

## DISIPADORES SINTONIZADOS

# REDUCCIÓN DE VIBRACIONES EN EDIFICACIÓN

■ Ante un sismo y fuertes vientos resulta imprescindible proteger los ocupantes y los contenidos de las edificaciones de gran altura. Una alternativa resulta la aplicación de disipadores sintonizados, que ya presentan casos exitosos en el extranjero. ■ Este estudio detalla las características de los disipadores de masa sintonizada y columna líquida sintonizada.

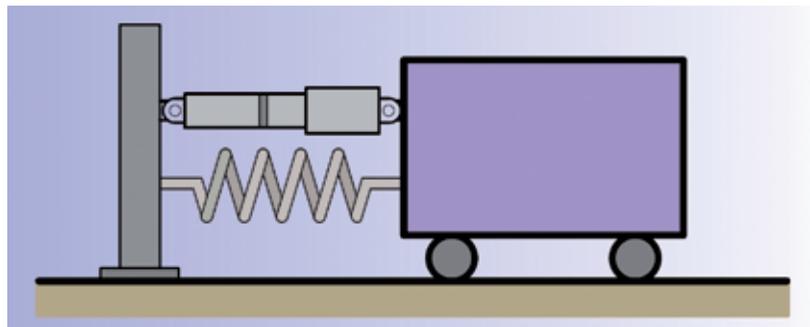
LUIS ROZAS, RUBÉN BOROSCHEK  
Y ALDO TAMBURRINO  
INGENIEROS UNIVERSIDAD DE CHILE

**P**OR SU CONFIGURACIÓN, los edificios de gran altura tienden a ser estructuras muy flexibles y con escasa capacidad de disipación de energía en forma natural. Esto significa que pueden permanecer oscilando durante un tiempo prolongado cuando se exponen a cargas de tipo sísmico y de viento intenso. Por ejemplo, un edificio de más de 200 m, sin disipación adicional de energía, típicamente demoraría más de 5 minutos en alcanzar un estado de reposo similar al que tenía antes de un sismo. Por ello, se incrementa la probabilidad que se produzcan situaciones molestas a los usuarios y daños al contenido y a los elementos no estructurales del edificio. Este tipo de problema, fundamentalmente asociado con la percepción de vibra-

ciones molestas por parte de los usuarios, tendrá consecuencias económicas importantes en términos de pérdida de valor de la construcción.

El alto costo del contenido y la generación de ambientes confortables<sup>1</sup>, exigen que el diseño busque no sólo asegurar la integridad de las estructuras frente a acciones de gran intensidad, una obligación legal, sino que además proteja su contenido y reduzca la percepción de vibraciones de sus ocupantes. Con esta finalidad se desarrollaron sistemas de control de vibraciones que incrementan la seguridad de las estructuras frente a la acción de grandes sismos, así como a los efectos de fuertes vientos. Asimismo, mejoran el comportamiento de las construcciones reduciendo las vibraciones molestas, tanto en términos de sus máximas amplitudes como en su duración.

**FIGURA 1.**  
Vista esquemática de un disipador de masa sintonizada. Se pueden apreciar la masa la cual se conecta a la estructura principal mediante resortes, u otros sistemas restitutivos, y amortiguadores.



## DOS DISIPADORES

Entre los sistemas de control de mayor aceptación en los últimos años, se encuentran los disipadores sintonizados de energía en estructuras flexibles. Como ejemplos de su uso se destacan sus aplicaciones en edificios como el Taipei 101, Taiwán, que posee un disipador de masa sintonizada tipo péndulo de 660 ton y el One Wall Centre en Vancouver, Canadá, con un disipador de columna líquida sintonizada de 400 toneladas. También hay casos exitosos en estructuras tipo puentes, como la pasarela peatonal Millennium en Londres, que posee amortiguadores de masa sintonizada para el control de vibraciones producidas por el paso de personas.

Como parte del Magíster de Ingeniería Sísmica de la Universidad de Chile se ha desarrollado una investigación<sup>2</sup>, cuyo objetivo consiste en estudiar las potenciales aplicaciones de estos dispositivos, especialmente en el control de vibraciones producto de acciones sísmicas. Dos variedades han formado parte de la investigación: Los disipadores de masa sintonizada, figura 1, y los de columna líquida sintonizada, figura 2. Los primeros, actualmente los más utilizados en el mundo, consisten básicamente en una gran masa ubicada en uno o varios puntos de la estructura, generalmente en el último piso. Las características de estos dispositivos se determinan de tal forma que la masa oscile contrarrestando el movimiento del edificio en donde está emplazado. Por otra parte, los disipadores de columna líquida sintonizada son estanques de agua con forma de U, cuya oscilación del contenido contrarresta el movimiento del edificio. Estos dispositivos cuentan con la ventaja de su bajo costo de instalación y mantenimiento. Asimismo, el peso que se suma a la estructura es prácticamente nulo, ya que el agua utilizada en estos dispositivos puede utilizarse como agua potable y para emergencias tales como el combate de incendios. En este caso, la fuerza restitutiva es la aceleración de la gravedad.

## EL DISEÑO

Para lograr un diseño eficiente de los dispositivos, se debe determinar el conjunto de parámetros que minimizan la respuesta de la estructura, los que corresponden a la frecuencia natural de vibrar y la razón de amortiguamiento crítico óptimos del disipador. Estos parámetros son a su vez función de la razón entre la



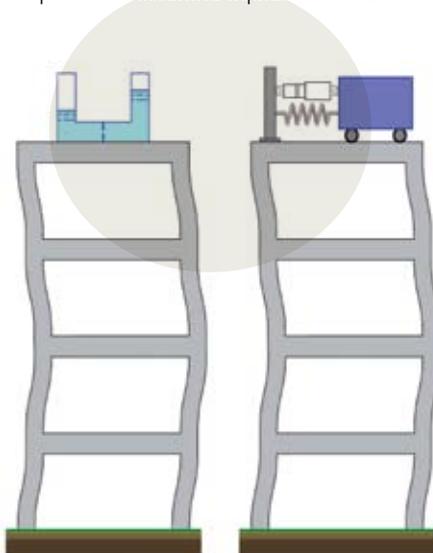
**FIGURA 2.** Disipador de columna líquida sintonizada utilizado en los análisis experimentales. El líquido utilizado es agua el cual ha sido coloreado para hacerlo visible. Un sensor ultrasónico ubicado en la parte superior de las columnas verticales permite la medición del desplazamiento de la superficie libre de líquido.

masa del disipador y la estructura, la frecuencia natural de vibrar de la estructura, la razón de amortiguamiento crítico de la estructura y, en el caso del disipador de columna líquida sintonizada, de su factor de forma, definida como el cociente entre la masa de líquido contenido dentro de la sección horizontal del disipador y su masa total de líquido. Además, se debe considerar el tipo de excitación a la cual se somete la estructura principal, ya que éstas también influyen en la determinación de los parámetros óptimos. Un detalle de los procesos de optimización y diseño se encuentran en la referencia 1.

El primer paso para obtener los parámetros óptimos de diseño de los dispositivos de columna líquida, consiste en caracterizar el comportamiento dinámico del sistema estructura-disipador, figura 3. En el caso del disipador de columna líquida sintonizada se

debe tener en cuenta que el amortiguamiento, el cual viene dado por la resistencia al flujo del líquido dentro del disipador, no es siempre lineal, es decir, proporcional a la velocidad del movimiento del agua. La resistencia causada por la fricción interna con las paredes, el cambio de dirección del flujo de líquido en los codos, y principalmente por un angostamiento o restricción ubicada en la sección central del dispositivo, es lineal sólo cuando el régimen de flujo es laminar. No obstante, en la mayoría de los casos el régimen de flujo puede considerarse como turbulento, lo que significa que el amortiguamiento es proporcional a valores cercanos al cuadrado de la velocidad del líquido. Para obtener los parámetros óptimos de diseño se debe expresar de forma lineal equivalente la fuerza de amortiguamiento, la que dependerá del tipo de acción a la cual es sometido el sistema.

Una vez caracterizada la respuesta del sistema, se puede determinar los parámetros óptimos de diseño de los dispositivos. Específicamente interesa definir las propiedades dinámicas de los disipadores que minimizan el desplazamiento de la estructura a controlar. Si la acción externa resulta bien determinada como una acción monofrecuencial, como el caso de las excitaciones de maquinaria y los efectos del viento producto de los



**FIGURA 3.** Estructura de varios grados de libertad con disipador de columna líquida sintonizada a la izquierda, y con disipador de masa sintonizada a la derecha.

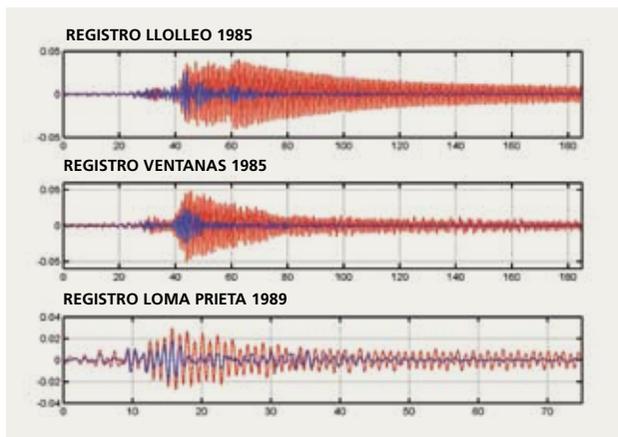
**FIGURA 4.** Vista del modelo de seis grados de libertad utilizado en los análisis experimentales. A la izquierda se aprecia el modelo con el disipador de masa sintonizada ubicado en el nivel superior, en tanto que a la derecha se muestra el modelo con el disipador de columna líquida sintonizada.



aceleración de base. Para esto se instaló un disipador de masa sintonizada y un disipador de columna líquida sintonizada en el nivel superior de la estructura, figura 4. Para realizar posteriores análisis comparativos ambos dispositivos poseen una masa que corresponde a un 3,1% de la masa total del modelo.

Los principales resultados obtenidos a partir de los análisis experimentales indican un buen comportamiento de los dispositivos. En la figura 5 se muestra el desplazamiento medido en el nivel superior del modelo para tres de los registros utilizados. Se destacan las reducciones en los máximos desplazamientos y aceleraciones. Asimismo, se muestran notorias disminuciones en variables asociadas a la duración de la vibración y su amplitud como la Intensidad de Arias y el valor medio cuadrático o RMS de las aceleraciones medidas en los diferentes niveles de la estructura. Este último resultado concuerda con el rápido decaimiento de la respuesta observado en los ensayos experimentales, en contraste con la persistencia de la vibración detectada en aquellos casos en que la estructura no posee disipadores, ver figura 5. En general las mayores reducciones se encuentran para los registros cuya duración de movimiento fuerte es mayor, el cual corresponde a los sismos típicos que se presentan en el territorio nacional. En las figuras 6 y 7 se presentan la reducción de máximas aceleraciones, y la duración observada experimentalmente para cuatro sismos norteamericanos y seis sismos chilenos, para cada uno de los dos tipos de disipadores evaluados en este estudio. Para el caso de los sismos chilenos se aprecian reduc-

**FIGURA 5.** Desplazamientos medidos en el nivel superior del modelo. En rojo se muestran los desplazamientos medidos sin dispositivos, en tanto que en azul se muestra el desplazamiento medido con el disipador de columna líquida instalado.



vórtices de Von Karman, dichas propiedades dinámicas se determinan al reducir el máximo valor de la respuesta en frecuencia de la estructura primaria. Por otro lado, si la estructura se encuentra sujeta a acciones de naturaleza más caótica, como las causadas por vibraciones ambientales, vientos y sismos, los parámetros óptimos de diseño de los disipadores se determinan al minimizar el valor esperado relacionado con el desplazamiento de la estructura a controlar.

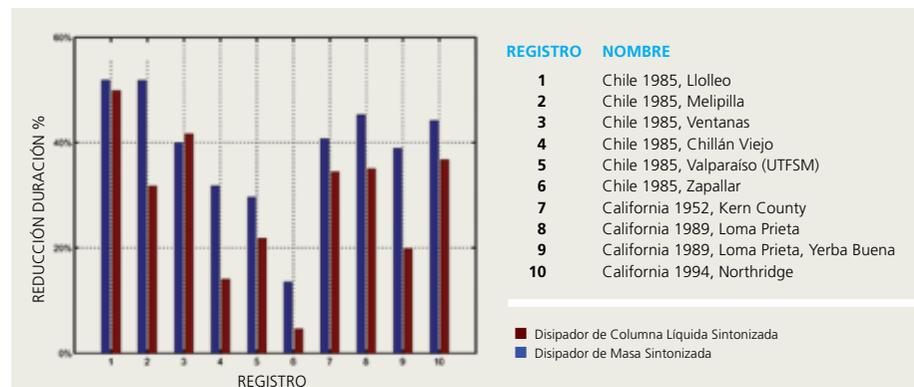
Para estructuras de varios grados de libertad se debe decidir cuáles serán los modos controlados por los dispositivos, y dónde se ubicarán dentro de la estructura. Es importante tener en cuenta que su efectividad será mayor en la medida que el modo controlado sea predominante en la respuesta de la estructura.

## LA EFICACIA

En la segunda parte de la investigación, se verificó experimentalmente la eficacia de los disipadores diseñados mediante los procedimientos determinados en los análisis teóri-

cos. Para tal efecto, en el Laboratorio de Dinámica de Estructuras del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Chile, se han llevado a cabo análisis experimentales a un modelo de 6 grados de libertad sometido a la acción de registros sísmicos modificados en su base.

En el estudio se controló el primer modo de vibrar de la estructura bajo excitación de



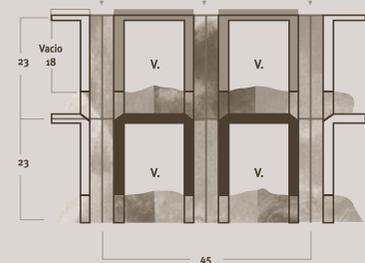
**FIGURA 6.** Reducción de la duración de movimiento fuerte de la vibración medida en el modelo para los registros indicados.

# Tecnología que evoluciona la construcción

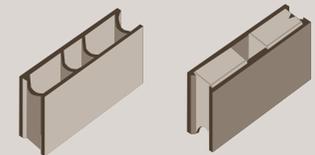
BLOQUES MACHIHEMBRADOS DE MONTAJE EN SECO

## CORTE LONGITUDINAL

Bocas de relleno vertical y horizontal por rebalse que permiten armaduras de fe para albañilería armada.



un bloque: 50 cms. largo / 25 cms. alto  
ANCHO VARIABLE



El Bloque de hormigón BLOSEC es un elemento pre-moldeado de concreto de características y cualidades excepcionales, que permite un cómodo transporte, almacenaje y fácil colocación manual en obra.

## Sus principales ventajas son:

- Mayor rendimiento en mano de obra y reducción de costos en materiales e insumos.
- Mayor resistencia estructural del muro.
- Permite la impermeabilidad total del muro.
- Mayor aislación térmica y acústica en comparación a los sistemas tradicionales.

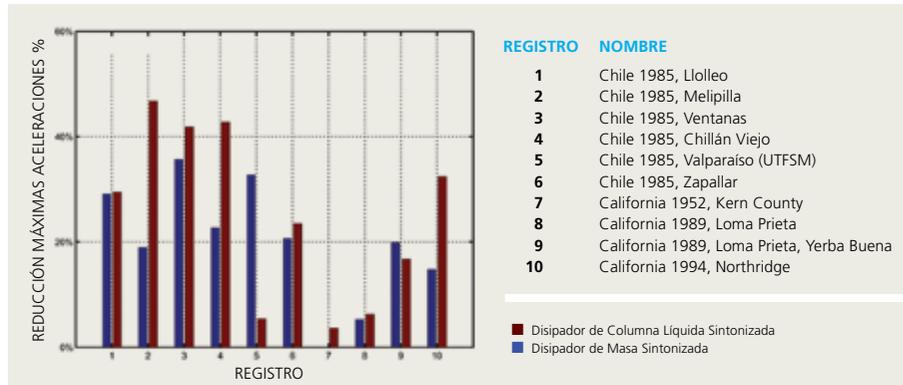


FIGURA 7. Reducción de las máximas aceleraciones medidas en el modelo para los registros indicados.

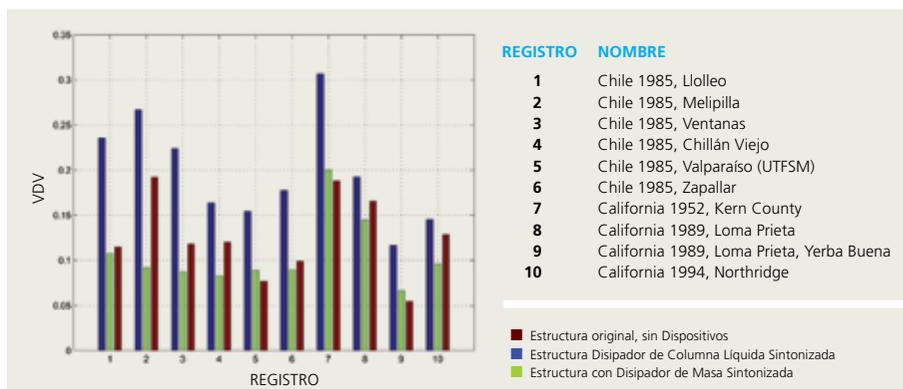


FIGURA 8. Valor del índice VDV, de acuerdo a la norma BS 6472, determinado para cada uno de los registros indicados

ciones de la duración de la respuesta entre un 10 y un 50%. Para los sismos característicos norteamericanos las reducciones son entre un 20 y un 40%. También se analizó la variación del valor de dosis de vibración, VDV, de acuerdo a la norma de percepción de vibraciones BS 6472<sup>3</sup>. En la figura 8 se muestran los valores del parámetro VDV obtenido a través de los análisis experimentales para cada uno de los registros analizados. Nuevamente se puede apreciar que los dispositivos reducen de manera significativa la percepción de vibraciones, cuantificada esta vez por medio del índice VDV. Claramente, los dispositivos presentan una gran ventaja para ser utilizados en eventos de larga duración y con las características de frecuencia observadas en Chile. Ambas tipologías de dispositivos generan reducciones comparables de duración para los sismos estudiados.

La investigación concluye que los disipadores sintonizados son dispositivos de reduc-

ción de vibraciones eficaces. Especialmente indicados en aquellos casos en que se desea controlar la respuesta de una estructura sujeta a la acción de vibraciones ambientales, que ocasionan molestias a los usuarios. Su instalación es sencilla y no involucra grandes modificaciones a la estructura. ■

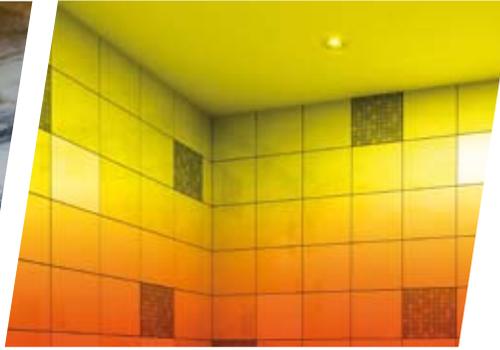
## AGRADECIMIENTOS

Se agradece el apoyo del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Chile, al ingeniero Pedro Soto del Laboratorio de Dinámica de Estructuras y al Proyecto Fondecyt N° 1070319

## REFERENCIAS

1. A. S. Whittaker and T. T. Soong, "An Overview of Nonstructural Components Research at three U.S. Earthquake Engineering Research Centers", State University of New York at Buffalo.
2. L. Rozas, 2009 "Reducción de la respuesta Estructural por medio del uso de disipadores de masa sintonizada y disipadores de columna líquida sintonizada, análisis teórico y experimental". Tesis para optar al grado de Magister en Ingeniería Sísmica, Universidad de Chile"
3. BS 6472-1, 2008 "Guide to Evaluation of Human Exposure to Vibration in Buildings", British Standard.





# DRY MIX *Nueva Generación en Adhesivo Cerámico*

**Un producto diseñado especialmente para adherir revestimientos cerámicos sobre soportes flexibles como tabiquerías de yeso cartón y fibrocemento, es la última tecnología desarrollada por la empresa Dry Mix. Es el Adhesivo Cerámico Especial Flexible Experto.**

La industria de la construcción exige innovación. En esta línea de constante búsqueda de nuevas tecnologías, el último desarrollo de DryMix es el producto Adhesivo Cerámico Especial Flexible Experto. Consiste en una mezcla de cemento, áridos finos y aditivos, diseñada especialmente para adherir revestimientos cerámicos sobre soportes flexibles tales como tabiquerías de yeso cartón y fibrocemento. Además de cubrir un amplio espectro de revestimientos y soportes de aplicación.

La principal innovación que introduce el producto es que se puede utilizar en reemplazo o como sustituto del adhesivo cerámico en pasta. Sus principales ventajas respecto al adhesivo cerámico en pasta son:

1. Se puede aplicar indistintamente en ambientes interiores y exteriores, con o sin presencia de humedad. Esto último no puede realizarse con el adhesivo en pasta.
2. En obra se puede utilizar un sólo producto tanto para soportes flexibles como para soportes rígidos, dando mayor flexibilidad a la gestión de la obra.
3. Se comercializa en sacos y puede almacenarse en bodega con mayor facilidad que los adhesivos en pasta, que se comercializan en tinetas plásticas con una altura de apilamiento muy restringida.

## **MÁS INNOVACIONES**

El desarrollo del Adhesivo Especial Flexible Experto se suma a una variada gama de morteros y hormigones de uso tradicional y específico, dentro de los cuales destaca el Hormigón Ultrarápido, único en su género, ya que permite el tránsito peatonal a sólo dos horas de su colocación y solicitaciones mayores a cortas edades.

DryMix, consciente de la necesidad de llenar un importante vacío en su mix de productos, buscó una solución al problema de adherir revestimientos cerámicos sobre soportes flexibles. Asimismo, se investigó la forma de que la aplicación del producto fuese tanto para interior como exterior, en ambientes que posteriormente quedarían o no expuestos a la humedad.

Antes, se pensaba que sólo era posible adherir



revestimiento de cerámicas sobre soportes flexibles con adhesivo en pasta. El desafío principal de Dry Mix fue lograr un elevado anclaje del adhesivo sobre yeso cartón y fibrocemento, materiales que son utilizados ampliamente en obras de edificación, comerciales, industriales, entre otras. Y a su vez impedir que la humedad dañara el adhesivo. En el laboratorio de la compañía fueron realizados los ensayos preliminares de adherencia del producto sobre los soportes de yeso cartón, fibrocemento y hormigón y, posteriormente, se realizó una caracterización del producto en un laboratorio oficial, siguiendo el procedimiento establecido en la norma europea UNE – EN 1348, obteniéndose resultados ampliamente satisfactorios.

La fase de introducción del Adhesivo Especial Flexible Experto en el mercado comenzó con una completa caracterización y las correspondientes pruebas en prestigiosas empresas constructoras, algunas de las cuales ya han comenzado a adquirirlo.

# En canaletas de techo, Vinilit tu socio más confiable



vinilit®

*"Las Canaletas de Techo PVC P25 Vinilit, tienen una duración y calidad respaldada por años en la construcción; además de ofrecer variedad de colores y piezas que soportan la dilatación del PVC"*

Ismael López Egea, Jefe de instalaciones Canaletas de Techo.  
Obra: Valle Apacible 2, Ciudad de los Valles.  
Constructora: LDP

## Línea Canaletas de Techo PVC P25



Bajada con Dilatación



Cubeta para Bajada



Codo 67,5 M-H

30 años  
de experiencia en  
Construcción

Productos al servicio de grandes proyectos



Exige nuestros productos  
Vinilit en los mejores distribuidores  
a lo largo de todo el país.



vinilit®  
www.vinilit.cl

■ Los primeros pasos ya se han dado. La I+D+i (Investigación, Desarrollo e Innovación) no es sólo un concepto, ni una teoría.

■ Hoy se transforma en un desarrollo concreto a través de un proyecto con apoyo CORFO, elaborado y ejecutado por la CDT para generar cultura y capacidades en gestión de innovación en nuestro país.



## I+D+i

# UNA REALIDAD EN CHILE

FRANCESCA CHIAPPA G.  
PERIODISTA REVISTA BIT

“**L**O ÚNICO permanente es el cambio”, así lo postuló el filósofo Heráclito y así lo han afirmado recientemente expertos en materia de innovación como el español Juan Manuel Mieres, ex director de I+D+i de Acciona España. Ya no hay dudas, la innovación no es una opción, es una oportunidad para crecer y posicionarse en el mercado. Esto bien lo saben siete empresas del sector construcción que en noviembre del 2009 obtuvieron el apoyo de CORFO para llevar adelante un proyecto con la finalidad de incorporar herramientas metodológicas para promover y realizar gestión de la innovación al interior de sus organizaciones.

La Corporación de Desarrollo Tecnológico, CDT, además de elaborar el proyecto también es la responsable de su ejecución, que considera tres etapas; la primera contempla el diagnóstico, motivación y generación de

capacidades, la siguiente una intervención en empresas participantes. En tercer término habrá un seguimiento, difusión y medición de resultados. La visión de futuro planteada en el origen de la iniciativa ya quedó atrás. Hoy, el proyecto se transformó en un presente activo y colmado de actividades.

Las siete empresas del sector que integran este proyecto han recibido el asesoramiento de la CDT, Acciona I+D+i y la empresa española AIN Consultores. El avance de la I+D+i es un hecho. Ya están concretadas dos de las tres etapas del proyecto. Así, la formación metodológica a los líderes de cada empresa y coaching por parte de los asesores culminaron con éxito a través de talleres realizados durante la última semana de septiembre. Aún queda camino por recorrer para situar a Chile en la lista de los países íconos en innovación del sector construcción, pero los primeros pasos ya se han dado, y con firmeza. ■

<http://portalinnovacion.cdt.cl>

## LOS PROTAGONISTAS

En el proyecto CORFO, elaborado y ejecutado por la CDT, participan las siguientes siete empresas del sector construcción: Mas Errázuriz, Vial y Vives, ICAFAL, DRS Gestión Integral de Proyectos, René Lagos y Asociados, Axis Desarrollos Constructivos y L&D Constructora. Por otra parte, en la actualidad la Corporación se encuentra preparando nuevos proyectos para incorporar a nuevas empresas en el desafío de la innovación como estrategia de valor.

InnovaChile  
CORFO

CDT  
Corporación de Desarrollo Tecnológico  
Estado Chile de la Construcción

# Geof foam

## Aislapol en aplicaciones de obras civiles y viales



**Aislapol es Geof foam en Chile.**  
**Con más de 40 años en el mercado**  
**somos experiencia y respaldo.**

Los suelos compresibles de baja resistencia, tan abundantes en nuestro país, representan un grave problema, no solo durante el proceso de construcción de terraplenes, sino, a lo largo de toda su vida útil.

Al considerar la magnitud de los proyectos que involucra el desempeño de terraplenes (carreteras; vías férreas; puentes; protección de tuberías; etc.), se puede tener una idea de los costos de mantenimiento y operación que genera reparar las grandes deformaciones involucradas en este tipo de obras a lo largo de su periodo de servicio.

Procesos y soluciones constructivas tales como el uso de pilotes; drenajes del subsuelo; sustitución parcial o total del suelo existente; procesos graduales de sobrecarga; drenaje vertical; etc., son normalmente usados y/o considerados para solucionar esta clase problemas, no siempre con los mejores resultados.

Una alternativa a esta clase de soluciones constructivas la constituye el reemplazo de este material de baja capacidad de soporte por otro de mejores características mecánicas y cuyo peso sea notablemente inferior al del material tradicional, lo que se conoce como terraplén liviano. Existen variadas alternativas de materiales y/o mezclas de ellos que lo pueden constituir, una de las cuales consiste en el uso de Geobloques® de poliestireno expandido o Aislapol®, técnica que se conoce como Geof foam.

Aislapol, utilizado como Geof foam, tiene diversas aplicaciones, destacándose entre otras:

- **Inclusión compresible**
- **Protección de tuberías**
- **Amortiguación de vibraciones**
- **Drenajes**
- **Rellenos livianos**
- **Aislamiento térmico**

**Fono: (56 2) 640 7070**  
**[www.aislapol.cl](http://www.aislapol.cl)**

Aislapol S.A.  
Innovación tecnológica para la industria

Aislapol S.A., el mayor transformador de Poliestireno Expandido del país, trabaja hace casi 40 años en avances tecnológicos y estándares de calidad en el manejo de la materia prima Styropor. Su inmejorable capacidad aislante, su bajo peso y su facilidad de moldeado, han convertido a este producto en sinónimo de aislación térmica, embalaje liviano, racional y seguro. Con sus dos modernas plantas en Santiago y Puerto Montt y, una bodega comercial en Concepción, abastece los requerimientos de todo el mercado nacional satisfaciendo las necesidades en los rubros de construcción, embalaje, en los sectores, acuícola, agrícola, forestal y hortícola, refrigeración, industrial y consumo.

