



FACTOR CENTRAL DE DAÑO	INTENSIDAD MM						
	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
0.00	94.10	6.90	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.50	5.90	78.80	51.00	2.90	0.00	0.00	0.00
5.00	0.00	14.30	48.00	96.30	63.70	10.60	0.50
20.00	0.00	0.00	0.00	0.80	36.30	82.70	39.00
45.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.70	59.20
80.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.30
100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0
FACTOR DE DAÑO MEDIO	0.03	1.11	2.66	4.99	10.45	20.09	35.51

Tabla 4.3 MATRIZ DE DAÑO PARA LÍNEAS DE DISTRIBUCIÓN

Las matrices de daño calibradas mediante la consulta de expertos para líneas vitales se combinaron con las de intensidad sísmica esperada para determinar la distribución de daños en la ciudad. Las matrices de daño utilizadas en este estudio se obtuvieron del ATC-13 y se modificaron de acuerdo con los procedimientos descritos en el ATC-25 dependiendo de la edad, el mantenimiento, la calidad de los materiales y la calidad de la construcción colombiana.

Para evaluar la vulnerabilidad, el primer paso consiste en utilizar las longitudes de las redes de los sistemas, con el fin de construir la matriz de longitudes.

$$L = [L_{1,1} \dots L_{1,m}]$$

donde :

$L_{i,j}$ = Longitud de la red del sistema i en el tramo j

m = Número de tramos.

De igual manera la intensidad sísmica obtenida del estudio de amenaza ha sido usada para construir la matriz de amenaza sísmica.

$$SI = \begin{vmatrix} SI_{1,1} & SI_{1,2} & \dots & SI_{1,n} \\ SI_{2,1} & SI_{2,2} & \dots & SI_{2,n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ SI_{m,1} & SI_{m,2} & \dots & SI_{m,n} \end{vmatrix} \quad m \times n$$

donde :

$SI_{m,j}$ = Intensidad sísmica (MM - Mercalli Modificada) estimada en el tramo m para el terremoto j .

m = Número de tramos en los que se dividió la red.

n = Número de sismos ($n = 3$)

Usando las matrices de probabilidad de daño de líneas vitales del ATC-13, el Factor de Daño Medio para un sistema dado y para una intensidad dada es :

$$MDF(S,I) = \sum_{DS=1}^n P_{DSI} \times DR_{DS} \quad \text{Ec. 4.2}$$

donde :

DS = Estado de daño (damage state).

P_{DSI} = Probabilidad de daño para un estado de daño del sistema S a intensidad I

DR_{DS} = Relación de daño (damage ratio) por un estado de daño.

Obteniendo así, la matriz MDF:

$$MDF = \begin{vmatrix} MDF_{1,1} & \dots & MDF_{1,L} \\ \vdots & MDF_{i,j} & \vdots \\ MDF_{k,1} & \dots & MDF_{k,L} \end{vmatrix} \quad k \times L$$

donde :

$MDF_{i,j}$ = Mean Damage Factor (MDF) para el sistema i a una intensidad j .
(Este valor es el que se obtiene de las matrices de daño).

K = Número de sistemas bajo consideración.

L = Número de niveles de intensidad sísmica considerados.



Finalmente el daño del sistema S en el i-ésimo tramo, el cual tiene una intensidad sísmica estimada $SI_{i,c}$ para el terremoto hipotético e, se estima como el producto del elemento $(S, S_{i,c})$ de la matriz MDF por el total de longitud $L_{s,i}$ del tramo (matriz de longitudes).

$$D_{s,i} = \text{MDF}_{s,Stc} \times L_i \quad \text{Ec.4.3}$$

donde:

- $D_{s,i}$ = Daño del Sistema S en el i-ésimo tramo
- $\text{MDF}_{s,Stc}$ = Factor de daño dado por las matrices para un sistema S sometido a una intensidad e.
- $L_{i,j}$ = Longitud del sistema i en el tramo j.

El factor de daño en los sistemas de acueducto y gas se expresa en términos del número de roturas por Km de tubería. El procedimiento descrito anteriormente se utilizó para evaluar las redes de distribución de los sistemas de acueducto, alta tensión y gas .

4.3.2 Vulnerabilidad de edificaciones de líneas vitales

Para el cálculo de la vulnerabilidad de las edificaciones principales de los sistemas de energía eléctrica (subestaciones eléctricas) y teléfonos (centrales telefónicas) se utilizó una metodología aproximada que considera los siguientes aspectos :

- Importancia.
- Vulnerabilidad intrínseca
- Vulnerabilidad a la amenaza

El cálculo de la vulnerabilidad se realiza de la siguiente forma :

$$V_T = I \cdot 0.3 + VI \cdot 0.4 + VA \cdot 0.3 \quad \text{Ec. 4.4}$$

donde:

- I= Importancia
- VI= Vulnerabilidad Intrínseca
- VA= Vulnerabilidad a la Amenaza
- V_T = Vulnerabilidad Total

Los valores de 0.3 y 0.4 que se expresan como porcentajes y representan el peso de la calificación de la importancia, la vulnerabilidad intrínseca y la vulnerabilidad a la amenaza en el cálculo de la vulnerabilidad total.

La importancia define la participación de un elemento en el funcionamiento del sistema completo o su participación en la operación de zonas especiales. Para la cali-

ficación de la importancia tanto de las subestaciones eléctricas como de las centrales telefónicas, se hicieron encuestas a personas calificadas dentro de cada una de las empresas de servicio público.

Con respecto a la vulnerabilidad intrínseca, ésta se define con base en el comportamiento de la estructura de acuerdo con sus características propias (regularidad e irregularidad tanto en planta como en alzado, construcción con base en el Código Colombiano de Construcciones Sismoresistentes, presencia de columnas cortas y otros factores).

Para las subestaciones eléctricas, adicionalmente a las visitas, se observó el estado de la estructura de la casa de control y el anclaje de los transformadores, de las celdas y de las baterías, elementos indispensables para el buen funcionamiento de la subestación. Los demás instrumentos de la subestación no fueron revisados debido a que se salen del nivel de detalle de este estudio. De la misma manera que para las centrales telefónicas, la vulnerabilidad intrínseca de cada subestación se calificó entre 0 y 1 siendo 1 la más vulnerable.

4.3.3 Estimación del riesgo

La Figura 4.10 muestra los daños esperados en las redes del acueducto para el caso de un sismo cercano moderado que ocurra en la falla Frontal de la Cordillera Oriental con una aceleración máxima en terreno firme del orden de 0.12g. La Figura 4.11 presenta los daños esperados para un sismo hipotético en la falla Frontal con una aceleración de 0.20g. Este último correspondería a una de las peores situaciones que podría esperarse.

Para redes de alta tensión a diferencia de tuberías enterradas, los daños se calcularon como porcentaje de longitud caída de la red. Las Figuras 4.12 y 4.13 muestran los tramos de cables afectados debido a un sismo cercano moderado de 0.12g y los daños esperados para un sismo cercano fuerte con una aceleración máxima de 0.20g, respectivamente.

En cuanto a las redes primarias y secundarias de teléfonos de la ciudad la Empresa no suministró la información necesaria para realizar el estudio. Por lo tanto se realizaron visitas a cada una de las centrales telefónicas y se obtuvo información de las características más importantes de cada una de ellas. En las Figuras 4.14 y 4.15 se presenta la calificación de la vulnerabilidad de las centrales telefónicas ante los dos sismos probables esperados en la Falla frontal de la Cordillera Oriental.

Para obtener los daños de cada tramo de la tubería de la red de gas se hizo uso del sistema de información geográfica con la metodología para redes explicada anteriormente. Las Figuras 4.16 y 4.17 muestran los daños esperados para los escenarios hipotéticos que causarían los sismos ya descritos de la falla Frontal.

