
Premio Marcel Brú i Turull de Ingeniería Ambiental

*Segunda Edición
Curso 2004-2005*



○○○
○○○
○○○
UPC

Asignatura de Ingeniería Ambiental

*ETS de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos
Universidad Politécnica de Cataluña*

Barcelona, mayo de 2005



El acto de entrega del Premio “Marcel Brú i Turull” de Ingeniería Ambiental, en su Segunda Edición del curso 2004-2005, tuvo lugar en la Sala de Lectura de Tesinas de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, de la Universitat Politècnica de Catalunya, el miércoles, 4 de mayo de 2005.

Al acto fue presidido por el Dr. Ramon Folch, President del Consell Social de la Universitat Politècnica de Catalunya y contó con la participación del Prof. Ramon Sans, Vice-rector de Promoció i Integració Territorial de la Universitat Politècnica de Catalunya, de Vicenç y Emi, padres de Marcel, de amigos de la familia y de numerosos alumnos de Ingeniería Ambiental de los cursos 2003-04 y 2004-05.

El premio fue entregado por el Dr. Ramon Folch.

El Comité de Selección de los premios estuvo compuesto por un total de 10 personas, entre alumnos del Comité Técnico de Ambient y profesores de la Sección de Ingeniería Sanitaria y Ambiental.

Los alumnos premiados fueron Óscar González Núñez y Víctor Guasch Vela, por la elaboración del trabajo titulado “Producción de ACS mediante sistemas solares activos”.

Prof. Rafael Mujeriego
Mayo de 2005.



**Alumnos premiados, alumnos finalistas y
alumnos organizadores del
Premio “Marcel Brú i Turull” de Ingeniería Ambiental,
en su segunda edición del curso 2004-2005.**

Premio Marcel Brú i Turull de Ingeniería Ambiental, curso 2004-2005

PRODUCCIÓN DE ACS MEDIANTE SISTEMAS SOLARES ACTIVOS

Óscar González Núñez

Víctor Guasch Vela

RESUMEN

La energía solar que se obtiene a partir de sistemas de captación solar, se presenta como una forma de energía renovable muy útil para la obtención de agua caliente sanitaria (ACS). La Ordenanza General del Medio Ambiente Urbano del Ayuntamiento de Barcelona obliga a los edificios de nueva construcción a producir un porcentaje de ACS mediante energía solar. Para dimensionar una instalación de captación solar se lleva a cabo un estudio en el marco de la ordenanza y también de la normativa aplicada a estos sistemas.

L'energia solar que s'obté a partir de sistemes de captació solar es presenta com una forma d'energia renovable molt útil per a l'obtenció d'aigua calent sanitària (ACS). L'Ordenança General del Medi Ambient Urbà de l'Ajuntament de Barcelona obliga els edificis de nova construcció a produir un percentatge d'ACS mitjançant energia solar. Per dimensionar una instal·lació de captació solar es duu a terme un estudi en el marc de l'Ordenança i també de la normativa aplicada a aquests sistemes.

INTRODUCCIÓN

La energía solar térmica es una alternativa limpia, renovable y gratuita. Su manipulación puede resultar además sencilla, siendo posible llevarla a cabo en el propio lugar de consumo, sin tener que sufrir transportes ni depender de infraestructuras propiedad de terceros. En el marco de una ciudad como Barcelona, en la que se dispone de unas 2447 horas de sol al año, parece razonable la aprobación de la Ordenanza General del Medio Ambiente Urbano para asegurar la explotación de este tipo de energía en la producción de Agua Caliente Sanitaria.

Desde el punto de vista medioambiental, la utilización de la energía solar puede rebajar considerablemente las emisiones de CO₂, SO₂ y NO_x a la atmósfera. Estos gases son los responsables del calentamiento global el primero, y

de la lluvia ácida los últimos. Según el Ayuntamiento de Sant Boi, una placa de 2 m² evita la emisión de casi una tonelada de CO₂ al año.

Cabe destacar que este sistema también supone un ahorro económico para el usuario. Pese a que las placas no hacen innecesario el uso de calentador convencional, sí hacen que el agua llegue precalentada, lo que permite que la energía invertida en calentar el agua hasta la temperatura de consumo sea menor. A grandes rasgos, un equipo captador en un edificio con 5 personas puede suponer un ahorro anual de entre 120 y 300 euros (20 mil y 50 mil de las antiguas pesetas).

OBJETIVOS

Los objetivos de la comunicación se pueden resumir en tres ideas:

1. El estudio de la Ordenanza General del Medioambiente Urbano del Ayuntamiento de Barcelona para la producción de Agua Caliente Sanitaria (ACS) mediante energía solar.
2. Discutir la viabilidad de la utilización de la energía solar en la vida cotidiana, enumerando ventajas e inconvenientes. Valorar el sentido de la normativa en el marco de la evolución de la energía solar en general.
3. Utilizar los criterios expuestos en la normativa para su aplicación en un hotel con el fin de constatar las posibilidades de la energía solar y de sus distintas alternativas. Para cubrir esta demanda, se llevará a cabo el dimensionamiento de la instalación necesaria

CONSIDERACIONES PREVIAS

El proceso de producción y distribución de Agua Caliente Sanitaria se desarrolla en un sistema como el esquematizado en la figura 1. Estos sistemas constan de un elemento captador de energía solar en el exterior del edificio (placas solares térmicas), otro de almacenamiento de calor (depósito) y un intercambiador de calor que suele encontrarse en

el interior del depósito. Para completar el circuito hidráulico, estos sistemas constan de bombas, válvulas o sistemas de regulación.

A la parte superior del edificio llega, mediante bombeo, el agua a bajas temperaturas. Una vez allí, al atravesar la instalación de captación (placas solares), se calienta hasta una temperatura como mínimo próxima a la temperatura deseada gracias a la energía térmica del sol. El agua se devuelve al depósito acumulador. Allí, por gradiente de temperaturas, la más fría, por ser más densa, queda al fondo y la caliente en la superficie. Ésta última se aprovecha directamente para los usos que requieren menores temperaturas de agua caliente (ducha, cocina...). Si su destino es la calefacción, el agua caliente es sobrecalentada hasta cerca de los 80 grados mediante una resistencia eléctrica situada en el intercambiador de calor. Resistencia que, además, asegura una cierta temperatura en los meses de escasez.

Finalmente, el agua usada en la calefacción y, de nuevo a temperatura más baja, se devuelve al depósito y se reintroduce en el ciclo.

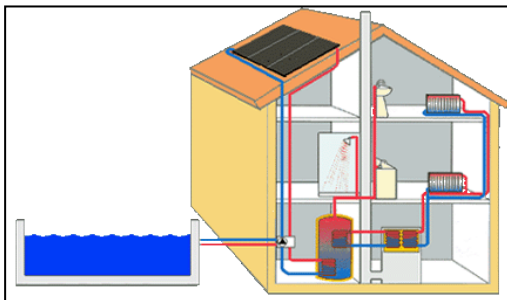


Figura 1. Esquema de un sistema de captación solar para ACS.

Visto el funcionamiento general del sistema, existen distintos tipos de sistemas de captación solar en función de los componentes y su correspondiente instalación.

El primero es el sistema de componentes separados. Es la instalación típica y se ha tomado como caso general en la instalación anterior. Se usa para instalaciones con un alto consumo como pueden ser hospitales, hoteles, colegios,... Como se ha comentado, en la figura 2 se puede ver que el intercambiador puede formar parte del acumulador o no.

La siguiente instalación consiste en un sistema compacto, que se suele usar para pequeñas demandas, como una casa unifamiliar o un piso. En este caso, el captador y el acumulador se suministran en conjunto, hecho que facilita la instalación. Este sistema no dispone de circuladores y el movimiento del fluido se produce por diferencia de temperatura. Así, el acumulador se coloca sobre el captador para favorecer la

circulación de agua. Este tipo de circulación se conoce como termosifónica (figura 3).

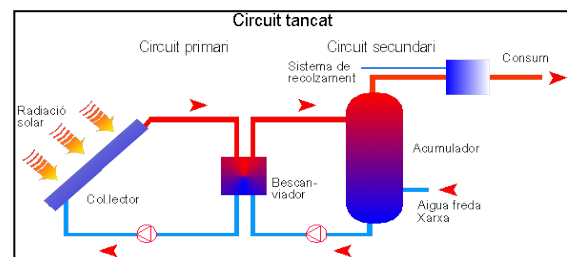


Figura 2. Esquema de un sistema de componentes separados.



Figura 3. Sistema compacto.



Figura 4. Sistema integral

El último sistema es el integral, en el que captador y acumulador son el mismo elemento (figura 4). Así, el agua no se bombea hasta el captador, sino que se la almacena y calienta al mismo tiempo. Esto supone un ahorro energético que lo convierte en el método más económico, pero también el menos rentable de los tres, debido a las grandes pérdidas de calor que se producen.

INTRODUCCIÓN A LA ORDENANZA

El 16 de julio de 1999, el Consejo Plenario del Ayuntamiento de Barcelona aprobó la Ordenanza General del Medio Ambiente Urbano. Ésta regula la incorporación de sistemas de captación y utilización de energía solar activa, de baja temperatura, para la producción de ACS en los edificios y construcciones situados en el término municipal de Barcelona. Las construcciones

afectadas principalmente son las de nueva construcción o rehabilitadas y edificios que consuman más de 292 MJ efectivos en media anual.

La ordenanza establece una serie de parámetros para el cálculo de la demanda de energía. Se considera la temperatura del agua fría de 10 °C y una temperatura mínima para el agua caliente de 45 °C. También están determinados los consumos mínimos de agua caliente según la tipología del edificio. Así, por ejemplo, en el caso de un hotel el intervalo es de 100 a 160 litros de consumo por habitación.

El consumo sufragado mediante energía solar debe ser el 60% del gasto total. Existe la posibilidad de reducir este porcentaje mediante otros sistemas sostenibles como el aprovechamiento de calor residual. La condición es que la producción supere el 40% restante y que la suma de las dos aportaciones sea el 100% de las necesidades.

Para obtener un rendimiento máximo de la instalación de captación solar se recomienda inclinar los paneles un ángulo de valor el de la latitud de la zona. En el caso de Barcelona se indican 40° Sur y se adjunta una tabla de valores unitarios de radiación solar (Tabla 1).

Tabla 1. Valores en kWh/m²

Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
94	103	138	155	173	172
Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
177	168	145	125	97	89

EJEMPLO PRÁCTICO

En este apartado se presenta un modelo de estudio para un hotel cualquiera de Barcelona (96 habitaciones) afectado por la mencionada ordenanza medioambiental. Concretamente este hotel supera los límites de consumo. Los datos utilizados están en la ordenanza y el estudio realizado pretende extraer conclusiones concretas sobre el dimensionamiento de la instalación de captación solar.

La primera parte del estudio pretende cuantificar la demanda calorífica del hotel para agua caliente tanto en términos diarios como anuales. Esas cifras permitirán discernir si el edificio en cuestión queda dentro de los límites de influencia de la ordenanza. Si ello es así realmente, éstos también serán fundamentales para establecer las conclusiones mentadas en el primer párrafo de esta sección.

La demanda calorífica para la producción de agua caliente sanitaria parte de los siguientes datos de consumo en litros:

1. 125 litros de agua a 45 °C por habitación.
2. 6 litros de agua a 45 °C por kg de ropa sucia en la lavandería.
3. 2 litros de agua a 45 °C por almuerzo en la cafetería.

El consumo total de las habitaciones será de 125 l/día x 96 habitaciones = 12 000 l/día. Se estima que se producen 3 kg de ropa sucia por habitación y día, por lo tanto 6 l/kg de ropa x 3 kg/día/hab x 96 habitaciones = 1 728 l/día. También se estima que almorzarán en la cafetería la totalidad de huéspedes del hotel, esto es 2 l/almuerzo x 192 almuerzos = 384 l/día.

Por tanto, el consumo total de litros de agua es de 12 000 + 1 728 + 384 = 14 112 l/día. Esta es la cantidad de agua que se pretende calentar a 45°C. La temperatura con la que llega de la red de abastecimiento se considera de 10°C. Todos estos datos están incluidos en la ordenanza.

Partiendo de estas cifras, el consumo calorífico será de 14 112 l/día x 1 kcal/l.°C x (45-10 °C) = 493 920 kcal/día. En términos anuales, la media anual asciende a 180 280 000 kcal, es decir, aproximadamente 753 574 MJ anuales. Teniendo en cuenta que el umbral es de 292 MJ anuales (aproximadamente 69 856 kcal), el hotel en cuestión entra dentro de lo que especifica la ordenanza como edificio afectado.

A razón de 30 días al mes, el consumo mensual medio es de 61 937,57 MJ/mes. De este total, el 60% son aproximadamente 37 162,54MJ que se deben obtener de la instalación de captación solar. El resto del consumo para calentar agua se puede obtener de fuentes de energía no renovables como, por ejemplo, el gas natural.

El siguiente paso, siempre siguiendo las indicaciones de la ordenanza, es dimensionar la instalación. Éste consta de dos partes bien diferenciadas, el cálculo de la superficie que deben tener los captadores y el del volumen del acumulador.

La superficie de los captadores se calcula a partir de la tabla 1 (presente en la Ordenanza) que se adjunta, donde están indicados los valores unitarios de radiación solar sobre captadores inclinados 40° en la ciudad de Barcelona.

Como se observa en la tabla 1, el mes más desfavorable es diciembre con un valor unitario de radiación de 89 kW·h/m²·mes. Se dimensiona teniendo en cuenta este valor para evitar problemas incluso en el mes con menor radiación solar.

A partir de la fracción de gasto energético que se debe sufragar mediante los captadores (60% del total) obtenida anteriormente y teniendo en cuenta las unidades, obtenemos el área de captación necesaria como sigue:

$$\frac{37162,54 \cdot 10^3 \text{ (KJ / mes)}}{89 \text{ (KW-h / m}^2 \cdot \text{mes)}} \cdot \frac{1 \text{ (KJ / s)}}{1 \text{ KW}} \cdot \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} = 116 \text{ m}^2$$

A 2 m² de superficie de captador les corresponden un depósito de 100 litros (ver página web del Ayuntamiento de Barcelona). Es fácil deducir que una superficie de 116 m² necesitará acumuladores suficientes para albergar unos 5 800 litros.

CONCLUSIONES

1. La energía solar se plantea como una alternativa real y posible, aunque como toda energía renovable aun está pendiente de evolución en cuanto a rendimiento. Esto se traduce en una gran demanda de superficie que en ocasiones no es asumible debido a características de la edificación (caso también contemplado en la Ordenanza).
2. El hecho que las administraciones empiecen a dar importancia a este tipo de energías es positivo. Y más allá de esto, que impongan su uso promoviendo así su perfeccionamiento hace pensar que este sistema mejorará y se difundirá en gran medida en los próximos años.
3. Se requiere una gran superficie de placas solares, debido a que los valores de la demanda energética a cubrir en los meses más desfavorable resultan muy elevados. La mayor dificultad radica en el diseño de la estructura necesaria para aguantar tanta superficie, en ocasiones condicionado por la configuración del propio edificio.

RECOMENDACIONES

Obtener el 60% de la energía requerido en la ordenanza mediante el uso exclusivo de energía solar puede ser una empresa difícil y costosa. Por eso se recomienda la posibilidad de reducir el porcentaje según los métodos alternativos especificados en la Ordenanza. Una opción especialmente apropiada podría ser el aprovechamiento del calor residual procedente de los sistemas de refrigeración. Se recomienda un estudio en esta dirección en posibles próximos informes.

En el caso de optar por la obtención del 60% exclusivamente mediante energía solar térmica y siguiendo estrictamente las indicaciones de la ordenanza, la superficie de captación debe ser de 116 m² y el volumen de acumulación de 5 800 litros. Para esto último serían adecuados 6 depósitos de 1 000 litros (AW-1000C) puesto que el resto de valores comerciales comunes es de 300 litros y el número de depósitos en ese caso sería de 20.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

Boletín Oficial de la Provincia de Barcelona (30/07/1999) (incluye la Ordenanza General del Medio Ambiente Urbano).
Rotativo (abril 2001). Viure a Sant Boi.

Páginas Web.
<http://www.bcn.es> (página web del Ayuntamiento de Barcelona).
<http://www.ecoinnova.com>
<http://www.mediambient.bcn.es/>
<http://www.raelec.es/>
<http://www.solarweb.net/>

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a Rafael Mujeriego y Carles Sumpsi (profesores de la ETSECCPB) y a Enrique Vergara (Consultoría Bureau Veritas Español SA) su inestimable ayuda sin la cual, la realización de esta comunicación no hubiera sido posible.

Segundo finalista del Premio Marcel Brú i Turull de Ingeniería Ambiental, curso 2004-2005

IMPACTO SÍSMICO DE LA PRESA KARIBA (ZAMBIA Y ZIMBABWE)

Rainer González Palau

Raquel Sánchez Vilas

RESUMEN

Las grandes presas, siempre han suscitado críticas positivas o negativas, dependiendo del punto de vista desde el cual se analice. En cualquier proyecto de esta magnitud, el gran tema de discusión es si los beneficios que puede aportar para una población la construcción de la presa, son rentables frente al coste de los impactos ambientales que origina. Si los estudios de impacto ambiental en países desarrollados son escasos, sea por falta de conocimiento o de interés, en países del Tercer Mundo el problema se agrava.

Les grans preses, sempre han suscitat crítiques positives o negatives, depenent del punt de vista des del qual s'analitzi. En qualsevol projecte d'aquesta magnitud, el gran tema de discussió és si els beneficis que pot aportar per una població la construcció de la presa, son rentables envers els costos ambientals que origina. Si els estudis d'impacte ambiental en països desenvolupats són escassos, sigui per falta de coneixement o d'interés, en països del Tercer Món, el problema s'agreuja.

INTRODUCCIÓN

En la década de los 50 y bajo la colonización británica se aprueba la construcción de una presa entre la frontera de Zimbabwe y Zambia, en el curso del río Zambeze. El objetivo principal es el suministro hidroeléctrico de la zona sur de Zambia, donde las explotaciones mineras son cuantiosas y ricas en cobre y diamantes. A los países colonizados, que son unos de los más pobres y secos del mundo, se les garantiza que, paralelamente al proyecto, se construirá una red abastecimiento hidrológico que llegará a cualquier punto de ambos países.

La presa de Kariba ha sido muy criticada desde su construcción, no sólo por los importantes impactos ambientales que ha originado, sino también porque el compromiso de construir la red

hidrológica ha sido incumplido. Es una de las presas más importantes del sur de África y su función principal en la actualidad es el suministro de electricidad a siete países del África Subsahariana y el control de las peligrosas avenidas del río Zambeze en época de lluvias. El tipo de presa es de arco, con una longitud de coronación de 617 metros, 128 de altura, con un embalse de 300 km de longitud y una capacidad de albergar 180 600 hm³ de agua.

Los impactos que ha originado el embalse han sido cuantiosos: 60 000 habitantes desplazados por la inundación, superávit de especies, desaparición de algunas especies por eutrofización afectando a las poblaciones vecinas a la presa ya que su subsistencia dependía de la pesca, proliferación de enfermedades causadas por insectos que han instalado su hábitat en el embalse y que han aumentado la mortalidad infantil, etc.

OBJETIVOS

Uno de los impactos más preocupantes y que es el objetivo de estudio de este artículo, es el aumento en la cifra de temblores y terremotos que se han registrado en el área circundante a la presa. El impacto sísmico es crítico ya que la destrucción de la presa tendría consecuencias desastrosas para el entorno.

También se profundizará el estudio de objetivos más específicos, como:

1. Geología del área de la presa
2. Sismología previa a la inundación del embalse
3. Sismología posterior a la inundación
4. Carga sísmica en el diseño de la presa
5. Magnitudes orientativas de los temblores
6. Impacto ambiental en caso de colapso de la presa

ESTUDIO SÍSMICO DE LA PRESA

El área del Lago Kariba permanece en la cuenca media del Zambeze que, por estudios geológicos, hoy en día se sabe que es la extensión del sistema del Rift Africano en continuo movimiento, causa de la separación de la parte Este del África continental respecto del resto del continente.

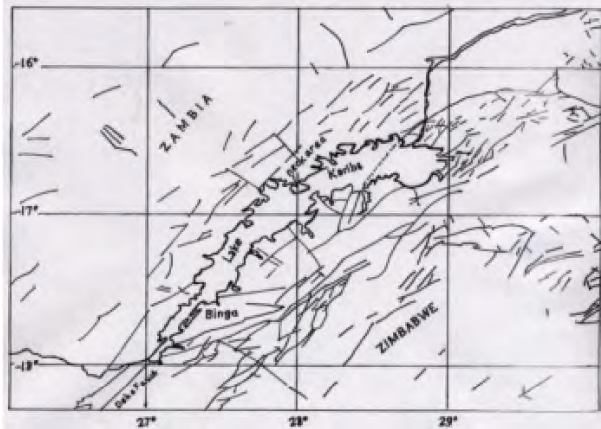


Figura 1. Distribución espacial del sistema de fallas del embalse de la Presa Kariba

Estudios en la zona (Rosendahl, 1987), han determinado que el área se encuentra altamente fallada, predominando las fallas normales. El sistema de fallas es continuo en dirección noreste. En la Figura 1 se puede apreciar la distribución espacial de dicho sistema de fallas.

En cuanto a la ubicación de la presa como estructura y el vaso del embalse, se encuentran encima de gneiss y cuarcitas de Precambriano. Dicha roca se encuentra muy foliada y la densidad de discontinuidades (fallas) es muy alta, lo que provoca que haya una alta vulnerabilidad a grandes esfuerzos.

Se carece de información previa a la construcción de la presa, ya que entonces no había estaciones sísmicas. No fue hasta la finalización de la presa en 1959, cuando se puso en funcionamiento una red sísmica de detección de terremotos. En consecuencia, no es del todo posible establecer una relación de los cambios sísmicos antes y después.

Como ya se ha indicado anteriormente, el área del embalse está situada en una zona con importantes procesos tectónicos, lo que podría hacer pensar que los temblores no son consecuencia de la construcción de la presa. Los datos posteriores a la

inundación son muy limitados. Existe el registro de un geólogo que en 1910 detectó un terremoto de magnitud alta pero desconocida a 250 km del emplazamiento actual de la presa. Otro dato importante es el ocurrido en 1956, cuando otro geólogo con reconocimiento internacional (Profesor G. Bond), registró un nuevo temblor y observó que la población local no mostró inquietud alguna por el fenómeno, tratándolo como algo usual. Esto da a pensar que los locales podían estar familiarizados con estos hechos.

A pesar de que no había equipamiento sísmográfico en el área del embalse antes de la inundación, el contexto tectónico, así como los datos y las anécdotas registradas, hacen suponer que la zona era ya sísmicamente activa. Lo que se debería que analizar es si dicha sísmicidad se ha mantenido constante o ha ido creciendo.

El siguiente fragmento, extraído de un documento relacionado con la sociología de la zona (Tumubare & Sakala, 1997), sugeriría que la frecuencia de los temblores después de la inundación del embalse habría aumentado. El documento narra la interpretación de los habitantes de Tonga (población adyacente al embalse) en relación al aumento de temblores:

“... los habitantes de Tonga asocian los temblores con la presencia del Dios del Río Zambeze. Creen que cuando la tierra se mueve es el Dios que se golpea con la presa. Según ellos la familia del Dios se ha quedado aguas abajo de la presa y no se puede unir con él debido al obstáculo que le supone la estructura. Según estos habitantes el Dios se ha ido enfureciendo más con los años ya que han ido aumentando desde la construcción las veces que se repitan los temblores.”

Una vez estuvo construida la presa, se instalaron diferentes estaciones sísmicas en un radio de 300 km del centro de la presa. Los resultados que han ido recogiendo dichas estaciones, han sido objeto de extensos e importantes estudios de sismólogos. Dichos estudios han permitido representar correlaciones espaciales y temporales de los temblores. En las Figuras 2 y 3 se muestran las correlaciones realizadas por Jonathan (1996).

En ambas Figuras se observa que el mayor número de temblores se produjo en las cercanías de la presa, y posteriormente a los primeros llenados del embalse. Se observa un pico en el número de temblores en 1963, justamente al proceder el primer llenado.

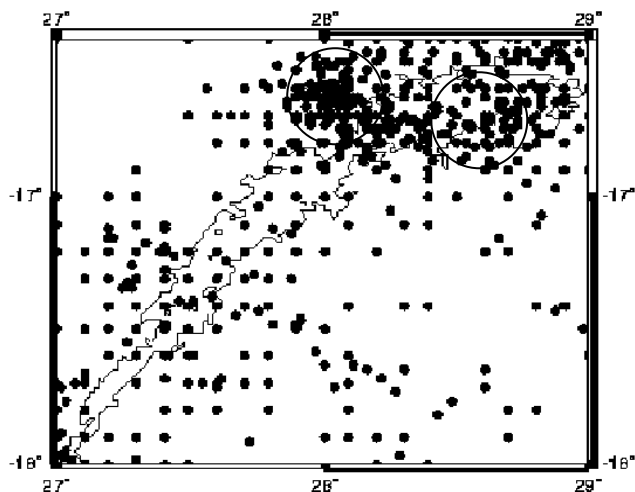


Figura 2. Distribución espacial de los temblores

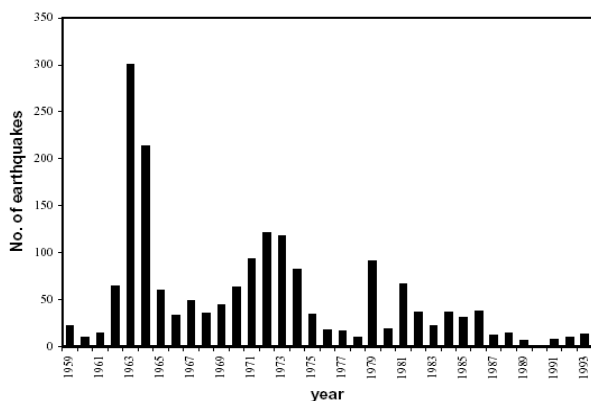


Figura 3. Distribución temporal de los temblores

Hay dos áreas predominantes (círculos en la Figura 2) donde se encuentran ubicados la mayoría de los epicentros. Estudios geológicos en dichas áreas demuestran que en estas zonas hay la mayor vulnerabilidad de las tensiones debido a las discontinuidades. De hecho, dos de los temblores más importantes, de magnitud 5.0 y 6.1 (1963) en la escala Richter, ocurrieron en estas zonas.

Un estudio centrado en el análisis del mecanismo causante de los temblores en el embalse (Gough & Gough, 1980), subraya dos causas principales. En primer lugar, la activación de fallas debido a la adición de esfuerzos por la presión hidrostática. En segundo lugar, se destaca las presiones provocadas por la infiltración del agua en los poros y las fracturas (fallas) de las rocas. Estos hechos son muestra evidente de una posible correlación entre el nivel de agua con la generación de temblores.

La literatura disponible indica que la carga sísmica no fue considerada durante el diseño de la Presa de Kariba. Los ingenieros justificaron este hecho indicando que la presa se situaba en un área sin precedentes sísmicos, aunque en realidad la

inexistencia de los precedentes se debía a la falta de datos. Si la Presa de Kariba se construyera en la actualidad, con los nuevos conocimientos aportados en este campo, la carga sísmica debería considerarse como la tercera en orden de importancia siguiendo al peso propio y a la presión hidrostática. Se ha determinado que un temblor de magnitud entre 6,5 y 6,7 en la escala Richter, podría ser fatal para la estructura, llegando al colapso de ésta. El temblor de magnitud 6,1 que se generó en 1963, ya causó algunos daños en la estructura, en las cimentaciones y en las propiedades de los terrenos utilizados como asentamiento.

Mediciones alrededor del mundo, han determinado que los temblores inducidos por la construcción de embalses no superan los 6,5 en la escala Richter. Esto nos permite formular la siguiente pregunta "¿Será superada la magnitud 6,5 algún día en el embalse de la Presa Kariba?". La respuesta puede ser un tanto complicada ya que el proceso de la generación de los temblores se debe básicamente a dos efectos; los relacionados con la inundación del embalse y los relacionados con el proceso tectónico del Rift Africano. Es más, las observaciones no dejan de ser observaciones, e incluso la magnitud de los temblores podría estar relacionada con el tipo de terreno. Por lo tanto no es garantizable que los 6,5 en la escala Richter no puedan ser superados. Estudios realizados al respecto indican que la probabilidad es media baja.

La World Commission of Dams (WCD) ha detallado una clasificación de riesgo potencial para cualquier presa. El riesgo potencial bajo, se designa para aquellas presas cuya rotura causaría pequeñas pérdidas materiales y ninguna pérdida de vidas humanas. El riesgo potencial medio, es para las presas cuya rotura causaría moderadas pérdidas materiales y algunas pérdidas de vidas humanas. Finalmente, el riesgo potencial alto se deja para las presas cuya rotura causaría importantes pérdidas materiales y la pérdida de un alto número de vidas humanas. La WCD ha clasificado la Presa de Kariba con riesgo potencial alto.

Entonces, es evidente que la rotura de la presa tendría un impacto para el medio muy importante. Estudios realizados al respecto (Mazvidza, 1997), han determinado que el colapso de la presa con el embalse lleno, formaría una avenida capaz no solo de destruir la Presa de Cahora Bassa (presa situado a 200 km y de las mismas características que Kariba), sino de inundar la rivera aguas abajo de la presa hasta que el Río Zambeze desemboca en el Océano Índico (534 Km). En cuanto a pérdida de vidas humanas, se calcula que se podrían ver afectadas alrededor de 60 000 personas. La pérdida de electricidad de los 7 países a los que Kariba y Cahora Bassa suministran electricidad también sería determinante para sus economías. Se

calcula que el coste total del impacto sería de 900 millones de dólares más el coste de cada una de las infraestructuras (1350 millones de dólares aproximadamente).

CONCLUSIONES

1. La Presa de Kariba está situada en la cuenca media del Zambeze, una extensión del Rift Africano. El área que abarca el embalse está altamente fallada y ya mostraba actividad sísmica antes de la inundación, asociada a los procesos tectónicos del Rift.
2. Aunque los datos que se tienen anteriores a la construcción de la presa son muy limitados, los estudios han determinado que los movimientos sísmicos que se han generado alrededor de la presa son debidos básicamente a la inundación del embalse.
3. Las fluctuaciones del nivel del agua juegan un papel importante en la determinación del aumento de la frecuencia de los temblores. Las fluctuaciones se traducen en variaciones en las presiones transmitidas en la base del embalse. Como resultado, el terreno se mueve intentando acomodarse a dichas variaciones y por consiguiente la ocurrencia de temblores.
4. Las cargas sísmicas no fueron consideradas en su momento en el diseño de la presa, justificado ello por la inactividad sísmica de la zona. Debido a la no consideración de dichas cargas, puede resultar que la presa sea incapaz de soportar algunos de los temblores y llegue a colapsar. Aunque los temblores sean de pequeña magnitud, si se producen de forma continua podrían tener un efecto acumulativo de desplazamientos pequeños sobre la estructura.
5. En la actualidad, la predicción de terremotos así como su magnitud, es muy difícil, por lo que la mejor forma de controlar los movimientos

sísmicos sería con una estación sísmica continua, con lo que se tendrían registros de las 24 horas del día permitiendo avanzar alguna predicción.

6. En el año 1998, la ZRA (Zambezi River Authority) que en la actualidad es la responsable del embalse, ha desarrollado un plan contra terremotos. Este plan, tiene como objetivo mitigar los efectos de un temblor coordinando autoridades e instituciones implicadas en cada uno de los países.
7. Todos estos hechos han llevado a la WCD a determinar que la construcción de una presa de las características de Kariba, debería estar diseñada para soportar cargas sísmicas, haya o no actividad sísmica previa en la zona.

REFERENCIAS

- Ministerio de Obras Públicas y Transporte (1989). *Guías metodológicas para la elaboración de estudios de impacto ambiental*. Vol. 2 Grandes Presas. pág. 81-108.
- World Comission of Dams (2000). *Kariba Dam Case Study*. Harare, Zimbabwe.
www.zimbabwepost.com
www.cse2000.org/html/kariba_dam.html
www.acres.com
[www.dhi.dk/courses/alumnicafe/lecturenotes/files /people%20and%20dams.pdf](http://www.dhi.dk/courses/alumnicafe/lecturenotes/files/people%20and%20dams.pdf)

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a Norman Chtewo (colaborador para la Delegación de las Naciones Unidas en Harare), por la información facilitada, en concreto el informe de la World Comission of Dams sobre la Presa de Kariba.

Tercer finalista del Premio Marcel Brú i Turull de Ingeniería Ambiental, curso 2004-2005

SISTEMA NEUMÁTICO DE RECOGIDA DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

Jeroni Bisañez Ramon
Pere Marc Montserrat Calbo

RESUMEN

El problema de la basura está considerado, junto con la contaminación del agua y del aire, como uno de los problemas principales de medio ambiente en las áreas urbanas.

En nuestro comunicado se desarrolla una descripción técnica y de funcionamiento del sistema neumático de recogida selectiva de residuos sólidos urbanos en áreas urbanas y/o residenciales. También se realiza una comparación del método analizado con el sistema convencional de recogida de basura urbana, donde las pautas de comparación se basan en los aspectos de recogida y almacenamiento.

El problema de les escombraries es considera, juntament amb la contaminació de l'aigua i de l'aire, com un dels majors problemes de medi ambient en àrees urbanes.

En el nostre comunicat es desenvoluparà una descripció tècnica i de com funciona el sistema pneumàtic de recollida selectiva de residus sòlids urbans en àrees urbanes i/o residencials. També es realitza una comparació del mètode analitzat amb el sistema convencional de recollida d'escombraries urbanes, on les pautes de comparació es basen en aspectes de recollida i emmagatzematge.

INTRODUCCIÓN

La necesidad de buscar soluciones alternativas para la recogida de basura en áreas residenciales surgió en Suecia hace unos 40 años. Resultó imposible mejorar los aspectos higiénicos y de medio ambiente de la recogida convencional, así como controlar el continuo incremento de los costes.

Como respuesta a estas demandas, se iniciaron los trabajos de desarrollo de un sistema de recogida automática, donde sería posible transportar neumáticamente las basuras por tuberías desde el

sitio de origen hasta el lugar de eliminación final. Para ello tenían que desarrollarse nuevos métodos para separar el medio de transporte (el aire) de la basura; cómo debía de introducirse la basura en el sistema, etc.

En la actualidad, no se instalan sistemas neumáticos de recogida solamente en áreas residenciales de nueva construcción, sino también en áreas ya existentes. En este caso su coste de instalación resulta más elevado. A pesar de esto, la recogida neumática resulta con frecuencia más económica que la convencional.

La recogida neumática de basura ha demostrado que es posible eliminar los inconvenientes de la recogida convencional y reducir los costes de recogida de las basuras.

OBJETIVO

El objetivo principal de este comunicado es exponer de forma clara y concisa las ventajas de la recogida neumática de r.s.u. frente al método clásico. Para esto, también se explica brevemente su funcionamiento.

Otros objetivos secundarios son:

1. Describir esquemáticamente el sistema de recogida neumática.
2. Conocer la situación de la recogida neumática de sólidos urbanos en Barcelona.

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

El primer sistema de recogida neumática se instaló en el hospital de Solleftea (Suecia). El primer sistema a gran escala se puso en marcha el año 1967 en un área residencial de Sundbyberg, un suburbio de Estocolmo. A esta instalación inicialmente fueron conectadas 600 viviendas, ha sido ampliada en diferentes etapas y atiende hoy a más de 2 000 viviendas. La experiencia de esta

instalación, que hoy día lleva recogidas más de 25 000 toneladas de basura, fue sumamente positiva.

Durante el siguiente lustro, alrededor de 25 sistemas de recogida neumática fueron instalados en diferentes partes del mundo. En Estocolmo unas 20 000 viviendas en 9 nuevas urbanizaciones fueron equipadas con recogida neumática; en Alemania Occidental, la nueva Villa Olímpica de Munich de 5 500 viviendas; en Venezuela, el área residencial de Parque Central de 7 500 viviendas; en EEUU, Walt Disney World en Florida; la Villa Olímpica de Barcelona (1 992) de 6 000 viviendas; por la Expo de Lisboa con 23 900 viviendas, en el casco histórico de Palma de Mallorca de 10 000 viviendas y además en Tokio, Hong Kong, Dusseldorf, Dinamarca, Singapur, Corea del Sur, etc.

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE RECOGIDA NEUMÁTICA

La Recogida Neumática de Basuras consiste en el transporte de los residuos desde los edificios y lugares donde se generan, a través de una red de tuberías subterráneas, hasta una central de recogida donde estos residuos son depositados en grandes contenedores que son transportados al Centro de Tratamiento, bien para su reciclaje o en su caso para su eliminación.

Dicho sistema consta de los siguientes elementos:

1. Unos buzones de vertido ubicados en la calle o compuertas de vertido en el interior de los edificios, que habilitan a los usuarios para depositar la basura.
2. Una red general de tuberías subterráneas que conecta dichos buzones o compuertas y mediante la cual viajan los residuos a una velocidad aproximada de 60 / 70 km/h, gracias a una corriente de aire hasta la central de recogida.
3. La instalación de central de recogida es el edificio donde terminan el recorrido todos los residuos, desde el colector de la red general a contenedores cerrados.
4. Mediante este sistema estático, la bolsa de basura se deposita en un buzón, situado dentro o fuera del edificio y allí permanece temporalmente. El vaciado de los contenedores se realiza a intervalos irregulares mediante un sistema informático instalado en la central de recogida.
5. Mediante el control del sistema se activan unos turboextractores que provocan una depresión de 3 m.c.a en la red. A través de unas válvulas de aire situadas al final de cada ramal se

alcanza esta depresión y se permite la entrada de aire en la red, que será el instrumento mediante el cual se transportan los residuos.

6. En ese momento comienza la apertura, de forma personalizada, de las diferentes válvulas de basura que se encuentran en cada buzón de vertido. El proceso comienza con la apertura de los buzones que contienen una misma fracción (orgánica, inorgánica y papel y cartón). Los residuos se compactan y caen dentro de un contenedor de 30 m³ de capacidad.
7. Una vez finalizado el transporte y la recogida de cada fracción, mediante una válvula triversona se rota la tubería general hacia otro separador rotativo, comenzando, de forma separada, la recogida de la otra fracción.
8. Posteriormente el aire se filtra para su emisión a la atmósfera, ya limpio de olores e impurezas. Los contenedores son retirados de la central mediante un camión con la frecuencia necesaria y cada fracción se envía a su destino correspondiente.
9. El sistema estático es el más adecuado para grandes zonas residenciales. En los hospitales, superficies comerciales y aeropuertos, este sistema es equipado con unas amplias compuertas de entrada que permiten la recepción de grandes bolsas de basura.

IMPLANTACIÓN EN BARCELONA

La necesidad de encontrar soluciones alternativas a la recogida convencional de basura, ha llevado a desarrollar el sistema de recogida neumática en algunas zonas de la ciudad de Barcelona como la Villa Olímpica, donde esta operativo desde 1 992.

Servicios del Ayuntamiento de Barcelona han promovido la realización de un Plan Director de Recogida Neumática de Residuos Sólidos Urbanos, que describirá como se ira desarrollando el tendido de la red y las centrales de recogida en las diferentes ubicaciones de la ciudad como Ciutat Vella, La Sagrera, Diagonal Mar, etc.

Se recogen neumáticamente las basuras por medio de tuberías bajo suelo a 8 000 viviendas, a partir de unos turbo-aspiradores ubicados en una central de recogida, con una potencia instalada de 394 Kw. Finalmente la basura se acopia en un contenedor de 25 m³.

Mejor eficiencia energética respecto al sistema actual con vehículo recolector compactador propulsado con combustible convencional.

Para la determinación del indicador sostenible hemos considerado el ciclo completo desde que el ciudadano entrega la basura hasta su llegada al centro de tratamiento final.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN ENTRE LOS MÉTODOS CONVENCIONALES Y LOS SISTEMAS NEUMÁTICOS DE RECOGIDA DE BASURA

La basura es uno de los problemas que más daños higiénicos y de medio ambiente causa en las áreas residenciales de todo el mundo. Económicamente supone una carga importante en la mayoría de las ciudades. Los costes así como las tasas o contribuciones que los ciudadanos tienen que pagar para costear la recogida, crecen sin cesar.

Al comparar diferentes métodos de recogida de basura, el factor sanitario y de medio ambiente debe considerarse como primario. Evidentemente, los costes de recogida de la basura se incrementan debido al deseo de mejorar los aspectos higiénicos y de medio ambiente.

Al planificar la recogida de basura debe preverse la producción de los habitantes. En la Tabla 1 se dan los valores de producción por habitante en distintas regiones del planeta en el año 2000.

Tabla 1. Valores de producción de basura por habitante en el año 2000.

PAISES	PRODUCCIÓN DE BASURA
América del Norte (EEUU y Canadá)	1,8 - 2,9 kgs/hab y día 18 - 29 litros/hab y día
Australia, Nueva Zelanda	1,4 - 2,2 kgs/hab y día 14 - 22 litros/hab y día
Europa del Norte	1,3 - 1,9 kgs/hab y día 11 - 16 litros/hab y día
Europa del Sur	1,0 - 1,6 kgs/hab y día 8 - 13 litros/hab y día
Países desarrollados en el Cercano Oriente	1,3 - 2,2 kgs/hab y día 13 - 20 litros/hab y día
Japón, Singapur	1,3 - 1,9 kgs/hab y día 11 - 16 litros/hab y día

Seguidamente pasamos a comparar la recogida convencional de basura y la recogida neumática. Al ser más conocida la recogida convencional que la neumática, la comparación se basa en los aspectos de la primera:

a) Almacenamiento Temporal de la Basura en las Viviendas

En la recogida convencional surgen problemas cuando se recoge la basura cada dos, tres o más días y mientras tanto tiene que almacenarse dentro de las viviendas. En consecuencia, debido a la descomposición de la basura se generan malos olores dentro de las viviendas. En cambio, con la recogida neumática la basura puede verterse en el sistema en cualquier momento durante el día y la semana, así pues el problema no existe.

b) Transporte de la Basura desde las Viviendas a Nivel de Calle

En la recogida convencional se crean problemas en edificios multifamiliares donde la basura tiene que transportarse dentro de los ascensores, por lo tanto existen riesgos higiénicos/sanitarios en los ascensores y malos olores. Por el contrario con la R.N. la basura cae dentro de las bajantes verticales. El tiempo de almacenamiento en el fondo de los bajantes nunca es superior a 12 horas.

c) Interacción con el Usuario

En la recogida convencional es posible depositar basura con un rango de dimensión muy variable, debido a que la abertura de los contenedores lo permite. Además este sistema se presta a que los usuarios depositen alrededor de los contenedores

los residuos que por su excesivo volumen no caben, ya que confían en su retirada posterior por parte del camión de recogida. En la R.N. se limita el volumen de los residuos, debido al propio tamaño de las válvulas recolectoras. Así pues se evita la acumulación de basuras en la calle.

d) Almacenamiento de la Basura a Nivel de Calle

En la recogida convencional la basura se almacena en espacios públicos y causa problemas higiénicos y de medio ambiente. Posibles mejoras en los métodos de almacenamiento son limitadas por el acceso de los camiones y por factores económicos. En consecuencia se generan graves riesgos sanitarios e higiénicos, malos olores en las calles, proliferación de animales parásitos, en definitiva un estado de suciedad generalizada. Por otra parte, con la R.N. el problema no existe, ya que la basura es transportada por las tuberías subterráneas hasta la central de recogida. En la central de recogida la basura es almacenada en contenedores herméticamente cerrados antes de su transporte al lugar de vertido.

e) La Recogida de la Basura

En la recogida convencional es imposible evitar que caigan desperdicios a la calle al cargarse los camiones de recogida. El nivel de ruido de los camiones de recogida es muy elevado (entre 90 y 120 dB durante la carga). En consecuencia hay un aumento de suciedad en las calles (y de los costes de limpieza pública), además de molestias por ruidos. En cambio, en la R.N. este problema no se da.

f) Condiciones Laborales

En la recogida convencional las condiciones de trabajo suelen ser duras y los operarios se exponen a un riesgo sanitario continuo. Debido al bajo nivel de los salarios, se dan conflictos laborales frecuentemente. En consecuencia, surgen problemas sanitarios e higiénicos muy serios durante los conflictos laborales, cuando se deja la basura sin recoger en las calles. La R.N. es un proceso automático, por lo tanto, no suele ser afectada por los conflictos laborales. Los operarios de supervisión y mantenimiento no están en contacto con la basura.

g) Costes del Sistema

En la recogida convencional la mayor parte de los costes se basan en una amplia plantilla de operarios, flota de camiones especiales de recogida y contenedores. A todo esto se le debe de añadir el coste de mantenimiento. En la R.N. cabe destacar que la inversión inicial es muy superior, especialmente en zonas ya urbanizadas. A la larga el sistema R.N. resulta más económico, ya que sus costes de mantenimiento son mucho menos importantes que en la recogida clásica.

CONCLUSIÓN

En todos los aspectos higiénicos y de medio ambiente la recogida neumática de basura es muy superior a la recogida convencional.

Los aspectos negativos característicos de la recogida clásica que se detectan son los siguientes:

1. Necesidad de lavado y mantenimiento de los contenedores.
2. Posibilidad de accidentes urbanos provocados por el movimiento de los contenedores.
3. Presencia de olores procedentes de basura, tanto durante la operación de recogida por parte del camión recolector, como durante su almacenaje en los contenedores.
4. Contacto visual o manual de los usuarios con la basura (vuelco de contenedores, rebuscadores, etc.).
5. Acumulaciones de basura en la vía pública o en torno a los contenedores con ausencia de recogida, bien por motivos de tráfico impedido para el vehículo recolector bien por posibles huelgas del colectivo de recogida.

6. Presencia de posibles roedores, insectos u otros agentes patógenos con motivo de estas acumulaciones.

La R.N. soluciona los problemas expuestos y a la vez ofrece mejoras en el campo de R.S.U., estas son:

1. Contribuye a la utilización racional del sistema de recogida de basuras, ante la imposibilidad de introducir en el mismo elementos no considerados como residuos domésticos, tales como enseres, televisores, etc., los cuales nunca deberían estar presentes en un sistema de recogida de residuos domésticos.
2. Ausencia de conflictos laborales.
3. Notable reducción de los costes de operación y mantenimiento por Tn. de basura recogida, respecto a los sistemas tradicionales de recogida durante toda la vida útil de la instalación (más de 30 años).
4. Permite el sistema de recogida selectiva de residuos, recogiendo separadamente fracción inorgánica (envases) y resto. Además de estas dos fracciones, con el mismo sistema se podrían recoger separadamente otras fracciones, estableciendo un horario y frecuencia determinada para los mismos.

En contra de la recogida neumática:

1. Se precisa de un alto grado de colaboración ciudadana.
2. Dificultad para ejercer acciones sancionadoras ante un mal uso del sistema.
3. Elevada inversión inicial en las zonas residenciales consolidadas.

REFERENCIAS

- EMAYA (Empresa Municipal de Aguas y Alcantarillado, Palma de Mallorca) (2 000). *Proyecto de instalación de un sistema de recogida selectiva de R.S.U. mediante un sistema neumático en el casco viejo de Palma de Mallorca.*
- LIPASAM (Empresa municipal de Limpieza Pública del Ayuntamiento de Sevilla)