

## **VULNERABILIDAD SISMICA DE LA CIUDAD DE ANTOFAGASTA**

### **Autores:**

#### **Equipo Técnico Proyecto RADIUS Antofagasta**

- **Patricio Tapia G.**, Ingeniero Civil, Académico Depto. Ingeniería Civil, Universidad Católica del Norte
- **Walter Roldán L.**, Ingeniero Civil, Académico Depto. Ingeniería Civil, Universidad Católica del Norte
- **María Soledad Bembow**, Geólogo, Académico Depto. Ciencias Geológicas, Universidad Católica del Norte
- **Mario Pereira A.**, Geólogo, Académico Depto. Ciencias Geológicas, Universidad Católica del Norte

### **RESUMEN**

La existencia de ciudades en sitios con alta sismicidad, unido a la vulnerabilidad inherente de las estructuras que componen la infraestructura de dichas ciudades, hace necesario el estudio de esta componente dentro de la planificación urbana. De hecho esta planificación debe estar siempre de acuerdo con el riesgo de vivir en las ciudades y conjugar eficientemente los conceptos de crecimiento armónico y seguridad de los asentamientos humanos.

Generar herramientas para el manejo del riesgo y por ende mitigar, permite a los planificadores tomar decisiones por ejemplo en el uso del suelo, porque no todos los puntos de la ciudad son vulnerables y la ciudad no puede ver impedido su crecimiento debido al riesgo sísmico. Se debe convivir con la sismicidad que no podemos controlar pero a su vez se debe controlar la vulnerabilidad de lo que se construye, ya que el daño potencial final depende de la sismicidad del sitio y de la vulnerabilidad de lo construido.

Para establecer el posible escenario sísmico en la ciudad de Antofagasta se desarrolló un Sistema de Información Geográfico, donde se incorporó a todos los elementos que participan en el funcionamiento de la ciudad. El análisis se dividió en Edificación, Líneas Vitales, Servicios Esenciales e Infraestructura de Transporte. Mediante entrevistas con los organismos involucrados se pudo establecer la vulnerabilidad de cada uno de los sistemas, lo que se tradujo en la determinación de las funciones de vulnerabilidad, que representan el daño promedio esperado en algún sistema en función de un parámetro sísmico, como la IMM. La intersección de estas curvas con un plano de intensidades sísmicas esperadas en la ciudad, producto de la ocurrencia de un evento sísmico mayor ( $M > 8.0$ ), permite determinar el daño probable.

El establecimiento de planos de daños potenciales tanto para la edificación, líneas vitales, servicios esenciales y sistema de transporte permite detectar las fallas del sistema llamado ciudad, generar planes de mitigación y por último planificar la actuación en la emergencia.

### **Abstract**

Urban planning for cities in earthquake zones must contain a component related to the study of the seismic vulnerability of the infrastructure. This type of planning has to balance the inherent risk of living in such cities, harmonic development and safety.

It is not possible to control seismic events but it is possible to control the vulnerability of what is built. The generation of tools to analyse and mitigate risk allows planners to identify low risk areas where it is not necessary to impede growth.

To establish a potential earthquake scenario for the city of Antofagasta a Geographical Information System (GIS) was developed which incorporated all the elements which participate in the functioning of a city. The analysis was divided into various sectors: buildings, life lines, essential services and transport infrastructure. Through interviews with the organisations involved in these sectors it was possible to establish the vulnerability of each system. This represents the average potential damage to a system as a function of a seismic parameter for example the Modified Mercalli Intensity (MMI). The concurrence of these functions with a zonification of the city in terms of expected intensities due to a major earthquake ( $M > 8,0$ ), allow the determination of the probable damage.

The determination of plans of potential damage in each area allows the defects in the city system to be detected and mitigation and emergency plans to be generated.

## **INTRODUCCION**

La sismicidad es una característica del planeta tierra que no se puede remediar, se tiene que vivir con ella, aceptarla como una realidad que supera por largo tiempo el andar del hombre en la tierra. Es precisamente éste el que se ha encargado de construir un entorno vulnerable, ya que resulta extremadamente caro diseñarlo con vulnerabilidad nula. Sismicidad y vulnerabilidad van de la mano cuando se trata de evaluar el daño debido a la ocurrencia de terremotos. En todas las regiones del planeta, con menor o mayor grado, existe una sismicidad. En algunos casos ésta es tan alta que a no mediar el hecho que no existe un entorno vulnerable, las catástrofes serían de proporciones. Las ciudades, al ser vulnerables, cuando se encuentran en una región con alta sismicidad, pasan a ser un entorno con peligro sísmico. La lección es fácil, la sismicidad no puede ser controlada y a pesar de que mucho se ha avanzado en el estudio de esta materia, la ocurrencia de terremotos sigue siendo espacial y temporalmente no previsible en forma exacta, lo que obliga a que el enfoque de los que planifican las ciudades apunte hacia el mejoramiento de la vulnerabilidad. En la mayoría de los casos, la disminución de la vulnerabilidad del entorno de ciudad no se logra incrementando fuertemente la resistencia estructural de las edificaciones, las líneas vitales o la infraestructura de transporte, sino que haciendo más coherente la concepción de todo aquello presente en la ciudad y que hace que ésta funcione y se desarrolle.

El presente trabajo es un resumen del Proyecto RADIUS [Ref.1], desarrollado en la ciudad de Antofagasta, que estudió la vulnerabilidad sísmica de la ciudad y que contó con el patrocinio de las Naciones Unidas y el Gobierno Regional

## **INTENSIDADES SISMICAS**

La microzonificación sísmica tiene por objeto distinguir aquellas zonas o sectores que presenten diferente comportamiento en terremotos destructores, para el mismo tipo de infraestructura, recomendando, adicionalmente, precauciones especiales de protección sísmica, y pudiendo llegar, incluso, a establecer prohibiciones de construcción de cierto tipo de infraestructura en algunas zonas de la ciudad. Por este motivo, es de vital importancia esta información para determinar la vulnerabilidad de las edificaciones, la infraestructura de transporte y líneas vitales.

El disponer de mapas de microzonificación sísmica de las ciudades viene a resolver uno de los mayores problemas que se presenta en la protección sísmica que es el de la infraestructura social. Esta problemática, conjuga simultáneamente la necesidad de construir la mayor cantidad de infraestructura, con una gran limitación de fondos disponibles, por lo que es muy importante asegurar la aplicación de criterios de seguridad sísmica.

En este sentido, los mapas de microzonificación sísmica permiten asignar mejor los recursos destinados a la protección, evitando construcciones en zonas de mal comportamiento sísmico.

Para la elaboración del mapa de intensidades de la ciudad de Antofagasta, se empleó la siguiente información:

- Sismicidad de la zona
- Estudio Geológico de la Zona de Antofagasta
- Zonificación Geotécnica de la ciudad de Antofagasta
- Riesgo de deslizamientos y otros efectos colaterales

## **Sismicidad e historia sísmica**

Desde la segunda mitad del siglo pasado se ha reconocido como principal fuente generadora de sismos a la tectónica de placas, que se puede visualizar pensando que la corteza del planeta no es

continua y que se encuentra quebrada en varias partes. Como a su vez la corteza se encuentra sobre un estrato semi-líquido, el movimiento relativo de estas cáscaras se ve favorecido. Una vez que se vence la resistencia friccionante de las asperezas que durante algún tiempo impidieron el desplazamiento entre placas, se produce una liberación brusca de energía conocida como terremoto. La Zona Andina del continente sudamericano está dentro del cinturón del circunpácifico, que es reconocido mundialmente como la región sísmica más activa del planeta, en ella ocurre el 85% de los terremotos.

Pero no es sólo la tectónica de placas la generadora de los grandes movimientos sísmicos, muchos de ellos también se producen por movimiento de fallas, siendo en otros países la mayor fuente generadora de sismos. La peor combinación posible es una región que esté afecta a un fenómeno de subducción de placas y en ella se encuentren fallas principales o ramificaciones activas. La posible amplificación del movimiento superficial, que es el que finalmente interesa, puede resultar en una catástrofe de proporciones.

Chile, es parte del Circum-Pacífico y emerge como la región más sísmica del mundo, con la excepción de Japón. Como país, posee la faja sísmica continua más larga del mundo, abarcando desde la latitud 18° S hasta la Latitud 56° S. Sin embargo, dada la longitud del territorio de Chile, se advierte una variación en sus características sísmicas.

Un estudio preliminar de los epicentros observados permite asegurar que la sismicidad disminuye notablemente al sur del paralelo 46° S debido a que, la interacción entre la placa sudamericana con la zona de subducción de la placa de Nazca, llega hasta aproximadamente el paralelo 46° S (altura de Puerto Aysén). Por eso, al Norte del paralelo 46° S, se encuentra la parte del territorio con mas actividad sísmica sostenida del país. Labbé y Saragoni, han propuesto una zonificación sísmica, distinguiendo cuatro zonas [Ref. 3], [Ref.4], [Ref.5], [Ref.6].

- La Zona 1, desde Arica hasta Taltal, entre los paralelos 18° S y 26° S, que presenta la más alta sismicidad de las cuatro zonas del país.
- La Zona 2, de Taltal a Linares, entre los paralelos 26° S y 36° S, con una sismicidad menor que la anterior.

- Zona 3, de Linares a Puerto Aysén entre los paralelos 36° S y 46° S, con una sismicidad similar a la anterior.
- La Zona 4, de Puerto Aysén a Cabo de Hornos, entre los paralelos 46° S y 56° S, que posee una sismicidad notoriamente menor que las otras.

La ciudad de Antofagasta está incluida en la Zona 1, zona de gran sismicidad, con sismos que varían entre 40 y 120 Km de profundidad.

A pesar de existir escasos relatos de la ocurrencia histórica de sismos pasados en esta zona, en base a antecedentes disponibles fue posible elaborar un completo registro sísmico desde el año 1604 hasta el año 1999 con más de 720 eventos con mecanismos focales a lo largo de la zona 1, utilizando los catálogos SISRA, NOAA, NEIC, PDE, PDE-W.

En al Figura 1 se muestra un mapa con la ubicación de los sismos más importantes, con magnitud Richter igual o superior a 6.0.

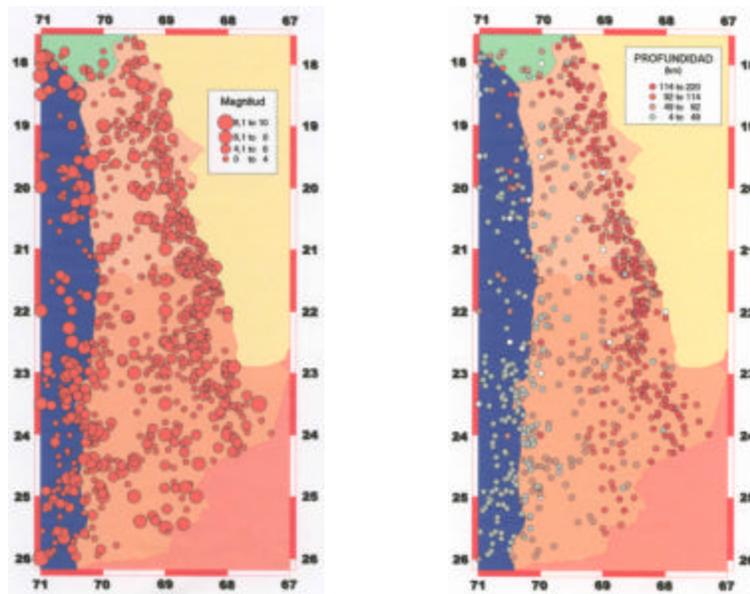


Fig.1.- Sismos en la Zona Norte de Chile (I y II Regiones)

### **Antecedentes de terremotos recientes**

Para establecer el nivel de intensidades en la ciudad se requiere evaluar las características del suelo, en cuanto a los movimientos registrados. Lamentablemente la historia no puede aportar mucha información, ya que no existen muchos movimientos fuertes registrados por instrumentación. De los terremotos antiguos, el mejor antecedente de sismo fuerte que se dispone corresponde al sismo de 1877, con una estimación de magnitud de  $M_w = 9.0$ . Este sismo abarcó la zona norte del país, comprometiendo desde la ciudad de Arica hasta las cercanías de Tocopilla. El límite sur de la ruptura provocada coincide con el límite norte de la correspondiente al sismo de 1995. Se estima que el sismo de 1995 ( $M_w = 8.0$ ) sólo corresponde a uno precursor de otro gran evento parecido al del 1877. De este último sismo solo se cuenta con un registro instrumental, medido en roca con un acelerógrafo digital. Este arrojó un peak de aceleración aislado de 0.28g en la dirección E-O. La duración del movimiento fuerte se estableció en 40 segundos.

### **Marco Geológico de la zona de Antofagasta**

En la península de Mejillones afloran unidades litológicas premesozoicas que constituyen el Basamento Metamórfico paleozoico inferior, intruido por granitoides de probable edad paleozoica superior. Al oriente, en la Cordillera de la Costa, en cambio, predominan las volcanitas jurásicas de la Formación La Negra (principal fundación de la ciudad de Antofagasta), además de complejos plutónicos del Mesozoico. Al Este y Sureste, afloran sedimentitas marinas y continentales del Jurásico Superior-Cretácico temprano a medio, correspondientes a las formaciones Caleta Coloso y El Way. En la zona comprendida entre la Cordillera de la Costa y el horst de la península de Mejillones, afloran una serie de unidades sedimentarias, principalmente marinas, que evidencian una compleja evolución desde el Mioceno Inferior hasta el Pleistoceno .

En la ciudad de Antofagasta se encuentran unidades geológicas perteneciente a dos grupos bien definidos: a) el basamento mesozoico, compuesto por volcanitas y volcanoclastitas de la formación La Negra, un granitoide principalmente diorítico y una unidad de conglomerados y areniscas rojas

pertenecientes a la formación Caleta Coloso; las dos últimas afloran en y al sur de la quebrada El Way, y b) la cobertura cenozoica, conformada por sedimentos marinos y continentales semi a no consolidados, originados por la denudación de las rocas basales. Debido a su importancia dentro de la caracterización geotécnica de la ciudad, destacan entre estos suelos:

Depósitos debido a flujos de detritos: de granulometría media a fina, perteneciente a la facie distal de los depósitos coluviales producto de un transporte viscoso de las partículas, en periodos de lluvia y clasificados por la literatura como Fenómeno de Remoción de Masa de flujo rápido en pendientes empinadas.

Depósitos terrígenos de terraza: Depósitos debido a flujos de tierra, producto de la remoción de material fino y grueso, en lapsos de semanas hasta meses, en pendientes moderadas (10° - 15°), sobre los depósitos marinos de terrazas o en caso contrario, sobre la roca basal.

Depósitos aluviales actuales: materiales detríticos transportados por flujos acuosos, encausados en quebradas que disectan la Cordillera de la Costa y que se derraman a la salida de éstas en forma de conos de eyección o abanicos aluviales. Se caracterizan por tener una baja eficacia de transporte y en periodos lluviosos una alta eficacia, con un dominio de Fenómenos de Remoción de Masa rápidos (flujos de detritos y barro) provocando aluviones. Los materiales finales son arenas gravosas y cantos angulosos en la cabecera con matrices levemente limosas y un alto contenido de sales solubles en las facies distales o del pie.

### **Fallas Geológicas que afectan a la ciudad**

Las estructuras principales que afectan a la terraza de Antofagasta y al macizo rocoso de la Cordillera de la Costa, corresponden a ramificaciones de las fallas Salar del Carmen y Caleta Coloso por el sur, las que en su conjunto pertenecen a la Zona de Falla de Atacama. El dominio estructural de la falla Salar del Carmen controla, en cierto grado, la traza y alzamiento del acantilado pleistoceno, mientras que la falla Caleta Coloso permitió el emplazamiento de la Diorita

Jorgillo. De esta forma, se reconocen fallas de orientación submeridianas NNW y NNE, y de acuerdo a observaciones de terreno, se verificó que estas últimas son las que finalmente modelaron la morfología actual del borde costero de la ciudad. Si bien durante su historia tectónica, han sido activadas y reactivadas sucesivamente, con movimientos sinestrales y normales, actualmente se discute un movimiento de tipo dextral como el último, en concordancia con la dirección EN del eje de avance de la Placa de Nazca.

Se evaluó la probabilidad de activación de alguna de las fallas secundarias de la Gran Falla de Atacama, que atraviese la ciudad, llegándose a la conclusión que no existen antecedentes suficientes como para pronunciarse al respecto.

### **Generación de plano de intensidades**

Se estableció un plano de distribución de calidades de suelos tomando en cuenta su comportamiento sísmico y los antecedentes geológicos y geotécnicos [Ref.7]. La clasificación de suelos correspondió a Roca, Suelo Denso, Suelo Medio y Suelo Suelto. Cabe destacar que el suelo más abundante en la ciudad, a parte de los afloramientos rocosos, es la arena limosa de compacidad media, que para efectos de este estudio fue catalogada como Suelo Denso. En algunos sectores existe una costra salina muy dura que alcanza los dos metros de espesor.

Con el valor de aceleración medido para el sismo de 1995, el que arrojó intensidades de entre VI y VII en la escala de Mercalli Modificada en la ciudad, se extrapoló el comportamiento que tendría el suelo para un evento sísmico de magnitud  $M_s = 8.0$ . La justificación para esta magnitud radica en el hecho que el arrugamiento de la interacción de las placas de Nazca y Sudamericana tiene una deformación acumulada de doce años que implicaría una liberación de energía de deformación sólo representada por un sismo de esa magnitud (Cisternas et al).

Mediante una relación de atenuación apropiada, calibrada para sismos chilenos de la zona central y con el requisito de adecuarse al único registro disponible en la zona, se determinó el nivel de aceleración en roca para un evento mayor. De tablas que relacionan la aceleración de otros tipos de suelos con respecto a la roca mediante factores de mayoración [Ref.8], se obtuvo finalmente el nivel de aceleraciones para suelos menos densos como los típicos de la ciudad. Usando una

relación entre aceleraciones basales máximas e IMM [Ref.9], se determinó el plano de intensidades de la ciudad. Se hicieron ajustes posteriores en función del plano de riesgo por deslizamiento y presencia de costra salina, los que influyeron en el aumento de grado de intensidad de la zona en que se ubican geográficamente estas singularidades.

Fig.2.- Zonificación Geotécnica de la Ciudad de Antofagasta

### **Riesgos Colaterales.-**

#### **Tsunami**

La ocurrencia de un Tsunami, se evaluó en función de las Cartas de Inundación proporcionadas por el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile (SHOA), el cual realizó una simulación numérica del nivel que alcanzarían las aguas. Este modelo y sus resultados fueron comparados con los eventos de los años 1877 y 1995, logrando una buena correspondencia. La falencia que presenta este análisis es que no considera parte de la infraestructura actual de costa, lo que de alguna forma sobrestima la inundación.

La Rada de Antofagasta limita al sur con Punta Brava, con una línea de costa que se extiende al noreste, hasta la desembocadura de la Quebrada La Negra. La costa es en su mayor parte rocosa y presenta a corta distancia de tierra algunos arrecifes rocosos. Está enteramente abierta al occidente y expuesta a la marejada y vientos dominantes en esa dirección.

De acuerdo a la estadística de los Tsunami que se han presentado en la costa de Chile, los maremotos más desastrosos que han afectado a la zona norte fueron generados por sismos cuyos epicentros ocurrieron frente a su costa. Los Tsunamis producto de un sismo de origen lejano han llegado en general en forma bastante atenuada [Ref.10].

En base a la recopilación de estadísticas de alturas de olas producidas en la zona y la magnitud de los sismos que las han originado, se puede apreciar que las mayores han sido provocadas por sismos cuyos epicentros se encuentran ubicados al sur de dicho puerto.

El riesgo de Tsunami, está fuertemente ligado con el riesgo sísmico marino. Se sabe que sólo algunos sismos marinos generan Tsunami, por lo que es posible aventurar que el riesgo de Tsunami es inferior al riesgo sísmico marino.

Sólo la zona de contacto interplacas es la que podría originar Tsunami, ya que en la placa marina se producen sismos internos de poca magnitud y los otros que se generan en la superficie de la placa continental, en la zona de máxima curvatura, son sólo debido a fallas del material componente. Estos agrietamientos producidos por las fallas, nunca son tan intensos como para transmitir una fuerte deformación a la superficie del agua y por lo tanto dar origen a un Tsunami

Evaluando la expresión de Lida (1973 Lecture notes and seismology), la magnitud mínima, para que se genere un Tsunami desastroso es de  $M = 8.03$ , para una profundidad focal de 35 km. La altura vertical comprendida entre el nivel medio del mar y la altitud alcanzada por la ola al momento de deslizarse sobre la playa (Runup) se puede determinar por la relación de Wilson, que se expresa de la siguiente manera:

$$\text{LogR} = 0.75 * M - 5.07$$

Evaluando para  $M = 8,0$  ; resulta  $R = 8.5$  metros.

### Incendios

La ciudad no cuenta con redes de distribución de Gas Licuado, lo que reduce el riesgo de incendio luego de un sismo desastroso. También reduce el riesgo de incendio la disposición de áreas de distribución de energía eléctrica en la ciudad, con sistemas de protección que suspenden la energía ante la ocurrencia de variaciones importantes en el voltaje, provocadas por los cortocircuitos.

Si se considera que se ha ido abandonando la costumbre de construir en madera y que es posible encontrar aún este material en los sectores más antiguos de la ciudad y en aquellos en que se ha

desarrollado la autoconstrucción, entonces se puede concluir que el riesgo de incendio ante la ocurrencia de un sismo fuerte es moderado

En la ciudad no existen depósitos de materiales riesgosos que puedan quedar expuestos en caso de un evento sísmico, excepto lo concerniente al almacenamiento de combustible con estanques ubicados en zonas urbanizadas y en pleno centro de la ciudad. Es poco probable que se produzcan nubes tóxicas pero si contaminación por derrame o incendios

### **RECOPIACION DE LA INFORMACION. INVENTARIO DE DATOS**

Las estadísticas de daños a las edificaciones, servicios vitales (agua potable, electricidad, etc.), servicios de emergencia, etc., debido a terremotos anteriores, permiten elaborar las llamadas "Curvas de Vulnerabilidad" en base a la determinación del daño sufrido (costo a invertir para devolver la condición de serviciabilidad que tenía antes del sismo, referido al costo de reposición de la estructura), para distintas intensidades. Cuando se simula un evento sísmico, estas curvas permiten definir daños y costos asociados al evento, al ubicar la estructura sobre una caracterización de intensidad sísmica de la ciudad.

Para conocer la experiencia de la comunidad expresada a través de los organismos públicos y servicios, se realizaron más de 40 entrevistas con las principales empresas y organismos de la ciudad. En ciertos casos (hospitales, policía, puerto, servicios sanitarios, colegios, etc.), se realizaron inspecciones técnicas.

#### En el Area de Edificación Urbana:

SERVIU II Región, Dirección de Arquitectura MOP, Dirección de Obras Municipales IMA, Cámara Chilena de la Construcción Delegación Antofagasta,

#### En el área de Líneas Vitales:

ESSAN S.A., ELECDA S.A., EDELNOR, Empresas privadas del rubro Telecomunicaciones, Empresas privadas de almacenamiento y distribución de combustible.

#### En el Area de Servicios Esenciales:

Hospital Regional de Antofagasta, Clínicas de atención médica y hospitalarias privadas, Consultorios ambulatorios, Colegios, Carabineros de Chile, Bomberos, Ejército de Chile, Cruz Roja de Chile, Instituto Médico Legal, Gabinete de Identificación y Registro Civil

#### En el área Infraestructura de Transporte

Dirección de Vialidad, Dirección de Aeropuertos, Dirección de Obras Portuarias, SERVIU II Región Empresa Portuaria de Antofagasta (EPA), Ferrocarriles Antofagasta a Bolivia (FCAB)

#### **Descripción de la Edificación**

El organismo regulador de la edificación en la ciudad es la Dirección de Obras Municipales (DOM), la que a través del Plano Regulador de la Ciudad, la Ordenanza Local y la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción, debe resolver sobre la aprobación de permisos de construcción en todo el radio urbano. Para el otorgamiento de un permiso de construcción, deben concurrir en la presentación del proyecto, el propietario, los profesionales proyectistas y el constructor. Estas personas, mas el proveedor de materiales, son las que tiene responsabilidad legal sobre el proyecto que van a materializar y sobre ellos descansa la DOM en cuanto a deslindar responsabilidades ante la ocurrencia de algún inconveniente ya sea durante la construcción o posteriormente, durante el servicio. Sin embargo, esta entidad no tiene las herramientas y los recursos necesarios para pronunciarse sobre la seguridad sísmica de las estructuras y sólo interviene en aspectos tales como uso de suelo y otros aspectos arquitectónicos.

Por ley, toda construcción nueva o modificación de una existente, debe tener la aprobación de la Dirección de Obras Municipales (DOM); sin embargo, en los sectores de bajos recursos y aún en sectores medios, es común que proliferen las ampliaciones no regularizadas, que no cuentan con permiso de construcción otorgado por la DOM, lo que presupone que no cuentan con un apoyo técnico necesario en su ejecución, como para dar seguridad a los habitantes.

#### Edificación Pública

El principal organismo ejecutor de viviendas para la sociedad es el Servicio de Vivienda y Urbanización (SERVIU). Este servicio proyecta y ejecuta planes habitacionales de viviendas sociales en terrenos de propiedad fiscal. En la construcción de viviendas, el material más utilizado es la albañilería reforzada de bloques de hormigón de cemento. La estructuración de las viviendas por lo general se desarrolla en uno o dos pisos, existiendo también desarrollo de conjuntos habitacionales en edificios de altura media.

### Edificación Privada

Hoy en día, la edificación que se ha masificado en la ciudad es la privada. La demanda de viviendas es incesante debido al gran desarrollo industrial-minero de la región, lo que ha obligado al traslado a la ciudad a un número significativo de empleados y obreros. Esta mayor demanda, sumado a la escasez de oferta por la poca disposición de terrenos construibles en los mejores sectores, ha generado un alto valor de venta de los inmuebles, impulsando en los últimos años un “boom” de construcción, que le ha cambiado el rostro a la ciudad. Predominan los edificios altos en el sector costero y poco a poco se han ido utilizando todos los espacios disponibles, obligando a un crecimiento hacia las zonas altas de la ciudad (sectores centro-sur).

Para el sismo de 1995, por lo general, viviendas de construcción regulada, ya sea ejecutadas por el SERVIU o de desarrollo de proyectos inmobiliarios privados, tuvieron un buen comportamiento y los daños a este tipo de edificación se concentraron mas bien en construcciones no reguladas (autoconstrucción), en construcciones de antigua data que fueron ejecutadas sin la normativa actual, en ampliaciones de viviendas no regularizadas y realizadas con materiales inadecuados.

Los lugares de la ciudad más propensos a sufrir daños a las estructuras corresponden a aquellos donde predomina la autoconstrucción, entendiéndose a ésta como la construcción realizada sin apoyo técnico en los procesos constructivos y sin control sobre la calidad de los materiales empleados. Estos lugares se caracterizan por corresponder a terrenos ocupados a la fuerza en épocas pasadas y que con el correr del tiempo la tenencia de la propiedad se ha regularizado, sólo

desde el punto de vista legal, y no desde el punto de vista de la construcción. A todas las desventajas anteriores, se debe agregar que normalmente estas construcciones se encuentran en terrenos de zonas altas de la ciudad, donde predominan las altas pendientes y las depositaciones aluvionales, con el correspondiente peligro de deslizamientos.

### **Descripción de los Servicios Esenciales**

#### Clínicas y Hospitales

Los recintos hospitalarios presentan aspectos disímiles en función de la tenencia de la propiedad. En efecto, mientras las clínicas particulares presentan una excelente infraestructura, mantención y servicio; el mayor hospital de la región, de propiedad fiscal, presenta un estado de conservación preocupante, el que si bien, hoy no compromete la seguridad estructural del edificio, puede afectar en algún momento su funcionalidad.

Las clínicas particulares presentan pocas deficiencias, las únicas ligadas a vías de escape. Para el sismo de 1995 no experimentaron mayor daño. En momentos de emergencia, estas pueden brindar la ayuda necesaria en función de los medios que dispongan. El equipamiento que poseen es suficiente para enfrentar cualquier emergencia. Todas tienen Banco de Sangre. Estructuralmente no poseen grandes deficiencias, sin embargo dos de ellas se encuentran en zona de inundación por Tsunami

El Hospital Regional sufrió daño en 1995, especialmente en sus estanques de reserva de agua. En el interior se aprecian algunas grietas y se hicieron reparaciones mayores post-sismo. Presenta deficiencia en los accesos de emergencia. El hospital fue pensado para satisfacer las necesidades de toda la segunda región del país, de ahí su gran número de camas (702).

#### Colegios y Universidades

Aun cuando todos los colegios fueron ingresados al Sistema de Información Geográfico del estudio, los que fueron auscultados corresponden a los colegios que sufrieron daños para el sismo de 1995. Algunos de ellos se han reparado, otros aun presentan los mismos daños. Sin embargo,

de los estudios efectuados luego de la ocurrencia del terremoto de 1995, se puede concluir que ninguno presentó posibilidades de colapso.

Hoy lo que más preocupa es la ubicación de algunos colegios en zonas de inundación por Tsunami. Todos los colegios presentan planes de evacuación en caso de catástrofe. Anualmente se realizan ejercicios de emergencia a través de la denominada Operación DEYSE.

Los colegios que quedan en sectores de inundación tienen sus rutas de escape definidas y realizan ejercicios en tal sentido. Para las emergencias, están claramente establecidos los colegios que pueden servir de albergues transitorios.

Por otra parte, la ciudad cuenta con tres universidades, con una infraestructura adecuada y de reciente data. Como tal, estas no presentaron daños de consideración para el sismo de 1995 y su actual estructuración y estado de conservación parece adecuado para resistir otro movimiento fuerte.

### Servicios de Emergencia

Los recintos de la policía uniformada fueron auscultados en su totalidad. Carabineros de Chile, cuenta con dos comisarias y dos sub-comisarias. Los edificios de éstas no han presentado mayores problemas estructurales. Algunas poseen deficiencias con respecto a la dependencia en el abastecimiento de energía eléctrica y de agua potable, ya que no poseen autonomía con respecto al sistema de distribución de la ciudad. Carabineros de Chile es una institución tradicionalmente preparada para enfrentar toda clase de emergencias, con los medios que dispone sin embargo sus capacidades pueden ser rápidamente superadas dependiendo de la magnitud del desastre.

Existen 9 Compañías de Bomberos en la ciudad, cuya principal falencia es la mala distribución geográfica, ya que la mayoría está concentrada en la zona central de la ciudad y dos de sus cuarteles se encuentran en zona de riesgo de inundación por Tsunami. Bomberos de Chile funciona con personal voluntario y esto que podría ser reconocido como una debilidad, es una

fortaleza dada la mística y el alto grado de entrega de su personal para con la comunidad. El alto grado de preparación que presenta en la actualidad, la hace ser una institución pilar en los procedimientos de emergencia frente a cualquier catástrofe.

### **Descripción de las Líneas Vitales**

#### **Sistema de Agua Potable**

El caudal captado al interior de la región es del orden de 1350 litros por segundo, el cual es conducido gravitacionalmente hasta la Planta de Tratamiento ubicada en el Salar del Carmen, en las afueras de Antofagasta (aproximadamente a 15 kilómetros al oriente de la ciudad), para el abastecimiento de Antofagasta, Cerro Moreno y Mejillones.

Terminado el proceso de potabilización el agua es conducida a través de dos líneas hasta dos estanques de 12.500 m<sup>3</sup> cada uno, ubicados a la cabeza del Sistema, en la Quebrada Salar del Carmen (aproximadamente a 6 kilómetros al oriente de la ciudad). Estos estanques proporcionan a la ciudad de Antofagasta un caudal de entre 750 a 800 litros por segundo, llegando a la ciudad a través de tres tuberías: la Alimentadora Sur, la Alimentadora Toconce y la Aducción Cerro Moreno. Estas tuberías distribuyen el volumen regulado de los estanques principales a través de una batería de 19 estanques, dispuestos en la parte alta de la ciudad.

El sistema de regulación y distribución de agua potable de Antofagasta es el más grande y complejo de los que explota ESSAN S.A., situación que está directamente relacionada con el tamaño de esta ciudad. En efecto, este sistema consta de 19 estanques (suman un volumen total de 50.200 m<sup>3</sup> nominales), 31 estaciones reductoras de presión y más de 390 kilómetros de tuberías de diferentes diámetros.

La topografía de la ciudad, se caracteriza por una fuerte pendiente hacia el poniente y una gran longitud en el sentido norte-sur. Esta situación hace necesario su sectorización para los efectos de la distribución de agua potable, considerando estanques de regulación, con zonas de influencia y presión definida.

El sistema de regulación y macrodistribución (conducciones que alimentan los estanques) de agua potable es rígido, presenta escasa seguridad y es poco confiable. Sin embargo, la capacidad total de estanques sería más que suficiente al último año de previsión (año 2016).

El problema básico lo constituye la inadecuada sectorización de la red de distribución. En efecto, aún cuando, la capacidad total de estanques sería suficiente, ésta no se ha compatibilizado con las demandas de las respectivas áreas de influencia, situación que se deriva fundamentalmente del desordenado crecimiento de la ciudad y estanques concebidos originalmente como acumuladores.

El hecho que los estanques tengan sus propias zonas de influencia, independientes unas de otras y que a su vez éstas sean muy diferentes en tamaño y usuarios asociados, hace que la regulación no opere en forma adecuada, impidiendo optimizar el uso del recurso.

La red de distribución de la ciudad está formada por tuberías de diferentes materiales, con diámetros que fluctúan entre los 75 y 250 milímetros.

La red de distribución se ha sectorizado por zonas de influencia de estanques, lo que permite una mayor independencia ante fallas del sistema. Dadas las condiciones topográficas de la ciudad ha sido necesario disponer de estaciones reductoras de presión, las que se distribuyen entre las cotas 31 y 235 metros sobre el nivel del mar.

La red de Antofagasta cuenta con 2.304 válvulas para su manejo, las que presentan algunos problemas de operatividad y conservación. Además existen 460 grifos públicos contra incendio.

Los problemas de rotura de matrices y arranques domiciliarios de agua potable, se presentan con frecuencia en los sectores más antiguos, ya que, en su mayoría, corresponde a cañería instalada entre los años 1900 y 1949, fundamentalmente en el Sector Centro.

#### Sistema de Alcantarillado

El sistema de redes de alcantarillado de aguas servidas cuenta con aproximadamente 315 kilómetros de cañerías cuyos diámetros varían entre 175 y 1000 milímetros. La mayor parte de él es de tipo gravitacional, situación producida por las características topográficas de la ciudad, sin embargo, una pequeña zona, aproximadamente 25 hectáreas, emplea un sistema de bombeo, para

elevant las aguas servidas del sector centro bajo de la ciudad (frente al puerto) y conducir las hasta su descarga final.

Desde el punto de vista operacional, la ciudad está sectorizada de acuerdo a las áreas tributarias de los ocho colectores principales que descargan al mar, todas sin tratamiento previo, de las cuales siete corresponden a descargas directas en la orilla (correspondiendo una de éstas a un aliviadero de funcionamiento eventual) y una a un emisario submarino de 300 metros de longitud. Las siete descargas están repartidas a lo largo de la ciudad, comprometiendo alrededor de 15 kilómetros de la línea costera.

La red de colectores secundarios es básicamente de asbesto cemento, excepto en las urbanizaciones recientes, donde se ha utilizado PVC y posee diámetros entre 175 y 400 milímetros. De acuerdo al estado de las instalaciones es posible sectorizar la ciudad en tres zonas.

En el sector norte y costero el estado general de las instalaciones puede ser considerado como crítico, en que los colectores de mayor diámetro, por condiciones topográficas, poseen poca pendiente y en consecuencia velocidades muy bajas, que provocan la sedimentación de sólidos impidiendo el escurrimiento normal o autolavado de las aguas servidas, lo que además, implica una disminución de la capacidad de porteo de las tuberías. Por esto, gran cantidad de cámaras de este sector se encuentran inundadas, lo que causa que los colectores permanentemente trabajen a presión. A lo anterior se tiene que agregar posibles aportes industriales que en forma periódica, estarían afectando las zonas bajas en las cercanías de algunas descargas. Se han detectado aguas servidas aceitosas en el sector norte costero, el color negruzco del agua podría corresponder a residuos de subproductos del petróleo, los cuales son evacuados hacia las aguas servidas en las faenas de lavado de camiones.

En el sector central se observa también que el embancamiento de algunas cámaras provoca el rebalse de aguas servidas hacia otras líneas de diámetros menores que no están diseñadas para recibir estos aportes generando nuevos embancamientos e inundando las cámaras de inspección. Se debe agregar a este problema la racionalización del servicio, pues hay un exceso de usuarios para un determinado colector.

En el corto plazo se considera racionalizar las descargas de aguas servidas de la ciudad, considerando la unificación de las ocho descargas actuales en dos puntos, desde los cuales se realizará la disposición final mediante los emisarios submarinos, sin tratamiento previo.

#### Sistema de Telecomunicaciones

El sistema de telecomunicaciones en la ciudad de Antofagasta lo comparten principalmente cuatro empresas: TELEFONICA (Ex C.T.C.), Entel Chile, Chilesat y VTR.

TELEFONICA tiene casi la totalidad de la telefonía domiciliaria, el resto pertenece a la compañía VTR. Todas las compañías tienen servicios de llamados Larga Distancia y Telefonía Móvil. TELEFONICA cuenta con un edificio hecho especialmente para su rubro, con estrictas consideraciones en el diseño sísmico. Se construyó en un terreno rocoso para no sufrir asentamientos y asegurar la funcionalidad de la infraestructura. En caso de corte de suministro eléctrico, cuentan con motores de emergencia que actúan a los cinco segundos después del corte, con un aprovisionamiento de petróleo para un día; y por último cuentan con una batería de capacidad de funcionamiento de 8 horas.

En general, los sistemas de telecomunicaciones no presentan grandes problemas en su infraestructura en caso de sismos, pero la historia ha demostrado que el sistema queda completamente saturado unos minutos después de ocurrido un evento sísmico por la alta demanda que existe luego de tal suceso.

El sector donde se concentra la infraestructura de antenas y repetidoras de todas las compañías de telecomunicaciones es el cerro Los Morros, ubicado a 25 Km al noreste de la ciudad y a 650 m. de altitud, cuyo suelo de soporte corresponde a la roca.

#### Sistema de Energía Eléctrica y Alumbrado Público

La zona norte de Chile se abastece de energía eléctrica por medio del Sistema Interconectado del Norte Grande (SING), que abarca toda la Primera y Segunda Región del país. El SING es controlado por una unidad crítica en todo el sistema, denominado Centro de Despacho de Carga, ubicado en el centro de la ciudad de Antofagasta.

En Antofagasta el suministro de energía eléctrica se realiza a través de la Central Termoeléctrica de Mejillones y la de Tocopilla y la distribución está a cargo de la Empresa de Energía Eléctrica de Antofagasta (ELECDA), la cual opera con dos subestaciones: Salar del Carmen y la Central Diesel de Antofagasta.

Para las empresas mineras, el principal centro de distribución se encuentra en La Negra distribuyéndose una potencia de 16 Mwa.

El principal medio de distribución de energía a la población es el cable aéreo, por lo tanto la ciudad consta de una tupida red de postes y líneas que cubren toda la ciudad. Sólo algunos sectores cuentan con una red de distribución subterránea. Además, se encuentran distribuidos por toda la ciudad aproximadamente 434 transformadores.

Por la experiencia de movimientos telúricos pasados, el sistema de energía eléctrica en Antofagasta resiste sismos de magnitud 7 a 7,5 (escala de Richter) sin presentar daños superiores al 1% en toda la red.

#### Otros Sistemas de Energía

Se revisó la seguridad que presentan las empresas almacenadoras de combustible en la ciudad, encontrándose que la legislación es muy permisiva o el control no es muy estricto en estos momentos y que algunos procesos no se corresponden con los cánones internacionales. Queda a juicio de las empresas del rubro el velar porque sus instalaciones cuenten con el máximo de seguridad para cualquier evento. Cada una de las empresas auscultadas presentaban los elementos de seguridad tanto para incendios como para derrames. El tipo de combustible almacenado está bien identificado y los estanques contenedores presentan los elementos necesarios para detectar cualquier anomalía que se presente en el sistema. El único aspecto que preocupa es la ubicación de estas empresas almacenadoras, ya que se encuentran todas en el mismo sector de la ciudad (norte) muy cercanas una de otra y todas muy cercanas a una vía principal de acceso a la ciudad.

## **Descripción de la Infraestructura de Transporte**

Debido al significado económico que tiene la región para el país, en este aspecto de infraestructura de transporte se le da especial importancia al puerto y al ferrocarril, ya que son los entes que intervienen directamente en el transporte de cobre.

### **Sistema Portuario**

El Recinto portuario se encuentra situado prácticamente en el centro de la distancia existente entre la Quebrada La Negra y Salar del Carmen, con una superficie de 319.000 m<sup>2</sup>, terreno de relleno, asentado sobre módulos de cemento depositados en sus bases. La poza interior, está conformada por tres frentes de atraque, y tiene una superficie de 31 Hectáreas de Aguas abrigadas, con siete sitios para la atención de naves.

El Terremoto que azotó a la II región el 30 de Julio de 1995 provocó desnivelamiento de sus explanadas en los Sitios 1, 2 y 3. Además los sitios 4 y 5 tuvieron un desplazamiento hacia la poza de abrigo de hasta 1,1m., disminuyendo hacia los extremos. Las explanadas de este frente de atraque presentaron asentamientos de hasta 40 cm de su estructura original.

Los sitios 6 y 7 se encuentran fundados sobre bloques y gaviones, y durante el sismo sufrieron daños de asentamiento de las explanadas, alcanzando en algunos lugares descensos hasta de un metro.

Las obras de recuperación de niveles de las explanadas y recuperación de estas instalaciones, fueron ejecutadas a fines del año 1995 y parte de 1996, con una inversión total de \$ 750.000.000. Posteriormente se reparó la zona de transición entre los sitios 5 y 6, lo cual permitió recuperar una cantidad mayor de áreas de apoyo a estos sitios y la habilitación de la nueva subestación eléctrica. Su monto de inversión fue de \$ 250.000.000.

Al interior del puerto existe un recinto especialmente habilitado para el almacenamiento de cargas peligrosas, el cual prácticamente permanece desocupado, ya que un gran porcentaje de las mercaderías peligrosas que se movilizan por el Puerto de Antofagasta, son de retiro inmediato, y las que deben permanecer al interior de los recintos portuarios por fuerza mayor, no están más allá de 10 días y en cantidades mínimas, además que permanecen en su embalaje original, el cual

cumple con todas las normativas internacionales para dicho efecto y además permanecen estibadas en contenedores.

Dado que el mayor porcentaje de las cargas movilizadas por el Puerto de Antofagasta son minerales de cobre metálico y graneles metálicos, más otros minerales no metálicos, los cuales entre sí suman un alto porcentaje de las cargas movilizadas por este puerto; estas cargas con un buen tratamiento a sus depósitos portuarios (actualmente se depositan en los sitios 6 y 7), no representan riesgo inmediato para la población aledaña, y ante un posible Tsunami estos minerales a lo más serían arrastrados al mar por el agua que pudiese alcanzar esos sectores.

El Tsunami llegaría al puerto producto de un sismo de magnitud 8.0 en la escala de Richter, cuyo epicentro esté ubicado en la fosa marina, entre los paralelos 26 y 28 S. La altura de esta ola en aguas profundas, sería de 1.3 metros, disminuyendo dicha altura por efecto de disipación de energía y características batimétricas, a alrededor de 1.0 metro en las inmediaciones del emplazamiento de las obras portuarias.

Para las instalaciones portuarias, Debe considerarse que la influencia del Tsunami viene a ser menos importante que el sismo originador, limitándose a complementar la destrucción generada por el terremoto.

#### Sistema de Ferrocarriles

La empresa FCAB cuenta con una red de 927,3 km. de longitud, mediante la cual se conecta al sistema ferroviario chileno (FERRONOR, Ferrocarril del Norte) y a los sistemas de Ferrocarriles de Argentina y Bolivia. El FCAB atiende a los principales yacimientos mineros e industriales de la zona, sacando sus productos por el puerto de Antofagasta y llevando insumos y repuestos desde el puerto a cada uno de ellos.

La disposición de la vía del ferrocarril en la ciudad, partiendo de sur a norte, comienza en Quebrada La Negra. En este sector se ubica un puente de aproximadamente 7 metros de luz y la mayor parte del trazado presenta taludes y algunos cortes (hasta de 5 metros de altura). Luego pasa por el costado este de la población Coviefi, donde presenta cortes pequeños (1 a 2 metros de

altura). Después la vía se interna en la ciudad pasando por el costado Este del conjunto de edificios denominado Caliche. La mayor parte de este tramo es un talud bajo (de 1 a 2 metros) y presenta tres cortes importantes.

La vía continua paralela a la Avenida Andrés Sabella, sin taludes ni cortes de consideración, hasta llegar a las dependencias del ferrocarril (calle Manuel Antonio Matta con Avenida Andrés Sabella).

Luego reaparece por el lado norte de las dependencias del ferrocarril y continúa paralelo a la calle Azapa, sobre un talud de aproximadamente 80 cm de altura.

Por último, la vía sigue paralela a la avenida Héroes de la Concepción, sin presentar taludes ni cortes, hasta el límite norte de la ciudad.

Para el sismo de 1995 el ferrocarril no presentó mayores daños, solo desprendimiento de pequeñas rocas sobre la vía en sectores que existen cortes. La vulnerabilidad funcional del ferrocarril está lógicamente influenciada por la vulnerabilidad del Puerto de Antofagasta

#### Sistema de Aeropuertos

La ciudad cuenta con el Aeropuerto Cerro Moreno, que sólo tiene servicio nacional, sin embargo es el más grande de la zona norte del país. Para el sismo de 1995 no presentó mayores daños en la pista y solo algunos daños menores (no estructurales) en el edificio principal. De acuerdo a antecedentes su pista principal se encuentra orientada de tal forma que los posibles corrimiento por fallas no la afecten. La frecuencia de vuelos es de 15 diarios. Existe un aeródromo privado con capacidad para naves pequeñas, que presta servicios a la industria, ubicado en la población La Chimba en la zona norte de la ciudad.

#### Sistema de Vialidad Urbana

La infraestructura vial urbana se desarrolla fundamentalmente en asfalto, aunque últimamente la tendencia es que las avenidas de mucha importancia y tráfico sean construidas en hormigón de cemento. El problema más grave lo representan las vías importantes que se desarrollan a nivel de quebradas con fuertes taludes.

Los mayores daños que se produjeron para el sismo de 1995 se registraron en estos sectores con desprendimiento de soleras sólo en las zonas de terraplén.

Una problemática nueva que se está suscitando en la ciudad es el fuerte crecimiento del parque automotriz, el que se ha duplicado en los últimos diez años. Esto ha provocado la saturación de las vías céntricas. El tránsito longitudinal de la ciudad se logra por cinco avenidas importantes y en estos momentos se busca habilitar más vías transversales para generar conexiones rápidas y expeditas entre las principales.

En la ciudad no existen pasos a desnivel, pero para el año 2001 se planea construir el primero. Antofagasta presenta el típico problema de las ciudades costeras del país, con fuertes pendientes en el sentido transversal debido a la presencia de la Cordillera de la Costa. Esto hace que existan pendientes de hasta 40% en algunos sectores.

#### Sistema de accesos terrestres de la ciudad

La ciudad presenta tres accesos bien definidos más otros secundarios. Los principales corresponden a la Ruta 26, Ruta 28 y Ruta 1. Las dos primeras conectan a la ciudad con la Ruta 5, que es la más importante del país y que lo atraviesa longitudinalmente. A través de ella se produce la conexión con las ciudades de Calama, Taltal y Santiago. A través de la Ruta 1 se produce la conexión con las ciudades de Mejillones, Tocopilla e Iquique.

El principal problema que presentan las rutas de acceso es que la mayoría de ellas se desarrolla en forma paralela a tuberías de conducción de agua potable. La vulnerabilidad de estas últimas influye directamente en las primeras. Otro factor a considerar es el efecto de los derrumbes que afectan a los accesos del sector sur, ya tanto la Ruta 26 como la 28 se desarrollan alledañas a taludes o cortes. La Ruta 1 es la que conecta a la ciudad con el Aeropuerto y no presenta riesgos de interrupción, a excepción de la anegación por rompimiento de tubería, en este caso la aducción Cerro Moreno.

#### **DETERMINACION DE LA VULNERABILIDAD DE LOS SISTEMAS**

## **Vulnerabilidad de las Edificaciones**

Para el estudio de vulnerabilidad de las edificaciones de la ciudad, se definieron tipos estructurales, los que se muestran en la Tabla 1.

<b>Tipo estructural</b>	<b>Código</b>	<b>Descripción</b>
Autoconstrucción	ACON	Representa a la construcción realizada sin control profesional y usando materiales sin un adecuado control de calidad y dudosa procedencia
Hormigón con madera	HMAD	Tipo Estructural antiguo que mezcla hormigón con pié derecho y diagonales de madera en muros
Albañilería simple	ASIM	Tipo Estructural compuesto por muros de bloques de hormigón de baja calidad y sin refuerzo adicional
Albañilería estructural (reforzada)	AERa	Tipo Estructural compuesto por muros de albañilería de bloques o ladrillos, enmarcado por pilares y cadenas de hormigón armado (de uno a tres pisos)
Albañilería estructural (reforzada)	AERb	Tipo Estructural compuesto por muros de albañilería de bloques o ladrillos, enmarcado por pilares y cadenas de hormigón armado (de cuatro a ocho pisos)
Hormigón y otro material	MHMY	Tipo Estructural compuesto por muros de corte, de una mezcla de hormigón y yeso
Hormigón Armado	MHAR	Tipo Estructural compuesto por muros de hormigón armado de acuerdo a Nch430 o ACI318
Marcos de Hormigón Armado	FHAS	Tipo Estructural en base a marcos de hormigón armado de acuerdo a Nch430 o ACI318

Tabla 1.- Tipos estructurales predominantes en la ciudad

Para la determinación de las curvas de vulnerabilidad para cada uno de estos tipos estructurales, se recurrió al estudio de la vulnerabilidad de construcciones típicas de la zona central de Chile, efectuado por M. Astroza y otros [Ref.2]; las que permitieron, mediante ajustes adecuados en función de la variación de la calidad de los materiales y mano de obra de la zona central respecto al norte del país, determinar las nuevas curvas para condiciones locales.

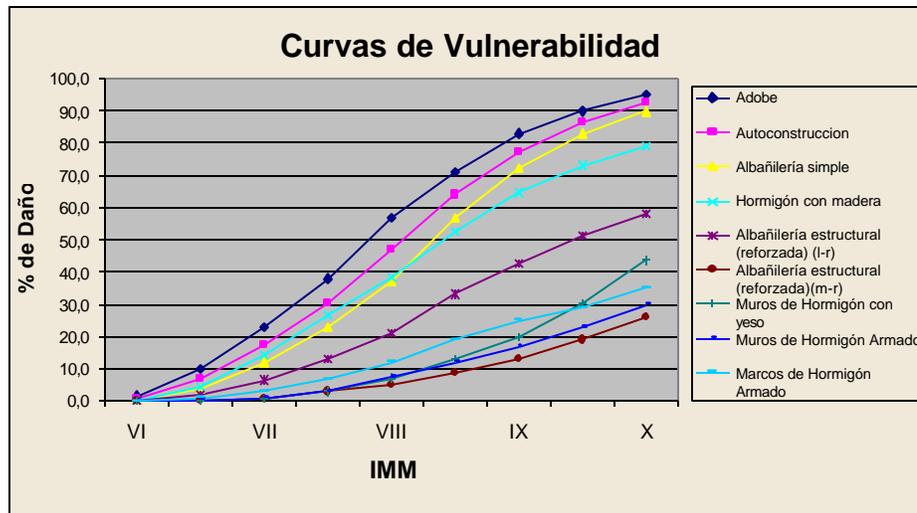


Fig.3.- Curvas de vulnerabilidad para distintas configuraciones estructurales y materiales.-

Haciendo uso del SIG la Figura 4 muestra la distribución de los distintos tipos estructurales predominantes por manzana en la ciudad. La identificación del tipo estructural obedeció a un trabajo en terreno y apoyo de planos y fotografías.

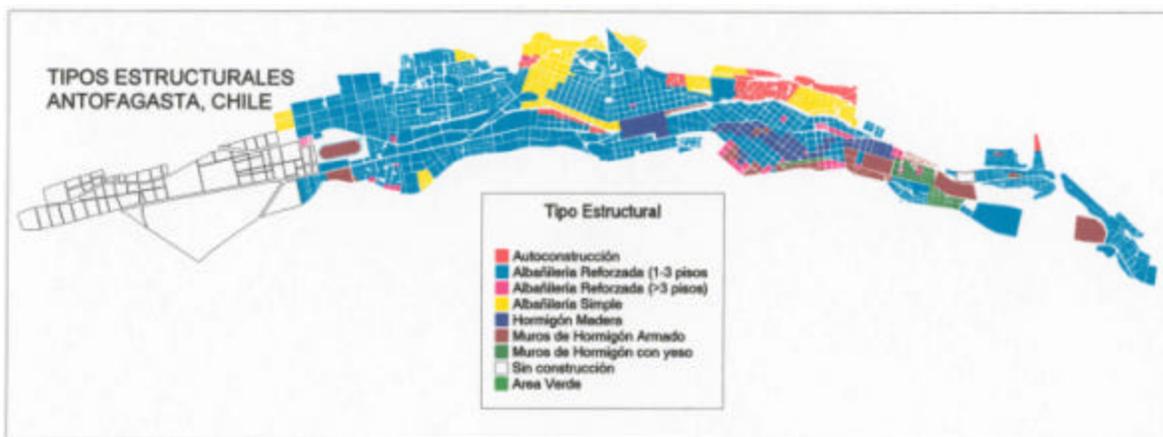


Fig.4.- Tipos estructurales predominantes por manzana para la ciudad de Antofagasta

### **Vulnerabilidad de las Líneas Vitales y Servicios Esenciales**

Para la determinación de las curvas de vulnerabilidad de los servicios de agua potable, alcantarillado y electricidad, se tomaron como referencia las curvas obtenidas para la ciudad de Quito, Ecuador [Ref.9] y, en referencia a los tipos de materiales, diámetros, longitudes instaladas y métodos constructivos, se adecuaron a la realidad de la ciudad de Antofagasta.

Para los servicios esenciales se evaluaron funciones de vulnerabilidad para recintos hospitalarios, recurriendo a estudios realizados en Chile y en Quito, Ecuador

### **Vulnerabilidad de la Infraestructura de Transporte**

La determinación de las curvas de vulnerabilidad para la infraestructura de transporte y vías urbanas es la que presenta las mayores incertidumbres, debido fundamentalmente a la poca información con que se dispone, en cuanto a correlacionar daños con intensidades sísmicas. A este fin, se trabajó en forma conjunta con el SERVIU y Dirección de Vialidad para definir lo más adecuadamente estas curvas tanto para vías urbanas como para accesos principales de la ciudad. Para el primer caso se tomaron como referencia las correspondientes a la ciudad de Quito, dando énfasis a las vías urbanas que se desarrollan en taludes y cortes (las que existen en abundancia, debido a que Antofagasta es una ciudad costera limitada por cerros). Para los accesos principales, se consideraron las características propias de éstos y los antecedentes de daños registrados para 1995 (muy pocos), ya que no pueden asimilarse a los de otros países.

En el caso de la infraestructura portuaria, aeropuerto y ferrocarriles; se hicieron análisis individuales, ya que la característica común a toda la infraestructura de transportes de la ciudad, es la escasez de información de daños en sismos anteriores. El evento de 1995 afectó en gran medida al Puerto de Antofagasta, determinándose el verdadero grado de recuperación que tuvo, con lo que se pudo obtener información extrapolada para eventos mayores.

### **Generación de Planos de Daños**

Haciendo la intersección digital entre el plano de intensidades y las curvas de vulnerabilidad para cada uno de los tópicos tratados en el estudio (Edificación, Líneas Vitales, Servicios Esenciales e Infraestructura de Transporte), se obtuvieron los planos de daños, mediante mapas temáticos en el SIG. Los planos que se presentan a continuación contienen el daño en los diferentes sistemas lo que permitiría establecer los planes de mitigación.

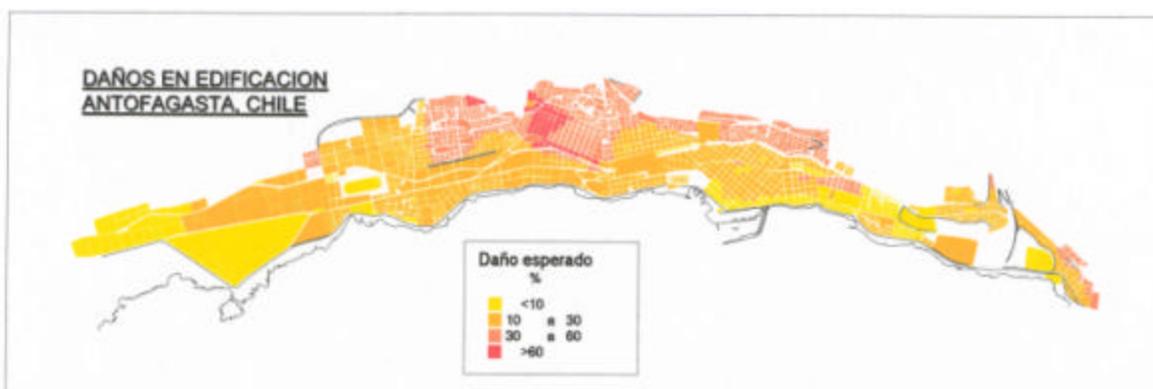


Fig.5.- Daño esperado en la edificación

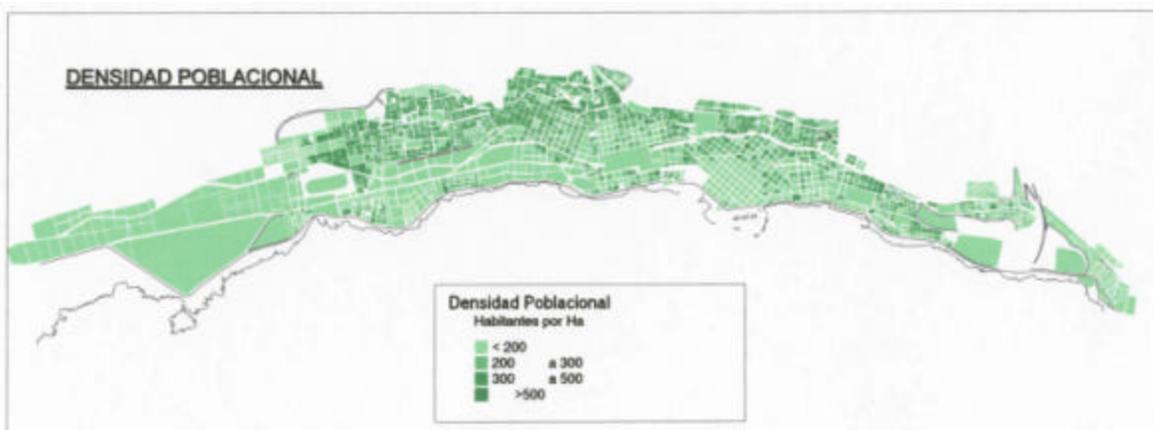


Fig.6.- Densidad Poblacional

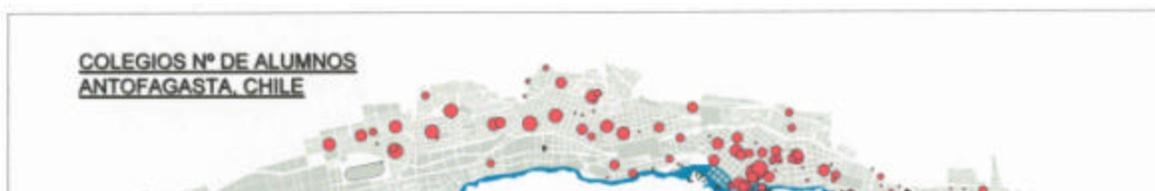


Fig.7.- Ubicación de Colegios y matrícula. Area de Inundación por Tsunami

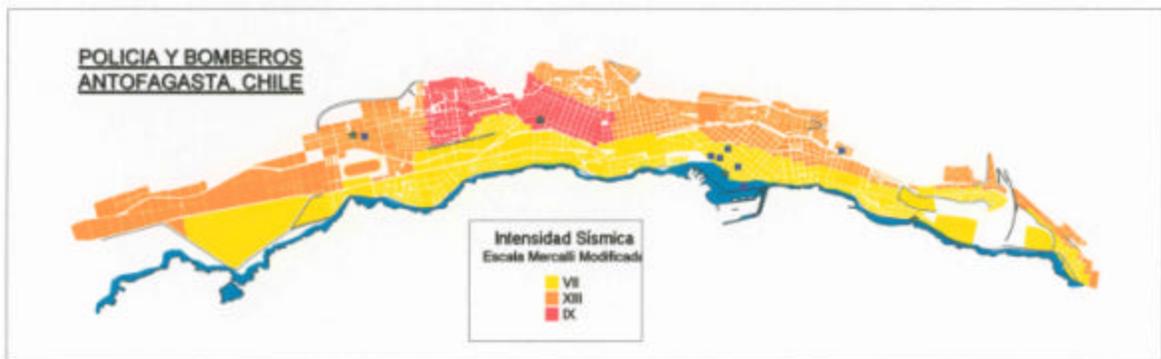


Fig.8.- Localización Servicios de emergencia en función de Intensidades Sísmicas

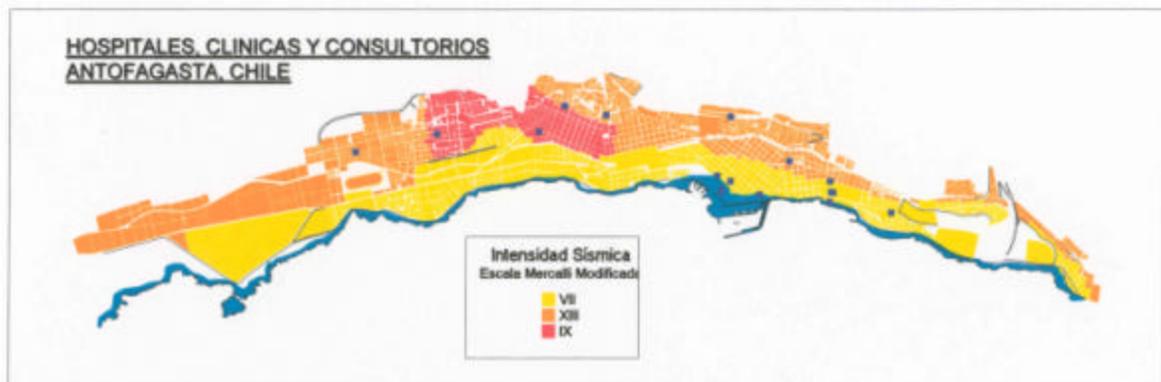


Fig.9.- Localización de Recintos Hospitalarios en función de Intensidades Sísmicas



Fig.10.- Daño en el Sistema de Agua Potable



Fig.11.- Daño en el Suministro de Energía Eléctrica

## CONCLUSIONES

Generar herramientas para el manejo del riesgo y por ende mitigar, permite a los planificadores tomar decisiones por ejemplo en el uso del suelo, porque no todos los puntos de la ciudad son vulnerables y la ciudad no puede ver impedido su crecimiento debido al riesgo sísmico. Se debe convivir con la sismicidad que no podemos controlar pero a su vez se debe controlar la vulnerabilidad de lo que se construye, ya que el daño potencial final depende de la sismicidad del sitio y de la vulnerabilidad de lo construido. El establecimiento de planos de daños potenciales tanto para la edificación, líneas vitales, servicios esenciales y sistema de transporte permite detectar las fallas del sistema llamado ciudad, generar planes de mitigación y por último planificar la actuación en la emergencia, aunque este último concepto debiera quedar de lado si las acciones de mitigación son las adecuadas y se llevan a cabo correctamente.

## REFERENCIAS

- [1] Tapia, P., Roldán, W., Bembow, M., Pereira, M., “**Radius Project for Antofagasta City, Final Report**”, Departamentos de Ingeniería Civil y Ciencias Geológicas, Universidad Católica del Norte, 1999, Antofagasta, Chile
- [2] Astroza, M., Aravena, M., Monge, J., “**Tablas de Vulnerabilidad para algunos tipos constructivos**”, Quintas Jonadas Chilenas de Sismología e Ingeniería Antisísmica. Santiago, Chile. Julio 1989
- [3] Barrientos P., Sergio, “**Regionalización Sísmica de Chile**”. Memora para optar al grado de Magister en Ciencias, mención Geofísica. Depto. Geofísica. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Santiago, Chile, 1980

- [4] Campo J., Comte D., **“Distribución Espacio Temporal del régimen de esfuerzos en el sur del Perú y Norte de Chile. Evidencias de una etapa de madurez terminal de un ciclo sísmico”**, Sextas Jornadas Chilenas de Sismología e Ingeniería Antisísmica. Santiago, Chile. Julio 1993
- [5] Comte D., Pardo M., Eisenberg A., **“Análisis cuantitativo de los grandes terremotos del Norte Grande de Chile y sur del Perú: Estimación del Peligro Sísmico”**. Sextas Jornadas Chilenas de Sismología e Ingeniería Antisísmica. Santiago, Chile. Julio 1993
- [6] Labbe, Juan, **“Relaciones Macrosísmicas para la evaluación del riesgo sísmico de Chile y California”**, Memoria para optar al título de Ingeniero Civil. Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Santiago, Chile, 1976
- [7] Aguilera, M., **“Zonificación Geotécnica de la Ciudad de Antofagasta”**, Memoria para optar al Título de Ingeniero Civil, Departamento de Ingeniería, Universidad Católica del Norte, Antofagasta, 1994.
- [8] FEMA, **HAZUS Earthquake Loss Estimation Methodology**, Manual Técnico
- [9] Villacis, C. y Otros, **“Use of Seismic Microzoning for Risk Management in Quito, Ecuador”**, **Engineering Geology**
- [10] Díaz, J. “Estudio de fuentes de tsunamis y de terremotos: aplicación en el norte de Chile y sur del Perú”, Memoria para optar al título de Oceanógrafo, Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso, Chile, 1992.