

# PROBLEMAS GEOTECNICOS DE LOS RELLENOS SANITARIOS (1)

R. ESPINACE (\*)  
J. A. OLAETA (\*)  
O. PRADO (\*)  
J. PALMA (\*)  
I. DIAZ (\*)

**RESUMEN.** Durante los últimos años ha circulado una abundante literatura relativa a la disposición y manejo de los desechos sólidos. Sin embargo, muy pocos de estos artículos se refieren específicamente al aspecto geotécnico del proceso de disposición de mayor empleo en el mundo: los rellenos sanitarios.

Ultimamente, el trabajo conjunto de la ingeniería sanitaria y la ingeniería geotécnica ha planteado, a partir de resultados experimentales, algunos modelos de comportamiento que en general son muy difíciles de extrapolar de un relleno a otro dado las características de cada uno y su heterogeneidad, pero sirven de orientación para iniciar estudios prácticos en rellenos terminados.

En el presente artículo se ha resumido la información existente que permite determinar la magnitud de los asentamientos, la capacidad de carga y otros problemas geotécnicos de los rellenos sanitarios. Se analizan las experiencias existentes, con el propósito de obtener tendencias comunes para los fenómenos geotécnicos.

Se presenta además en este artículo los alcances de las experiencias que, sobre la materia, se encuentra desarrollando el grupo de investigadores de la Universidad Católica de Valparaíso.

**ABSTRACT.** *In recent years, abundant literature has been available in relation to disposal and handling of solid waste. Nevertheless, few articles are specifically related to the geotechnical aspect of the disposal process of widest use throughout the world; sanitary landfills.*

*Some behavioural models have recently been formulated by a joint work of both Sanitary Engineering and Geotechnical Engineering on a basis of experimental results. In general, extrapolating this models from one filling to another is not an easy task, providing they do not share the same characteristics and they are not homogeneous. However, they can be usefully used as a guide in order to start practical studies in finished fillings.*

*Existant information which allows determining the magnitude of settlements, the loading capacity, as well as other geotechnical problems of sanitary landfills has been summarized in this article. Experiences are analyzed so as to obtain common trends for geotechnical phenomena.*

*In addition, scopes of experiences developed on this matter by a group of researchers from Universidad Católica de Valparaíso are also included in this article.*

## 1. INTRODUCCION

El aumento progresivo de la población en el mundo y su nivel de desarrollo han originado en la mayoría de los países un incremento en el volumen de producción de los residuos sólidos. Estos residuos generados en cantidades per cápita importantes, deben ser almacenados, recolectados, transportados y, finalmente, sometidos a procesos de disposición final.

En las ciudades latinoamericanas la producción de desechos puede variar entre 0,35 y 1,0 kg por habitante cada día, mientras que en los países desarrollados los máximos pueden alcanzar hasta 3 kg por habitante cada día.

Entre los métodos más conocidos para eliminar finalmente las basuras y que se han empleado desde principios de siglo, se tiene: el vertido directo; el vaciado de los residuos al mar, ríos o lagos; la incineración; la alimentación de animales; el compostaje y los rellenos o vertederos sanitarios. Estos métodos no sólo han afectado al medio ambiente contaminando, sino que han ocasionado serios impactos ecológicos y paisajísticos.

Actualmente se considera a los rellenos o vertederos sanitarios como la mejor solución técnica, económica y sanitaria para disponer los residuos sólidos.

El relleno sanitariamente controlado es aquel es que se colocan los desechos, compactándolos para que ocupen el menor volumen posible y se les cubre al final de la jornada diaria o cuando sea necesario con una capa de tierra, para que no afecten el sistema ecológico o se constituyan en focos infecciosos.

Los principales métodos de trabajo para el relleno sanitario controlado se pueden clasificar en área, trinchera y depresión.

(1) Texto ampliado de una conferencia impartida por el Dr. Raúl Espinace en el CEDEX, en 1989.

(\*) Investigadores Universidad Católica de Valparaíso - Chile (Proyecto FONDECYT 127/89).

En el método de área la operación de llenado se inicia, generalmente, construyendo un terraplén contra el cual se colocan y compactan los desechos. Si se dispone de poco material de recubrimiento en el mismo lugar de los vertidos se utiliza el método denominado de trincheira o zanja. En este método los desechos son colocados y compactados en forma similar a los de área y son parcialmente cubiertos con tierra removida desde la base del talud. El sistema requiere de un acarreo de suelo de cobertura. El método de depresión, se usa donde la topografía incluye depresiones naturales o artificiales. La operación varía con la geometría del sitio, las características del material de recubrimiento, la hidrogeología del sitio y el acceso al lugar.

Un método alternativo interesante son los rellenos sanitarios con residuos sólidos triturados. Este método se considera muy efectivo por el aumento que se obtiene en la densidad de compactación.

Los principales inconvenientes que genera la disposición final mediante rellenos sanitarios están relacionados con los focos de vectores sanitarios que se desarrollan, junto a la contaminación de las aguas y la inmigración del gas. Actualmente, estos dos últimos problemas son muy investigados.

El relleno sanitario una vez finalizado, presenta condiciones ecológicas diferentes a aquel que presenta su entorno. Por esta razón, en el proyecto de recuperación de un relleno sanitario se debería contemplar el estudio del destino final de esta área, evaluada desde un punto de vista medioambiental técnico y económico.

Un destino final de los rellenos sanitarios que se ha venido utilizando en los últimos años, debido a la expansión urbana, es el que se refiere a la construcción de diversas estructuras sobre tales terrenos. Sin embargo, aún se carece de una base de datos adecuada sobre sus propiedades físicas y estructurales. Un antecedente fundamental que se requiere para este propósito es un buen conocimiento de la compresibilidad y capacidad de soporte de estos terrenos, como también del conocimiento de las técnicas posibles de aplicar para minimizar los asentamientos que se producirán (Espinace, 1988).

La bibliografía actual presenta una gran cantidad de casos en los cuales se ha construido sobre rellenos incontrolados o semicontrolados. En Nueva York, por ejemplo, se han construido calles, parques, edificaciones industriales, urbanizaciones. El propio aeropuerto de La Guardia está construido sobre un antiguo relleno sanitario (Institute for Solid Wastes of American Public Works Association, 1976). Landfill Forces Intake to Extend its Reach (1975), reporta que en Portsmouth, Gran Bretaña, se ha ganado terreno al mar construyendo diques con suelo excavado desde una colina cercana, los cuales se han rellenado con residuos sólidos bajo condiciones controladas. El proyecto ha considerado proporcionar 161 Ha de tierra útil y además dotar de un nuevo camino de acceso a Portsmouth. Japan's Pollution Grows with Population (1970) informa que la isla Del Ensueño, en la bahía de Tokio, zona circundada de

45,3 Ha, se formó por completo con residuos sólidos, residuos de incinerador y materiales de relleno limpio que se colocaron en capas alternadas. Experiencias adicionales sobre el tema son presentadas entre otros por Binquet y Lee (1975), Chang y Hannon (1976), Souza y Rodríguez (1980).

## **2. PROBLEMAS GEOTECNICOS ASOCIADOS A LOS RELLENOS SANITARIOS**

De lo expuesto se deduce que hay una serie de problemas geotécnicos que están asociados a la construcción de un relleno sanitario y su uso posterior como suelo de fundación. Los más importantes se refieren a la capacidad de soporte del relleno sanitario, es decir, la máxima carga que es capaz de resistir con niveles de asentamiento admisibles para las estructuras, y a la alta compresibilidad debido al peso propio o sobrecargas estáticas y/o dinámicas por cambios producidos en la masa a causa de la descomposición bioquímica, ya sea tanto en condiciones aeróbicas como anaeróbicas. Esta compresibilidad necesariamente deberá ser estudiada en términos de magnitud y velocidad de los asentamientos experimentados por el relleno.

Sin embargo, junto a estos dos problemas fundamentales se ha detectado una serie de otros problemas geotécnicos, tanto durante la construcción del relleno como una vez finalizado. Uno de estos problemas se refiere a los grandes deslizamientos observados en rellenos construidos por el método de depresión.

Dependiendo del sistema constructivo y en especial de las características topográficas y geológicas del lugar de emplazamiento, se pueden originar al interior de la masa de desechos, planos de fallas activos que alcanzan un desplazamiento relativo progresivo. Los deslizamientos en estos rellenos generan fisuraciones y agrietamientos externos que agravan el problema, al permitir el ingreso a éste, de aguas superficiales que generan un incremento en el flujo plástico observado.

Las causas de este fenómeno no han sido estudiadas en profundidad; sin embargo, es factible establecer que el mecanismo preponderante se concentra en los procesos de degradación generalizada de los desechos, los cuales ayudados por el peso propio de los materiales y planos inclinados de apoyo, generan distribuciones de esfuerzos cortantes excesivos para la resistencia intrínseca del material, propiciando las características de fisuración y comportamiento geo-dinámico del relleno.

La gran dificultad que presenta el análisis de estabilidad de estas masas potencialmente deslizantes, es la cuantificación de los parámetros a incluir en los métodos tradicionales de cálculo. En algunos proyectos realizados, como en el relleno de Meruelo, en Santander, España, o en los rellenos experimentales de la V Región en Chile, se han utilizado análisis de estabilidad a corto plazo empleando parámetros obtenidos de ensayos de placa de carga o ensayos de penetración con cono dinámico. Sin embargo, no se tiene seguridad de la variación de estos parámetros con la edad del relleno.

Un ejemplo claro de deslizamientos importantes, son los observados en el relleno sanitario controlado experimental de Limache, Chile, en el cual se han desarrollado grietas de contorno superiores a 10 cm de abertura con una profundidad media superior a 1 m. Esto denota el claro corrimiento presentado por las masas de desechos del relleno hacia las cotas más bajas de su emplazamiento.

Desde un punto de vista estrictamente estructural una forma de evitar que se produzcan problemas como los mencionados, es decir, pérdida de capacidad de soporte, grandes asentamientos y deslizamientos u otros, es aplicar, durante la ejecución del relleno sanitario, técnicas basadas en la Mecánica de Suelos que permitan optimizar el diseño y construcción de éste.

Lo anterior requiere una claridad en cuanto a las funciones del suelo a ser empleado como cobertura, las propiedades mecánicas que por lo tanto éste debe tener y las técnicas constructivas a emplear.

En cuanto a las funciones, fundamentalmente pueden clasificarse en:

**A. Funciones Ambientales y de Salud:** destinadas a proporcionar a la masa de desechos condiciones de degradación controlada al interior de celdas confinadas, evitando de esta forma los peligros para la salud de la comunidad y de las personas que trabajan en estos lugares. Asimismo contribuye a reducir el impacto ambiental generado por este sistema sanitario, a través de evitar la proliferación de insectos, roedores, moscas y todo organismo que atente contra la salud humana al generar o transportar enfermedades de alto riesgo.

**B. Funciones de Control:** destinadas a evitar que el relleno sanitario sea afectado por factores externos tales como:

- La excesiva infiltración de aguas superficiales.
- La emanación incontrolada de gases hacia la atmósfera.
- Los efectos ambientales sobre el desecho, como ser el efecto del viento y la erosión sobre los residuos. Además una buena cobertura debe proporcionar una superficie transitable y segura para el relleno.

**C. Funciones de Recuperación:** destinadas a permitir un destino final del relleno ya sea como áreas verdes, soportando el buen crecimiento de vegetales, o como áreas sobre las cuales se puede construir, sobre la base de implementar diseños y consideraciones adecuadas.

Las propiedades mecánicas que debe presentar el material deberán ser alcanzadas generalmente con el suelo disponible localmente. Mediante los ensayos adecuados se determinarán las técnicas de colocación. Estas técnicas deben necesariamente apuntar hacia los objetivos de lograr un adecuado nivel de compactación tanto para los residuos sólidos dispuestos en el relleno, mediante el uso de maquinaria pesada de compactación, como para el material de cobertura, el cual debe ser controlado y compactado de acuerdo a los criterios y es-

pecificaciones geotécnicas adecuadas a las condiciones de diseño.

En la actualidad, uno de los importantes problemas sobre esta materia en grandes ciudades, es cómo mejorar las características de antiguos rellenos sanitarios acabados, sobre los cuales no se han podido aplicar técnicas como las mencionadas anteriormente. Este es quizás uno de los problemas que con mayor urgencia deberán ser abordados por el esfuerzo interdisciplinario de la geotecnia y la ingeniería sanitaria.

### 3. LA CAPACIDAD DE SOPORTE EN LOS RELLENOS SANITARIOS

La determinación de parámetros representativos del comportamiento mecánico de los rellenos sanitarios acabados es muy difícil, considerando básicamente la heterogeneidad de su composición, el método constructivo y el diferente comportamiento observado en estos sistemas. Sowers (1969) presenta en sus trabajos valores límites de resistencia entre 0,25 y 0,40 kg/cm<sup>2</sup>, los cuales se distribuyen en forma no uniforme en la masa de desechos, lo que origina asentamientos diferenciales inaceptables para la seguridad y conservación de las estructuras fundadas sobre ellos. Por otra parte la Solid Wastes of American Public Works Association (1976) ha considerado valores de esfuerzo de ruptura iguales a 1,22 kg/cm<sup>2</sup>.

Una forma de obtener la capacidad de soporte de un relleno es a partir de experiencias en laboratorio, pero ello es muy difícil, debido al obstáculo que presenta la obtención de muestras inalteradas o representativas de dicho material. Por esto gran parte de los estudios actuales se han dirigido hacia las experiencias de terreno, las cuales representan el mejor acercamiento a la respuesta real de un relleno sanitario. Dentro de éstas, las más conocidas se han desarrollado en base a ensayos de placa de carga, como dinámico, como estático, ensayos presiométricos o mediciones de asientos en terreno, las cuales se relacionan con las características del propio relleno.

Un interesante estudio sobre el tema se ha realizado en el parque habitacional e industrial de Benópolis en Brasil (Souza y Rodríguez, 1980), donde se determinaron parámetros de resistencia, precisamente con ensayos de placa de carga y mediante construcciones experimentales.

En ellos se demostró la gran influencia de la capa de cobertura en el incremento de la capacidad resistente del relleno. En la figura 1 se indica la relación alcanzada entre el espesor del suelo de cobertura y el esfuerzo máximo registrado para deformaciones de 25 mm (tensión de ruptura por deformación). Los autores recomiendan trabajar con esfuerzos máximos del orden de 0,90 kg/cm<sup>2</sup>, considerando una cobertura mínima de 20 a 25 cm, por razones sanitarias.

En los ensayos de placa de carga realizados por el Grupo de la Universidad de Cantabria en el vertedero de Meruelo, se llegó a la rotura con valores de la resis-

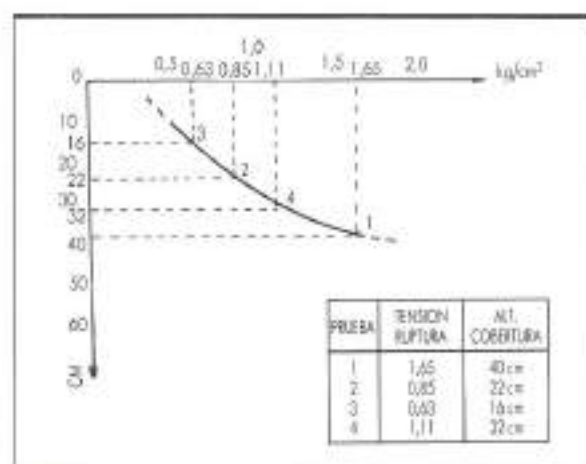


FIGURA 1. Relación esfuerzo-deformación para el relleno sanitario de Benópolis Souza y Rodríguez, 1980.

cía al corte de 0,3 kg/cm<sup>2</sup>, valor elevado pero que refleja la especial metodología empleada en dicho relleno con reducidos espesores de los residuos depositados y grandes espesores de cobertura.

En general, los resultados obtenidos en ensayos de penetración con cono dinámico, uno de los más utilizados en Latinoamérica, muestran que este ensayo es de gran utilidad para la determinación de la magnitud de los parámetros resistentes en función de la profundidad. Se ha observado en diferentes estudios que aun cuando el relleno prospectado es muy heterogéneo, la serie de puntos de ensayo en un mismo sector arrojan resultados coherentes entre sí, lo que indica que la masa se comporta como un todo homogéneo, salvo en aquellos sectores en los que se encuentran residuos de características distintas a los residuos sólidos domiciliarios habituales. También se ha observado que los resultados en profundidad muestran tendencias claras que permiten deducir parámetros con criterios similares a los utilizados para suelos.

Experiencias en cuanto a ensayos de penetración, fundamentalmente con cono dinámico, son presentados entre otros por Sowers (1968), Cartier y Baldit (1983), Ordóñez y Zárate (1986).

Paralelamente a los ensayos de placa de carga en el relleno sanitario experimental de Benópolis en Brasil, se ha desarrollado el estudio sobre una edificación experimental fundada sobre un radier general de 30 m<sup>2</sup>. En este estudio se transmitieron al relleno fatigas máximas y mínimas de trabajo de 0,65 y 0,20 kg/cm<sup>2</sup>, respectivamente. En las mediciones realizadas se obtuvieron asentamientos en la estructura del orden de 8 cm para un período de 120 días. Durante el tiempo de medición no se observaron grietas de importancia por efecto de la compresibilidad del terreno.

Análogamente a lo realizado en Brasil, en el relleno sanitario experimental de Limache, en Chile, se están desarrollando experiencias sobre un modelo de edifica-

ción experimental de 16 m<sup>2</sup>, fundada sobre una cimentación armada continua. Las mediciones de terreno realizadas a la fecha indican un comportamiento similar al observado en la experiencia brasileña, lo cual es satisfactorio para establecer un adecuado patrón de comportamiento del relleno sanitario.

#### 4. LA COMPRESIBILIDAD DE LOS RELLENOS SANITARIOS

Durante los últimos años gran parte de las investigaciones sobre el tema de la compresibilidad de los rellenos sanitarios se han basado en el planteamiento propuesto por Sowers (1973), quien descompone el fenómeno en dos fases. En una primera fase, que según el autor dura aproximadamente un mes, se produce la etapa de descomposición aeróbica, en la cual es consumido el oxígeno disuelto en los residuos como consecuencia de una elevación de la temperatura debido a la generación de bacterias que degradan estos residuos. Los asentamientos durante esta fase se estiman según la conocida expresión, propuesta por Terzaghi, para la consolidación primaria:

$$S = \frac{H_0 \times C_c}{1 + \epsilon_0} \log \frac{\sigma V'_0 + \sigma V'}{\sigma V'_0} \quad (1)$$

donde:

- S = Asentamiento al final de la consolidación primaria.
- H<sub>0</sub> = Altura inicial del relleno.
- C<sub>c</sub> = Coeficiente de compresibilidad.
- σV'<sub>0</sub> = Presión efectiva en el relleno.
- σV' = Sobrecarga efectiva.

La segunda fase, que resulta de la compresión secundaria, debida a la acción físico-química y a la descomposición bioquímica de los residuos sólidos, puede deducirse de la consolidación secundaria a partir del coeficiente de consolidación secundaria (C<sub>α</sub>), mediante la aplicación de la siguiente fórmula:

$$C_\alpha = \frac{\Delta H \times (1 + \epsilon_0)}{H \times \log(t_2/t_1)} \quad (2)$$

donde:

- C<sub>α</sub> = Índice de compresión secundaria.
- ΔH = Asentamientos durante la consolidación secundaria al tiempo t<sub>2</sub>.
- H = Altura de la celda al tiempo t<sub>1</sub>.
- ε<sub>0</sub> = Índice de vacíos.
- t<sub>2</sub> = Tiempo al cual se extendieron las mediciones de cada punto.
- t<sub>1</sub> = 30 días, tiempo considerado de término de la consolidación primaria.

Con posterioridad al planteamiento de Sowers, se han desarrollado una serie de modelos conducentes al estudio de la compresibilidad de los rellenos, pero la ma-

yoría de ellos se basa en las hipótesis iniciales planteadas por dicho autor. Una excepción a esto lo constituye el trabajo de Zimmerman et al. (1977), quien considera la macro y la micro porosidad en el vertedero y propone una relación entre la disipación de la presión intersticial con el tiempo y plantea una ecuación de continuidad que incluye las deformaciones, la actividad químico-biológica y la variación de degradación de la saturación con el tiempo. Este método es aplicable con muy buenos resultados a residuos triturados.

Rao et al. (1974) realizaron estudios de asentamientos en terreno y laboratorio, desarrollando una técnica para predecir asentamientos en rellenos sanitarios sometidos a sobrecarga. Además estudiaron la estabilización mediante inyección de ceniza volante al relleno.

Yen y Scanlon (1975), realizaron un estudio comparativo entre sus propios datos y los obtenidos por Sowers con el propósito de explorar la tendencia de la velocidad de los asentamientos. Como conclusión, sugieren un procedimiento para obtener la velocidad de asentamiento partiendo de la ecuación (2) dada por Sowers y dividiendo ambos miembros por el tiempo de duración del fenómeno. Así se llegó a la siguiente expresión:

$$\frac{\Delta H}{t_2 - t_1} = \frac{C_a}{1 + e} \frac{H}{t_2 - t_1} \log \frac{t_2}{t_1} \quad (3)$$

Si:

$$m = \frac{\Delta H}{t_2 - t_1} \quad (4)$$

Siendo  $m$  la velocidad media de asentamiento durante el período  $t_2 - t_1$  y se considera  $t_1 = 1$  mes, debido a la hipótesis comentada anteriormente que indica que el asentamiento inicial es completado prácticamente en 1 mes, la expresión (3) se transforma en:

$$m = \frac{C_a}{1 + e} \frac{H}{t - 1} \log t \quad (5)$$

donde:  $t = t_2 =$  tiempo en que se calcula  $m$  (meses).

Esta ecuación puede ser usada para calcular la velocidad de asentamiento ( $m$ ) en un relleno dado, usando los valores sugeridos por Yen y Scanlon (1975).

En la figura 2 se presenta una relación semilogarítmica de la velocidad de asentamiento con la edad del relleno sanitario, estableciendo una banda limitada por rectas, las que se han calculado mediante la expresión anterior y en donde se ha incluido una rectificación por el efecto del tiempo de construcción.

En el estudio realizado se comprobó que la velocidad de asentamiento aumentaba con el espesor del depósito, hasta un límite de unos 30 m, probablemente por alcanzarse a ese nivel condiciones anaerobias.

Por otra parte, Souza y Rodríguez (1980) estudiaron la compresibilidad de un vertedero considerando la for-

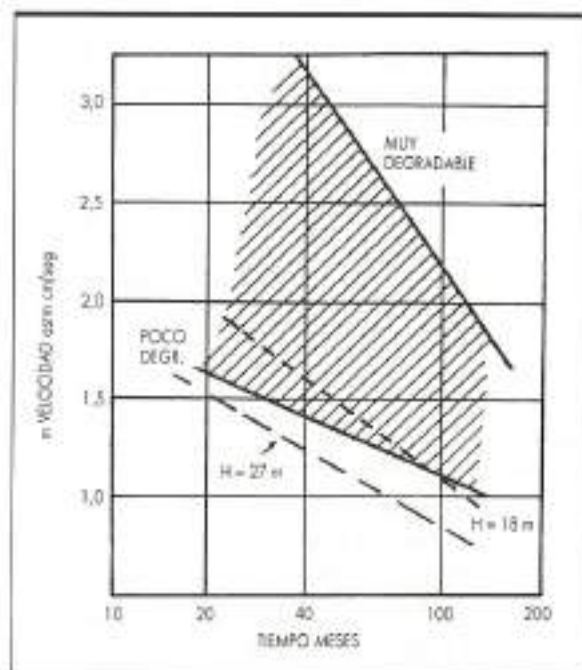


FIGURA 2. Velocidad de asentamientos (Yen y Scanlon, 1975).

ma de disposición de las basuras. Para ello se utilizaron dos sistemas diferentes. El primero consistió en depositar las basuras desde la parte superior de un talud, para luego compactar con maquinaria pesada desde arriba hacia abajo. En el segundo sistema empleado, se depositaba la basura al pie del talud y se compactaba con la misma maquinaria. Con ambos sistemas se realizaron mediciones de asentamiento, disminuyendo éstos de un 17 a un 5 % si se utilizaba el segundo método de compactación.

Moore y Pedler (1977) realizaron ensayos de placa de carga, empleando placas de 30, 45 y 60 cm de diámetro para determinar módulos de deformación en los residuos.

Keene (1977) investigó durante 5 años los asentamientos que afectaron a un relleno que fue transportado a una nueva ubicación, donde fue compactado en capas. Se removieron 110.200 m<sup>3</sup> de desechos que tenían 40 o 50 años de antigüedad en la ciudad de Newtown, Connecticut, USA. Las lecturas de asentamiento medidas indican que la consolidación primaria fue extremadamente rápida y que la consolidación secundaria ha proseguido continuamente, a escalas comparables con aquellas para turbas.

Bookter y Ham (1982) han estudiado el grado de descomposición de los residuos sólidos en rellenos sanitarios de USA, para distintas condiciones y situaciones geográficas, llegando a desarrollar un método para conocer el grado de estabilización de la basura, que puede ser útil para ayudar a predecir asentamientos.

D'Arnoville (1983) estudió el fenómeno de la com-

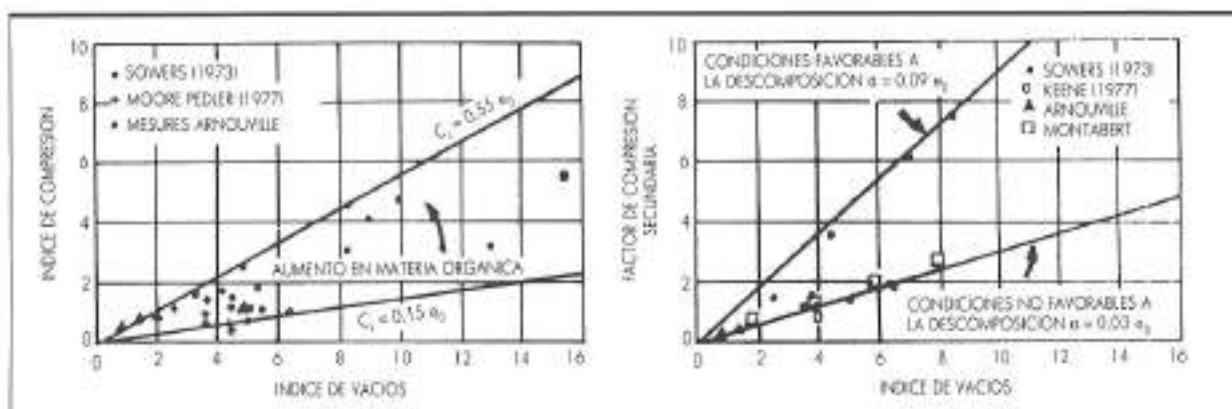


FIGURA 3. Parámetros de compresibilidad propuestos por Sowers.

presibilidad, llegando a proponer valores del índice de compresión primaria ( $C_c$ ) que están dentro de las bandas propuestas por Sowers (1973).

Cartier y Baldit (1983) proponen una ley de variación de la densidad media en función de la profundidad, de acuerdo a mediciones realizadas con densímetro nuclear. Además proponen valores de peso específico de los residuos sólidos. Estos datos son de gran utilidad para aplicar el modelo propuesto por Sowers (1973). Los índices de compresión primaria y secundaria para los desechos sólidos propuestos por Sowers y confrontados posteriormente se presentan en la figura 3.

Investigaciones realizadas en el relleno sanitario El Molle por la Universidad Católica de Valparaíso (Espínace et al., 1988) registrando los asentamientos que se producen en un relleno recién construido, han permitido deducir que no es tan claro que el término de la consolidación primaria se produzca al cabo de los primeros 30 días del relleno según lo plantea Sowers, ya que en la mayoría de los 30 sectores del relleno investigados, el punto de inflexión de la curva se produce entre los 20 a 55 primeros días. Este punto de inflexión podría estar indicando el límite entre dos mecanismos de asentamientos distintos.

Por otra parte, se ha podido comprobar en esta investigación que, aun cuando los valores de los índices de compresión superan en algunos casos los máximos propuestos por Sowers, la tendencia observada corresponde a lo propuesto por dicho autor.

Posteriores investigaciones realizadas por esta misma Universidad en el relleno experimental de Limache (Espínace et al., 1989), han confirmado la existencia de un cambio en la tendencia de asentamientos en los rellenos sobre los 60 días, lo cual está directamente relacionado con la mayor cantidad de materia orgánica presentada por este relleno. Las tendencias observadas en estas investigaciones en cuanto al comportamiento tiempo v/s deformación son similares a las presentadas por Rao et al. (1974).

Las diferentes tendencias observadas se explican porque el comportamiento mecánico de un relleno sani-

tario está afectado por múltiples factores, siendo los principales:

- Composición de las basuras y espesor de la celda en el relleno.
- Contenido de humedad del residuo, capacidad de campo del relleno y humedad de saturación de la cobertura.
- Granulometría del residuo, la que incide en la degradación de la materia orgánica y la capacidad de los intersticios para almacenar humedad.
- Equipo usado en la operación de compactación y densidades alcanzadas por los residuos y el material de cobertura.
- Tipo de material de cobertura y su espesor, lo que condicionará la evolución de la temperatura, humedad y el proceso anaeróbico entre otros factores.
- Las condiciones climáticas, tanto de pluviometría como las temperaturas ambientales. Además es necesario tener presente las condiciones de evaporación, transpiración y congelamiento.
- Equipo de trabajo y metodología de rellenos empleados.
- Edad del vertedero, condición fundamental en la estabilidad de éste.

De acuerdo a las experiencias realizadas durante varios años en rellenos sanitarios experimentales por la Universidad Católica de Valparaíso, se ha podido concluir que los modelos mencionados anteriormente, y principalmente los parámetros involucrados, son muy sensibles a las condiciones particulares de cada relleno sanitario. De igual forma las experiencias han demostrado la necesidad de profundizar las investigaciones en rellenos sanitarios que respondan a diferentes realidades con el propósito de obtener modelos de comportamientos propios a cada uno de ellos y así alcanzar tendencias de carácter más universal. Estas investigaciones, asociadas a los problemas geotécnicos de los rellenos sanitarios se realizan en la actualidad dentro de una línea de investigación en franco desarrollo en el mundo. En particular en España y Chile se ha denominado a

esta nueva línea de trabajo como «Geotecnología Ambiental».

**AGRADECIMIENTOS**

Los autores desean expresar su reconocimiento a las instituciones que hacen posible el proyecto de investigación que ha dado origen a esta publicación: El Fondo de Desarrollo Científico y Tecnológico (FONDECYT) y la Universidad Católica de Valparaíso. Nuestro reconocimiento además para el Departamento de Ciencias e Ingeniería de la Tierra de la Universidad de Cantabria, España y al profesor Dr. Marcel Szantó Narea.

**BIBLIOGRAFIA**

BOOKER, T., y HAM R. (1982). «Stabilization of Solid Waste in Landfills». ASCE, pp. 1089-1100. USA.

CARTIER y BALDIT, R. (1983). «Comportament geotecnique des Deschargues de Residus Urbains», Bull. Liaison Labo. P. et Ch. 128.

D'ARNOUVILLE (1983). «Comportamiento geotécnico de rellenos de residuos urbanos». LPC au Bourget, Francia.

ESPINACE A., RAUL (1983). «Compresibilidad de los vertederos sanitarios», V Congreso Chileno de Ingeniería Sanitaria y del Ambiente, Temuco, Chile.

ESPINACE A., RAUL; ORDOÑEZ T., RODRIGO, y ZARATE D., ANTONIO (1988). «Estudio experimental de la compresibilidad del relleno sanitario», El Molle-Valparaíso, Chile, XXI Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Río de Janeiro, Brasil.

ESPINACE A., RAUL; OLAETA A., JOSE; SZANTO N., MARCEL; PRADO M., OLIVIA, y PALMA G., JUAN (1989). «Recuperación de Vertederos Sanitarios, Caso Vertedero Experimental de Limache-Chile», Primer Congreso de Ingeniería Ambiental, Bilbao, España.

ENGINEERING NEW-RECORD, 194:24 (6 February 1975). Landfill Forces Intake to Extend its Reach.

ENGINEERING NEW-RECORD, 185:26 (17 December 1970). Japan's Pollution Grows with Population.

INSTITUTE FOR SOLID WASTES OF AMERICAN PUBLIC WORKS ASSOCIATION (1976). Tratamiento de los Residuos Urbanos. USA.

KEENE, P. (1977). «Sanitary Landfill Treatments», Interstate Highway 84. ASCE, pp. 632-644. USA.

MOORE y PEDLER (1977). «Ensayos de Placa de Carga con Residuos Sólidos». Sesión Especial 11, pp. 319-330. Francia.

ORDOÑEZ, R., y ZARATE, A. (1986). «Compresibilidad del relleno sanitario El Molle». Universidad Católica de Valparaíso. Chile.

RAO, S.; MOULTON, L., y SEALS R. (1974). «Settlement of Refuse Landfills». ASCE, pp. 574-598.

SOWERS, F., y GEORGE (1968). «Foundation problems in sanitary landfills», Proc. ASCE, J. of the SED, SA 1, pp. 103-116.

SOWERS, F., y GEORGE (1973). «Asentamientos en rellenos sanitarios». ASCE 102, et 6. USA.

SOUZA, O., y RODRIGUEZ, M. (1980). «Aterro Sanitário Aspectos Estruturais e ambientais». Boletín de la Asociación Brasileña de Limpieza Pública. Brasil.

UNIVERSIDAD CATOLICA DE VALPARAISO (1984). Facultad de Ingeniería, Escuela de Construcción Civil, Proyecto del relleno sanitario El Molle, Valparaíso, Chile.

YEN, B. C., y SCANLON, B. (1975). «Sanitary landfill settlement rates», J. of the GED, Proc. ASCE 101, GT5, pp. 475-487. USA.

ZIMMERMANN, CHEN W. H. (1977). «Modelo matemático para relleno sanitario». ASCE, pp. 210-226. USA.

**CONFERENCIA  
SOBRE EL ENSAYO  
INTERNACIONAL  
SOBRE FIRMES  
ORGANIZADO  
POR LA OCDE  
EN NANTES  
(PROYECTO FORCE)**

**T**rece países, incluyendo España, y la CEE han participado en la realización y explotación del ensayo en común sobre límites de carretera organizada por la OCDE en las instalaciones del LCPC en Nantes (Francia) durante los años 1989-90.

Como parte final de este proyecto se va a celebrar una conferencia sobre el ensayo y sus resultados, así como los de los ensayos cruzados que se han realizado paralelamente en varios países (entre otros, España). Esta conferencia se celebrará los días 15 a 17 de mayo de 1991 en la Boule, cerca de Nantes.

Las personas interesadas en asistir deben enviar el boletín de inscripción adjunto a:

LCPC - Centro de Nantes  
A la atención de M. Autret  
BP 19  
44340 Bouguenais  
Francia

Para mayor información contactar en España con:

Recaredo Romero  
Centro de Estudios de Carreteras  
Autovía de Colmenar km. 18,2  
28040 Madrid  
Teléfono: (91) 734 61 51  
Fax: (91) 734 45 06

o bien en Francia con:

M. Horn  
OCDE  
Teléfono: (33-1) 45 24 92 44  
Fax: (33-1) 45 24 79 60  
M. Autret  
LCPC - Nantes  
Teléfono: (33) 40 84 58 30  
Fax: (33) 40 84 59 98

**PRIMER SEMINARIO  
SPRINT SOBRE  
TRANSFERENCIA  
EN CONSTRUCCION  
DE CARRETERAS:  
RODADURAS  
BITUMINOSAS**

**D**iez países europeos, incluyendo España, toman parte en un proyecto para compartir nuevas tecnologías de carreteras entre empresas pertenecientes a estos países. Dentro del proyecto, se va a celebrar en Lisboa, en abril de 1991, un seminario acompañada de diversas demostraciones. En él se tratará sobre rodaduras bituminosas y específicamente sobre tratamientos superficiales con gravilla, mezclas drenantes y mezclas en capa fina. Se ofrece a las empresas interesadas el que presenten sus productos y métodos de forma que cada país pueda aprender las técnicas de los otros países. El proyecto tiene el patrocinio de la Comisión Europea a través del programa SPRINT.

Para más información contactar con:

Aurelio Ruiz  
Centro de Estudios de Carreteras, CEDEX  
El Goloso. 28049 Madrid  
Teléfono: 734 61 51





# Fibra de líderes.

Los líderes de la moderna industria de la construcción utilizan en la fabricación de sus materiales la Fibra de Vidrio de Refuerzo VETROTEX por sus grandes prestaciones: resistencia mecánica y ligereza, aislamiento térmico, estabilidad dimensional y larga duración.

VETROTEX forma parte importante en la fabricación y acabado de placas de cubiertas, cemento reforzado, revestimiento, paneles de fachada, construcciones industriales, sanitarios... una extensísima gama de aplicaciones en diferentes transformados que se benefician de las ventajas que les aporta VETROTEX.

VETROTEX, líder europeo de Fibra de Vidrio de Refuerzo, investiga y colabora con todos los sectores líderes de la industria, testando sus propios productos a escala industrial y prestando la más completa asistencia técnica a sus clientes transformadores.



## Hilos y filamentos de vidrio de refuerzo

# Use TEKKO... y Olvídense de la Grúa.

Los diversos tamaños de los paneles TEKKO hacen que el montaje de zonas de pequeña superficie dejen de ser una complicación.

Manipulables en cualquier posición, los paneles TEKKO son combinables también con sistemas de grandes dimensiones.

- Especial para arranques de muros y pequeñas superficies.
- Adaptables a la forma constructiva en pasos de 5 cm.

- No necesita grúa.
- Acabado fenólico. Permite más de 100 puestas.
- Con las mínimas piezas, un simple y rígido sistema de montaje.
- Presión admisible del hormigón de 4 T/m<sup>2</sup>.

**Tekko.**



**MECANO**   
**HÜNNEBECK**

Polígono Can Magarola, s/n. Ap. 25  
Tel. 593 30 50 - Fax: 570 03 67  
08100 Mollet del Vallès (Barcelona)

Producto de una gran unión.