



## ESTUDIO PRELIMINAR DE ROTURAS DE TUBERÍAS DE AGUA POTABLE EN EL GRAN CONCEPCIÓN

Andrés Guzmán

Subgerencia Gestión de Redes, ESSBIO, Planta La Mochita, Concepción, andres.guzman@essbio.cl

Rodrigo Bravo

Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Concepción, rodrigobravo@udec.cl

Felipe Villalobos

Laboratorio de GeoMateriales, Universidad Católica de la Santísima Concepción, avillalobos@ucsc.cl

Gonzalo Montalva

Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Concepción, gmontalva@udec.cl

Se presenta una sectorización de la concentración de roturas en tuberías enterradas en el Gran Concepción con registros entre los años 2009 y 2010. Esta información permite evaluar de forma preliminar la rotura de tuberías, para ello se utilizó el software georeferencial ArcView GIS 9.3. Debido a la ocurrencia del terremoto del 27/02/2010, es posible evaluar su efecto en la rotura de tuberías. Para ello se clasifican las roturas por el motivo de la falla, diámetro, material de la tubería y por el tipo de suelo. Se definen zonas críticas por medio de parámetro de fallas/km.

1. INTRODUCCIÓN. Una serie de roturas en la infraestructura de agua potable se registraron producto del terremoto ocurrido el 27 de febrero 2010. El terremoto, de magnitud momento  $M_w = 8.8$  tuvo su hipocentro a 30.1 km de profundidad, 40 km al norte de Concepción y a 50 km de la costa (SSN 2012). Lo que trajo consecuencias graves, ya que las tuberías de acero de 1 m de diámetro se dañaron impidiendo que el agua tratada en Planta La Mochita llegara a los estanques de distribución en el cerro Chepe y Caracol. Estas grandes tuberías, llamadas matrices, estaban cortadas, aplastadas y/o abolladas. La reparación de una de estas matrices se denomina mega corte y se prepara con al menos 3 meses de anticipación en tiempos normales. En cambio se tuvo que abordar el equivalente a 72 mega cortes en dos semanas. Por otro lado se tiene que en la compañía hay cerca de 10 reparaciones diarias en tuberías de menor diámetro. Este número subió entre 350 a 400 reparaciones por día durante marzo 2010, realizadas por 2000 trabajadores. Se estima entonces que se repararon alrededor de 10000 roturas. Durante el periodo post-terremoto se logró que el 85% de la población de Concepción tuviera el vital líquido a la segunda semana del sismo y el 95% a la cuarta semana (Nos, 2010). Otras comunas del Gran Concepción tomarían meses antes de reponer el vital elemento.

Es importante recalcar que las redes de agua potable forman parte de la infraestructura vital para los seres humanos. Es por ello que se hace necesario estudiar las fallas de tuberías con el objeto de entender la interacción que tiene una tubería enterrada con el material circundante. Para ello es necesario conocer primero los parámetros más influyentes como por ejemplo el diámetro y material de la tubería; pendiente y profundidad de instalación; tipo de suelo, presencia o no de napa freática, entre otros. Las comunas estudiadas son Talcahuano, Hualpén, Concepción y Chiguayante.

El sistema de abastecimiento de Agua Potable en el Gran Concepción consiste en una captación superficial de aproximadamente 3000 l/s de agua desde el río Bío Bío y su purificación se realiza en la planta de tratamiento La Mochita, ubicada en Pedro de Valdivia. La Figura 1 muestra la ubicación

de los ocho estanques, donde se conduce el agua tratada posterior a su extracción del río Bío Bío. En el cerro Chepe se encuentran cuatro estanques de hormigón armado de 5000 m<sup>3</sup> cada uno, a cotas entre 50 y 75 msnm, tres en el cerro Caracol (dos de 3300 y uno de 5000 m<sup>3</sup>) a 50 msnm y uno de 2000 m<sup>3</sup> en Lonco a 85 msnm. Desde estos estanques se distribuye el agua potable a otros 26 estanques de regulación más pequeños en las comunas de Talcahuano, Hualpén, Concepción y parte de Chiguayante, solo hasta Villuco.

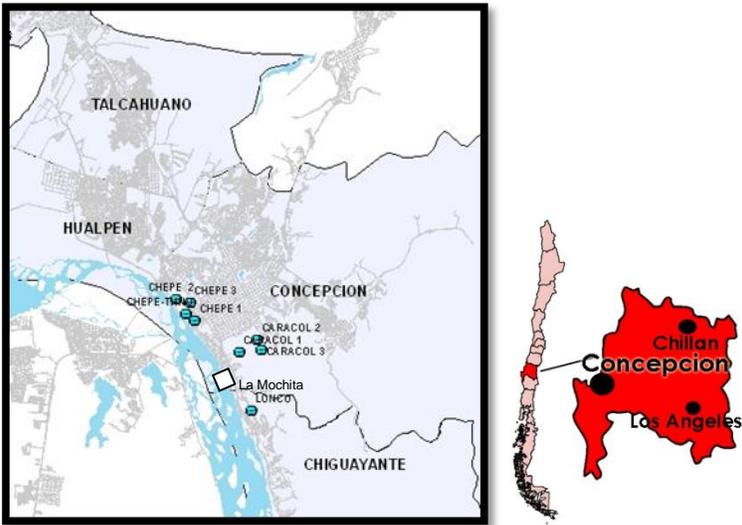


Figura 1: Principales estanques de distribución de agua potable del Gran Concepción

**2. FALLAS EN LA RED DE AGUA POTABLE.** Para definir zonas críticas de roturas y cortes se utiliza el software georeferencial ArcView GIS en su versión 9.3 (OGP 2005), herramienta con la cual se facilita el manejo de información de las miles de fallas. Se han considerado todas aquellas roturas que generan discontinuidad en el servicio de agua potable y que clasifican como cortes no programados o también cortes programados. Se evalúan fallas ocurridas durante el año 2009 y hasta el 30 de septiembre del año 2010 en Concepción, Talcahuano, Hualpén y Chiguayante. El objetivo de este trabajo es estudiar la distribución de fallas en cuanto a cantidades, fechas, motivos, diámetros, materialidad de la tubería y el tipo de suelo de instalación. Debido a la ocurrencia del terremoto en medio del estudio es posible evaluar su efecto en las roturas de tuberías.

En la Figura 2 se observa que el registro de roturas durante los meses de febrero y marzo del 2010 es prácticamente nulo, producto que la compañía se encontraba en un plan de emergencia por el terremoto, lo cual no permitió el ingreso de la totalidad de los datos a los sistemas de información de ESSBIO. Esto se debe tener en cuenta al hacer comparaciones. Por ejemplo, existen menos roturas durante el año del terremoto que durante el 2009. Esta situación inesperada se ve aún más marcada debido a la gran cantidad de roturas ocurridas en Talcahuano durante el año 2009, las cuales son casi el doble de las ocurridas durante los meses de mayo a septiembre del 2010. El motivo de esto fue la falla de una válvula reductora de presión en Avenida Postdam, Hualpén (red de distribución abastecida por el estanque Chepe Talcahuano). El aumento de presión rompió varias tuberías de asbesto cemento causando múltiples roturas en distintos puntos. Al inconveniente antes mencionado se agregó la dificultad de encontrar cuál era la válvula en malas condiciones debido a la falta de sensores de presión y la infiltración del agua del estanque Hualpencillo por otra válvula de la red en mal estado.

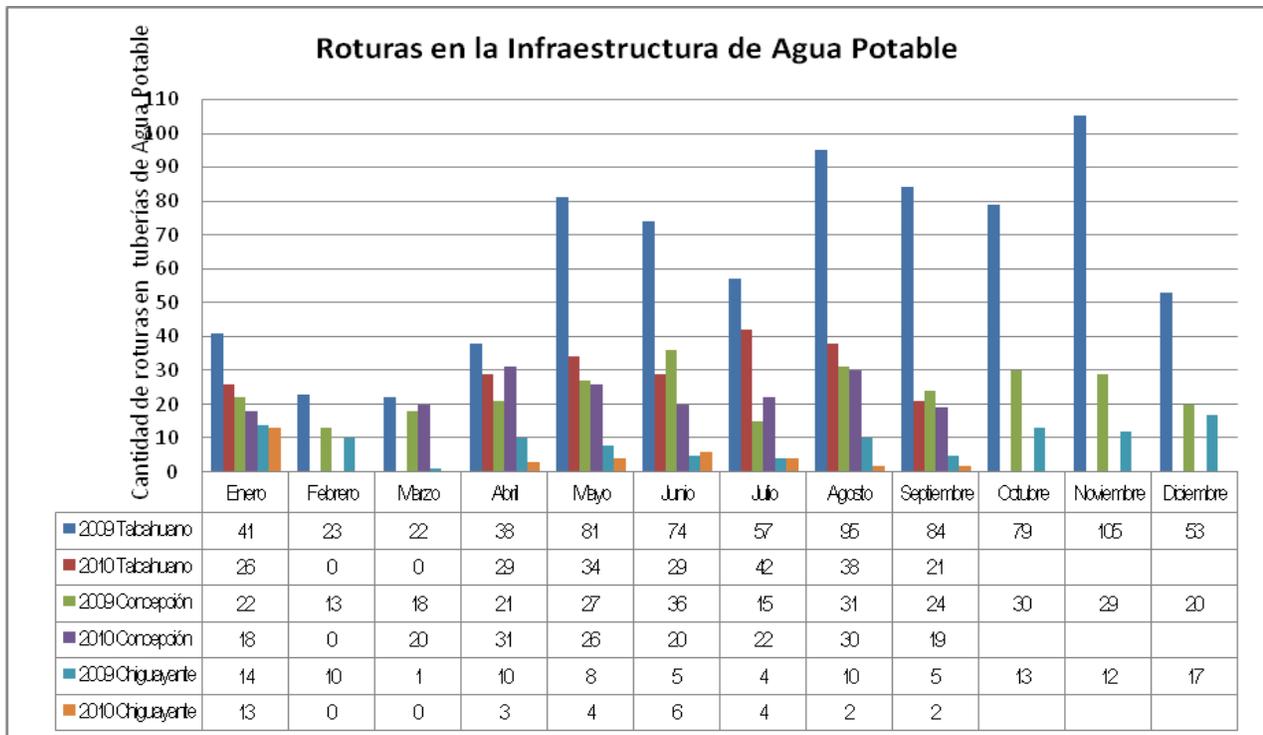


Figura 2: Cantidad de roturas en tuberías de agua potable en los años 2009 y 2010, en las localidades de Talcahuano (Hualpén incluido), Concepción y Chiguayante

La Tabla 1 muestra el total de roturas por año en cada una de las ciudades; el porcentaje correspondiente del total de las fallas; la cantidad de meses analizados para cada periodo de tiempo y por último un indicador de fallas ocurridas por mes. Debido a lo explicado en el párrafo anterior no hay un incremento de fallas en el año del terremoto.

Tabla 1: Cantidad de roturas registradas en Talcahuano (Hualpén incluido), Concepción y Chiguayante

	Total de fallas	% del total de fallas	meses	fallas/mes
2009 Talcahuano	752	47	12	63
2010 Talcahuano	219	14	7	31
2009 Concepción	286	18	12	24
2010 Concepción	186	12	8	23
2009 Chiguayante	109	7	12	9
2010 Chiguayante	34	2	7	5
<b>Total</b>	<b>1586</b>	<b>100</b>	-	-

Se consideró solo aquellos meses que tienen registro de datos

3. MOTIVOS DE FALLA. En la Tabla 2 se detallan los motivos que generan discontinuidad del suministro en Talcahuano, Concepción y Chiguayante. Predomina la rotura de matriz, siendo ésta la que provoca la mayoría de cortes del tipo no programados. Lo anterior debido a la dificultad para determinar zonas de fallas en tuberías de menor diámetro como las de arranque por ejemplo. Por otro lado los cortes programados son generalmente cuando se realiza reemplazo en la red y trabajos planificados, sin embargo igualmente generan cortes en el suministro.

Se puede observar claramente en la Tabla 2 que el motivo que predomina en la discontinuidad del suministro es la rotura de matriz (90% el 2009 y 2010), provocando cortes no programados en la red.

Tabla 2: Causas de discontinuidades en la red de agua potable durante los dos periodos de estudio, en Talcahuano, Concepción y Chiguayante

Motivo	Cantidad 2009	% 2009	Cantidad 2010	% 2010
Falla de válvulas	10	0,8	2	0,5
Falla en arranque	0	0	1	0,3
Interconexión de redes	25	2,1	5	1,3
Instalación de grifo	2	0,2	0	0
Instalación de válvulas	2	0,2	0	0
Mejoramiento de redes	7	0,6	0	0
Otros	2	0,2	3	0,8
Rotura de grifo	2	0,2	1	0,3
Rotura de matriz	1089	90,4	342	89,5
Rotura por pavimentación	11	0,9	0	0
Rotura por terceros	54	4,5	7	1,8
Sin información	0	0	21	5,5
<b>Total</b>	<b>1204</b>	<b>100</b>	<b>382</b>	<b>100</b>

El motivo de rotura por terceros corresponde a una falla debido a que particulares (muchas veces constructoras) accidentalmente rompen la matriz cuando realizan trabajos, lo que genera un corte en el suministro. La interconexión de redes está asociada a un corte programado y es un trabajo que se ejecuta para conectar por medio de un tramo nuevo y piezas especiales dos redes que anteriormente eran independientes. El mejoramiento de redes está asociado al reemplazo y reposición de redes antiguas o en mal estado, esto genera cortes de tipo programado ya que son trabajos planificados por la compañía para optimizar el servicio. La rotura de grifo en su gran mayoría es causada por terceros, debido a choques u otros motivos, lo que genera un corte no programado en el suministro. Por último, el motivo sin información se refiere principalmente a la pérdida de información durante el mes de febrero y marzo 2010, pero sí existe el registro de esta rotura en cuanto a la ubicación, material y diámetro. Sin embargo, estas causas de corte pueden estar asociadas directamente a la rotura de matriz, debido a la fecha en el que se registraron, post-terremoto.

#### 4. FALLAS ASOCIADAS A LOS DIÁMETROS. La

Tabla 3 registra las fallas asociadas a los distintos rangos de diámetros de las tuberías. En la primera columna entre paréntesis se indica el porcentaje de tubería existente en ese rango de diámetros. Para ello se definió un primer intervalo clasificado como pequeño, utilizando el criterio de la norma NCh 691 Of98 que en la sección 7.4, menciona que el diámetro nominal mínimo debe ser de 100 mm, no obstante en pasajes se aceptan diámetros nominales de 75 mm, con algunas restricciones (para más detalles ver norma). Sin embargo, en tuberías de PVC y HDPE con diámetro nominal de 110 mm, éstas clasifican como redes de 100 mm, por lo anterior se ha considerado este diámetro en el primer rango. Además se han definido dos rangos adicionales para el análisis de las secciones instaladas en la red de distribución, un rango intermedio y otro para definir los ductos de gran diámetro.

Tabla 3: Número de fallas separadas por diámetro de la tubería de agua potable

Diámetro D, mm	Cantidad 2009	% 2009	Cantidad 2010	% 2010
Pequeños $30 \leq D \leq 110$ (67%)	1027	85.3	268	70.2
Medianos $110 < D < 500$ (30%)	176	14.6	111	29.1
Grandes $500 \leq D \leq 1000$ (3%)	1	0.1	3	0.7
<b>Total</b>	<b>1204</b>	<b>100</b>	<b>382</b>	<b>100</b>

Claramente las fallas ocurridas se concentraron en las tuberías de diámetros pequeños, en parte debido a la mayor cantidad de metros lineales. En el caso del primer periodo de análisis, 425 roturas

son en diámetros de 75 mm y 540 en tuberías de 100 mm. Lo anterior representa el 80% del total de las fallas, es decir, el 5,3% restante está repartido en los otros ductos con diámetro menor a 75 mm (fuera de norma) y los de 110 mm. El diámetro de 100 mm está constituido por distintas materialidades, pero un 82% de la red del Gran Concepción en esta dimensión está asociado al asbesto cemento.

5. MATERIALIDAD DE LA RED. Los ductos de PVC fallaron principalmente en sus piezas especiales, tales como coplas, reducciones y llaves de collar. Las roturas registradas en las tuberías de asbesto cemento ocurrieron debido a la fragilidad del material en la sección transversal de la tubería. En los materiales de acero aparte de rotura, se observaron casos de aplastamiento y torsión, lo que reduce notablemente la capacidad de transporte. Finalmente, en los ductos de fierro fundido ocurrió torsión y compresión a lo largo de la tubería. Cabe mencionar que este material tiende a acumular sarro en su sección interior (ver incrustaciones en Figura 3e). El terremoto soltó este sarro contaminando considerablemente el agua potable.

La Figura 3a muestra la reparación efectuada en una llave collar (pieza singular) ubicada en una tubería de PVC de 75 mm de diámetro. En la Figura b aparece una rotura en una de las aducciones que bajan desde los estanques ubicados en el cerro Caracol para distribuir agua potable en las matrices del centro de Concepción, la tubería es de acero y tiene 400 mm de diámetro. La Figura 3c muestra la filtración de agua que se produce al haber una rotura en una matriz de acero. Luego, en la Figura 3d aparecen roturas en las impulsiones de 800 y 1000 mm de diámetro, las que transportan el agua potable desde la planta de tratamiento de agua potable La Mochita hasta los estanques ubicados en el cerro Chepe. Por último en las Figura 3e y 3f aparecen las incrustaciones ubicadas en la sección interior y exterior, respectivamente, en una tubería de fierro fundido de 400 mm de diámetro.



Figura 3: (a) Reemplazo de llave collar (Chiguayante), (b) rotura en tubería de acero (Concepción), (c) filtración en matriz de acero ya reparada, (d) roturas en impulsiones (planta La Mochita), (e) incrustaciones en el interior de la tubería y (f) incrustaciones en el exterior de la tubería.

A partir de los datos presentados en la Tabla 4 se observa que con posterioridad al terremoto las roturas ocurrieron principalmente en las tuberías de asbesto cemento, concentrándose el 61,5% de las fallas. Sin embargo, no deja de ser preocupante el comportamiento del PVC, ya que contiene un 27,5% de concentración de fallas, las que se presentaron principalmente en las coplas. Además, no se registraron fallas en tuberías de HDPE debido a que este material es capaz de deformarse sin perder rigidez ni resistencia. En la primera columna de la Tabla 4 y entre paréntesis se muestra el porcentaje existente de cada material por metro lineal, lo cual permite relacionar la mayor o menor ocurrencia de roturas.

Tabla 4: Roturas asociadas a los distintos materiales de la infraestructura de agua potable

Material (porcentaje del total)		Cantidad 2009	%2009	Cantidad 2010	% 2010
AC	Asbesto Cemento (38%)	351	29.2	235	61.5
ACERO	(7%)	7	0.6	8	2.1
FFD	Fierro Fundido (8%)	4	0.3	34	8.9
HDPE	Polietileno de alta densidad (1%)	7	0.5	0	0
PVC	Policloruro de vinilo (46%)	113	9.4	105	27.5
s/i	sin información	722	60.0	0	0
Total		<b>1204</b>	<b>100</b>	<b>382</b>	<b>100</b>

Durante el año 2009, hay una cantidad considerable (60%) de datos sin información, debido a que hasta antes de junio 2010, las fallas no eran georeferenciadas y por requisitos de la Superintendencia de Servicios Sanitarios SISS a partir de esa fecha se ingresan las fallas con sus respectivas coordenadas geográficas, lo que permite cruzar información con el catastro que maneja EESBIO en el software ArcGIS. El 40% de los datos rescatados fueron ingresados con dicho programa en el número de clasificación de cada cliente, con el propósito de asociar el tipo de material a la falla.

6. FALLAS ASOCIADAS AL TIPO DE SUELO. En una primera etapa de identificación del tipo de suelo en cada falla se ha usado el estudio de Causse (2006). De la Tabla 5 se puede observar que el 93,5% de las fallas post-terremoto se registraron en suelos arenosos, es decir, arenas finas y gruesas de granulometrías uniformes SP y arenas limosas SM. El Maicillo es un suelo residual producto de la descomposición del granito altamente meteorizado, el cual clasifica también como arena limosa SM según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos. El restante 6,5% de las roturas ocurrió en suelos arcillosos, limosos y arcillas limosas de baja plasticidad CL y ML, principalmente en el sector de Nonguén y Palomares de Concepción.

Tabla 5: Número de fallas registradas en función de los tipos de suelo

Tipo de Suelo	Cantidad 2009	% 2009	Cantidad 2010	% 2010
Arcilla	11	0.9	4	1.0
Arcilla limosa	16	1.3	17	4.5
Arena fina	323	26.8	218	57.2
Arena gruesa	15	1.2	28	7.3
Arena limosa	81	6.7	107	28.0
Limo	8	0.8	4	1.0
Maicillo	18	1.5	4	1.0
s/i	732	60.8	0	0
Total	<b>1204</b>		<b>382</b>	

Los resultados mostrados en la Tabla 5 responden a la situación geológica del Gran Concepción, donde las redes de agua potable se encuentran mayoritariamente emplazadas en sectores planos donde predominan los depósitos arenosos, en cambio en los cerros predominan depósitos de suelos cohesivos. Los depósitos granulares han sido formados principalmente por el transporte de sedimentos arenosos del río Bío Bío y por sedimentaciones marinas en las zonas costeras.

7. DETERMINACIÓN DE ZONAS CRÍTICAS. Para determinar las zonas críticas se pueden considerar distintos criterios de clasificación. El más efectivo es identificar sectores con concentración de fallas. Se puede así definir la acumulación de fallas en un mismo cuartel, donde cuartel es un sector de la red donde puede suspenderse temporalmente el suministro sin afectar el suministro de agua potable general (NCh 691 1998). También se puede determinar la cantidad de clientes afectados en el cuartel involucrado. O también se pueden definir parámetros de análisis tales como fallas/km de red, fallas/clientes o clientes/km de red sin suministro.

La Figura 4 muestra de forma preliminar la identificación zonas críticas para los datos desde marzo hasta el 31 de septiembre 2010. Los puntos representan fallas en la red cuyo detalle de fecha, posición geográfica (dirección), diámetro y material de tubería, suelo y presencia o no de napa freática se encuentra registrada en ArcGIS (Guzmán 2011). A partir de la distribución de puntos de falla se han encerrado cuarteles denominados zonas críticas, los cuales tuvieron prolongados cortes de suministro, debido a las numerosas fallas. Las Figuras 4a y 4b muestran un total de 36 zonas críticas, 23 en Talcahuano y Hualpén y 13 en Concepción respectivamente (más 3 en Chiguayante no mostradas). Cada zona crítica es demarcada con un polígono amarillo que encierra un cuartel, el cual tiene un número conocido de clientes.

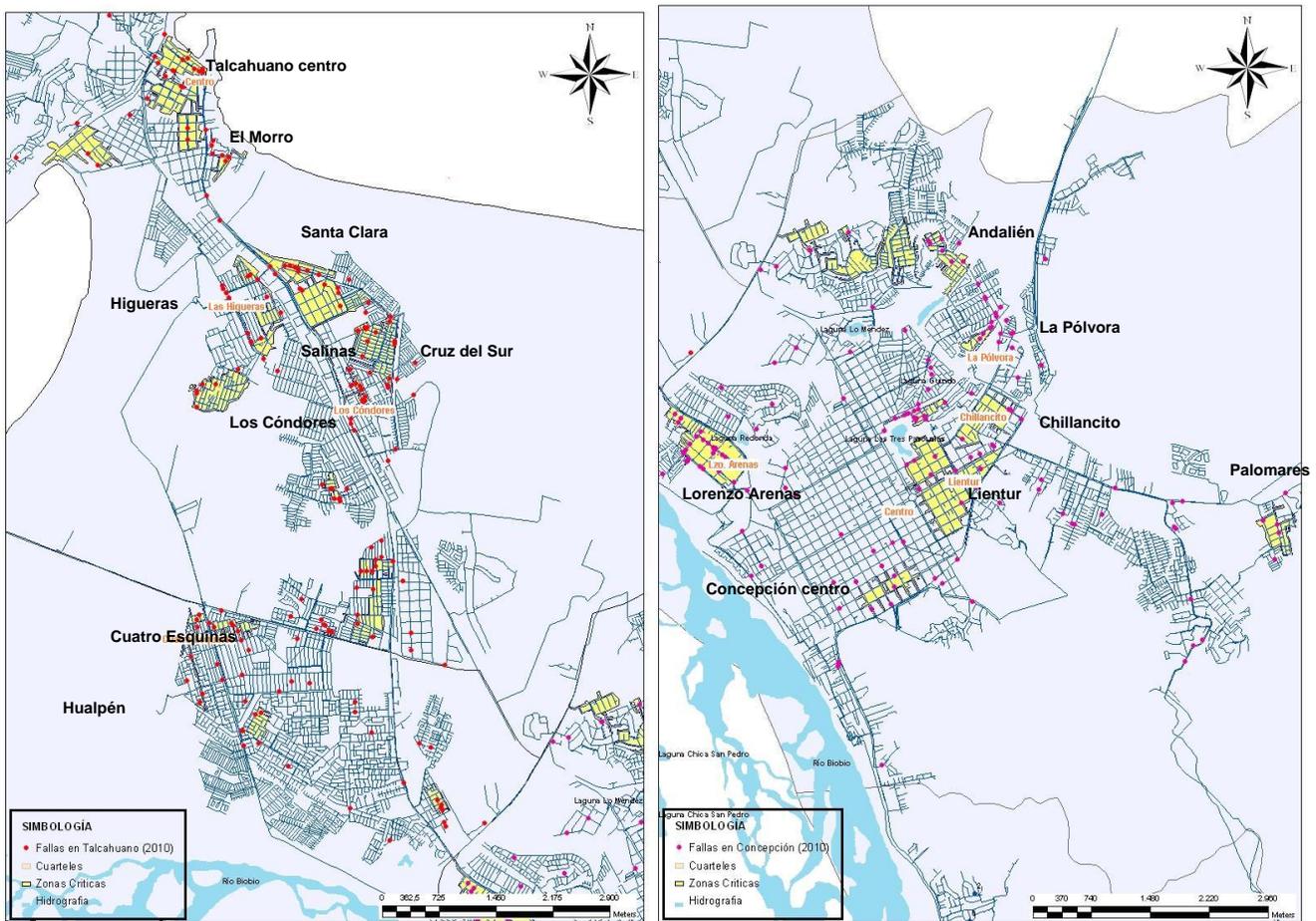


Figura 4: a) 23 zonas críticas en Talcahuano y Hualpén y b) 13 zonas críticas en Concepción

En la Figura 4a se observan más de 10 fallas en el centro de Talcahuano, Cuatro Esquinas, Higueras, Las Golondrinas y Cruz del Sur (frente a Los Cóndores) y 7 fallas en El Morro (inmediatamente antes del centro). En Concepción se observan más de 10 fallas alrededor de la laguna Las Tres Pascualas, Lientur, Lorenzo Arenas, Avenida Andalién y 5 fallas en Palomares (Figura 4b). En Chiguayante Sur se registraron 5 fallas y en Pinares sólo 1 falla. Es importante hacer notar que la falla en Pinares es

considerada crítica debido a que afectó a 1055 clientes. Por otro lado, 3370 clientes fueron afectados por cada falla en el cuartel del centro de Concepción y en el de Lientur. En el cuartel de Lorenzo Arenas se registraron más de 20 fallas, afectando sólo a 28 clientes, quienes sin embargo han sufrido reiteradas roturas de matriz.

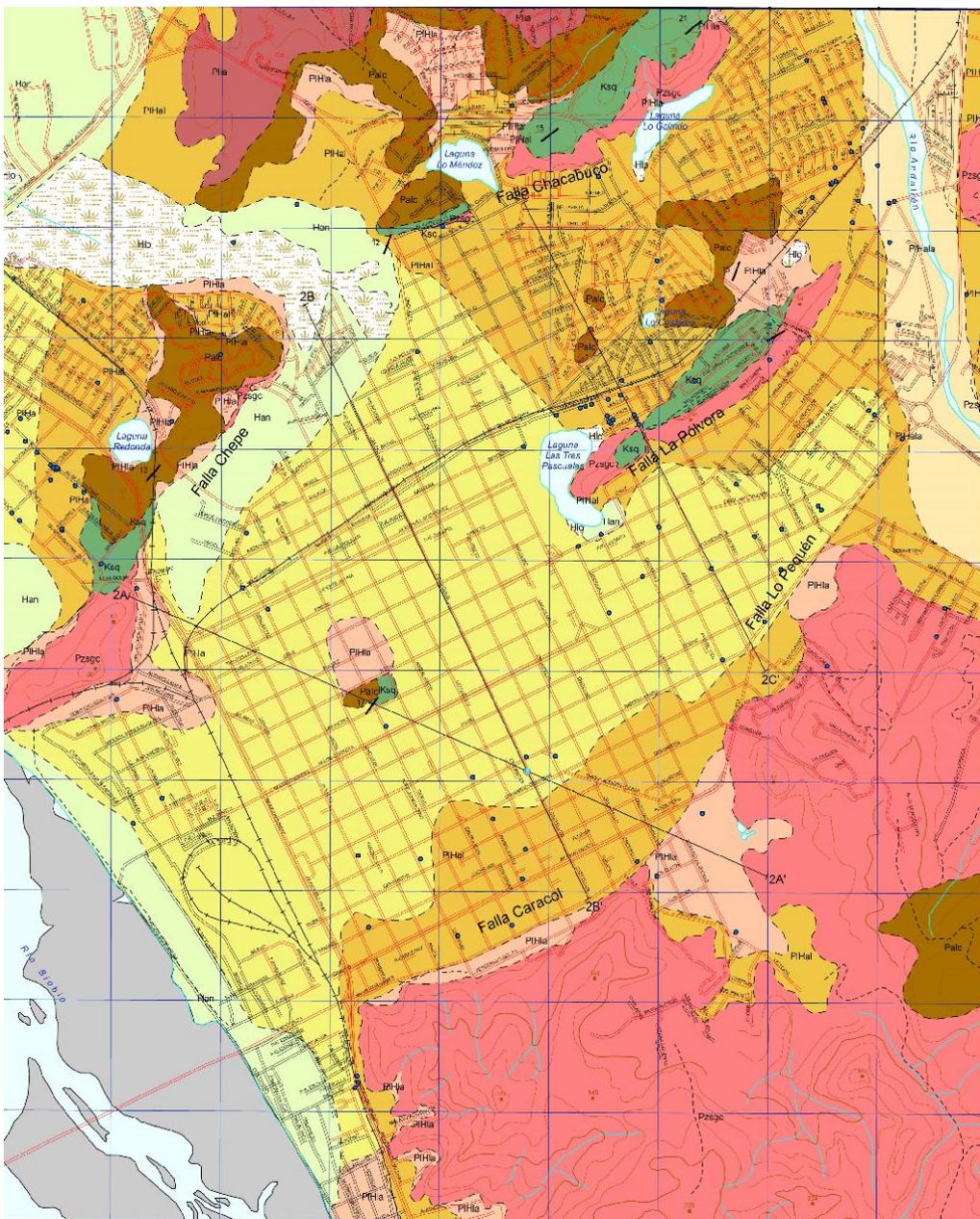




Figura 5: Distribución de fallas registradas en Concepción de redes de agua potable (puntos azules) superpuestas sobre el plano geológico de Vivallos *et al.* (2010)

La Figura 5 muestra puntos de rotura registrados tanto en la red de agua potable como en la red de aguas servidas superpuesta a la geología superficial de una amplia parte de Concepción. De esta forma es posible identificar la presencia de depósitos eólicos y coluviales tales como arenas finas, limos y arcillas en las zonas de gran concentración de fallas en la red de agua potable próximas a la laguna Tres Pascualas, Avenida Andalién y Lorenzo Arenas. Estos tres sectores tienen en común la presencia próxima de cuerpos de agua, lo cual hace que la napa freática sea superficial con profundidades menores a 1.5 m. También es posible identificar roturas en la red de agua potable cuando existen depósitos fluviales del Bío Bío que corresponde a arenas finas a gruesas limpias, en el sector céntrico, Pedro del Río Zañartu, Pedro de Valdivia, Lorenzo Arenas y Lientur (en el eje Carrera). Hay también fallas en tuberías enterradas en depósitos fluviales del Andalién alrededor del puente ferroviario. Fallas de tubería de agua potable más esporádicas se presentaron en depósitos coluviales arcillosos y limosos del Barrio Universitario y Pedro del Río Zañartu (junto al cerro Chepe), además en rocas sedimentarias altamente meteorizadas de la Formación Cosmito en el Golf y en Maicillo en el cerro La Pólvara.

La Figura 6 presenta datos de número de roturas promedio por km de tuberías en función de la aceleración máxima registrada próxima a la red. Los datos corresponden a los terremotos de Niigata de 1964, Miyagiken-Okí de 1978, Noshiro de 1983, en Japón y San Fernando de 1971 en EE.UU., reportados por Hamada (1991), a los cuales se ha superpuesto los datos de Concepción, Talcahuano y Hualpén del 2010. La aceleración máxima usada de alrededor de  $400 \text{ cm/s}^2$  ha sido obtenida del registro en el centro de Concepción (Boroschek *et al.* 2010). Esta aceleración máxima se ha usado para Talcahuano y Hualpén como una primera aproximación. El material de tubería con más roturas registradas en las tres comunas es el asbesto cemento seguido por fierro fundido.

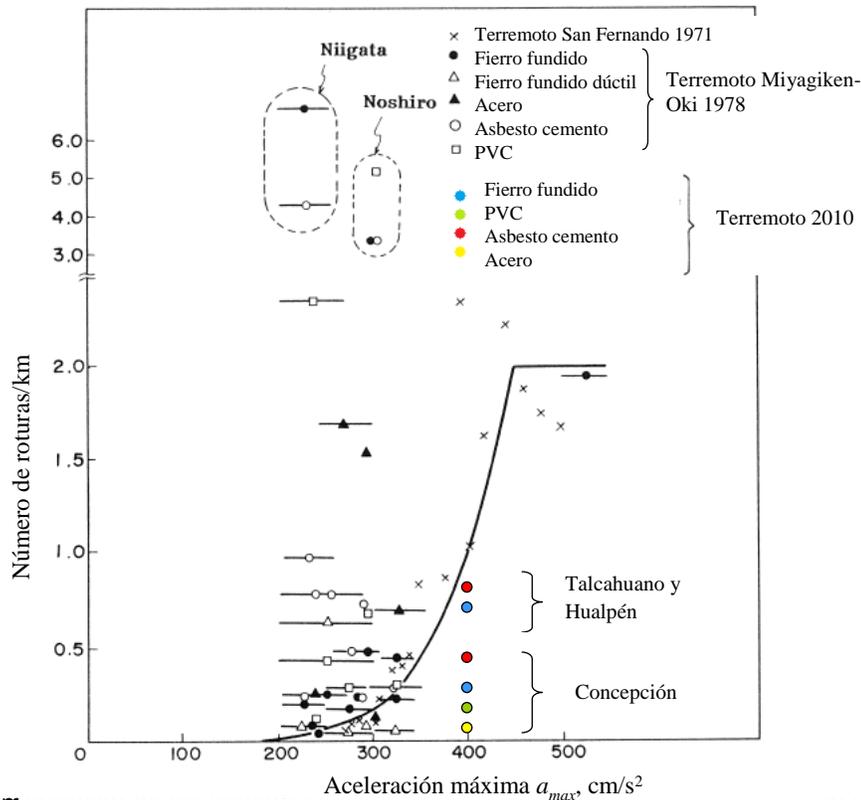


Figura 6: Comparación de roturas/km de tuberías con datos de terremotos de Japón y EEUU (Hamada 1991)

El aspecto más debatible es como obtener el número de fallas/km. Los datos mostrados en la Figura 7 corresponden a dividir el número total de fallas por comuna por la longitud total de la red para cada material de tubería. Sin embargo, si se hace el mismo ejercicio, pero por cuartel y sin diferenciar por tipo de material de tubería, el número de fallas/km aumenta a 2 en el centro de Talcahuano, a 1 en Cuatro Esquinas en Hualpén e Higueras. También se dan casos de 5 y 17 fallas/km en dos cuarteles de Cruz del Sur en Talcahuano y 5 y 32 fallas/km en los cuarteles de Las Tres Pascualas y Lorenzo Arenas en Concepción, debido en parte a la menor longitud de la red, esto es, 0.35, 0.75, 2.5 y 0.3 km, respectivamente.

**8. CONCLUSIONES.** El estudio presentado está basado en datos registrados en terreno y usando el programa ArcView 9.3. Debido a la situación de emergencia después del terremoto, inicialmente no fue posible registrar en detalle todas las fallas, las cuales se estiman entre 350 y 400 fallas reparadas diariamente durante marzo 2010 por 2000 trabajadores en Concepción, Talcahuano, Hualpén y Chiguayante. Con los datos registrados es posible establecer valores promedios de 0.4, 0.3, 0.2 y 0.1 fallas/km en Concepción para tuberías de asbesto cemento, fierro fundido, pvc y acero, respectivamente. Estos valores aumentan a 0.8 y 0.7 en asbesto cemento y fierro fundido en Talcahuano y Hualpén. Sin embargo, al determinar el número de fallas/km por cuartel se llega a valores de 1 hasta 32 fallas/km.

Se concluye que las tuberías de aguas potable rígidas de asbesto cemento, PVC y fierro fundido se vieron, en ese orden, seriamente afectadas por roturas. En cambio no se registró ninguna falla en tuberías flexibles de HDPE. Se registraron más fallas en suelos de arena fina y limosa proveniente de depósitos eólicos y coluviales, seguidos por depósitos fluviales del Bío Bío y Andalién. También se concluye que las tuberías enterradas en suelos saturados o de alta humedad sufrieron más daño de acuerdo a los datos registrados en sectores aledaños al mar, ríos y lagunas. Se recomienda

incorporar en futuros estudios los efectos de la densidad relativa y del peso unitario compactado de los suelos que rodean a la tubería, además del posible efecto de la pendiente de la tubería y del terreno sobre ella. El promedio total no necesariamente refleja situaciones de concentración de fallas y por ello puede inducir a minimizar el problema.

## REFERENCIAS

- Boroschek, R., Soto, P. y León, R. (2010). Registros del Terremoto del Maule. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile.
- Causse Ingenieros Civiles Asociados S.A. (2006). Estudio de tipos de terrenos en localidades de la concesión de ESSBIO S.A. en la Región del Bío Bío.
- Guzmán, A. A. (2011). *Estudio de la interacción suelo-tubería en las redes de agua potable y aguas servidas del Gran Concepción*. Memoria de título de Ingeniero Civil, Universidad Católica de la Santísima Concepción
- Hamada, M. (1991). Estimation of the earthquake damage to lifeline systems in Japan. *Proceedings of the third Japan - U.S. Workshop on earthquake resistant design of lifeline facilities and countermeasures against soil liquefaction*. Hamada and O'Rourke ed., NCEER-91, 6-25
- NCh 691 (1998). Agua potable - Conducción, regulación y distribución. INN Chile
- OGP (2005). Fundamentos de ArcGIS. Versión ArcView 9.1. San Juan, Puerto Rico
- Nos (2010). La puesta en marcha más difícil de ESSBIO. N°174, mayo, 76-91
- SSN (2012). Servicio Sismológico Nacional. Departamento de Geofísica, Universidad de Chile, [ssn.dgf.uchile.cl](http://ssn.dgf.uchile.cl)
- Vivallos, J., Ramírez, P. y Fonseca, A. (2010). Microzonificación sísmica de la ciudad de Concepción. Carta Geológica de Chile. SERNAGEOMIN