

# **CAPITULO I**

## **EL PROBLEMA**

### **1.1. PLAN DE MITIGACIÓN BASADO EN LA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE LOS SISTEMAS DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA.**

### **1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **1.2.1. CONTEXTUALIZACIÓN**

La mayor parte de la actividad sismotectónica en el mundo se concentra a lo largo de los bordes de las placas cuyos frotamientos mutuos producen los terremotos. El Ecuador se encuentra ubicado en una de las regiones de mayor actividad sísmica que hay en la tierra: el Cinturón de Fuego del Pacífico.

La historia sísmica nacional habla de grandes terremotos producidos en la mayoría de las provincias. Solo para el Chimborazo se han registrado los siguientes eventos:

- En 1797, intensidad de XI.
- En 1911, intensidad de VIII.
- En 1949, intensidad de X.
- En 1961, intensidad de VIII.

De ahí que todas las infraestructuras deben ser proyectadas tomando en consideración las amenazas naturales y características del área en la cual se encuentra ubicado el proyecto. Muchos de los problemas que se han presentado en

la ingeniería civil son debidos a que fenómenos naturales como los sismos no se consideraron en la etapa de concepción, diseño, construcción y operación de una obra.

Los sistemas de agua potable y alcantarillado son de vital importancia para la salud y desarrollo de las poblaciones por lo que es prioritario que los servicios se brinden en condiciones óptimas y sin interrupciones. La experiencia recogida sobre el impacto de los desastres naturales en estos sistemas revela que para reducir la vulnerabilidad a niveles aceptables se requiere de acciones preventivas y de diseños de ingeniería adecuados a las amenazas existentes en la zona donde se ubican los sistemas. Y dados los efectos tan negativos que pueden producir, tales como: ruptura de las tuberías de conducción y distribución, contaminación en las captaciones o la afectación a plantas de tratamiento, los procesos de mitigación y prevención son primordiales.

Además, se ha demostrado que siempre es más económico invertir en la prevención que el desembolso posterior a los desastres en tareas de rehabilitación. Así lo demuestra el estudio realizado sobre el Terremoto del 22 de abril de 1991 en Costa Rica, en el que se concluyó que los costos de respuesta y rehabilitación ascendieron a los 9 millones de dólares. En cambio, si se hubiesen ejecutado las oportunas medidas de mitigación previamente al desastre, éstas hubiesen sido del orden de los 5 millones de dólares, sin contar con la innecesaria exposición de la población a correr riesgos sanitarios.

Con esos antecedentes se puede concluir que un estudio sobre la vulnerabilidad en aquellas instalaciones y obras de infraestructura cuyo eventual mal funcionamiento o ruina (debido a los efectos esperados de los desastres) pueda generar situaciones de emergencia o demandas que excedan la capacidad de atención debe efectuarse en forma obligatoria. Ese debe ser el caso de las empresas encargadas de los sistemas de abastecimiento de agua potable y alcantarillado, como por ejemplo la EMAPAR (Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Riobamba), organismo responsable de la provisión de esos servicios en la localidad y cuya planificación deberá disponer de las

herramientas necesarias que le faculten mejorar las características de los sistemas de agua potable y alcantarillado existentes y así coadyuvar para una mejor calidad de vida de sus usuarios, permitiendo satisfacer la demanda de las zonas actualmente servidas y de los nuevos requerimientos de las áreas de desarrollo.

### **1.2.2. ANÁLISIS CRÍTICO**

Los servicios de agua potable y alcantarillado sanitario cumplen una misión especial en el proceso de desarrollo y son un elemento esencial para garantizar las condiciones de salud y de bienestar de la población.

En América Latina los efectos de los desastres naturales provocan con frecuencia severos daños en estos sistemas con grandes pérdidas económicas y alteraciones graves en la calidad de los servicios. Factores como el crecimiento desmesurado de la población urbana, la deficiencia de las infraestructuras, y sobre todo la ubicación de estos sistemas en áreas muy vulnerables han incrementado notablemente la frecuencia de los desastres y la importancia de los daños, convirtiéndose en una amenaza real para el desarrollo y para la salud de las poblaciones afectadas.

El mejor momento para actuar es en las fases iniciales del ciclo de los desastres, cuando con medidas de prevención y mitigación se pueden reforzar los sistemas y evitar o reducir los daños, pérdidas humanas y materiales. La ejecución de programas que definan planes de mitigación y emergencia en continuo proceso de actualización, garantizan además una respuesta responsable y eficaz ante los desastres.

El análisis de vulnerabilidad provee una metodología sencilla para dar respuesta a la pregunta ¿cuál es la vulnerabilidad de sufrir daños en cada uno de los componentes del sistema ante el impacto de las amenazas propias de la zona?

De acuerdo al resultado se definen las medidas de mitigación necesarias para los sistemas de agua potable y alcantarillado de la ciudad de Riobamba, y los procedimientos de emergencia y respuesta si el "desastre" se presenta.

De lo antes dicho queda claro que, en la estrategia de prevención y mitigación de los efectos esperados ante posibles eventos en la región centro del Ecuador, tan importante es subsanar las debilidades de las obras existentes o por construirse, como definir del modo más confiable posible la frecuencia y la intensidad de los fenómenos esperados.

### **1.2.3. PRÓGNOSIS**

La extensión y ubicación de los sistemas de agua potable y alcantarillado los hacen susceptibles a diferentes tipos de desastres. Es por eso que, si la Empresa de Agua Potable y Alcantarillado de Riobamba no obtiene una guía para el análisis de la vulnerabilidad sísmica que la lleve a aplicar un plan de mitigación, no podría garantizar el mantenimiento de sus servicios cualitativa y cuantitativamente acorde con las necesidades de la ciudadanía viéndose en riesgo la salud de los riobambeños. Al no poseer el estudio de la evaluación de los daños causados por un sismo, no se podría tomar medidas para anticipar su impacto y reducir el daño en el futuro.

### **1.2.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Cuál es la vulnerabilidad de los sistemas de agua potable y alcantarillado de la ciudad de Riobamba y los lineamientos técnicos que se deben adoptar como plan de mitigación?

### **1.2.5. INTERROGANTES**

1.2.5.1. ¿Cuáles serían las deficiencias en los elementos del sistema de agua potable y alcantarillado de la ciudad de Riobamba que incrementan su grado de vulnerabilidad sísmica?

1.2.5.2. ¿A qué conlleva el desconocimiento del potencial destructivo de un movimiento de origen tectónico o volcánico?

1.2.5.3. ¿Cuál sería el método de diseño que resulte de cómodo uso y fácil interpretación para el cálculo de daños en tuberías como consecuencia de sismos intensos?

## **1.2.6. DELIMITACIÓN DEL OBJETO DE INVESTIGACIÓN**

### **De contenido**

La investigación partirá de los criterios aprendidos en los Módulos de: Sismotectónica, Comportamiento de Materiales ante Acción Dinámica, Herramientas Computacionales para Análisis de Estructuras, Hormigón Armado Avanzado, Ingeniería Sísmica, Diseño Sismorresistente, Sistemas Estructurales.

### **Delimitación Espacial**

La presente tesis se ejecutará tanto en el campo como en la oficina. Como actividades de campo están los levantamientos de los diferentes elementos de los sistemas de agua potable y alcantarillado en la ciudad de Riobamba así como investigación en las oficinas de la Empresa ubicada en la Av. Juan Félix Proaño y Londres de la ciudad de Riobamba. Se complementará en la biblioteca de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Ambato, Campus Huachi Chico del cantón Ambato.

### **Delimitación Temporal**

El desarrollo del trabajo se llevará a efecto desde el 25 de abril hasta el 23 de octubre del 2009.

## **1.3. JUSTIFICACION**

La evaluación del riesgo sísmico reviste especial interés puesto que brinda la posibilidad de entregar un sistema menos vulnerable a los movimientos sísmicos en la zona central del país, sabiendo que, una paralización del servicio de agua potable y alcantarillado debido a los daños y/o colapsos sufridos luego de un

desastre, no solo traería un retraso en la economía, sino también contaminación y restricción del servicio con grave riesgo a la salud de los pobladores.

La Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Riobamba tiene como misión dotar del servicio de agua potable y alcantarillado con el concurso de recursos humanos calificados, insumos de calidad y tecnología de punta para entregar el servicio a todos los habitantes de los sectores urbano y urbano marginal de la ciudad de Riobamba. Tiene como visión dotar de un servicio de calidad las 24 horas diarias en el año 2010, trabajando con una actitud proactiva del servicio satisfaciendo las necesidades del cantón, y que sustentada en la autogestión garantiza la continuidad del servicio lo que le permite cumplir con un propósito social.

A fin de garantizar el cumplimiento tanto de la misión como la visión es necesario efectuar el análisis de la vulnerabilidad de los sistemas existentes. Las experiencias vividas en el campo de las emergencias y desastres de la última década del siglo XX demuestran, de forma evidente, la importancia de estar preparados para tales contingencias. Y aún reconociendo la imposibilidad de contar con sistemas que ofrezcan una seguridad del cien por ciento ante los desastres, es imprescindible que las empresas proveedoras del servicio de agua potable del Ecuador sean capaces de resolver, de la mejor manera y en el menor tiempo posible, las dificultades que se presenten durante y después del impacto de algunas de las amenazas indicadas.

El presente trabajo de investigación se destacará por convertirse en el primero de su índole que presenta un plan de mitigación sobre un sistema de agua potable y alcantarillado construido en el Ecuador.

El plan de mitigación se desarrollará gracias a que se dispone de información respecto a la operación y mantenimiento de los sistemas, para con ello poder evaluar su manejo, determinar las falencias y llegar a un plan de mitigación. En lo concerniente al análisis de riesgos se hará la evaluación de las amenazas de la zona. Mediante un estudio de magnitud – frecuencia basado en los registros

históricos de la región se determinará el evento de diseño y los parámetros respectivos.

## **1.4. OBJETIVOS**

### **1.4.1. GENERAL**

Elaborar un plan de mitigación como resultado del análisis de vulnerabilidad sísmica de los sistemas de agua potable y alcantarillado de la ciudad de Riobamba.

### **1.4.2. ESPECÍFICOS**

- Identificar y cuantificar las amenazas que puedan afectar el sistema: deficiencias en su capacidad de prestación de servicios u operatividad y debilidades de organización ante las eventuales emergencias que se puedan ocasionar.
- Estimar la susceptibilidad de daño de los componentes ante las sollicitaciones externas, sobre todo aquellos componentes del sistema valorados como fundamentales para asegurar el suministro de agua en caso de desastres.
- Definir las medidas a incluir en el Plan de Mitigación, tales como: obras de reforzamiento, mejoramiento de cuencas, estudios de cimentaciones y estructuras, todos ellos encaminados a disminuir la vulnerabilidad física de los componentes.
- Desarrollar un método de diseño que resulte de cómodo uso y fácil interpretación para el cálculo de daños en los componentes del sistema como consecuencia de sismos intensos.

## CAPITULO II

### MARCO TEORICO

#### 2.1. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

Se han considerado los estudios elaborados en la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato por constituirse en una institución que reúne la mayoría de proyectos de investigación en el centro del país. Se halló tan solo un proyecto a nivel de pregrado relacionado con el análisis sísmico de sistemas, pero en este caso, la evaluación de la vulnerabilidad se ha efectuado únicamente sobre el sistema de alcantarillado de la ciudad de Ambato elaborado por Juan Chávez. Existe otro trabajo que hace referencia a las estructuras para almacenamiento de Julio Aguiar y Roger Tinoco.

Dentro del listado de tesis de postgrado efectuadas por maestrantes de las tres promociones de Estructuras Sismorresistentes no se encontró ningún trabajo similar al presente. Sin embargo, se han tomado en cuenta los siguientes proyectos por contener temas de interés: “Concientización del peligro sísmico de la provincia de Tungurahua” de Wilson Moya, y, “Estudio de la vulnerabilidad de la vía Parque de los Recuerdos – Píllaro” de Mariño y Palacios.

En la web se encontraron las siguientes publicaciones:

- **Guía metodológica de atención a desastres en Nicaragua.**
- **“Análisis de la vulnerabilidad del sistema de agua potable de la ciudad de Huaraz en Perú”.**

El estudio consistió en analizar el impacto de los fenómenos naturales frecuentes en la zona sobre los diversos componentes del sistema.



- **Proyecto 2012: Prevención, mitigación y rehabilitación frente a riesgos naturales y antrópicos de la OPS / OMS Colombia.**
- **Reducción del daño sísmico. Guía para las empresas de agua**

#### **Serie salud ambiental y desastres No. 2**

El documento publicado originalmente por la American Water Works Association (AWWA) con el nombre de Minimizing Earthquake Damage ofrece información general de las medidas que deberían adoptar las empresas encargadas de los servicios de agua potable para responder de manera eficaz cuando se produce una emergencia. Los principales temas que aborda son: sismicidad y amenazas sísmicas, vulnerabilidad sísmica y objetivos de desempeño de los sistemas de agua, evaluaciones de la vulnerabilidad, monitoreo y control del sistema de agua, planificación de emergencias. Esta publicación fue producida en colaboración con el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente – CEPIS.

- **Impacto del fenómeno El Niño en la infraestructura de agua y alcantarillado. La experiencia del Ecuador en 1997-1998.**

#### **Serie salud ambiental y desastres No. 3**

En el período 1997 - 1998 se produjo una de las manifestaciones más fuertes del fenómeno El Niño. Esta publicación ofrece un diagnóstico general de los efectos producidos en algunos sistemas de agua potable y alcantarillado de las provincias de Manabí y Esmeraldas. Brinda una serie de recomendaciones y soluciones para mitigar y prevenir los efectos de El Niño o eventos similares en el futuro.

- **Efectos de la erupción del volcán Reventador (2002) en los sistemas de agua y alcantarillado. Lecciones aprendidas**

#### **Serie salud ambiental y desastres No. 4**

Analiza los efectos de las erupciones del volcán Reventador en el año 2002 en los sistemas de agua y alcantarillado de tres provincias ecuatorianas que estuvieron entre las más afectadas por el evento: Napo, Sucumbíos y Pichincha. El texto sistematiza la información sobre el impacto de la erupción en diferentes aspectos de los sistemas de agua y alcantarillado, recoge las lecciones aprendidas sobre el fenómeno y plantea recomendaciones para afrontar eventos similares en el futuro, tomando en cuenta las zonas urbanas como las rurales.

- **Mitigación de desastres naturales en sistemas de agua potable y alcantarillado sanitario. Guías para el análisis de vulnerabilidad**

Desde hace varios años la Organización Panamericana de la Salud ha venido prestando apoyo técnico para que las empresas administradoras de los sistemas de agua potable y alcantarillado en América Latina y el Caribe mejoren su preparación y planificación frente a los desastres y las emergencias. Conscientes de que para asegurar la continuidad y calidad de los servicios de agua potable y alcantarillado durante situaciones de emergencias y desastres, además de contar con los planes de atención de emergencia, era necesario identificar e implementar las medidas de prevención y mitigación frente a desastres en los distintos componentes de estos sistemas.

El libro es una caja de herramientas básicas que las empresas prestadoras de estos servicios pueden utilizar para estudiar e identificar las vulnerabilidades existentes en sus sistemas frente a las más importantes amenazas naturales que les pueden afectar (terremotos, huracanes, inundaciones, deslizamientos, erupciones volcánicas y sequías), y una vez identificadas, puedan planificar y ejecutar las necesarias medidas de mitigación.

La obra es el final de un largo proceso. Ha sido elaborado partiendo de las "Guías para la elaboración del análisis de vulnerabilidad de sistemas de abastecimiento de agua potable y alcantarillado sanitario", preparadas por Herber Farrer para el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria (CEPIS) en 1996, y con la aportación de cuatro estudios de casos realizados con la apoyo

financiero del Ministerio de Relaciones Exteriores de la República Federal de Alemania, Grupo de Trabajo Ayuda Humanitaria. El propósito de estos cuatro estudios fue validar la metodología planteada en el libro que presentamos. Fueron los siguientes: uno frente a terremotos hecho en Costa Rica por Saúl Trejos, otro frente a deslizamientos elaborado por José Grases en Venezuela, un tercero sobre inundaciones realizado en Brasil por Ysnard Machado, y el cuarto ejecutado en Barbados por David Lashley sobre huracanes y erupciones volcánicas. Gracias a la importante contribución técnica de todos ellos ha sido posible esta nueva publicación.

- **Emergencias y desastres en sistemas de agua potable y saneamiento. Guía para una respuesta eficaz**

Aunque son muchos los países de América Latina y el Caribe que cuentan ya con planes para atender situaciones de emergencia y desastres en los sistemas de agua potable y alcantarillado, desastres recientes como los huracanes Georges y Mitch (1998), lluvias y deslizamientos en Venezuela (1999), o los terremotos en El Salvador (2001), han puesto de manifiesto que no es suficiente tener un plan, sino que hay que estar seguro de que ese plan funciona, y ha sido elaborado basándose en la vulnerabilidad específica del sistema en cuestión.

Con el propósito de ofrecer guías prácticas para elaborar planes de emergencia y desastres en estos sistemas, la OPS y la Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (AIDS), han preparado esta publicación que revisa y supera otros documentos técnicos publicados en el pasado por la OPS, y supone un complemento esencial al libro "Mitigación de desastres naturales en sistemas de agua potable y alcantarillado sanitario: Guías para el análisis de vulnerabilidad", publicado en 1998.

Se trata de una guía dirigida a gerentes, administradores, planificadores, diseñadores, así como al personal de operación y mantenimiento de estos sistemas que servirá de ayuda para planificar adecuadamente la respuesta en casos de desastre, asegurando la calidad y continuidad de los servicios.

Esta publicación se encuentra actualmente en su segunda edición, la cual fue revisada y corregida en junio de 2004.

- **El desafío del sector de agua y saneamiento en la reducción de desastres: mejorar la calidad de vida reduciendo vulnerabilidades**

Esta nueva publicación—esfuerzo conjunto de la OPS, UNICEF, la Estrategia Internacional para la Reducción de los Desastres (EIRD) y la Federación Internacional de Sociedades de la Cruz Roja y la Media Luna Roja (FIRC)—fue preparada para el IV Foro Mundial del Agua que se realizó en México en marzo para llamar la atención a la necesidad de mantener los servicios de agua y saneamiento en operación después de los desastres naturales. Esto es algo crítico si los países no quieren dar marcha atrás en los logros alcanzados en el incremento del acceso a estos servicios. Además, le permitirá a los países cumplir con la meta de reducir a la mitad, para el año 2015, el porcentaje de personas que carecen de acceso sostenible a agua potable y saneamiento básico. La gestión del riesgo es una herramienta útil para el cumplimiento de los retos globales de proveer de servicios de agua y saneamiento para todos y en todo momento.

- **Manual para la mitigación de desastres naturales en sistemas rurales de agua potable**

Este libro ha elegido como punto de análisis la mitigación de los desastres naturales en los sistemas de abastecimiento de agua potable en el medio rural, que tienen características y esquemas de organización distintos a los de zonas urbanas.

El libro expone en su primera parte las características generales de los sistemas rurales de agua potable, de las amenazas naturales más comunes en América Latina y el Caribe y sus efectos sobre aquellos. En la segunda se explica el método del análisis de vulnerabilidad y el procedimiento para aplicarlo en los sistemas de abastecimiento de agua potable y en la tercera y

última, un ejemplo práctico de aplicación de esta metodología en una comunidad rural en el área andina del Ecuador.

- **El agua en situaciones de emergencia**

La falta de condiciones sanitarias después del desastre a menudo acarrea consecuencias sumamente graves para la población y causa aun más sufrimiento que el propio siniestro. Esta guía propone medidas y acciones para orientar a las autoridades locales a reducir los riesgos y mitigar los daños provocados por desastres en los servicios de abastecimiento de agua. Cuanto más rápidas y efectivas las medidas, menos será el daño.

## **2.2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

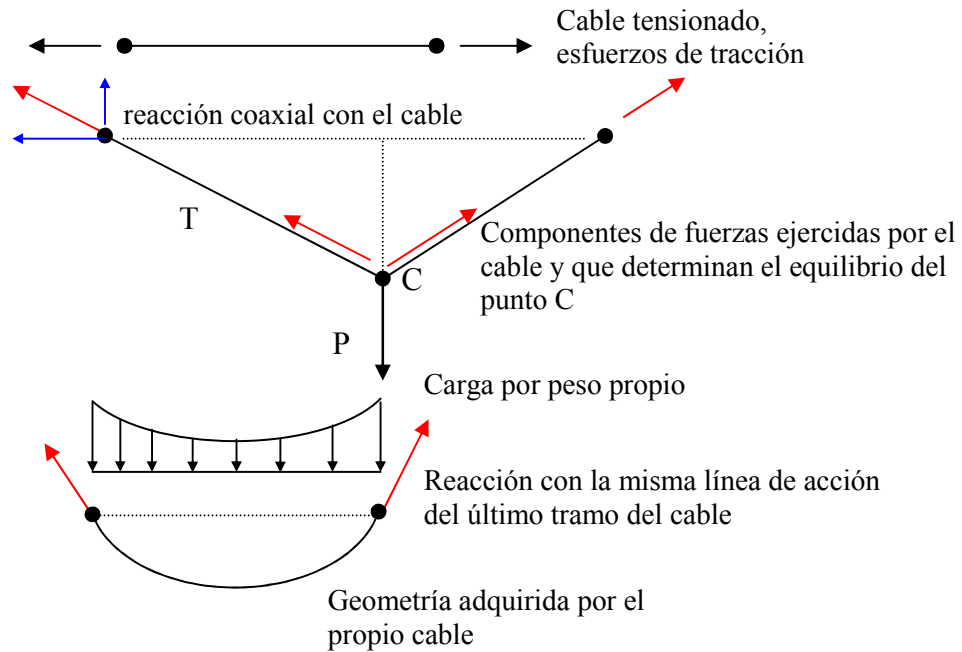
### **2.2.1. ELEMENTOS Y SISTEMAS ESTRUCTURALES**

La Ingeniería Estructural permite el planeamiento y el diseño de las partes que forman el esqueleto resistente de las edificaciones más tradicionales como edificios urbanos, construcciones industriales, puente, estructuras de desarrollo hidráulico y otras.

El esqueleto estructural forma un sistema integrado de partes, denominadas elementos estructurales: vigas, columnas, losas, zapatas de cimentación y otros. El ingeniero debe analizar las fuerzas de reacción y deformaciones que el esqueleto resiste a las cargas.

#### **Elementos estructurales más comunes:**

- ✓ **Elemento tipo cable:** No posee rigidez para soportar esfuerzos de flexión, compresión o cortantes. Al someter a cargas a un cable éste cambia su geometría de tal manera que las cargas son soportadas por esfuerzos de tracción a lo largo del elemento. Siempre encontraremos que cuando aplicamos una fuerza el cable tendrá otra geometría.



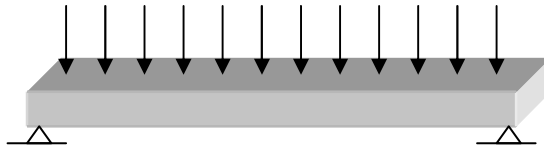
**Gráfico N° 1: Elemento tipo cable**

- ✓ **Elemento tipo columna:** Es un elemento con dos dimensiones pequeñas comparadas con la tercera dimensión. Las cargas principales actúan paralelas al eje del elemento y por lo tanto trabaja principalmente a compresión. También puede verse sometido a esfuerzos combinados de compresión y flexión.



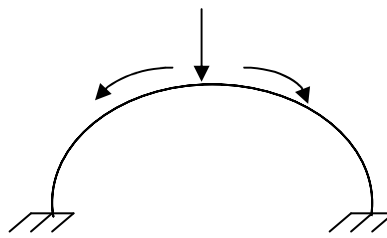
**Gráfico N° 2: Elemento tipo columna**

- ✓ **Elemento tipo viga:** Es un elemento que tiene dos de sus dimensiones mucho menores que la otra y recibe cargas en el sentido perpendicular a la dimensión mayor. Estas características geométricas y de carga hacen que el elemento principalmente esté sometido a esfuerzos internos de flexión y de cortante. Es un elemento que debe tener la suficiente  $I$  (inercia transversal) y  $A$  (área transversal) para soportar estos tipos de esfuerzos.



**Gráfico N° 3: Elemento tipo viga**

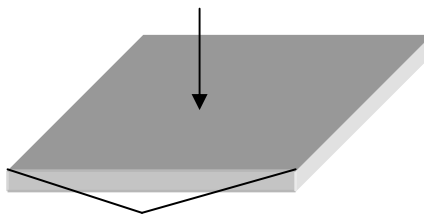
- ✓ **Elementos tipo arco:** Es similar a un cable invertido aunque posee rigidez y resistencia a flexión. Esta característica lo hace conservar su forma ante cargas distribuidas y puntuales. Debido a su forma los esfuerzos de compresión son mucho más significativos que los de flexión y corte.



**Gráfico N° 4: Elemento tipo arco**

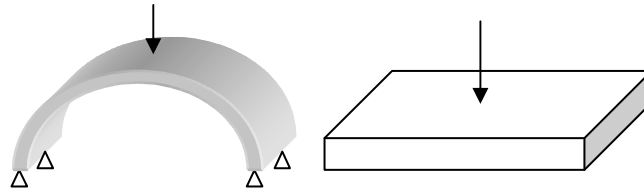
- ✓ **Elementos tipo cercha:** Es un elemento cuya área transversal es pequeña comparada con su longitud y está sometido a cargas netamente axiales aplicadas en sus extremos. Por su geometría y tipo de cargas actuantes soporta solamente fuerzas de tracción y de compresión.
- ✓ **Elementos tipo cascarón:** Pueden ser flexibles y se denominan membranas, o rígidos y se denominan placas.

- **Membrana:** No soporta esfuerzos de flexión, es como si fueran cables pegados. Trabaja por tracción netamente.



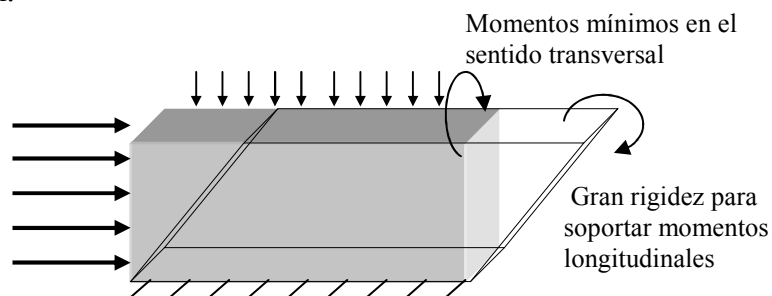
**Gráfico N° 5: Membrana**

- **Cascarón o placa:** Tiene rigidez a flexión es decir trabaja principalmente por compresión, pero se asocia con esfuerzos cortantes y flectores mínimos.



**Gráfico N° 6: Cascarón o Placa**

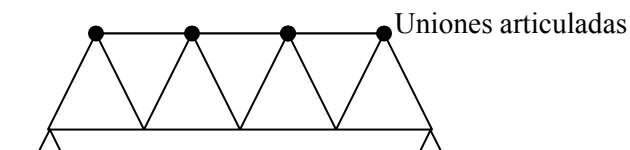
- ✓ **Elementos tipo muro:** Estos elementos se caracterizan por tener dos de sus dimensiones mucho más grandes que la tercera dimensión y porque las cargas actuantes son paralelas a las dimensiones grandes. Debido a estas condiciones de geometría y de carga el elemento trabaja principalmente a cortante por fuerzas en su propio plano. Adicionalmente a esta gran rigidez a corte los muros también son aptos para soportar cargas axiales siempre y cuando no se pandeen.



**Gráfico N° 7: Elemento tipo muro**

### Principales sistemas estructurales

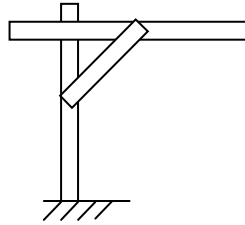
- ✓ **Cerchas:** Este sistema combina elementos tipo cercha donde la disposición de los elementos determina la estabilidad. Pueden ser planas y espaciales.



**Gráfico N° 8: Cercha**



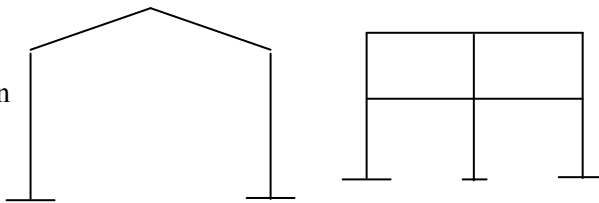
- ✓ **Armaduras:** En este sistema se combinan elementos tipo cercha con elementos tipo viga o columna unidos por articulaciones.



**Gráfico N° 9: Armadura**

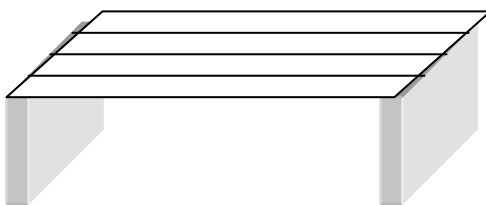
- ✓ **Marcos o pórticos:** Este sistema conjuga elementos tipo viga y columna. Su estabilidad está determinada por la capacidad de soportar momentos en sus uniones. Pueden ser planos y espaciales.

Uniones rígidas entre sus elementos, que determinan la estabilidad de todo el conjunto

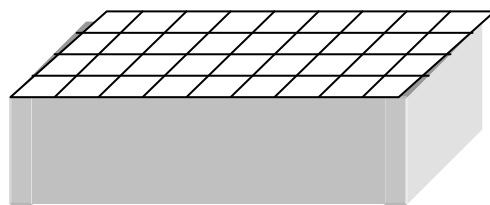


**Gráfico N° 10: Pórtico**

- ✓ **Sistemas de pisos:** Consisten en una estructura plana conformada por la unión varios elementos (cáscara, viga, cercha) de tal manera que soporte cargas perpendiculares a su plano. Se clasifican por la forma en que transmiten la carga a los apoyos en bidireccionales y unidireccionales.



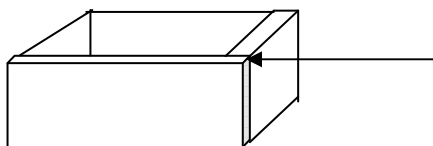
Sistema unidireccional, solo apoyo en dos extremos



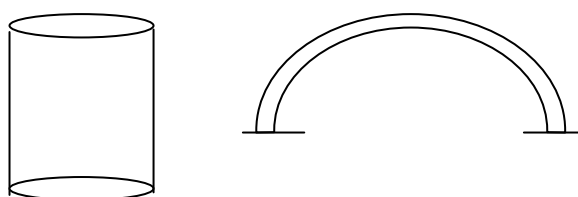
Sistema bidireccional, apoyo en sus cuatro extremos

**Gráfico N° 11: Sistemas de pisos**

- ✓ **Sistemas de muros:** Es un sistema constituido por la unión de muros en direcciones perpendiculares y presenta gran rigidez lateral. Este sistema es uno de los más usados en edificaciones en zonas sísmicas.

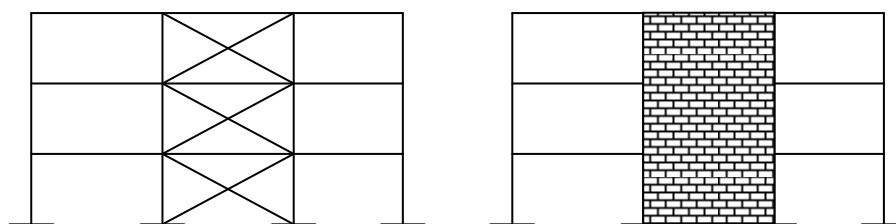


**Gráfico N° 12: Sistemas de muros**



**Gráfico N° 13: Domos, silos y tanques**

- ✓ **Sistemas combinados para edificaciones:** Se aprovechan las cualidades estructurales de los elementos tipo muro con las cualidades arquitectónicas de los sistemas de pórticos. Las características de rigidez lateral también se pueden lograr por medio de riostras que trabajan como elementos tipo cercha.



**Gráfico N° 14: Sistemas combinados para edificaciones**

### **Materiales:**

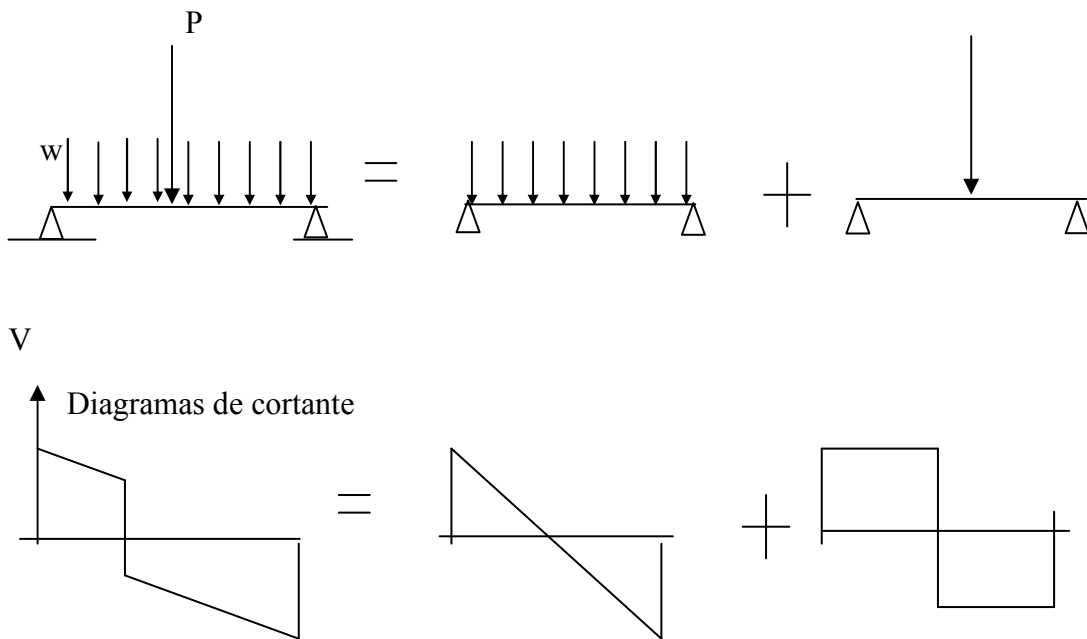
El tipo de material usado define la resistencia, la flexibilidad, la durabilidad y muchas otras características de la estructura. Entre los materiales más comunes están el hormigón, acero, madera, piedra, unidades de arcilla cocida, plástico, etc. El avance en el conocimiento de las propiedades de los materiales nos permite que nuestro análisis se acerque más a la realidad.

**Principio de superposición:**

La respuesta de una estructura debida a un número de cargas aplicadas simultáneamente es la suma de las respuestas de las cargas individuales aplicando por separado cada una de ellas a la estructura, siempre y cuando para todas las cargas aplicadas y para la suma total de ellas los desplazamientos y esfuerzos sean proporcionales a ellas. Cuando se habla de respuesta se refiere a los desplazamientos y a las fuerzas internas.

Esto implica que para aplicar el principio de superposición se necesita trabajar con materiales elásticos que cumplan la ley de Hooke.

Por el principio de superposición podemos expresar los efectos totales como la suma de efectos de cargas parciales:

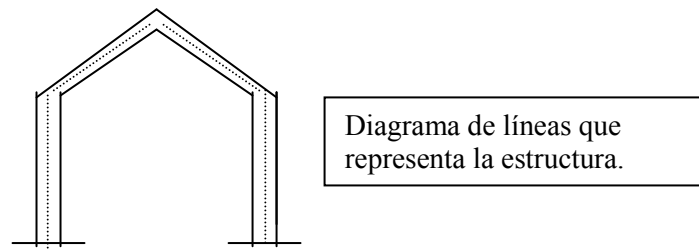


*Gráfico N° 15: Superposición de efectos*

**Modelado de la estructura:**

El modelado es la abstracción de lo real al papel de tal manera que permita analizarlo y diseñarlo. En el modelado se debe tener bastante cuidado para que la representación del sistema sea lo más parecido a la realidad; la ubicación y

determinación de los apoyos, la selección del tipo de elemento, la combinación de estos y sus uniones juegan un papel primordial en esta etapa.



**Gráfico N° 16: Modelado de la estructura**

### **Fuerzas aplicadas a un cuerpo:**

Se distinguen dos tipos de fuerzas: las externas y las internas.

Dentro de las externas tenemos las actuantes o aplicadas exteriormente, y, las otras que son las reacciones o las fuerzas resistentes que impiden el movimiento.

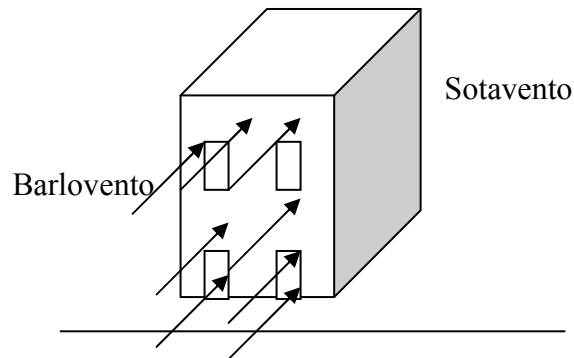
Las actuantes son aquellas cargas a las que se ve sometida la estructura por su propio peso, por la función que cumple y por efectos ambientales.

#### ✓ **Cargas gravitacionales:**

- **Cargas muertas:** Corresponde al peso propio y al peso de los materiales que soporta la estructura tales como acabados, divisiones, fachadas, techos, etc. En general las cargas muertas se pueden determinar con cierto grado de exactitud conociendo las densidades de los materiales.
- **Cargas vivas:** Corresponden a cargas debidas a la ocupación normal de la estructura y que no son permanentes en ella. Debido a la característica de movilidad y no permanencia de esta carga el grado de incertidumbre en su determinación es mayor.

#### ✓ **Cargas ambientales:**

- **Cargas de viento:** El viento produce una presión sobre las superficies expuestas.



**Gráfico N° 17: Cargas de viento**

La fuerza depende de:

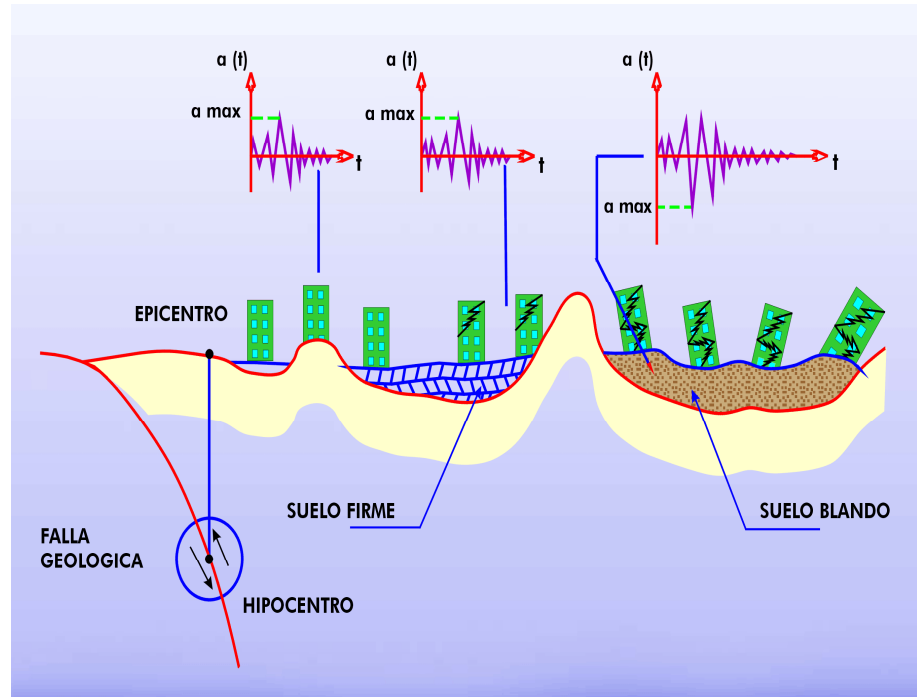
- Densidad y velocidad del viento
  - Angulo de incidencia
  - Forma y rigidez de la estructura
  - Rugosidad de la superficie
  - Altura de la edificación. A mayor altura mayor velocidad del viento.
- **Cargas de sismo:** El sismo es una liberación súbita de energía en las capas interiores de la corteza terrestre que produce un movimiento ondulatorio del terreno.

Este movimiento ondulatorio se traduce en una aceleración inducida a la estructura que contando esta con su propia masa y conociendo la segunda ley de Newton se convierte en una fuerza inercial sobre la estructura. Es inercial porque depende directamente de la masa de la estructura sometida al sismo.

$$F = m \cdot a$$

La magnitud de esta fuerza depende también de la aceleración correspondiente de la estructura. La aceleración de la estructura (es decir la respuesta de esta a una perturbación en la base) depende a su

vez de su rigidez ( $K=F/\delta$ ) y de la magnitud y frecuencia de la aceleración del terreno. La masa y la rigidez determinan el periodo de vibración de la estructura que para una aceleración del terreno produce una aceleración de vibración en ella.



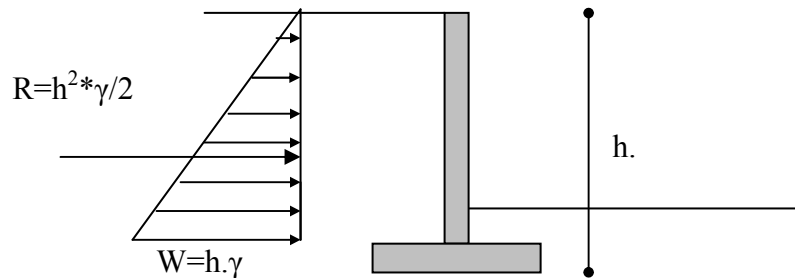
**Gráfico N° 18: Cargas de sismo**

Por medio de un espectro de diseño (gráfica de aceleración del terreno vs. período de vibración) se determina la aceleración de diseño para la estructura y por  $F=ma$  se encuentra una fuerza estática equivalente al sismo. A la fuerza total sísmica en la base de la estructura se le conoce como el cortante basal.

$$V = \text{cortante basal} \rightarrow \text{fuerza total en la base}$$

- **Cargas por presión hidrostática y empuje de tierras:** Por la Ley de Pascal se sabe que la presión que ejerce un líquido sobre las paredes que lo contienen es proporcional a la profundidad y al peso específico del líquido contenido. Los suelos ejercen sobre las superficies una

presión similar a los líquidos pero de menor magnitud. La presión se representa entonces como una carga triangular.



**Gráfico N° 19: Diagrama aplicación de carga de presión**

Donde:  $\gamma$ : peso específico del líquido o del líquido equivalente que representa al suelo.  
 $h$ : altura

### 2.2.2. ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD

Es un proceso mediante el cual se analizan las características de un sistema de manera que cumpla en forma óptima con sus objetivos. El objetivo de un sistema estructural es resistir las fuerzas a las que va a estar sometido, sin colapso o mal comportamiento.

La estructura deberá ser proyectada, diseñada y construida de manera que:

- Resista sin daño alguno, sismos de intensidad moderada.
- Resista con daños no estructurales menores y fácilmente reparables, sismos de mediana intensidad.
- Resista con daño estructural reparable y que se garantice el servicio ininterrumpido del edificio durante sismos excepcionalmente severos.

Los objetivos del análisis son:

- Determinar fuerzas (actuantes e internas) y desplazamientos de una estructura.
- Identificar, estudiar alternativas, seleccionar, analizar y verificar resultados de la solución estructural a un problema ingenieril, teniendo presentes los criterios de funcionalidad, economía y seguridad.

Para la determinación de la vulnerabilidad estructural existen métodos de análisis cualitativos y cuantitativos de distinto grado de complejidad en concordancia con el objetivo que se persigue al determinarla.

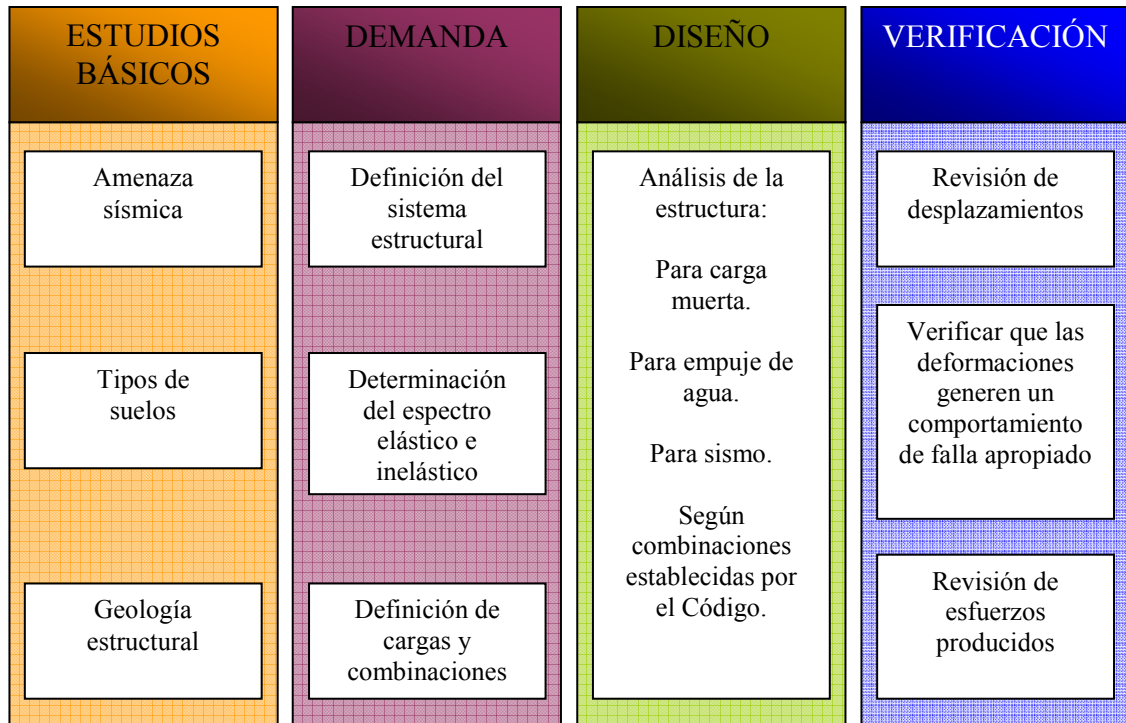
En los Métodos Cuantitativos se busca determinar los niveles de resistencia, flexibilidad y ductilidad propios de la estructura por medio de un análisis similar al diseño de edificios nuevos, incorporando entre otras variables a los componentes no estructurales. Se basan en análisis exhaustivos del tipo de análisis y diseño sismorresistente recomendados por las normas. Para ello es preciso contar con cierta información básica como: calidad de materiales utilizados, planos estructurales y determinación de las cargas que realmente actúan. La estructura se califica, entre otras características, según:

- La edad de la edificación.
- El estado de conservación.
- La característica de los materiales.
- El número de pisos.
- La configuración geométrica arquitectónica.
- Estimación de la resistencia al cortante.

Para evaluaciones a nivel preliminar se emplean métodos cualitativos que utilizan características generales de la estructura para calificarla. Entre los diferentes métodos cualitativos resultan muy apropiados aquellos asociados a índices globales que han sido calibrados con la experiencia del comportamiento de



estructuras existentes frente a terremotos acontecidos en el pasado. Estos permiten identificar el riesgo en términos generales y en algunos casos el nivel de daño.



**Gráfico N° 20: Diagrama de análisis de la vulnerabilidad**

✓ **Las herramientas de la evaluación estructural**

Los procedimientos para la evaluación estructural han mostrado una tendencia muy acelerada hacia el refinamiento de las técnicas numéricas empleadas. El profesional cuenta con tres tipos de ayudas: los métodos analíticos, las normas y la experimentación. Dentro de los métodos analíticos se cuenta con procedimientos de cálculo de solicitaciones en modelos sumamente refinados de estructuras muy complejas, los cuales pueden tomar en cuenta efectos como la no linealidad del comportamiento de los materiales, la interacción de la estructura con el suelo y el comportamiento dinámico.

✓ **Elementos**

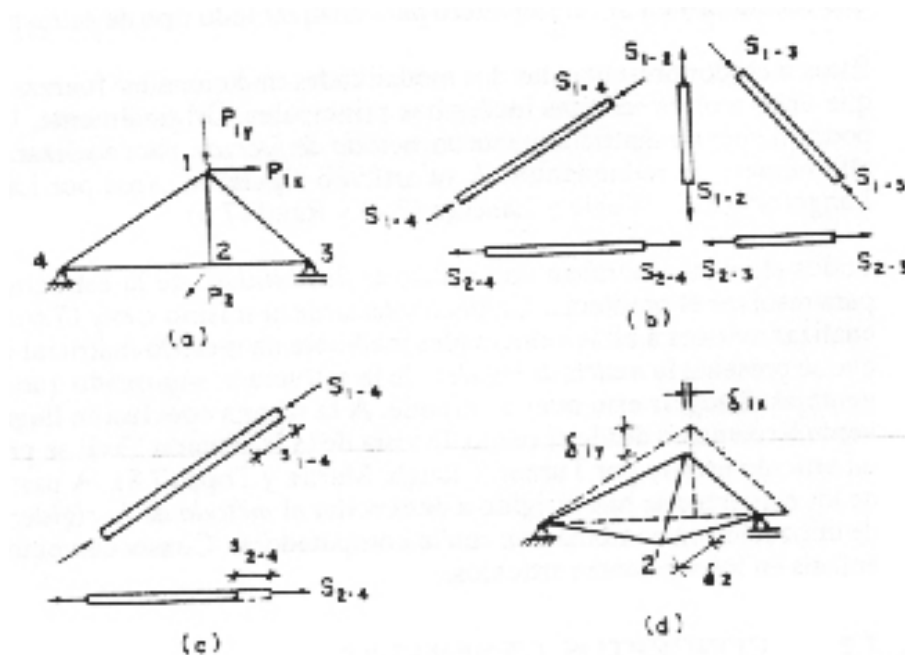
El primer paso para analizar una estructura es su idealización, que consiste en reducirla a un modelo matemático que la represente en forma adecuada y permita estudiar analíticamente su comportamiento ante las cargas.

El proceso de análisis se puede considerar como el estudio de cuatro etapas bien definidas:

1. Acción sobre la estructura
2. Acción sobre los elementos
3. Respuesta de los elemento
4. Respuesta de la estructura.

Por acción se puede entender una fuerza o un desplazamiento impuestos sobre la estructura. A su vez ésta responde con desplazamientos o fuerzas respectivamente.

El primer paso se puede ilustrar fácilmente con el análisis de la cercha del Gráfico N° 21, sometida a las cargas  $P_1$  y  $P_2$ , que constituyen la **acción** sobre ella (figura a). Como resultado de dicha acción sobre la estructura los elementos se ven sometidos a fuerzas axiales de tensión y compresión (figura b).



**Gráfico N° 21: Etapas del proceso de análisis estructural**

La respuesta de cada uno de los elementos a las fuerzas axiales anteriores es un alargamiento o acortamiento mostrados en la figura c. Como todos los elementos están conectados e integran un conjunto, el resultado final será un desplazamiento de los nudos libres de la estructura, que constituye su respuesta (figura d).

#### ✓ **Parámetros de análisis de las estructuras**

- **Seguridad:** Se considera que una estructura falla cuando deja de cumplir su función ya sea porque presenta deformaciones excesivas que obligan a que salga de servicio o por rompimiento o separación de alguna de sus partes o de todo el conjunto.

La falla por deformación puede ser por deformación elástica (recupera su forma una vez quitada la carga) o por deformación permanente. Este caso representa aquellas estructuras que producen un sentimiento de inseguridad en el usuario y que por lo tanto dejan de ser funcionales. Las fallas por desmoronamiento parcial o total son aquellas producidas por inestabilidad o por falta de resistencia de los materiales.

Para que una estructura sea estable debe cumplir con las leyes de equilibrio de Newton. En el caso particular de fuerzas estáticas las ecuaciones generales del equilibrio son:

$$\sum F^U = 0 \quad y \quad \sum M^U = 0$$

El principio de acción y reacción es uno de los conceptos básicos de uso general en las estructuras, encontrar fuerzas actuantes y fuerzas resistentes hace parte del diario de la ingeniería estructural. Este principio dice: “Para toda fuerza actuante debe haber algo que produzca una reacción que contrarreste el efecto o en otras palabras para una fuerza actuante existe una reacción de igual magnitud, dirección pero sentido contrario”.

Otra de las condiciones de seguridad es la resistencia a la rotura de los elementos que la componen y de las uniones entre estos. Esta característica depende de las propiedades mecánicas de los materiales utilizados.

- **Funcionalidad:** Esta característica está muy asociada a la economía y a la arquitectura.
- **Economía:** Si no se hace que las estructuras sean económicas no estamos resolviendo ningún problema. En la economía se conjuga la creatividad del ingeniero con su conocimiento

### 2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

**Alerta:** Es el tiempo previo al posible impacto de un evento adverso sobre una población o un sistema determinado.

**Amenaza:** Es un factor de riesgo externo, representado por el peligro latente de que un fenómeno físico de origen natural o antrópico se manifieste produciendo efectos adversos a las personas, a los bienes y al ambiente.

**Análisis de vulnerabilidad:** Proceso para determinar los componentes críticos o débiles de los sistemas ante las amenazas. Es el proceso mediante el cual se determina el nivel de exposición y la predisposición a la pérdida de un elemento o grupo de elementos ante una amenaza específica, contribuyendo al conocimiento del riesgo a través de interacciones de dichos elementos con el ambiente peligroso.

**Capacidades:** Conjunto de habilidades, técnicas, experiencias acumuladas por las personas, instituciones y organizaciones de la localidad, así como, los recursos naturales, económicos y organizativos con los que se cuenta.

**Capacidad operativa:** Capacidad para la cual fue diseñado el componente o sistema.

**Colapso de estructuras:** Implica el derrumbamiento repentino de una construcción. En un sentido más amplio el colapso puede ser causado por algún agente exterior (terremotos, tornados, explosiones, etc). El desastre debe registrarse bajo el factor causal original.

**Componente:** Parte discreta de un sistema capaz de operar independientemente, pero diseñado, construido y operado como parte integral del sistema. Ejemplos de componentes individuales son pozos, estaciones de bombeo, tanques de almacenamiento, conducciones.

**Confiabilidad:** Seguridad de un componente o sistema para resistir amenazas.

**Desastre natural:** Ocurrencia de un fenómeno natural en un espacio y tiempo limitado que causa trastornos en los patrones normales de vida, y ocasiona pérdidas humanas, materiales y económicas debido a su impacto sobre poblaciones, propiedades, instalaciones y ambiente.

**Deslizamiento:** Movimiento de terreno deleznable, piedras, lodo debido a la acción de la gravedad, pendiente abajo. Puede darse de manera espontánea, por efecto de un sismo o por el humedecimiento del terreno.

**Emergencia:** Situación fuera de control que se presenta por el impacto de un desastre.

**Empresa:** Entidad pública, privada o mixta a cargo de la prestación de servicios de agua potable y alcantarillado.

**Epicentro:** Es la proyección de foco sísmico en la superficie terrestre.

**Estructura:** Es el ensamblaje de elementos diseñados para resistir cargas verticales y sísmicas.

**Estudio de vulnerabilidad:** Proceso de análisis que determina el riesgo de daño potencial a que puede estar sometida una estructura.

**Evaluación de la amenaza:** Es el proceso mediante el cual se analiza la ocurrencia y severidad de un fenómeno potencialmente desastroso en un tiempo específico y en un área determinada. Representa la recurrencia estimada y la ubicación geográfica de eventos probables.

**Evaluación del riesgo:** Es el resultado de relacionar la amenaza, la vulnerabilidad y los elementos bajo riesgo con el fin de determinar las consecuencias sociales, económicas y ambientales de un evento. Cambios en uno o más de estos parámetros modifican el riesgo en sí mismo, o sea el total de pérdidas esperadas en un área dada por un evento particular. Para llevar a cabo la evaluación del riesgo deben seguirse tres pasos: evaluación de la amenaza o peligro; análisis de vulnerabilidad y cuantificación del riesgo.

**Evento:** Descripción de un fenómeno en términos de sus características, dimensión y ubicación geográfica. Registro en el tiempo y el espacio de un fenómeno que caracteriza una amenaza.

**Fases del desastre:** Los desastres para su estudio se deben analizar como una secuencia cíclica con tres fases amplias que son: ANTES o Prevención, DURANTE o Actividades de Respuesta y DESPUÉS que comprende los procesos de Rehabilitación y Recuperación.

**Fenómeno natural:** Manifestación de las fuerzas de la naturaleza tales como terremotos, huracanes, erupciones volcánicas y otros.

**Impacto:** Efectos en el medio ambiente y en obras hechas por el hombre a causa de un desastre.

**Manejo de amenazas:** Medidas de mitigación relacionadas con la intervención de los fenómenos asociados con la amenaza. Cuando esto es posible, usualmente se refiere al control o encauzamiento de los fenómenos físicos mediante métodos

técnico-científicos, obras de protección o medidas de seguridad que eviten la ocurrencia de eventos peligrosos.

**Manejo de desastres:** Comprende todas las actividades anteriormente mencionadas. Acciones que no corresponden a etapas lineales y sucesivas sino a procesos dinámicos y complejos, como son los desastres.

**Manejo de riesgos:** Actividades integradas para evitar o mitigar los efectos adversos en las personas, los bienes, servicios y el medio ambiente, mediante la planeación de la prevención y la preparación para la atención de la población potencialmente afectada.

**Mapa comunitario de riesgo:** Herramienta para la identificación de los componentes, amenazas y vulnerabilidades de la comunidad y los sistemas de abastecimiento de agua y saneamiento. Para su elaboración es indispensable la participación de los miembros de la comunidad, instituciones y autoridades locales y la coordinación con otros actores importantes (oficinas locales de los sectores salud, vivienda, saneamiento, educación, entre otros).

**Mitigación:** Es el conjunto de medidas para aminorar o eliminar el impacto de las amenazas naturales mediante la reducción de la vulnerabilidad del contexto social, funcional o físico.

**Plan de contingencia:** Es el conjunto de acciones secuenciales que deben ser cumplidas por cada grupo de trabajo durante cada una de las etapas del desastre así como los procedimientos para realizarlos y los recursos disponibles para tal fin. Para cada escenario de riesgo específico debe haber un plan de contingencia.

**Plan de emergencia:** Conjunto de medidas a aplicar antes, durante y después de que se presenta un desastre como respuesta al impacto del mismo.

**Plan de mitigación:** Conjunto de medidas y obras a implementar antes de la ocurrencia de un desastre, con el fin de disminuir el impacto sobre los componentes de los sistemas.

**Preparación:** Conjunto de medidas que deben implementarse antes que se presente un desastre. El objetivo es organizar, educar, capacitar y adiestrar a la población a fin de facilitar las acciones para un efectivo y oportuno control, aviso, evacuación, salvamento, socorro y ayuda, así como una acción rápida y eficaz cuando se produce el impacto.

**Prevención:** Acciones de preparación para disminuir el efecto del impacto de los desastres. Consiste en la eliminación o reducción de la presencia de eventos naturales que pueden constituir un peligro para el ser humano.

**Previsión:** Es determinar el riesgo con base en las posibles amenazas y las condiciones de vulnerabilidad de una comunidad.

**Programa para la atención de emergencias y desastres:** Comprende el plan de emergencia y el plan de mitigación.

**Pronóstico:** Es la metodología científica basada en estimaciones estadísticas y/o modelos físico - matemáticos, que permiten determinar en términos de probabilidad la ocurrencia de un movimiento sísmico de gran magnitud o un fenómeno atmosférico para un lugar o zona determinada, considerando generalmente un plazo largo como meses o años.

**Reconstrucción:** Las actividades de reconstrucción se refieren al proceso de recuperación a medio y largo plazo de los elementos, componentes y estructuras afectadas por el desastre.

**Redundancia:** Capacidad de que en un sistema sus componentes operen en paralelo, permitiendo que a pesar de la pérdida de uno o más de sus componentes se mantenga la continuidad del servicio.

**Rehabilitación:** Es el proceso de restablecimiento de las condiciones normales de vida mediante la reparación, adecuación y puesta en marcha de los servicios vitales que hayan sido interrumpidos o deteriorados por el desastre.



**Réplica:** Registro de movimientos sísmicos posteriores a un sismo de una magnitud alta.

**Reservorio:** Componente destinado al almacenamiento de agua antes de su distribución. Su función es regular las variaciones en el consumo de la población en el transcurso de un día.

**Resistencia:** Es la capacidad del elemento estructural a resistir cargas factorizadas.

**Riesgo:** Es el resultado de una evaluación de que las consecuencias o efectos de una determinada amenaza excedan valores prefijados. Es la probabilidad de que se presente un daño sobre un elemento o componente determinado, el cual tiene una vulnerabilidad intrínseca a raíz de la presencia de un evento peligroso con una intensidad específica. El riesgo, el peligro y la vulnerabilidad se expresan en términos de probabilidad, entre 1 y 100.

**Rigidez:** Es la característica de las estructuras o los elementos estructurales que toma en cuenta la geometría, longitud y tipo de material de los elementos estructurales y que permite tener una idea de las deformaciones que sufriría una estructura.

**Sismo:** Proceso geofísico originado en la corteza terrestre o en el manto superior de la tierra que libera tensiones y cuya energía se transforma en ondas. Estos cuando son movimientos pequeños se les llama popularmente temblores. La magnitud de un sismo se refiere a la cantidad de energía que libera; se mide con la escala de Richter para magnitudes de terremotos, mientras que la intensidad se refiere a los efectos que produce un sismo.

**Sistema de abastecimiento de agua:** Conjunto de componentes y actividades destinados a la provisión del servicio de agua potable a una población beneficiaria. Contempla la captación, tratamiento, conducción, almacenamiento y distribución.

**Sistema de alcantarillado:** Conjunto de componentes construidos e instalados para recolectar, conducir, tratar y disponer las aguas residuales.

**Socavación:** Erosión causada por el agua por debajo de una estructura que produce el asentamiento del terreno, deja la unidad sin apoyo, la desestabiliza y causa daños estructurales.

**Sostenibilidad:** Mantenimiento de un nivel de servicio aceptable de abastecimiento de agua y saneamiento a lo largo de la vida útil o de diseño de los sistemas. Involucra los aspectos: técnico, social, económico/financiero, ambiental e institucional.

**Temblor:** En un lugar dado, el movimiento sísmico con intensidad entre III, IV y V de la escala de Mercalli Modificada.

**Terremoto:** Convulsión de la superficie terrestre ocasionada por la actividad tectónica o fallas geológicas activas. La intensidad es generalmente mayor de VI y VII grados de la escala de Mercalli Modificada.

**Vulnerabilidad:**

- Es el factor de riesgo interno que tiene una población, infraestructura o sistema que está expuesto a una amenaza y corresponde a su disposición intrínseca de ser afectado o susceptible de sufrir daños.
- Susceptibilidad a la pérdida de un elemento o conjunto de elementos como resultado de la ocurrencia de un desastre.
- La probabilidad de que se produzcan daños sobre un sistema por la acción de un fenómeno natural o antrópico será mayor cuanto más sea su intensidad y la vulnerabilidad del mismo, y viceversa.

**Zonificación sísmica:** División y clasificación en áreas de la superficie terrestre de acuerdo a sus vulnerabilidades frente a un movimiento sísmico actual o potencial de una región o país.

## 2.4. FUNDAMENTACIÓN LEGAL

- Códigos y reglamentos sísmicos:
  - Código Ecuatoriano de la Construcción 2002.- Peligro sísmico, espectros de diseño y requisitos mínimos de cálculo para diseño sismo-resistente.
  - UBC, IBC (California)
  - ANSI (American National Standard Building Code)
  - ACI 318-99
  - ACI 318-05
  - ACI 350-01
  
- En lo concerniente a agua potable y alcantarillado:
  - Ley del Instituto Ecuatoriano de Recursos Hidráulicos, INERHI
  - Normas técnicas de diseño para los sistemas de agua potable y eliminación de residuos líquidos para poblaciones con más de 1000 habitantes, EX - IEOS
  - Anteproyecto de Ley Orgánica para la Prestación de los Servicios de Agua Potable y Saneamiento.
  - Proyecto de Código Ecuatoriano para el Diseño de la Construcción de obras sanitarias (CO 10.07 – 601).
  - Constitución de la República del Ecuador 2008
  
- Respecto a la legislación general para la atención de emergencias y desastres:
  - Legislación y reglamentación referente a la atención de las diferentes fases de las emergencias y desastres: defensa civil, comisiones de emergencia, organización nacional, regional y local, etc.
  - Legislación respecto a la responsabilidad civil y penal en el manejo de emergencias y desastres, a nivel de empresa y de funcionario.

## 2.5. CATEGORÍAS FUNDAMENTALES



## 2.6. HIPÓTESIS

Con la aplicación de un plan de mitigación se reducirá la vulnerabilidad sísmica en los sistemas de agua potable y alcantarillado de la ciudad de Riobamba.

## 2.7. SEÑALAMIENTO DE VARIABLES

**2.7.1. Variable independiente:** Vulnerabilidad sísmica de los sistemas de agua potable y alcantarillado de la ciudad de Riobamba.

**2.7.2. Variable dependiente:** Plan de mitigación.

## **CAPITULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1. MODALIDAD BÁSICA DE LA INVESTIGACIÓN**

La investigación fue de tipo documental bibliográfica porque se trabajó sobre las herramientas existentes para el análisis de vulnerabilidad sísmica, esto dentro del área de la Ingeniería Estructural. Sin embargo también fue una investigación de campo debido a que se recogieron todas las características físicas desde fisuras hasta modo de operación de los componentes del sistema a fin de que sean evaluados.

#### **3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN**

Está dentro del nivel descriptivo porque se hizo un levantamiento de la información de los sistemas de agua potable y alcantarillado de la ciudad de Riobamba, sus fortalezas y falencias. Mientras que se optó por una investigación de tipo explicativo al momento de elaborar y proponer un plan de mitigación en atención a las posibles afectaciones de un sismo sobre dichos sistemas.

#### **3.3. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES**

**V.I.: Vulnerabilidad sísmica de los sistemas de agua potable y alcantarillado de la ciudad de Riobamba.**

CONCEPTUALIZACIÓN	CATEGORÍAS	INDICADORES	ÍNDICE	HERRAMIENTAS
La vulnerabilidad sísmica de los sistemas de agua potable y alcantarillado de la ciudad de Riobamba determina el grado al cual estos sistemas pueden ser afectados en forma adversa en el cumplimiento de sus funciones por efecto de un desastre.	Sistemas estructurales	Elementos estructurales	Tuberías (colectores) Reservorios	Diarios de campo Planos Listas de chequeo
	Acciones exteriores	Cargas gravitacionales Cargas ambientales	Carga muerta Carga viva Sismo Empujes de tierra y de agua	Guías de observación Fichas bibliográficas
	Respuesta estructural	Desplazamientos Derivas máximas	CEC 2000 ACI	Listas de cotejo Fichas bibliográficas

**V.D.: Plan de mitigación.**

CONCEPTUALIZACIÓN	CATEGORÍAS	INDICADORES	ÍNDICE	HERRAMIENTAS
Los planes de mitigación se fundamentan en el mejor conocimiento posible de la vulnerabilidad de los sistemas.	Amenazas naturales	Situaciones potencialmente vulnerables.	Callamiento Licuefacción Deslizamientos Levantamiento tectónico	Listas de chequeo Ficha bibliográfica
	Alternativas de prevención y mitigación	Caracterización de efectos esperados	Cuantificación de vulnerabilidad Programas de cálculo para estimación de daños	Listas de cotejo Ficha bibliográfica

	Planificación	Organización institucional Operación y mantenimiento Apoyo administrativo	Monitoreo Campañas de concientización Decretos Planes de operación	Listas de cotejo Ficha bibliográfica
--	---------------	---	---	---

### **3.4. PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN**

Haciendo uso de las diferentes herramientas señaladas en la operacionalización de variables se esquematizó la información recogida ya sea en campo o de las diferentes fuentes bibliográficas.

En el caso del trabajo de campo se partió de los planos existentes así como también se hizo un seguimiento respecto de los procesos de operación y mantenimiento de los sistemas.

### **3.5. PLAN DE PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN**

Una vez determinada la metodología de cálculo para el análisis de la vulnerabilidad se procedió a aplicar los datos, estados de carga, apoyos, etc., tanto en reservorios (tanques) como en colectores. Los resultados proporcionados fueron revisados, interpretados y analizados. Por objeto de la elaboración de conclusiones se realizaron cuadros comparativos según los resultados obtenidos.

Se tomó en cuenta para la evaluación de todos los parámetros el apoyo del marco teórico según el campo correspondiente.

Luego de realizada la comprobación de la hipótesis se propusieron recomendaciones para un adecuado plan de mitigación.

## **CAPITULO IV**

### **ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

#### **4.1. ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD: METODOLOGÍA PROPUESTA POR LA OPS**

El análisis de la vulnerabilidad de los sistemas de agua potable y alcantarillado de Riobamba realizado busca determinar las debilidades de sus componentes frente a una amenaza de sismo para así poder establecer las medidas de mitigación necesarias, así como también proponer las medidas de emergencia gracias a las cuales la EMAPAR pueda dar una respuesta adecuada cuando el impacto de la amenaza se produzca.

El proceso seguido se basa principalmente en el proyecto “Manual para la Mitigación de Desastres Naturales en Sistemas Rurales de Agua Potable” de Galo Plaza N. y Hugo Yépez A. de la Escuela Politécnica Nacional, Ecuador. Además recoge la experiencia de “Mitigación de Desastres Naturales en Sistemas de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario - Guías para el Análisis de Vulnerabilidad” de 1998; junto con otros documentos preparados por la OPS/OMS.

Para facilitar la toma de decisiones fue pues necesario que los resultados del análisis de vulnerabilidad sean presentados en forma cualitativa y cuantitativa, y ello pudo conseguirse por medio del uso de matrices de probabilidad de daños.

Las vulnerabilidades detectadas en el sistema, tanto en los aspectos físicos, operativos como en los referentes a la administración se sintetizan en los cuadros presentados.

Los pasos seguidos fueron los siguientes:



#### **4.1.1. CARACTERIZACIÓN ADMINISTRATIVA – FUNCIONAL DE LA EMAPAR**

VER FORMATO N° 1: IDENTIFICACIÓN DE LA ORGANIZACIÓN INSTITUCIONAL Y DE LA ADMINISTRACIÓN LOCAL

#### **4.1.2. CARACTERIZACIÓN DE LOS SISTEMAS: DESCRIPCIÓN DE LA ZONA, DEL SISTEMA Y SU FUNCIONAMIENTO**

Fue necesario caracterizar la zona donde se ubican los sistemas, los datos físicos y la forma de operación.

VER FORMATO N° 2.1: IDENTIFICACIÓN DE LA FORMA DE OPERACIÓN

VER FORMATO N° 2.2: CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA (CONOCIMIENTOS BÁSICOS)

VER FORMATO N° 2.3.1: DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE Y SUS COMPONENTES

VER FORMATO N° 2.3.2: DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO Y SUS COMPONENTES

#### **4.1.3. IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LAS AMENAZAS**

El objetivo fue identificar los valores que caracterizan el sismo. Para ello se utilizaron:

- Plano de fallas geológicas del Ecuador. Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional de Quito.
- Plano de fallas geológicas regionales. GIS Chimborazo
- Mapa de Zonas Sísmicas del Ecuador. CEC2002.

Esta información se sobrepuso a un plano donde se ubicaron los componentes físicos de los sistemas para pronosticar el impacto de las amenazas con la mayor aproximación posible.

VER FORMATO N° 3: CARACTERIZACIÓN DE LA AMENAZA

**UTA - FICM**  
**MAESTRIA EN ESTRUCTURAS SISMORRESISTENTES**



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

**Formato N°:** 1

**Tema:** IDENTIFICACIÓN DE LA ORGANIZACIÓN INSTITUCIONAL Y DE LA ADMINISTRACIÓN LOCAL

<b>ORGANIZACION INSTITUCIONAL:</b>		
<b>TIPO:</b>	<b>NOMBRE:</b>	<b>ORGANISMO/INSTITUCION SUPERIOR:</b>
Estatal	Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Riobamba	I. Municipio de Riobamba
<b>LEGISLACIÓN Y NORMATIVAS VIGENTES:</b>		
Normas técnicas de diseño para los sistemas de agua potable y eliminación de residuos líquidos para poblaciones con más de 1000 habitantes. EX_IEOS		
Constitución de la República del Ecuador 2008		
Ley Orgánica de Régimen Municipal		
Reglamento Interno de la EMAPAR.		
Ley Orgánica de Servicio Civil y Carrera Administrativa y Homologación de las Remuneraciones del Sector Público		
<b>DEBERES – ATRIBUCIONES - RESPONSABILIDADES:</b>		
Prestar los servicios de Agua potable y Alcantarillado para preservar la salud de los habitantes y obtener una rentabilidad social y económica en sus inversiones, las mismas que serán reinvertidas para el desarrollo de la Empresa		
Administrar, planificar, diseñar, construir, controlar, operar y mantener los sistemas para producción, regulación, distribución y comercialización de agua potable		
Contribuir a proteger el entorno ecológico y el mantenimiento de las fuentes hídricas del cantón Riobamba y de las que actualmente están en uso.		

**UTA - FICM**  
**MAESTRIA EN ESTRUCTURAS SISMORRESISTENTES**



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

**Formato N°:** 2.1

**Tema:** IDENTIFICACIÓN DE LA FORMA DE OPERACIÓN

<b>UNIDAD DE OPERACIÓN</b>					
OPERADOR	UBICACIÓN	TIPO NOMBRAMIENTO	TIEMPO COMPLETO	TIEMPO PARCIAL	OCASIONAL
1	Fuente San Pablo	Regular		X	
2	Pozos Llío	Regular	X		
3	Conducciones	Regular	X		
4	Planta de Tratamiento A.P.	Regular	X		
5	Reserva El Carmen	Regular	X		
6	Reserva El Recreo	Plazo fijo		X	
7	Reserva La Saboya	Regular	X		
8	Reserva El Maldonado	Regular	X		
9	Reserva Yaruquíes	Regular		X	

OPERADOR	RESPONSABILIDADES		
1	Cuidado de fuente. Recorrido y observación de novedades en la conducción. Operación de válvulas de aire		
2	Cuidado de fuente. Recorrido y observación de novedades en la conducción. Operación de válvulas de aire		
3	Recorrido y observación de novedades en la conducción. Operación de válvulas de aire. Reparaciones de fugas		
4	Cuidado de proceso de cloración. Regulación de válvulas		
5	Cuidado de reserva y sus elementos. Operación y mantenimiento de valvulería. Registro de niveles.		
6	Cuidado de reserva y sus elementos. Operación y mantenimiento de valvulería. Registro de niveles.		
7	Cuidado de reserva y sus elementos. Operación y mantenimiento de valvulería. Registro de niveles.		
8	Cuidado de reserva y sus elementos. Operación y mantenimiento de valvulería. Registro de niveles.		
9	Cuidado de reserva y sus elementos. Operación y mantenimiento de valvulería. Reparación de fugas.		
<b>¿El operador utiliza un diseño gráfico actual del sistema?</b>			
¿Por qué? No existe suficiente información documentada, y muchos de los operadores han trabajado en el sitio durante años por lo que ya conocen el sistema.		SI	NO
			X
<b>¿El operador utiliza un manual reglamentario de operación y mantenimiento?</b>			
¿Por qué? Quienes estaban en la obligación de entregarles este tipo de información no lo hicieron por falta de interés		SI	NO
			X
<b>¿El operador mantiene un libro de vida del sistema?</b>			
¿Por qué? Solamente lo mantiene quien está a cargo de las conducciones y quien opera la Reserva Maldonado		SI	NO
			X
<b>Describa la rutina de operación y mantenimiento actual del sistema.</b>			
Recorrido diario por los diferentes componentes			
Cloración permanente			
Operación y mantenimiento de valvulería			
Reparación de daños en las líneas de conducción y en las de distribución			

**UTA - FICM**  
**MAESTRIA EN ESTRUCTURAS SISMORRESISTENTES**



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

**Formato N°:** 2.2  
**Tema:** CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA (CONOCIMIENTOS BÁSICOS)

FECHA:	22 de julio del 2009			
NOMBRE DEL SISTEMA:	Sistema de Agua Potable y Alcantarillado de la ciudad de Riobamba			
TIPO DE SISTEMA:	GRAVEDAD	X	BOMBEO	MIXTO
OTRO				
TIEMPO FUNCIONAMIENTO:	97 años			
UBICACIÓN DEL SISTEMA:	En la parroquia de San Andrés del Cantón Guano y en la ciudad de Riobamba, Provincia de Chimborazo			
VÍAS DE ACCESO:	Panamericana Sur. Hasta las captaciones son 2 Km. (aprox.) desde el punto de peaje denominado San Andrés, hacia el norte.			
POBLACIÓN SERVIDA:	149.468 habitantes de la ciudad de Riobamba		1.248 habitantes del Cantón Guano	
<b>SERVICIOS BÁSICOS:</b>				
Energía eléctrica	SI	NO		
	X			
Teléfono	SI	NO		
	X			
Transporte	SI	NO		
	X			

**UTA - FICM**  
**MAESTRIA EN ESTRUCTURAS SISMORRESISTENTES**



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

**Formato N°:** 2.3.1

**Tema:** DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE Y SUS COMPONENTES

<b>CAPTACIÓN</b>				
<b>TIPO</b>	<b>ELEMENTOS</b>	<b>EQUIPOS</b>	<b>ACCESORIOS</b>	<b>DAÑOS PASADOS</b>
Vertiente (San Pablo)	4 tanques recolectores, uno es de adobe, el resto de H° A°	Ninguno	Válvulas de control de caudales. Tubería de asbesto-cemento	Bajas de caudales a causa de la sequía
Pozos (Llío)	7 casetas, 7 cajones y un tanque recolector de H° A°	2 generadores eléctricos 5 tableros eléctricos 5 bombas de eje vertical con motor externo	Válvulas de control de caudales. Tubería de asbesto-cemento	Hace 10 años aproximadamente dejó de producir el pozo N° 3 al resultar su perforación superficial. El N° 5 sufrió un problema con su eje dejándolo fuera de servicio.
Pozos en la ciudad (Yaruquíes, San Gabriel, Huerta y Servidores)	4 casetas de H° A°	4 tableros eléctricos motores bombas	4 Válvulas de control de caudales. Tubería de asbesto-cemento y PVC	A inicios del año pasado colapsó el pozo San Gabriel por fallas irreversibles en el equipo; se procedió a reemplazarlo.

<b>CONDUCCIONES</b>						
<b>DENOMINACIÓN</b>	<b>UBICACIÓN</b>	<b>CAUDAL</b>	<b>DIAMETROS</b>	<b>MATERIAL</b>	<b>MANTENIMIENTO</b>	<b>ESTADÍSTICAS DE REPARACIÓN</b>
San Pablo - Llíó	Vertientes San Pablo – Pozos de Llíó	285 lt/s	500 mm	acero	Ninguno	Ninguna desde su puesta en funcionamiento (diciembre 2007)
Llíó - Aireadores	Pozos de Llíó – Planta de Tratamiento Aireadores	465 lt/s	600-450 mm	acero	Operación de válvulas de aire	Ninguna desde su puesta en funcionamiento (diciembre 2007)
IEOS	Planta de Tratamiento Aireadores – Tanque Repartidor		300 mm	A.C.	Operación de válvulas de aire	8 fugas / mes
San Pablo	Planta de Tratamiento Aireadores – Tanques Saboya		300 mm	A.C.	Valvulería	6 fugas / mes
Maldonado	Tanque Repartidor – Tanques Maldonado	Salida: 220 lt/s Llegada: 180 lt/s	400 - 350 mm	A.C.	Operación de válvulas de aire	12 fugas / mes
Cabezas	Planta de Tratamiento Aireadores – Tanques Saboya		350 mm	A.C.	Valvulería	1 fuga / mes
Yaruquies (antigua)	Conducción San Pablo – Red N° 1		4" - 160 mm	A.C.		2 fugas / mes
Yaruquies (Pedregal)	Pozo Estadio – Tanque Yaruquies	9.46 lt/s	4"	A.C.	Operación de hidrantes	2 fugas / mes
Recreo	Planta de Tratamiento Aireadores – Tanque Recreo	Diseñada para 32 lt/s. Conduce 6 lt/s	160 mm	PVC	Operación de válvulas de aire	Ninguna desde su puesta en funcionamiento (mayo 2009)

<b>TRATAMIENTO</b>					
ELEMENTOS	EQUIPOS		ACCESORIOS		DAÑOS PASADOS
Aireación por bandejas	Ninguno		Válvulería. Tubería de asbesto-cemento		Ninguno
Piscinas aireadoras	Ninguno		Válvulería. Tubería de asbesto-cemento		Suspensión por presencia de ceniza
Cloración	Sistema automático de inyección de cloro gas		Tubería PVC		Bomba dañada
<b>ALMACENAMIENTO</b>					
ELEMENTO	CAPACIDAD	UBICACIÓN	EQUIPOS	ACCESORIOS	DAÑOS PASADOS
Tanque redondo de H° A°	200 m3	Yaruquíes	Ninguno	Uniones, valvulería (h.f), tubería (asbesto-cemento)	
Tanque redondo de H° A°	500 m3	El Recreo	Ninguno	Uniones, valvulería (h.f), tubería (PVC)	Filtraciones en muro
Tanque cuadrado de H° A°	1000 m3	El Recreo	Ninguno	Uniones, valvulería (h.f), tubería (PVC)	Filtraciones en muro
Tanque redondo de H° A°	1500 m3	El Carmen	Ninguno	Uniones, valvulería (h.f), tubería (asbesto-cemento)	Filtraciones en junta (unión muro- piso)
3 Tanques redondos de H° A°	1000 m3 c/u	La Saboya	Ninguno	Uniones, valvulería (h.f), tubería (asbesto-cemento)	
Tanque redondo de H° A°	2000 m3	La Saboya	Ninguno	Uniones, valvulería (h.f), tubería (asbesto-cemento)	Filtraciones en junta (unión muro- piso)
2 Tanques redondos de H° A°	2500 m3 c/u	Maldonado	Ninguno	Uniones, valvulería (h.f), tubería (asbesto-cemento)	Filtraciones en muro y en las juntas (unión muro-piso)



<b>RED DE DISTRIBUCIÓN</b>										
Nº DE RED	TANQUES CON LO QUE SE ABASTECE		ACCESORIOS		CONEXIONES DOMICILIARIAS		DAÑOS PASADOS			
UNO	El Recreo, El Carmen		Uniones, codos, tees, yees, cruces, tapones		6456 instalaciones de Ø ½". Material: PE y PVC. Medidores tipo B.		Fugas. Baja presión			
DOS	La Saboya		Uniones, codos, tees, yees, cruces, tapones		10842 instalaciones de Ø ½". Material: cobre, PE y PVC. Medidores tipo B.		Fugas. Baja presión			
TRES	Maldonado		Uniones, codos, tees, yees, cruces, tapones		11765 instalaciones de Ø ½". Material: cobre, PE y PVC. Medidores tipo B.		Fugas. Baja presión			
CUATRO	Yaruquies		Uniones, codos, tees, yees, cruces, tapones		675 instalaciones de Ø ½". Material: PE y PVC. Medidores tipo B.		Fugas. Baja presión			
Desde conducciones			Uniones, codos, tees, yees, cruces, tapones		4639 instalaciones de Ø ½". Material: PE sin medidores. No se acometen a tuberías madre		Fugas.			
<b>CARACTERÍSTICAS DE LAS TUBERÍAS DE DISTRIBUCIÓN</b>										
Nº DE RED	MATERIAL								TOTAL	
	AC		PVC		HF		PE		LONG. (m)	%
	LONG. (m)	%	LONG. (m)	%	LONG. (m)	%	LONG. (m)	%		
UNO	32654,00	23	112073,50	77					144727,50	100
DOS	83337,34	56	57374,04	39	3687,75	2	3150,00	2	147549,13	100
TRES	69648,61	39	103486,73	58	3495,96	2	3280,35	2	179911,65	100
CUATRO	11384,69	91	1103,13	9					12487,82	100
<b>TOTAL</b>	<b>197024,64</b>	<b>41</b>	<b>274037,40</b>	<b>57</b>	<b>7183,71</b>	<b>1</b>	<b>6430,35</b>	<b>1</b>	<b>484676,10</b>	<b>100</b>

**Características de las tuberías de distribución: Red 1**

Diám.(mm)	Material	Longitud (m)	Long. (%)
32	AC	55,00	32654,00
50	AC	1467,00	
75	AC	2968,00	
100	AC	11301,50	
150	AC	3032,00	
200	AC	7581,00	
250	AC	1057,50	
300	AC	1158,50	
350	AC	3155,50	
400	AC	878,00	
32	PVC	277,00	112073,50
40	PVC	1040,50	
50	PVC	15743,50	
60	PVC	3000,00	
63	PVC	48456,50	
75	PVC	430,50	
90	PVC	12972,50	
100	PVC	1470,50	
110	PVC	14214,00	
114	PVC	1535,00	
160	PVC	10727,50	
200	PVC	2206,00	
<b>TOTAL</b>		<b>144727,50</b>	<b>100%</b>

**Características de las tuberías de distribución: Red 2**

Diám.(mm)	Material	Longitud (m)	Long. (%)	
50	AC	28467,63	83337,34	
75	AC	11659,82		
100	AC	20141,22		
150	AC	1847,56		
200	AC	10502,78		
250	AC	1816,75		
300	AC	1407,52		
350	AC	754,18		
375	AC	315,53		
400	AC	4032,75		
450	AC	2391,59		
50	PVC	5845,96		57374,04
60	PVC	5512,46		
63	PVC	27167,57		
75	PVC	334,21		
90	PVC	3960,39		
110	PVC	8358,73		
114	PVC	559,93		
160	PVC	1497,71		
200	PVC	2999,40		
250	PVC	494,63		
315	PVC	643,05		
50	HF	163,00	3687,75	
75	HF	82,67		
200	HF	3442,07		
50	PE	2000,65	3150	
100	PE	1149,34		
<b>TOTAL:</b>		<b>147549,13</b>	<b>100%</b>	

**Características de las tuberías de distribución: Red 3**

Diám.(mm)	Material	Longitud (m)	Long. (%)
50	AC	24739,51	69648,61 39%
75	AC	9795,72	
100	AC	9939,54	
150	AC	7777,24	
200	AC	12386,83	
250	AC	367,05	
300	AC	2539,61	
350	AC	584,25	
400	AC	1518,86	
50	PVC	21269,08	
60	PVC	1012,28	
63	PVC	40425,77	
75	PVC	79,91	
90	PVC	18424,86	
110	PVC	17659,12	
114	PVC	193,95	
160	PVC	3019,68	
200	PVC	1402,09	
100	HF	247,91	3495,96 2%
200	HF	3248,05	
50	PE	3280,35	3280,35 2%
<b>TOTAL</b>		<b>179911,65</b>	<b>100%</b>

**Características de las tuberías de distribución: Red 4**

Diám.(mm)	Material	Longitud (m)	Long. (%)
50	AC	8005,780	11384,69 91%
100	AC	3378,900	
63	PVC	1103,130	1103,13 9%
<b>TOTAL:</b>		<b>12487,82</b>	<b>100%</b>

**UTA - FICM**  
**MAESTRIA EN ESTRUCTURAS SISMORRESISTENTES**



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

**Formato N°:** 2.3.2  
**Tema:** DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO Y SUS COMPONENTES

<b>SISTEMA DE ALCANTARILLADO</b>					
DESCRIPTIVO	UNIDAD	TIPO DE SISTEMA			TOTAL
		SANITARIO	PLUVIAL	COMBINADO	
Sumideros	U		1537	2834	4371
Pozos de revisión	U	1841	1434	2432	5707
Redes	Km	162,9	97,84	205,42	466,16
Colectores	Km	0,58	27,45	47,94	75,97
Total tuberías	Km	163,48	125,29	253,36	542,13
<b>ANÁLISIS DE COBERTURA</b>					
		Área (ha)		Población (hab)	
		Total	Servida	Total	Servida
		3321	3094	163539	136224
Cobertura	%	93,16		83,3	

**UTA - FICM**  
**MAESTRIA EN ESTRUCTURAS SISMORRESISTENTES**



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

**Formato N°:** 3  
**Tema:** CARACTERIZACIÓN DE LA AMENAZA

<b>Tipo:</b>	Sismo
<b>Característica:</b>	Intensidad VIII. De origen tectónico.
	Se ha registrado un sismo de intensidad de XI en 1797 a 17 km. de la ciudad
<b>FAS:</b>	2.25
<b>Tipo de amenaza sísmica:</b>	Moderada
<b>Áreas de Impacto:</b>	Pérdida temporal del caudal en las captaciones
	Fisuración del cajón recolector de mayor sección.
	Destrucción parcial de las conducciones de acero por posibles deslizamientos.
	Probabilidad de deslizamientos junto a la línea de conducción de agua cruda de acero.
	Fisuración de tanques de reserva.
	Destrucción parcial de las líneas de distribución de asbesto cemento.
	Colapso de colectores de H°S° y H°A° de mayor sección

#### 4.1.4. IDENTIFICACIÓN DE LA VULNERABILIDAD

##### 4.1.4.1. Vulnerabilidad operativa

VER FORMATO N° 4.1: VULNERABILIDAD OPERATIVA (DEBILIDADES EN LA PRESTACIÓN DE LOS SERVICIOS)

##### 4.1.4.2. Vulnerabilidad física

Para su estimación se simularon los eventos posibles y se analizaron las consecuencias esperadas en el sistema. Para el caso de sismos, conociendo la intensidad se pudo aproximar los valores de daño físico para cada componente del sistema a través del factor de daño. En la Tabla N° 1 se propone el uso de algunos valores promedio determinados por la calibración de las matrices de daños para líneas vitales. El factor de daño en estos trabajos está definido como la relación entre el costo de los daños producidos por el terremoto dividido por el valor actual de cada componente.

*Tabla N° 1: Factores de daños según intensidad sísmica. Escuela Politécnica Nacional de Ecuador et al, 1994*

	FACTORES DE DAÑO					
INTENSIDAD ESCALA DE MERCALLI MODIFICADA	Daño	VI	VII	VIII	IX	X
Pozos	%	1.04	4.60	6.66	14.78	23.56
Acueductos	%	0.57	1.05	2.66	4.42	8.80
Estaciones de Bombeo	%	2.35	5.85	11.73	20.74	30.77
Tanques de Almacenamiento	%	1.10	4.10	6.45	10.63	24.11
Plantas de Tratamiento	%	1.09	3.33	6.67	13.38	20.59
Red de Conducción de Agua	roturas/km	0.00	0.69	1.56	5.21	9.13

VER FORMATO N° 4.2: VULNERABILIDAD FÍSICA (DEBILIDADES DE LOS COMPONENTES FÍSICOS Y SU IMPACTO EN EL SERVICIO)

#### **4.1.4.3. Vulnerabilidad administrativa de la empresa y capacidad de respuesta**

La capacidad de respuesta de la Empresa de Agua Potable y Alcantarillado de Riobamba para atender los efectos de un sismo quedó establecida por la consideración de aspectos de prevención, mitigación y preparativos frente al impacto en la organización institucional, en la operación y mantenimiento de los sistemas y el apoyo administrativo de la Empresa.

VER FORMATO N° 4.3: VULNERABILIDAD ADMINISTRATIVA DE LA EMPRESA Y CAPACIDAD DE RESPUESTA.

**UTA - FICM**  
**MAESTRIA EN ESTRUCTURAS SISMORRESISTENTES**



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

**Formato N°:** 4.1  
**Tema:** VULNERABILIDAD OPERATIVA (DEBILIDADES EN LA PRESTACIÓN DE LOS SERVICIOS)

<b>CANTIDAD, CONTINUIDAD Y CALIDAD DEL AGUA:</b>			
No. USUARIOS	CAPACIDAD PRODUCCIÓN	REQUERIMIENTO ACTUAL	DEFICIT (-)
34377	587 lt/s	828 lt/s	(-) 241 lt/s
CONTINUIDAD (PERIODOS): Se hacen tres distribuciones diarias, con un promedio de 8 horas.			
CALIDAD DEL AGUA: En abril del 2007 hubo una contaminación en la parte baja de la red N° 2, desde entonces se mantiene un constante monitoreo.			
Falta en stock de químicos (cloro gas y granulado)			
Ausencia de registros de caudales y de monitoreo de calidad del agua			
Ausencia de registro de las responsabilidades y condiciones de los operadores			
CAPACITACION DEL PERSONAL:			
PERSONAL	CURSO DE CAPACITACION	ULTIMO ENTRENAMIENTO	
Operadores reservas	Operación y mantenimiento de valvulería	Marzo del 2009	
TIEMPO DE SERVICIO	OBSERVACIONES		
	Desconocimiento del manual de operación y mantenimiento, leyes y normas referentes a los sistemas		
67% tiene más de 1,5 años	Sin capacitación y/o asesoramiento para atención rutinaria y en caso de desastres		



**UTA - FICM**  
**MAESTRIA EN ESTRUCTURAS SISMORRESISTENTES**



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

**Formato N°:** 4.2

**Tema:** VULNERABILIDAD FÍSICA (DEBILIDADES DE LOS COMPONENTES FÍSICOS Y SU IMPACTO EN EL SERVICIO)

COMPONENTE Elemento expuesto	ESTADO ACTUAL (Condición desfavorable)	DAÑOS ESTIMADOS	Factor de Daño (%)	TR <sub>100</sub> <sup>(1)</sup> (días)	IMPACTO EN EL SERVICIO <sup>(2)</sup> (conexiones)
<b>CAPTACIONES</b>					
<i>Vertientes</i>		Variación (disminución) del caudal por posible taponamiento en estratigrafía del suelo	6.66	90	16691
	La tubería de asbesto - cemento ha cumplido su vida útil	Presencia de fugas			
<i>Pozos</i>	La tubería de asbesto - cemento ha cumplido su vida útil	Presencia de fugas		120	17686

	Ausencia de un regulador de voltaje para protección de las bombas sumergibles	Suspensión del pozo temporal o definitivamente por interrupción de la corriente eléctrica, de las comunicaciones y de las vías de acceso.			
	Mal funcionamiento de generador auxiliar en períodos largos de falta de energía.				
	Falta de mantenimiento de bombas sumergibles				
	Mal estado de conexiones eléctricas y de tablero de control				
<b>CONDUCCIONES</b>					
<i>Tubería de acero</i>	8690 m, 54% se encuentra enterrada, el porcentaje restante se ha instalado como aérea	Interrupción de las de las vías de acceso por posibles deslizamientos.	2.66	15	27232
<i>Tubería de A-C</i>	15525 m. Presencia continua de fugas	Las tuberías rígidas fallan en cortante		180	33967
<i>Tubería de PVC</i>	Mal estado de accesorios como válvulas, uniones, acoples y collarines	Posibles fallas en las uniones rígidas con las tuberías, y las juntas flexibles se desacoplan		60	410
<b>TRATAMIENTO (A.P.)</b>					
<i>Piscinas de aireación</i>	Presencia de fisuras	Filtraciones en paredes y daño en válvulas.	6.67	30	7496
<i>Sistema de cloración automático</i>	Ausencia de generador auxiliar en períodos largos de falta de energía.	Interrupción de la corriente eléctrica, de las comunicaciones y de las vías de acceso.		15	1113

<b>ALMACENAMIENTO</b>					
<i>Tanques de reserva</i>	Presencia de fisuras	Filtraciones en paredes y juntas	6.45	365	33264
<i>Valvulería</i>	Falta de mantenimiento	Daño en válvulas.		120	34377
<b>DISTRIBUCION</b>					
<i>Tubería de PVC</i>	274,04 Km. Mal estado de material y accesorios	Posibles fallas en las uniones rígidas con las tuberías	1.56 roturas por Km. de tubería	75	16814
<i>Tubería de A-C</i>	197,02 Km. Mal estado de accesorios: válvulas, uniones, collarines	Las tuberías rígidas fallan en cortante		145	12089
<i>Tubería de HF</i>	7,18 Km.			5	441
<i>Tubería de PE</i>	6,43 Km. Presencia continua de fugas	Las juntas flexibles se desacoplan		5	5033
<b>SISTEMA DE ALCANTARILLADO</b>					
<i>S. Sanitario - Colectores</i>	0,58 Km.	Las tuberías rígidas fallan en cortante		15	8354
<i>S. Sanitario - Redes</i>	162,90 Km. Presencia regular de fugas	Posibles fallas en las uniones rígidas		270	
<i>S. Pluvial - Colectores</i>	27,45 Km.	Las tuberías rígidas fallan en cortante		90	0
<i>S. Pluvial - Redes</i>	97,84 Km. Presencia casi nula de fugas	Posibles fallas en las uniones rígidas		180	
<i>S. Combinado - Colectores</i>	47,94 Km.	Las tuberías rígidas fallan en cortante		150	24956
<i>S. Combinado - Redes</i>	205,42 Km. Presencia continua de fugas	Posibles fallas en las uniones rígidas		330	

<sup>(1)</sup> TR<sub>100</sub>: Tiempo de recuperación al 100% de la capacidad del elemento

<sup>(2)</sup> Número de conexiones afectadas en términos de calidad, cantidad y/o continuidad del servicio

**UTA - FICM**  
**MAESTRIA EN ESTRUCTURAS SISMORRESISTENTES**



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

**Formato N°:**

4.3

**Tema:**

VULNERABILIDAD ADMINISTRATIVA DE LA EMPRESA Y SU CAPACIDAD DE RESPUESTA

ORGANIZACION INSTITUCIONAL	OPERACION Y MANTENIMIENTO	APOYO ADMINISTRATIVO
<p>A. PLANES DE ATENCION DE EMERGENCIAS</p> <p style="text-align: center;">SI <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> NO</p> <p>Ultima revisión:</p>	<p>A. PROGRAMAS DE PLANIFICACION</p> <p style="text-align: center;">SI <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> NO</p>	<p>A. DISPONIBILIDAD Y MANEJO DE DINERO</p> <p style="text-align: center;">SI <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> NO</p> <p>Monto:</p>
<p>B. PLANES DE MITIGACION</p> <p style="text-align: center;">SI <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> NO</p>	<p>B. PROGRAMAS DE OPERACION</p> <p style="text-align: center;">SI <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> NO</p>	<p>B. APOYO LOGISTICO DE PERSONAL, PROVEDORES Y TRANSPORTE</p> <p style="text-align: center;">SI <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> NO</p>
<p>C. COORDINACION INTERINSTITUCIONAL</p> <p style="text-align: center;">SI <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> NO</p>	<p>C. PROGRAMAS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO</p> <p style="text-align: center;">SI <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> NO</p>	

D. COMISION DE FORMULACION DE LOS PLANES DE MITIGACION SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/>	D. PERSONAL CAPACITADO SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/>	
E. COMITE DE EMERGENCIAS SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/>	E. DISPONIBILIDAD DE EQUIPO Y MAQUINARIA SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>	C. CONTRATACION DE OBRAS SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>
Miembros del Comité / Cargo:	Tipo de equipo y maquinaria:	Nombre:
	3 retroexcavadoras	Diferentes contratistas
	2 carros eductores	
	4 tanqueros para reparto de agua potable	
	1 minicargadora	
<b>SISTEMAS DE INFORMACION Y ALERTA</b>		
INTERINSTITUCIONAL	EN LA EMPRESA	A LOS USUARIOS
Defensa Civil NO	Radio SI	Radio SI
Instituto Sismológico NO	Teléfono SI	Televisión NO
Otro: NO	Otro: NO	Prensa escrita SI
		Otro: NO

## **4.2. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LA METODOLOGÍA PROPUESTA POR LA OPS**

Caracterizar los sistemas de agua potable y alcantarillado de Riobamba, evaluar el impacto de un sismo sobre ellos y analizar la capacidad de respuesta de la EMAPAR ante una emergencia ha sido la información incluida en cada uno de los nueve formatos, con lo que se ha podido analizar la vulnerabilidad de los sistemas.

La evaluación desarrollada ha permitido pronosticar con la mejor aproximación posible las situaciones que generarán las solicitudes externas para determinar los parámetros de vulnerabilidad. Esta información, conjuntamente con el tiempo de rehabilitación, se utilizó en el plan de mitigación del Capítulo IV gracias al cual se podría proveer agua antes, durante y después de ocurrido un sismo de intensidad igual o mayor a VIII, así como también se logrará evitar la contaminación por el derramamiento de aguas servidas.

Una vez completados los formularios se tiene que:

### **a) Descripción del sistema existente de agua potable:**

El sistema de agua potable viene sirviendo a Riobamba y parte de la población del cantón Guano desde hace 97 años. Se trata de un sistema a gravedad, compuesto de captaciones de origen subterráneo, las dos principales ubicadas cerca al peaje en la salida norte, en el sector de San Andrés a 14 Km. de la ciudad y varios pozos ubicados en el perímetro urbano de la ciudad (Huerta, Servidores de Chimborazo, San Gabriel del Aeropuerto y Yaruquíes); conducciones desde San Pablo y Llío con una longitud de 9 Km., hasta la planta de tratamiento (Aireadores) en el sector de El Carmen, donde se realizan los tratamientos de aireación y desinfección del agua; un sistema de conducciones hasta las reservas de la ciudad con una longitud promedio de 5 km. Tres centros principales de reserva en El Carmen, Saboya y Maldonado, para servir las redes. Tres redes denominadas Uno, Dos y Tres. Por el crecimiento de la ciudad se han realizado extensiones de las redes y la ubicación de nuevas reservas, como la de El Recreo que sirve a la Red Uno.

Independientemente se tiene un sistema que abastece a la población de Yaruquíes, compuesto de: captación de un pozo (El Pedregal) ubicado en la parte baja de la población, línea de impulsión hasta la reserva ubicada en la parte alta, en donde se realiza desinfección y almacenamiento, desde esta reserva se inicia la Red de Distribución Cuatro.

VER ANEXOS, SEGUNDA PARTE, PLANO 1: ESQUEMA DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA

#### **b) Descripción del sistema existente de alcantarillado:**

Los estudios de factibilidad de los Planes Maestros (octubre de 2008), definen dos cuencas de recolección-drenaje claramente delimitadas y diferenciadas:

- **Sub-cuenca Centro-Sur:** El sistema de alcantarillado fue diseñado como combinado y funciona como tal. Tiene dos descargas emplazadas en la margen izquierda del río Chambo, la disposición final es directa (sin tratamiento).
- **Sub-cuenca Norte:** El sistema fue diseñado como separado (sanitario y pluvial), pero en la práctica funciona como combinado. El alcantarillado sanitario está constituido por redes de tuberías y colectores de tamaño medio que recorren desde el occidente hacia el centro y el sur de la cuenca. El alcantarillado pluvial de la cuenca Norte recolecta la escorrentía superficial a través de tuberías cuyo recorrido generalmente transcurre en forma paralela a las tuberías de alcantarillado sanitario. La evacuación del agua lluvia se produce de manera irregular, unas veces hacia cursos naturales, otras a colectores sanitarios y otras, directamente a los terrenos de la zona cuando no existe alcantarillado.

#### **c) Evaluación de la vulnerabilidad operativa de los sistemas:**

El sistema de agua potable se opera en base a la manipulación de la valvulería ubicada en cada componente. Así mismo cada componente está bajo la responsabilidad de un guardia operador quien reporta diariamente las novedades y recibe las disposiciones desde la Jefatura de Agua Potable y la Jefatura de Trabajos.

Diariamente el mayor trabajo reportado está en las redes de distribución, donde por un lado, se arreglan fugas ubicadas principalmente en las tuberías de asbesto-cemento, y por otro lado, se regulan válvulas a fin de mejorar las presiones en las partes perimetrales.

El análisis de la operación y mantenimiento conducen a especificar las causas representativas de los problemas operativos en el sistema de agua potable:

- No existe un basto registro estadístico de los daños suscitados en el sistema.
- El personal no conoce sobre manuales de operación y mantenimiento, leyes y normas referentes a los sistemas.
- No existe asesoramiento para la atención rutinaria y en caso de desastres.
- En lo referente a calidad del agua, no se tiene un stock de químicos para la desinfección, y tampoco se hace un adecuado monitoreo.
- El mantenimiento es correctivo, no preventivo y está dirigido a la valvulería de las conducciones, planta de tratamiento, reservas y distribución.

Para el mantenimiento del sistema de alcantarillado la EMAPAR cuenta con técnicos, operadores de maquinaria y obreros. Para desobstrucciones de domiciliarias (14/mes), limpieza de pozos sépticos (6/mes), y limpieza de intradomiciliarias (4/mes) cuenta con dos vehículos hidro-succionadores, dos varilladoras y herramientas manuales. Los pozos de la red pública y la red misma tienen pocas intervenciones (2/mes cada una).

El mantenimiento de domiciliarias, matrices y sumideros representan las acciones de mayor frecuencia; la reposición de tapas de pozos y rejillas de sumideros se realiza en pequeña escala.



El análisis de la operación y mantenimiento conducen a especificar las causas representativas de los problemas operativos en el sistema de alcantarillado:

- Obturación de colectores y conexiones domiciliarias -ingreso de sólidos a través de los pozos, cajas domiciliarias y sumideros.
- Se realizan conexiones directas de domiciliarias y sumideros a las matrices.
- Existe un porcentaje considerable de conexiones domiciliarias cruzadas del sistema sanitario al pluvial y viceversa.
- El mantenimiento y reparación que se realiza es únicamente emergente.

**d) Evaluación de la vulnerabilidad física de los sistemas:**

Para llegar a determinar la vulnerabilidad física se superpuso los mapas que definen los sistemas y los mapas de la intensidad de la amenaza considerada. Como sismo de análisis se asumió uno de intensidad VIII (Escala de Mercalli) tomado del Catálogo de Terremotos del Ecuador (Escuela Politécnica Nacional - Instituto Geofísico. José Egred A.), donde se presentan aquellos terremotos de intensidad igual o mayor a VIII ocurridos entre 1541 y 1999.

Un sismo como el ocurrido en 1797 a 11 Km. de la ciudad, de Intensidad XI (según la Escala de Mercalli) puede causar, hoy, los siguientes efectos:

- Destrucción total o parcial de las estructuras de captación, conducción, tratamiento, almacenamiento y distribución.
- Rotura de las tuberías de conducción y distribución.
- Interrupción de la corriente eléctrica, de las comunicaciones y de las vías de acceso.

Dado que el fin de la EMAPAR es entregar un servicio de calidad a sus usuarios, en el Formato N° 4.2, se analizaron los factores “tiempo de recuperación” e “impacto al servicio”, es decir, el tiempo en que le tomará reparar a la Empresa los posibles daños sufridos a causa de un sismo y cómo se verá afectado el

servicio en lo que se refiere a la calidad, continuidad y cantidad de agua suministrada.

**Tiempo de recuperación (TR):** Los componentes más críticos del sistema pudieron determinarse gracias a este factor. El TR así calculado sirvió pues, para comparar los TR de diferentes daños y priorizar la ejecución de medidas de mitigación o reforzamiento.

Los parámetros usados para definir el tiempo de recuperación fueron:

- El tipo y la magnitud del daño.
- Las necesidades y disponibilidad de recursos humanos, materiales, financieros y de transporte para reparar el daño.
- El acceso al sitio donde debe efectuarse la rehabilitación.
- Tiempo de reporte del daño, cierre de válvulas y movilización para iniciar la reparación (personal, equipo, materiales).
- Tiempo de acceso a las zonas afectadas.
- Tiempo de ejecución de las reparaciones (depende de la magnitud del daño y de los recursos existentes).
- Tiempo de espera luego de la reparación antes de reiniciar la operación (por ejemplo: espera de secado de capa impermeabilizante en los tanques de reserva)
- Tiempo de puesta en operación (llenado de tuberías).

**Impacto al servicio:** El impacto no es únicamente la interrupción total del servicio, sino que este puede verse deteriorado en términos de calidad o de cantidad. La cuantificación del impacto en el servicio se hizo entonces mediante la medición del número de conexiones para las que el servicio se ha interrumpido, o para aquellas para las cuales el servicio se mantiene pero con una disminución significativa de su calidad o de su cantidad (racionamientos de agua).

Con la información anterior se tiene que:

- El impacto en el servicio afecta principalmente a las captaciones, conducciones y reservas, sin embargo el tiempo de recuperación de las captaciones es menor que las conducciones y el almacenamiento.
- Tanto la Captación de Llíó como la Planta de Tratamiento podrán dejar de funcionar por la falta de electricidad.
- Es un común denominador la existencia de tuberías de asbesto-cemento en los componentes, material que ya ha cumplido con su vida útil. En el caso de las conducciones, al momento la EMAPAR ha iniciado los procesos contractuales para la contratación del cambio de material por hierro dúctil.
- Desde la planta de tratamiento no habrá afectación por la calidad del agua dado que en cada una de las reservas se realiza la desinfección manualmente.
- La valvulería del almacenamiento es también otro de los elementos con mayor vulnerabilidad física, su alcance se dirige hacia la cantidad y continuidad.
- El tiempo de recuperación es mayor para el arreglo de los tanques de reserva y de los colectores. De ellos, el de mayor sección es el APR3-3; este fue construido hace 10 años y tiene dos tipos de secciones.
- Las redes de recolección combinadas son las que, dentro del tema alcantarillado también se verán seriamente afectadas. La mitigación debe hacerse a través de un plan preventivo de mantenimiento ya que por corte las tuberías no fallan.

**e) Evaluación de la vulnerabilidad administrativa de la EMAPAR y su capacidad de respuesta:**

De acuerdo al Formato N° 1, no han sido difundidas las leyes a las cuales debe regirse la Empresa, así como tampoco se ha determinado la institución o instituciones que deben convertirse en un ente observador, supervisor o fiscalizador.

Con el fin de entregar una respuesta eficaz en caso de que algún sismo afecte al sistema o algún componente de éste, en el Formato N° 4.3 fue necesario analizar si la Empresa cuenta con los medios de comunicación e información que permitan alertar sobre la ocurrencia de un desastre natural, el funcionamiento defectuoso de alguno de los componentes del sistema o informar a los usuarios sobre las

restricciones en el servicio. Así mismo se evaluó su organización institucional y el apoyo administrativo.

El análisis de las fortalezas y debilidades de la EMAPAR conducen a especificar las causas representativas de los problemas de su capacidad de respuesta:

- Dentro de los sistemas de alerta interinstitucional, no existe un acercamiento hacia instituciones como Defensa Civil, institutos geofísicos, Cruz Roja, Bomberos, entre otros, con los que se pueda alertar sobre la ocurrencia de un sismo y facilitar la toma de decisiones por parte de la Empresa.
- La EMAPAR cuenta con mecanismos de comunicación remota que permiten instruir al personal sobre las acciones a seguir.
- Dentro del sistema de información hacia los usuarios, serían la radio y la prensa escrita los medios por los cuales se darían a conocer las condiciones y restricciones de los servicios de agua potable y alcantarillado con posterioridad a un desastre.
- Los aspectos de operación y mantenimiento del sistema también inciden directamente en la vulnerabilidad del sistema y sus componentes. Sin embargo, la Empresa no cuenta con programas idóneos de planificación, operación y mantenimiento que incorporen los conceptos de prevención y mitigación de desastres; tampoco ha destinado personal capacitado en prevención y atención de desastres. En todo caso existe la disponibilidad de maquinaria y la posibilidad de contratar obras emergentes.
- Al momento únicamente se ha diseñado un Plan de Contingencia y Atención de Emergencias causadas por la erupción del volcán Tungurahua.
- Si bien en las programaciones que anualmente prepara la EMAPAR para la distribución de sus recursos, es decir, no se ubica una partida presupuestaria específica para afrontar emergencias, sin embargo, existen otro tipo de acciones con las que la Empresa puede apoyar para dar una pronta y eficaz respuesta en la rehabilitación de los posibles daños que puedan sufrirse en un desastre. Estas acciones son:
  - Apoyo logístico de personal, proveedores y transporte.

- Disponibilidad de contratación de empresas privadas para apoyar medidas de rehabilitación y mitigación.

**De manera general, la reducción de la vulnerabilidad operativa, física y administrativa se puede lograr con diferentes medidas, es decir, acciones preventivas identificadas en el análisis de vulnerabilidad que además de reducir las debilidades ante la eventual ocurrencia de un sismo, optimicen la operación del sistema y minimicen el riesgo de fallas en condiciones normales de servicio.**

A fin de esquematizar lo desarrollado en esta parte del documento se muestra un cuadro de resumen con los efectos del impacto de un sismo en los sistemas de agua potable y alcantarillado de la ciudad de Riobamba:

***Tabla N° 2: Elementos del sistema de agua potable y alcantarillado más vulnerables***

COMPONENTES	EFFECTOS ESTIMADOS
Conducciones de agua tratada de asbesto-cemento	Posible falla por corte
Tanques de almacenamiento	Posible falla estructural
Colectores combinados de mayor sección	Posible falla estructural

A continuación se presentan algunas fotografías de los componentes identificados como los más vulnerables de los sistemas.



***Fotografía N° 1: Arreglo en la conducción de asbesto-cemento***



***Fotografía N° 2: Tanque de almacenamiento de 2000 m3. Reserva de la Saboya***



*Fotografía N° 3: Tanque de almacenamiento de 2000 m3. Reserva de la Saboya*



*Fotografía N° 4: Filtraciones de agua en la junta del tanque de la Saboya*



***Fotografía N° 5: Tanque de almacenamiento de 1000 m3. Reserva El Recreo***



***Fotografía N° 6: Tanque de almacenamiento de 1000 m3. Reserva El Recreo***





*Fotografía N° 7: Colector APR3*



*Fotografía N° 8: Interior de Colector APR3*

### 4.3. EVALUACIÓN DE LOS COMPONENTES MÁS CRÍTICOS

Como resultado del análisis de vulnerabilidad desarrollado en la primera parte de este Capítulo, y según se puede apreciar en la Tabla N° 2 de la interpretación de los resultados, los componentes más vulnerables dentro del sistema de agua potable son las conducciones de asbesto-cemento y los tanques de reserva, mientras que en el sistema de alcantarillado son los colectores. De ahí que, es necesario realizar la evaluación estructural de ambos tipos de elementos, tanques de reserva y colectores, a fin de determinar el impacto de un sismo cuando éste se produzca y su afectación sobre el servicio en la ciudad de Riobamba. En el caso de las conducciones, a continuación se presenta un análisis de la amenaza sísmica a que se verán expuestas las tuberías y sus mecanismos de falla.

La evaluación estructural se efectuó teniendo en consideración las características del suelo y su comportamiento, así como las características de los elementos en estudio. Las condiciones del suelo son buenas para el caso del colector analizado dado que la capacidad portante varía de 2.7 kg/cm<sup>2</sup> a 7.7 kg/cm<sup>2</sup>, mientras que para las reservas los valores fluctúan de 0.6 kg/cm<sup>2</sup> a 5.1 kg/cm<sup>2</sup>.

Como sismo de diseño para el análisis se asumió el indicado por el Código Ecuatoriano de la Construcción, y que para la ciudad de Riobamba tiene una aceleración de 0,4g. Se ha empleado también el “Mapa de Fallas y Pliegues Cuaternarias de Ecuador y Regiones Oceánicas Adyacentes”, proyecto elaborado por el U.S. Geological Survey, Denver, Colorado en cooperación con la Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.

#### 4.3.1. ESTIMACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DE LAS TUBERÍAS

*Tabla N° 3: Estimación de la amenaza sísmica (Procedimiento)*

<b>Paso 1:</b> Asignar un factor de amenaza por tipo de perfil de suelo (FTPS) según se indica en la Tabla A3.1		
<b>Tabla A3.1 Factor de amenaza por tipo de perfil de suelo (FTPS)</b>		
<b>Denominación</b>	<b>Descripción</b>	<b>FTPS</b>

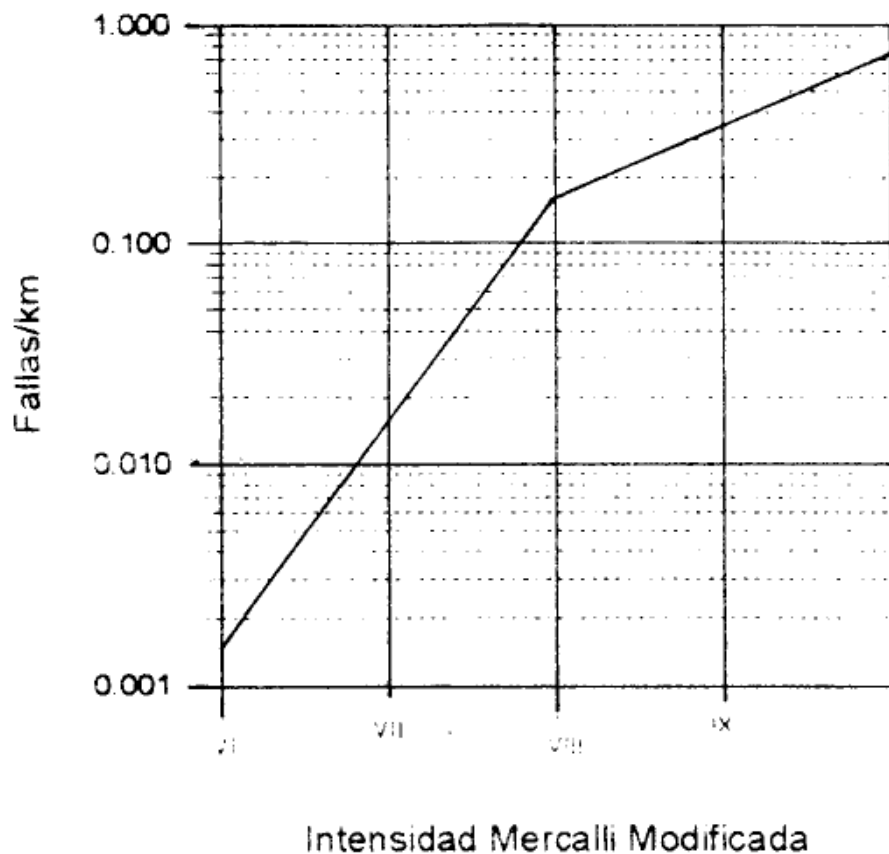
Rocoso	Estratos rocosos o suelos muy consolidados, con velocidades de propagación de ondas de corte en exceso a 750 m/s	1,0
Firme	Estratos de suelos bien consolidados, o blandos con espesor menor a 5 m.	1,5
Blando	Estratos de suelos blandos con espesores en exceso de 10 m.	2,0
<b>Paso 2:</b> Asignar un factor de amenaza por licuefacción potencial del suelo (FLPS) según se establece en la Tabla A3.2.		
<b>Tabla A3.2 Factor de amenaza por licuefacción potencial (FLPS)</b>		
Denominación	Descripción	FLPS
Baja	Suelos bien consolidados y con alta capacidad de drenaje, estratos subyacentes sin contenido de arenas apreciable.	1,0
Moderada	Suelos con moderada capacidad de drenaje, estratos subyacentes con contenido de arenas moderado.	1,5
Alta	Suelos mal drenados, niveles freáticos altos, estratos subyacentes con alto contenido de arenas, zonas deltáicas de ríos y depósitos aluviales	2,0
<b>Paso 3:</b> Asignar un factor de amenaza por deformación permanente del suelo (FDPS) con arreglo a la Tabla A3.3.		
<b>Tabla A3.3 Factor de amenaza por deformación permanente del suelo (FDPS)</b>		
Denominación	Descripción	FDPS
Baja	Suelos bien consolidados, terrenos con pendientes bajas, rellenos bien compactados, áreas alejadas de cauces de ríos o fallas geológicas.	1,0
Moderada	Suelos consolidados, terrenos con pendientes menores al 25%, rellenos compactados, áreas cercanas a cruces de ríos o fallas geológicas.	1,5
Alta	Suelos mal consolidados, terrenos con pendientes superiores al 25%, áreas ubicadas muy cerca o dentro de cauces de ríos o fallas geológicas	2,0
De acuerdo a este procedimiento, el factor de amenaza sísmica (FAS) del área es caracterizada por el producto: $(FAS) = (FTPS) \times (FLPS) \times (FDPS)$ Entonces: $FAS = 1.5 \times 1.5 \times 1 = 2.25$		
Valores de (FAS) inferiores a 2 se consideran de <i>baja amenaza sísmica</i> ; entre 2 y 4 <i>amenaza sísmica moderada</i> ; iguales o mayores que 4, <i>amenaza sísmica alta</i> .		

Para la estimación de la vulnerabilidad se la asoció directamente con el índice de daño generado por un evento sísmico de determinadas características. De acuerdo con la bibliografía consultada existen varios métodos para predecir estos índices,

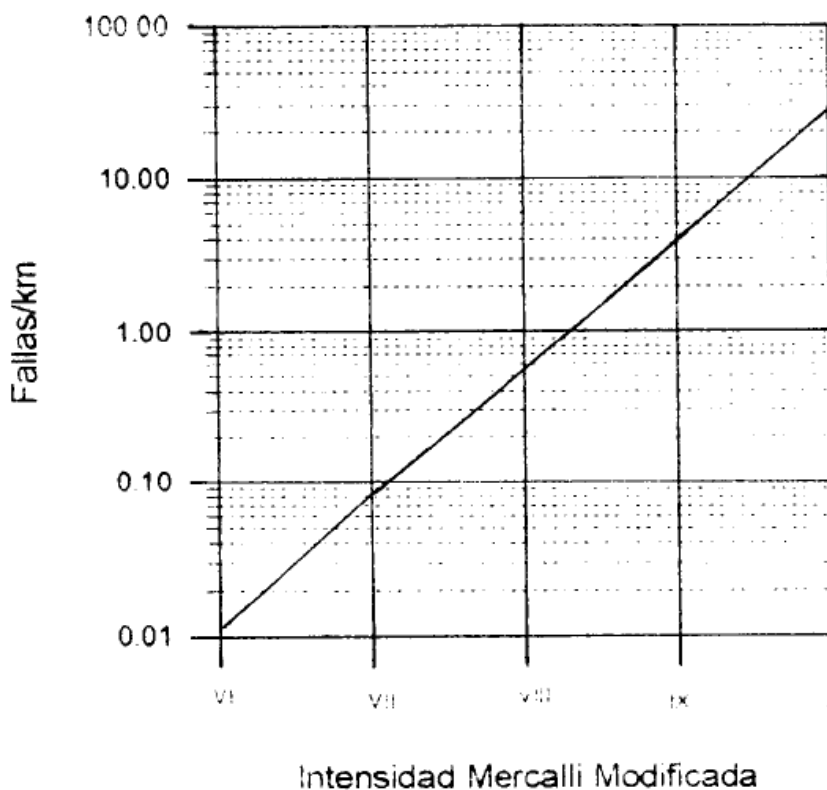
generalmente expresados en cantidad de fallas por kilómetro de tubería tomando en cuenta factores tales como la intensidad según la escala Mercalli modificada, el periodo fundamental de oscilación de los estratos de suelos, la velocidad de propagación de ondas sísmicas y otros.

Dentro de las relaciones que toman en cuenta solamente la intensidad Mercalli modificada en sitio se tienen dos tipos: las que contabilizan daños generados por el fenómeno de propagación de ondas sísmicas, (figura 7.1) y las que contabilizan los daños generados tanto por el fenómeno de propagación de ondas sísmicas como por las deformaciones permanentes del suelo (figura 7.2). Dado que ambas relaciones se refieren solamente a tuberías de hierro fundido se presenta el Cuadro 7.4: Factores de multiplicación, relativos de la cantidad de daños según el material de la tubería, extraídos de las investigaciones realizadas por Eguchi en 1991.

***Gráfico 22-a: Índice de daños por propagación de ondas sísmicas en tubería de hierro fundido según Intensidad Mercalli modificada***



**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**



**Tabla N° 4: Factores de multiplicación relativos al tipo de material**

Material	Factor de multiplicación
Hierro dúctil (HD)	0,25
Hierro fundido (HF)	1,00
Cloruro de polivinilo (PVC)	1,50
Asbesto cemento (AC)	2,60
Tubo cilíndrico de concreto reforzado (TCCR)	2,60

**Cálculo de los daños estimados en las tuberías para el caso de estudio de acuerdo al método propuesto:**

Como se trata de una zona de amenaza moderada a alta se utilizó la Figura 7.1 dado que hay mayor probabilidad de que se presente tanto el fenómeno de

propagación de ondas sísmicas como el fenómeno de deformaciones permanentes del suelo.

Una vez estimado el índice de daños para la tubería de HF se aplicaron los factores de multiplicación del cuadro 7.4 según el material de la tubería (AC). Además, se estimó la edad de la tubería y el estado general de la misma con el fin de determinar un porcentaje de aumento que debería aplicarse a la cifra calculada.

Longitud = 13,8 km.

Factor por tipo de tubo = 2,6 (Tabla N° 4)

Tipo de amenaza = Moderada (0,55 fallas/km., Gráfico 22-b)

Índice de daños base =  $2,6 * 0,55$  fallas/km. = 1,43 fallas/km.

Condiciones de la tubería = 100% tubería vieja

Factor por edad y condiciones de tubería = 1,5

Total fallas =  $1,43 * 1,5 * 13,8 = 30$  fallas.

#### **4.3.2. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LA TUBERÍA DE ASBESTO CEMENTO**

Históricamente, el daño a las tuberías durante los sismos a menudo ha afectado todo el sistema de abastecimiento de agua. Las roturas de tuberías causan la pérdida rápida de agua y producen el vaciado del reservorio. Es por ello que el mapeo de amenazas se ha convertido en una herramienta importante para mitigar los efectos de los sismos sobre las tuberías (PLANO 3 Y 4).

Los mecanismos de las fallas que afectan a las tuberías pueden incluir la propagación de ondas, la deformación permanente del suelo y la ruptura por fallas.

**Propagación de ondas:** Las tuberías se rompen debido al paso de la onda sísmica como resultado del movimiento diferencial a lo largo del eje longitudinal de la tubería. La tracción y compresión producen el movimiento diferencial primario.

La tasa de falla (reparación por unidad de longitud) es pequeña comparada con otros mecanismos de fallas.

**Deformación permanente del suelo:** Las tuberías se mueven con el suelo durante la licuefacción o el flujo lateral, el asentamiento diferencial, el agrietamiento y el deslizamiento. Las tuberías fallan porque se doblan, se someten a esfuerzos de corte, a tracción y a compresión.

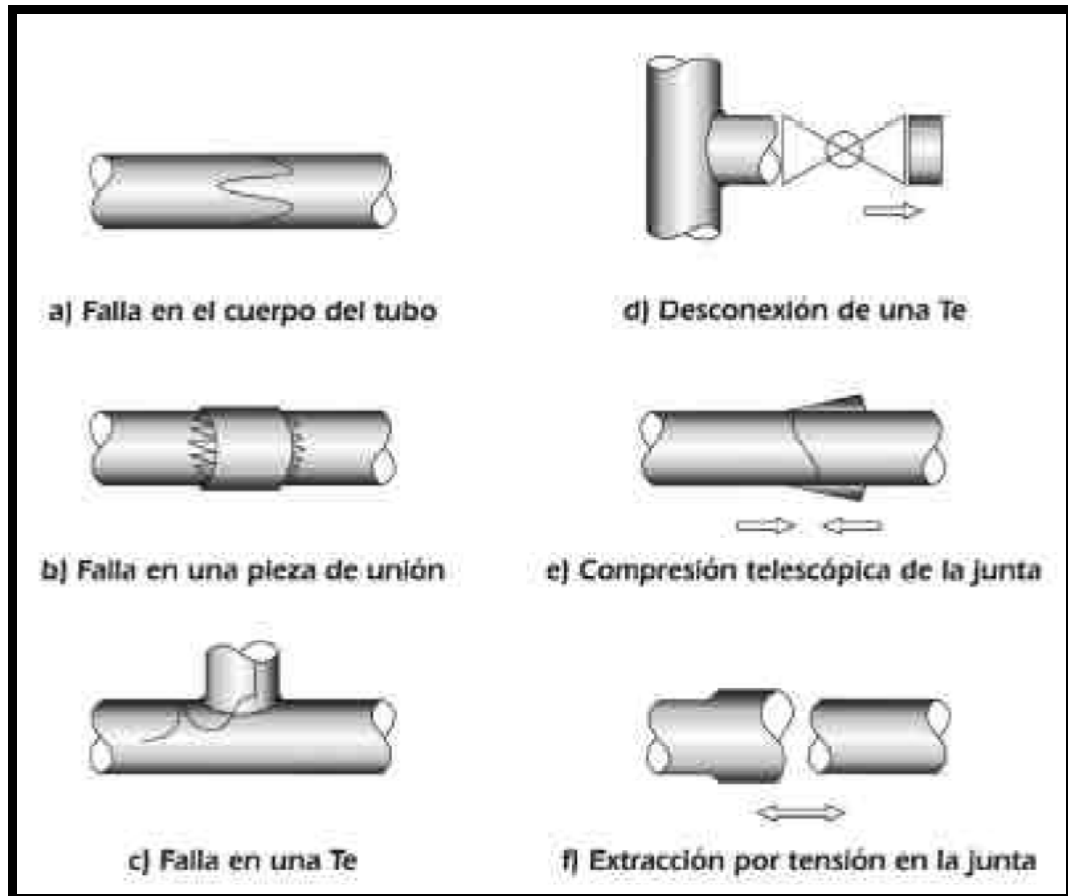
Este mecanismo de daño incrementa las tasas de falla en comparación con la propagación de ondas. Las tuberías parcialmente vacías (principalmente alcantarillados de gravedad) pueden flotar debido a la licuefacción si la profundidad a la que se encuentra enterrada la tubería está dentro de la capa licuada. Asimismo, las conexiones pueden romper la tubería y afectar los servicios.

La deformación permanente del suelo transversal produce una combinación de flexión del segmento de la tubería y rotación de las uniones. La cantidad relativa de flexión y rotación de las uniones está en función de la proporción de longitud con relación al diámetro de la tubería ( $L/D$ ), la rotación máxima permisible de las uniones y la resistencia y ductilidad de la tubería. Si la proporción de  $L/D$  es alta y la tubería tiene una baja ductilidad como las de asbesto-cemento, puede ser vulnerable a la rotura por flexión, en cambio la tubería con una alta ductilidad, como la de hierro dúctil, polietileno y acero, se puede doblar.

La rotación máxima permisible de las uniones se puede estimar basada en la recomendación del fabricante para el radio mínimo de instalación de tuberías. Generalmente, mientras más grande sea el diámetro de la tubería menor será la rotación permisible de las uniones.

**Rupturas por fallas:** Las tuberías que atraviesan fallas se cortan o son expuestas a tracción o compresión cuando la falla se mueve.

**Gráfico N° 23: Tipo de fallas en tuberías debido a efectos sísmicos**



Fuente: O'Rourke, D.B. Ballantyne. Observations on water systems and pipelines performance in the Limon area of Costa Rica due to the april 22, 1991 earthquake

### **4.3.3. ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LOS TANQUES DE RESERVA DE AGUA POTABLE**

El Código Ecuatoriano de la Construcción, Literal 7.1, enuncia que las estructuras distintas a las de edificación soportan cargas verticales y deben resistir los efectos sísmicos, es decir que, estructuras como reservorios, tanques, silos, etc. deben diseñarse para resistir fuerzas laterales mínimas.

En este caso se trata de tanques de hormigón armado, el uno circular y el otro rectangular, los cuales se encuentran sobre la superficie del suelo, por lo que para su análisis no se ha considerado el empuje del mismo.



El procedimiento empleado es el señalado en el Literal 7.8 del CEC2002: Análisis Espectral que incluye las consideraciones de un sismo esperado en el sitio y los efectos de la inercia de los fluidos contenidos en el tanque.

## METODOLOGÍA

El análisis se lo realizó en SAP2000, habiendo previamente definido y asignado los materiales, restricciones y cargas presentes en el sistema real.

Se determinó la frecuencia fundamental de vibración y el cortante basal en los tanques, además de lógicamente los esfuerzos producidos por las cargas generadas en el sismo.

Se hizo un análisis modal espectral de las estructuras donde se utilizó la mayor amplitud de los modos de vibración que aportan significativamente a la respuesta estructural.

## CRITERIOS USADOS PARA LA EVALUACIÓN

### **Características de las estructuras:**

- **Reserva La Saboya.**
  - Tanque circular de 2000 m<sup>3</sup> de capacidad.
  - H° A° con resistencia característica de 444 kg/cm<sup>2</sup> (valor obtenido de ensayos esclerométricos). Para efectos de la evaluación estructural se consideraron los valores de  $f'c = 280$  kg/cm<sup>2</sup> y  $f_y = 4200$  kg/cm<sup>2</sup>.
  
- **Reserva El Recreo.**
  - Tanque rectangular de 1000 m<sup>3</sup> de capacidad.
  - H° A° con resistencia característica de 320 kg/cm<sup>2</sup> (valor obtenido de ensayos esclerométricos). Para efectos de la evaluación estructural se consideraron los valores de  $f'c = 280$  kg/cm<sup>2</sup> y  $f_y = 4200$  kg/cm<sup>2</sup>.

**Cargas:**

- *Verticales*: Peso propio. Para la carga viva no se ha adoptado ningún valor por ser despreciable en el caso de que existan trabajos de limpieza y mantenimiento.
- *Cargas horizontales por sismo*: Coeficientes sísmicos según CEC.
- *Empuje del Agua*: Se calculó considerando que la presión ejercida por el agua a cualquier profundidad es:

$$P = \delta g h$$

Donde:        P = presión del agua.  
                   $\delta$  = densidad del agua  
                  g = gravedad  
                  h = profundidad de la sección considerada.

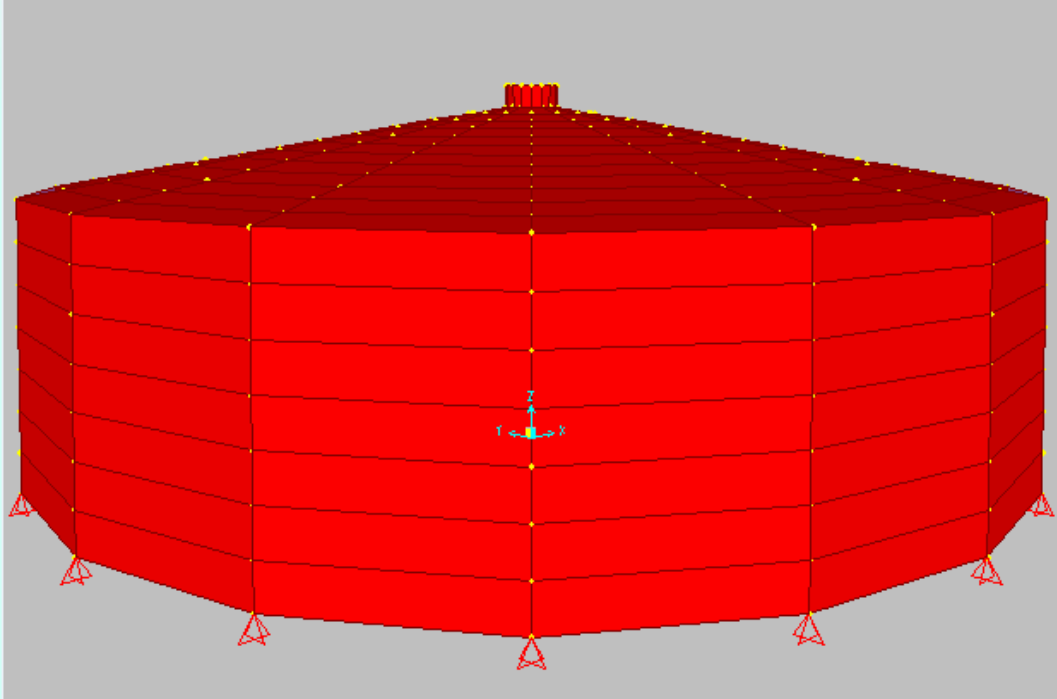
**Combinaciones de Carga:**

Se emplearon las indicadas en el Código ACI para obtener la carga última. La evaluación se basó en la superposición más desfavorable.

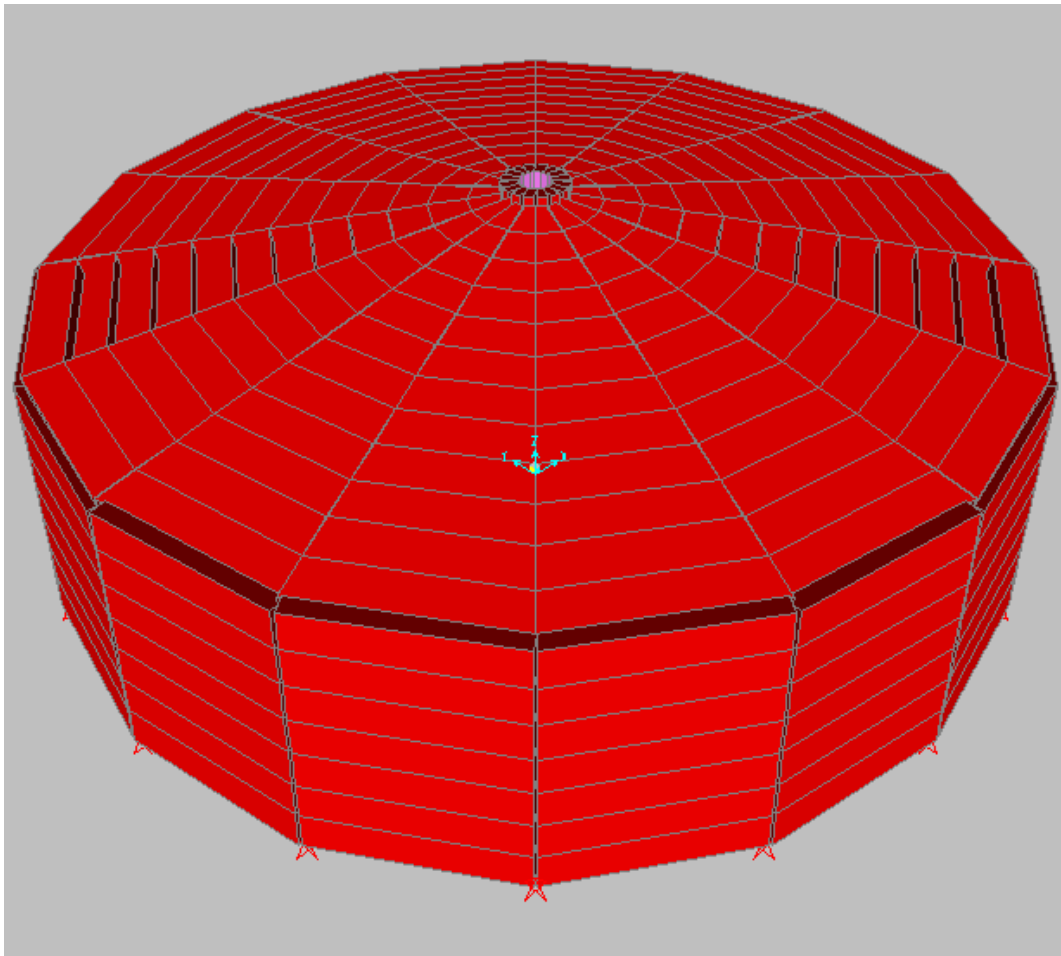
**MODELACIÓN**

La geometría se la dibujó en Autocad y se la importó desde SAP2000 donde se modelaron las estructuras tridimensionalmente.

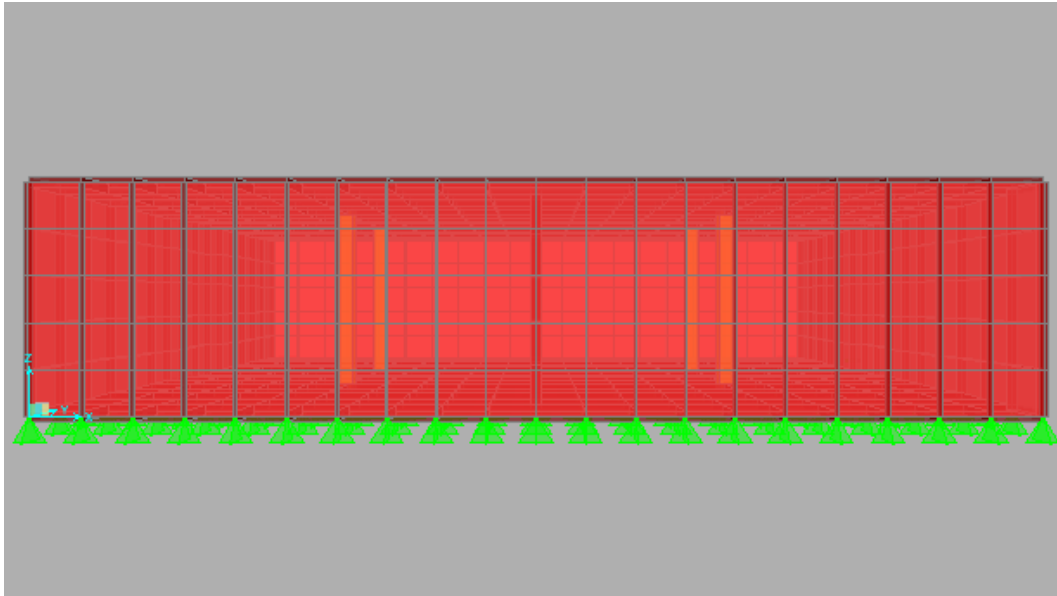
Para el análisis del tanque circular se consideró que éste se comporta como un cilindro de paredes delgadas. Para el tanque rectangular se utilizaron elementos planos verticales como paredes, los cuales se encuentran sujetos a la acción del empuje del agua.



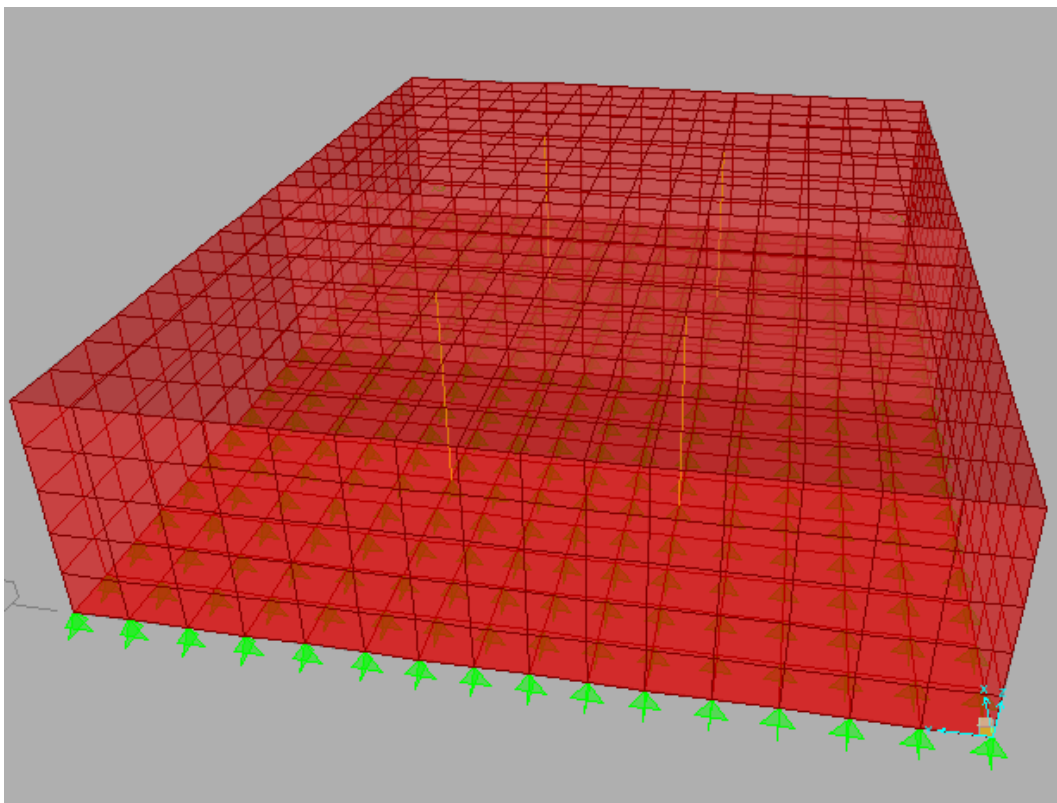
*Gráfico N° 24-a: Modelo de la estructura circular (vista frontal)*



*Gráfico N° 24-b: Modelo de la estructura circular (3D)*



*Gráfico N° 25-a: Modelo de la estructura rectangular (vista frontal)*



*Gráfico N° 25-b: Modelo de la estructura rectangular (3D)*

Para el **análisis modal espectral** se utilizó el Espectro de Diseño Inelástico del CEC2002, y que consiste en hallar la máxima respuesta probable para cada modo

de vibración. Se consideró al menos el 90% de participación modal en cada una de las direcciones horizontales principales.

**Tabla N° 5: Fuerzas Horizontales por Sismo. Método Estático CEC**

Zona Sísmica	IV
Importancia	Esenciales
Perfil de Suelo	S2
Respuesta Estructural R	3
Configuración Elevación	1
Configuración Planta	1
Número de Pisos	1

$$C = \frac{1.25 \times S^s}{T}$$

$$V = \frac{Z I C}{R \Phi_p \Phi_E} W$$

$$F_x = \frac{(V - Ft) \times W_x \times h_x}{\sum W_i \times h_i}$$

$$T = Ct \times (h_n)^{3/4}$$

$$T = 2\pi \times \sqrt{\frac{\sum W_i \times d_i^2}{g \times \sum F_x \times d_i}}$$

$$T > 0.70 \therefore Ft = 0.07 \times T \times V$$

$$h_n = 5,00 \text{ m}$$

$$Ct = 0,08$$

$$Z = 0,4$$

$$I = 1,5$$

$$S = 1,2$$

$$Cm = 3,0$$

$$C = 3,0$$

$$T = 0,27 \text{ seg. (método 1)}$$

$$T = 0,17 \text{ seg. (método 2)}$$

$$Ft = 0,00 \text{ Tn}$$

$$V = 36,17 \text{ Tn}$$

**Tabla N° 6: Distribución de Fuerzas Horizontales por Piso**

Piso	Nivel hi (m)	Peso Wi (Tn)	Wi x hi (Tn-m)	Fx (Tn)
1	5,00	60,28	301,40	36,17
	$\Sigma$	<b>60,28</b>	<b>241,12</b>	<b>36,17</b>

**Tabla N° 7: Características de Deformación de los Elementos Resistentes**

Piso	Dx (cm)	Wi.dx <sup>2</sup> (Tn cm <sup>2</sup> )	Fx.dx (Tn cm)	dy (cm)	Wi.dy <sup>2</sup> (Tn cm <sup>2</sup> )	Fx.dy (Tn cm)
1	0,461	12,83	16,68	0,423	10,78	15,29
	Σ	12,83	16,68	Σ	10,78	15,29

Periodo de Vibración de la estructura calculada:

$$T_{xx} = 0,18 \text{ seg.}$$

$$T_{yy} = 0,17 \text{ seg.}$$

$$T_1 = 0,27 \text{ seg.}$$

$$T_2 = 0,17 \text{ seg.}$$

**Relación  $T_1/T_2 = 0,64$**

$0,64 < 1,30$  ..... OK

**Tabla N° 8: Verificación del Efecto P - Δ. Evaluación de la Estabilidad Estructural**

Piso	H Piso (m)	Vi (Tn)	Pi <sub>CM</sub> (Tn)	Pi <sub>CV</sub> (Tn)	d (cm)	d=d <sub>n</sub> -d <sub>n-1</sub> (cm)	Δ d/H	Pi . Δi Tn-m	Vi . hi Tn-m	Qi	Cálculo	f <sub>P-Δ</sub>
1	5,00	36,17	60,28	18,50	0,355	0,355	0,001	0,28	180,84	0,002	OK	1,00

Índice de Estabilidad para el Piso

$$Q_i = \frac{P_i \times \Delta_i}{V_i \times h_i}$$

No se requiere considerar el Efecto P-Delta

Factor de mayoración para considerar el Efecto P-Delta

$$f_{P-\Delta} = \frac{1}{1 - Q_i}$$

**Tabla N° 9: Verificación de las Derivas Máximas de Piso**

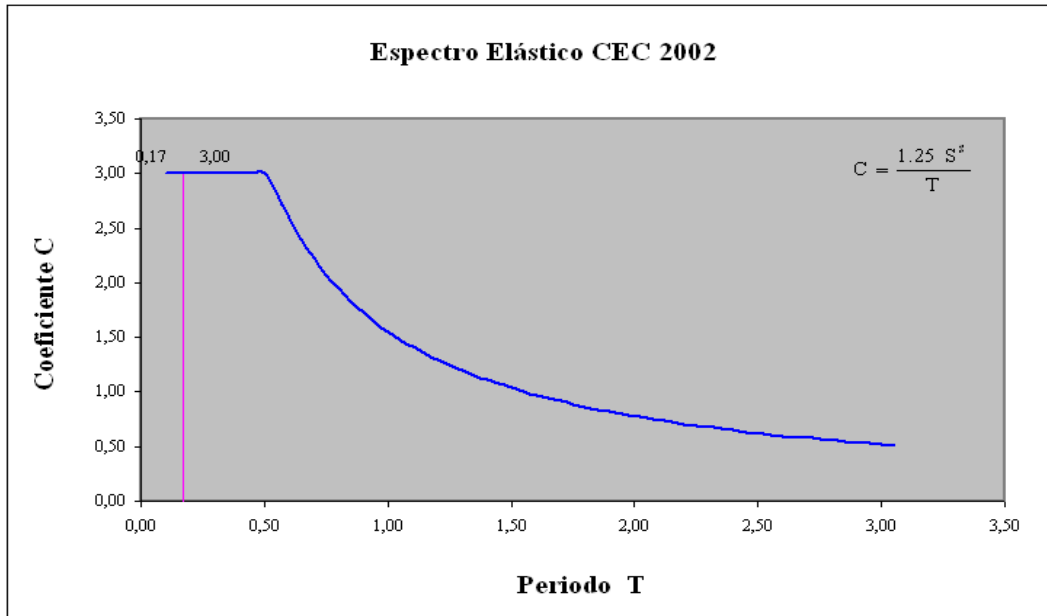
Piso	H Piso (m)	dx (cm)	dy (cm)	Δ <sub>M</sub>		d=d <sub>n</sub> -d <sub>n-1</sub>		Deriva		Δ <sub>M</sub> < 0.01 *	
				X-X	Y-Y	X-X	Y-Y	X-X	Y-Y	X-X	Y-Y
1	5,00	0,461	0,423	0,461	0,423	0,461	0,423	0,001	0,001	OK	OK

\* NSR 98 Sección A.6.2

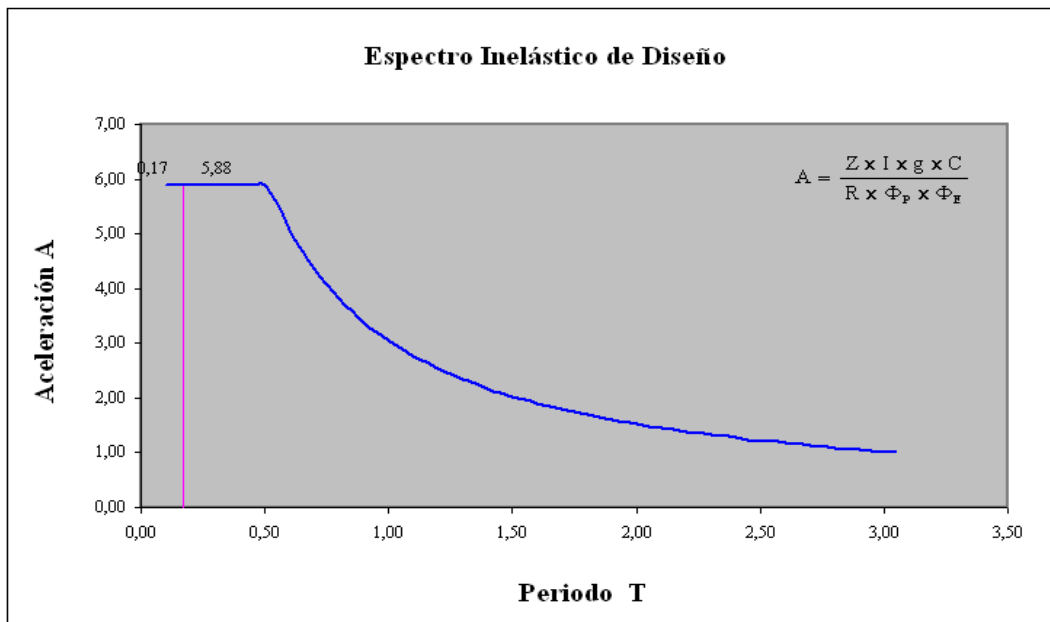
**Tabla N° 10: Aceleraciones Espectrales**

Elástico		Inelástico	
T (seg)	C	T (seg)	A (m/seg <sup>2</sup> )
0,10	3,00	0,10	5,88
0,15	3,00	0,15	5,88
0,20	3,00	0,20	5,88
0,25	3,00	0,25	5,88
0,30	3,00	0,30	5,88
0,35	3,00	0,35	5,88
0,40	3,00	0,40	5,88

0,45	3,00	0,45	5,88
0,50	3,00	0,50	5,88
0,55	2,83	0,55	5,54
0,60	2,59	0,60	5,08
0,65	2,39	0,65	4,69
0,70	2,22	0,70	4,36
0,75	2,07	0,75	4,07
0,80	1,94	0,80	3,81
0,85	1,83	0,85	3,59
0,90	1,73	0,90	3,39
0,95	1,64	0,95	3,21
1,00	1,56	1,00	3,05
1,05	1,48	1,05	2,90
1,10	1,41	1,10	2,77
1,15	1,35	1,15	2,65
1,20	1,30	1,20	2,54
1,25	1,24	1,25	2,44
1,30	1,20	1,30	2,35
1,35	1,15	1,35	2,26
1,40	1,11	1,40	2,18
1,45	1,07	1,45	2,10
1,50	1,04	1,50	2,03
1,55	1,00	1,55	1,97
1,60	0,97	1,60	1,91
1,65	0,94	1,65	1,85
1,70	0,92	1,70	1,79
1,75	0,89	1,75	1,74
1,80	0,86	1,80	1,69
1,85	0,84	1,85	1,65
1,90	0,82	1,90	1,60
1,95	0,80	1,95	1,56
2,00	0,78	2,00	1,52
2,05	0,76	2,05	1,49
2,10	0,74	2,10	1,45
2,15	0,72	2,15	1,42
2,20	0,71	2,20	1,39
2,25	0,69	2,25	1,36
2,30	0,68	2,30	1,33
2,35	0,66	2,35	1,30
2,40	0,65	2,40	1,27
2,45	0,63	2,45	1,24
2,50	0,62	2,50	1,22
2,55	0,61	2,55	1,20
2,60	0,60	2,60	1,17
2,65	0,59	2,65	1,15
2,70	0,58	2,70	1,13
2,75	0,57	2,75	1,11
2,80	0,56	2,80	1,09
2,85	0,55	2,85	1,07
2,90	0,54	2,90	1,05
2,95	0,53	2,95	1,03
3,00	0,52	3,00	1,02
3,05	0,51	3,05	1,00



**Gráfico N° 26: Espectro Elástico de Respuesta. CEC2002**



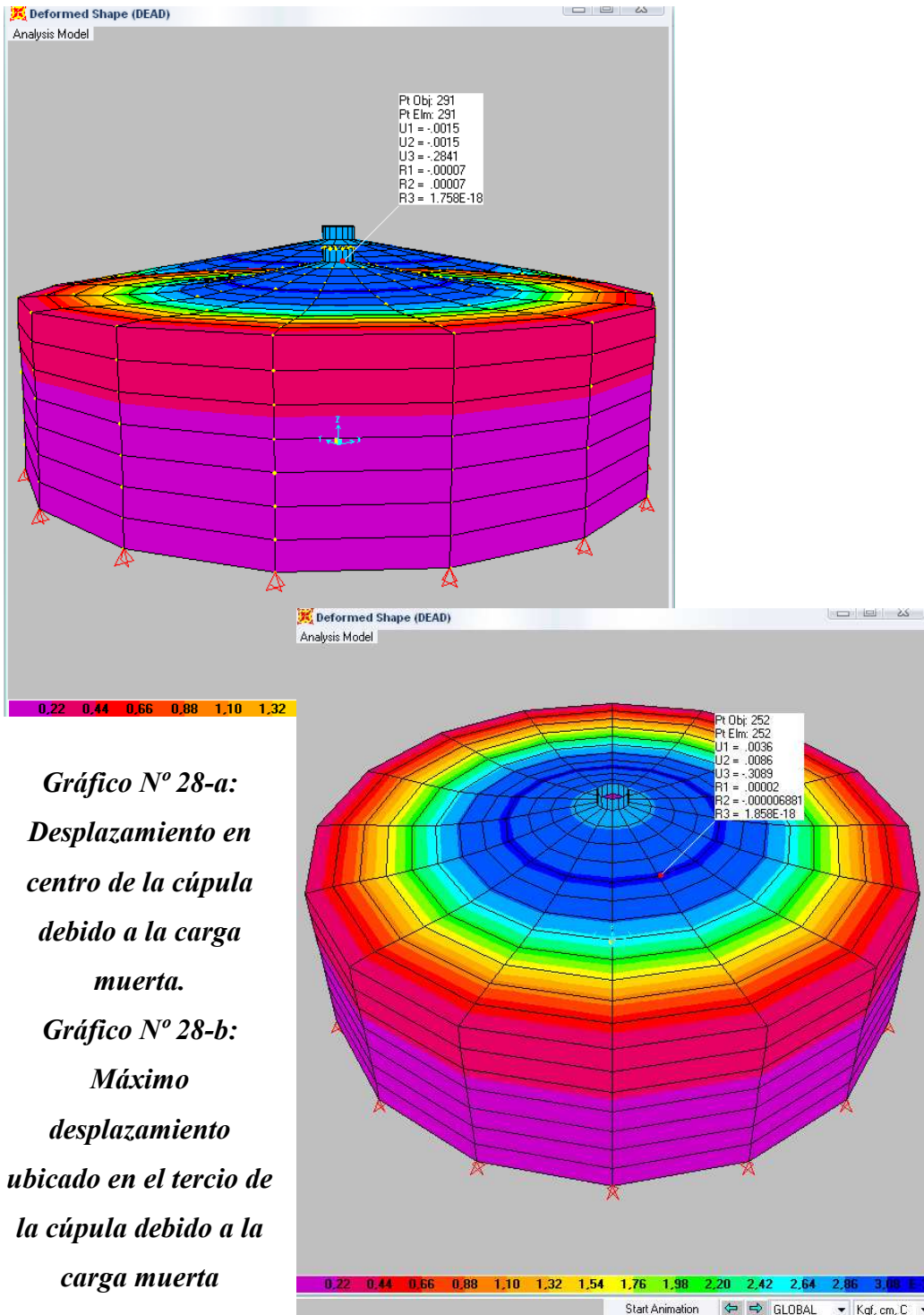
**Gráfico N° 27: Espectro Inelástico**

EL SAP2000 entregó los esfuerzos finales en elementos membrana para evaluar los refuerzos pertinentes en cada caso, para lo cual el mismo programa realizó el diseño para la superposición de cargas más desfavorable a las que están sujetos los elementos. Se asignaron las restricciones que para este caso son empotramientos, y las cargas.



#### 4.3.4. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL TANQUE CIRCULAR

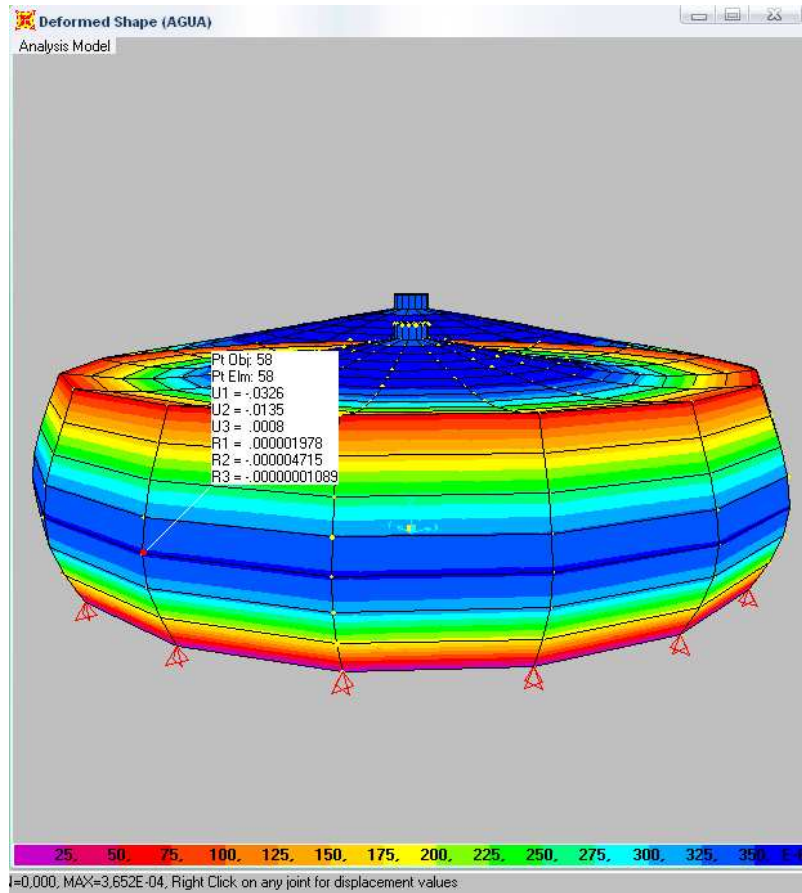
A continuación se muestran los desplazamientos estructurales y esfuerzos internos (esfuerzos últimos), parámetros que determinan el comportamiento del tanque circular en cada uno de los casos y combinaciones de carga.



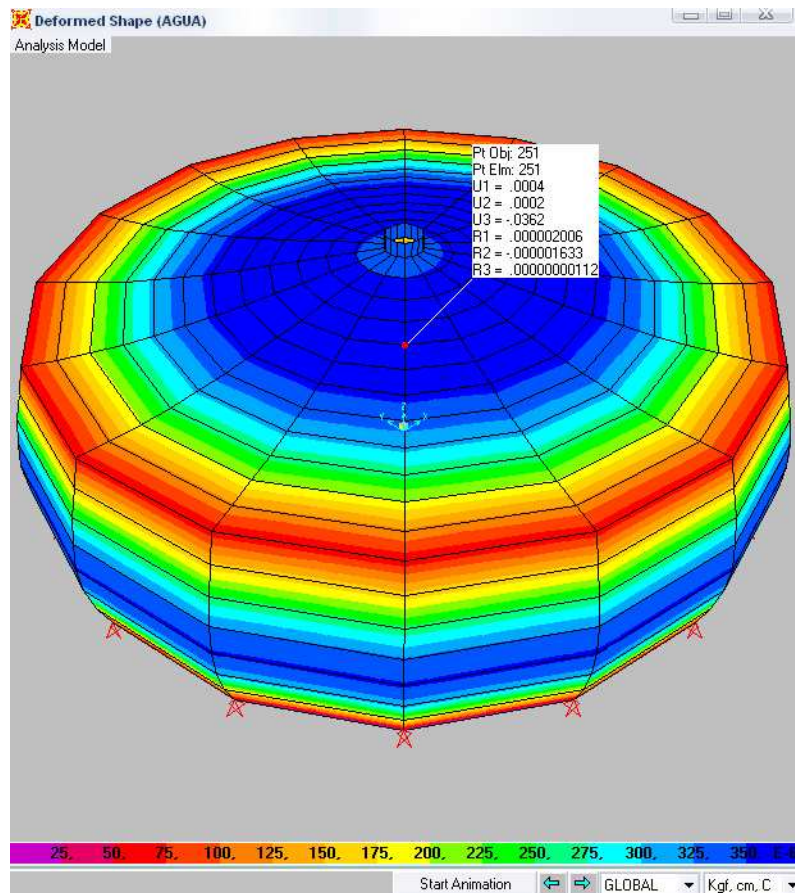
**Gráfico N° 28-a:**  
*Desplazamiento en centro de la cúpula debido a la carga muerta.*

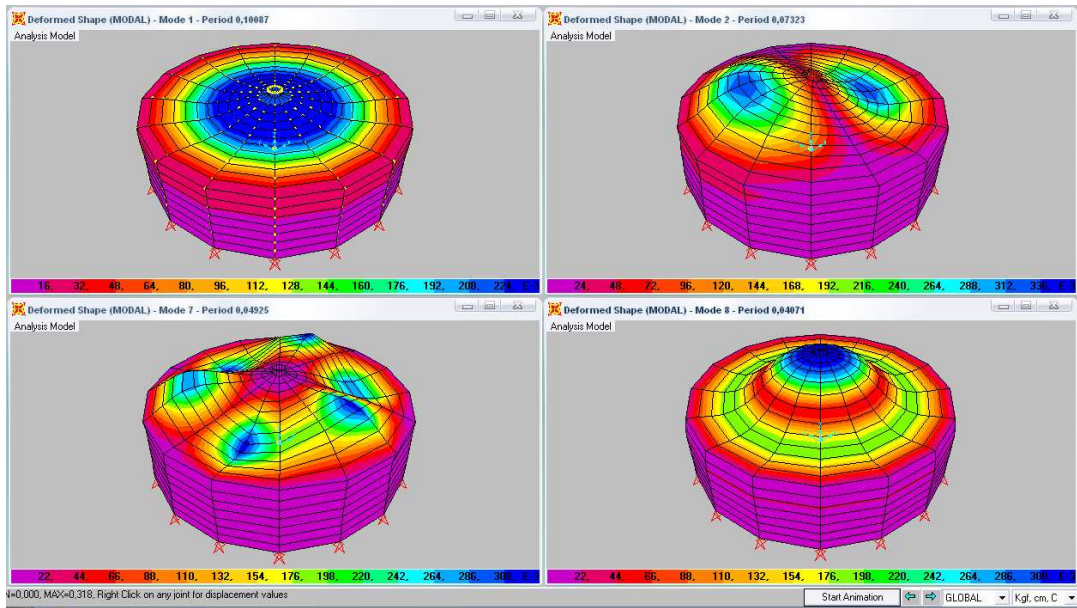
**Gráfico N° 28-b:**  
*Máximo desplazamiento ubicado en el tercio de la cúpula debido a la carga muerta*

**Gráfico N° 29-a:**  
**Máximo**  
**desplazamiento**  
**en pared debido**  
**al empuje del**  
**agua**

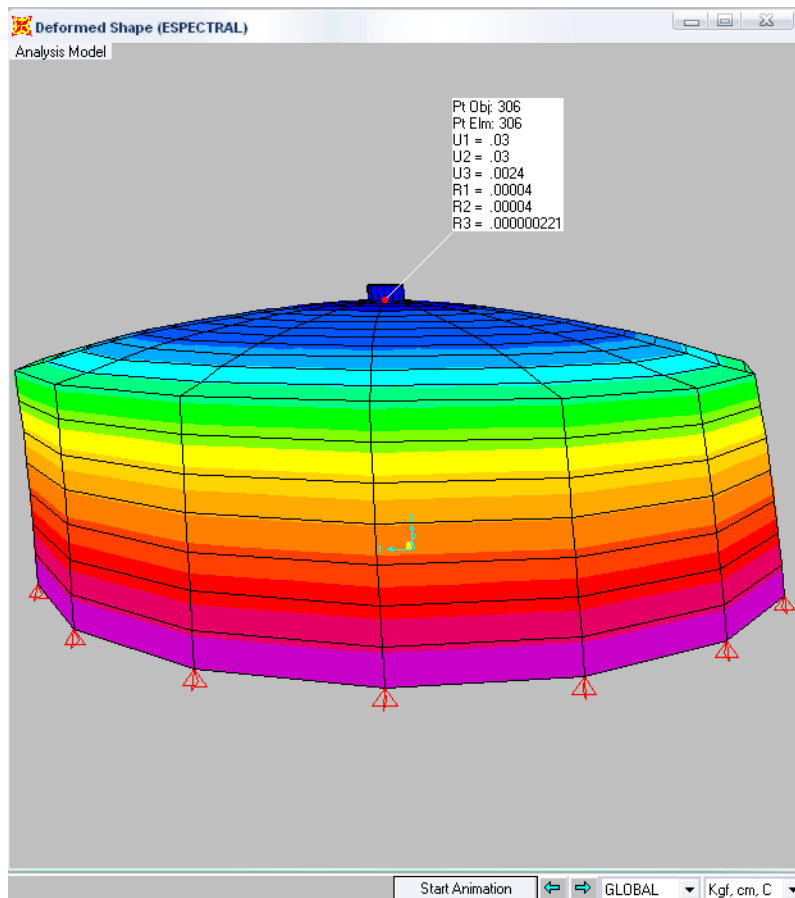


**Gráfico N° 29-b:**  
**Desplazamiento**  
**en el tercio de la**  
**cúpula debido al**  
**empuje del agua**

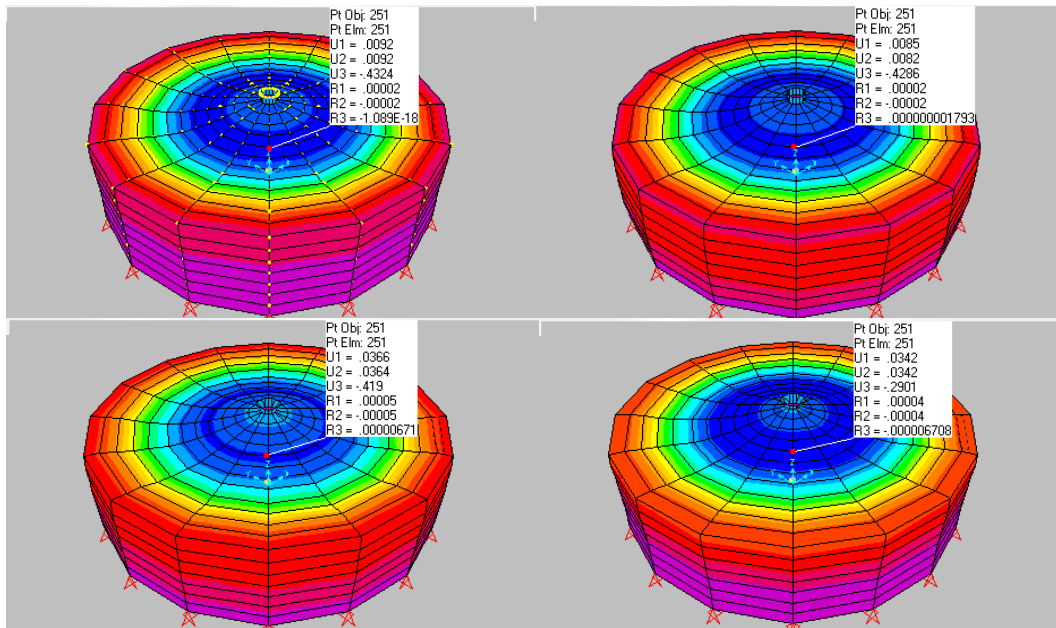




**Gráfico N° 30: Deformaciones. Arriba-izq: Modo N° 1. Arriba-der: Modo N° 2.  
Abajo-izq: Modo N° 7. Abajo-der: Modo N° 8**



**Gráfico N° 31: Deformación del tanque luego de la aplicación del espectro de respuesta**



**Gráfico N° 32: Desplazamiento en el tercio de la cúpula. Arriba-izq: COMB1. Arriba-der: COMB2. Abajo-izq: COMB3. Abajo-der: COMB4.**

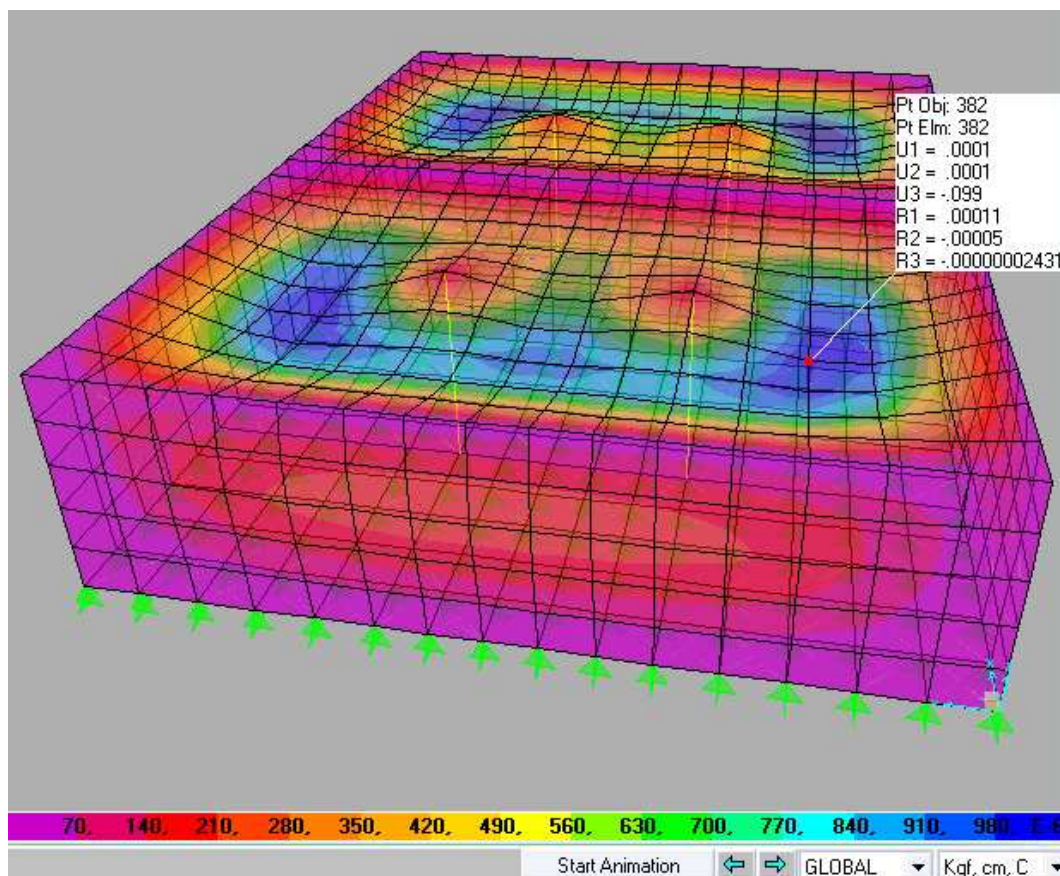
Luego de revisar los reportes se tiene que:

- El mayor desplazamiento que tiene la cúpula es de 4,32 mm.
- Cuando se considera la carga del agua, las paredes del tanque circular se embomban y la cúpula se desplaza 0.36 mm. A media altura de la pared se da un desplazamiento de 0.33 mm.
- A causa del sismo de diseño, el mayor desplazamiento horizontal se mide en la cúpula y que es igual a 0.30 mm.
- De las combinaciones bajo las cuales el tanque circular fue analizado, se concluye que:
  - Los mayores desplazamientos se registran a un tercio de la cúpula, ante la aplicación de la Combinación N° 1.
  - Era de esperarse el mayor desplazamiento con el COMB1, dado que está en función de la carga muerta mayorada.
  - En todas las combinaciones las paredes no son afectadas.
- El período de vibración T es igual a 0,1 seg., es decir que es menor al considerado como máximo (1 seg.).

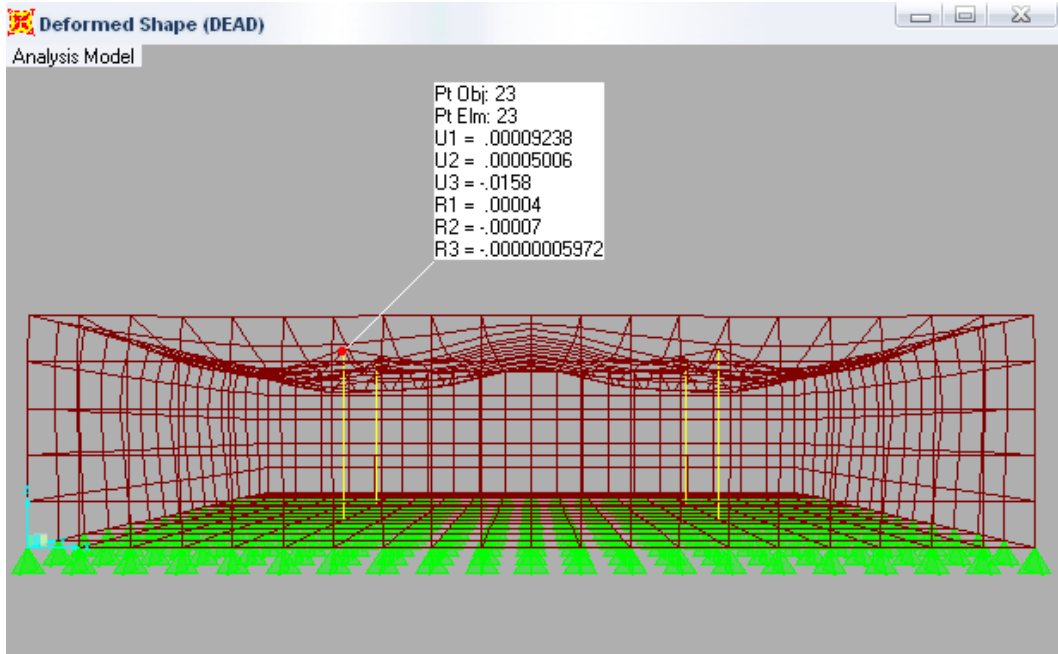
- Los esfuerzos alcanzados en el tanque circular alcanzan los 31,67 kg/cm<sup>2</sup>. Si bien el valor del esfuerzo de diseño es de 280 kg/cm<sup>2</sup>, todos los datos han sido analizados tomando en cuenta que el límite es el desarrollado por el hormigón en casi 32 años desde su construcción, el cual llega a los 440 kg/cm<sup>2</sup>.

#### 4.3.5. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL TANQUE RECTANGULAR

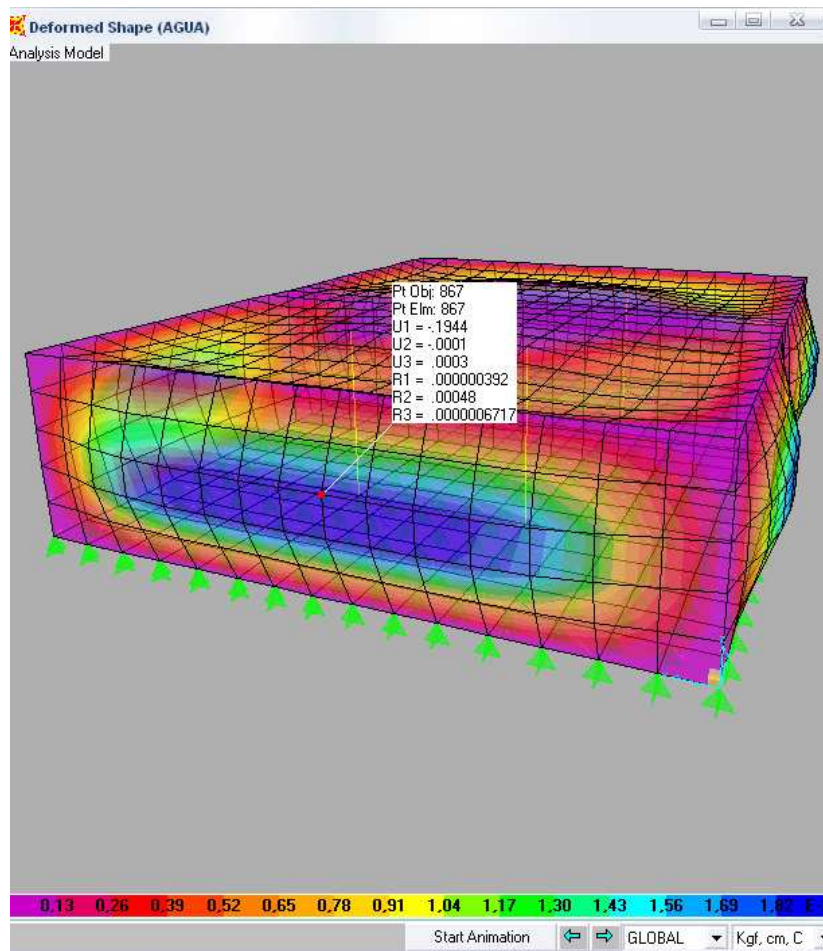
A continuación se muestran los desplazamientos estructurales y esfuerzos internos (esfuerzos últimos), parámetros que determinan el comportamiento del tanque rectangular en cada uno de los casos y combinaciones de carga.



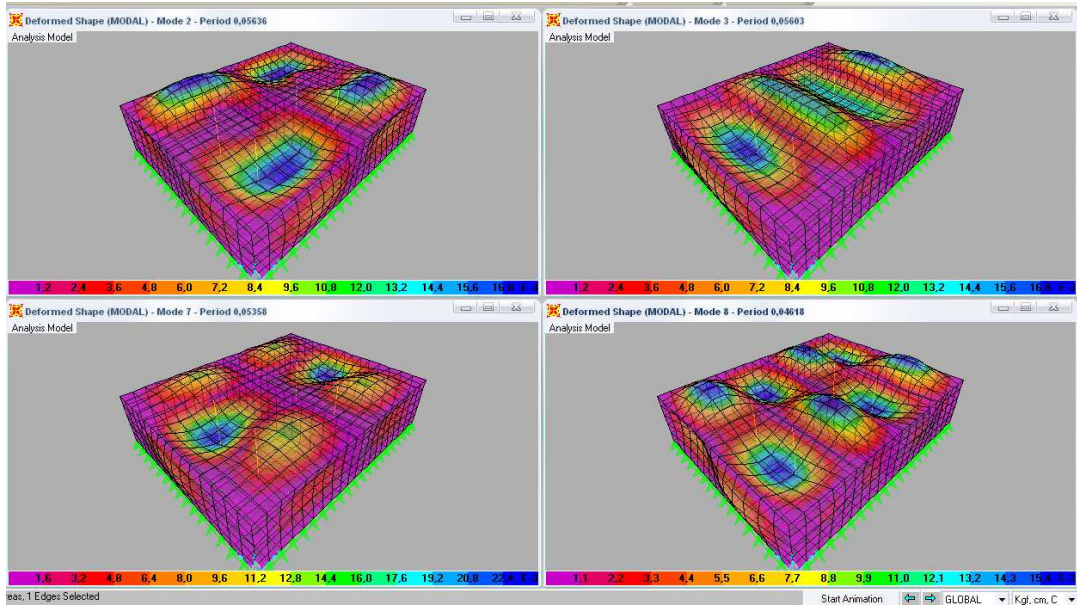
**Gráfico N° 33-a: Desplazamiento máximo en la losa debido a la carga muerta**



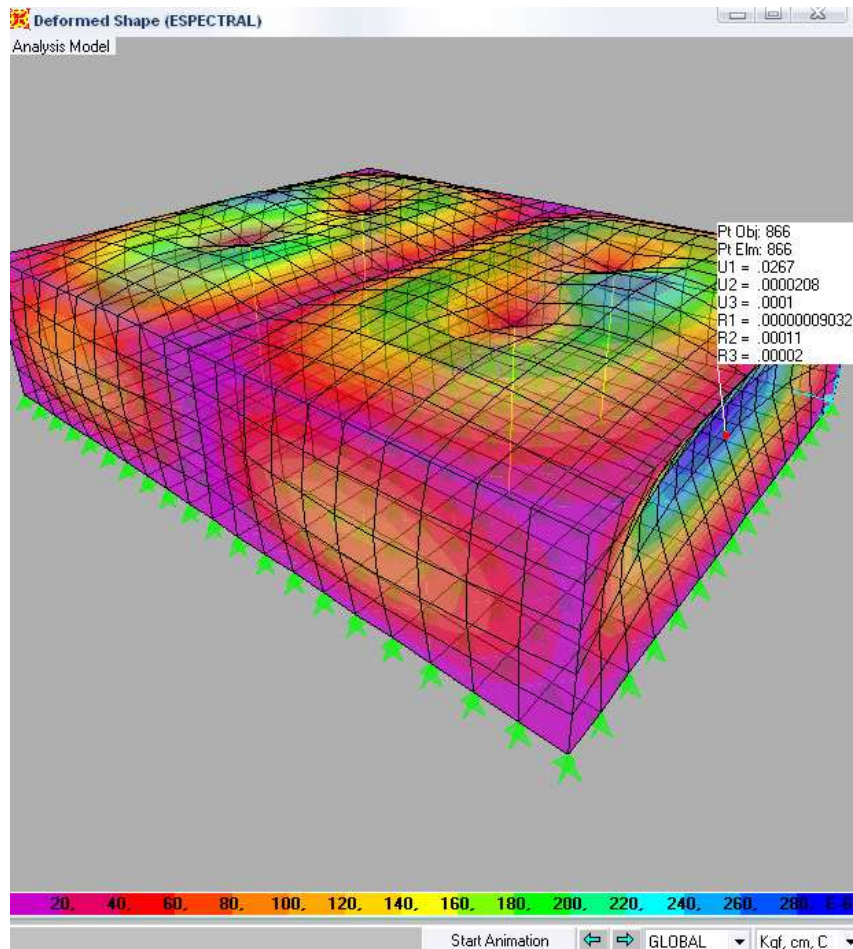
**Gráfico N° 33-b: Desplazamiento en la columna debido a la carga muerta**



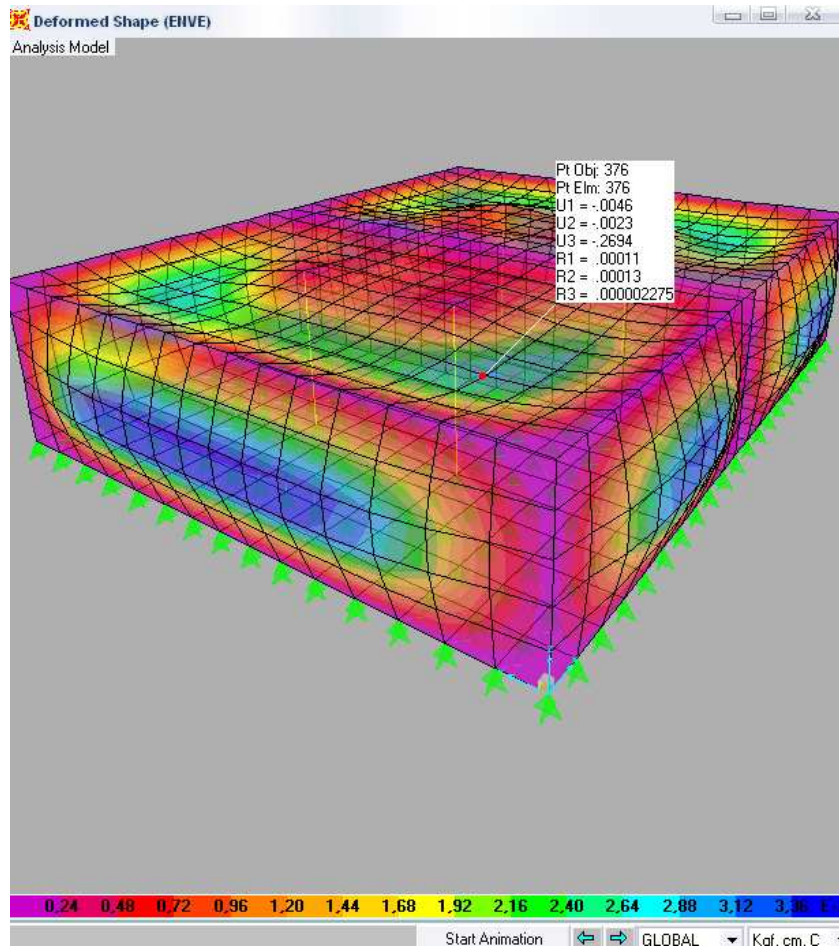
**Gráfico N° 34: Desplazamiento máximo en pared debido al empuje del agua**



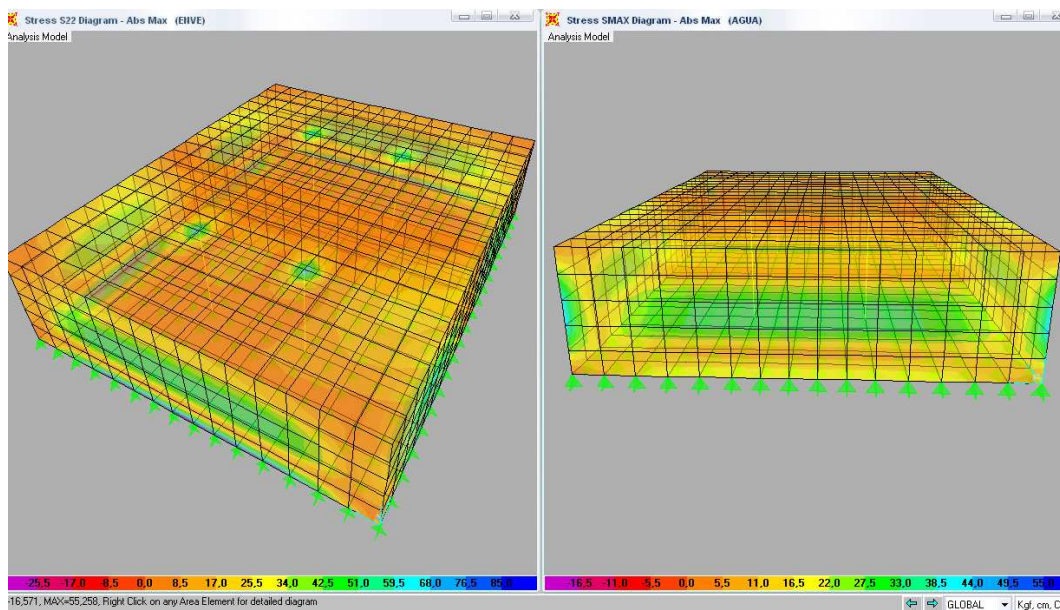
**Gráfico N° 35: Deformaciones. Arriba-izq: Modo N° 2. Arriba-der: Modo N° 3.  
Abajo-izq: Modo N° 7. Abajo-der: Modo N° 8**



**Gráfico N° 36: Desplazamiento máximo. Aplicación del espectro de respuesta**



**Gráfico N° 37: Desplazamiento máximo en losa. Aplicación de ENVOLVENTE**



**Gráfico N° 38: Mayores esfuerzos localizados en el tanque rectangular.**  
**Izq: Aplicación ENVE. Der: Aplicación AGUA**



Luego de revisar los reportes se tiene que:

- Debido a la carga muerta existe deformación en la losa, provocando efectos de punzonamiento en la unión columna – losa.
- El desplazamiento que se produce por causa de la carga muerta en el centro del vano del tramo (comprendido entre la pared y la columna) es de 1 mm. Se contrasta con el desplazamiento sobre la columna que se reduce en 6 veces.
- En el mismo sentido que ocurrió en el tanque circular, en el rectangular los efectos del empuje del agua se sienten en las paredes, provocando en ellas un desplazamiento de 2 mm.
- Bajo los efectos del sismo la estructura no tiene desplazamientos de consideración, pero los esfuerzos se concentran en la unión columna – losa.
- Los diferentes modos de vibración se muestran en función de la ubicación de las columnas y el muro intermedio construido.
- El análisis realizado con la Envolvente nos muestra nuevamente el efecto de punzonamiento que se produce entre las columnas y la losa.
- El período de vibración T es igual a 0,05 seg, que es menor incluso al obtenido en el tanque circular; ésto era de esperarse puesto que el rectangular es más rígido.
- Los esfuerzos alcanzados en el tanque rectangular alcanzan los 93,08 kg/cm<sup>2</sup>. Si bien el valor del esfuerzo de diseño es de 280 kg/cm<sup>2</sup>, todos los datos han sido analizados tomando en cuenta que el límite es el desarrollado por el hormigón en casi 10 años desde su construcción, el cual llega a los 320 kg/cm<sup>2</sup>.

**Tabla N° 11: Esfuerzos en tanques reservorios**

CARGA / COMBINACIÓN	TANQUE CIRCULAR		TANQUE RECTANGULAR	
	Esf. Último (kg/cm <sup>2</sup> )	Esf. Admisible (kg/cm <sup>2</sup> )	Esf. Ultimo (kg/cm <sup>2</sup> )	Esf. Admisible (kg/cm <sup>2</sup> )
C. Muerta	26,26	440	38,56	320
C. Agua	8,65	440	55,26	320
C. Sismo	3,74	440	7,15	320
COMB1	36,76	440	53,98	320
COMB2	30,1	440	93,08	320

COMB3	29,01	440	72,19	320
COMB4	22,03	440	39,54	320
ENVE	31,67	440	92,04	320
<b>COMBINACIONES:</b>				
COMB1 = 1,4D				
COMB2 = 1,2D + 1,6W				
COMB3 = 1,2D + 1S + 1W				
COMB4 = 0,9D + 1S				

#### 4.3.6. ANÁLISIS ESTRUCTURAL DEL COLECTOR APR-3 DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO

##### METODOLOGÍA\*

Se sometió a la estructura a un análisis que permitió evaluar el comportamiento y la capacidad de los elementos verificando si las secciones son adecuadas para resistir las condiciones más desfavorables que pueden presentarse dentro de la vida útil de las mismas.

##### CRITERIOS USADOS PARA LA EVALUACIÓN

##### Características de la estructura analizada:

- Tramo 1, H°S°. Sección circular. D = 1800 mm., e = 220 mm.
- Tramo 2, H°A°. Sección rectangular. A = 1800\*1800 mm., e = 250 mm.
- Para efectos de la evaluación:  $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$  y  $fy = 4200 \text{ kg/cm}^2$ .

##### Cargas:

- *Cargas verticales:* Muerta = 360 kg/m<sup>2</sup> (peso del hormigón). Viva = 50 kg/m<sup>2</sup> (peso del agua)
- *Peso suelo:* 1,80 kg/m<sup>3</sup>
- *Empuje lateral + relleno superior + tubo vacío, que sería la condición más desfavorable.*

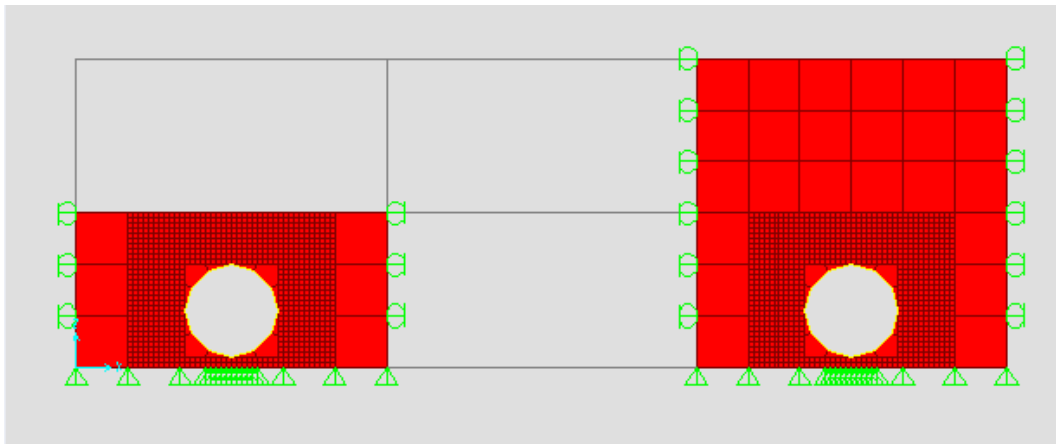
\* **Cálculo, Análisis y Diseño Estructural. Colectores y Pozos de revisión CL PROYECTOS. Ing. Patricio Vasco L.**

**Normas:**

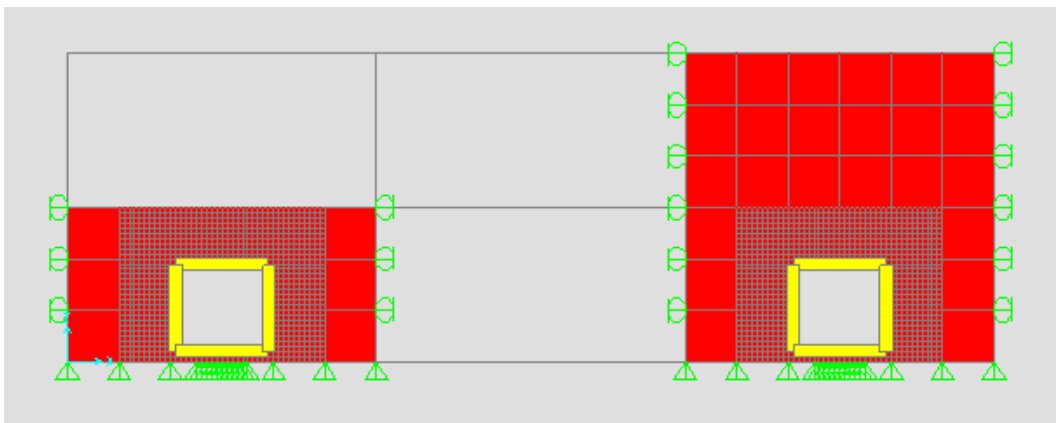
El análisis estructural cumple con las especificaciones del Código Ecuatoriano de la Construcción CEC2002 y el American Concrete Institute ACI 318-99.

**MODELACIÓN**

El modelo estructural adoptado está hecho en base a elementos shell para la iteración del suelo. La figura que se presenta muestra el modelo desarrollado en el programa SAP2000 tanto para la sección circular como para la rectangular.

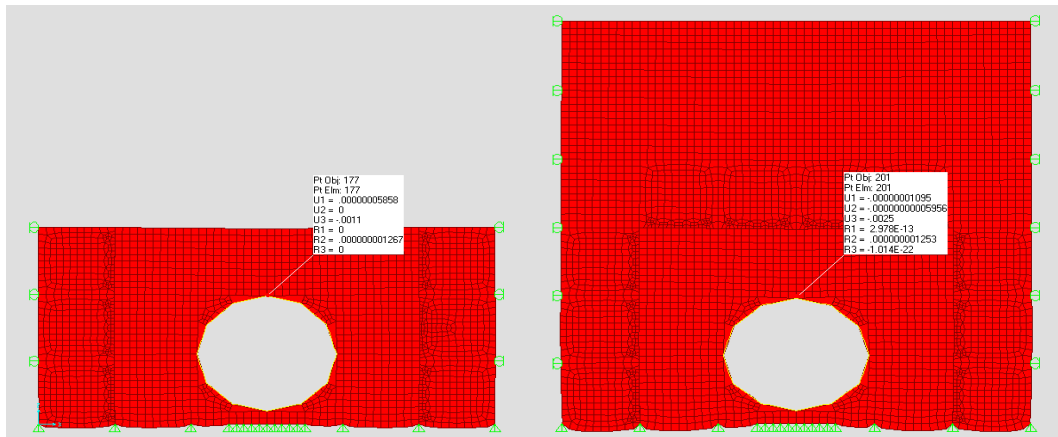


*Gráfico N° 39: Modelo del colector de sección circular*

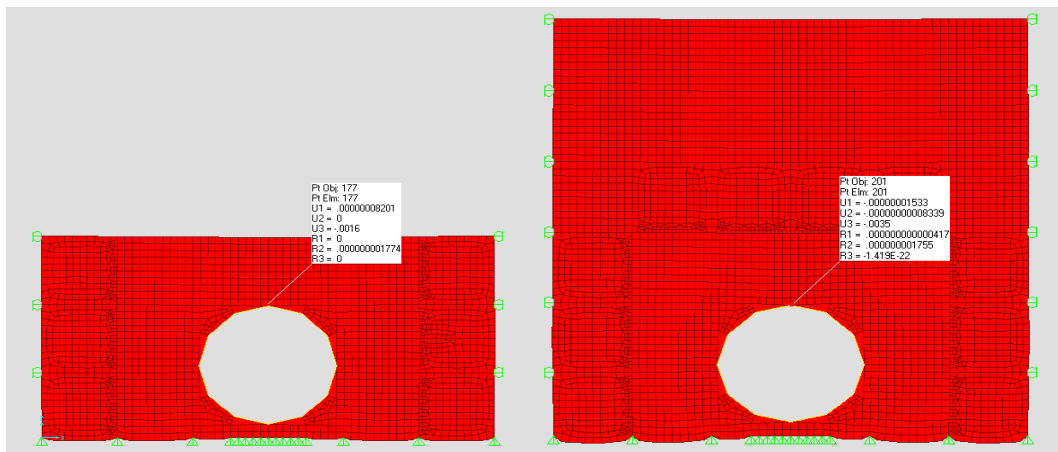


*Gráfico N° 40: Modelo del colector de sección rectangular*

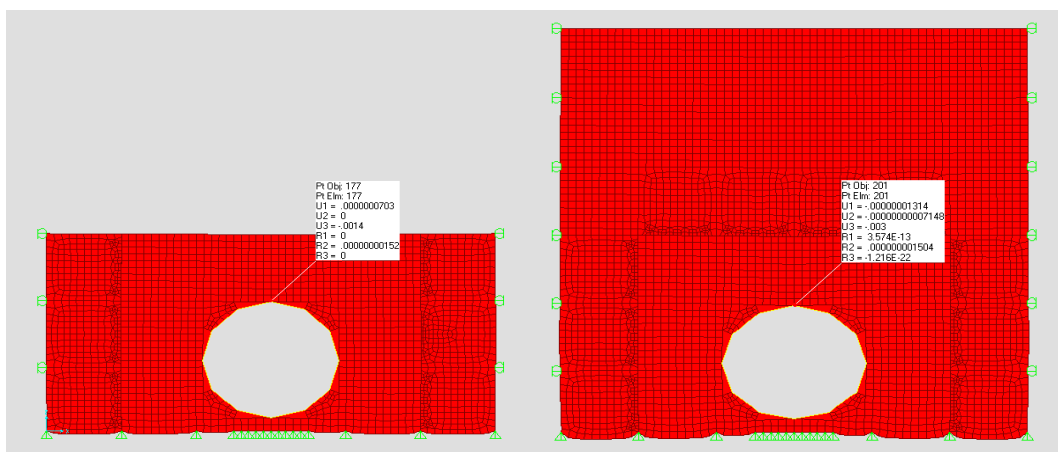
**4.3.7. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL COLECTOR**



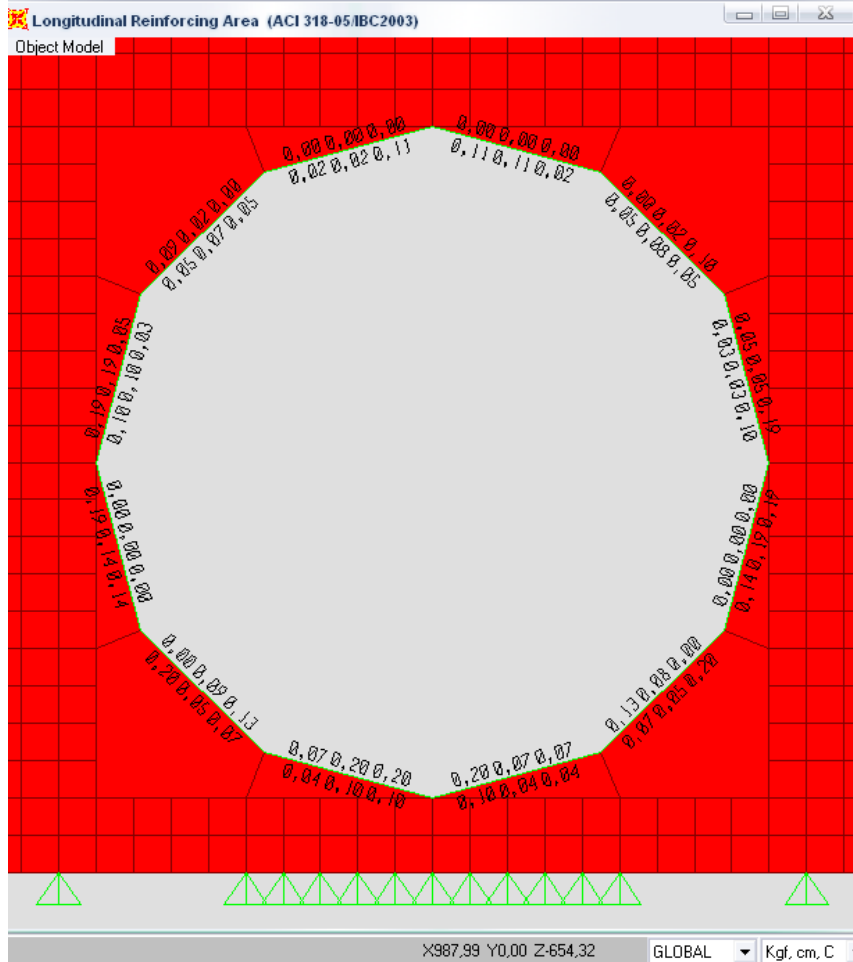
**Gráfico N° 41: Desplazamientos máximos (cm.) con la aplicación de la carga muerta. Izq: Altura de relleno = 1m. Derecha: Altura de relleno = 4 m.**



**Gráfico N° 42: Desplazamientos máximos (cm.) con la aplicación de COMB1. Izq: Altura de relleno = 1m. Derecha: Altura de relleno = 4 m.**

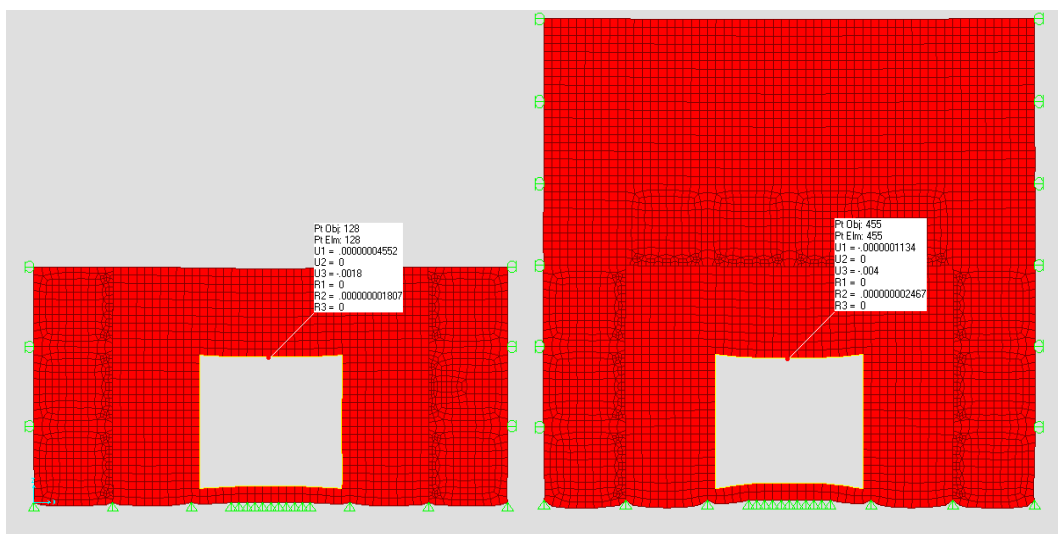


**Gráfico N° 43: Desplazamientos máximos (cm.) con la aplicación de COMB2. Izq: Altura de relleno = 1m. Derecha: Altura de relleno = 4 m.**



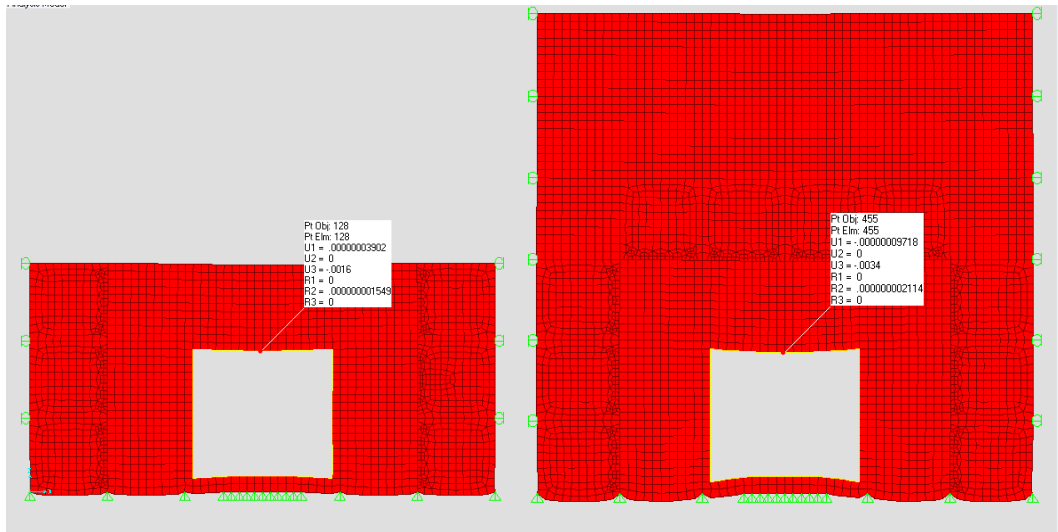
**Gráfico N° 44: Diseño del refuerzo longitudinal (cm<sup>2</sup>). Altura de relleno = 4 m.**

Ahora se presentan los desplazamientos del colector de sección rectangular.



**Gráfico N° 45: Desplazamientos máximos (cm.) con la aplicación de COMB1.**

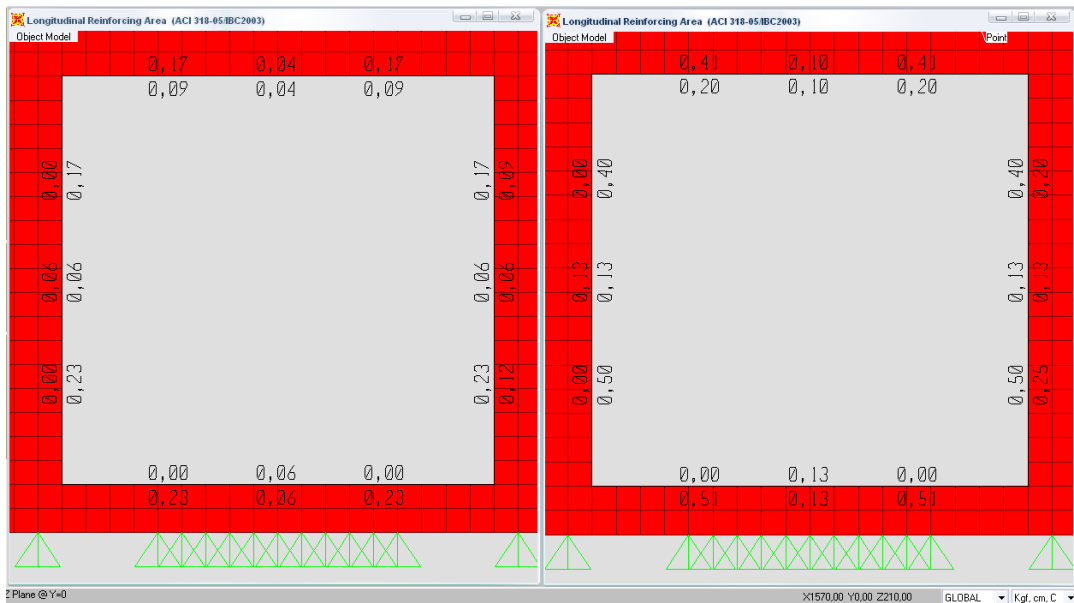
**Izq: Altura de relleno = 1m. Derecha: Altura de relleno = 4 m.**



**Gráfico N° 46: Desplazamientos máximos (cm.) con la aplicación de COMB2.**

**Izq: Altura de relleno = 1m. Derecha: Altura de relleno = 4 m.**

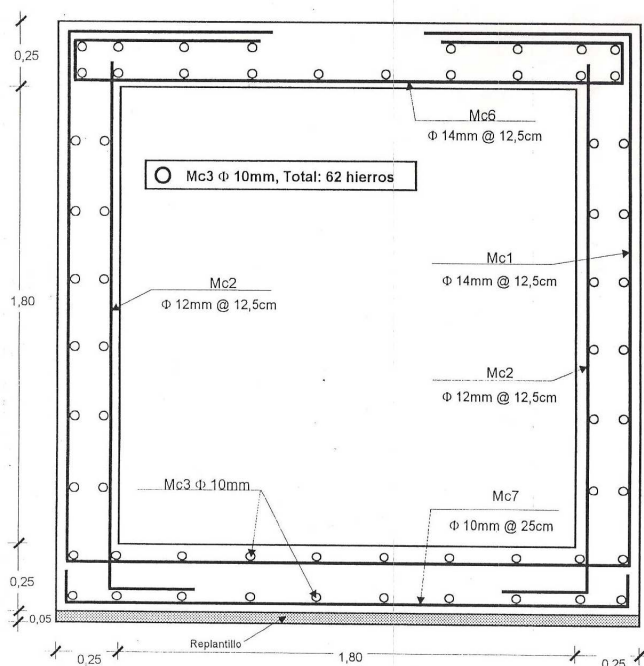
Según los esfuerzos internos también se presenta el diseño del refuerzo longitudinal que arroja el Programa SAP2000.



**Gráfico N° 47: Diseño del refuerzo longitudinal (cm<sup>2</sup>).**

**Izq: Altura de relleno = 1m. Derecha: Altura de relleno = 4 m.**

Ahora se muestra la disposición del acero colocado según los planos de construcción.



**Gráfico N° 48: Acero de refuerzo colocado en el colector de sección rectangular**

Luego de revisar los reportes tanto de la sección circular como de la rectangular se tiene que:

- El colector circular se desplaza 0.016 mm. cuando está a una profundidad de 1,0 m. mientras que sufre un aplastamiento de 0.035 mm. cuando soporta 4.0 m. de suelo, esto debido a la aplicación de la Combinación N° 1 = 1,4D
- El colector circular se desplaza 0.014 mm. cuando está a una profundidad de 1,0 m. mientras que sufre un aplastamiento de 0.030 mm. cuando soporta 4.0 m. de suelo, esto debido a la aplicación de la Combinación N° 2 = 1,2D
- El colector circular requiere de una armadura mínima que está concentrada en la cara interior del anillo. Dicha armadura es mínima puesto que no existe concentración de esfuerzos, es decir, la distribución de la carga, que básicamente resulta ser el empuje del suelo, se reparte uniformemente a lo largo de toda la superficie del colector.
- El colector rectangular se desplaza 0.018 mm. cuando está a una profundidad de 1,0 m. mientras que sufre un aplastamiento de 0.040 mm.

cuando soporta 4.0 m. de suelo, esto debido a la aplicación de la Combinación N° 1 = 1,4D

- El colector rectangular se desplaza 0.016 mm. cuando está a una profundidad de 1,0 m. mientras que sufre un aplastamiento de 0.034 mm. cuando soporta 4.0 m. de suelo, esto debido a la aplicación de la Combinación N° 2 = 1,2D
- Con relación a la armadura del colector rectangular:
  - En el sitio se ha colocado 8 veces más la armadura que se requiere.
  - Así mismo, se nota la falta de la colocación de la armadura mínima y que debía ser ubicada en el centro de la cara superior de la tapa del colector.

Ahora bien, dado que el colector no puede analizárselo bajo los efectos de un sismo puesto que su incidencia es mínima, se evaluó el riesgo con respecto a las fallas regionales existentes.

### ***Geología Estructural:***

A nivel regional (Mapa de fallas GIS Chimborazo), se tiene la influencia de las siguientes fallas:

- Una falla oculta que se extiende desde la parroquia de San Andrés hasta el cantón Guano.
- Un set de fallas de tipo dextral, y se localizan: dos hacia el norte y una al sur de Riobamba; dos de ellas están fuera del área de influencia de los sistemas de Riobamba, pero la que se ubica en la quebrada de las Abras junto a la Panamericana Norte afecta las conducciones de agua cruda.

De acuerdo al Mapa de Fallas y Pliegues Cuaternarias de Ecuador y Regiones Oceánicas Adyacentes, 2003, compilado por Arturo Eguez, Alexandra Alvarado, y Hugo Yepes en la provincia de Chimborazo se tienen las siguientes estructuras geológicas:



- Falla Pallatanga, que presenta un movimiento dextral. Es post glacial, es decir la última ruptura superficial fue hace menos de 15.000 años. Tiene una tasa de movimiento de 1 – 5 mm / años. Se ubica hacia el oeste de la provincia.
- Paralelo a ella se tiene la presencia de una falla norte-sur, en las inmediaciones de las poblaciones de Guamote: Es de tipo dextral.

VER ANEXOS, PRIMERA PARTE, FIGURA 2: MAPA DE FALLAS Y PLIEGUES CUATERNARIAS, ECUADOR, PROVINCIA DE CHIMBORAZO.

De ahí que, dadas las limitaciones de este estudio, los resultados del análisis bajo la influencia de las fallas tectónicas regionales no van a incidir en el desempeño del colector analizado.

#### **4.4. VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS**

Luego de haber realizado un análisis de las áreas funcional, operativa y estructural, es posible determinar que existe vulnerabilidad sísmica de los componentes que conforman los sistemas de agua potable y alcantarillado de Riobamba, específicamente, en las conducciones de asbesto cemento, tanques reservorios y colectores.

Las conducciones de asbesto cemento han estado en servicio por más de 40 años, cumpliendo ya con su vida útil. El arrastre de material inorgánico en todo ese lapso de tiempo ha provocado el desgaste de las paredes de la tubería, por ende, se vuelven frágiles y susceptibles de sufrir fallas por corte. En los tanques reservorios, el desempeño sísmico del circular resulta más apropiado que el rectangular. Debe tomarse en cuenta los esfuerzos que se producen en las juntas de este último, además de los efectos de punzonamiento en la losa. Los colectores son vulnerables solo si los nuevos son construidos en los sitios donde están ubicadas las fallas geológicas presentadas en este trabajo.

## **CAPITULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1. CONCLUSIONES**

La caracterización de los sistemas de agua potable y alcantarillado de Riobamba pudo determinar cómo se verá afectada la operación de ambos frente a la posibilidad de que falle alguno de sus componentes.

Al existir un déficit de 241 lt/s, mantener a los sistemas operando durante una emergencia, como un sismo, es vital.

Para cumplir con ese objetivo, se utilizó como herramienta básica el análisis de vulnerabilidad, en donde, una vez identificadas y caracterizadas las amenazas propias de la zona y sus efectos, permitió determinar:

1. Las debilidades físicas de los componentes del sistema;
2. Las debilidades de los sistemas de apoyo de la empresa; y
3. Las limitaciones de los servicios en términos de cantidad, continuidad y calidad.

En el nivel de la organización institucional, las debilidades son: escasa o nula comunicación entre los niveles organizacionales, ausencia de coordinación, información, incumplimiento de responsabilidades e incertidumbre en las competencias de las acciones.

Los principales factores de vulnerabilidad operativa tienen relación con la cantidad, calidad y continuidad del agua, las rutinas de operación, mantenimiento y la capacitación del operador para el cumplimiento de sus funciones.

Algunos indicadores de vulnerabilidad operativa son: poca o ninguna capacitación del operador, mal estado de equipos, herramientas, operación y mantenimiento defectuoso, déficit de cantidad y calidad de agua, ausencia de registros de caudales, ausencia de registros del monitoreo de la calidad del agua.

Las actividades de operación y mantenimiento representan una excelente oportunidad para incorporar en las actuaciones cotidianas las medidas de mitigación.

Los factores de vulnerabilidad física tienen relación con las condiciones desfavorables actuales de los componentes y del sistema en su conjunto.

El complemento lógico y deseable de un estudio de análisis de vulnerabilidad debe ser la ejecución de las necesarias medidas de prevención y mitigación para corregir las debilidades encontradas. Por ello, es muy importante que la formulación de recomendaciones técnicas y la estimación de los costos de las medidas de mitigación formen parte del propio estudio de vulnerabilidad.

#### EVALUACIÓN DE LOS DAÑOS:

La magnitud y características de los daños sobre los sistemas están relacionadas con:

- La magnitud del terremoto y la extensión geográfica que cubre.
- El diseño sísmico de las obras, su calidad constructiva, su tecnología, su mantenimiento y estado real a la fecha del desastre.
- La calidad del terreno donde se sitúan las obras y también el de la zona adyacente ya que existe la posibilidad de que las obras mismas resistan al sismo, pero un deslizamiento de tierras adyacentes, por ejemplo, podría causar daños por efecto "en cadena" del terremoto.

1. *Obras sobre el nivel del suelo:* Son obras que en su mayor parte están a la vista. En estas obras, la resistencia de la estructura depende de la relación entre su rigidez y su masa, mientras que para las tuberías enterradas no es

relevante la masa, sino principalmente las deformaciones del terreno producidas por el movimiento telúrico. En el caso de los edificios de administración de los servicios, las bodegas de materiales, las viviendas de cuidadores y operadores, así como diversos tipos de casas de máquinas o plantas, tenderán a comportarse en forma semejante a construcciones similares de otros sectores como vivienda, salud, etc. y a sufrir daños tales como fisuras, grietas y colapsos parciales. El nivel de daños depende del diseño sismorresistente y materiales empleados en la construcción de estas obras.

El equipo anclado funciona bien, aún si el anclaje no ha sido diseñado para soportar el nivel de carga sísmica esperada. El equipo no anclado puede deslizarse o volcarse.

En la planta de tratamiento, los cilindros de cloro pueden rodar o deslizarse rompiendo las tuberías de conexión, por eso es necesario anclarlos con cadenas o correas de nylon.

2. *Tanques reservorios*: En el caso de los tanques de agua, la masa determinada por el volumen de agua almacenado puede ser muy grande y, por eso, serán también grandes las sollicitaciones producidas por el sismo. Existe un riesgo adicional de que las vibraciones de los terremotos puedan hacerlos resonar. Según la calidad del diseño analizado los daños a producirse serán menores, sin embargo, si se dieran daños muy graves incluyendo su derrumbe o colapso se deberá a su construcción y calidad de materiales empleados, por una parte, combinado con la magnitud del sismo y la forma de reacción del suelo.

Los tanques pueden estar expuestos a fallas geotectónicas y de cimentación. El asentamiento irregular es un problema, particularmente cuando una parte del tanque está apoyada sobre suelo inalterado y la otra sobre un relleno. Y éste es el caso de los tanques ubicados en la Reserva de Maldonado.

3. *Obras bajo el nivel del suelo o enterradas*: Se incluye en este punto:

- Toda clase de tuberías de agua potable, alcantarillados sanitarios, pluviales y combinados, incluyendo las respectivas redes de distribución, cámaras, válvulas e instalaciones domiciliarias.
- Las captaciones de aguas subterráneas como pozos y vertientes.

Estas obras presentan diferencias significativas con las que están sobre el nivel del suelo, por lo que la mayoría de los daños directos no serán visibles. Ello hará que la determinación real de los daños sea usualmente mucho más lenta y laboriosa.

El sismo actúa con fuerzas de inercia sobre las construcciones que se levantan sobre el nivel del suelo; en cambio, las estructuras enterradas (como las tuberías, por ejemplo) se mueven con el suelo, experimentando deformaciones que pueden provocar daños en este tipo de componentes. Los terremotos ocasionan daños en las tuberías y/o en sus uniones rígidas. Esto implica que se puede esperar menores daños en las tuberías relativamente más flexibles (de PVC o acero soldado, por ejemplo) y mayores en las tuberías más rígidas, por ejemplo, hormigón, hierro fundido y cemento asbesto, especialmente si tienen uniones rígidas.

El mapeo de amenazas se ha convertido en una herramienta importante para mitigar los efectos de los sismos sobre las tuberías.

- a. *Riesgo de contaminación del agua en las redes de agua potable:* Si se rompen simultáneamente las tuberías de las redes de agua potable y las de alcantarillado sanitario, es posible que algo de aguas servidas se mezcle o penetre a la red de agua potable. Ello se debe a que las tuberías de agua potable y de alcantarillado sanitario se construyeron en forma paralela, por las mismas calles y a pocos metros entre sus ejes.
- b. *Captaciones de aguas subterráneas.* En las zonas donde se extrae agua de pozos, como Llío, puede ocurrir que el terremoto ocasione que las aguas subterráneas se encaucen hacia fallas recién abiertas,

determinando una disminución del caudal que se obtenía de dichas captaciones.

## ANÁLISIS ESTRUCTURAL

De la evaluación presentada en el capítulo anterior, se tiene que los tanques de reserva de agua potable sufren desplazamientos, sin embargo, no tienen deformaciones considerables. En tal virtud puede concluirse que las estructuras son estables, y que, en caso de presentar daños de consideración se deberán a falencias en su construcción.

*Estructuras circulares para reservorios de agua potable:* Por la capacidad, en este tipo de estructuras la distribución de la presión es uniforme y permanente. El comportamiento estructural de un reservorio circular es mucho mejor.

*Cúpula esférica:* La elevada eficiencia estructural de los elementos de doble curvatura se debe a que las cargas en lugar de ser resistidas por flexión (lo cual requiere gran peralte, o gran cantidad de acero), se resisten por proyección de la carga en elementos llamados meridianos y paralelos (por analogía con el globo terráqueo). A lo largo de dichos elementos se producen principalmente esfuerzos de tracción o compresión, que pueden ser resistidos por las secciones de hormigón de refuerzo, de manera directa; dichos esfuerzos resultan ser muy inferiores a los requeridos por elementos de tipo recto o plano como son las losas y las vigas.

*Estructuras rectangulares para reservorios de agua potable:* Para este tipo de estructuras que contienen agua se requieren de consideraciones especiales en las juntas (unión de paredes) sujetas a normas adecuadas, debido a que la filtración y el agrietamiento podrían producirse.

*Losa plana:* La acción que ejercen las columnas con respecto a la losa plana es de punzonamiento superior, convirtiendo esta zona en puntos vulnerables a un colapso. Es por ello que lo recomendable sería construir la losa sobre vigas.

*Generalmente se recomienda una sección rectangular o cuadrada para volúmenes menores a 100 m<sup>3</sup>, por el costo del encofrado que es mucho mayor en tanques circulares.*

*Colector:* Los diseños ejecutados cumplen con todos los parámetros y verificaciones de diseño.

La sección circular se comporta mucho mejor que la rectangular puesto que los esfuerzos se reparten uniformemente, y a ello se debe que se requiera un área de acero exageradamente mínima. No así la sección rectangular, que por su disposición, necesita de un armado mayor. Vale la pena mencionar que, el uso de este tipo de sección (rectangular) en el Colector APR-3 coincide con su último tramo donde el peralte es considerable y se requería disminuir la velocidad que alcanzarían las aguas servidas antes de la descarga. El recurso válido para reducir la velocidad fue la construcción de rugosidades en forma de V que sobresalen en el piso del colector, y que obviamente, no podía construirse en una sección circular.

*Generalmente se recomienda el uso de una sección circular para colectores dado que no existe concentración de esfuerzos.*

## **5.2. RECOMENDACIONES**

El riesgo, según la UNESCO, “representa la posibilidad de una pérdida que puede afectar a la vida humana, las propiedades o la capacidad productiva”. Mediante el “Análisis de la vulnerabilidad sísmica”, es posible conseguir estimaciones cualitativas del riesgo en una región. La superposición de zonas de mayor peligro y mayor vulnerabilidad brindan una imagen de las zonas con mayor riesgo relativo y se constituyen en la base para la elaboración de un “Plan de Mitigación”.

Algunas de las medidas de mitigación que pueden ser consideradas para reducir la vulnerabilidad por las condiciones desfavorables del estado actual de algunos de los componentes en los sistemas de agua potable y alcantarillado son:

- Reemplazar el componente, equipo o accesorio si su estado de conservación es malo, monitorearlo periódicamente si su estado es regular.
- Reparar los elementos, equipos y accesorios con funcionamiento defectuoso.
- Reemplazar los elementos, equipos y accesorios no adecuados o sin funcionamiento.
- Adquirir componentes, equipos y accesorios faltantes, por ejemplo generadores auxiliares de electricidad en zonas de continuos períodos de falta de energía eléctrica.
- Reforzamiento estructural de los elementos.
- Protección del sitio contra deslizamientos, caída de rocas y crecidas.
- Reforzamiento o cambio de los elementos agrietados o contruidos con material de mala calidad y de los elementos o accesorios rígidos.

*Utilidad de planos y mapas de riesgos sísmicos.*

Dadas las dificultades para ubicar los daños en las tuberías existentes y el resto de componentes de los sistemas de agua potable y alcantarillado de Riobamba es recomendable elaborar planos de riesgos sísmicos con los elementos que se afectarían por el terremoto. Estos productos se basarían en los parámetros de riesgo sísmico establecidos por el CEC2002, por un lado, mientras que por otro, estará la información de los tipos de suelos de la localidad y las fallas tectónicas existentes. De ahí que, superponiendo las zonas más vulnerables al sismo se establecerán las zonas donde habrá más probabilidad de que ocurran daños.



## **CAPITULO VI**

### **PROPUESTA**

#### **6.1. PLAN DE MITIGACIÓN**

#### **6.2. ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA.**

Todo sistema de abastecimiento de agua potable y alcantarillado está expuesto en mayor o menor grado a las emergencias y desastres producidas por un sismo, y por lo tanto, a los daños en sus componentes.

En las estrategias de operación y mantenimiento, la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Riobamba debe establecer la importancia de contar con planes de mitigación y de emergencias dirigidos a disminuir la vulnerabilidad y a dar la mejor respuesta posible una vez que se hubiese producido el impacto derivado del movimiento telúrico. En el plan de emergencia se establecen los procedimientos necesarios para movilizar con agilidad y eficacia los recursos existentes en la empresa, y permitir que la ciudadanía pueda contar con los servicios en condiciones adecuadas. Además se plantean los lineamientos o recomendaciones hacia la población, de acuerdo a los diferentes escenarios que pudieran presentarse.

Para establecer este Plan se ha considerado un análisis de vulnerabilidad, el cual se aplicó a la operación y mantenimiento de los sistemas, así como a la funcionalidad de las estructuras físicas. Se hizo también una evaluación estructural a los componentes más vulnerables, e incluso se chequeó la organización y administración de la Empresa para determinar sus debilidades y

establecer las medidas correctivas que deban implementarse para eliminar o disminuir su vulnerabilidad.

El resultado del análisis de vulnerabilidad es el plan de mitigación, que permite programar las acciones previas para reducir los efectos de la amenaza sobre el sistema. Basándose en dichas medidas se formulan las operaciones de emergencia, la capacitación del personal, la asignación de recursos materiales y la identificación de proyectos de reforzamiento estructural encaminadas a incrementar la confiabilidad de los componentes de los sistemas y de éste en conjunto.

### **6.3. JUSTIFICACIÓN**

El impacto de un SISMO puede provocar la ruptura en tuberías o estructuras, la escasez del agua, fallas de los equipos o incluso el colapso total del sistema. Esta amenaza natural no es una fuerza incontrolable ante la que nada se puede hacer; la experiencia demuestra que con una acertada planificación y las medidas preventivas necesarias para reforzar los sistemas y tener listos los mecanismos de respuesta para casos de emergencia, el efecto de un desastre será minimizado.

La implementación de programas que definan planes de mitigación y emergencia en continuo proceso de actualización garantizan una respuesta responsable y eficaz ante los desastres.

De esta manera, el interés primordial de las empresas como la EMAPAR deben ser el mantenimiento de un servicio cualitativa y cuantitativamente acorde con las necesidades, de forma que las interrupciones en el abastecimiento de agua potable o en la recolección, tratamiento y disposición de aguas servidas sean lo más breves posible. Aún reconociendo la imposibilidad de contar con sistemas que ofrezcan una seguridad del cien por ciento ante los desastres, es imprescindible

resolver, de la mejor manera y en el menor tiempo posible, las dificultades que se presenten antes, durante y después del impacto de la amenaza.

El presente trabajo deberá ser utilizado por la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de la ciudad de Riobamba para orientarla en su respuesta ante cualquier situación que tuviera que afrontar ante la ocurrencia de un sismo.

Para garantizar el éxito de este programa se debe asegurar:

- a) Una amplia participación de los funcionarios de la empresa.
- b) Mantener un proceso continuo y permanente de divulgación y capacitación.
- c) En el caso de los planes de emergencia, realizar simulacros y ejercicios de evaluación; y
- d) Diseminación de experiencias previas.

## **6.4. OBJETIVOS**

### **6.4.1. GENERAL**

Lograr que la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Riobamba mejore su preparación y planificación frente a los sismos.

### **6.4.2. ESPECÍFICOS**

- Asegurar la continuidad y calidad de los servicios de agua potable y alcantarillado durante situaciones de emergencia.
- Identificar e implementar las medidas de prevención y mitigación frente a desastres en los distintos componentes de estos sistemas, y a costos razonables.

- Garantizar una respuesta eficaz que contribuya a preservar la salud de la población.

## **6.5. ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD**

Estos desastres tienen un ciclo que comprende la etapa anterior a su impacto, la respuesta al mismo y las acciones de reconstrucción y rehabilitación. Los costos de estas últimas consumen gran parte de los recursos disponibles, reducen las fuentes para nuevas inversiones y pueden atrasar los programas de desarrollo.

El mejor momento para actuar es en las fases iniciales del ciclo de los desastres, cuando con medidas de prevención y mitigación se pueden reforzar los sistemas y evitar o reducir daños, pérdidas humanas y materiales, reduciendo la vulnerabilidad del sistema y atenuando el impacto de la amenaza. En función de las medidas que la EMAPAR adopte, la rehabilitación o recuperación total del sistema puede tomar horas, días, semanas o meses.

La ejecución de un programa de prevención en la Empresa será posible toda vez que:

- Tiene la oportunidad de aplicar las medidas preventivas considerando los mayores desastres y la disponibilidad de información adecuada a corto plazo.
- Puede realizar la aplicación integrada de las medidas en un solo Programa que contenga diferentes niveles de ejecución en función de los recursos existentes.
- Se han localizado las áreas clave donde la aplicación de las medidas preventivas son más necesarias y, por tanto, prioritarias.
- La administración adecuada de las medidas garantizará la asignación de recursos y la aplicación oportuna de las mismas.
- La EMAPAR está en la capacidad de introducir las medidas preventivas en su actividad cotidiana.

La implantación y desarrollo de una cultura de prevención y mitigación en el interior de la Empresa permitirá que la adopción de medidas de mejoramiento de

las estructuras potencialmente vulnerables se ejecute en forma progresiva y planificada, tanto en períodos de calma como de alerta.

## **6.6. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

En el proceso de *planificación* para situaciones de emergencia y desastre, el período anterior al impacto de un evento adverso es el más importante. Es en este momento cuando se puede prever el comportamiento de la Empresa y de los componentes físicos de los sistemas de agua potable y saneamiento.

Básicamente comprende tres etapas:

1. Prevención
2. Mitigación
3. Preparación

Una vez ocurrido el desastre se inician las actividades de *respuesta*, que comprenden búsqueda, rescate, socorro y asistencia a personas. Las empresas administradoras de los servicios de agua y saneamiento deben responder de forma ágil, según lo diseñado en el plan de emergencia, así como tratar de mantener la mayor cantidad de agua en los tanques de almacenamiento, hasta tanto se sepa con seguridad la situación real de los sistemas.

Las etapas a desarrollar después de ocurrido el desastre son las siguientes:

1. Respuesta
2. Rehabilitación
3. Reconstrucción

Las acciones de rehabilitación en los sistemas de agua y saneamiento son de vital importancia, ya que al restablecer estos servicios en el menor tiempo posible se puede garantizar, en buena medida, la salud de la población. Por otra parte, en la reconstrucción es fundamental que la Empresa asuma la responsabilidad de incluir

las medidas de prevención y mitigación en las nuevas obras, con el fin de evitar las mismas debilidades que tenían los sistemas anteriormente.

#### **CAMINO HACIA LA MITIGACIÓN DE DESASTRES:**

Se presentan a continuación algunas actividades, ordenadas en cuatro etapas secuenciales, para la formulación y aplicación del programa de prevención, mitigación y atención de emergencias y desastres.

#### **A. Formulación del programa de prevención y atención de emergencias y desastres**

Según se vaya disponiendo de los resultados del análisis de vulnerabilidad puede ir formulándose, paralelamente, el programa de prevención y atención de emergencias y desastres.

Este programa comprende:

- Normativa nacional e institucional para situaciones de emergencia.
- Descripción de los sistemas.
- Análisis de vulnerabilidad.
- Actividades de prevención y mitigación.
- Planes operativos de emergencias
- Anexos y documentación de respaldo.

Estos elementos del programa se realizan de forma secuencial, en función de la información obtenida y una vez evaluados los recursos.

Como se puede observar, este programa engloba toda la temática de emergencias y desastres, desde la normativa hasta el análisis de vulnerabilidad, pasando por los planes operativos. Una vez concluido el programa debe someterse a aprobación de los responsables de la Empresa y, de forma inmediata, ponerlo en conocimiento de todos los empleados.

El programa dispondrá las acciones en el ámbito general empresarial, que deben ser de cumplimiento obligatorio por todas las áreas de la Empresa administradora de servicios de agua potable y saneamiento. El programa de prevención, mitigación y atención de emergencias es, en términos generales, más de carácter estratégico, y permitirá conocer con exactitud quién y qué acciones deben desarrollarse en la Empresa para la atención de desastres.

Este programa operativo deberá contemplar los aspectos puntuales y concretos referentes a cada una de las posibles amenazas que se hayan registrado en el plan de vulnerabilidad.

Por último, se debe señalar la conveniencia de que la estructura organizativa de la empresa varíe lo menos posible ante una situación de emergencia, de manera que los empleados continúen atendiendo sus cometidos habituales, aunque obviamente se incrementará su ritmo de trabajo para poder hacer frente a la situación provocada por el desastre.

## **B. Recopilación y evaluación de información**

Por las características del trabajo que normalmente se desarrolla en las empresas de agua potable y saneamiento, la respuesta ante una emergencia o desastre muchas veces se considera oportuna o adecuada. Sin embargo, también es cierto que no existe la seguridad de que las decisiones tomadas sean las mejores; a pesar de recuperar los sistemas afectados, esto no siempre se realiza con obras más seguras para futuros desastres y al menor costo.

Con el plan de emergencias y desastres se pretende obtener la información más fiable y actualizada posible para garantizar que las decisiones tomadas en una emergencia o desastre sean las más adecuadas, tanto técnica como económicamente.

A continuación se enuncia, brevemente, la información básica que permita planificar la atención de emergencias en los sistemas de agua y saneamiento.

### **De la empresa**

### 1. Información técnica:

- Descripción actualizada de los sistemas con manuales, cuadros, figuras, planos, croquis, esquemas, etc.
- Catastro de redes y archivos técnicos actualizados.
- Procedimientos operativos, integración de cuadrillas, especialización del personal, etc.
- Documentación de experiencias en desastres, rotura de tuberías, labores de mantenimiento mayor, huelgas de personal, etc.
- Proyectos en desarrollo y estudios técnicos realizados.

### 2. Información administrativa

- Descripción de los recursos humanos, materiales y financieros de la empresa
- Organización de la empresa. (Objetivos, metas y estrategias.)
- Marco legal.
- Planificación existente, tanto técnica como empresarial.
- Información comercial y de expansión del servicio.
- Programas de capacitación del personal

### 3. Información operativa

- Equipo pesado disponible.
- Inventario y estado de los vehículos.
- Inventario de equipo (bombas, compresores, soldadura, etc.)
- Equipos de protección personal.
- Reserva de repuestos y productos químicos.

### **De otras instituciones y organismos**

1. Legislación y normativa sobre desastres en el ámbito local (provincial, departamental, etc.) y nacional.

2. Información sobre amenazas:



- Sismos (defensa civil, bomberos, municipalidades, universidades y otras instituciones).
- Uso del suelo, planeamiento urbano, etc. (organismos del medio ambiente, universidades, etc.).

### 3. Información sobre labores de apoyo y rehabilitación:

- Empresas consultoras, constructoras y proveedoras de equipos y materiales.
- Estaciones de suministro de combustible, propietarios de tanqueros.
- Información de otras empresas de agua y saneamiento, tanto nacionales como internacionales.
- Información sobre lugares prioritarios de abastecimiento:
  - Hospitales, centros de salud, Cruz Roja, bomberos, fuerza pública.
  - Albergues, cuarteles, prisiones, mercados, escuelas.
  - Defensa Civil.

Dado que toda esta información no se improvisa, su elaboración requiere un trabajo realizado con tiempo suficiente, lo que permitirá además verificar su fiabilidad.

### **C. Análisis de vulnerabilidad de los sistemas y medidas de mitigación**

Una vez que se disponga de la identificación y descripción de los componentes del sistema de agua potable y alcantarillado se inicia el proceso para el análisis de vulnerabilidad.

Algunos aspectos considerados son los siguientes:

- Identificación de los responsables del análisis.
- Análisis de la información, identificando requerimientos adicionales.
- Identificación de recursos humano (internos y externos a la empresa).
- Requerimientos de capacitación del personal.
- Descripción de amenazas
- Identificación de debilidades del sistema y sus componentes.

- Identificación de las medidas y obras de prevención y mitigación, según indique el avance del análisis de vulnerabilidad.
- Identificación de estudios especializados.
- Valoración económica de las medidas de mitigación y obras de prevención

## 6.7. MODELO OPERATIVO

El Plan debe mantenerse actualizado y estar disponible en todo momento para el uso de las personas que intervengan en el mismo. Su éxito dependerá de cuan sencillo, práctico y fácil sea de ejecutar, así como del conocimiento del mismo que tengan las personas participantes, lo que se logra a través de actividades periódicas de capacitación y simulacros.

### a) Medidas de mitigación: Vulnerabilidad física y operativa

Las medidas de mitigación por condición desfavorable consisten en reparar, substituir o adquirir los elementos o equipos; para los daños estimados consisten en ejecutar medidas físicas que fortalezcan el sistema o/y reubicar un componente en el caso de destrucción total o parcial esperada.

Las medidas de mitigación para contrarrestar la vulnerabilidad operativa consisten en tomar otras acciones para asegurar la cantidad, continuidad y calidad del agua y un buen mantenimiento y operación del sistema.

De ahí que se debe:

- Medir y registrar el caudal producido. Si éste no es suficiente y tiene períodos grandes de falta de agua, informar a la administración o/y buscar otras fuentes adicionales de captación.
- Si se determina caudal faltante entre los componentes, localizar las filtraciones y repararlas.

- Verificar si el agua se usa para riego u otros fines, identificar a los usuarios y comunicar a la administración.
- Revisar y registrar periódicamente el estado de conservación y funcionamiento de los elementos y equipos.
- Solicitar o mantener en buen estado las herramientas de trabajo y materiales para el funcionamiento del sistema.
- Solicitar periódicamente ensayos de calidad del agua, con recomendaciones claras y precisas en caso de resultados desfavorables.
- Conocer y registrar las especificaciones técnicas para el buen funcionamiento de equipos, principalmente eléctricos y mecánicos, etc.
- Mantener una reserva de los químicos utilizados para el tratamiento y desinfección del agua.
- En las captaciones, tratamiento y redes de distribución cambiar las tuberías de asbesto-cemento por tuberías del mismo diámetro en PVC.
- Para el diseño sismorresistente de las tuberías deben considerarse que:
  - Se prefiere la tubería dúctil de pared gruesa sobre la tubería frágil de pared delgada.
  - Las tuberías de hierro dúctil, de acero y de polietileno son muy dúctiles y se deformarán considerablemente antes de romperse.
  - El policloruro de vinilo (PVC) es moderadamente dúctil.
  - La tubería cilíndrica de asbesto-cemento y de concreto es algo dúctil.
  - Los sistemas de revestimiento o recubrimiento de tubos deberán brindar protección continua contra la corrosión.
  - Los sistemas de tuberías dúctiles con uniones fijas segmentadas o soldadas resistirán el movimiento del terreno y producirán un daño mínimo.
  - Las uniones segmentadas (es decir, de espiga y campana) con empaques de caucho permitirán el movimiento de las uniones, pero se separarán fácilmente.
  - La tubería segmentada con uniones de mortero se vuelve rígida y no permitirá el movimiento de las uniones, lo cual incrementará la deformación de las tuberías y su posterior ruptura.

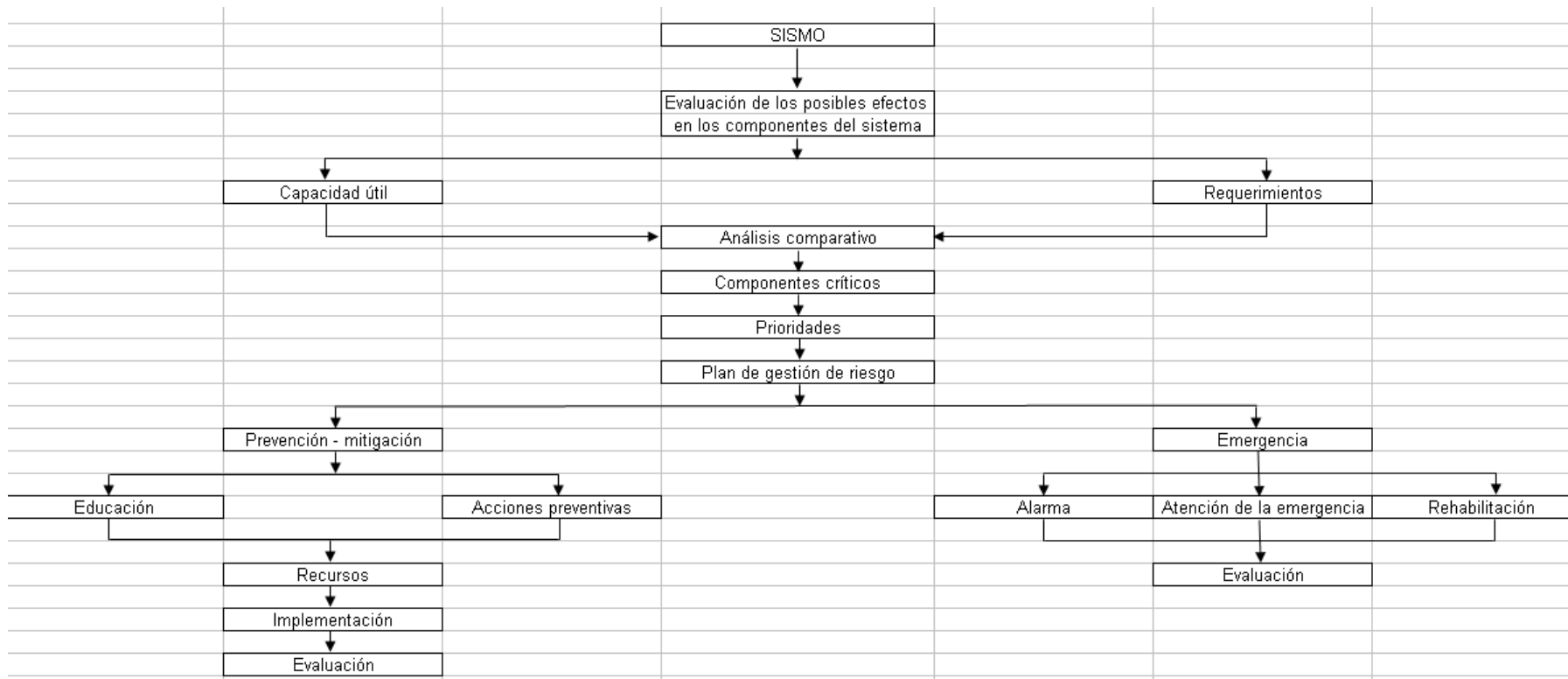
- El diseño moderno de la tubería de espiga y campana emplea empaques elastoméricos para sellar las uniones de las tuberías. Estas tuberías pueden ser flexibles a la expansión y rotación, dependiendo de la práctica de instalación. Son flexibles a la compresión hasta tener un contacto de metal sobre metal. Por lo general, el grado de flexibilidad se muestra en las normas para materiales de tuberías o puede ser proporcionado por el fabricante.
- La tubería de menor tamaño permite una mayor rotación de las uniones que las tuberías de mayor diámetro.
- Las uniones deben diseñarse de tal manera que puedan moverse antes de que se desacoplen del todo.
- La restricción de las uniones de una tubería es un aspecto importante en la vulnerabilidad sísmica de las tuberías porque permite la transferencia de cargas y el desplazamiento a través de las uniones.
- Las uniones fijas también se usan comúnmente para resistir los empujes hidráulicos axiales, lo que elimina la necesidad de macizos de apoyo.
- El uso de pernos para fijar las uniones permiten la compresión porque posibilitan que la conexión unida por pernos se afloje.
- El tramo de la tubería de asbesto-cemento analizado y que corresponde desde la Planta de Tratamiento Aireadores hasta las Reservas debe ser reemplazado por hierro dúctil.
- Arreglar las vías de ingreso a las captaciones.
- Dar mantenimiento a la valvulería de todo el sistema: captaciones, conducciones, tratamiento, reservas y redes de distribución.
- En las reservas hacer la impermeabilización de pisos y paredes.
- Dar mantenimiento (limpieza) a los colectores y habilitar sus descargas.
- Controlar minuciosamente la calidad de los materiales usados para la construcción de los tanques de reserva.
- Proteger la nueva línea de construcción de acero, tramo Captaciones – Tratamiento, de los posibles deslizamientos que puedan darse a causa de un sismo.

- Ubicar las nuevas obras propuestas en los Planes Maestros tomando en cuenta las fallas que se presentan en el Mapa de Vulnerabilidad Sísmica presentado en este trabajo.
- Realizar un adecuado mejoramiento del suelo (rasante) con respecto a la construcción de nuevos colectores.
- Los trabajos de relleno y compactación deben hacerse de acuerdo a lo establecido a las normas fijadas para el efecto.

**b) Medidas de mitigación: Vulnerabilidad administrativa**

Las medidas de mitigación para este aspecto consisten en:

- Capacitar al personal para el reconocimiento de la vulnerabilidad del sistema y la determinación de las medidas de mitigación.
- Presupuestar y adquirir las herramientas y materiales necesarios para la operación y mantenimiento normal del sistema.
- Reducir el monto de morosidad.
- Implementar un fondo de capitalización.
- Concienciar a los usuarios sobre la vulnerabilidad de los sistemas.
- Presupuestar y financiar las medidas de mitigación a través del fondo de capitalización y/o ayuda externa.
- Elaborar un plan de ejecución de las medidas de mitigación.
- Mejorar las deficiencias de la organización institucional y local, para poder implementar las medidas de mitigación físicas, operativas y administrativas.
- Identificar claramente las responsabilidades de los niveles de organización, administración y operación, definir los mecanismos de coordinación e información, etc.



*Gráfico N° 49: Esquema de Modelo Operativo*

## **6.8. ADMINISTRACIÓN**

La EMAPAR para institucionalizar, administrar y organizar el programa, debe partir de:

### **a) Directorio de la Empresa**

Es el máximo organismo de la Empresa y el que dictará las políticas o estrategias y tomará las decisiones de alto nivel.

Es función de la máxima autoridad empresarial ordenar la elaboración del programa y posteriormente aprobarlo.

*Funciones y responsabilidades:*

- Dictar la política general de la Empresa para afrontar situaciones de emergencia.
- Formular un equipo coordinador para la aplicación del Plan de Mitigación.
- Solicitar a las autoridades gubernamentales pertinentes la declaración de emergencia del servicio cuando la situación lo aconseje o justifique.
- Aprobar y apoyar las acciones antes, durante y después de la emergencia.

### **b) Comité de Mitigación**

Se tratará de un equipo multidisciplinario de profesionales, idealmente integrado por ingenieros, administradores y operadores de los sistemas. Eventualmente, podrán ser invitados a participar profesionales de otras instituciones y sectores a fin de lograr la coordinación interinstitucional e intersectorial, así como expertos en la amenaza analizada (sismólogos, hidrólogos, etc.)

Este grupo de expertos será el encargado de que se consideren los tanto los componentes físicos como los administrativos/funcionales. Tiene como responsabilidad coordinar las acciones para la estructuración e implementación del Plan de Mitigación.

El Comité estará integrado por los mandos administrativos y técnicos de la Empresa:

- Gerente General
- Gerente Técnico
- Gerente Administrativo y Financiero
- Gerente de Comercialización
- Jefe de Agua Potable
- Jefe de Alcantarillado
- Jefe de Estudios y Diseños
- Relacionador Público
- Jefe de Planificación
- Proveedor

El Comité es el órgano funcional responsable de planificar, organizar y dirigir los recursos humanos, materiales, económicos y las actividades relacionadas con mitigación, prevención, preparación, respuesta, rehabilitación y reconstrucción en las situaciones de emergencias y desastres. Podrá asumir el rol de máxima autoridad en situaciones de emergencia y desastres.

El objetivo del comité es la toma de decisiones que aseguren el suministro de agua potable y condiciones sanitarias adecuadas, en el menor tiempo posible, tras el impacto de un evento adverso. Para ello, realizarán acciones en las diferentes fases del ciclo de los desastres.

Sus miembros deberán reunirse de forma periódica, al menos dos veces al año, según su programa de trabajo y, por supuesto, en condiciones especiales o situaciones de alerta y emergencia. Deberá, así mismo, conocer, discutir y aprobar las directrices generales para los trabajos de la unidad o grupo de formulación del plan de emergencia, que incluirán las actividades de mitigación, prevención y preparación.

*Funciones y responsabilidades:*



- Elaborar los planes de mitigación y de emergencia;
- Elaborar los términos de referencia y coordinar los estudios especializados del análisis de vulnerabilidad;
- Evaluar la eficacia de los planes a través de simulacros y situaciones reales.
- Coordinar el proceso de formulación, aprobación, ejecución y evaluación de los planes;
- Establecer y mantener comunicación y coordinación con el COE y las entidades públicas que tengan la responsabilidad de tomar medidas de emergencia a nivel local o nacional;
- Mantener contacto con las organizaciones privadas, que puedan contribuir en el proceso de atención de emergencias;
- Disponer la revisión y actualización periódica del Plan de contingencia;
- Formular y presentar a través de las unidades correspondientes, los presupuestos necesarios para la implementación del Plan;
  
- Declarar la situación de alerta o emergencia interna de la empresa, cuando se presente una acción de riesgo inminente;
- Integrar la oficina o unidad de emergencias y desastres.
- Dar seguimiento al proceso de formulación, preparación y aplicación del plan de contingencia.
- Vigilar el cumplimiento del programa de capacitación y entrenamiento permanente del personal en procedimientos de emergencia, tanto teórico como práctico.
- Dar prioridad, coordinar y disponer las actividades y el uso adecuado de los recursos durante la emergencia.
- Establecer y mantener lazos de comunicación y coordinación con las entidades públicas que tengan la responsabilidad de tomar decisiones de emergencia, tanto en el ámbito local como nacional.
- Mantener contacto con las organizaciones privadas, tales como proveedores de equipos, productos químicos y tuberías, asociaciones profesionales y contratistas.

- Definir los procedimientos de comunicación, tanto hacia el interior como al exterior de la empresa.
- Aprobar y buscar la financiación para los Programas de prevención y mitigación.

### **c) Sala de emergencias**

Para responder coordinadamente en la atención de una emergencia o desastre se requiere disponer de un espacio físico, conocido como sala de situación, que reúna características de seguridad y todos los recursos necesarios para garantizar un funcionamiento óptimo en los momentos más conflictivos y críticos.

Esta sala será el lugar de reunión del comité de emergencia y de todo el personal clave, desde donde se dirigirán las acciones pertinentes que permitan hacer frente a la emergencia. Este sitio puede ser el mismo centro de control del sistema en situaciones normales, aprovechando entre otras cosas la infraestructura de telemando y telecontrol, en caso de disponerse en el sistema.

Es importante que su ubicación sea estratégica para que permita el fácil acceso, comunicación y desplazamiento y sobre todo deberá asegurarse que no pueda verse afectada por el evento adverso. Además, deberá situarse anexa al centro de comunicaciones y estar equipada permanentemente con los siguientes elementos:

- Lista telefónica de los funcionarios clave de la empresa, así como los contactos fuera de ella.
- Conexión a grupo electrógeno o de generación eléctrica por combustible.
- Equipo de radiotransmisión con el respectivo protocolo de comunicación y fuente de energía.
- Receptor de radio y televisión.
- Teléfono y fax.
- Conexión a Internet.
- Plan de emergencia y anexos.
- Archivo técnico y planos del sistema.

- Panel de control de operaciones o sistema de información operativa.
- Mesas de trabajo y reuniones.
- Equipo de cómputo y materiales de oficina.
- Juego de llaves de vehículos e infraestructura.
- Herramientas básicas.
- Información general y planos de los lugares de albergue, hospitales, centros de salud y otras dependencias e instalaciones estratégicas para el país.

Es recomendable que el plan de emergencia identifique dos salas de situación alternas, que estén debidamente equipadas conforme a lo anotado anteriormente. Estas salas de situación alternas podrán estar ubicadas en instalaciones de producción como, por ejemplo, plantas de tratamiento.

#### **d) Declaración de alertas y emergencia**

Las alertas pueden darse desde el interior de la Empresa o pueden ser generadas por alguna institución gubernamental, ya sea de ámbito regional o nacional.

El estado de alerta es el período que transcurre desde el momento en que se declara la alerta y se inicia la movilización de recursos hasta que se produce el impacto. En estas situaciones es prudente establecer dos o tres niveles, dependiendo de la proximidad y certeza del impacto, y también es recomendable el uso de los diferentes colores para estas clasificaciones. Sin embargo, con el fin de que no se confunda con los estados de alerta de defensa civil, es posible utilizar otras clasificaciones.

#### **e) Coordinación interinstitucional**

La coordinación interinstitucional es fundamental en la atención de emergencias y desastres. Si no hay coordinación, el resultado es un caos que afectará a los clientes del sistema y a la capacidad de rehabilitación.

El plan institucional de emergencias debe considerar la coordinación necesaria con otras instituciones de servicio, tales como energía, comunicaciones, policía, bomberos, etc. Los convenios de entendimiento y de ayuda mutua entre instituciones facilita la acción conjunta en forma planificada y eficiente. Es importante conocer con detalle los recursos humanos, materiales y de equipo disponibles en el nivel local.

## **6.9. CRITERIOS DE EVALUACIÓN**

Corresponde a los directivos de la Empresa aprobar el programa de prevención y atención de emergencias y desastres, de forma que se pueda aplicar en el momento que sea necesario, así como aprobar los capítulos presupuestarios para ejecutar las medidas de prevención y mitigación. Igualmente corresponde a los máximos responsables apoyar los procesos de capacitación profesional y realizar un seguimiento para que se cumplan.

También deberán responsabilizarse, a su vez, de establecer el mecanismo de revisión y evaluación periódica del plan de emergencia, para lo cual se podrá hacer uso de las simulaciones y simulacros en los niveles de participación que corresponda. Del mismo modo, deben revisar permanentemente el marco legal para proponer los ajustes a las instancias respectivas.

Cada obra o medida de prevención y mitigación ejecutada modificará las condiciones de este programa, por lo que éste deberá someterse a constante revisión.

## BIBLIOGRAFÍA

Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). – Código Ecuatoriano de la Construcción 2002. Peligro Sísmico, Espectros de Diseño y Requisitos mínimos de cálculo para Diseño Sismorresistente. Quito, Ecuador.

American Concrete Institute (ACI). - Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318S-05) y Comentario (ACI 318SR-05). (Versión en español y en sistema métrico). USA, enero 2005

Castillo H. y Castillo A. – Análisis y Diseño de estructuras. – Alfaomega, México, 1997.

Rice P. y Hokkman E. – Diseño Estructural con normas de ACI – Editorial Limusa, México, 1984.

Instituto de la Construcción y Gerencia. – Diseño automatizado de estructuras sismorresistentes. SAP2000. Fondo Editorial ICG. – Lima, diciembre 2002.

CEPIS/OPS/OMS. – Guía para el diseño y construcción de reservorios apoyados - OPS/CEPIS/OMS. Pub./04.108. - Lima, 2004. - 34p.

CEPIS/OPS/OMS. - Estudio de caso: terremoto del 22 de abril de 1991, Limón, Costa Rica. - OPS/CEPIS/OMS. Pub./96.23. - Lima, 1996. - 177p.

COVENIN 1756. - Edificaciones antisísmicas. - Caracas: FONDONORMA, 1982. - 67p.

Grases, J., coord. - Diseño sismorresistente: especificaciones y criterios empleados en Venezuela. - Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales, vol. 33, jul. 1997. - 662p.

Organización de Estados Americanos (OEA). - Manual sobre el manejo de peligros naturales en la planificación para el desarrollo regional integrado. -

Washington, D.C.: OEA. Departamento de Desarrollo Regional y Medio Ambiente, 1993.

Organización Panamericana de la Salud (OPS). - Caso estudio: vulnerabilidad de los sistemas de agua potable y alcantarillado frente a deslizamientos, sismos y otras amenazas naturales. - Caracas: OPS, oct. 1997. - 158p.

Organización Panamericana de la Salud (OPS). - Planificación para atender situaciones de emergencia en sistemas de agua potable y alcantarillado. - Cuaderno Técnico No.37. - Washington: OPS, 1993. - 67p.

PDVSA. - Criterios para el análisis cuantitativo de riesgos. - En: Manual de ingeniería de riesgos, vol. 1. - Caracas, mayo 1993. - 92p.

Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS). *Guías para la elaboración del análisis de vulnerabilidad de sistemas de abastecimiento de agua potable y alcantarillado sanitario.* Lima, Perú, 1996.

Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS). *Manual del curso sobre abastecimiento de agua potable en situaciones de desastre.* Lima, Perú, 1982.

Farrer Crespo, Herbert. *Preparación de los servicios de agua potable y alcantarillado para situaciones de desastre producidas por terremotos.* Septiembre. 1985.

Martinez H. Raúl, Quijada Ll. Luis, Vergara M. José. *Tesis para optar al título de Geógrafo. Aplicación de Sistemas de Información Geográfica ante la ocurrencia de procesos de origen natural o antrópico.* Universidad de Playa Ancha, Valparaíso 1997.

México. *Comisión Nacional del Agua. Curso / Taller Prevención y control de emergencias en redes de agua potable y alcantarillado.* Jiutepec, México. Mayo 1992.

Oficina para la Asistencia de Catástrofes en América Latina y El Caribe, OFDA - USAID. *Curso de Evaluación de Daños y Análisis de Necesidades EDA; Manual del Participante*, 1995.

Organización Panamericana de la Salud OPS/OMS. *Manual sobre preparación de los servicios de agua potable y alcantarillado para afrontar situaciones de emergencia*, 1990.

Organización Panamericana de la Salud OPS/OMS. *Mitigación de Desastres Naturales en Sistemas de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario; Guías para el análisis de vulnerabilidad*, 1998.

Organización Panamericana de la Salud OPS/OMS. *Planificación para Atender Situaciones de Emergencia en Sistemas de Agua Potable y Alcantarillado. Cuaderno Técnico 37*, 1993.

Plaza N., Galo; Yepéz A., Hugo. *Manual para la mitigación de desastres naturales en sistemas rurales de agua potable*. Quito. Organización Panamericana de la Salud, 1998.

Soto Valenzuela Benjamín Alberto. *Memorias para optar al título de Ingeniero Civil. Análisis de riesgo sísmico del acueducto de Las Vegas a través de un enfoque de líneas vitales*. Valparaíso 1989.

Escuela Politécnica Nacional, Municipio de Quito, Geohazard International, Orstom y OYO Corp., Proyecto de Manejo del Riesgo Sísmico en Quito, Yepes, H., (Local Coordinator), Fernández, J., Valverde, J., Bustamante, G., Chatelain, J.L., Kaneko, F., Villacís C., Yamada, T., Tucker, B., *The Quito, Ecuador, earthquake risk management project: Methods and findings*. Geohazards International Publication, San Francisco, 1994, 240 p.

[www.cepis.ops.oms.org](http://www.cepis.ops.oms.org)

[www.epn.edu.ec](http://www.epn.edu.ec)

## **ANEXOS**

### **PRIMERA PARTE**

### **CUADROS Y MAPAS**



**FIGURA 1: ZONAS SÍSMICA DEL ECUADOR. CEC2002**

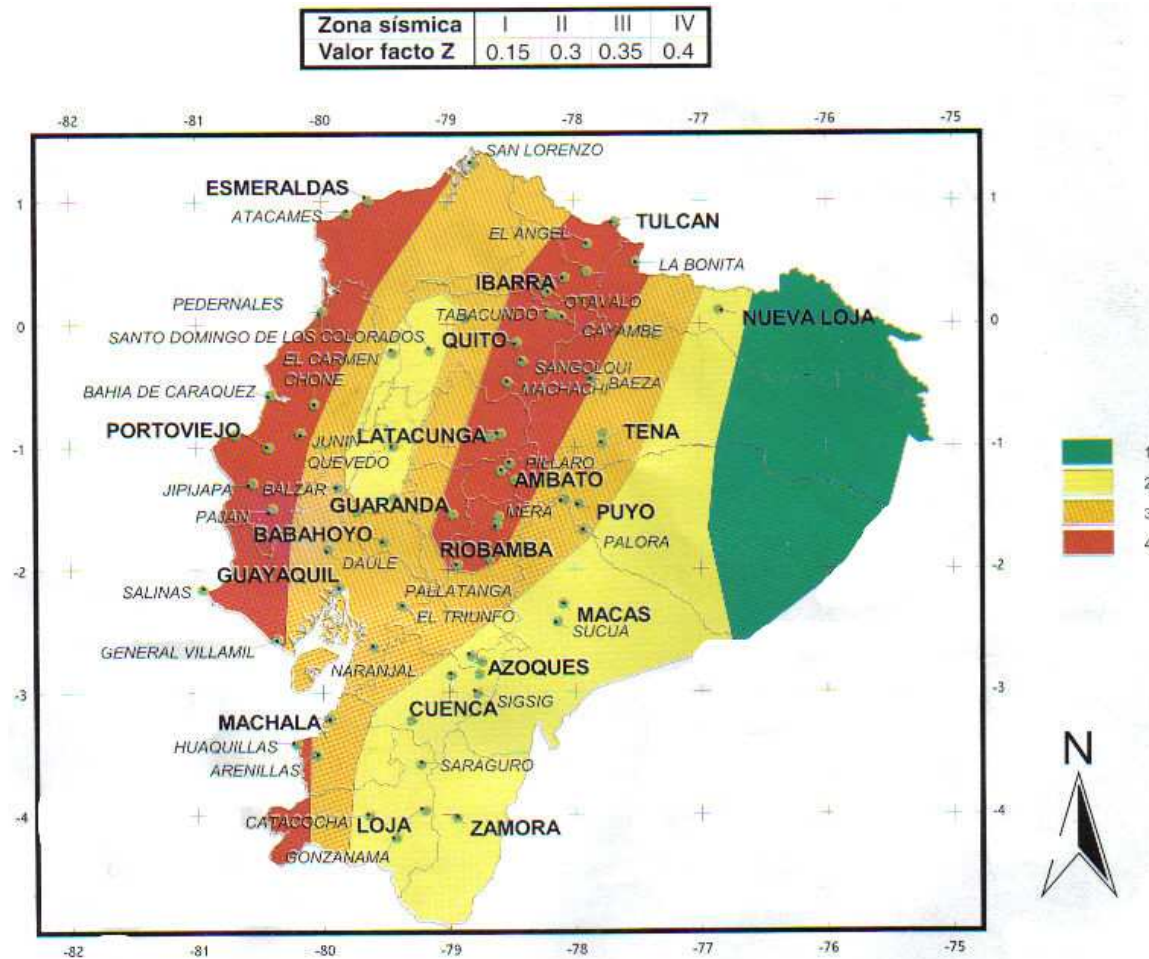
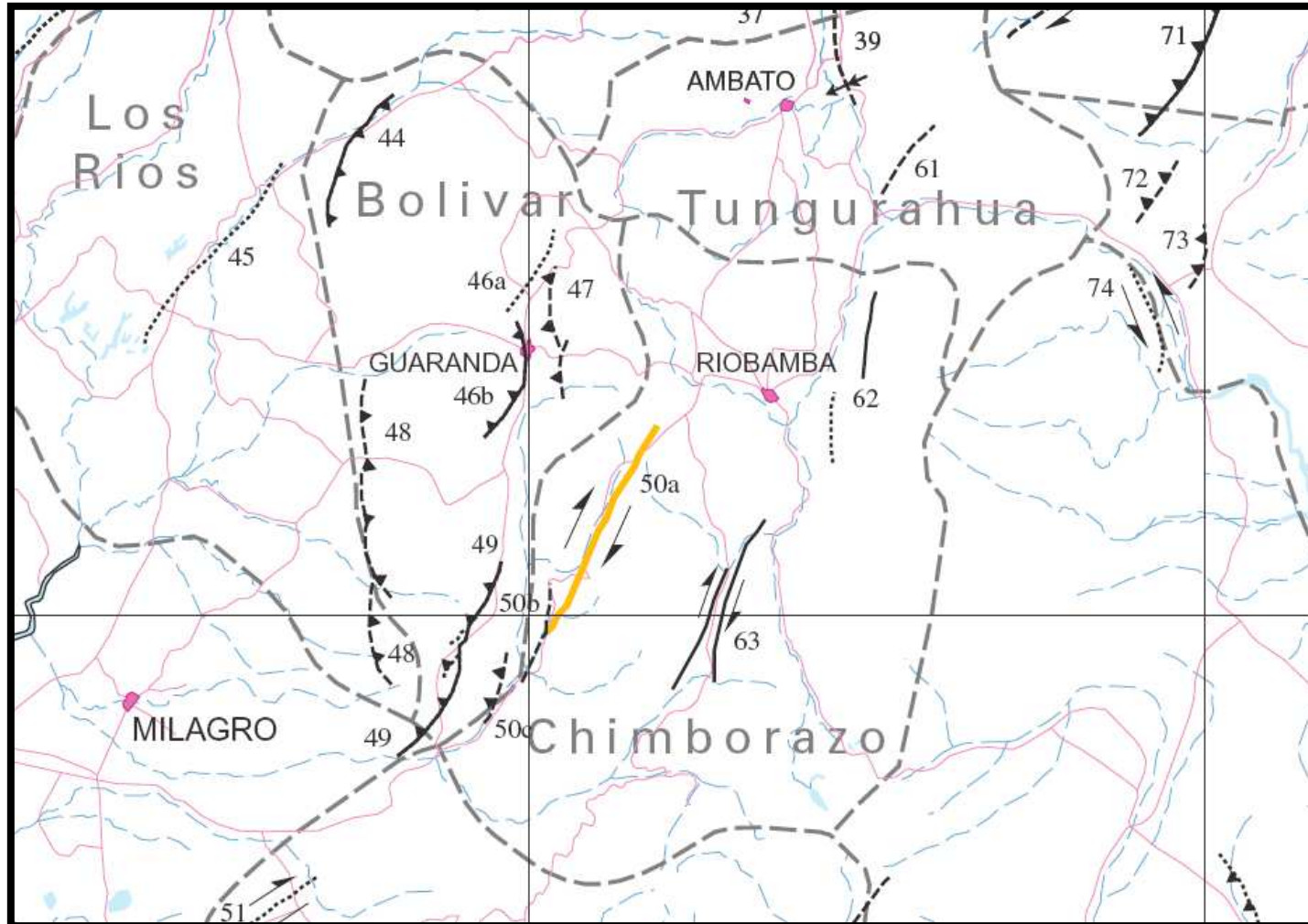
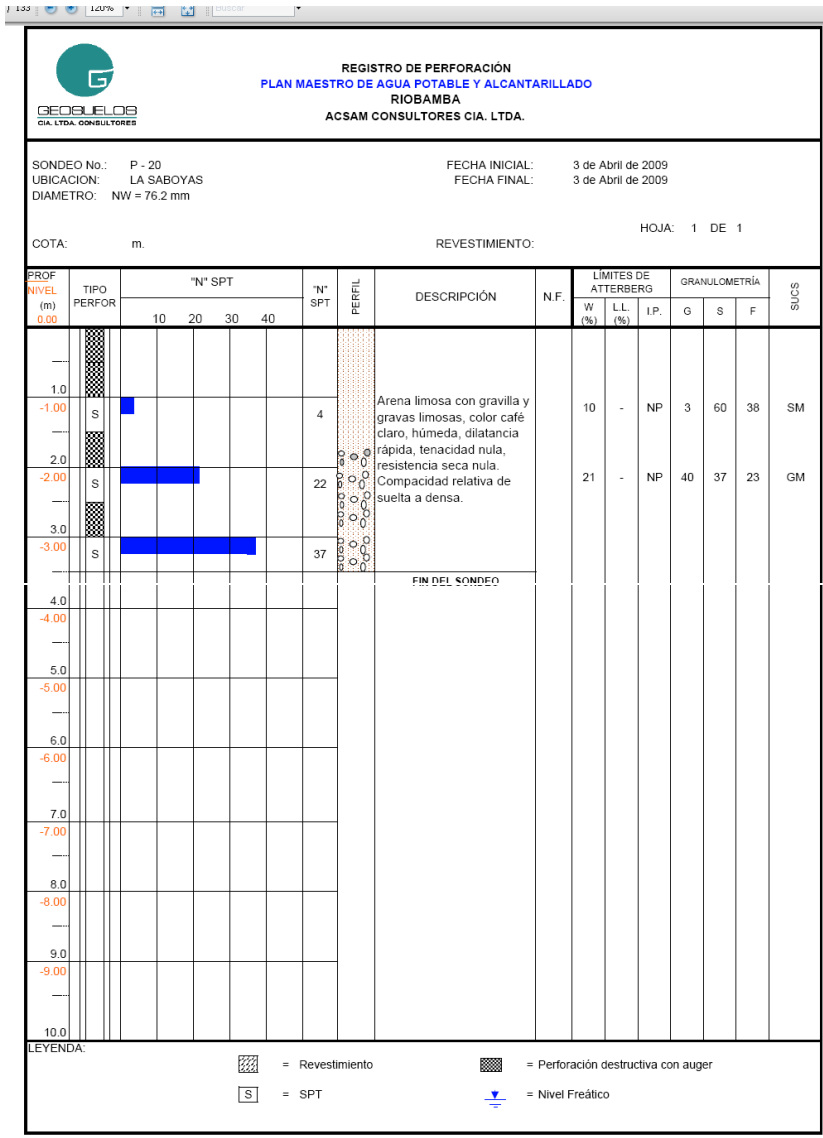


FIGURA 2: MAPA DE FALLAS PLIEGUES CUATERNARIAS, ECUADOR, PROVINCIA DE CHIMBORAZO



**FIGURA 3: ESTUDIO DE SUELOS. TANQUE REDONDO DE 2000 m3.**



**ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DE CARGA POR ASENTAMIENTOS EN FUNCION DE "N" (SPT)**

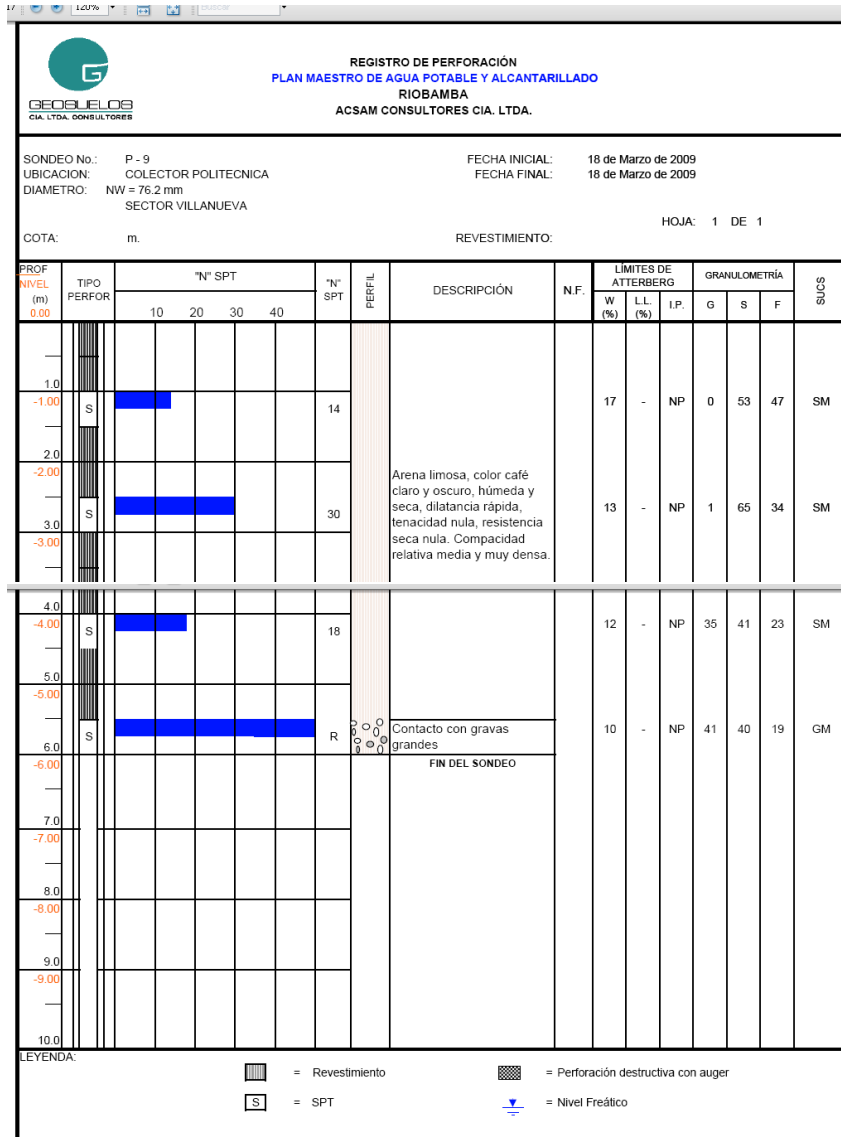
SONDEO: P - 20

$\gamma = 1.70 \text{ t/m}^3$

Nivel freático: m

Prof. (m)	N (SPT)	N <sub>70</sub>	N (CORR)	zapatas y vigas		
				q <sub>a</sub> (mey) (t/m <sup>2</sup> ) B= 2.00 m	q <sub>a</sub> (mey) (t/m <sup>2</sup> ) B= 5.00 m	q <sub>a</sub> (mey) (t/m <sup>2</sup> ) prom.
0.00						
1.00	4	4.8	4.80	6.19	4.80	5.49
2.00	22	22.4	22.37	29.71	23.75	26.73
3.00	37	30.7	30.71	40.80	34.52	37.66

**FIGURA 4: ESTUDIO DE SUELOS. TANQUE RECTANGULAR DE 1000 m3.**



**ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DE CARGA POR ASENTAMIENTOS EN FUNCION DE "N" (SPT)**

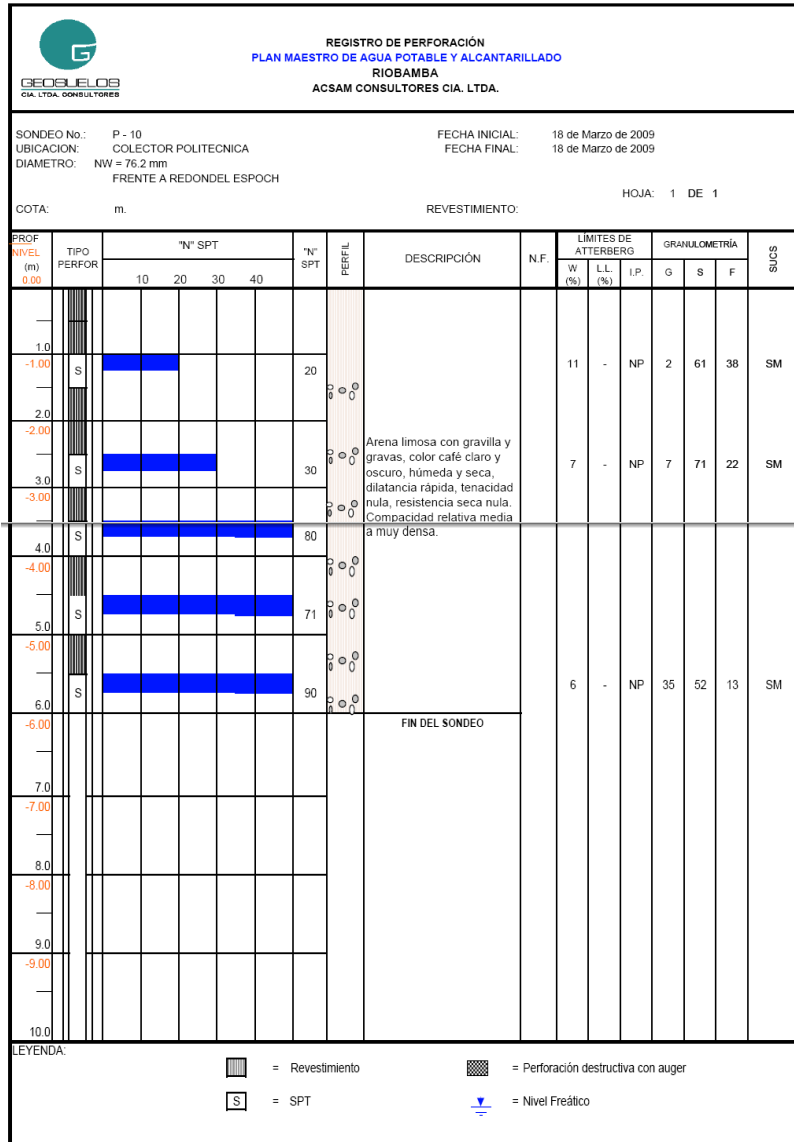
SONDEO: P - 9

$\gamma = 1.70 \text{ t/m}^3$

Nivel freático: m

Prof. (m)	N (SPT)	N <sub>70</sub>	N (CORR)	zapatas y vigas		
				q <sub>a</sub> (mey) (t/m <sup>2</sup> )	q <sub>a</sub> (mey) (t/m <sup>2</sup> )	q <sub>a</sub> (mey) (t/m <sup>2</sup> )
				B= 2.00 m	B= 5.00 m	prom.
0.00						
1.00	14	16.8	16.80	21.66	16.80	19.23
2.50	20	18.2	16.78	22.29	18.34	20.31
4.00	18	14.7	14.67	19.48	16.51	17.99
5.50	60	41.7	41.69	55.37	46.93	51.15

FIGURA 5: ESTUDIO DE SUELOS. COLECTOR APR3-3.



**ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DE CARGA POR ASENTAMIENTOS EN FUNCION DE "N" (SPT)**

SONDEO: P - 10       $\gamma = 1.70 \text{ t/m}^3$

Nivel freático: m

Prof. (m)	N (SPT)	N <sub>70</sub>	N (CORR)	zapatas y vigas		
				q <sub>a</sub> (mey) (t/m <sup>2</sup> ) B= 2.00 m	q <sub>a</sub> (mey) (t/m <sup>2</sup> ) B= 5.00 m	q <sub>a</sub> (mey) (t/m <sup>2</sup> ) prom.
0.00						
1.00	20	24.0	24.00	30.95	24.00	27.47
2.50	30	27.3	27.28	36.23	29.81	33.02
3.50	80	61.5	58.70	77.97	66.08	72.03
4.50	71	54.5	54.54	72.44	61.39	66.92
5.50	90	62.5	62.53	83.06	70.39	76.73

FIGURA 6: REGISTRO DE RESISTENCIA CARACTERÍSTICA CON ESCLERÓMETRO. TANQUE REDONDO DE 2000 m3.



## ESTUDIOS ESPECIALIZADOS

Laboratorio de Ensayo de Materiales, Mecánica de Suelos y Pavimentos

Latacunga: José María Urbina 4-52 y Andrés F. Córdova Telf.: 2803910

Riobamba: Parque Industrial Calles Antonio Santillán y Bolívar Bonilla

Teléfonos: 2942-083 / 2942-084

Cel: 091349639 / 091351037 / 091350082 / 032942083 / 032942084 e-mail: victorllanga@yahoo.es

CODIGO												ee-E-150-2009							
INSTITUCION: <b>EMPRESA DE AGUA POTABLE DE RIOBAMBA</b>										NORMAS: <b>ASTM C 805-97</b>									
PROYECTO: <b>TANQUE DE RESERVORIO - TANQUE CUADRADO EL RECREO</b>										NUMERO DE DATOS: <b>40</b>		ANGULO DE DISPARO: <b>.0°</b>							
SOLICITADO POR: <b>ING. MARIELA ZAMBRANO</b>					FISCALIZA: <b>ING. MARIELA ZAMBRANO</b>					ELEMENTO DE ENSAYO: <b>TANQUE PARED</b>									
UBICACION: <b>RIOBAMBA - CHIMBORAZO</b>					FECHA ENTREGA INFORME: <b>5 de septiembre de 2009</b>					NOTA: <b>1MPa = 10 kg/cm2</b>									
No.	DATO LECTURA	ESFUERZO CUBICO (MPa)	ESFUERZO CUADRADO (MPa)	No.	DATO LECTURA	ESFUERZO CUBICO (MPa)	ESFUERZO CUADRADO (MPa)	No.	DATO LECTURA	ESFUERZO CUBICO (MPa)	ESFUERZO CUADRADO (MPa)	No.	DATO LECTURA	ESFUERZO CUBICO (MPa)	ESFUERZO CUADRADO (MPa)				
1	29	23	29,00	11	33	29	36,00	21	33	29	36,00	31	34	31	39,00				
2	29	23	29,00	12	32	27	34,00	22	32	27	34,00	32	33	29	36,00				
3	32	27	34,00	13	30	25	31,00	23	30	25	31,00	33	34	31	39,00				
4	33	29	36,00	14	32	27	34,00	24	34	31	39,00	34	35	33	41,00				
5	34	31	39,00	15	32	27	34,00	25	35	33	41,00	35	37	36	45,00				
6	35	33	41,00	16	34	31	39,00	26	37	36	45,00	36	34	31	39,00				
7	34	31	39,00	17	35	33	41,00	27	34	31	39,00	37	36	34	43,00				
8	33	29	36,00	18	33	29	36,00	28	32	27	34,00	38	34	31	39,00				
9	33	29	36,00	19	38	38	48,00	29	35	33	41,00	39	35	33	41,00				
10	32	27	34,00	20	34	31	39,00	30	34	31	39,00	40	37	36	45,00				
PROMEDIO: <b>37,80 MPa</b>				DESVIACION ESTANDAR: <b>4,30 MPa</b>								COEFICIENTE DE VARIACION: <b>0,10 MPa</b>				OBSERVACIONES: <b>CONTROLS - MAYOR 14 DIAS</b>			
RESISTENCIA CARACTERISTICA: <b>32,00 MPa</b>				DISPERSION: <b>+/- 6.00 MPa</b>															

FIGURA 7: REGISTRO DE RESISTENCIA CARACTERÍSTICA CON ESCLERÓMETRO. TANQUE CUADRADO 1000 m3.



## ESTUDIOS ESPECIALIZADOS

Laboratorio de Ensayo de Materiales, Mecánica de Suelos y Pavimentos

Latacunga: José María Urbina 4-52 y Andrés F. Córdova Telf.: 2803910

Riobamba: Parque Industrial Calles Antonio Santillán y Bolívar Bonilla

Teléfonos: 2942-083 / 2942-084

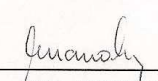
Cel: 091349639 / 091351037 / 091350082 / 032942083 / 032942084 e-mail: victorllanga@yahoo.es

CODIGO
ee-E-154-2009

INSTITUCION: <b>EMPRESA DE AGUA POTABLE DE RIOBAMBA</b>		NORMAS: <b>ASTM C 805-97</b>	
PROYECTO: <b>TANQUE DE RESERVORIO - TANQUE D SABOYA</b>		NUMERO DE DATOS: <b>40</b>	ANGULO DE DISPARO: <b>.0°</b>
SOLICITADO POR: <b>ING. MARIELA ZAMBRANO</b>	FISCALIZA: <b>ING. MARIELA ZAMBRANO</b>	ELEMENTO DE ENSAYO: <b>TANQUE PARED</b>	
UBICACION: <b>RIOBAMBA - CHIMBORAZO</b>	FECHA ENTREGA INFORME: <b>5 de septiembre de 2009</b>	NOTA: <b>1MPa = 10 kg/cm2</b>	

No.	DATO LECTURA	ESFUERZO CUBICO (MPa)	ESFUERZO CUADRADO (MPa)	No.	DATO LECTURA	ESFUERZO CUBICO (MPa)	ESFUERZO CUADRADO (MPa)	No.	DATO LECTURA	ESFUERZO CUBICO (MPa)	ESFUERZO CUADRADO (MPa)	No.	DATO LECTURA	ESFUERZO CUBICO (MPa)	ESFUERZO CUADRADO (MPa)
1	38	38	48,00	11	40	41	51,00	21	40	41	51,00	31	44	49	61,00
2	42	45	56,00	12	41	43	54,00	22	40	41	51,00	32	41	43	54,00
3	36	34	43,00	13	41	43	54,00	23	45	51	64,00	33	39	40	50,00
4	36	34	43,00	14	42	45	56,00	24	38	38	48,00	34	40	41	51,00
5	40	41	51,00	15	41	43	54,00	25	39	40	50,00	35	39	40	50,00
6	48	57	71,00	16	39	40	50,00	26	44	49	61,00	36	38	38	48,00
7	38	38	48,00	17	38	38	48,00	27	39	40	50,00	37	42	45	56,00
8	41	43	54,00	18	38	38	48,00	28	41	43	54,00	38	40	41	51,00
9	39	40	50,00	19	39	40	50,00	29	39	40	50,00	39	38	38	48,00
10	39	40	50,00	20	37	36	45,00	30	46	53	66,00	40	40	41	51,00

PROMEDIO: <b>52,20</b>	<b>MPa</b>	DESVIACION ESTANDAR: <b>5,80</b>	<b>MPa</b>
CORFICIENTE DE VARIACION: <b>0,10</b>	<b>MPa</b>	OBSERVACIONES: <b>CONTROLS - MAYOR 14 DIAS</b>	
RESISTENCIA CARATERISTICA: <b>44,40</b>	<b>MPa</b>	DISPERSION: <b>+/- 6.00</b>	<b>MPa</b>

  
**ING. JORGE O. LLANGA CH.**

**ANEXOS**

**SEGUNDA PARTE**

**PLANOS**