4. Que aunque la **Vulnerabilidad Física** es de moderada a alta en la mayoría del tramo, este hecho no se refleja en el resultado de la vulnerabilidad global, porque solo tiene una incidencia del 40% dentro del análisis, pero es importante resaltar que las condiciones físicas en este tramo son deficientes y que éste aspecto debe ser analizado de manera aislada, ya que aunque la vulnerabilidad global no refleja éste problema puntual, representa un alto riesgo para el sistema la no intervención de la tubería.
5. Después de analizadas las vulnerabilidades parciales, las decisiones de mejoramiento, a partir de este análisis, se deberían tomar de acuerdo con los resultados obtenidos en el análisis de vulnerabilidad física; sin embargo, para este tramo se hizo una inspección no destructiva del estado de la tubería y las recomendaciones de rehabilitación serán las que arrojen el análisis de la información del mencionado estudio.

La evaluación de la condición de cada una de las variables realizada por los expertos de cada área, las variables críticas identificadas, los sectores que presentan condiciones similares y los resultados de las vulnerabilidades asociadas, se presentan en el Anexo 1.

Dada la diferencia encontrada en los resultados a lo largo del tramo 1, a continuación se establecen 6 sectores dentro del tramo, agrupados por similitud en los resultados de la vulnerabilidad global y vulnerabilidades asociadas, para efectos de identificar el cambio en los resultados de cada una de las vulnerabilidades.

| | | | |
|---|---|--|-------------------|
|  | ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78" TIBITOC – CASABLANCA |   SILVA CARREÑO Y ASOCIADOS S.A. CONSORCIO TIBITOC 2006 | |
| CONTRATO 1-02-25400-514-2006 | PRODUCTO 8.3 INFORME DE ANALISIS Y VALORACION DEL RIESGO | RTC-IF-GE-007 | VERSIÓN: 0 |
| | | PÁGINA 18 DE 37 FECHA: 2008-06-26 | |

Sector 1: Del tanque Alto de Tibitoc hasta el macromedidor (K-1+100 al K0-450)

La vulnerabilidad Global en este sector **es baja** con valores crecientes entre 0.18 y 0.36, en razón a que la vulnerabilidad asociada a variables exógenas es muy baja, la vulnerabilidad operativa es baja, la vulnerabilidad sísmica es de baja a moderada y la vulnerabilidad física es moderada.

Las variables que presentan condición crítica en el sector son:

- Físicas: material, índice de presión interna (desde el K0-731) y estado de accesorios (desde el K0-967)
- Sísmicas: Aceleración Pico de Terreno

Sector 2: Del macromedidor en el Predio la urbanización hasta el carretable de acceso a la estación de bombeo del bajo Teusacá (K0-450 al K2+050)



La vulnerabilidad Global en este sector **es en general moderada** con valores constantes entre 0.35 y 0.40, en razón a que la vulnerabilidad asociada a variables exógenas es muy baja, la vulnerabilidad operativa y la vulnerabilidad sísmica es baja y la vulnerabilidad física es moderada (presentando valores de variables más críticos que los evaluados en el sector 1).

Las variables que presentan condición crítica en el sector son:

- Físicas: material, índice de presión interna, estado de accesorios y agresividad del suelo (del K1+102 al K1+306)
- Operativas: Facilidad de acceso y facilidad de aislamiento
- Sísmicas: Potencial de Asentamiento Post-Sismo (desde el K2+006) y Aceleración Pico de Terreno

Sector 3: Desde el carretable de acceso a la estación de bombeo del bajo Teusacá hasta 200 metros después del embalse Aposentos (K2+050 al K2+600)

La vulnerabilidad Global en este sector **es en general moderada** con valores entre 0.31 y 0.51, en razón a que la vulnerabilidad asociada a variables exógenas es alta, la vulnerabilidad operativa, la vulnerabilidad sísmica y la vulnerabilidad física son moderadas (presentando valores de variables más críticos que los evaluados en los sectores 1 y 2).

| | | | |
|---|---|--|-------------------|
|  | ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78" TIBITOC – CASABLANCA |  CONSORCIO TIBITOC 2006 | |
| CONTRATO 1-02-25400-514-2006 | PRODUCTO 8.3 INFORME DE ANALISIS Y VALORACION DEL RIESGO | RTC-IF-GE-007 | VERSIÓN: 0 |
| | | PÁGINA 19 DE 37 FECHA: 2008-06-26 | |

Las variables que presentan condición crítica en el sector son:

- Físicas: material, índice de presión interna y estado de accesorios
- Operativas: Facilidad de acceso (desde el –K0+194)
- Sísmicas: Potencial de Asentamiento Post-Sismo y Aceleración Pico de Terreno
- Exógenas: Vulnerabilidad Asociada a Daños por Construcciones Adyacentes (tubería sumergida).

Sector 4: De 200m adelante del embalse bajo Teusaca (K2+600) al K3+120 (lindero predio flores Britania)

La vulnerabilidad Global en este sector **es en general baja** con valores constantes entre 0.33 y 0.37, en razón a que la vulnerabilidad asociada a variables exógenas es muy baja, la vulnerabilidad operativa es baja, la vulnerabilidad sísmica es de moderada a baja y la vulnerabilidad física es moderada (presentando valores de variables más críticos), este sector presenta un comportamiento similar en la vulnerabilidad global al sector 2.

Las variables que presentan condición crítica en el sector son:



- Físicas: material, índice de presión interna y estado de accesorios
- Operativas: Facilidad de aislamiento
- Sísmicas: Efecto Deformación de Onda Transiente

Sector 5: De K3+120 hasta el lindero del Club Rincón Grande (K3+600)

La vulnerabilidad Global en este sector **es en general moderada** con valores entre 0.45 y 0.51, en razón a que la vulnerabilidad asociada a variables exógenas es alta, la vulnerabilidad operativa y la vulnerabilidad sísmica son bajas y la vulnerabilidad física es alta (presentando valores de variables más críticos que los evaluados en los sectores 1 a 4), este sector presenta un comportamiento similar al sector 3.

Las variables que presentan condición crítica en el sector son:

- Físicas: material, características circundantes de la tubería, índice de presión interna y estado de accesorios

| | | | |
|---|---|---|-------------------|
|  | ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78” TIBITOC – CASABLANCA |  | |
| CONTRATO 1-02-25400-514-2006 | PRODUCTO 8.3 INFORME DE ANALISIS Y VALORACION DEL RIESGO | RTC-IF-GE-007 | VERSIÓN: 0 |
| | | PÁGINA 20 DE 37 FECHA: 2008-06-26 | |

- Operativas: Facilidad de acceso
- Sísmicas: Efecto Deformación de Onda Transiente.
- Exógenas: Vulnerabilidad Asociada a Daños por Construcciones Adyacentes. La servidumbre de la tubería se encuentra ocupada por un cultivo de flores.

Sector 6: Del K3+600 hasta la interconexión El Espinal (válvula V9) - Club Rincón Grande.

La **vulnerabilidad Global** en este sector **es en general baja** con valores constantes entre 0.34 y 0.38, en razón a que la vulnerabilidad asociada a variables exógenas es muy baja, la vulnerabilidad operativa es baja y la vulnerabilidad sísmica son bajas y la vulnerabilidad física es moderada, este sector presenta un comportamiento similar en la vulnerabilidad global a los sectores 2 y 4.



Las variables que presentan condición crítica en el sector son:

- Físicas: material, índice de presión interna y estado de accesorios
- Operativas: Facilidad de acceso
- Sísmicas: Efecto Deformación de Onda Transiente, Efectos de Amplificación Local (desde el K4+004)

6.2. ANALISIS DE RESULTADOS TRAMO 3 SIN REHABILITAR

En general se puede decir que en el tramo 3, para el modelo descrito en el capítulo 5 de éste informe, se presentan condiciones de **Vulnerabilidad Global** Moderada a Alta, por cuanto la Vulnerabilidad es moderada, con condiciones constantes, en la mayoría del tramo y pasa a ser alta en algunos sectores puntuales: Calle 80, Avenida Chile (calle 68), Avenida El Salitre, Avenida José Celestino Mutis, Avenida El Dorado, Avenida la Esperanza, Línea del Ferrocarril de Occidente, Calle 13, Río Fucha, Avenida Alsacia, entrada a Bavaria, Avenida de las Américas, Avenida 1 de Mayo, Calle 37 sur, cruce avenida Boyacá, Cruce avenida ferrocarril, Río Tunjuelo, Ingreso Villa del Rio, Autopista Sur, entrada al barrio Ismael Perdomo.

Luego de evaluar de manera general del comportamiento de las vulnerabilidades asociadas a la vulnerabilidad Global, a partir de los resultados del anexo 5, se puede concluir:

| | | | |
|---|---|--|-------------------|
|  | ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78” TIBITOC – CASABLANCA |  CONSORCIO TIBITOC 2006 | |
| CONTRATO 1-02-25400-514-2006 | PRODUCTO 8.3 INFORME DE ANALISIS Y VALORACION DEL RIESGO | RTC-IF-GE-007 | VERSIÓN: 0 |
| | | PÁGINA 21 DE 37 FECHA: 2008-06-26 | |



1. Que la **Vulnerabilidad asociada a variables exógenas** presenta una condición desfavorable en buena parte del tramo, ya que hay un número importante de intersecciones viales (Calle 80, Avenida Chile (calle 68), Avenida El Salitre, Avenida José Celestino Mutis, Avenida El Dorado, Avenida la Esperanza, Línea del Ferrocarril de Occidente, Calle 13, Río Fucha, Avenida Alsacia, entrada a Bavaria, Avenida de las Américas, Avenida 1 de Mayo, Calle 37 Sur, cruce Avenida Boyacá, Cruce Avenida Ferrocarril, Río Tunjuelo, Ingreso Villa del Río, Autopista Sur, entrada al barrio Ismael Perdomo), y esta vulnerabilidad está asociada a daños por construcciones adyacentes .
2. Que la **Vulnerabilidad Operativa** presenta la condición más desfavorable en la primera parte del tramo (K35+825 al K41+499) y hasta la intersección de la Avenida Luis Carlos Galán, debido principalmente a la falta de suplencia del servicio, en el resto del tramo la condición no es tan crítica y presenta vulnerabilidad de moderada a alta, en razón principalmente a que no hay en la actualidad suplencia del servicio.
3. Que la **Vulnerabilidad Sísmica** presenta condiciones favorables en la mayoría del tramo y dado que tiene un peso del 20% dentro de la vulnerabilidad global, favorece su resultado. El único tramo que presenta una condición diferente es el tramo final (K51+771 al K52+117) de llegada al tanque Casablanca en el que la vulnerabilidad sísmica es moderada.
4. La **Vulnerabilidad Física** es de alta a moderada en la mayoría del tramo, esto principalmente refleja la criticidad de algunas de sus condiciones, por ejemplo el estado de accesorios y las características circundantes de la tubería, ya que la mayoría del tramo es poblado con concentración de servicios e infraestructura.

Dado que el tramo presenta condiciones homogéneas, para el análisis de cada sector vale la pena únicamente anotar que se presenta cambio de las condiciones en las intersecciones y la evaluación de la condición de cada una de las variables realizada por los expertos de cada área, las variables críticas identificadas, los sectores que presentan condiciones similares y los resultados de las vulnerabilidades asociadas, se presentan en el Anexo 5.

6.3. CONCLUSIONES APLICABILIDAD DEL MODELO DE VULNERABILIDAD GLOBAL

De los resultados obtenidos podemos concluir que:

1. Dado que la evaluación de la mayoría de condiciones de la línea Red Matriz de 78” obedece a el criterio de los expertos, tanto en la asignación de variables, como en su ponderación y valoración, la mayoría de veces cualitativa, este es un análisis subjetivo que podría sufrir cambios si lo valoran otros expertos diferentes, cambiando seguramente la interpretación de los resultados numéricos y por tanto las conclusiones.




| | | | |
|---|---|--|-------------------|
|  | ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78” TIBITOC – CASABLANCA |  CONSORCIO TIBITOC 2006 | |
| CONTRATO 1-02-25400-514-2006 | PRODUCTO 8.3 INFORME DE ANALISIS Y VALORACION DEL RIESGO | RTC-IF-GE-007 | VERSIÓN: 0 |
| | | PÁGINA 22 DE 37 FECHA: 2008-06-26 | |

2. La evaluación de la vulnerabilidad Global, según el modelo planteado, permite establecer un estado general de las condiciones de la tubería en un sector, pero no es determinante de las condiciones específicas del mismo.
3. El análisis realizado permite por un lado evaluar en conjunto el estado de la línea y por otro hacer una conjunción de probabilidades para llegar a un resultado de vulnerabilidad Global que considera todas las posibles variables que influyen en el estado de la tubería y por tanto en la prestación del servicio, lo que permite analizar situaciones específicas que pueden ser corregidas o mejoradas y harán parte de las recomendaciones para la rehabilitación.
4. Dentro del modelo se tienen consideradas variables que no aplican a lo largo del tramo 1, por lo que son evaluadas favorablemente y adicionalmente tienen un peso muy alto (por ejemplo terrorismo, construcciones adyacentes, población afectada) lo que favorece el resultado de la vulnerabilidad global y no refleja el resultado de la vulnerabilidad física que en algunos casos es alta, por lo tanto es necesario evaluar las variables críticas encontradas de manera específica.
5. Dado que confluyen muchas variables en el análisis (26), el estado crítico de una o pocas de éstas no necesariamente se ve reflejado en el resultado de la vulnerabilidad global, por lo que cada vulnerabilidad asociada debe ser analizada individualmente, es decir las recomendaciones tienen que partir más del mejoramiento de la variable o variables críticas identificadas a lo largo de la línea que del mejoramiento de la vulnerabilidad global.

7. IDENTIFICACION DE SITIOS CRITICOS Y ESCENARIOS DE SOLUCION

Como los resultados del análisis de Vulnerabilidad dan una medida subjetiva del grado de exposición de la tubería a un determinado riesgo, pero no determinan de manera precisa el nivel de riesgo al que está sometido un determinado sub-tramo de la tubería por no constituirse en un método determinístico, para el análisis de riesgo de la línea Tibitoc-Casablanca a partir del análisis de Vulnerabilidad Global para los tramos 1 y 3 se identificaron los sitios que presentan condiciones críticas en alguna de las variables incluidas en el análisis y que son susceptibles de ser mejoradas: físicas, operativas y exógenas, por considerar que son estos los que de manera objetiva nos permiten definir un mayor grado de exposición al riesgo, los resultados de esta identificación se presentan en los Anexos 19 a 21, definiendo su ubicación exacta y el valor e interpretación de la vulnerabilidad asociada.

A partir de las variables críticas identificadas se definieron los posibles escenarios de solución.

| | | | |
|---|---|--|-------------------|
|  | ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78” TIBITOC – CASABLANCA |   SILVA CARREÑO Y ASOCIADOS S.A. CONSORCIO TIBITOC 2006 | |
| CONTRATO 1-02-25400-514-2006 | PRODUCTO 8.3 INFORME DE ANALISIS Y VALORACION DEL RIESGO | RTC-IF-GE-007 | VERSIÓN: 0 |
| | | PÁGINA 23 DE 37 FECHA: 2008-06-26 | |

7.1. ESCENARIOS DE SOLUCION ANALIZADOS

Para este análisis se tiene que las condiciones del tramo 1 y las del tramo 3 son diferentes por lo que cada tramo se analizará por separado.

7.1.1 Tramo 1

Dado que el tramo 2 de la tubería ya fue rehabilitado y permite que la tubería sea operada a la máxima presión utilizando el tanque alto de la planta de Tibitoc, para que esta operación pueda realizarse, la condición de la tubería del tramo 1 debe permitirlo sin riesgo de daños y roturas del tubo (Vulnerabilidad física), máxime que el índice de presión en este tramo inicial (relación entre la presión de diseño y la presión de trabajo) es muy cercano a 1.




Tal como se mencionó en el análisis de vulnerabilidad Global, los resultados de ésta no reflejaron el estado deficiente del tubo como tal, por lo que fue necesario estudiar aisladamente la vulnerabilidad física, estudio que se realizó mediante la inspección de la tubería del Tramo 1, que se realizó con la firma Canadiense PURE Technologies Ltda.; esta inspección se llevó a cabo utilizando el sistema P.Wave Electromagnetic.

Para realizar esta inspección se sacó de servicio el Tramo 1 de la tubería de 78” y se mantuvo el suministro utilizando la tubería de 60” existente. Los resultados de la inspección permiten concluir el mal estado de la tubería en el tramo K0-260 al K4+420, y por lo tanto se propone rehabilitar la tubería mediante el blindaje interior con una tubería de acero de 72” en el tramo comprendido entre las válvulas V7 y V9. Los resultados de esta inspección se presentan en el producto 14.1. Documento RTC-IF-GE-005 “Informe de Inspección Electromagnética del Tramo 1”, que hace parte de este estudio.

7.1.2 Tramo 3



De la investigación realizada para el Tramo 3 se estableció que con la infraestructura actual, no se cuenta con una alternativa de servicio que permita realizar la inspección de la línea. Para este tramo, solo se podrá realizar la inspección una vez se cuente con las obras complementarias planteadas dentro de este estudio en el producto 5.2. Documento RTC-IF-HI-004 “Análisis de Alternativas de Servicio para los Trabajos de Rehabilitación”, que permitan sacar de operación la tubería de 78” sin afectar el servicio, por lo que se tomará como base para la formulación de escenarios posibles, la información evaluada en el análisis de vulnerabilidad.

Igual que para el tramo 1, se pudo establecer que la metodología de evaluación de la vulnerabilidad global, tal como está planteada, no se puede interpretar con el valor de un resultado concreto (numérico o lingüístico), porque si bien es cierto da una idea del grado de exposición de la tubería, su complejidad no permite evidenciar los problemas puntuales que se

| | | | |
|---|---|--|-------------------|
|  | ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78” TIBITOC – CASABLANCA |   SILVA CARREÑO Y ASOCIADOS S.A. CONSORCIO TIBITOC 2006 | |
| CONTRATO 1-02-25400-514-2006 | PRODUCTO 8.3 INFORME DE ANALISIS Y VALORACION DEL RIESGO | RTC-IF-GE-007 | VERSIÓN: 0 |
| | | PÁGINA 24 DE 37 FECHA: 2008-06-26 | |

presentan en ésta, por lo que para el análisis de escenarios de solución propuestos se realizó la identificación de las variables críticas asociadas a las vulnerabilidades parciales. La información presentada en los Anexos 19 a 21 relacionada con las variables críticas identificadas se tomo como referencia para proponer las obras que permitan el mejoramiento de las condiciones actuales de la tubería, para lo cual se evaluaron cuatro escenarios que se definieron así:

1. **Mejoramiento de la tubería existente**, consistente en un acondicionamiento de la tubería para permitir una mejora en sus condiciones de operación pero que no implica el reemplazo o rehabilitación de la tubería actual de 78”. Estas obras incluyen el cambio e instalación de válvulas adicionales, la construcción de manijas para mejorar las condiciones operativas de suministro alterno, el reforzamiento de la tubería en las intersecciones viales y la rehabilitación de accesorios. Las manijas se construirán con diámetros tales que permitan garantizar el pleno abastecimiento para el consumo estimado de saturación. Dado que la tubería existente no se rehabilita, la Empresa debe disponer de un fondo de mantenimiento para realizar las reparaciones y pagar los perjuicios cada vez que se presenten roturas por causa del deterioro de 50 años de uso de esta tubería.
2. **Construcción de una tubería paralela de 60”**, la cual reemplazará la de 78” para el consumo estimado de saturación, y realizando mejoras menores en la tubería existente de 78” con el fin de que tenga capacidad de prestar suministro alterno. En este caso la tubería existente de 78” se utilizará como suplencia en caso de daños o inspecciones permitiendo aislar y sacar de servicio tramos de la nueva tubería sin afectar el servicio.
3. **Construcción de una tubería paralela de 72”**, la cual reemplazará la de 78”, con el fin de disponer de capacidad remanente adicional igual a la que tendría la tubería existente al rehabilitarla mediante un blindaje interior, caudal que es mayor que el consumo estimado de saturación. Como en el caso anterior será necesario realizar mejoras menores en la tubería existente de 78” con el fin de que tenga capacidad de prestar suministro alterno. Como en el caso anterior, la tubería existente de 78” se utilizará como suplencia en caso de daños o revisiones permitiendo aislar y sacar de servicio tramos de la nueva tubería sin afectar el servicio.
4. **Rehabilitación de la tubería**, consiste en la rehabilitación de la tubería actual de 78” mediante un blindaje interior con una tubería de acero de 72”. Debido al hecho que la zona de la ciudad servida por esta tubería matriz no tiene posibilidad de suministro alterno, se considero como una intervención necesaria adicional el mejoramiento de las condiciones operativas de la red dependiente de esta tubería matriz para lo cual se requiere, el cambio e instalación de válvulas adicionales, la construcción de manijas para mejorar las condiciones operativas de suministro alterno, el reforzamiento de la tubería en las intersecciones viales y la rehabilitación de accesorios. Las manijas se



| | | | |
|---|---|--|-------------------|
|  | ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78" TIBITOC – CASABLANCA |  CONSORCIO TIBITOC 2006 | |
| CONTRATO 1-02-25400-514-2006 | PRODUCTO 8.3 INFORME DE ANALISIS Y VALORACION DEL RIESGO | RTC-IF-GE-007 | VERSIÓN: 0 |
| | | PÁGINA 25 DE 37 FECHA: 2008-06-26 | |

construirían con diámetros tales que permitan garantizar el pleno abastecimiento para el consumo estimado de saturación.

Como solución al problema de las variables críticas identificadas a lo largo del tramo 3 se hizo un análisis para los cuatro escenarios planteados, para saber cada escenario que variable crítica mejora y cual sigue constituyendo un riesgo para el funcionamiento del sistema, el análisis se presenta en el cuadro 7.1.

**CUADRO 7.1 SOLUCION A VARIABLES CRITICAS IDENTIFICADAS PARA EL TRAMO 3
PARA LOS CUATRO ESCENARIOS**

| VULNERABILIDAD ASOCIADA | VARIABLE CRITICA IDENTIFICADA | MEJORAMIENTO | CONSTRUCCION TUBERIA PARALELA DE 60" | CONSTRUCCION TUBERIA PARALELA DE 72" | REHABILITACION |
|-------------------------|--|--|--|--|---|
| | | SOLUCION SI NO SE REHABILITA Y SE MEJORA | SOLUCION SI SE CONSTRUYE UNA TUBERIA PARALELA Y SE REALIZAN MEJORAS MENORES | SOLUCION SI SE CONSTRUYE UNA TUBERIA PARALELA Y SE REALIZAN MEJORAS MENORES | SOLUCION SI SE REHABILITA |
| FISICA | ESTADO DE ACCESORIOS | REHABILITACION ACCESORIOS | ACCESORIOS NUEVOS PARA LA DE 60" Y REHABILITACION DE ACCESORIOS PARA LA DE 78" | ACCESORIOS NUEVOS PARA LA DE 72" Y REHABILITACION DE ACCESORIOS PARA LA DE 78" | ACCESORIOS NUEVOS |
| | MATERIAL | NO LO SOLUCIONO | CONSTRUCCION TUBERIA PARALELA DE 60" | CONSTRUCCION TUBERIA PARALELA DE 72" | REHABILITACION DE LA TUBERIA |
| | CARACTERISTICAS CIRCUNDANTES DE LA TUBERIA | PROTECCION DE LA TUBERIA (INTERSECCIONES VIALES) | CONSTRUCCION TUBERIA PARALELA DE 60" | CONSTRUCCION TUBERIA PARALELA DE 72" | REHABILITACION DE LA TUBERIA |
| OPERATIVA | DIFICULTAD DE ACCESO | SUPLENCIA (MANIJAS VALVULAS Y ACCESORIOS) | CONSTRUCCION TUBERIA PARALELA DE 60" | CONSTRUCCION TUBERIA PARALELA DE 72" | SUPLENCIA (MANIJAS VALVULAS Y ACCESORIOS) |
| | DIFICULTAD DE AISLAMIENTO | SUPLENCIA (MANIJAS VALVULAS Y ACCESORIOS) | SUPLENCIA (TUBERIA 78") | SUPLENCIA (TUBERIA 78") | SUPLENCIA (MANIJAS VALVULAS Y ACCESORIOS) |
| | POBLACION AFECTADA | SUPLENCIA (MANIJAS VALVULAS Y ACCESORIOS) | SUPLENCIA (TUBERIA 78") | SUPLENCIA (TUBERIA 78") | SUPLENCIA (MANIJAS VALVULAS Y ACCESORIOS) |
| SISMICA | DEFORMACION PERMANENTES Y TRANSCIENTES | JUNTAS MECANICAS FLEXIBLES | JUNTAS MECANICAS FLEXIBLES | JUNTAS MECANICAS FLEXIBLES | JUNTAS MECANICAS FLEXIBLES |
| VARIABLES EXOGENAS | CONSTRUCCIONES ADYACENTES | PROTECCION DE LA TUBERIA (INTERSECCIONES VIALES) | CONSTRUCCION TUBERIA PARALELA DE 60" | CONSTRUCCION TUBERIA PARALELA DE 72" | REHABILITACION DE LA TUBERIA |

| | | | |
|---|---|--|-------------------|
|  | ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78” TIBITOC – CASABLANCA |  CONSORCIO TIBITOC 2006 | |
| CONTRATO 1-02-25400-514-2006 | PRODUCTO 8.3 INFORME DE ANALISIS Y VALORACION DEL RIESGO | RTC-IF-GE-007 | VERSIÓN: 0 |
| | | PÁGINA 26 DE 37 FECHA: 2008-06-26 | |

En el capítulo 9 se presentarán los costos asociados a cada una de las alternativas de solución planteadas para cada uno de los escenarios analizados.



8. RESULTADOS VULNERABILIDAD TRAMOS 1 Y 3 REHABILITADOS

La cuantificación de las variables para cada uno de los sectores fue la misma dada por los especialistas para la mayoría de las variables incluidas en el análisis de los tramos 1 y 3 sin rehabilitar modificando únicamente las condiciones para las variables que se ven afectadas con la rehabilitación o mejoramiento propuestos. A continuación se presentan las variables que afectan su condición por cuenta de la rehabilitación o mejoramiento, de acuerdo con lo planteado en el capítulo 7 para cada tramo:

Tramo 1: De acuerdo con la rehabilitación propuesta mediante blindaje interior con una tubería de acero de 72” en el tramo comprendido entre las válvulas V7 y V9, se mejoran dos de las variables físicas identificadas como críticas la condición del material y el estado de accesorios y la vulnerabilidad asociada a variables exógenas ya que la tubería queda blindada. La vulnerabilidad global pasa de moderada/baja a baja, porque la vulnerabilidad física pasa de alta a baja; sin embargo, hay dos puntos de vulnerabilidad global moderada asociada a variables exógenas en el embalse bajo Teusacá y en el cultivo Flores Britania 2.

La valoración de la condición de las diferentes variables fue introducida en el programa Fuzzynet; tanto los valores de cada variable como los resultados de las vulnerabilidades asociadas y la vulnerabilidad global, se presentan en el Anexo 9, gráficamente en los Anexos 10 y 11, en el Anexo 12 se ordena la vulnerabilidad de mayor a menor y en los Anexos 19 a 21 se presenta el cambio de vulnerabilidad de los sitios críticos identificados inicialmente y como la vulnerabilidad mejora con la intervención propuesta.

Tramo 3: Para éste tramo, dado que no se ha tomado la decisión final de intervención dentro de las alternativas propuestas, el análisis se realizó con la alternativa de vulnerabilidad para el escenario más crítico (para la alternativa de menor intervención), es decir la de mejoramiento de algunas condiciones del tubo (construcción de manijas para mejorar las condiciones operativas de suministro alterno, el cambio e instalación de válvulas adicionales, el reforzamiento de la tubería en las intersecciones viales y la rehabilitación de accesorios), este análisis muestra que la vulnerabilidad física continúa siendo moderada (porque aunque se mejoran los accesorios y puntos críticos, la condición del material es evaluada desfavorablemente); la vulnerabilidad operativa pasa de muy alta/moderada a muy baja básicamente porque se construyen manijas que permiten aislar tramos que dan posibilidad de suministro alterno mientras se realizan reparaciones, con lo cual la vulnerabilidad Global pasa de moderada/alta a baja.

| | | | |
|---|---|--|-------------------|
|  | ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78” TIBITOC – CASABLANCA |  CONSORCIO TIBITOC 2006 | |
| CONTRATO 1-02-25400-514-2006 | PRODUCTO 8.3 INFORME DE ANALISIS Y VALORACION DEL RIESGO | RTC-IF-GE-007 | VERSIÓN: 0 |
| | | PÁGINA 27 DE 37 FECHA: 2008-06-26 | |

Esta alternativa se consideró como una opción válida en razón principalmente a que no se ha presentado historia de daños en la tubería y porque al empezar a construir manijas ésta se podrá inspeccionar, establecer su estado físico real y en caso necesario los tubos o tramos que merecen ser rehabilitados.

La valoración de la condición de las diferentes variables fue introducida en el programa Fuzzynet; tanto los valores de cada variable como los resultados de las vulnerabilidades asociadas y la vulnerabilidad global, se presentan en el Anexo 13, gráficamente en los Anexos 14 y 15, en el Anexo 16 se ordena la vulnerabilidad de mayor a menor y en los Anexos 19 a 21 se presenta el cambio de vulnerabilidad los sitios críticos identificados inicialmente y como la vulnerabilidad mejora con la intervención propuesta.

Adicionalmente al incluir en el análisis la construcción de una tubería nueva paralela de 60” o de 72” dejando la existente de 78” solamente como suplencia, o la rehabilitación de la tubería actual de 78” mediante un blindaje interior mas la construcción de manijas, la vulnerabilidad global pasaría a ser muy baja, porque se mejoraría simultáneamente la condición del material es decir, la vulnerabilidad física pasa a ser baja y la operativa pasaría a muy baja por la posibilidad de suplencia .




CUADRO 7.2 CAMBIOS EN LA VULNERABILIDAD PARA EL TRAMO 3 CON LAS ALTERNATIVAS PROPUESTAS

| Alternativa | Vulnerabilidad | | |
|-------------------|----------------|----------|-------------------|
| | Global | Física | Operativa |
| Tubería existente | Mod/Alta | Mod/Alta | Muy Alta/Moderada |
| Mejoramiento | Baja | Moderada | Baja |
| Tubería 60" | Muy Baja | Muy Baja | Muy Baja |
| Tubería 72" | Muy Baja | Muy Baja | Muy Baja |
| Rehabilitación | Muy Baja | Muy Baja | Baja |

Para efectos de comparar la incidencia de las obras propuestas en la vulnerabilidad global, en los Anexos 17 y 18 se presentan los gráficos comparativos de la vulnerabilidad global en el escenario rehabilitado y sin rehabilitar para los tramos 1 y 3, respectivamente.

9. ANALISIS DE RIESGO Y COSTOS ASOCIADOS

El riesgo se definió en el informe de metodología como la dificultad del sistema para asumir las demandas a las que está expuesto, sin embargo para que el análisis de riesgo sea una herramienta para la toma de decisiones bajo incertidumbre, es necesario que numéricamente se

| | | | |
|---|---|--|-------------------|
|  | ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78” TIBITOC – CASABLANCA |   SILVA CARREÑO Y ASOCIADOS S.A. CONSORCIO TIBITOC 2006 | |
| CONTRATO 1-02-25400-514-2006 | PRODUCTO 8.3 INFORME DE ANALISIS Y VALORACION DEL RIESGO | RTC-IF-GE-007 | VERSIÓN: 0 |
| | | PÁGINA 28 DE 37 FECHA: 2008-06-26 | |

comparen el costo de asumir el riesgo frente al costo de mitigarlo, teniendo en cuenta, para ambos casos, los factores involucrados en la determinación de cada tipo de costo.

En el capítulo 7, de éste informe, se explico que para el tramo 1, debido a las condiciones de presión de la tubería al trabajar con tanque alto y por las condiciones encontradas en la inspección física de la tubería, la mayor parte del tramo deberá ser rehabilitado (mitigación del riesgo), por lo que el análisis de riesgo se tomará como herramienta de decisión de la intervención o no intervención de la tubería únicamente para el tramo 3.



El análisis que se presenta a continuación pretende evaluar a partir de la comparación de costos en un horizonte de tiempo que opción es económicamente más atractiva para la Empresa, entre intervenir y rehabilitar de inmediato la tubería o construir una tubería nueva paralela que la reemplace o esperar a que se presenten daños para realizar las inversiones requeridas para reparar el daño, y pagar los costos operativos y los perjuicios causados, en el entendido de que intervengase o no la tubería hay riesgos que obedecen a causas externas y no se pueden eliminar en ningún caso, como por ejemplo eventos sísmicos, actos de terrorismo, etc. Para el mencionado análisis y la correspondiente evaluación se definió que los costos a comparar son:

- El costo de asumir el riesgo de no reparar la tubería (costos de las reparaciones y los perjuicios) y construir manijas que garanticen suministro alternativo cuando se presenten daños y deban ser sacados temporalmente tramos de la tubería existente.
- El costo de rehabilitar la tubería: mejoramiento y rehabilitación y construcción de manijas que garanticen suministro alternativo durante el proceso de rehabilitación o cuando en el futuro se requieran inspecciones, cambio de válvulas y accesorios y deban ser sacados temporalmente tramos de la tubería existente.
- Los costos de construcción de una nueva tubería paralela de 60”.
- Los costos de construcción de una nueva tubería paralela de 72”.

9.1. COSTO DE ASUMIR EL RIESGO

Para el análisis que nos ocupa se estimo el costo probable de asumir el riesgo de que se presenten daños, es decir cuál es el costo de no intervenir la tubería (solo mejorar parcialmente sus condiciones), pero realizar inversiones solamente cuando se requiera repararla al presentarse cada daño. Se considero que este valor debe tener asociados los costos de la reparación como tal, costos operativos y costos externos.

Los costos identificados son los siguientes:

| | | | |
|---|---|--|-------------------|
|  | ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78” TIBITOC – CASABLANCA |  CONSORCIO TIBITOC 2006 | |
| CONTRATO 1-02-25400-514-2006 | PRODUCTO 8.3 INFORME DE ANALISIS Y VALORACION DEL RIESGO | RTC-IF-GE-007 | VERSIÓN: 0 |
| | | PÁGINA 29 DE 37 FECHA: 2008-06-26 | |

- Costos de Reparaciones: Valor del kit de reparación, obras civiles, costos de mano de obra interna.
- Costos Operativos: costos operativos de suministro alterno y el costo del volumen de agua potable perdida durante el daño y la que es necesario botar al drenar la tubería para poder realizar la reparación.
- Costos externos: daños a terceros, costo social y costos de imagen.

La valoración de los costos por daños se calculó con base en los siguientes criterios:



- Costos de reparación de un daño y costos operativos: se tomó como base la información suministrada por la Empresa de la reparación de un daño de red matriz de un diámetro menor, extrapolarlo los costos para el caso de la tubería de 78”.
- Costos externos: daños a terceros: se definieron los valores que podrían cubrir estos costos, tomando valores en principio conservadores pero que dada la incertidumbre pueden aumentar o disminuir dependiendo la magnitud y zona en donde se presente el daño.

El resumen de la valoración del costo asociado a cada reparación de un daño en la tubería se presenta en el cuadro 9.1.

CUADRO 9.1 COSTO DE LA REPARACION DE UN DAÑO

| COSTOS DE REPARACIONES | | | COSTOS OPERATIVOS | | | COSTOS EXTERNOS | | |
|-------------------------------------|----------------------|-------------------|---|----------------------|---------|------------------------------|----------------------|---------|
| DESCRIPCION | VALOR EN MILES DE \$ | UNIDAD | DESCRIPCION | VALOR EN MILES DE \$ | UNIDAD | DESCRIPCION | VALOR EN MILES DE \$ | UNIDAD |
| VALOR DEL KIT DE REPARACION | 40.000,00 | \$/daño | COSTOS OPERATIVOS DEL SUMINISTRO ALTERNO | 20.000,00 | \$/daño | DAÑOS A TERCEROS | 46.000,00 | \$/daño |
| OBRAS CIVILES | 120.000,00 | \$/daño | VOLUMEN DE AGUA POTABLE DRENADA SIN COMERCIALIZAR | 15.000,00 | \$/daño | COSTO SOCIAL | 50.000,00 | \$/daño |
| COSTOS MANO DE OBRA INTERNA | 25.000,00 | \$/daño | | | | COSTO IMAGEN | 44.000,00 | |
| TOTAL REPARACIONES | 185.000,00 | | TOTAL OPERATIVOS | 35.000,00 | | TOTAL COSTOS EXTERNOS | 140.000,00 | |
| COSTO TOTAL DE LA REPARACION | | 360.000,00 | | | | | | |

Nota: los valores están referidos a la reparación de un tubo.



| | | | |
|---|---|--|-------------------|
|  | ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78” TIBITOC – CASABLANCA |  CONSORCIO TIBITOC 2006 | |
| CONTRATO 1-02-25400-514-2006 | PRODUCTO 8.3 INFORME DE ANALISIS Y VALORACION DEL RIESGO | RTC-IF-GE-007 | VERSIÓN: 0 |
| | | PÁGINA 30 DE 37 FECHA: 2008-06-26 | |

9.2. COSTOS DE LAS POSIBLES ALTERNATIVAS DE INTERVENCION

En el capítulo 7 se explico que dentro de las alternativas de intervención serian consideradas 4:

1. Mejoramiento de la tubería existente, consiste en un acondicionamiento de la tubería para permitir una mejora en sus condiciones de operación pero que no implica el reemplazo o rehabilitación de la tubería actual de 78”. Estas obras incluyen el cambio de las válvulas existentes y la instalación de válvulas adicionales, la construcción de manijas para mejorar las condiciones operativas de suministro alterno, el reforzamiento de la tubería en las intersecciones viales y la rehabilitación de accesorios. Las manijas se construirán con diámetros tales que permitan garantizar el pleno abastecimiento para el consumo estimado de saturación. Dado que la tubería existente no se rehabilita, la Empresa debe disponer de un fondo de mantenimiento para realizar las reparaciones y pagar los perjuicios cada vez que se presenten roturas por causa del deterioro de 50 años de uso de esta tubería.
2. Construcción de una tubería paralela de 60”, la cual reemplazará la de 78” para el consumo estimado de saturación, y realizando mejoras menores en la tubería existente de 78” con el fin de que tenga capacidad de prestar suministro alterno. En este caso la tubería existente de 78” se utilizar como suplencia en caso de daños o revisiones permitiendo aislar y sacar de servicio tramos de la nueva tubería sin afectar el servicio.
3. Construcción de una tubería paralela de 72”, la cual reemplazará la de 78”, con el fin de disponer de capacidad remanente adicional igual a la que tendría la tubería existente al rehabilitarla mediante un blindaje interior, caudal que es mayor que el consumo estimado de saturación. Como en el caso anterior será necesario realizar mejoras menores en la tubería existente de 78” con el fin de que tenga capacidad de prestar suministro alterno.
4. Rehabilitación de la tubería, consiste en la rehabilitación de la tubería actual de 78” mediante un blindaje interior con una tubería de acero de 72”. Debido al hecho que la zona de la ciudad servida por esta tubería matriz no tiene posibilidad de suministro alterno, se considero como una intervención necesaria adicional el mejoramiento de las condiciones operativas de la red dependiente de esta tubería matriz para lo cual se requiere la construcción de manijas para mejorar las condiciones operativas de suministro alterno, el cambio e instalación de válvulas adicionales, el reforzamiento de la tubería en las intersecciones viales y la rehabilitación de accesorios. Las manijas se construirían con diámetros tales que permitan garantizar el pleno abastecimiento para el consumo estimado de saturación.

La valoración de los costos para cada una de las intervenciones estudiadas se presenta en el cuadro 9.2.

| | | | |
|---|---|--|-------------------|
|  | ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78" TIBITOC – CASABLANCA |  CONSORCIO TIBITOC 2006 | |
| CONTRATO 1-02-25400-514-2006 | PRODUCTO 8.3 INFORME DE ANALISIS Y VALORACION DEL RIESGO | RTC-IF-GE-007 | VERSIÓN: 0 |
| | | PÁGINA 31 DE 37 FECHA: 2008-06-26 | |

CUADRO 9.2 COSTO DE LAS INTERVENCIONES PROPUESTAS



| CONCEPTO | ALTERNATIVA 1 MEJORAMIENTO CONDICIONES OPERATIVAS TUBERÍA EXISTENTE (Manijas e instalación válvulas intermedias) | ALTERNATIVA 2 REEMPLAZO TUBERIA 60" (CCP) (dejando la de 78" para suministro alterno) | ALTERNATIVA 3 REEMPLAZO TUBERIA 72" (CCP) (dejando la de 78" para suministro alterno) | ALTERNATIVA 4 REHABILITACIÓN TUBERÍA 78" (encamisado en tubería de acero 72") |
|---|--|--|--|--|
| | 2015 | | | |
| Construcción manijas / reemplazo tubería / rehabilitación tubería | 19,800 | 56,200 | 86,900 | 81,000 |
| Instalación válvulas intermedias nuevas | 8,500 | 6,700 | 8,200 | - |
| Renovación válvulas en línea existentes | 6,200 | 2,200 | 2,200 | - |
| Renovación válvulas de derivación existentes | 1,200 | 1,200 | 1,200 | - |
| Protección de tuberías | 6,000 | 6,000 | 6,000 | - |
| Bloqueos de línea para instalación de válvulas intermedias nuevas y renovación de válvulas existentes | 8,300 | - | - | - |
| Construcción manija demanda 2015 | - | - | - | 50,000 |
| VALOR DE LAS OBRAS | 50,000 | 72,300 | 104,500 | 131,000 |
| DIFERENCIA CON EL MEJORAMIENTO | - | 22,300 | 54,500 | 81,000 |

Dado que las alternativas 2, 3 y 4 producen beneficios iguales (permitir el abastecimiento normal y durante suplencias para el consumo de saturación, la evaluación por costo mínimo es una metodología válida, por lo cual entre estas tres opciones la mejor para la Empresa esta representada en la construcción de una tubería paralela de 60".

9.3. COMPARACION ECONOMICA

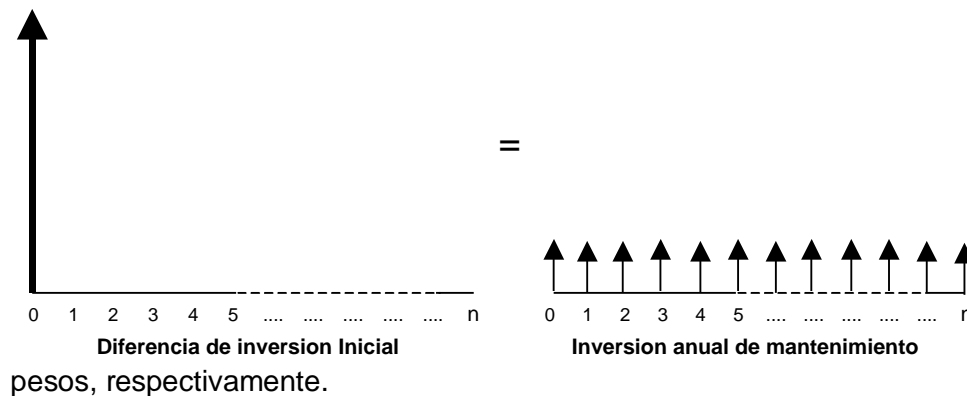
La presente comparación se da entre el costo de asumir el riesgo de reparar y el costo de rehabilitar la tubería existente o construir tuberías nuevas paralelas.

Para disponer de un elemento de juicio económico que permita a la Empresa valorar y comparar entre asumir el riesgo de que se presenten daños en la tubería y repararlos cada vez

| | | | |
|---|---|--|-------------------|
|  | ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78” TIBITOC – CASABLANCA |  CONSORCIO TIBITOC 2006 | |
| CONTRATO 1-02-25400-514-2006 | PRODUCTO 8.3 INFORME DE ANALISIS Y VALORACION DEL RIESGO | RTC-IF-GE-007 | VERSIÓN: 0 |
| | | PÁGINA 32 DE 37 FECHA: 2008-06-26 | |

que se presenten, realizando algunas mejoras en las condiciones de la tubería consistentes en construir manijas para mejorar la condición operativa, frente a realizar de inmediato la inversión necesaria para construir una nueva tubería paralela o rehabilitar la existente, se determinó la diferencia de inversión entre el valor de las obras de mejoramiento (Alternativa 1) y el valor de las obras necesarias para instalar una nueva tubería paralela de 60” (Valor presente) para calcular el monto equivalente anual que podría disponer la Empresa para realizar reparaciones, tal que económicamente sean alternativas equivalentes.

Las diferencias de inversión según el cuadro 9.2 son 22.300, 54.500 y 81.000 millones de



pesos, respectivamente.

Para el análisis se consideró una tasa de actualización del 12% y un horizonte de análisis (n) variable entre de 10 a 50 años.



Para establecer la ecuación a utilizar en el análisis partimos de las ecuaciones de análisis financiero básicas:

$$F = P (1 + i)^n \quad (9.1)$$

Donde

| | |
|----|---------------------|
| F: | valor futuro |
| P: | valor presente |
| i: | tasa de descuento |
| n: | periodo de análisis |

El monto de inversión anual que permite acumular al final de un período de (n) años, con una tasa de interés anual (i) un valor futuro F es el siguiente:

| | | | |
|---|---|--|-------------------|
|  | ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78” TIBITOC – CASABLANCA |  CONSORCIO TIBITOC 2006 | |
| CONTRATO 1-02-25400-514-2006 | PRODUCTO 8.3 INFORME DE ANALISIS Y VALORACION DEL RIESGO | RTC-IF-GE-007 | VERSIÓN: 0 |
| | | PÁGINA 33 DE 37 FECHA: 2008-06-26 | |

$$A = \frac{F(i)}{(1+i)^n - 1} \quad (9.2)$$

Como se conoce el valor de P (valor de intervención necesaria para rehabilitar la tubería), para calcular el monto anual que es necesario invertir para que sea equivalente a dicha inversión, basta combinar las ecuaciones anteriores (9.1) y (9.2) y despejar el valor de A, como se presenta a continuación:

$$A = \frac{P(1+i)^n (i)}{(1+i)^n - 1} \quad (9.3)$$

El análisis del punto de equilibrio se presenta en los anexos 22, 23 y 24, para los siguientes escenarios:



Equivalencia económica entre el costo de construir una tubería paralela de 60” y el costo de mejorar de inmediato la tubería de 78”, que incluye el costo de las manijas, la renovación e instalación de válvulas intermedias nuevas, la protección de tuberías y la renovación de válvulas de derivación existentes. Anexo 22.

Equivalencia económica entre el costo de construir una tubería paralela de 72” y el costo de mejorar de inmediato la tubería de 78”, que incluye el costo de las manijas, la renovación e instalación de válvulas intermedias nuevas, la protección de tuberías y la renovación de válvulas de derivación existentes. Anexo 23.

Equivalencia económica entre el costo de rehabilitar de inmediato la tubería y el costo de reparar la tubería cada vez que se produce un daño. Anexo 24.

La información de entrada para el modelo de análisis económico es la siguiente (ver cuadros 9.1 y 9.2):

1. Tasa de descuento: 12% EA
2. Horizonte de análisis: Variable entre 10 y 50 años
3. Valor de las obras de mejoramiento y construcción de las manijas \$50.000
4. Valor de la construcción de la Tubería Paralela de 60” (millones de pesos corrientes): \$72.300

| | | | |
|---|---|--|-------------------|
|  | ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78" TIBITOC – CASABLANCA |  CONSORCIO TIBITOC 2006 | |
| CONTRATO 1-02-25400-514-2006 | PRODUCTO 8.3 INFORME DE ANALISIS Y VALORACION DEL RIESGO | RTC-IF-GE-007 | VERSIÓN: 0 |
| | | PÁGINA 34 DE 37 FECHA: 2008-06-26 | |

5. Valor de la construcción de la Tubería Paralela de 72" (millones de pesos corrientes):
\$104.500

6. Valor de la Rehabilitación (millones de pesos corrientes): \$131.000

Al analizar los resultados de los análisis económicos presentados en los Anexos, 22 a 24, se observa que realizar de inmediato la inversión adicional de \$81.000.000.000 rehabilitando la tubería existente (Anexo 24), es equivalente tener un fondo que permitiría a la Empresa realizar 40 reparaciones anuales durante 10 años, es decir reparar el 17% del total de tubos del tramo 3 en los primeros 10 años, con una inversión anual de \$14.335.717.296.

El resumen del número de tubos que pueden ser reparados por año se presenta en el cuadro 9.3.



CUADRO 9.3 NUMERO DE TUBOS POR AÑO QUE PUEDEN REPARARSE CON EL FONDO DE REPARACIÓN

| Numero de tubos | ALTERNATIVA 2 (PARALELA DE 60") | | ALTERNATIVA 3 (PARALELA DE 72") | | ALTERNATIVA 4 (REHABILITACIÓN) | |
|-----------------|---------------------------------|---------|---------------------------------|---------|--------------------------------|---------|
| | 10 AÑOS | 50 AÑOS | 10 AÑOS | 50 AÑOS | 10 AÑOS | 50 AÑOS |
| Tubos / año | 11 | 7 | 27 | 18 | 40 | 27 |
| Tubos totales | 110 | 350 | 270 | 900 | 400 | 1370 |

Como la evaluación de los costos externos asociados con el daño de un tubo tiene costos cuya evaluación es subjetiva (por ejemplo los costos de imagen, daños a terceros, etc..) se realizó un análisis de sensibilidad para establecer el número de daños que se podrían atender si el costo total de las reparaciones se modifica por causa de los costos externos (subjetivos). La sensibilidad se realizó considerando que el costo total fuese de \$ 360.000.000, \$500.000.000, o 1.000.000.000 y los resultados se presentan en el cuadro 9.4.

CUADRO 9.4 NUMERO DE TUBOS DURANTE EL PERÍODO DE ANÁLISIS QUE PUEDEN REPARARSE CON EL FONDO DE REPARACIÓN

| VALOR DAÑO | ALTERNATIVA 2 (PARALELA DE 60") | | ALTERNATIVA 3 (PARALELA DE 72") | | ALTERNATIVA 4 | |
|---------------|---------------------------------|---------|---------------------------------|---------|---------------|---------|
| | 10 AÑOS | 50 AÑOS | 10 AÑOS | 50 AÑOS | 10 AÑOS | 50 AÑOS |
| 360.000.000 | 110 | 350 | 270 | 900 | 400 | 1350 |
| 500.000.000 | 80 | 250 | 190 | 650 | 290 | 950 |
| 1.000.000.000 | 40 | 150 | 100 | 350 | 140 | 500 |

| | | | |
|---|---|--|-------------------|
|  | ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78” TIBITOC – CASABLANCA |  CONSORCIO TIBITOC 2006 | |
| CONTRATO 1-02-25400-514-2006 | PRODUCTO 8.3 INFORME DE ANALISIS Y VALORACION DEL RIESGO | RTC-IF-GE-007 | VERSIÓN: 0 |
| | | PÁGINA 35 DE 37 FECHA: 2008-06-26 | |

Adicionalmente y para poder concluir el estudio, se hizo un resumen presentando un análisis del suministro que se obtiene con cada una de las alternativas planteadas, el cual se presenta en el cuadro 9.5., y comparando la vulnerabilidad global y los costos asociados a cada alternativa.

CUADRO 9.5 RESUMEN DE ALTERNATIVAS



| Alternativa | Vulnerabilidad | | | Riesgo | Costo (Millones \$) | Limitaciones suministro | |
|-------------------|----------------|----------|-------------------|----------|------------------------|-------------------------|-----------|
| | Global | Física | Operativa | | | Operación | Suplencia |
| Tubería existente | Mod/Alta | Mod/Alta | Muy Alta/Moderada | Roturas? | | Q Actual | No |
| Mejoramiento | Baja | Moderada | Baja | Roturas? | 50000 | Q Actual | Q 2015 |
| Tubería 60" | Muy Baja | Muy Baja | Muy Baja | →0 | 74000 | Q saturac. | Q Actual |
| Tubería 72" | Muy Baja | Muy Baja | Muy Baja | →0 | 106200 | Q > Q _{satur} | Q Actual |
| Rehabilitación | Muy Baja | Muy Baja | Baja | →0 | 131000 | Q > Q _{satur} | Q 2015 |

10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El presente estudio permite concluir:



10.1. TRAMO 1

- Tal como se mencionó en el análisis de vulnerabilidad Global, los resultados de ésta no reflejaron el estado deficiente del tubo como tal, por lo que fue necesario estudiar aisladamente la vulnerabilidad física, estudio que se realizó mediante la inspección de la tubería del Tramo 1, que se realizó con la firma Canadiense PURE Technologies Ltda.; esta inspección se llevó a cabo utilizando la técnica “P-Wave Electromagnetic”, herramienta de última tecnología que permite tomar decisiones con información precisa disminuyendo al mínimo el grado de incertidumbre.
- Con base en la inspección física realizada y teniendo en consideración que el tramo 2 subsiguiente de la tubería ya fue rehabilitado y permite que la tubería sea operada a la máxima presión utilizando el tanque alto de la planta de Tibitoc, para que esta operación pueda realizarse, la condición de la tubería del tramo 1 debe permitirlo sin riesgo de daños y roturas del tubo (Vulnerabilidad física), máxime que el índice de presión en este tramo inicial (relación entre la presión de trabajo y la presión de diseño) es muy cercano a 1, por lo que se recomienda rehabilitar la tubería del Tramo 1 mediante el blindaje interior con una tubería de acero de 72” en el tramo comprendido entre las válvulas V7 y V9.

| | | | |
|---|---|--|-------------------|
|  | ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78” TIBITOC – CASABLANCA |  CONSORCIO TIBITOC 2006 | |
| CONTRATO 1-02-25400-514-2006 | PRODUCTO 8.3 INFORME DE ANALISIS Y VALORACION DEL RIESGO | RTC-IF-GE-007 | VERSIÓN: 0 |
| | | PÁGINA 36 DE 37 FECHA: 2008-06-26 | |

10.2. TRAMO 3

- Como cualquier inspección física requiere sacar de servicio el sub-tramo de tubería que se quiera inspeccionar, durante el presente estudio fue operativamente imposible realizar inspecciones físicas en el tramo 3, ya que las válvulas existentes no daban cierre y no se puede dar adecuado suministro alterno en buena parte del tramo por carecer de adecuada suplencia. Por lo anterior, el análisis de vulnerabilidad del tramo 3 se realizó con base en la valoración y definición de las variables involucradas realizada por los especialistas, tanto en la asignación de variables, como en su ponderación, la mayoría de veces cualitativa, por lo que al interpretar los resultados del análisis, es conveniente tener en cuenta que la evaluación de la vulnerabilidad Global, según el modelo planteado, permite establecer **un estado general de la exposición al riesgo de la tubería en un sector**, pero no es determinante de las condiciones específicas del mismo, **por lo que cada vulnerabilidad asociada debe ser analizada individualmente**, es decir las recomendaciones tienen que partir más del mejoramiento de la variable o variables críticas identificadas a lo largo de la línea, que del mejoramiento de la vulnerabilidad global.
- Si se tienen en cuenta estas consideraciones, el análisis de vulnerabilidad sirve para identificar sitios críticos que tienen mayor exposición al riesgo y en esa medida adoptar soluciones para mitigarlo, pero por ser un análisis subjetivo, puede constituirse en un elemento indicativo para la toma de decisiones en la medida que de alguna manera evalúa el estado del tubo, pero desde ningún punto de vista puede ser el único, por lo que claramente se debe recurrir a otro tipo de metodología para la toma de la decisión final, por lo que para la recomendación final se tendrán en consideración los aspectos que se tratan en los siguientes puntos.
- Para tomar cualquier decisión sobre esta tubería es indispensable en primer lugar conocer su estado real puesto que el simple hecho de que lleva en servicio cerca de 36 años no implica que su estado sea crítico. Esta afirmación es respaldada por dos hechos importantes:
 - El índice de presión con el que ha trabajado y deberá trabajar en el futuro es del 60% sin contar con el factor de seguridad del diseño de la tubería, lo que implica que este tramo no ha trabajado ni trabajara cerca del límite de diseño
 - La historia de la tubería en el tramo 3 no reporta daño alguno durante los años de servicio.
- Un elemento de juicio a tener en cuenta en la toma de decisiones es la comparación económica entre el costo de asumir el riesgo (solo mejorar las condiciones de la tubería) y el costo de intervenir o construir una nueva tubería paralela. El resultado muestra que para el punto de equilibrio en el cual las alternativas son económicamente equivalentes en un

| | | | |
|---|---|--|-------------------|
|  | ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA RED MATRIZ DE 78” TIBITOC – CASABLANCA |  CONSORCIO TIBITOC 2006 | |
| CONTRATO 1-02-25400-514-2006 | PRODUCTO 8.3 INFORME DE ANALISIS Y VALORACION DEL RIESGO | RTC-IF-GE-007 | VERSIÓN: 0 |
| | | PÁGINA 37 DE 37 FECHA: 2008-06-26 | |

horizonte de 10 años, realizar la inversión de \$131.000.000.000 (Anexo 24) hoy es equivalente disponer anualmente de un monto que permita a la Empresa realizar 40 reparaciones anuales durante 10 años, es decir reparar el 17% del total de tubos del tramo 3 en 10 años, con una inversión anual del orden de \$14.335.000.000. Como no parece razonable esperar que el tramo de una línea que opera con un índice de presión del 60% y no ha presentado daños en uno solo de sus tubos en los 36 años que lleva de servicio, empiece a presentar 40 daños por año, se puede intuir que ese fondo de mantenimiento anual es más que generoso y que cualquiera de los 40 tubos que no se dañen al año durante los 10 años subsiguientes, constituye un ahorro importante para la Empresa.

- Por lo expuesto en los puntos anteriores se recomienda:
 - Implementar la ejecución de las obras necesarias para realizar la inspección interior de los tres (3) subtramos de tubería (Grupo A) descritos en el Producto 9.1. Documento RTC-IF-GE-008 “Planteamiento de Ejecución de las Obras Alternas para la Inspección y/o Rehabilitación del Tramo 3”. Para conocer el estado real de la tubería se recomienda utilizar la herramienta “P-Wave Electromagnetic” o una similar y a partir de los resultados de la evaluación contratar con la compañía que realice la inspección u otra firma consultora el análisis de riesgo (curvas de riesgo) y vida útil probable de la tubería en los diversos tramos entre válvulas.
 - Dependiendo del resultado de la inspección de este primer grupo se debe continuar con el programa de cambio de válvulas e inspecciones para definir un programa de reparaciones puntuales o si se encuentra que la tubería presenta deterioro en al menos en dos (2) de los subtramos seleccionados según la metodología expuesta en el documento antes mencionado, adoptar la decisión de completar el reemplazo de la tubería de 60”.