



UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CENTRO DE ESTUDIOS DE POSGRADO

MAESTRIA EN ESTRUCTURAS
SISMORRESISTENTES

Tema:

**“PLAN DE MITIGACIÓN BASADO EN LA EVALUACIÓN DE
LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE LOS SISTEMAS DE
AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE LA CIUDAD DE
RIOBAMBA”**

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de Magíster en Estructuras Sismorresistentes

Autora: Ing. Mariella Fernanda Zambrano Valverde

Tutor: Ing. Santiago Medina, M.Sc.

Ambato – Ecuador

2009

INDICE GENERAL

CONTENIDO	PÁGINA
CAPÍTULO I: EL PROBLEMA	
1.1. TEMA	1
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	
1.2.1. CONTEXTUALIZACIÓN	1
1.2.2. ANÁLISIS CRÍTICO	3
1.2.3. PRÓGNOSIS	4
1.2.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	4
1.2.5. INTERROGANTES	4
1.2.6. DELIMITACIÓN DEL OBJETO DE INVESTIGACIÓN	5
1.3. JUSTIFICACION	5
1.4. OBJETIVOS	
1.4.1. GENERAL	7
1.4.2. ESPECÍFICOS	7
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	
2.1. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS	8
2.2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	
2.2.1. ELEMENTOS Y SISTEMAS ESTRUCTURALES	13
2.2.2. ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD	23
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	28
2.4. FUNDAMENTACIÓN LEGAL	35
2.5. CATEGORÍAS FUNDAMENTALES	36
2.6. HIPÓTESIS	36
2.7. SEÑALAMIENTO DE VARIABLES	36

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1.	MODALIDAD BÁSICA DE LA INVESTIGACIÓN	37
3.2.	TIPO DE INVESTIGACIÓN	37
3.3.	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	37
3.4.	PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	39
3.5.	PLAN DE PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN	39

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1.	ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD: METODOLOGÍA PROPUESTA POR LA OPS	40
4.1.1.	CARACTERIZACIÓN ADMINISTRATIVA - FUNCIONAL DE LA EMAPAR	41
4.1.2.	CARACTERIZACIÓN DE LOS SISTEMAS: DESCRIPCIÓN DE LA ZONA, DEL SISTEMA Y SU FUNCIONAMIENTO	41
4.1.3.	IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LAS AMENAZAS	41
4.1.4.	IDENTIFICACIÓN DE LA VULNERABILIDAD	55
4.2.	INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LA METODOLOGÍA PROPUESTA POR LA OPS	63
4.3.	EVALUACIÓN DE LOS COMPONENTES MÁS CRÍTICOS	74
4.3.1.	ESTIMACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DE LAS TUBERÍAS	74
4.3.2.	INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LA TUBERÍA DE ASBESTO CEMENTO	78
4.3.3.	ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LOS TANQUES DE RESERVA DE AGUA POTABLE	80
4.3.4.	INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL TANQUE CIRCULAR	89

4.3.5.	INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL TANQUE RECTANGULAR	93
4.3.6.	ANÁLISIS ESTRUCTURAL DEL COLECTOR APR-3 DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO	98
4.3.7.	INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL COLECTOR	99
4.4.	VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS	105

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1.	CONCLUSIONES	106
5.2.	RECOMENDACIONES	111

CAPÍTULO VI: PROPUESTA

6.1.	TEMA	113
6.2.	ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA.	113
6.3.	JUSTIFICACIÓN	114
6.4.	OBJETIVOS	115
6.5.	ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD	116
6.6.	FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	117
6.7.	MODELO OPERATIVO	122
6.8.	ADMINISTRACIÓN	127
6.9.	CRITERIOS DE EVALUACIÓN	132

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

PRIMERA PARTE: CUADROS Y MAPAS

- FIGURA 1: ZONAS SÍSMICA DEL ECUADOR. CEC2002
- FIGURA 2: MAPA DE FALLAS Y PLIEGUES CUATERNARIAS, ECUADOR, PROVINCIA DE CHIMBORAZO
- FIGURA 3: ESTUDIO DE SUELOS. TANQUE REDONDO DE 2000m³.
- FIGURA 4: ESTUDIO DE SUELOS. TANQUE RECTANGULAR DE 1000 m³.
- FIGURA 5: ESTUDIO DE SUELOS. COLECTOR APR3-3.
- FIGURA 6: REGISTRO DE RESISTENCIA CARACTERÍSTICA CON ESCLERÓMETRO. TANQUE REDONDO DE 2000m³.
- FIGURA 7: REGISTRO DE RESISTENCIA CARACTERÍSTICA CON ESCLERÓMETRO. TANQUE CUADRADO 1000m³.

SEGUNDA PARTE: PLANOS

- PLANO 1: ESQUEMA DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA
- PLANO 2: PLANIMETRÍA COLECTOR APR3-3

PLANO 3: MAPA DE VULNERABILIDAD SÍSMICA PARA LOS SISTEMAS DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE RIOBAMBA, GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.

PLANO 4: MAPA DE VULNERABILIDAD SÍSMICA PARA LOS SISTEMAS DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE RIOBAMBA, TIPOS DE SUELOS.

INDICE DE TABLAS

CONTENIDO	PÁGINA
<i>Formato N° 1:</i>	<i>Identificación de la organización institucional y de la administración local</i>
	42
<i>Formato N° 2.1:</i>	<i>Identificación de la forma de operación</i>
	43
<i>Formato N° 2.2:</i>	<i>Características de la zona</i>
	45
<i>Formato N° 2.3.1:</i>	<i>Descripción del sistema de agua potable y sus componentes</i>
	46
<i>Formato N° 2.3.2:</i>	<i>Descripción del sistema de alcantarillado y sus componentes</i>
	52
<i>Formato N° 3:</i>	<i>Caracterización de la amenaza</i>
	53
<i>Formato N° 4.1:</i>	<i>Vulnerabilidad operativa</i>
	56
<i>Formato N° 4.2:</i>	<i>Vulnerabilidad física</i>
	57
<i>Formato N° 4.3:</i>	<i>Vulnerabilidad administrativa de la Empresa y su capacidad de respuesta</i>
	60
<i>Tabla N° 1:</i>	<i>Factores de daños según intensidad sísmica. Escuela Politécnica Nacional de Ecuador, 1994</i>
	54
<i>Tabla N° 2:</i>	<i>Elementos del sistema de agua potable y alcantarillado más vulnerables</i>
	69
<i>Tabla N° 3:</i>	<i>Estimación de la amenaza sísmica, procedimiento</i>
	74
<i>Tabla N° 4:</i>	<i>Factores de multiplicación relativos al tipo de material</i>
	77
<i>Tabla N° 5:</i>	<i>Fuerzas Horizontales por Sismo. Método Estático CEC</i>
	85
<i>Tabla N° 6:</i>	<i>Distribución de Fuerzas Horizontales por Piso</i>
	85
<i>Tabla N° 7:</i>	<i>Características Deformación de Elementos Resistentes</i>
	86
<i>Tabla N° 8:</i>	<i>Verificación del Efecto $P - \Delta$. Evaluación de la Estabilidad Estructural</i>
	86
<i>Tabla N° 9:</i>	<i>Verificación de las Derivas Máximas de Piso</i>
	86
<i>Tabla N° 10:</i>	<i>Aceleraciones Espectrales</i>
	86
<i>Tabla N° 11:</i>	<i>Esfuerzos en tanques reservorios</i>
	97

INDICE DE GRÁFICOS

CONTENIDO	PÁGINA
<i>Gráfico N° 1: Elemento tipo cable</i>	<i>14</i>
<i>Gráfico N° 2: Elemento tipo columna</i>	<i>14</i>
<i>Gráfico N° 3: Elemento tipo viga</i>	<i>15</i>
<i>Gráfico N° 4: Elemento tipo arco</i>	<i>15</i>
<i>Gráfico N° 5: Membrana</i>	<i>15</i>
<i>Gráfico N° 6: Cascarón o Placa</i>	<i>16</i>
<i>Gráfico N° 7: Elemento tipo muro</i>	<i>16</i>
<i>Gráfico N° 8: Cercha</i>	<i>16</i>
<i>Gráfico N° 9: Armadura</i>	<i>17</i>
<i>Gráfico N° 10: Pórtico</i>	<i>17</i>
<i>Gráfico N° 11: Sistemas de pisos</i>	<i>17</i>
<i>Gráfico N° 12: Sistemas de muros</i>	<i>18</i>
<i>Gráfico N° 13: Domos, silos y tanques</i>	<i>18</i>
<i>Gráfico N° 14: Sistemas combinados para edificaciones</i>	<i>18</i>
<i>Gráfico N° 15: Superposición de efectos</i>	<i>19</i>
<i>Gráfico N° 16: Modelado de la estructura</i>	<i>20</i>
<i>Gráfico N° 17: Cargas de viento</i>	<i>21</i>
<i>Gráfico N° 18: Cargas de sismo</i>	<i>22</i>
<i>Gráfico N° 19: Diagrama aplicación de carga de presión</i>	<i>23</i>
<i>Gráfico N° 20: Diagrama de análisis de la vulnerabilidad</i>	<i>25</i>
<i>Gráfico N° 21: Etapas del proceso de análisis estructural</i>	<i>26</i>
<i>Gráfico 22-a: Índice de daños por propagación de ondas sísmicas en tubería de hierro fundido según Intensidad Mercalli modificada</i>	<i>76</i>
<i>Gráfico 22-b: Índice de daños por propagación de ondas Sísmicas y deformación permanente del suelo en tubería de hierro fundido según Intensidad Mercalli modificada</i>	<i>77</i>
<i>Gráfico N° 23: Tipo de fallas en tuberías debido a efectos Sísmicos</i>	<i>80</i>

Gráfico N° 24-a:	<i>Modelo de la estructura circular (vista frontal)</i>	83
Gráfico N° 24-b:	<i>Modelo de la estructura circular (3D)</i>	83
Gráfico N° 25-a:	<i>Modelo de la estructura rectangular (vista frontal)</i>	84
Gráfico N° 25-b:	<i>Modelo de la estructura rectangular (3D)</i>	84
Gráfico N° 26:	<i>Espectro Elástico de Respuesta. CEC2002</i>	88
Gráfico N° 27:	<i>Espectro Inelástico</i>	88
Gráfico N° 28-a:	<i>Desplazamiento centro de cúpula. Carga muerta.</i>	89
Gráfico N° 28-b:	<i>Máximo desplazamiento ubicado en el tercio de la cúpula debido a la carga muerta</i>	89
Gráfico N° 29-a:	<i>Máximo desplazamiento en pared debido al empuje del agua.</i>	90
Gráfico N° 29-b:	<i>Desplazamiento en el tercio de la cúpula debido al empuje del agua</i>	90
Gráfico N° 30:	<i>Deformaciones en tanque circular</i> <i>Modos de vibración</i>	91
Gráfico N° 31:	<i>Deformación del tanque luego de la aplicación del espectro de respuesta</i>	91
Gráfico N° 32:	<i>Desplazamiento en el tercio de la cúpula.</i> <i>Combinaciones</i>	92
Gráfico N° 33-a:	<i>Desplazamiento máximo en la losa debido a la carga muerta</i>	93
Gráfico N° 33-b:	<i>Desplazamiento en la columna debido a la carga muerta</i>	94
Gráfico N° 34:	<i>Desplazamiento máximo en pared debido al empuje del agua</i>	94
Gráfico N° 35:	<i>Deformaciones en tanque rectangular</i> <i>Modos de vibración</i>	95
Gráfico N° 36:	<i>Desplazamiento máximo. Aplicación del espectro de respuesta</i>	95
Gráfico N° 37:	<i>Desplazamiento máximo en losa.</i> <i>Aplicación de ENVOLVENTE</i>	96
Gráfico N° 38:	<i>Mayores esfuerzos localizados en el tanque</i>	

	<i>rectangular</i>	96
Gráfico N° 39:	<i>Modelo del colector de sección circular</i>	99
Gráfico N° 40:	<i>Modelo del colector de sección rectangular</i>	99
Gráfico N° 41:	<i>Desplazamientos máximos (cm.) con la aplicación de la carga muerta</i>	100
Gráfico N° 42:	<i>Desplazamientos máximos (cm). COMB1.</i>	100
Gráfico N° 43:	<i>Desplazamientos máximos (cm). COMB2.</i>	100
Gráfico N° 44:	<i>Diseño del refuerzo longitudinal (cm²). Altura de relleno = 4 m.</i>	101
Gráfico N° 45:	<i>Desplazamientos máximos (cm). COMB1.</i>	101
Gráfico N° 46:	<i>Desplazamientos máximos (cm). COMB2.</i>	102
Gráfico N° 47:	<i>Diseño del refuerzo longitudinal (cm²).</i>	102
Gráfico N° 48:	<i>Acero de refuerzo colocado en el colector de sección rectangular</i>	103
Gráfico N° 49:	<i>Esquema de Modelo Operativo</i>	126

RESUMEN EJECUTIVO

El análisis de vulnerabilidad es desde el punto de vista de la prevención una de las herramientas más importantes para realizar un manejo adecuado de los efectos que los desastres naturales pueden causar en los sistemas de agua potable y alcantarillado. Permite estimar el grado de los daños en los elementos del sistema para poder reforzarlos y evitar esos daños en futuros impactos. Es decir, una vez evaluado el nivel de los daños de cada uno de los componentes frente a una amenaza como un sismo, es posible definir las medidas de mitigación que disminuyan la vulnerabilidad y permiten reducir el riesgo.

La determinación de esas líneas correctivas son pues la finalidad del análisis y el objetivo principal del presente trabajo investigativo. Las medidas de mitigación abarcan diferentes actividades que comprenden dos tipos de acciones: las estructurales y las organizativas funcionales.

En el primer capítulo se describe el problema de la falta de prevención en el cuidado de los sistemas de agua potable y alcantarillado ante la ocurrencia de un sismo, alertando sobre los posibles daños que sufrirían dichos sistemas.

El capítulo segundo aborda los fundamentos teóricos para poder desarrollar el análisis de vulnerabilidad sísmica, partiendo desde la Ingeniería Estructural para llegar a la evaluación misma, mediante la determinación de las acciones y respuestas tanto de la estructura como de sus elementos. Recoge además las experiencias vividas en otros países, que al igual que el Ecuador, tienen un elevado grado de riesgo sísmico. En el tercer capítulo se describe la metodología de ejecución del trabajo de investigación.

El cuarto se ha desarrollado en dos partes. La primera concerniente a la evaluación de la vulnerabilidad de los sistemas a nivel funcional, operacional e incluso institucional; para tal efecto se emplea la metodología propuesta por la

OPS, según la cual deben completarse matrices que después servirán para el planteamiento del plan de mitigación. En una segunda fase (y probablemente lo novedoso de este capítulo) está la evaluación estructural, enfocada hacia los componentes, hallados en la primera fase, como los más vulnerables del sistema.

En el quinto capítulo se enlistan las conclusiones y recomendaciones de donde nace el plan para reducir la vulnerabilidad sísmica en los sistemas de agua potable y alcantarillado de Riobamba.

En el sexto se explica el proceso de planificación para poder definir un programa de mitigación, indicándose su contenido y las etapas en orden de prioridad que deben llevarse a cabo para elaborarlo, ejecutarlo y mantenerlo actualizado.