



---

*Fuego, Leña, Agua:  
Cosechar Beneficios*

**INFOterra**

PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS  
PARA EL MEDIO AMBIENTE

---



---

INTERCAMBIO DE EXPERIENCIAS AMBIENTALES — VOLUMEN UNO

***Fuego, Leña, Agua:  
Cosechar Beneficios***

*Intercambio de experiencias ambientales  
— Volumen uno*

Programa de las Naciones Unidas para el medio ambiente  
Nairobi, marzo de 1988

Derechos Reservados © 1988 por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.

Todos los derechos reservados. Prohibida la reproducción integral o parcial de esta publicación, ya sea electrónica o mecánica, fotocopia, grabación o sistema de archivo y retroinformación sin la autorización escrita del PNUMA.

Esta publicación ha sido editada por INFOTERRA y no ha estado sujeta a revisión del Servicio de Conferencias y del Consejo de Administración del PNUMA. Las opiniones aquí expresadas pertenecen a los autores y no reflejan necesariamente las opiniones del PNUMA.

Centro de Actividad del Programa de INFOTERRA  
Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente  
P. O. Box 30552  
Nairobi  
KENYA

ISBN: 92 807 1165 2

Impreso en Kenya por Executive Printing Works, Nairobi.

## TABLE DES MATIERES

Prefacio	(v)
Prólogo	(vii)
Introducción	(ix)
Tratamiento del licor negro proveniente de la pulpa alcalina de la paja de arroz por medio del craqueo en húmedo <i>por Tan Long</i>	1
Aglomerante para albañilería en base a ceniza de cáscara de arroz (RHAM) <i>por S.C. Ahluwalia et Dr. (Smt) S. Luxmi</i>	7
Aglomerante cementoso en base a sedimentos de cal residual y cáscara de arroz <i>por el Instituto central de investigación de la construcción, Roorkee, Inde</i>	11
Desarrollo y aplicaciones del biogas en países asiáticos <i>por W. Tentscher</i>	17
Energía geotérmica — el don del calor bajo la tierra de hielo <i>por Jeffrey Cosser</i>	49
Captación de aguas de manantiales <i>por Dan Campbell et Craig Hafner</i>	59
Tecnologías de filtrado para el abastecimiento de agua en comunidades pequeñas <i>por M.S. Vigneswaran et M.A.A.A. Mamoon</i>	77
Mecanismos de ordenación ambiental <i>por R.G.H. Turnbull</i>	97





## PREFACIO

Muchos reconocemos que el desarrollo sostenible depende de un conocimiento cabal del mundo que nos rodea. Solo si se conoce el alcance y las limitaciones de nuestros recursos, podremos comenzar a evaluar nuestro potencial real.

Un aspecto decisivo en la búsqueda del saber es la disponibilidad de información. Se requiere información veraz para fundamentar todas las decisiones. Durante los últimos diez años, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente ha estado operando un sistema internacional de información ambiental. Desde sus modestos comienzos, INFOTERRA se ha convertido en uno de los principales sistemas mundiales de información ambiental. Actualmente evacúa cerca de 13.000 consultas anuales a través de los centros nacionales de coordinación en 133 países y del Centro de Actividad del Programa en la sede del PNUMA en Nairobi. La mayor parte de la información se envía en forma de documentos, que son a su vez el resultado de las investigaciones realizadas por países y por organismos de las Naciones Unidas que participan en las actividades de INFOTERRA.

Al evaluar el resultado de los servicios de INFOTERRA, luego de diez años de operaciones, quedó expuesta la necesidad de estímulo aprovechando las experiencias y los trabajos de otros. He aquí la razón para publicar esta nueva serie de libros cortos. La serie Intercambio de Experiencias sobre el Aprovechamiento de los Recursos procura promover un nuevo nivel de entendimiento basado en las experiencias reales sean éstas buenas o malas. Confiamos en que permitirá extraer conclusiones sobre enfoques nuevos o adaptados para alcanzar los objetivos del desarrollo nacional a nivel mundial.

Nuestra meta es común: ofrecer un mundo mejor basado en el entendimiento cabal de nuestro potencial y nuestras limitaciones. Adquiere importancia el desarrollo de tecnologías ambientalmente racionales, los métodos de producción que protejan, reciclen y utilicen nuevamente los recursos no renovables, y las fuentes de energía renovable y de contaminación escasa. La importante función del intercambio de la experiencia ambiental se traduce en la experiencia para cuidar, conservar y reciclar nuestros limitados recursos, la necesidad de transformarlas en técnicas concretas y difundirlas entre la comunidad mundial.

Confío en que esta serie de libros promueva el interés del público y estimule el diseño de políticas para un mundo mejor.

Mostafá K. Tolba  
Director Ejecutivo  
Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente



## PROLOGO

Por Woyen Lee

Director del Centro de Actividad del Programa de INFOTERRA

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente

La serie de libros titulada Intercambio de Experiencias Ambientales, nace del reconocimiento de que un público más amplio puede compartir la gran cantidad de valiosa experiencia sobre medio ambiente que difunde la red de INFOTERRA. La información sustantiva para evacuar la consulta de un usuario podría ser de interés para otros. Dado que la red de INFOTERRA evacúa miles de consultas ambientales anualmente, por qué no orientarla hacia un público mayor?

Los sucesivos períodos de sesiones del Consejo de Administración del Programa de las Naciones Unidas para el Medio ambiente asignaron mandato a INFOTERRA para crear un medio adecuado para evacuar consultas e intercambiar experiencias sobre el medio ambiente. De conformidad se instrumentó una red internacional de sistemas de información en 133 países, coordinada por el Centro de Actividad del Programa. Sólo en 1986 INFOTERRA procesó 12,700 consultas. Se cumplieron las metas de ofrecer un mecanismo viable de consulta-respuesta. Ha llegado el momento de estimular el conocimiento público sobre temas ambientales, especialmente en cuanto a la información que sobre diferentes experiencias ofrece el sistema de INFOTERRA. Se consideró que esta modesta serie de libros constituía un medio adecuado.

El CAP de INFOTERRA está en deuda con los amables contribuyentes que comparten sus experiencias en las páginas siguientes. Sin su aporte, y el aporte de los miembros de INFOTERRA, tanto de los centros de coordinación como las fuentes de información, el intercambio gratuito de información y experiencias en materia ambiental continuaría siendo un sueño.

Este volumen incluye conclusiones científicas, una reseña histórica, un análisis de métodos para la ordenación ambiental y los resultados de investigaciones. Si bien los conceptos son propios de los autores y no reflejan necesariamente las políticas nacionales o endosadas por el PNUMA, la información abarca experiencias en varias regiones del mundo.

El lector deberá seleccionar las ideas factibles de adoptar. Esto nos lleva a un requisito fundamental: abrir nuestras mentes a soluciones aplicables a nuestras necesidades ambientales. Si se logra este objetivo se concretará el título escogido para este primer libro: Energía, Leña, Agua: Cosechar beneficios.

En el PNUMA somos concientes de que los problemas ambientales actuales y futuros son y continuarán siendo el producto de la interrelación entre un vasto ámbito de factores. No siempre las soluciones aparentemente simples y directas producen los resultados esperados. Por lo tanto las soluciones también deben incluir un vasto ámbito de elementos. La clave en la búsqueda de soluciones alternativas es la información. Con la publicación de este libro les invito a unirse a los 56.000 usuarios de INFOTERRA.

Nairobi, marzo de 1988.



## INTRODUCCION

Uno de los problemas asociados a la recopilación de un libro de este tipo es saber por donde comenzar. Qué ámbitos de experiencias escoger. Debe cada volumen incluir material sobre un solo tema, como por ejemplo, los suelos o el agua, o por el contrario abarcar una vasta gama de temas? Debe incluir únicamente literatura científica y técnica, o procurar satisfacer al mayor número posible de lectores con material no técnico? Dado que la red de INFOTERRA procesa más de 12.000 consultas anualmente, la selección de unos pocos artículos parecía difícil.

Los problemas se resolvieron en el curso de la correspondencia con los autores, tanto para éste como para futuros libros de la serie. Algunos potenciales autores apoyaron la idea, pero manifestaron su imposibilidad de enviar la información necesaria dentro de nuestros plazos. Otros enviaron material ya publicado y donaron generosamente los derechos de reimpresión, y otros realizaron de inmediato las investigaciones pertinentes, recopilaron sus estudios y nos enviaron los manuscritos.

Los resultados están en las páginas siguientes.

INFOTERRA no está en posición de juzgar si las sugerencias pueden ser aplicadas a nivel mundial. Probablemente no, dado la variedad de las condiciones geofísicas, económicas y sociales de nuestra comunidad mundial. Pero cada uno de los casos expuestos representa una investigación válida y la experiencia recabada en un país o en una región. Y dado que las condiciones en una parte del mundo son generalmente iguales en otras, estas experiencias son lícitas para muchos investigadores, estudiantes y ejecutivos que participan en la búsqueda de soluciones aceptables para los problemas ambientales existentes.

El arroz, un alimento básico en la alimentación de casi la mitad de la población del mundo ofrece el punto inicial para esta primera serie de libros sobre el intercambio de experiencias en materia ambiental. Uno de los sub productos del arroz es la paja, y la paja se utiliza ampliamente en Asia como materia prima para la producción de papel. Pero la paja de arroz utilizada en la industria de la pasta y el papel presenta potenciales consecuencias nocivas. Una nueva tecnología desarrollada en Tianjin, en la República Popular de China aborda dicho problema. El craqueo en húmedo de la pasta líquida como parte del proceso de fabricación ofrece una nueva solución. Por otro lado la misma cáscara del arroz, que muchas veces se quema o se utiliza como relleno sanitario o mezclado con estiércol también resulta productivo en la industria de la construcción. Investigaciones en la India demostraron que procesos adecuados producen en la cáscara de arroz propiedades de aglomerante similares a la del cemento portland. Esta alternativa para el uso de los residuos representa beneficios económicos y sociales.

Aumenta el interés por las fuentes de energía nuevas y renovables, ante los informes de los daños ambientales que producen las emisiones del carbón, el azufre y otros, sin mencionar los peligros asociados con los accidentes nucleares. Existe una diversidad de tecnologías apropiadas. Pero muchas se encuentran fuera del alcance económico de los países en desarrollo. Uno de los capítulos, recopilado por funcionarios del "Asian Institute of Technology" en Bangkok, estudia varias experiencias en la producción de biogas en Asia. Se analiza el diseño y la construcción de los biodigestores, y las políticas nacionales para su uso y ordenación. Otro artículo reseña las experiencias del uso de la energía geotérmica en Islandia, un pionero en calefacción doméstica. Se describe la evolución del uso de la energía geotérmica en el país, incluyendo modernas aplicaciones industriales. Muchos de estos usos han comenzado a aplicarse en varios países del mundo en desarrollo.

Otro elemento analizado es el agua. Se estudian tecnologías positivas en el mundo en desarrollo para el abastecimiento de agua potable. Funcionarios del "Asian Institute of Technology" han

analizado experiencias realizadas en zonas rurales, e incluyen los beneficios e inconvenientes de diferentes sistemas de purificación de agua. Y dado que el agua fluye de fuentes superficiales, el WASH Operation Center informa detalladamente sobre un método para seleccionar y almacenar aguas de manantiales. El método expuesto es el resultado de muchos años de experiencia en la capacitación de técnicos en materia hidrológica en los países en desarrollo y no requiere más que conocimientos básicos para la construcción.

Funcionarios del "Centre for Environmental Management and Planning" en el Reino Unido estudian el tema de la ordenación ambiental, en forma conceptual y práctica. Se comparan experiencias en países desarrollados y en desarrollo, y se incluyen directivas claras para facilitar a los estudiantes y a los administradores el análisis de su compromiso nacional para lograr un mundo ambientalmente seguro.

Si bien la ordenación ambiental podría parecer como algo de "último momento" en la recopilación de este libro, realmente no es así. El tema común de este volumen es la sensibilización ambiental. A menos que aprendamos a ordenar sensatamente nuestros recursos ahora, las futuras generaciones no podrán recoger ningún beneficio, y los condenaremos a pagar por nuestros errores.

Tal vez éste sea el verdadero significado del intercambio de las experiencias en materia ambiental.

## TRATAMIENTO DEL LICOR NEGRO PROVENIENTE DE LA PULPA ALCALINA DE LA PAJA DE ARROZ POR MEDIO DEL CRAQUEO EN HUMEDO

por Tan Long, Profesor Asociado,  
Departamento de Ingeniería Química  
Tianjin Institute of Light Industry, Tianjin,  
República Popular de China

### INTRODUCCION

En China y en otros países en vías de desarrollo, la industria de la pasta y el papel ha adoptado la pasta alcalina y la paja, especialmente la paja de arroz, como materia prima para la fabricación del papel. El alto contenido de silicio en la paja de arroz, se convierte en  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  durante la cocción. En el proceso convencional, la presencia del  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  dificulta la evaporación, la combustión, la caustificación y la recuperación del lodo blanco. El sílice que se acumula ciclicamente, produce tal grado de interferencia que ha sido imposible hasta el presente recuperar el licor negro de la paja de arroz.

Asimismo, otra razón importante para limitar la recuperación del licor negro de la paja de arroz a través del proceso convencional es el reducido tamaño de muchas industrias. El sistema convencional demanda un proceso de producción complicado, con gran cantidad de equipo y mano de obra calificada en la parte operativa. En consecuencia, la recuperación del licor negro a través del proceso convencional, requiere una gran inversión que no es redituable.

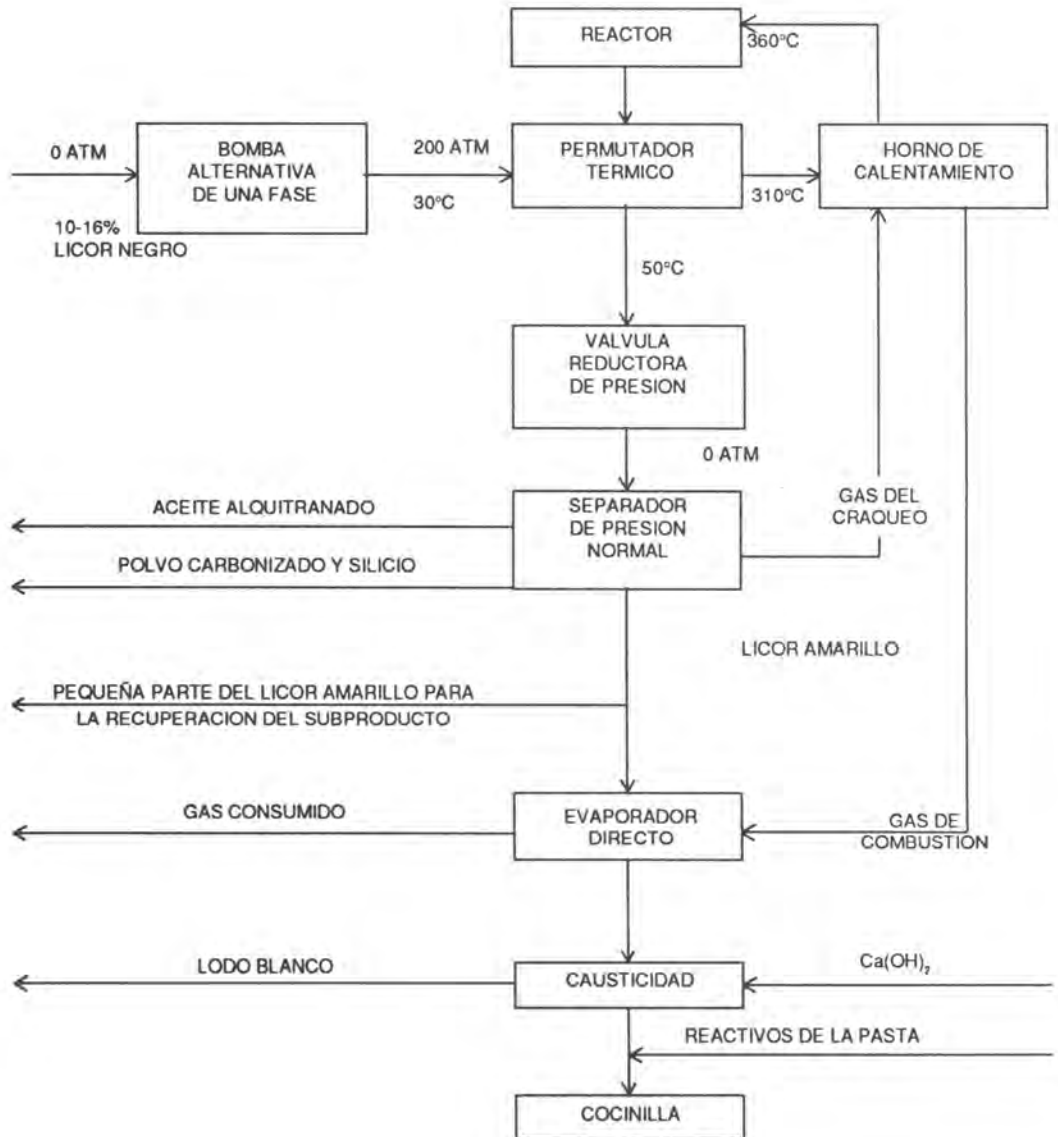
Es por ello que la mayoría de las fábricas pequeñas de pasta de paja alcalina no están en condiciones de recuperar el licor negro y deben dejarlo escurrir, resultando en una pérdida de valores álcalis y orgánicos y más aún, en una importante contaminación ambiental. En algunos países la fabricación del papel es una de las industrias que producen mayor daño ambiental, especialmente cuando la paja es la principal materia prima. En dichos países, el licor negro provoca el 90% del total de la contaminación de la industria del papel.

El proceso de craqueo en húmedo que hemos desarrollado es apropiado para el tratamiento del licor negro de la paja de arroz y otros materiales no provenientes en la fibra de la madera. A temperaturas y presiones altas, es posible lograr una reacción de craqueo en húmedo en el licor negro, sin necesidad de añadir otros reactivos. La sustancia orgánica del licor negro puede convertirse en combustible y otros sub-productos; el  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  puede convertirse en silicio y luego ser extraído. Una vez separado y extraído la sustancia orgánica y el silicio, los reactivos regenerados y el agua se utilizan nuevamente ciclicamente, evitando así el problema de la contaminación del licor negro. El proceso de craqueo en húmedo es un proceso simple, fácil de operar y que requiere una inversión baja para la construcción, apropiado para fábricas de diferentes tamaño, especialmente para pequeñas fábricas de pasta.

Los trabajos de investigación sobre el tratamiento del licor negro de la pasta alcalina de la paja de arroz por medio del craqueo en húmedo comenzaron en 1979. En 1980 se lograron los primeros ensayos positivos. En 1981 se diseñó y fabricó un sistema de tratamiento continuo con una capacidad diaria de 3 a 4  $\text{m}^3$  de licor negro, ensamblado y ensayado en 1982. En 1985 se obtuvieron nuevos resultados positivos de los continuos ensayos pilotos y se estableció la nueva tecnología de craqueo en húmedo para el tratamiento continuo del licor negro. En 1985 solicitamos una patente de invención en la República Popular de China. Se está planificando diseñar un taller de tratamiento de licor negro para una fábrica de 5.000 toneladas anuales de producción de pasta alcalina de paja de arroz.



## DIAGRAMA DE FLUJO Y CONDICIONES TECNICAS



FIBRA VEGETAL: PAJA DE ARROZ  
METODO: PULPA ALCALINA

### Propiedades tecnológicas

1. El craqueo en húmedo no requiere agregar reactivos para el tratamiento del licor negro de la paja de arroz y otros.
2. El tiempo de permanencia del licor negro en el reactor es de 20 a 30 minutos.
3. En equipos de alta presión, los productos de la reacción del craqueo en húmedo son uniformes y no acumulan sedimentos sólidos.
4. El permutador térmico enfría una vez los productos del craqueo líquido a 50° C. de temperatura.
5. Se reduce una sola vez la presión de los productos mediante una válvula reductora de presión hasta llegar a la presión atmosférica.
6. La viscosidad del licor amarillo es similar a la del agua, por consiguiente no existen dificultades tecnológicas para la separación a una presión atmosférica y a 50° C. de temperatura. A través de la precipitación, el gas del craqueo, el aceite alquitranado, el licor amarillo, el polvo carbonizado y el silicio se separan una sola vez.
7. Se retira una pequeña parte del licor amarillo del licor para recuperar sub-productos.
8. El calor residual de los gases de combustión se utiliza para evaporar el licor amarillo por contacto directo.
9. La mayor parte del licor amarillo se calienta hasta su punto de ebullición y se agita durante 30 minutos, liberando el CO<sub>2</sub>. La calcinación húmeda transforma el 90% del NaHCO<sub>3</sub>. El licor amarillo se vuelve cáustico por la acción de la cal y luego se transforma en licor blando, se rellena entonces con una parte de los reactivos y se utiliza nuevamente en la pasta.
10. No se constatan efectos contraproducentes en el rendimiento, resistencia o blancura de la pasta descolorada si se utiliza el álcali recuperado.

### Origen y Características del licor negro

El licor negro de la paja de arroz se produce por el tratamiento químico de la pasta en un digestor de 25 m<sup>3</sup> de volúmen.

Carga alcalina :	NaOH 12%
Proporción licor:	1:3
Presión de cocción:	4,2 atm
Temperatura de cocción:	153° C.
Tiempo de cocción:	Calentar hasta llegar a los 153 C. durante una hora y posteriormente mantener la temperatura durante una hora y media.

El licor negro proviene del departamento de lavado. El contenido sólido es de 10 a 16%. La densidad específica es de 8-10 Bé (20° C.) el pH del licor negro asciende a 10.

### Productos de Reacción del Craqueo en Húmedo

1. Producción de gas de craqueo: 100-150 m<sup>3</sup> por tonelada de materia orgánica en el licor negro.

Composición:

CO<sub>2</sub> = 30 - 35 %

H<sub>2</sub> = 20 - 24 %

CH = 12 - 14 %

C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> í C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> = 11 - 13 %

C<sub>3</sub> = 8 - 10 %

C<sub>4</sub> = 6 - 8 %

C<sub>5</sub> = 3 - 5 %

El gas de craqueo es incoloro, transparente y durante el proceso de quemado tiene una llama de color azul.

2. Producción de aceite alquitranado : 100 - 120 kg. por tonelada de materia orgánica en el licor negro.
3. Producción de polvo de ceniza y sílice: 50 - 150 kg. por tonelada de materia orgánica en el licor negro. Existen partículas sólidas pequeñas de color negro y marrón.
4. Licor amarillo, densidad específica: 1.065, pH: 7.5. Esta variedad de licor es claro, transparente y ligeramente amarillo. La hemos designado "licor amarillo". El licor amarillo consiste principalmente de NaHCO<sub>3</sub>, una menor proporción de Na Ac y una pequeña proporción de NaCo<sub>2</sub>H.
5. El gas de combustión y el gas de la calcinación líquido contienen una elevada cantidad de CO<sub>2</sub> que puede utilizarse para producir CaCo<sub>3</sub> livianos y otros subproductos.
6. Una pequeña parte del licor amarillo del sistema de craqueo se destina para producir ácidos, sal y suprodutos de éster con contenido de Na Ac. y NaCo<sub>2</sub>H. Después del tratamiento por craqueo en húmedo la materia orgánica se reduce en un 80 a 95 % y el silicio en un 96 - 99 %. La mayor parte del álcali en el licor negro (55 - 80%) se recupera en forma de NaHCO<sub>3</sub>.

### Protección Ambiental

1. Por medio del craqueo en húmedo se separa y extrae la materia orgánica y el silicio del licor negro y se utilizan nuevamente ciclicamente durante la cocción los reactivos de la pasta o el agua, evitando de ésta forma su vertimiento al exterior y consecuente contaminación ambiental. Se elimina la contaminación del licor negro del medio. El craqueo en húmedo para el tratamiento del licor negro de la pulpa de la paja reduce basicamente el problema de la contaminación que produce la condensación de agua contaminada durante la evaporación en los procesos convencionales.
2. En el proceso de craqueo en húmedo, el gas residual eliminado contiene unicamente nitrógeno, dióxido de carbón y vapor de agua, que no son nocivos para el medio ambiente. Si se le compara con los procesos convencionales donde los polvos alcalinos de los gases de combustión de los hornos provocan una contaminación secundaria, el resultado es sumamente favorable.

3. En el proceso de craqueo en húmedo, el lodo blanco contiene una cantidad muy pequeña de silicio. El lodo blanco puede calcinarse y re-utilizarse ciclicamente, facilitando la eliminación de la contaminación secundaria del lodo blanco provocada por el método convencional.

### Evaluación Económica

El proceso de craqueo en húmedo presenta varias ventajas con respecto al proceso convencional. Por un lado la bomba alternativa está estandarizada, y utiliza tres unidades de alta presión de diseño típico, fabricadas con materiales de fácil disponibilidad. Por otro lado, requiere un proceso de producción más simple, menos equipo, menor espacio y menor inversión para su construcción.

La operación y control automático del proceso de craqueo en húmedo es sumamente sencillo. Requiere menos personal, menor calificación y reduce el costo de los jornales.

El proceso de craqueo líquido no requiere reactivos químicos, únicamente calentar el licor negro hasta una temperatura de reacción luego de elevar la presión mediante la bomba alternativa. Dicha bomba es de una sola fase y bajo consumo de electricidad. Una de las principales ventajas de éste proceso es el alto rendimiento alcanzado por la energía térmica. Un ochenta por ciento de la energía necesaria para calentar el licor negro se logra mediante la permutación térmica con los productos del proceso del craqueo en húmedo, y el resto (15%) proviene de la combustión del gas de craqueo en el horno de calentamiento. El gas líquido del craqueo, el aceite alquitranado y el polvo carbonizado pueden también utilizarse como combustibles. En una palabra, más de la energía necesaria es auto producida. En el proceso convencional se requiere una gran cantidad de combustible para mantener el horno de combustión a una temperatura constante.

A diferencia del proceso convencional, en el cual todos los organismos se queman totalmente, el proceso de craqueo en húmedo transforma la materia orgánica en muchos tipos de productos de reacción que producen distintas clases de subproductos. En consecuencia, el resultado económico es superior al de la simple combustión.

La siguiente es una evaluación económica general para el tratamiento del licor negro de la pulpa de paja por medio del craqueo en húmedo: requiere menor inversión para la construcción y operación; no necesita reactivos adicionales; la energía térmica necesaria es menor que la auto-producida, y se pueden recuperar varios sub-productos y mejorar los resultados económicos.

### Versatilidad de la aplicación

El craqueo en húmedo es apropiado para el tratamiento del licor negro de la paja de arroz, de otros tipos de paja y de la pasta de la madera dura.

El craqueo líquido es adecuado para fábricas de diversos tamaños, pero especialmente para fábricas pequeñas con una capacidad de producción de 3.000 a 5.000 toneladas de pasta anuales.

El craqueo en húmedo es adecuado, no solo por el tratamiento del licor negro de la pulpa de la paja, sino también para el tratamiento del licor negro de la pasta de otros materiales de fibra vegetal a través del proceso de pre-hidrólisis.

Para la pulpa o la pasta química de la paja de arroz, la carga alcalina en la pasta es de 12% Na OH; después de la pre-hidrólisis las sustancias se han disuelto en cerca de un 25 % de forma tal que la carga álcali requerida es de solamente 6 a 7% Na OH. Por medio del craqueo en húmedo, el efecto del tratamiento del licor negro de la pasta química de la paja es mucho mejor con que sin la pre-hidrólisis, y se puede extraer en un 85 a un 95% de la materia orgánica. Se recupera hasta en un 80 o un 90 % del total del álcali en el licor negro en forma de  $\text{NaHCO}_3$ . Es decir el consumo de álcali en el proceso, sin la recuperación álcali es del 12 % NaH; el consumo de álcali en el proceso con craqueo en húmedo y pre-hidrólisis es de solamente 1,5 a 2 % NaOH.



Este proceso es apropiado para los siguientes reactivos de la pasta: Na OH, Na OH-AQ, Na OH- $\text{Na}_2\text{SO}_3$ - $\text{Na}_2\text{S}$ , y aunque los tres reactivos son diferentes, el proceso tecnológico, las condiciones y el equipo son básicamente las mismas para el tratamiento del licor negro.

En la pasta de Na OH -  $\text{Na}_2\text{SO}_3$ - $\text{Na}_2\text{S}$ , la cantidad de compuesto de azufre en el álcali total debe ser menor de un 25% (calculado con  $\text{Na}_2\text{O}$ ). Debido al nivel reducido del contenido del azufre, el gas líquido contiene una pequeña cantidad de  $\text{CH}_3\text{SH}$ ,  $(\text{CH}_3)_2\text{S}$  y  $\text{H}_2\text{S}$ , y en el licor amarillo el azufre se presenta en forma de Na HS. Al disminuir la presión durante el proceso, los productos de reacción se llevan a una temperatura de cerca de 50% y la volatilidad del  $\text{H}_2\text{S}$  es limitada. Cuando se quema en el horno de combustión el gas líquido del proceso, el compuesto de azufre en el gas se convierte en  $\text{SO}_2$ , se absorbe, se transforma en  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  y se disuelve en el licor amarillo. Los compuestos de azufre del  $\text{Na}_2\text{S}$  y el  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  son sumamente apreciados. Si se procura obtener el primero se le agrega  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  y Na OH al licor blanco regenerado. Otro método consiste en quemar azufre en el horno para calentamiento y producir  $\text{SO}_2$  que absorbe el licor amarillo y transforma en  $\text{Na}_2\text{SO}_3$ .

### CONCLUSIONES

El proceso de craqueo en líquido es adecuado para la paja de arroz, otros tipos de paja con contenido de materia de fibra vegetal y es apropiado para las pastas Na OH, Na OH - AQ y Na OH -  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  -  $\text{Na}_2\text{S}$ . La materia orgánica y el silicio del licor negro pueden separarse y extraerse. Permite regenerar y re-utilizar los reactivos del licor negro y el agua ciclicamente. Se elimina la contaminación ambiental resultante del licor negro. El craqueo en húmedo es un proceso más simple, que requiere menor inversión, y todo el proceso es de fácil manejo y control. Más aún, permite la recuperación de muchos tipos de sub-productos, tiene importantes efectos sociales y ciertos beneficios económicos. El proceso es apropiado para fábricas de pasta de cualquier tamaño, pero especialmente para plantas pequeñas, y es un método promisorio para el tratamiento del licor negro de la pulpa de la paja.

### REFERENCIAS

1. Tientsin Light Industry Institute *Paper and Pulp Bulletin* 1980, 6, p.82
2. Tientsin Light Industry Institute *Paper and Pulp Bulletin* Vol III, 1978, 10, pp.1 al 4
3. Tientsin Light Industry Institute *Paper and Pulp Bulletin* Vol III, 1978, 10, pp 5 y 6
4. Watkins, J.J. *Southern Pulp and Paper Manufacture* 1978, 41, No. 4, pp. 20 al 25
5. Watkins, J. J. *Southern Pulp and Paper Manufacture* 1987, 41, No.5, pp. 20 al 24
6. Robert L. Myers and Roy L. Miller *Forum on Kraft Recovery Alternatives*, 1976, pp. 74 al 102
7. U.S. Pat. 3762989
9. U.S. Pat. 4208245

## **AGLOMERANTE PARA ALBANILERIA EN BASE A CENIZA DE CASCARA DE ARROZ (RHAM)**

Dr. S.C. Ahluwalia y Dr. (Smt) S. Luxmi  
Instituto de Investigación del Cemento de la India (CRI), Nueva Dehli

### **INTRODUCCION**

La tecnología para la fabricación del aglomerante para albañilería en base a ceniza de cáscara de arroz (RAHM) desarrollada por el Instituto de Investigación del Cemento de India (CRI) está basado en el uso de grandes cantidades de residuos del descascamiento del arroz en los campos de cultivo o en los molinos, para producir un material aglomerante de origen rural. El aglomerante RHAM es básicamente una mezcla de cal y puzolana que se caracteriza por que la puzolana, en este caso la ceniza de la cáscara del arroz, es mucho más activa que la mayoría de las otras puzolanas conocidas, y en consecuencia el aglomerante RHAM representa una buena opción al cemento portland ordinario en trabajos de albañilería. El aglomerante RHAM satisface los requisitos de la mayoría de los morteros utilizados en la construcción (a excepción del hormigón armado), especialmente en las zonas rurales y más aún en las zonas semi-urbanas, solucionando los problemas que ocasiona la escasez del cemento portland. Este capítulo estudia las características esenciales para la utilización de la cáscara del arroz en la fabricación de aglomerantes, incluyendo varias tecnologías aplicadas en la India y en el exterior, y su influencia en el grado de activación de la ceniza producida; el enfoque científico del CRI para desarrollar tecnologías apropiadas para producir cenizas muy activas y fáciles de moler para la fabricación de aglomerantes; y el lugar especial que ocupa la ceniza de cáscara de arroz entre otras puzolanas artificiales, tanto por su alto grado de activación como por el uso de un residuo agro-industrial, a saber la cáscara del arroz, que de lo contrario representa un problema ecológico.

#### **La cáscara del arroz como potencial fuente de puzolanas**

La cáscara del arroz contiene hasta un 30 por ciento de materia inorgánica, con un alto porcentaje de sílice. La tecnología de los aglomerantes basados en RHA utiliza este sílice, que se encuentra especialmente en estado amorfo en la cáscara de arroz. La incineración de la cáscara la convierte en ceniza (RHA) con diversos grados de propiedades puzolánicas según las condiciones de su producción. En consecuencia, se han llevado a cabo diversas investigaciones para llegar a producir cenizas muy activas a fin de utilizar y explotar esta activación puzolánica en la fabricación de material aglomerante. Las conversaciones para iniciar actividades de investigación y desarrollo comenzaron en reuniones internacionales tales como la Conferencia Internacional para el uso de los sub-productos del arroz, donde casi todos los países productores de arroz demostraron un alto interés, inclusive ONUDI, que organizó posteriormente talleres de trabajo sobre el uso industrial de los residuos del agro para la producción de cemento celebrados en Peshawar (1979) y Alor Setar (1979).

Dentro de este contexto se consideraron los materiales aglomerantes basados en ceniza de cáscara de arroz y el desarrollo de las tecnologías pertinentes sumamente importantes y de aplicación directa en un país como la India, uno de los mayores productores de arroz del mundo, que según estimaciones asciende a la cuarta parte de la producción mundial. La naturaleza renovable de esta fuente de energía y material aglomerante destaca la importancia de esta tecnología.



### Desarrollos Tecnológicos

La tecnología desarrollada en el exterior, especialmente en los Estados Unidos de América es sumamente sofisticada; consiste en una planta integral para la incineración de las cáscaras y la producción de ceniza para permitir la fabricación de un cemento especial de alto costo y recupera simultáneamente la energía térmica para otros propósitos utilitarios. Sin embargo, se requiere una alta inversión para este tipo de planta y por lo tanto es inadecuado para las condiciones dadas en la India.

Previamente, las actividades desarrolladas en la India estaban orientadas hacia la producción de aglomerantes basados en la cal y el clinker, utilizando la activación puzolánica de la ceniza de cáscara del arroz. A este respecto, se utilizaron las siguientes tecnologías.

- i) molienda de una mezcla de ceniza de cáscara de arroz de calderos y cal.
- ii) calcinado de una mezcla de arcilla - cáscara de arroz - cal y molienda fina del producto calcinado.

Los ensayos de reactivación puzolánica en la ceniza de la cáscara de arroz demostraron un bajo grado de activación y la necesidad de una molienda muy fina para aumentar la reactivación en la tecnología señalada en el inciso i) para la producción del aglomerante. Obviamente, se requiere una gran cantidad de energía para la molienda, y los costos de la tecnología en el inciso ii) son menores que en el caso anterior, pero asimismo es menor la activación y la fuerza del aglomerante producido.

### Trabajos de Investigación y Desarrollo en el CRI

En consecuencia, el CRI orientó las actividades de investigación y desarrollo para el uso de la cáscara del arroz en la fabricación de aglomerantes hacia los siguientes objetivos:

- i) Perfeccionar las condiciones de incineración del arroz para producir ceniza altamente activa, en lugar de utilizar la ceniza como sub-producto de calderos donde se utiliza la cáscara como combustible.
- ii) Estudiar las variaciones en la composición de la ceniza y de la reactividad obtenida por medio de la incineración de diferentes cepas de arroz, cultivado en base a diferentes prácticas agrícolas.
- iii) Diseñar y desarrollar un incinerador económico para la producción de ceniza altamente activa.
- iv) Evaluar comparativamente la reactividad y la molienda de la ceniza obtenida por la quema de cáscara de arroz en calderos *vis-à-vis* con la ceniza incinerada en laboratorios.
- v) Formular un aglomerante basado en el RHA.

Los aspectos más destacables de las actividades de investigación y desarrollo, son a saber:

- i) Según las investigaciones realizadas en el CRI con ceniza de cáscara de arroz resultante de una incineración controlada y no controlada, se determinó que la reactividad de la ceniza es una función del estado y de la forma del sílice existente. Los experimentos establecieron que si bien la ceniza producida mediante una incineración no controlada, como por ejemplo a cielo abierto o en calderos contiene principalmente crisolobalita y cuarzo, la ceniza que se obtiene en condiciones de incineración controladas, determinadas por el CRI, contiene mayor cantidad

de sílice en estado amorfo, que explica las diferencias en sus relativas activaciones. Estas observaciones fueron confirmadas por ensayos de reactividad de la cal y grados puzolánicos: mientras que la RHA que se obtiene por medio de la incineración controlada es altamente puzolánica, con una reactividad de la cal de  $\pm 90 \text{ kg/cm}^2$ ; la ceniza que se obtiene en condiciones no controladas no es puzolánica y produce una reactividad en la cal de  $\pm 20 \text{ kg/cm}^2$ . Asimismo los estudios de multuración o molienda indican que la molienda de la ceniza de la cáscara de arroz es una función del tratamiento térmico dado a la cáscara. La incineración sin control produce ceniza dura de moler, mientras que la ceniza producida por incineración controlada es fácilmente molida. La relación del consumo de la energía para moler la ceniza de calderas y de incineración controlada a un determinado grado de tamaño de las partículas es de aproximadamente 3:1.

- (ii) Perfeccionar varios parámetros, tales como la temperatura, el tiempo y la aeración durante la incineración de la cáscara del arroz, y el método para enfriar la ceniza para la producción de ceniza altamente activa.
- (iii) Diseñar dos tipos de incineradores y normalizar los parámetros operacionales para la producción de 0.5 toneladas de ceniza activa por día.
- (iv) Elaborar aglomerantes en base al clinker, la cal y la ceniza activa obtenida de incineradores con características típicas de rendimientos.

#### **Agglomerante para la albañilería en base a ceniza de cáscara de arroz — RHAM.**

El aglomerante RHAM es esencialmente un aglomerante de cal puzolana.

Mezclas de cal - puzolana producidas en fábricas, según las normas de la Oficina de Normas de la India (IS) 4098 de 1967, fueron clasificadas y recomendadas para los siguientes usos:

<i>Tipo</i>	<i>Aplicaciones</i>
LP 40	Morteros y enlucidos de albañilería de grado 0-50 $\text{kg/cm}^2$ y fundaciones de hormigón
LP 20	Morteros y enlucidos de albañilería de grado 15-30 $\text{kg/cm}^2$ y fundaciones de hormigón
LP 7	Morteros y enlucidos de albañilería de grado 7-15 $\text{kg/cm}^2$

Las características de uso del aglomerante RHAM producidos con la tecnología CRI son superiores a las mezclas de cal y puzolana de grado LP 40 y por lo tanto pueden ser utilizadas en la mayoría de las actividades constructivas (a excepción del hormigón armado) con el beneficio de mejores características de trabajo, mejor resistencia de trabajo y mejor capacidad portante.





## AGLOMERANTE CEMENTOSO EN BASE A SEDIMENTOS DE CAL RESIDUAL Y CASCARA DE ARROZ

Preparado por el Instituto Central de Investigación de la Construcción, Roorkee (U.P), India

### INTRODUCCION

Se desarrolló un nuevo aglomerante hidráulico, con propiedades similares al cemento portland en base a la cáscara de arroz y sedimentos de cal residual provenientes de las industrias del azúcar, el papel, el acetileno, etc. En ciertas actividades de la construcción el aglomerante puede utilizarse para reemplazar al cemento ordinario. La producción del aglomerante es bastante sencilla y fácil de desarrollar en industrias pequeñas. El aglomerante que se obtiene es económico y puede ser producido en las zonas rurales por los mismos campesinos, dado que no requiere mano de obra calificada para su fabricación. Este capítulo describe brevemente la preparación, las propiedades y las aplicaciones más importantes del aglomerante.

### Método de Preparación

- (a) *Materiales*: los dos materiales básicos para el proceso son la cáscara de arroz y el sedimento de cal residual. La cáscara de arroz debe ser muy fina o estar triturada. Es posible utilizar directamente la cáscara remanente del proceso de descascarado en los arrozales, sin embargo, es necesario pasar previamente por una máquina de moler la cáscara entera de los molinos de arroz antes de poder utilizarse en el proceso. El otro ingrediente, el sedimento de cal debe estar seco y pulverizado.

Se mezcla en seco aproximadamente el mismo peso del sedimento de cal residual disponible en la zona con la cáscara de arroz. A la mezcla seca se le agrega la cantidad necesaria de agua para formar manualmente bolas o tortas (similares a las del estiércol animal). Estas bolas se dejan secar al aire libre antes de ser quemadas. Es necesario destacar que estas bolas son suficientemente consistentes y no se desintegran durante el proceso de manipuleo o del quemado.

- (b) *Quemado*: Las tortas o bolas secas se queman posteriormente al aire libre en un "jalli" (reja o parrilla) sobre una base o en una zanja. La base se hace con dos paredes laterales de ladrillo y el "jalli" consiste en barras de hierro colocadas en paralelo, a una distancia menor que el diámetro mínimo de las tortas o bolas y a una altura de 10 a 20 cm, del suelo.

Para la zanja se colocan los ladrillos en forma similar a los hornos tipo cuneta, dejando pequeñas aberturas de 5 a 10 mm. entre los ladrillos para la circulación de aire que facilite la quema del material. La altura de las paredes de la zanja desde la base debe ser de aproximadamente 75 cm. y el ancho máximo de aprox. 100 cm. La longitud de la zanja o de la base para la reja depende de la cantidad de material a quemar. Una vez iniciado la quema del material en un extremo, el fuego se propaga fácilmente permitiéndolo un proceso de quemado continuo. La cáscara de arroz no solo actúa como un combustible integral sino que también proporciona el sílice in situ para la cal producida durante el proceso de quemado.

- (c) *Molido*: El material que se obtiene es un polvo suave. La reactividad, como en otros aglomerantes hidráulicos, aumenta cuanto más pequeñas son las partículas. Por lo tanto, la

molienda se realiza en un molino de bola para lograr el pequeño tamaño deseado de las partículas. Se ha comprobado que el mismo esfuerzo de molienda necesario para producir un grado de fineza de 3000  $\text{cm}^2/\text{gm}$  de clinker de cemento portland en 6 horas, es suficiente para moler este material en un período de media a una hora a un grado de fineza de 8000  $\text{cm}^2/\text{gm}$ .

### Propiedades

- (i) *Composición química:* Se obtiene un aglomerante basado esencialmente en la cal y el sílice, con características inherentes a los compuestos de cal. Más adelante se proporcionan datos sobre otras propiedades más importantes de un aglomerante producido por los residuos del prensado del azúcar. La composición química básica del aglomerante está determinada por la composición de la cal de la cual deriva el sedimento de cal. Al producto simplemente se le agrega el sílice, junto con un 3 a un 4 por ciento de carbón sin quemar. Cualquier sedimento calcáreo que contenga por lo menos un 45 por ciento de óxidos de calcio al ser encendido, es adecuado para la fabricación del aglomerante. Sin embargo, el contenido de anhídrido sulfúrico no debe ser mayor que el permitido para los cementos hidráulicos, es decir 2.75 por ciento. Los sedimentos de cal de las plantas de recuperación de soda caústica de las industrias del papel no deben tener más que un 0.50 por ciento de álcali libre.
- (ii) *Densidad volumétrica:* La densidad seca por volúmen del material obtenido del quemado es de cerca de 360  $\text{kg}/\text{m}^3$ , que aumenta a 700  $\text{kg}/\text{m}^3$  luego de ser molida.
- (iii) *Tiempo de fraguado:* Los tiempos de fraguados determinados por el equipo Vicats, de acuerdo a las normas indias IS: 269 de 1958 "especificaciones para cementos portland ordinario, de rápido fraguado y de baja calor" son los siguientes:

Tiempo inicial de fraguado: 60 a 90 minutos (aprox.)

Tiempo final de fraguado: 480 a 600 minutos (aprox.)

- (iv) *Retención de agua:* Los siguientes datos fueron obtenidos durante los ensayos del aglomerante para determinar sus propiedades de retención de agua de acuerdo con las normas de la India IS 2250 de 1965 "norma para la preparación y uso de morteros para albañilería", para el porcentaje de absorción del caudal original en varias mezclas del aglomerante - arena.

Aglomerante	: Arena	% caudal
1	: 1.5	71
1	: 2	65
1	: 3	60

- (v) *Resistencia a la compresión:* Se ensayaron los valores de resistencia del aglomerante a la ruptura, de acuerdo con las normas de la India IS: 712 de 1973 "especificaciones para cales de construcción", utilizando una parte de aglomerante, tres partes de arena común. Los resultados de las mezclas en base a los diferentes tipos de sedimentos fueron los siguientes:

Período de curado	Resistencia a la compresión $\text{Kg}/\text{cm}^2$		
	Sedimento de azúcar	Sedimento de carburo	Sedimento de de papel
7 días	31.5	23.8	18.0
14 días	40.6	27.5	23.2
28 días	50.0	35.5	28.9

Todos los sedimentos han cumplido con los requisitos de resistencia a la compresión estipulados para las cales de la Clase A (principalmente cal hidráulica) de 17.5 kg/cm<sup>2</sup> y de 28.0 kg.cm<sup>2</sup> para 14 y 28 días respectivamente.

El aglomerante también satisface los valores de la resistencia a la compresión en ensayos según de acuerdo a la norma IS 4098 de 1967 "especificaciones para mezclas de cal - puzolana". Los resultados obtenidos son a saber:

Período de curado	Resistencia a la compresión (I.S.4098) (kg.cm <sup>2</sup> )		
	Aglomerante : Arena	LP - 20	LP - 7
7 días	11.00	10	3
28 días	23.50	20	7

- (vi) *Firmeza*: La firmeza del aglomerante, de acuerdo a la norma IS: 4031 de 1968, "métodos de ensayos físicos del cemento hidráulico" es la siguiente:

La medida de la expansión utilizando moldes Le-Chateliers fue de 1.5 mm en relación con el límite máximo especificado de 10mm.

### Aplicaciones típicas

- (a) *morteros y enlucidos para albañilería*: Los valores de resistencia, retención de agua y fraguado rápido del aglomerado indican la conveniencia de su aplicación en morteros y enlucidos de albañilería. Siendo una mezcla reactiva de cal y sílice, presenta algunas de las ventajas de los morteros de cal con respecto a los morteros de cemento portland en cuanto a mayor plasticidad, mayor cohesión y menor aspereza. Dado que se trata de un aglomerante de rápido fraguado, éstos morteros son muy adecuados para enlucidos, y pueden absorber tensiones y contracciones por variación de temperatura en la albañilería en forma mucho más uniforme. Para éstas aplicaciones se recomienda una mezcla en volumen de aglomerante: arena de 1:2.
- (b) *hormigón*: Concreto u hormigón común, con una mezcla de aglomerante, arena y agregado grueso puede obtenerse en forma similar al cemento portland. El hormigón producido fragua dentro de las 24 horas de haber sido moldeado. La resistencia a la compresión de bloques de hormigón de 29 x 19 x 9 cm. de tamaño de diferentes mezclas preparadas con éste aglomerante es la siguiente:

Mezcla aglomerante: arena:agreg. grueso	Resis.compre.Kg/cm <sup>2</sup> 28 días		Contra- cción de secado	Movi- miento por humedad
	Factor comp=1	Factor com=0.75		
1 : 1 : 2	85	102	0.02	0.01
1 : 1.5: 3	50	70	0.02	0.01
1 : 2 : 4	19	31	—	—

Estos son los valores dados para el diseño de mezclas para aplicaciones típicas en hormigón sin armar, tales como en cimentaciones y pisos, bloques de concreto huecos o sólidos, con pequeña capacidad portante, etc.



- c) Ladrillos prensados: El aglomerante es sumamente adecuado para producir ladrillos y bloques con arena por presión, utilizando una mezcla semi-seca. Los resultados de la resistencia a la compresión de modelos de ensayo de 10 x 5 x 2 cm. (briquetes) de aglomerante con arena graduada en una relación de 20:80 son las siguientes:

Los briquetes se moldearon en base a dos tipos de presión de moldeado, 150 kg/cm<sup>2</sup> y 300 kg/cm<sup>2</sup>.

Presión de moldeo Kg./cm <sup>2</sup>	Curado al agua 28 días	Resistencia a la compresión Kg.cm <sup>2</sup>	
		Curado al vapor por 3 días	en autoclave a 10 kg/cm <sup>2</sup> por 6 horas
150	127.8	144.0	204.0
300	214.0	243.7	328.5

Se estima que los ladrillos de tamaño normal tendrán una resistencia a la compresión de un 65 a un 75 por ciento de éstos valores. Considerando la resistencia especificada en la norma IS 4139 de 1967 de 150 Kg/cm<sup>2</sup> por ladrillo de arena y cal, es evidente entonces que se pueden elaborar ladrillos adecuados.

- d) Ladrillos de tierra estabilizada: Al igual que el cemento portland y la cal, el aglomerante puede utilizarse para estabilizar la tierra. Se ensayaron ladrillos de tamaño normal elaborados con dos suelos ílticos y con prensas manuales para fabricar ladrillos para determinar distintas proporciones de aglomerantes:

Suelo	Aglomerante % por peso	Densidad en seco g/cc	Resis. a la compre- sión (28 días) kg/cm <sup>2</sup>	Absorción % de agua,
A	10	1.82	26.2	12.9
	15	1.80	37.5	13.0
B	10	1.87	29.0	12.2
	15	1.84	40.3	12.8

De los costos obtenidos puede apreciarse que los ladrillos elaborados con ambos tipos de suelos, incluyendo el suelo del tipo B (muy arenoso e inapropiado para hacer ladrillos quemados) con un 10% de aglomerante en peso, satisfacen los valores de la resistencia a la compresión (187 kg/cm<sup>2</sup>) dados por la norma IS: 1725 de 1960, "especificaciones para bloques de tierra estabilizada usados en construcciones de edificios".

### Características novedosas del aglomerante

1. El aglomerante fue preparado integralmente en base a productos residuales que producen cal y sílice durante el proceso de quemado. Existen grandes cantidades de éstos productos en los residuos industriales y agrícolas.
2. Dado que uno de los principales componentes del aglomerante es la cal, posee las cualidades de las mezclas de cal tales como mejores propiedades para retener el agua, y practicabilidad,

- etc. complementadas con propiedades de fraguado rápido difíciles de lograr en mezclas comunes de cal - puzolana.
3. El aglomerante puede ser utilizado para hacer hormigón común y hormigón para contrapisos, en lugar de morteros y enlucidos para albañilería de cal y cemento, para la estabilización de suelos, para bloques de hormigón portantes, para ladrillos prensados y estabilizados, etc.
  4. El aglomerante es potencialmente un material adecuado para viviendas de bajo costo. Dado su método de fabricación, que no requiere equipo ni mano de obra especializado, puede ser fabricado y usado como un sustituto parcial del cemento en obras pequeña y en base a la modalidad de la autoconstrucción.

### Ensayos de materiales

Los resultados dados bajo “propiedades” y “aplicaciones” son típicos en un modelo de barro prensado. Los resultados pueden variar según los diferentes tipos de residuos de cal. En dichos casos se considera necesario verificar la muestra para determinar la conveniencia de su uso en la fabricación de aglomerantes hidráulicos así como para determinar las mezclas más adecuadas para obtener mejores resultados. El Instituto Central de Investigación de la Construcción, en Roorkee, India, dispuso la realización de las investigaciones necesarias a estos efectos.



## DESARROLLO Y APLICACIONES DEL BIOGAS EN PAISES ASIATICOS

W. Tentscher  
División de Tecnología Energética  
Instituto Asiático de Tecnología  
Bangkok, Tailandia

### INTRODUCCION

No debe confundirse el biogas con otros gases combustibles producidos de la biomasa, tales como el gas de coque o el gas de la madera. El biogas se genera por acción bacteriana en condiciones anaeróbicas a temperatura ambiente. Está formado por cerca de un 99% de metano ( $\text{CH}_4$ ) y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), en proporciones promedios de 65% de  $\text{CH}_4$  y 34% de  $\text{CO}_2$ . El metano es el componente combustible que lo habilita para la cocción, la iluminación y el funcionamiento de motores. En su composición corriente, el biogas es ligeramente más pesado que el aire. Tanto el metano como el dióxido de carbono son gases inodoros que contienen otros componentes menores tales como el sulfuro de hidrógeno, mercaptanos o ácidos volátiles que facilitan la detección de filtraciones. Mezclado con el aire, en una proporción de entre 5 y 15 %, el biogas puede explotar. La mayor parte del biogas se produce por estiércol animal, y en menor proporción por residuos agrícolas tales como la paja de arroz y los tallos del maíz o plantas frescas como ser el jacinto de agua. Más del 90% de todas las plantas de biogas funcionan a escala familiar, y el resto a escala de granja o industrial. Este documento describe experiencias a escala familiar, especialmente en cuatro países de la región asiática, China, India, Nepal y Tailandia.

Estos países han apoyado a nivel gubernamental diversos grados de investigación sobre tecnologías del biogas (TBG). La primera prioridad es proteger los recursos naturales. Dado que el consumo de leña es mucho mayor que la producción natural, los bosques se destruyen rápidamente. Por otro lado se procura reducir la contaminación ambiental de los establecimientos para la cría de aves de corral, ganado porcino y vacuno, etc.

La TBG se encuentra en la etapa de divulgación. La investigación se realiza paralelamente en varios niveles, por ejemplo, para mejorar la construcción; diseño y normas; nuevos materiales de construcción; usos del biogas; usos del efluente y pastas aguadas como fertilizantes y medios para calefaccionar en climas fríos. Resultan de igual importancia las investigaciones en el campo, las actividades de seguimiento y la evaluación de los resultados. Por otro lado son también de carácter prioritario los aspectos relacionados con la aceptabilidad, duración (digestores en operación e inoperantes), mantenimiento y funcionamiento, tamaño de digestores, tenencia de la tierra, ahorro en tiempo de cocción y en la recolección de leña, capacitación y mano de obra necesaria, subsidios, etc. Los resultados de la investigación y el desarrollo facilitan la retro-información para los programas de divulgación. La infraestructura y los programas de investigación y desarrollo están muy desarrollados en China e India.

La TBG no es una tecnología casera, y requiere cierto grado de organización y coordinación. El siguiente capítulo estudia éstos aspectos.

#### Requisitos administrativos

En la China y en la India el apoyo gubernamental para la organización y coordinación abarca hasta el nivel de aldeas. Es imprescindible contar con el apoyo oficial, dado que el desarrollo del biogas es una tarea a largo plazo. La elaboración de políticas, programas, planes y su ejecución deben estar



a cargo de organismos especiales. Los recursos y los materiales para la construcción, especialmente el cemento deben ser distribuidos en forma organizada. Los proyectos de investigación y desarrollo deben estar organizados y coordinados, y la información sobre nuevas tecnologías recopilada y difundida. Es necesario organizar e instrumentar la capacitación de los técnicos y capacitadores. Si uno de éstos componentes falta o no está suficientemente desarrollado (falta de personal o de motivación) todo el programa puede fracasar.

En China, India y Nepal las actividades con biogas se concentran en las provincias y en los estados con mayor potencial para obtener materia prima y buenas condiciones climáticas. Dichas prioridades se establecieron en las etapas iniciales de los programas nacionales de biogas. En muchos casos se coordinan con programas para mejorar el funcionamiento de las cocinillas, reforestación o electrificación rural. En China existen programas en 16 de las 21 provincias, especialmente en la provincia de Sichuan. En India se seleccionaron 19 de los 21 estados, y el programa más importante se encuentra en el estado de Maharashtra. En Nepal es en el Terai (cinturón de llanuras). En Tailandia las actividades se concentraron en tres de las cinco regiones (central, nor-este y sur), sin prioridad por ninguna.

India orientó las actividades hacia un enfoque de "múltiples modelos y múltiples instituciones". Es decir, participan organismos privados, gubernamentales y paraestatales en la construcción de dos tipos de digestores: Janata de cúpula fija y KVIC con cilindro flotante. En China la participación está prácticamente limitada a los organismos oficiales. En Nepal, un organismo está construyendo un tipo de digestor estandarizado. En Tailandia diferentes organismo construyen diferentes diseños, sin una coordinación general. En consecuencia los resultados de la divulgación de los sistemas es diferente en cada uno de los países. Los cuadros siguientes muestran una visión general de las instalaciones actuales, potencial de generación de biogas y sus aplicaciones, así como también la forma en que los cuatro países encaran la divulgación de las tecnologías del biogas.

Cuadro 1 - Digestores de tamaño familiar

País	Plantas de biogas (No)	Tamaño (m <sup>3</sup> )	Familias rurales participantes (%)	Construcción actual (No./año)
China	5.000.000	6-10	2.5	500.000
India	650.000	6-20 ø:18	0.6	190.000
Nepal	2.100	15-20	0.07	300-400
Tailandia	3.000	4-10	0.04	100-200

El número de digestores instalados en China y la construcción anual son cifras promediales emitidas por diferentes fuentes.

La evaluación del potencial del biogas es problemática por que las estadísticas sobre población rural, ingresos y egresos, población ganadera y el número de cabezas por establecimiento, la disponibilidad de estiércol, los patrones de consumo de energía, el uso de fertilizantes, etc. son incompletas, no están actualizadas o no existen. En base a los datos disponibles (1-13), el potencial puede resumirse según el siguiente cuadro.

En India, Nepal y Tailandia, el potencial total para digestores de tamaño familiar está limitado por la disponibilidad de estiércol o por el poder de adquisición o por ambos. Solamente entre un 15 y un 25% de los agricultores están en condiciones de adquirir un digestor. La situación en China

es diferente, casi todos los agricultores en zonas de clima favorable pueden construir una planta de biogas, por ejemplo el 100% en la provincia de Sichuan.

En India y Nepal los agricultores están culturalmente familiarizados con el estiércol vacuno, pero no tienen experiencia práctica con la digestión de residuos agrícolas. El uso de los excrementos nocturnos es tabú, y en consecuencia solo se utiliza el estiércol a nivel familiar. Los agricultores tailandeses no están demasiado familiarizados culturalmente con el estiércol, y también es tabú el uso de excrementos nocturnos. La población China no conoce éste tipo de limitaciones.

El potencial para reemplazar las fuentes de energía tradicionales es más alto en China, que puede llegar hasta un 80%, mientras que el potencial en otros países solo alcanza a un 10%.

Cuadro 2 : Potencial de la tecnología del biogas

País	Material Nutriente	Número de digestores (x10 <sup>6</sup> )	Familias rurales (%)	Biogas 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /a	Sustitución de leña, etc. (%)
China	tallos de paja, estiércol	206	80	62.000	80
India )	estiércol de ganado	10	20	14.600	10
Nepal )		0.37	1	360	10
Tailandia	estiércol de ganado y cerdo	0.80	25	890	10

Fuente (33)

El cuadro 3 presenta un panorama general del apoyo gubernamental y la asistencia financiera (33). Los resultados satisfactorios alcanzados en China e India y el alto número de instalaciones están basados en el apoyo y los programas estatales que cuentan con la infraestructura necesaria para abarcar a toda la población hasta el nivel de las aldeas.

Cuadro 3: Apoyo gubernamental y asistencia financiera

País	Aspectos
China	Capacitación, construcción y extensión, investigación en varios campos, administración, préstamos a agricultores pobres, subsidios para digestores comunales.
India	Capacitación, construcción y extensión, investigación en varios ámbitos, administración, préstamos a todos los agricultores, subsidios a todos los agricultores y subsidios para la instalación de plantas de biogas en comunidades e instituciones.
Nepal	Préstamos a todos los agricultores, se aprobó un subsidio para digestores (25%) aunque no se aplicó aún.
Tailandia	Capacitación, subsidio para algunas plantas demostrativas.

Fuente (33)



Se difunde información sobre capacitación, créditos para la construcción e ingresos por la construcción de plantas de biogas a fin de evaluar estrechamente la situación (33). Uno de los aspectos claves para el buen funcionamiento y duración de las plantas de biogas es la capacitación de albañiles. Se hace notar que los digestores de cúpula fija deben construirse por albañiles expertos y no por agricultores. La situación se repite en todos los países excluyendo a Tailandia (cuadro 4). La capacitación de albañiles y posteriormente de los agricultores está bien organizada en la China y en la India. En Nepal se inició recientemente la capacitación de albañiles independientes y que no trabajan para la Compañía de Biogas.

Cuadro 4: Capacitación de albañiles en la construcción de digestores cúpula fija

País	Capacitando	Duración (días)
China	Técnico en biogas	60
	Técnico campesino en biogas	30
India	Albañil (maestro)	16 a 20
	Curso de repaso, albañil	10 a 15
Nepal	Albañil	45
Tailandia	Agricultores	7 a 14

Fuente (33)

Tres países cuentan con programas crediticios no así Tailandia, donde los campesinos deben financiar la construcción de los digestores. La compañía de Biogas en Nepal otorga créditos a mayores plazos (7 años). Véase el cuadro 5.

Cuadro 5: Créditos para la construcción de digestores

País	Crédito	
	Años	Costo adicional
China	5	no
India	2	no
Nepal	7	Rs.118/m <sup>3</sup> cúpula fija Rs. 286/m <sup>3</sup> cilindro flotante
Tailandia	—	—

Fuente (33)

El costo de la construcción de digestores por volumen es menor en China, \$15/m<sup>3</sup> dólares EE.UU., mientras que en los tres países restantes varía entre \$ 55/m<sup>3</sup> y \$ 85 /m<sup>3</sup>. Es probable que el bajo costo de construcción en China se deba a los ingresos menores de la población y que los costos están calculados en dólares americanos.

El salario de los albañiles es promedio en todos los países. Asimismo las personas que organizan la construcción, adquisición, divulgación y servicios posteriores están bien remuneradas. La Compañía de Biogas en Nepal tiene un costo por servicios indirectos. El promedio es de 360 digestores anuales. El cuadro 7a ilustra los ingresos percibidos por la construcción de digestores.

Cuadro 6: Costos de construcción de plantas de biogas de tamaño familiar

País	Tamaño(m <sup>3</sup> )	Tipo	Costo (US\$/m <sup>3</sup> )
China	6	Cúpula fija	15
India	6	KVIC	8
Nepal	34	Cilindro flotante	80
	10	Cúpula fija	75
Tailandia	4.5	Cúpula fija	55

Fuente (33)

Cuadro 7a: Ingresos por la construcción de digestores

País	Cargos	Receptor	Volúmen del Digestor(m <sup>3</sup> )
China	Yuan 40(\$11)	Técnico en biogas	6 a 10
India	Rs.800(\$67)	Operario (llave en mano)	Suma total
Nepal	Rs.1800(\$86.7)	Compañía Biogas	# 18 m <sup>3</sup>
Tailandia	Bht.4300(\$167)	Albañil	#10 m <sup>3</sup>

Fuente 33

Los campesinos pagan los "costos de mano de obra". En la India, el gobierno subsidia un 37% de los costos de cada digestor. En conclusión, los ingresos derivados de la construcción de digestores, en especial en la India, y en particular del tipo de cilindro flotante, incentivan a los operarios tipo "llave en mano" en la adquisición de materiales y la construcción de los mismos, si bien la ampliación y las tareas de seguimiento deben considerarse factores de costo. En Nepal el incentivo sería similar si se permitiese a los albañiles cobrar individualmente por los conceptos antes mencionados. El ingreso de los albañiles en China (así como los gastos del campesino) son nuevamente los menores.

El gobierno chino se interesa por que los campesinos obtengan altos beneficios directos. El plazo de amortización es de 4 años, si se substituye la paja de arroz por biogas y de aproximadamente 9 años si se substituye el carbón. El digestor debe funcionar durante 8 a 10 meses por año. Los beneficios resultantes de la utilización de residuos en el campo, criadero de peces, cultivos de hongos y cría de lombrices permite reducir aún más los períodos de amortización. Se estima que los beneficios indirectos son tres veces mayores que los beneficios directos. En la India, la relación costo-beneficio para los campesinos es baja, y la tendencia a sobre-dimensionar el digestor disminuye está relación aún más. Por otro lado los campesinos pagarían más si se les garantizase la duración del digestor. Para ciertos niveles de ingresos, el símbolo del "estatus" que representa el biogas, parece ser más importante que la relación costo-beneficio.

En Tailandia, el plazo de amortización es de cerca de cinco años si se substituye por el carbón y aún mayor cuando se substituye el gas licuado del petróleo. En caso de reemplazar a la leña, el costo de construcción se subsidia en cerca de un 50%, con el mismo plazo de amortización.



### Construcción de plantas de biogas

La construcción de digestores de cúpula fija aumentó considerablemente desde 1982, y en Nepal desde 1980(18), reemplazando en más del 90% el diseño de cilindros flotantes (KVIC) a excepción de la India (16) donde las instalaciones tipo KVIC llegan al 20 o 30 % del total de plantas. Estos progresos coincidieron con los cursos internacionales de capacitación ofrecidos por primera vez en 1982 por el Centro de Investigación y Capacitación de Biogas en Chengdu, China. En la India, Nepal y Tailandia se desarrollaron diseños locales de los digestores de cúpula fija (19, 24 y 25). Las técnicas de construcción difieren considerablemente de país a país. Se observan diferencias significativas en los criterios de diseño relativos a la forma geométrica de los digestores de cúpula fija, para la producción específica de gas del estiércol; la demanda diaria de biogas, etc.

En lo referente a la geometría del digestor, la ubicación de las cuatro líneas horizontales es de suma importancia, que incluyen: a) el nivel del fondo de la boca de entrada, b) el nivel superior de la mezcla, c) el nivel de la mezcla a presión ambiental, la línea "O" más importante, y d) el nivel inferior de la mezcla.

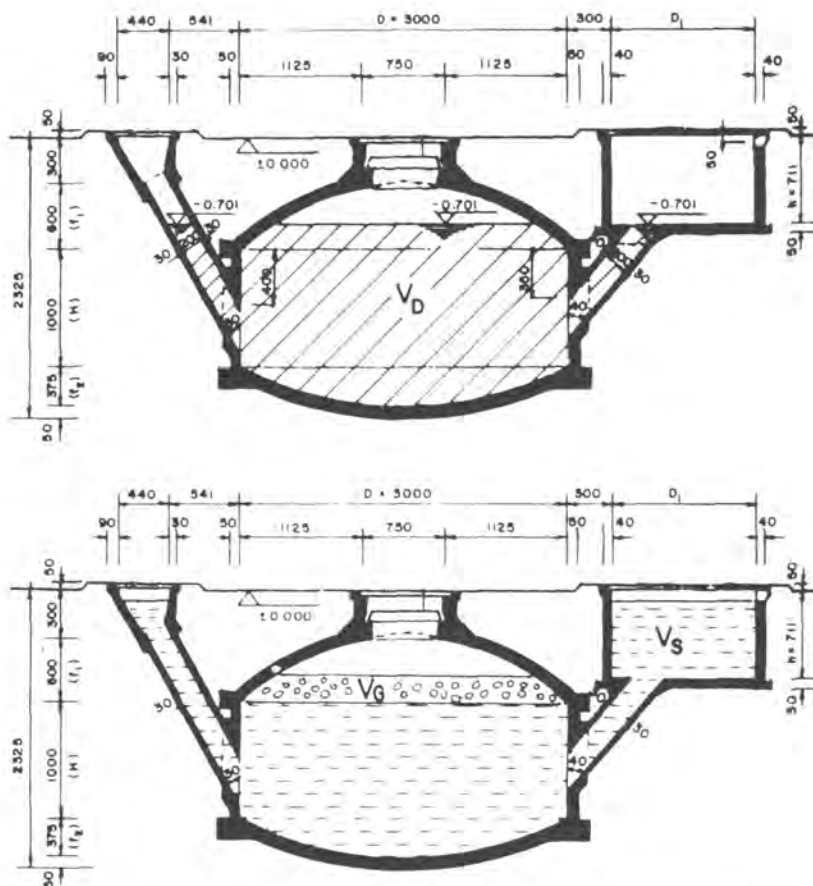
El nivel de la mezcla a presión ambiental y la distancia desde la parte superior de la cúpula determina el nivel de biogas que no se utiliza. El volumen entre los niveles superior e inferior de la mezcla constituye el volumen de gas utilizable. El nivel inferior determina el nivel mínimo de HRT de los substratos a ser digeridos. Los niveles de éstas tres líneas, y en consecuencia los volúmenes de biogas usable e inusable no varían en forma significativa de país a país. En la India, cerca del 33% de la demanda diaria de gas puede almacenarse y consumirse durante uno de los tres períodos comunes de cocción. Se aumenta el HRT a baja digestibilidad y a baja temperatura ambiente. Esto se hace en la India, donde se instalaron digestores de 30, 40 y 55 días HRT para la misma producción de gas.

En China, la construcción de digestores de cúpula fija de tamaño familiar está muy avanzada y se encuentra ya normalizada a escala nacional (14). En Nepal, la construcción también ha sido normalizada, ya que solo una compañía, la Compañía de Biogas opera los digestores (19, 24). En la India, un diseño aprobado por el gobierno (planta Janata) (25) está aún en la etapa de desarrollo y necesita ciertas modificaciones. En Tailandia varias instituciones y firmas desarrollaron sus propios diseños en forma independiente que son recomendados por la Administración Nacional de Energía (NEA).

Evidentemente es necesario mejorar el diseño de los digestores para reducir los costos, minimizar la relación superficie a volumen y mejorar su estabilidad. El Instituto Asiático de Tecnología (AIT) continuará las investigaciones con el apoyo de computadoras para determinar la estabilidad estadística y optimizar el diseño. La siguiente sección describe más explícitamente algunos diseños y técnicas de construcción .

### China

China desarrolló tres diseños tipificados de digestores de cúpula fija aceptados en muchas provincias: a) un tipo cilíndrico, b) un tipo esférico, y c) un tipo elíptico (14). Los diseños del tipo b) y c) fueron desarrollados más recientemente. Existen modificaciones en la ubicación y forma de los recipientes de entrada y salida. Los digestores pueden construirse de ladrillo, hormigón (vertido en sitio) o mediante una combinación de los mismos.



Digestor cilíndrico de cúpula-fija de bloques de hormigón prefabricado

$$V_T = 10 \text{ m}^3$$

$$V_D = 94 \text{ m}^3$$

$$V_G = 12 \text{ m}^3$$

$$V_s = 1.2 \text{ m}^3 \text{ (} 0.25 \text{ m}^3 \text{ gaz/m}^3 \text{ al día)}$$

Fig. 1: Digestor cilíndrico de cúpula fija construido con bloques de hormigón prefabricado. (Véase ref. 14)

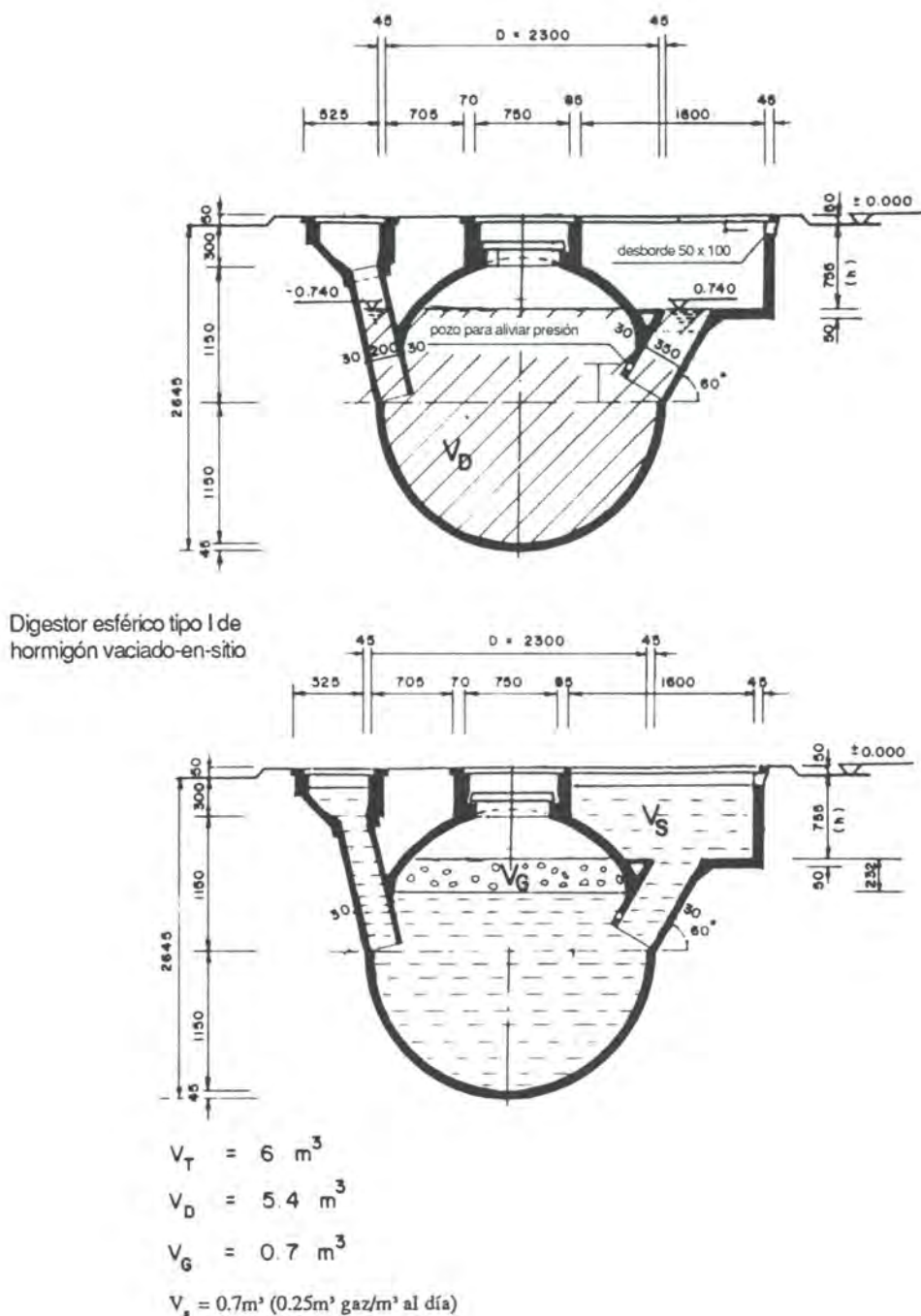
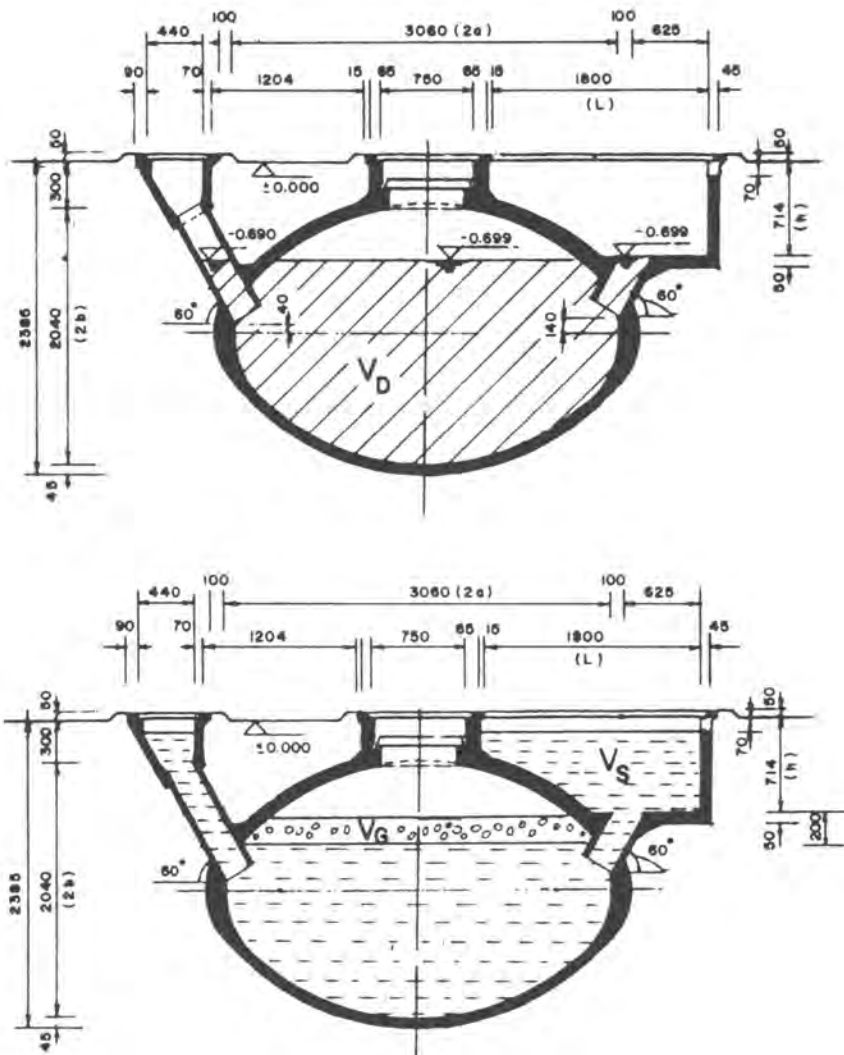


Fig. 2: Digestor esférico tipo I de hormigón vaciado en sitio (adaptado ref. 14)



Digestor de biogas elipsoidal tipo A-I de hormigón vaciado-en-sitio

$$V_T = 10 \text{ m}^3$$

$$V_D = 9.0 \text{ m}^3$$

$$V_G = 1.1 \text{ m}^3$$

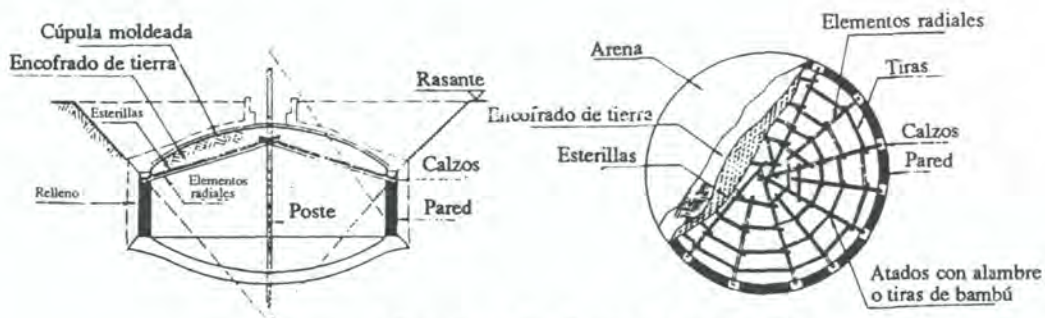
$$V_s = 1.1 \text{ m}^3 (0.25 \text{ m}^3 \text{ gaz/m}^3 \text{ al día})$$

Fig. 3: digestor de biogas elipsoidal tipo A-I de hormigón vaciado en sitio (adaptado ref.14).



Existen diferentes formas para construir el tipo cilíndrico. En la Figura 4 se ilustra la técnica para vaciar la cúpula sobre un encofrado en forma de sombrilla.

Esta última técnica de construcción tiene la ventaja de que no requiere encofrado ni vaciado ya que la parte cilíndrica (es decir la pared) está en contacto directo con la tierra. La excavación debe realizarse muy cuidadosamente para que los muros queden verticales. Los suelos arenosos no son apropiados. En ésta técnica, el cilindro y la cúpula se continúan, sin ninguna junta. Las juntas solo aparecen en el fondo. La técnica tipo sombrilla en cambio, permite vaciar la cúpula sobre mampostería de ladrillo o sobre muros de hormigón, sin embargo tiene una junta que puede producir fisuras o filtraciones de gas.



Encofrado en forma de sombrilla para el vaciado de la cúpula

Fig. 4: Técnica de construcción para el vaciado de la cúpula sobre un encofrado en forma de sombrilla (adaptado ref. 15).

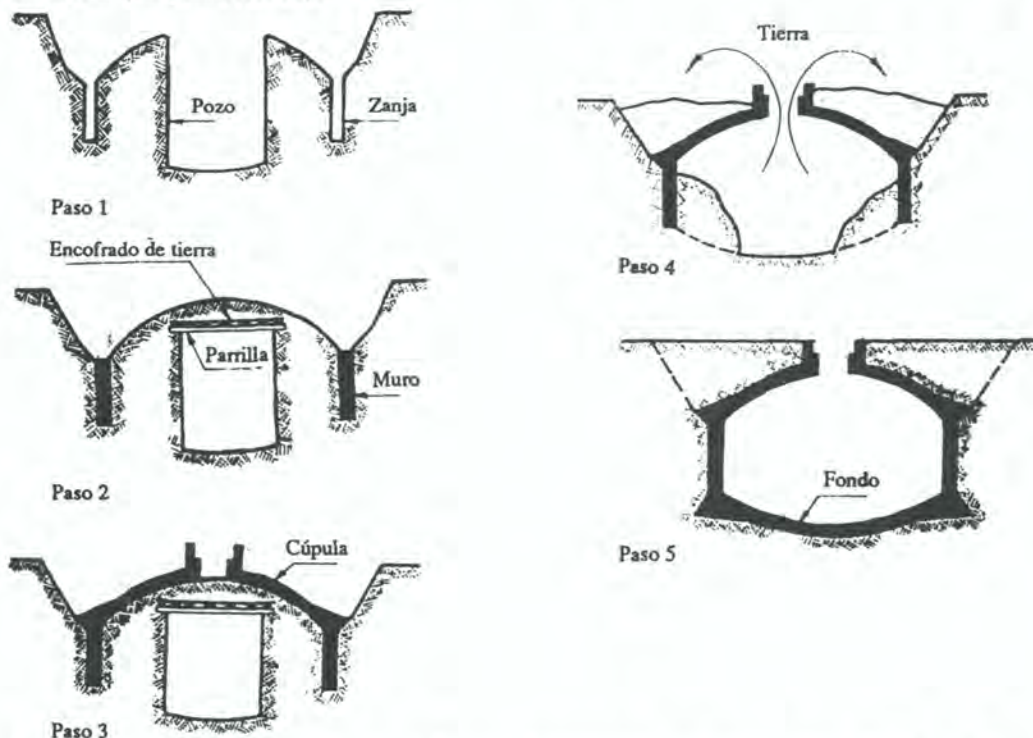


Fig. 5: Técnica de construcción de un digestor de hormigón vaciado en sitio (adaptado ref.15).

Los digestores también pueden vaciarse utilizando moldes. Primero se vacía el fondo, luego la parte cilíndrica y finalmente la cúpula. Otra posibilidad es la de utilizar bloques de hormigón premoldeado tal como se muestra en la figura 6.

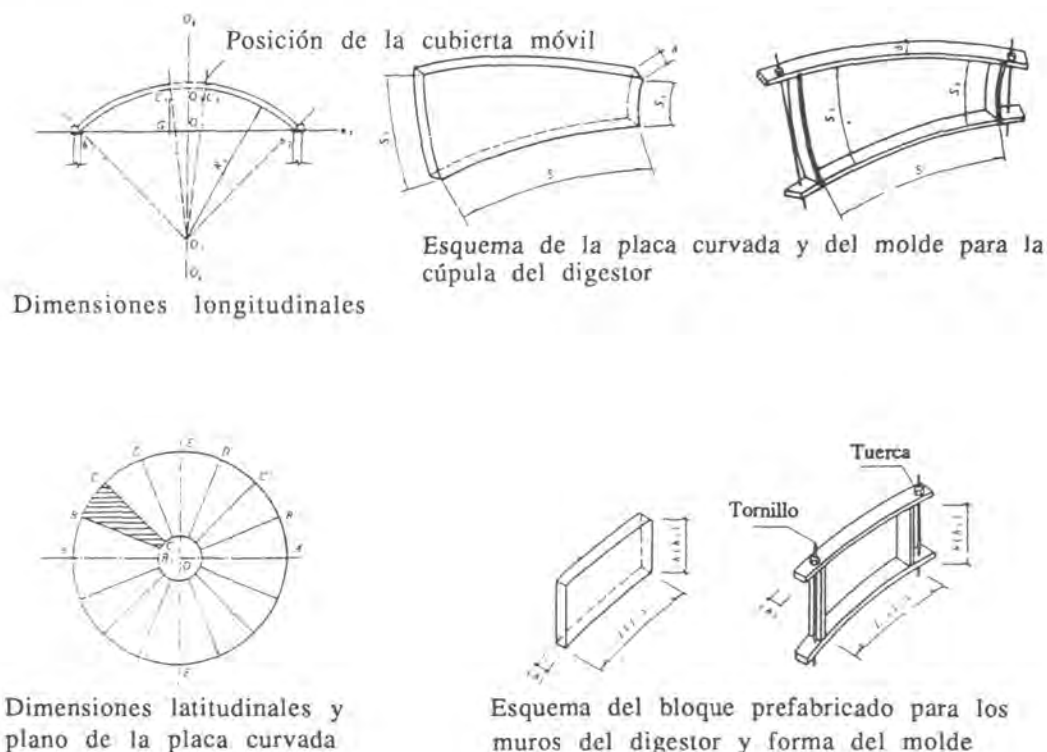


Fig. 6: Moldes para la pared y la cúpula del digestor, esquema en dimensión latitudinal (ref 14).

Los digestores están diseñados para un volumen total de 4, 6, 8 y 10 m<sup>3</sup>.

Existen en total cuatro tipos de materiales de construcción para las paredes y la cúpula:

- 1) Hormigón vaciado en sitio;
- 2) Bloques prefabricados de hormigón;
- 3) Ladrillos normales; y
- 4) Bloques de piedra.

El fondo se vacía siempre en sitio. Distintos materiales pueden combinarse para construir las paredes, la cúpula y la cámara de salida. Existen dos tipos de tubos de entrada y de salida; tubos redondos y tubos cuadrados por fuera y redondos por dentro.

El cuadro 7b ilustra detalladamente los costos de un digestor de cúpula fija cilíndrico de 6 m<sup>3</sup> vaciado en sitio.

Tabla 7b: Costo detallado de un digestor de cúpula fija de 6 m<sup>3</sup>.

Material	Cantidad	Costo Unitario	Costo total	
			(Yuan)	(%)
Acero	10 kg	1100 Yuan/t	10	3.9
Cemento	600 kg	100 Yuan/t	60	23.5
Arena	1.5 m <sup>3</sup>	20 Yuan/m <sup>3</sup>	30	11.8
Grava	1.5 m <sup>3</sup>	20 Yuan/m <sup>3</sup>	30	11.8
Ladrillos	500	0.25 Yuan/unidad	125	49.0
			255	100.0

Fuente: Centro de investigación y capacitación sobre biogas Chengdu.  
 1 dólar EE.UU. = 3.69 Yuan (julio de 1986)

### Operación

Normalmente los digestores funcionan entre 8 y 10 meses por año. La presión del gas en los digestores de cúpula fija es igual o menor a 120cm. WC. La HRT para el estiércol vacuno y porcino es de 35 - 40 días a concentraciones TS de 5 a 8% y 4 - 7% respectivamente. La producción de gas varía entre 0.15 y 0.6 m<sup>3</sup> de volúmen diario del digestor y depende de la temperatura ambiente. En el sur de China, la producción promedio de gas para un digestor de tamaño familiar es de 280 - 300 m<sup>3</sup> anuales, mientras que en el norte asciende a 150 - 210 m<sup>3</sup> por año. (15,31).

En general los digestores se descargan dos veces por año y se vuelven a llenar con cerca de 100 kg. de compuesto de paja o tallos de maíz por metro cuadrado de volúmen del digestor. Diariamente se agrega estiércol y abono.

### India

El Proyecto nacional para el desarrollo del biogas (NPBD) y la difusión masiva de los digestores se basa en un enfoque "multi-institucional y con múltiples modelos". El Departamento para fuentes de energía no-convencionales(NDES) a cargo del proyecto aprobó 4 diseños (5):

- A. El cilindro flotante, comunmente llamado modelo KVIC;
- B. El modelo cúpula fija PRAD, comunmente llamado JANATA;
- C. La planta tipo KVIC con digestor en base a ángulos de hierro y láminas de polietileno, llamado modelo Ganesh;
- D. La planta tipo KVIC con digestores construídos con segmentos prefabricados de ferrocemento.

Los digestores tipo A y B son difundidos especialmente entre familias, comunidades (CBD) e instituciones (IBD).

El diseño KVIC se construyó en la India al iniciarse los programas de desarrollo del biogás, y se hicieron unas pocas modificaciones.

En la última modificación se construyó el cilindro flotante en plástico reforzado con fibra en vez de láminas de acero. La Fig. 7 muestra las secciones transversales de un digestor que produce 8m<sup>3</sup> de gas diario con HRT para 30, 40 y 55 días. Las paredes están construídas con ladrillos de 23cm. de espesor.





Estos digestores son mucho más fáciles de construir que los de cúpula fija, independientemente de la aparición de líneas de fisuras en las paredes. Los digestores pueden ser construídos directamente por los campesinos. Sin embargo, es necesario tomar precauciones especiales para seleccionar los ladrillos (deben estar bien quemados), para la colocación y ajuste de los tubos de entrada y salida y para la disposición del marco de guía central. Los digestores construídos en suelos que se contraen en la estación seca deben llevar una capa de relleno de arena de 30 cm.

El cuadro 8 indica los materiales necesarios para la construcción de un digestor (excluyendo el cilindro flotante).

El costo del tanque de gas de acero dulce asciende a cerca de un 50 % del costo total. Se procura sustituirlo por un tanque de plástico reforzado con fibra cuyo costo es superior en un 5—10% (o más) pero que tiene la ventaja de no corroerse y en consecuencia no implica gastos de mantenimiento.

### Planta de Biogas Janata

Este tipo de diseño de cúpula fija es aproximadamente un 30% más económico que el tipo KVIC del mismo volúmen, y por lo tanto el que tendrá mayor difusión (Janata significa personas). La fig. 8 indica una sección transversal. Las paredes están construídas de ladrillos en espesores de 11.5 y 23 cm.

Este diseño casi no se parece al diseño chino descrito anteriormente. Está construído íntegramente de ladrillos y la cúpula se basa en la técnica "sombriilla", con la diferencia de que los ladrillos (de buena calidad) se disponen en el molde con un espacio entre los mismos que se rellena al vertirse en el molde la pasta de cemento portland.

El cuadro 9 incluye una lista de los materiales de construcción requeridos para una planta Janata.

Las plantas Janata utilizan menos material que las plantas KVIC y en consecuencia pueden producirse localmente, originando ingresos adicionales para los artesanos locales. Actualmente se procura cambiar y mejorar el diseño Janata, en base a diseños elaborados en la República Popular de China.

El cuadro 10 incluye costos comparativos de construcción entre los diseños tipo KVIC y Janata. Los costos de instalación del tipo Janata son aproximadamente un 30% más económicos.

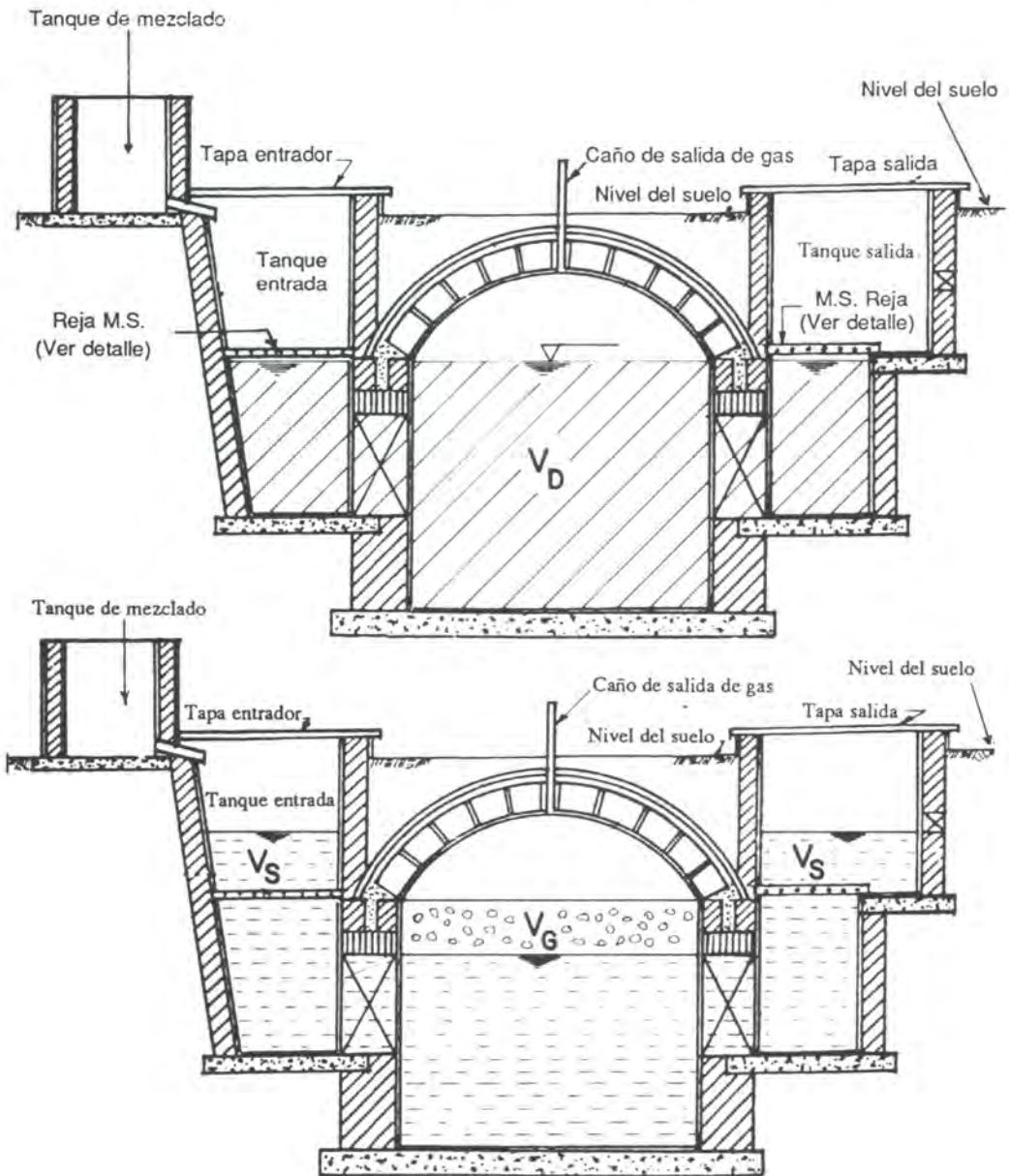
### Operación

En la India, los digestores funcionan casi exclusivamente en base a estiércol vacuno, llamado "gobar", que se cargan una vez al día. El Cuadro 11 presenta las características de carga y producción de gas de los digestores con HRT suficiente para 55 días. La producción específica del gas (criterios de diseño) para ambos tipos, KVIC y Janata ascienden a 0.32 - 0.34 m<sup>3</sup> de gas por m<sup>3</sup> de volúmen digestor por día y 0.20 m<sup>3</sup> de gas por Kg TS en estiércol vacuno. Estos valores cambian según el HRT. Las plantas Janata sobredimensionadas ocasionan problemas de funcionamiento. La mezcla no se descarga diariamente, dado que el volúmen de la cámara hidráulica/tanque de salida es más grande que el volúmen diario de nutriente. El volúmen almacenado de gas es mayor que los volúmenes de gas producidos diariamente. En consecuencia, el gas no puede desplazar suficiente líquido para producir el desborde y el nivel de la mezcla se eleva, ocasionando eventualmente la obstrucción del caño de gas.

Cuadro 8: Materiales necesarios para la construcción de digestores de cilindro flotante de diferentes tamaños (m<sup>3</sup> de gas diarios)

Tamaño de la planta (m <sup>3</sup> /día)	2			3			4			6			8		
	30	40	55	30	40	55	30	40	55	30	40	55	30	40	55
<b>Material</b>															
No. de ladrillos	2060	2460	-	2770	2770	-	2510	3210	4350	2900	3730	5100	3410	4430	6000
Arena (m <sup>3</sup> )	1.71	1.94	-	2.2	2.52	-	2.41	3.90	3.6	2.85	3.46	4.30	3.32	4.05	5.0
Ripio, piedra (m <sup>3</sup> )	0.60	0.60	-	0.85	0.85	-	0.95	0.95	0.95	1.25	1.25	1.25	1.40	1.40	1.40
Cemento	11	13	-	15	17	-	16	19	23	19	23	28	22	26	33
Caños A.P. (ø 100 mm)	3.4	3.8	-	8.6	3.6	-	4.9	6.3	9.5	5.25	6.5	10	6.6	6.6	10.6

Fuente: datos recopilados de (19)



$$\begin{aligned}
 V_T &= 8 \text{ m}^3 \\
 V_D &= 6.3 \text{ m}^3 \\
 V_G &= 0.7 \text{ m}^3 \\
 V_S &= 0.7 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Fig. 8.. Diseño de planta tipo Janata con capacidad total de digester de  $8\text{m}^3$  (adaptado de 25)

Cuadro 9: Materiales de construcción para la planta Janata

Tamaño de la planta (m <sup>3</sup> gas/día)	1		2		3	4	6	8	10
Tiempo de retención (días)	55	30	40	55			55		
No. de ladrillos	1000	1200	1400	1500	2500	3500	4000	5500	7000
Cemento (bolsas)	15	16	18	20	25	30	40	60	70
Ripio de piedras (m <sup>3</sup> )	1.0	0.75	0.90	1.00	1.15	1.45	2.00	4.29	5.00
Arena fina (m <sup>3</sup> )	2.0	1.70	2.00	2.00	2.30	3.60	4.30	5.70	6.45
Arena gruesa (m <sup>3</sup> )	0.75	0.75	0.90	0.90	1.15	1.45	1.70	2.90	4.30
Pintura negra al esmalte (lt)	1.0	1.0	1.5	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
Caños A.C. 6" ø	-	2.75	2.75	-	-	-	-	-	-
Caños G.I. 1/2" o 3/4" ø (m)	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Cubiertas de cemento (unidad)	uno	uno	uno	dos	dos	dos	dos	dos	dos
Línea de distribución de gas	Debe determinarse por cada usuario								

Fuente (recopilado de 5 y 25)



Cuadro 10: Comparación de costos de instalación entre las plantas tipo KVIC y Janata a marzo de 1983

Tamaño m <sup>3</sup> gas/día	Planta KVIC						Planta Janata					
	40 días HRT <sup>1)</sup>		30 días HRT <sup>1)</sup>		50-55 días HRT <sup>1)</sup>		40 días HRT <sup>1)</sup>		30 días HRT <sup>1)</sup>			
	m <sup>3*</sup>	Rs	Rs/m <sup>3</sup>	m <sup>3*</sup>	Rs	Rs/m <sup>3</sup>	m <sup>3*</sup>	Rs	Rs/m <sup>3</sup>	m <sup>3*</sup>	Rs	Rs/m <sup>3</sup>
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	3.86	4480	1161	2.86	3870	1353	2.18	1980	908	1.64	1760	1073
3	5.83	5440	933	4.32	4370	1095	4.30	3420	795	3.22	3040	944
4	7.12	6190	869	5.85	5240	896	6.65	3780	568	4.99	3360	673
6	11.02	7530	683	8.74	6400	732	8.81	4680	531	6.61	4160	629
8	14.70	8940	608	11.31	7560	663	13.53	5760	460	10.14	5120	505
10	18.41	10600	576	14.55	9100	625	18.02	7380	409	13.52	6560	485
15	27.60	158000	572	20.70	13200	638	22.18	9000	406	16.62	8000	481
20	36.82	12300	578	29.00	17600	607	33.45	13050	390	25.09	11600	462
25	45.80	23.500	513	36.30	20200	556	44.29	16200	336	33.22	14000	433
30	-	-	-	-	-	-	55.72	19125	343	41.45	1700	410
							66.54	21600	325	49.90	19200	385

1 dólar EE.UU = 12 Rs. (mayo de 1986)

<sup>1)</sup> HRT = Tiempo de retención hidráulica

\* = Volúmen digestor

Fuente: recopilado y adaptado de (25)

Cuadro 11: Características de carga y producción de las plantas Janata de 2,3,4 y 6 m<sup>3</sup> de gas diarios

Producción de gas	Estiércol fresco diario	Volúmen de la cámara de digestión	Tiempo de retención nominal	Producción específica de gas	
				m <sup>3</sup> /m/día	m <sup>3</sup> /kgTS día
2	50	5.29	59	0.34	0.20
3	75	9.15	61	0.33	0.20
4	100	12.12	61	0.33	0.20
6	150	18.60	62	0.32	0.20

Fuente: recopilado y adaptado ref.25

Los digestores que funcionan en base a estiércol vacuno bien mezclado con agua no desarrollan capas flotantes y consecuentemente no requieren una limpieza anual.

### Nepal

La construcción de digestores de cúpula fija se inició en 1980 y constituye un 98% del total de las instalaciones. Se desarrolló un diseño local que difunde la Compañía de Gas Gobar, con autorización del Banco de Desarrollo Agrícola de Nepal. La fig. 9 indica una sección transversal del mismo.

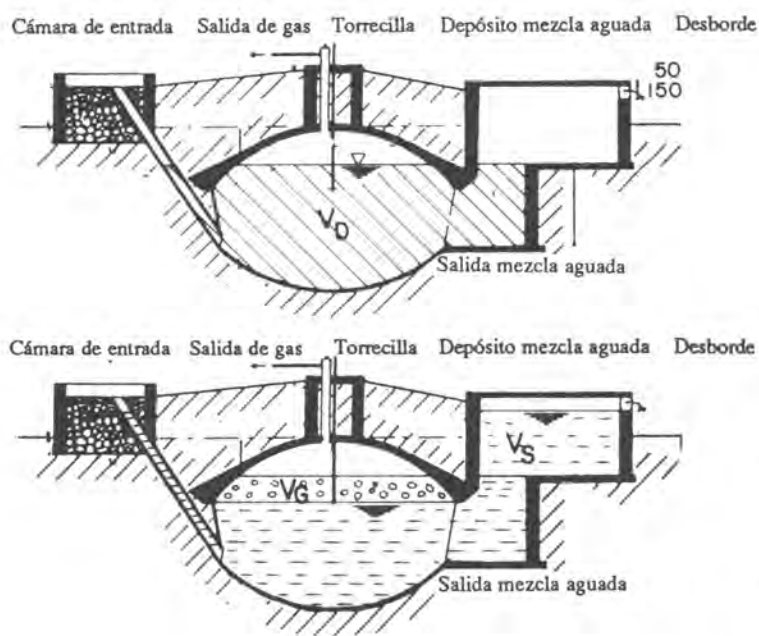


Fig. 9 : Diseño de un digestor de cúpula fija en Nepal (adaptado ref 19)

La técnica de construcción es similar a la que se indica en la Fig. 5, pero en éste caso, la cúpula se vacía primero, tal como se indica en la Fig. 10. Se excava en la tierra la forma del digestor que se recubre con 3 cm. de yeso o mortero. La cúpula sirve como depósito del gas. Las paredes de la cámara de entrada y salida se construyen con ladrillos.

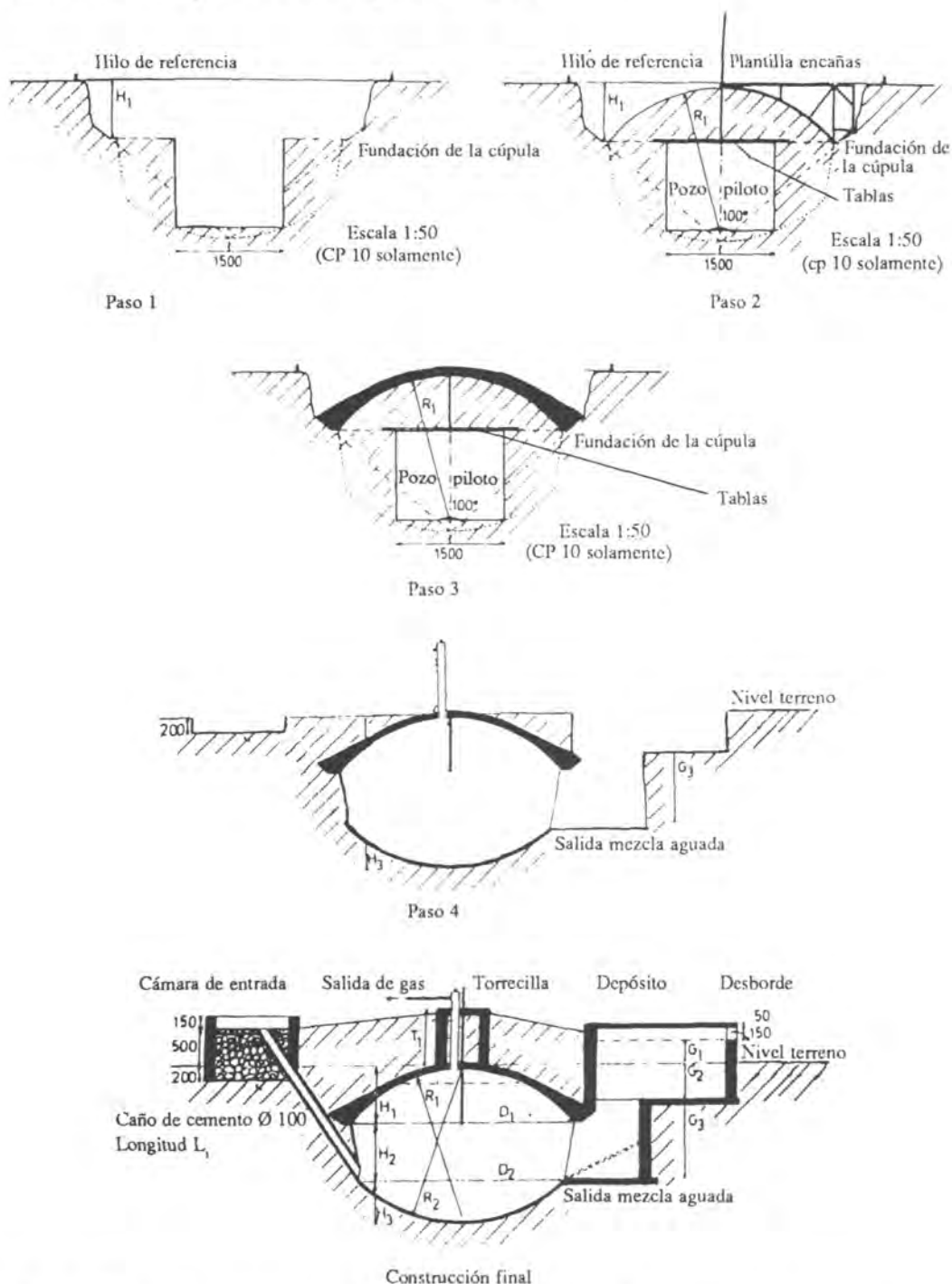


Fig. 10: Técnica de construcción del diseño de cúpula fija en Nepal (adaptada ref.19)

El cuadro 12 incluye un detalle de los costos de construcción. El cuadro se divide según si los materiales son proporcionados por la Compañía de Biogas o por el usuario.

Cuadro 12: Detalle de costos de construcción para diferentes digestores (volumen del digestor m<sup>3</sup>) de cúpula fija (en Rupias)

Tamaño del volumen del digestor(m <sup>3</sup> )	10		15		20		50	
	Rs.	%	Rs.	%	Rs.	%	Rs.	%
Material suministrado por la Co. de Biogas	8073	53.3	10054	50.9	12364	49.5	21058	43.0
Costos de construcción	2800		3800		4600		9200	
Costos de garantía	1000		1500		2400		5500	
Sub Total	11873	78.5	15354	77.7	19364	77.5	35758	73.1
Suministrado por el usuario								
Ladrillos	720		900		1200		4800	
Arena	600		672		750		1800	
Grava	320		480		560		1600	
Mano de obra	1250		1875		2500		3750	
Transporte	360		480		600		1200	
Sub-Total	3250	21.5	4407	22.3	5610	22.5	13150	26.9
Total	15123	100	19761	100	24974	100	48908	100

Fuente (adaptado ref.26); 1 dólar EE.UU.= 21 rupias nepalesas (abril de 1986)

Nepal no tiene costas e importa la mayor parte de los materiales metálicos. Por lo tanto los costos específicos son elevados. Existe la posibilidad de reducir los costos de instalación entre un 10 y un 20 % mejorando el sistema.

### Operación

Como en el caso de la India, los digestores se cargan con estiércol vacuno. El cuadro 13 indica las características de las actividades de carga, que incluyen los criterios para el diseño. La producción específica de gas por Kg. Ts. de estiércol vacuno es ligeramente más alta que en la India.

### Tailandia

Desde 1980 se construyen casi exclusivamente digestores de cúpula fija. Existen tres tipos de diseño diferente en Tailandia. El diseño de la División de Saneamiento del Ministerio de Salud Pública fue modificado más de doce veces por diversos equipos de construcción. Las fig. 11, 12 y 13 indican las principales características de los tres diseños. La cúpula en el diseño de la División de Saneamiento no está cubierta con tierra, y puede fácilmente provocar fisuras. Los volúmenes ( $V_G$ ,  $V_S$  y  $V_D$ ) provocan problemas durante el funcionamiento si no están bien equilibrados. Este diseño no debe utilizarse.



Cuadro 13: Características de carga de los digestores de cúpula fija y de cilindro flotante

No	Capacidad (m <sup>3</sup> volumen del digestor)	Tipo	No. de personas en la familia	No. de animales necesarios	Estiércol kg/día	Producción de gas			Tiempo de retención (d)
						m <sup>3</sup> /d	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> d	l gas kg.Ts	
1	6	cúpula	4-6	3-4	36	1.84	0.31	255	83
2	10	cúpula	4-9	4-6	60	2.97	0.30	247	83
3	15	cúpula	9-12	6-9	90	4.67	0.31	259	83
4	20	cúpula	12-18	8-12	120	6.37	0.32	265	83
5	35	cúpula	21-25	14-21	210	11.04	0.31	263	83
6	50	cúpula	30-45	20-30	300	14.86	0.30	248	83
7	34	cilindro	30-45	20-30	300	14.16	0.42	236	56.7
8	51	cilindro	45-65	30-45	450	21.24	0.42	236	56.7
9	68	cilindro	60-90	40-60	600	28.32	0.42	236	56.7

Fuente: (adaptado ref.24)

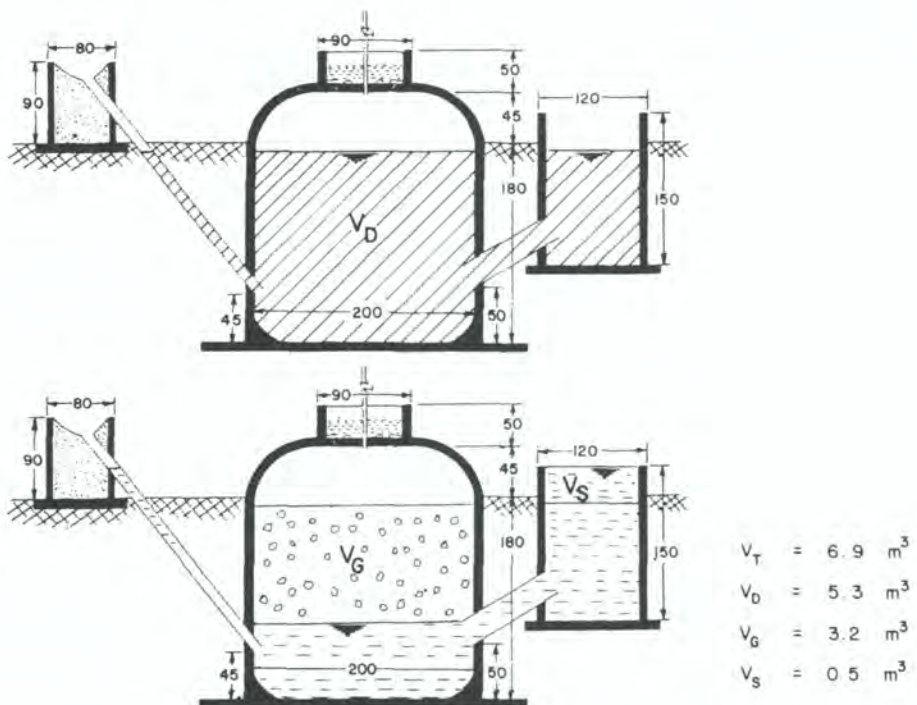
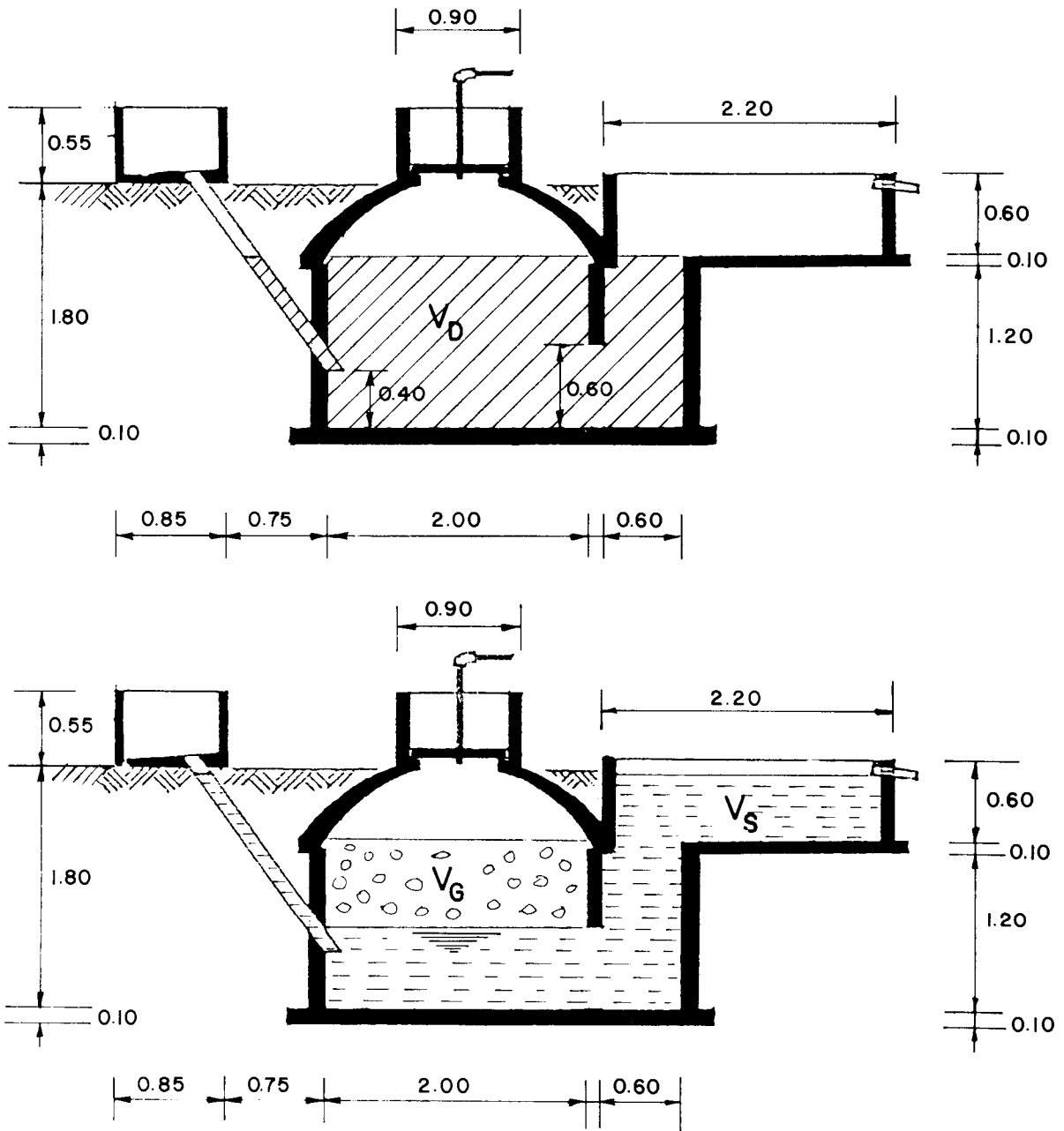


Fig. 11 : Digestor de cúpula fija diseñado por la División de Saneamiento (adaptado ref.20)



$$V_T = 5.1 \text{ m}^3$$

$$V_D = 4.1 \text{ m}^3$$

$$V_G = 1.9 \text{ m}^3$$

$$V_S = 1.9 \text{ m}^3$$

Fig. 12: Digestor de cúpula fija diseñado por la Administración Nacional de Energía (NEA) (adaptado ref.5).

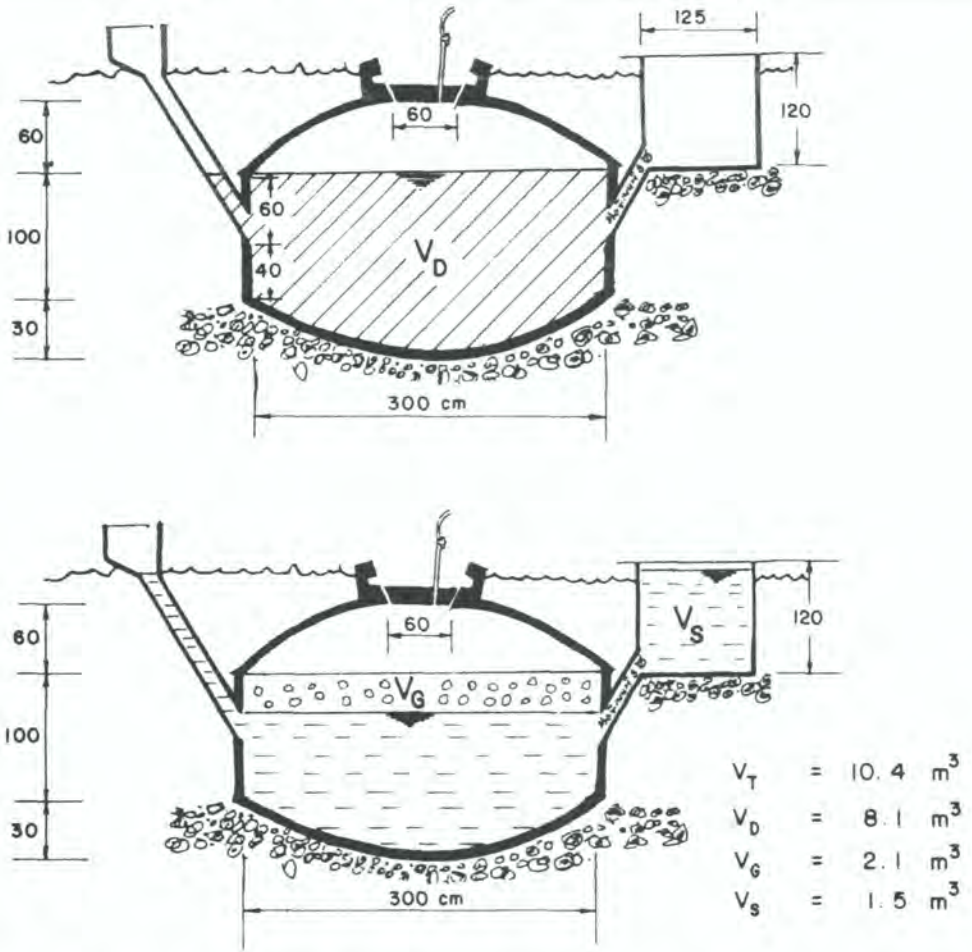


Fig. 13: Digestor de cúpula fija diseñado por el Departamento de Extensión Agrícola (adaptado ref.20)

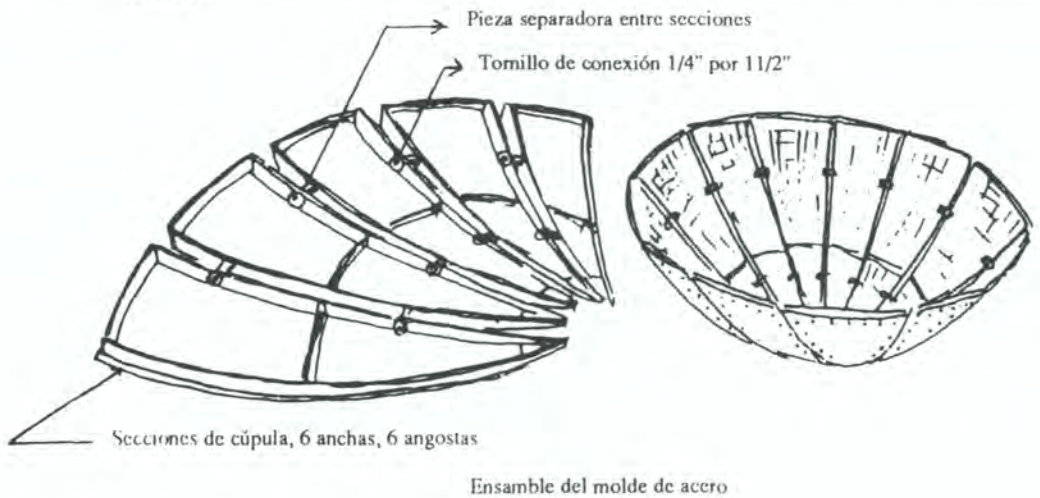


Fig. 14: Ensamblaje de los moldes metálicos de la cúpula



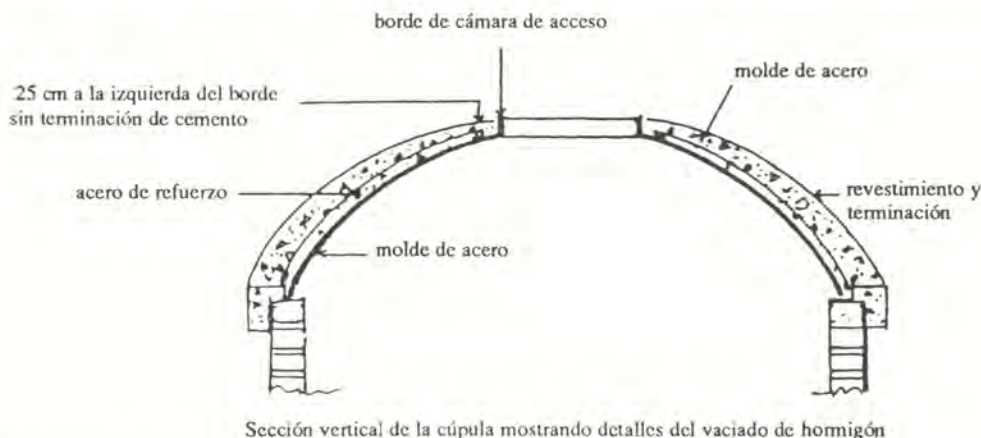


Fig. 15. Cúpula terminada vaciada en sitio (ref. 34)

La Administración Nacional de Energía recomienda la construcción vaciada en sitio y suministra gratuitamente a los usuarios moldes de acero para las paredes y la cúpula. El transporte es costoso por el peso alto de los materiales. La Fig. 14 indica cómo se ensamblan los moldes metálicos y la Fig. 15 ilustra la cúpula apoyada en una pared cilíndrica construida con ladrillos. Esta técnica puede fácilmente provocar grietas y filtraciones de gas. Por otro lado impide utilizar el volumen de gas de la cúpula. Solo se almacena en la parte cilíndrica, similar al tipo Janata (véase la fig. 8). Las fisuras en la junta entre la cúpula y la pared facilitan permanentemente las filtraciones, dado que es imposible sellarlas con mezcla o lechada. El diseño de la DOAE es similar al diseño utilizado actualmente en China del digestor cilíndrico de cúpula fija. El cuadro 14 indica en detalle los costos de un digestor de cúpula fija de 7 m<sup>3</sup> construido en hormigón.

Cuadro 14: Detalle de costo de un digestor de cúpula fija de 7 m<sup>3</sup> construido en hormigón (marzo de 1985)

Materiales	Costo			
	Baht*		%	
	cerca	lejos	cerca	lejos
23 bolsas de cemento (1 bolsa = 72-75 baht)	1,656	1,725	36.3	32.7
3 m <sup>3</sup> de arena (1 m <sup>3</sup> = 120-150 baht)	360	450	7.9	8.5
3 m <sup>3</sup> de grava (1 m <sup>3</sup> = 300-350 baht)	900	1,050	19.7	19.9
Acero de construcción 20 piezas (1 pieza 10m) = 25 - 30 baht	500	600	112.0	11.4
Caño de cemento de 6", 3 mt.	100	150	2.2	2.8
Caño de cemento de 8" 2x1 mt. 1 mt. = 80 - 85 baht	160	170	3.5	3.2
Alambre de acero, 1 kg.	20	20	4.4	3.8
Válvula de gas 2 u. 1 u. = 80 Baht	160	160	3.5	3.0
Caño de goma 20 - 30 mt: 1 mt. = 15 Baht	450	450	9.9	8.5
Queimador 250-500 Baht	250	500	5.5	9.9
	4.556	5.275	100.0	100.0

1 dólar EE.UU. = 26 Baht

### Nuevo diseño para un digester de tamaño familiar

Un nuevo diseño, el llamado Sasse, no ha sido aún introducido en los países asiáticos. Este diseño elimina algunos de los inconvenientes de otros modelos y es fácil de construir. La fig.16 compara éste diseño (cúpula fija a alta presión o cilindro flotante a baja presión) con un digester de tipo convencional KVIC.

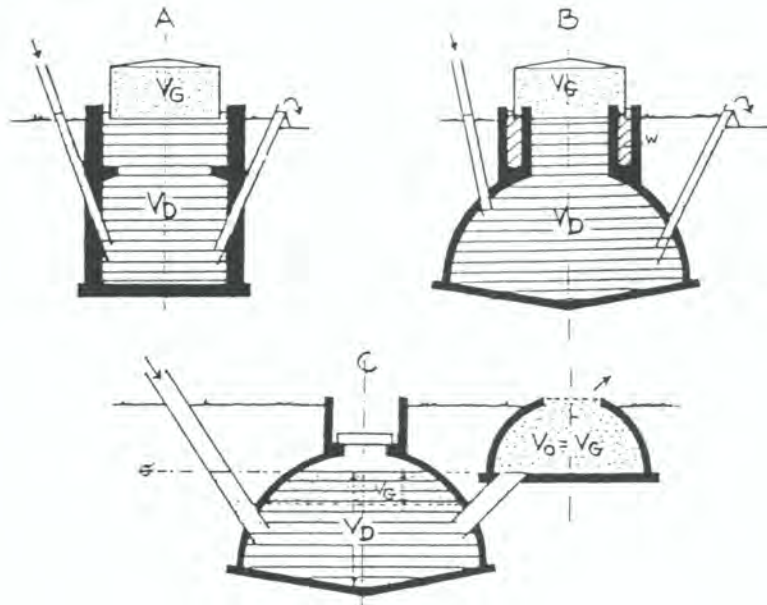


Fig. 16: Comparación del digester familiar tipo Sasse con el model KVIC (ref.35)

Existe solo un punto de discontinuidad donde la cúpula se une con el fondo. La fig. 17 indica el proceso de construcción de una planta construída en Mauritania en 1986. En éste caso, la cavidad se excavó directamente en tierra laterita y se revistió con mortero.

En general la técnica de construcción de mampostería para la cúpula esférica es similar a la técnica china. Instrucciones detalladas para el diseño, la construcción y el funcionamiento en el (35). Los programas nacionales de biogas deberían estar orientados a éste tipo de digester.

### Experiencias con tecnología del biogas

Durante los últimos años la experiencia China evolucionó en éste aspecto. Los propios usuarios construyeron plantas económicas pero de baja calidad de biogas durante el período entre 1975 y 1979. En 1980, un 53% de todos los digestores eran defectuosos. En consecuencia la construcción se redujo de 1.6 a 0.6 millones anuales, pero se comenzó a utilizar albañiles calificados y materiales de buena calidad para la construcción. Un 95% de los digestores construídos a partir de 1980 no muestran defectos y un 85% están en uso. Es necesario estudiar primero las condiciones locales antes de iniciar la construcción de plantas de biogas, dado que no todas las zonas son apropiadas. Una de las lecciones extraídas es que solo se obtendrán buenos resultados de la tecnología del biogas si los usuarios obtienen beneficios directos. Por lo tanto, se requiere el apoyo de los técnicos en biogas para lograr el uso integral del gas y de sus residuos. Se estima que las tecnologías para las plantas de biogas de tamaño familiar han sido suficientemente desarrolladas, y actualmente el enfoque de la investigación y el desarrollo está centrado en digestores medianos y grandes para uso

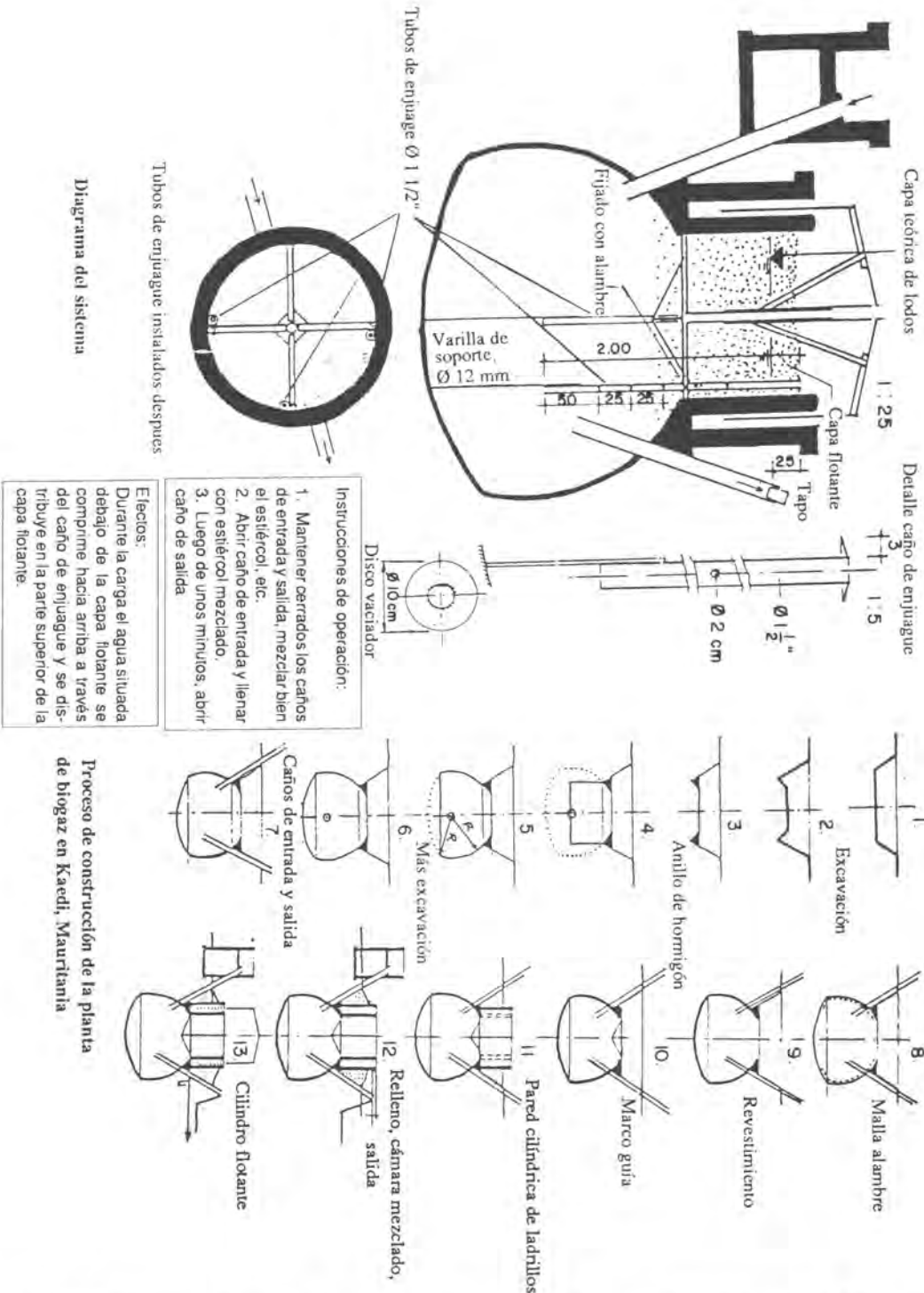
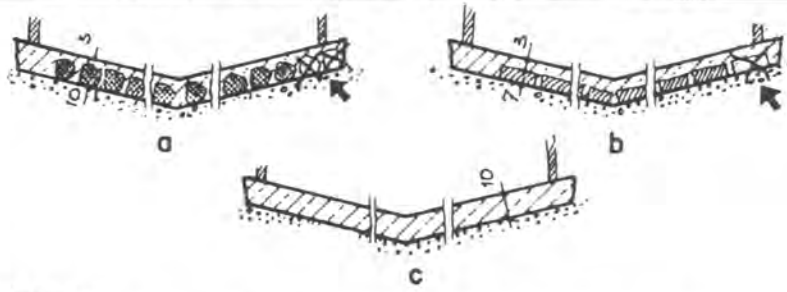


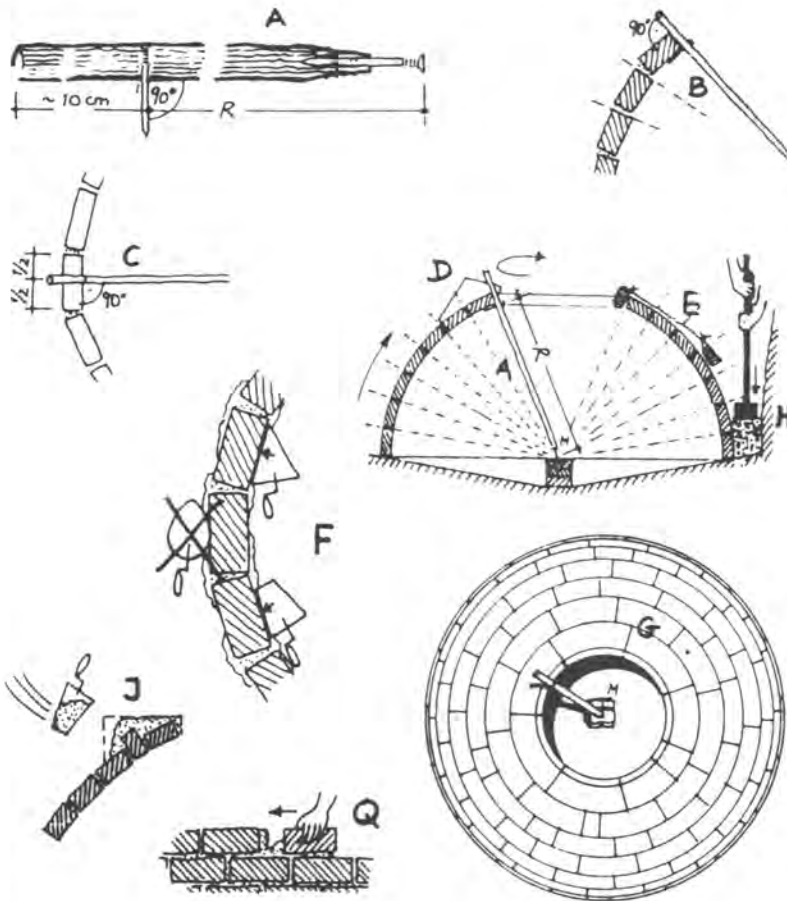
Fig. 17: Construcción de un digestor a baja presión modelo Sasse, en tierra laterita (ref.36)





### Losas de fondo

La losa plana debe ser rígida a la flexión para distribuir las cargas del borde en toda la superficie. Formas posibles de construcción a) piedra de cantera con mortero de cemento, b) mampostería con piso de cemento y c) hormigón. Bajo la pared, la losa del fondo debe construirse con hormigón en masa.



Construcción de una cáscara esférica con mampostería

Fig. 18: Sistema normal de construcción de Cúpula y fondo (adaptado ref.35).

comunitario. La población reconoce que solo mediante una buena ordenación será posible obtener buenos resultados, dado que el desarrollo de la tecnología del biogas es una opción a largo plazo. El apoyo del gobierno fue el factor principal del éxito del programa de biogas en la China.

La experiencia en la India fue similar. Aumentaron las actividades de Biogas después de iniciado el Proyecto Nacional para el Desarrollo del Biogas en 1981 en provincias y distritos seleccionados y creado el Departamento de energía no tradicional (DNES) en 1982. El número total de instalaciones prácticamente se duplica anualmente, por que los campesinos ricos consideran que una planta de biogas es signo de "estatus". El éxito del programa se debe a la estructura de la organización y a diversos incentivos ofrecidos tanto a los usuarios (por ejemplo subsidios, préstamos, gastos de reparación) como a las instituciones y trabajadores que operan por el sistema de llave en mano (incentivos en efectivo, costos de servicio, remuneración por el trabajo de llave en mano, facilidades para cursos de capacitación, etc.). Para reducir demoras en los pagos se otorgan subsidios fijos a los usuarios y no un porcentaje del costo total. Cerca de un 88% de todos los digestores construidos durante el proyecto NPBD están actualmente funcionando. Los digestores Janata (de cúpula fija) presentaron ciertos problemas particulares. Para solucionar la falta de mano de obra calificada se iniciaron cursos de repaso para albañiles que ya habían pasado el primer curso satisfactoriamente. La relación costo-beneficio en la India es baja. Dado que la mayoría de los usuarios tienden a sobredimensionar el digestor, esta relación está llegando a valores menores de uno. En un cierto nivel económico, el símbolo del "estatus" parece ser más importante que la proporción de costo/beneficio. Por otro lado los campesinos están dispuestos a invertir más si se les garantiza la durabilidad de las obras de construcción y de los accesorios.

En Nepal, la Compañía de Biogas informó que un 95% de las plantas de tamaño familiar continúan funcionando. Aparentemente las obras de construcción civil son de buena calidad pero de costo elevado, dado que se importa la mayoría de las piezas metálicas. Existe la posibilidad de reducir los costos en un 15% si se mejora la geometría del digestor y las técnicas de construcción. El gobierno de Nepal reconoció los beneficios de la tecnología del biogas y se estima que subsidiará en el futuro el 25% de cada digestor. De esta forma se aumentaría la demanda de plantas de biogas que se mantiene estática. La Compañía de Biogas no trabaja a total capacidad y no ha alcanzado aún el punto de equilibrio económico de 360 digestores anuales.

En Tailandia, las experiencias fueron en general negativas. Luego de un año de funcionamiento se abandonaron casi un 56% de todos los digestores. Y a 4 años de iniciadas las construcciones, cerca de un 90% de todos los digestores están inactivos. Es probable que la razón radique en la falta de mano de obra calificada de los usuarios, y la autoconstrucción de los digestores. Los usuarios tienden a modificar la forma de los digestores en base a sus propias ideas, y de ahorrar el máximo de cemento cuando así lo consideran. Por ejemplo, muchas veces el interior de la cúpula se dejó sin revestir. Nuevamente los diseños elaborados en Tailandia no son de los mejores. Dado que ninguna institución es directamente responsable de la construcción no existe garantía por la misma, como tampoco existe prácticamente garantía por los servicios posteriores. En estas condiciones un programa nacional de plantas de biogas a nivel familiar está destinado al fracaso y únicamente los campesinos sumamente comprometidos continuarán utilizando el sistema. La NEA está cambiando su posición y reorientando las actividades a sistemas de escala mayor para granjas y establecimientos industriales (establecimientos ganaderos, mataderos, etc.)

En general la tecnología del biogas es una tecnología moderna (y no casera) que permite abordar problemas ambientales y conservar los recursos naturales, teniendo presente que el déficit anual de leña es de 60 millones de toneladas en China, 84 millones de toneladas en la India, 3 millones de metros cúbicos en Nepal y 30 millones de metros cúbicos en Tailandia. Si bien los usuarios deben desarrollar una perspectiva a mediano plazo antes de invertir en un digestor, los gobiernos deben actuar en base a una perspectiva a largo plazo. Así sucedió en China y en la India. Nepal por otra parte desarrolló un programa quinquenal. La tecnología del biogas constituye una prioridad para mejorar los servicios de cocción y la reforestación.



## REFERENCIAS

1. *An Overview on Biogas Development in China*. Material docente del quinto curso internacional de capacitación en biogas, de la FAO/PNUD, Abril de 1986, Chendu, Provincia de Sichuan.
2. Singh, J.B. *Biogas Programme, Involvement of Voluntary Organizations, Financing Agriculture*, Vol 14 nos. 2 y 3, abril/junio - julio/setiembre de 1982, pp. 40 - 44.
3. Maulik, T.K.: *Biogas System - Alternative Technology for Meeting Rural Energy Needs in India*, Ibid, pp. 60-63.
4. Vimal O.P., *Wood Energy Development in India*, Country Status Report. En: Regional Wood Energy Development Programme in Asia, GCP/RAS/III/NET, Bangkok, Tailandia, noviembre de 1985, pp. 22-23.
5. Khandelwal, K.C., Mehdi, S.S: *Biogas Technology, a Practical Handbook*. Tata, McGraw-Hill Publishing Company, Ltd., Nueva Delhi, 1986.
6. Shrestha, R.B: *New and Renewable Sources of Energy in Nepal*. Documento presentado en la reunión de los centros nacionales de coordinación de ESCAP sobre fuentes nuevas y renovables de energía, Bangkok, 26 al 29 de junio de 1984.
7. Anónimo: *Biogas Resources of Nepal. An Evaluation of Biogas as a Source of Energy*. Gobierno de su Majestad en Nepal, Ministerio de Recursos Hídricos, Comisión para cuestiones energéticas e hidrológicas, Informe 4/1/840329/1/1. 1985.
8. Sood, D.K. *Biogas in Nepal - Operational Perspectives*. Documento presentado en la Conferencia internacional sobre la situación actual de la tecnología, transferencia y difusión del biogas, noviembre 17 al 24 de 1984, El Cairo, Egipto.
9. Lau-Wong, M.M: *The Development of Biogas in Nepal - An Analysis of the Past and Direction for the Future Development and Consulting Services*, Butwal, Nepal, 1984.
10. Atal, Y, Chun, K-S, Skulbhram, P, Arthorn Thurasook, T: *Biogas, Social Response to a Technological Innovation*. Oficina Regional para la Ciencia y la Tecnología en Asia sur oriental de la UNESCO, Jakarta, Indonesia, 1984.
11. Estadísticas agrícolas de Tailandia 1983/84.
12. Universidad Kasetsart, 1983.
13. Chomcharn, A: *Wood Energy Development in Thailand*, Country Status Report, En: Regional Wood Energy Development Programme in Asia, Informe de la Reunión Técnica de FAO, GCP/RAS/III/NET, Bangkok, noviembre de 1985.
14. Normas Nacionales de la República Popular de China, GB 4750-4752-84, Beijing, 1984.
15. Design and Construction of Biogas Digesters in Rural Areas of China. Quinto Curso Internacional de Capacitación en Biogas de FAO/PNUD/China, abril de 1986, Chendgu, Provincia de Sechuan.
16. *Gobargas, Retrospect and Prospects*. KVIC, Bombay 1984.
17. *Informe Anual 1985.1986*, Departamento de Fuentes de energía no convencional (DNES), Ministerio de Energía, Nueva Delhi, 1986.
18. Gorkhali, H.G. *State of the Art of Bio Gas in Nepal..* Documento presentado en el Taller de trabajo de la Secretaria de la Comisión para las cuestiones energéticas e hidrológicas, 1 de octubre de 1985, Kathmandú, Nepal.
19. Bulmer, A. Finlay, J. Fulford, D. Lau-Wong, M.M.: *Biogas, Challenges and Experiences from Nepal*, Vol I, Misión Conjunta a Nepal, 1985.
20. *Complete Report on Evaluation of the Feasibility of Biogas Technology in rural Areas*, TISTR, marzo de 1986.
21. Chantavorapap, S. *Biogas Programme in Thailand*. Documento presentado durante la Conferencia Internacional sobre la situación actual de la tecnología, la transferencia y la difusión del biogas, El Cairo, noviembre de 1984.

22. Cui Xuan, Zie Zhi-heng: *An Outline on the Biogas Development in China*. Actas del Cuarto Simposio Internacional sobre Digestión Anaeróbica, celebrado en Guangzhou, China en noviembre de 1985, pp. 3-14.
23. Zhenghou J. Zexi, C. *Utilization of Biogas in China*, Ibid, pp. 625-638.
24. *Biogas Company: Brief Norms on Biogas* (folleto 1985/86).
25. Myles, R.M.: *A Practical Guide to Janata Biogas Plant Technology*. APFRO, Nueva Delhi, octubre de 1985.
26. Compañía de Biogas, Kathmandú, 1986.
27. *Biogas in China: Erfahrungsaustausch auf dem Biogassektor zwischen China, Indien und der Bundesrepublik Deutschland*. GTZ, marzo de 1981.
28. Shen, R.Z.: *The Utilization of Biogas Digester Residues in China*, Ibid, pp. 591-698.
29. *The Utilization and Research Work on Digester Sludge and Effluent in China*. Material docente no. 04 del quinto Curso Internacional de Capacitación de FAO/PNUD/China, Chengdu, China, 1986.
30. *Analysis of Economic Feasibility for Biogas Construction in China*. Material Docente No. 07 del Quinto Curso Internacional de Capacitación de FAO/PNUD/China, Chengdu, China, 1986.
31. *The Biogas Development in the Countryside of Sichuan Province*, Ibid, Material de Capacitación no. 03, Cnegdu, 1986.
32. Liew, E.C.: *Economics of Biogas Digesters for Pig Farms in Thailand*. Estudio de Investigación, AIT, División de Tecnología Energética, abril de 1986.
33. Tentscher, W: *Achievements and Problems in Rural Application of Biogas in China, India, Nepal and Thailnad*. Seminario Regional sobre Aplicaciones de fuentes de energía alternas en la agricultura, 27 al 29 de octubre de 1986, pp. vi-19 a vi-32, Chiang Mai, Tailandia.
34. *Handbook for the Construction of a Digester for Biogas Production. Conforming to the Design of the National energy Administration*, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Administración de la Energía (traducido del tailandes en AIT por Schneller, C. 1985)
35. ???
36. Sasse, L. *Biogas Mauretaniene*, en Biogas Information Nr. 19 junio de 1986, pp. 8 al 14 GATE/OEKOTOP.



## ENERGIA GEOTERMICA - el don del calor bajo la tierra de hielo

por Jeffrey Cosse,\* (publicado por primera vez en News from Island, en una serie de tres artículos mensuales en noviembre y diciembre de 1986 y enero de 1987.  
Re-impresión autorizada)

### INTRODUCCION

Una de las características más sorprendentes de Islandia es el calor natural subterráneo, que convierte al país en pionero mundial en cuanto a la aplicación de la energía geotérmica, especialmente para calefaccionar el espacio. Desde los primeros asentamientos humanos, éste calor natural fue reconocido como un aspecto característico de Islandia. Tanto las leyendas de Islandia como de Noruega hacen referencias a manantiales y piscinas de agua caliente en distintas zonas del país y la nomenclatura menciona muchas veces elementos tales como *reyk* ("humo", muy aplicado al vapor surgente), *laug* (piscina caliente) y *hver* (manantial caliente).

Durante muchos siglos la explotación de la energía geotérmica tuvo limitado alcance por la falta de la tecnología adecuada. Los pobladores utilizaban el agua caliente para baños y pocos establecimientos agrícolas construían saunas sobre manantiales o chorros de vapor. En algunas zonas se aprovechaba la tierra caliente para cocinar alimentos, e inclusive ya más recientemente para la cocción de pan de centeno. Y desde luego, el agua de los manantiales se utilizaba para el lavado de la ropa, como en Reykjavik, cuyos manantiales dieron origen al nombre que significa "bahía de humo". Sin embargo, hasta hace muy poco tiempo, era imposible aumentar el caudal de agua, transportarlo a distancias o aprovechar la energía en diferentes aplicaciones.

Las primeras etapas, en lo que podría llamarse el estudio científico de los recursos de agua caliente en Islandia, fueron hechos más por curiosidad general que por alguna aplicación en particular.

La energía geotérmica de Islandia llamó la atención de varios visitantes extranjeros, entre ellos el químico alemán Robert Bunsen, quien en 1846 estudió la fuente surgente de Geysir y estableció los primeros lineamientos de una teoría del mecanismo, que aún hoy en día se acepta con solo modificaciones menores.

### Vinculación con el desplazamiento continental

Islandia es un producto del proceso del desplazamiento continental. Las placas continentales de América del Norte y de Euro-Asia se mueven en dirección opuesta y la grieta resultante en la corteza terrestre se llena con la magma que brota de los niveles más profundos, formando las crestas del Atlántico medio. Islandia es un producto de este proceso y está montada sobre la cresta misma, siendo la sección central de la isla más joven que los extremos occidentales y orientales donde se estima en cerca de 15 millones de años la edad de las rocas más antiguas.

Algunas mediciones demuestran que la fuente de magma ascendente aumentó el ancho de Islandia a razón de 2 cm. por año. Una parte del magma penetra a través de la superficie mediante erupciones volcánicas, mientras que en otras zonas se enfría en forma de intrusiones dentro de la corteza.

Las zonas de actividad geotérmicas se dividen en dos clases: zonas de alta y zonas de baja temperatura.

\* *News from Iceland*



Las zonas de alta temperatura ubicadas en la región neo volcánica de grietas y vulcanismo, contienen fuentes de agua a más de 150° C. a 1 km. de profundidad. El agua de lluvia se calienta con la magma subterránea, alcanzando elevadas temperaturas, y elevándose posteriormente hacia la superficie en forma de chorros de vapor y fumarolas.

En las zonas de baja temperatura, ubicadas lejos y fuera de la zona neo-volcánica, la temperatura máxima es de 150° C. El agua fluye a través de fisuras en la roca desde las zonas montañosas más altas y brota en la superficie en forma de manantiales calientes.

La explotación de la energía en las zonas geotérmicas depende de la naturaleza de la región: el agua en regiones de baja temperatura puede utilizarse directamente para sistemas distritales de calefacción, mientras que el agua en zonas de alta temperatura contiene un alto nivel de sólidos disueltos que se depositarían en el sistema de distribución, obligando a reponer las tuberías en corto plazo. Es necesario entonces, encontrar métodos para extraer el calor del agua y utilizarlo para calentar agua fría comparativamente pura.

Investigaciones y estudios in situ del potencial geotérmico incluyen técnicas de medición muy sofisticadas, además del análisis y el procesamiento de datos, que requiere esfuerzos conjuntos de un cierto número de disciplinas científicas especializadas.

Durante las primeras experiencias prácticas para aplicar la energía geotérmica en Islandia se explotaban exclusivamente los campos de baja temperatura a través de técnicas de ingeniería relativamente directas. Con el aumento de la población urbana y la ampliación de los sistemas distritales de calefacción fue necesario realizar perforaciones a mayores profundidades y en años recientes se inició la explotación en las zonas de altas temperatura, tanto para fuente de calor como para la generación de energía.

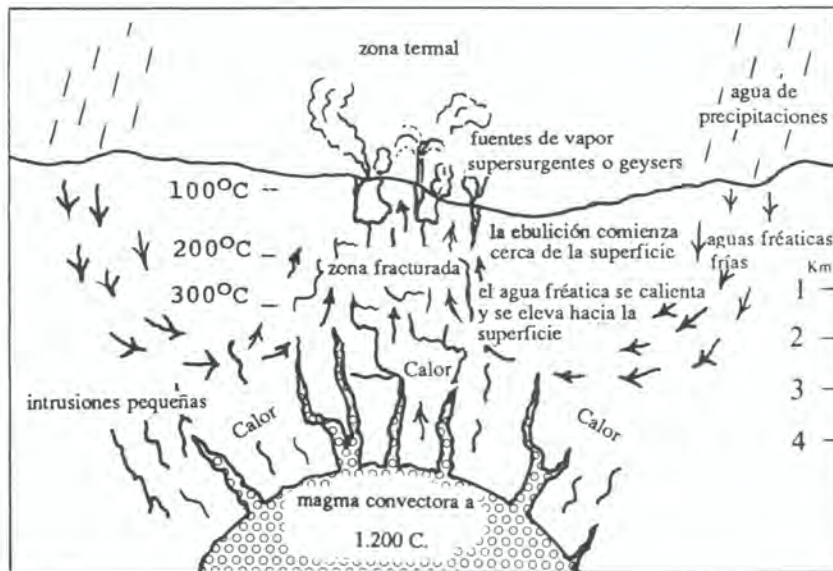


Fig. 1: Modelo de un sistema geotérmico donde se demuestra el mecanismo de convección por el cual el agua de las precipitaciones abastece la fuente de agua caliente (el ciclo puede durar cientos de años).



### Necesidad de Investigación Multi-disciplinaria

Las perforaciones en profundidad y la explotación en zonas de alta temperatura implican un gran esfuerzo y una gran inversión económica, y por lo tanto son necesarios intensivos estudios previos. La investigación en energía geotérmica en Islandia es responsabilidad del Orkustofnun (Junta Nacional para la Energía), establecida en 1967 para estudiar los recursos energéticos y asesorar al gobierno en todos los aspectos concernientes al desarrollo de la energía. Antes de la creación del Orkustofnun, la Junta Estatal para la Electricidad llevaba a cabo la investigación en la energía geotérmica.

Diversas disciplinas participan en la exploración superficial para ubicar fuentes potenciales de energía y seleccionar las ubicaciones donde realizar perforaciones exploratorias y productivas. Los geólogos preparan mapas detallados incluyendo las fallas geológicas, las fisuras y las temperaturas en todo lugar que indique la existencia de calor subterráneo.

Los geofísicos utilizan diversos métodos para obtener información sobre la extensión del fluido térmico, incluyendo ensayos de resistividad eléctrica. Esta resistividad está estrechamente relacionada con el patrón estructural de las capas de roca, así como con la cantidad y la temperatura del agua que contiene, según se refleja en las distorsiones del patrón de conductividad (sondeos de Schlumberger) o en el patrón de campos magnéticos naturales o inducidos (sondeos magneto-telúricos). Se perfeccionó en Islandia un método para localizar acuíferos geotérmicos formados por fallas geológicas en base al perfilado frontal, una extensión de las medidas de resistividad utilizado por primera vez en China y que consiste en la integración de varios perfiles de la misma región.

Los geo-termómetros químicos son indicadores naturales de los niveles geotérmicos formados por las sustancias químicas contenidas en los manantiales de agua caliente y en las emanaciones de gas y vapor de las fumarolas. Los niveles y las proporciones de las sustancias disueltas en las muestras indican a los geoquímicos temperatura en profundidad.

A la fecha, se efectuaron más de 2000 perforaciones de agua caliente con una profundidad combinada de cerca de 500 km. Las perforaciones varían de 200 mt. a 2.500 mt. de profundidad, según la naturaleza del suelo. Si se compara con la profundidad de 8 metros de la primera perforación, es evidente que existe una diferencia de tecnología abismal en el nivel de exploración y desarrollo en Islandia entre el siglo dieciocho y la época actual.

### Economía, Limpieza y Calor adecuado

Si se estudia en Islandia la conversión del potencial geotérmico en energía, éste representa al menos en teoría, una fuente para abastecer fácilmente toda la energía necesaria del país.

Se estima que la capacidad bruta de energía hidroeléctrica asciende a 187.000 GW h/año, de los cuales 64.000 GW h/año son aprovechables, y 40—50.000 GW h/año se consideran económicamente viables. Cerca de un 10% de ésta última cifra, o sea 4.000 GW h/año ya se están aprovechando.

Por otro lado, la base de recursos geotérmicos accesible (a profundidades de menos de 3 km.) se estima en  $2.78 \times 10^{10}$  GW h, y de ésta cifra se estima que  $9.7 \times 10^8$  GWh son recuperables a través de las perforaciones. Hasta la fecha únicamente se utilizaron 9.000 GW h, que representa menos de un milésimo del 1% del potencial recuperable, y a pesar de ello, la energía geotérmica en Islandia representa cerca de un tercio del total de energía consumida.

Las consideraciones económica y la ubicación son elementos que limitan la función actual de la energía geotérmica en el sistema nacional energético. La energía geotérmica es una fuente de calor sumamente económica para las necesidades de ciertos niveles de temperatura, pero resulta difícil de transportar a grandes distancias. Las zonas de alta temperatura son una fuente primaria económica de electricidad. Pero si se requieren grandes cantidades de energía para un determinado mercado, la energía hidroeléctrica está considerada como una mejor alternativa.

Es por ello que la energía geotérmica se utiliza en Islandia principalmente para la calefacción espacial, que se abastece con cerca de un 70% de la energía de las perforaciones.

### Primeras Actividades

A principio de éste siglo durante los años 1908 a 1924, se realizaron los primeros experimentos en calefacción espacial con energía geotérmica, a través de la instalación de algunos sistemas caseros en granjas privadas principalmente en la región oeste y sur-oeste del país. De 1924 a 1930 se construyeron un número de internados y un hospital en diferentes partes del país en sitios donde existían fuentes de calor geotérmico, que se aprovecharon para calefacción y para las piscinas de natación.

El primer sistema de calefacción urbano a nivel distrital se desarrolló en Reykjavik, cuyo nombre hace atributo a la presencia del vapor natural. Hoy en día ya no se ve el vapor, canalizado dentro del sistema de calefacción de la ciudad, y Reykjavik es una capital "sin humo".

Perforaciones realizadas en 1928 al este de la ciudad, cerca de los manantiales calientes, produjeron un caudal de agua de 14 l/s (litros por segundo) a 87°C. Se practicaron 14 perforaciones, las más profundas a 400 metros, con un taladro adquirido y utilizado infructuosamente para la búsqueda de oro.

En 1930 se construyó un sistema de distribución para abastecer de agua caliente a la nueva piscina cubierta de la ciudad, al Hospital Nacional y a cerca de 70 viviendas. En 1933 las autoridades adquirieron los derechos de perforación en Mosfellsoveit, a 15 km. al noreste de Reykjavik, donde se encontró suficiente agua caliente para proyectar un sistema de calefacción para toda la ciudad en base al tamaño de entonces. Los trabajos de instalación y desarrollo del sitio para el sistema de calefacción se demoraron por la Segunda Guerra Mundial, pero en el otoño de 1943 el Sistema de Calefacción Distrital de Reykjavik comenzó a operar, con una producción de 200 l/s y sirviendo a 2.300 viviendas.

Los años de la guerra y la década subsiguiente presenciaron los cambios sociales y demográficos más importantes en la historia de Islandia y el gran crecimiento de Reykjavik, por lo cual muy pronto la capacidad del sistema resultó inadecuada para las necesidades.

Mejores métodos de exploración científica revelaron la existencia de grandes reservas de agua caliente dentro del perímetro de la ciudad, que fueron desarrollados en la década de 1950 y 1960. Subsecuentes perforaciones profundas en Mosfellssveit y zonas cercanas permitieron aumentar la producción de agua caliente, y otras tres municipalidades en la zona de la capital, Kópavogur, Gardabaer y Hafnarfjörður firmaron acuerdos entre los años 1973 a 1976, para extender los servicios y abastecer a estos municipios.

Las siguientes fuentes abastecen el Sistema de Calefacción Distrital de Reykjavik:

Mosfellssveit	1.525 l/s	a	86°C
Laugavegur	330 l/s	a	127°C.
Ellidaaár	210 l/s	a	93°C.

El agua en los sistemas de abastecimiento de agua caliente como el de agua fría son relativamente puros. Las sustancias en estado de solución en el agua caliente varían ligeramente de una perforación a otra, entre 200 y 300 miligramos por litro, y cerca de la mitad de esta cantidad es sílice. El agua fría contiene menos de 70 mg/l. Se han detectado un número insignificante de bacterias, que hace potable la calidad del agua sin necesidad de clorinación y resulta excelente para el lavado por su condición de agua blanda.

La desgasificación es el único tratamiento que recibe el agua caliente, dado que contiene gases disueltos, especialmente nitrógeno que podría eventualmente desprenderse y acumularse en las partes más altas del sistema de calefacción (por efecto de la disminución de presión) ocasionando



obstrucciones en los radiadores. El agua a temperaturas muy altas es desgasificado por medio de un "centelleo", disminuyendo ligeramente la presión para que el gas se desprenda durante la ebullición parcial resultante. En el caso del agua a temperaturas de menos de 100°C, la desgasificación se realiza en cisternas abiertas. El agua caliente que brota de la perforación está libre de oxígeno, y por lo tanto puede distribuirse por cañerías corrientes de acero sin peligro de corrosión.

Los primeros sistemas de distribución de la ciudad fueron simples cañerías que eliminaban las aguas a 80°C luego de recorrer los radiadores de los consumidores. Más tarde, cuando se iniciaron las perforaciones a mayores profundidades en Reykjavik, se obtuvo agua a más de 100°C grados de temperatura, y se introdujeron sistemas de doble cañería y mixtos para que el agua mezclada con la de la cañería de retorno del sistema mantenga una temperatura constante de 80°C.

En 1961 más de la mitad de la población de Reykjavik contaba con sistemas de calefacción geotérmica; hacia 1970 la cifra ascendía a un 94 % y desde entonces aumentó hasta más de un 99 % de la población. Tal como se mencionó anteriormente, el Sistema de Calefacción Distrital de Reykjavik se amplió para servir a otras tres municipalidades cercanas y vende agua a varios otros sistemas locales, es decir que el sistema proporciona agua caliente a 127.000 personas o sea el 50% de la población del país.

### Beneficios Múltiples

En 1985, el calor por agua caliente que suministró el Servicio Distrital de Reykjavik alcanzó a 2.200 GW h, equivalente al contenido en 350.000 toneladas de petróleo. Si los consumidores hubiesen utilizado petróleo en lugar de agua caliente, se hubiesen emitido 3.800 toneladas de anhídrido sulfuroso, 1.600 toneladas de compuestos de nitrógeno y 410 toneladas de cenizas y hollín. Además el agua geotérmica en Reykjavik cuesta actualmente cerca del 75% de las tarifas de electricidad más económicas.

La capacidad de los terrenos que abastecen de energía al sistema de Reykjavik se está distendiendo: aumenta el bombeo y disminuyen los niveles de agua, que a su vez aumentan los costos del bombeo. Se adquirieron nuevos terrenos en Nesjavellir a 26 km. al este de la ciudad y las perforaciones experimentales encontraron agua a más de 300°C. Se practicaron 16 perforaciones y en 1988 finalizará la primera etapa del programa para proporcionar 100 MW<sub>T</sub> de intercambio de calor. Se estima que un posterior desarrollo del lugar permitirá producir 400 MW<sub>T</sub>, que satisficará las necesidades de la capital por largo tiempo. También se está estudiando la posibilidad de generar electricidad.

Existen actualmente 29 sistemas distritales de calefacción en Islandia en base a la energía geotérmica que suministra cerca del 84% de la energía utilizada para calefacción, como también el agua para muchas piscinas de natación. De estos sistemas, cuatro utilizan fuentes de alta temperatura, los dos más importantes son el de las Islas Westman y el de la península de Reykjanes, al suroeste de Reykjavik.

En las islas Westman el sistema distrital de calefacción se estableció aprovechando la energía de la lava, luego de la erupción espectacular en 1973. Está energía abasteció desde entonces las necesidades de calor para una comunidad de 5.000 habitantes, a pesar de que se estima que se agotará en unos pocos años. La experiencia en la península de Reykjanes se describe posteriormente.

### Generación de energía eléctrica, industria, agricultura y esparcimiento

#### - Una reseña de las aplicaciones "menores"

A pesar de no tener la importancia y la escala de la calefacción distrital, existen otras aplicaciones de la energía geotérmica en Islandia, algunas de ellas exclusivas, y el futuro desarrollo de las mismas puede alterar en forma significativa el equilibrio actual. Las aplicaciones ya establecidas incluyen la generación de energía eléctrica, extracción de energía por intercambio de calor para procesos de

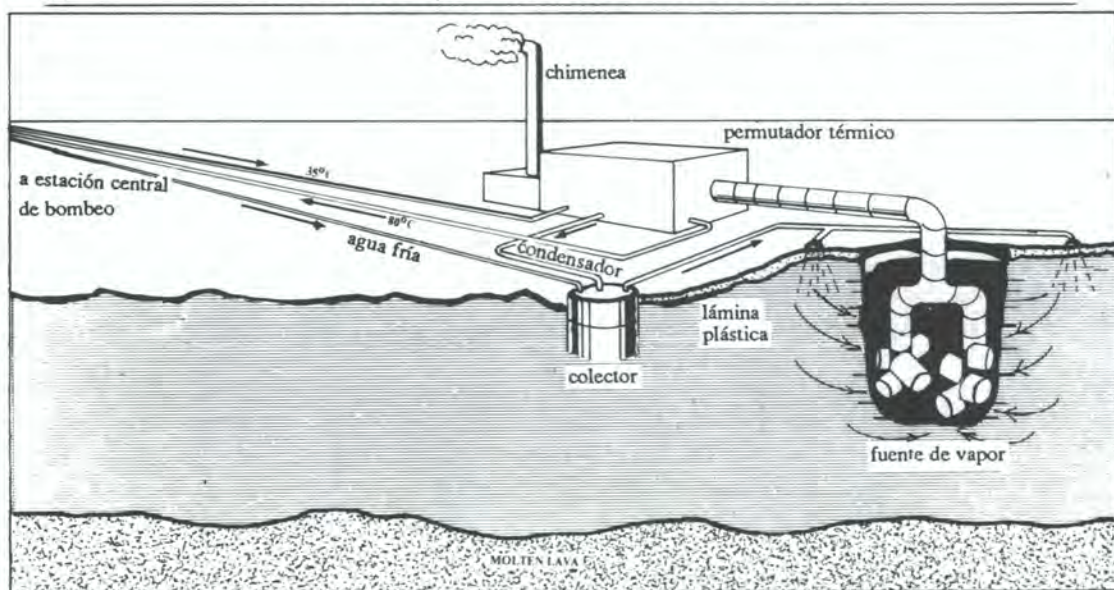


Fig 2: El sistema de intercambio de calor de las Islas Westman se alimenta de una erupción volcánica acaecida en 1973. El vapor se eleva por corriente natural a través de la chimenea. El condensado, suplantado con agua fría, regresa a la tierra donde a su vez estimula la producción de vapor. Cuatro de estas unidades, cada una produciendo cerca de  $20 \text{ MW}_t$  abastecen prácticamente todas las necesidades de agua caliente del pueblo.

secado y cultivos en invernaderos, y las nuevas esferas de aplicación incluyen los productos químicos, los centros de salud y criaderos de peces.

Siete municipios locales en la zona de Sudurnes, (la península de Reykjanes) poseen la mayoría de las acciones de la planta energética "Sudurnes Regional Heating en Svartsengi"; el resto es propiedad del estado. La planta se estableció en 1975 para explotar los recursos geotérmicos en la península y proporcionar un servicio de calefacción a las comunidades vecinas. Las leyes parlamentarias de 1984 y 1985 ampliaron sus funciones, autorizando la generación y venta de electricidad y reduciendo las acciones del estado a un 20%.

La península de Reykjanes está formada con lava de alta porosidad fácilmente permeable tanto por el agua de lluvia como por el océano circundante. Prácticamente no existe escurrimiento superficial y el agua fresca de las precipitaciones pluviales se filtra en la lava y flota en la capa salina inferior. Es así como las perforaciones superficiales en Reykjanes recuperan el agua fresca fría mientras que las perforaciones más profundas llegan hasta el agua caliente salobre en los niveles inferiores.

El fluido geotérmico en Svartsengi tiene dos tercios de la salinidad del agua de mar, que imposibilita su uso directo en un sistema de calefacción por los efectos corrosivos del contenido químico. Por otro lado resulta inadecuado para el uso doméstico. Un sistema ingenioso de separadores y permutadores térmicos circunviene estos problemas utilizando el contenido energético del agua salobre a  $240^\circ\text{C}$ . para calentar el agua fresca que se utiliza en el sistema de distribución y permite que parte del vapor se utilice a alta presión para la generación de electricidad ( $8 \text{ MW}$ ). Otro aspecto importante del proceso es la desgasificación del agua fresca antes de ser utilizada para el abastecimiento.

El agua de Svartsengi se bombea a una temperatura de  $83^\circ\text{C}$  a través de cañerías superficiales hacia el sur hasta el pueblo cercano de Grindavik para que llegue al consumidor a  $80^\circ\text{C}$ . y hacia el norte hasta una estación de bombeo y distribución en Fitjar a  $120^\circ\text{C}$ , donde se mezcla con el agua



de retorno del aeropuerto de Kiflavik para ser bombeada posteriormente a otras comunidades servidas por el sistema de calefacción regional de Sudurnes. Cerca de 20.000 personas se benefician actualmente con el sistema de agua caliente y desde 1984 la compañía de energía suministra electricidad a la región de Sudurnes satisfaciendo casi la cuarta parte de sus necesidades.

Mediciones llevadas a cabo en Svartgsengi demuestran que los niveles descienden rápidamente, y por lo tanto se está investigando la posibilidad de re-inyectar el agua descartada. Hasta el momento el agua se acumula naturalmente en una laguna cercana a la planta, convertida en "Laguna Azul" por la precipitación de una capa gruesa de sílice blanco que origina una coloración por reflexión y refracción natural.

Se le han asignado al agua de la "Laguna Azul" propiedades medicinales. Hace pocos años se descubrió que las personas aquejadas con psoriasis y eczemas mejoraban su condición luego de nadar en la laguna, y desde entonces se construyeron servicios para que la población utilice las aguas como tratamiento de salud. Recientemente se anunciaron planes para ampliar y mejorar éstos servicios.

### Se interrumpen los trabajos por la actividad magmática

El desarrollo geotérmico en Frafla comenzó en 1974 con el fin de construir una planta generadora de electricidad de 60 MW para reducir la dependencia del norte del país en las líneas de transmisión del sur. Las primeras perforaciones indicaron la existencia de fuentes de energía muy productivas, una sola de ellas con capacidad para producir 20 MW.

Los estudios geológicos en la zona de Krafla mostraron una previa actividad magmática, y por lo tanto el proyecto se elaboró calculando el riesgo implícito. El registro geológico indicaba un período promedio de tranquilidad entre las actividades volcánicas de cerca de 600 años durante los últimos 30.000 años. Dado que la última actividad volcánica se registró en 1729, es decir solo 250 años antes, se consideró suficientemente seguro el sitio para construir una planta de energía.

Un año después de iniciadas las perforaciones, a fines de 1975, la actividad magmática localizada a solo dos kilómetros del sitio perturbó seriamente la marcha del proyecto, especialmente por los desprendimientos de gases magmáticos que transformaban los fluidos geotérmicos en ácidos que a su vez provocaban corrosión, de forma tal que en el término de un mes fue necesario clausurar algunos pozos de producción por los depósitos acumulados.

Se trasladaron las perforaciones, procurando alejarse de la cámara magma inferior, sin embargo durante las perforaciones en un embalse no contaminado, la alta relación del vapor con respecto al agua, inadecuados al diseño de las turbinas, provocó nuevos problemas.

Estudios posteriores, y una evaluación de la experiencia demostraron que el terreno en Krafla es mucho más complicado que lo supuesto inicialmente, y se trata de un sistema dinámico que no se ha asentado aún como para permitir la construcción de un patrón estructural fijo.

Eventualmente, entre 1982 y 1983 se desarrolló una pequeña represa a dos kilómetros del lugar de las primeras perforaciones, que genera aproximadamente 30 MW de electricidad. Un generador que produce 26 MW satisface las necesidades actuales de energía, y existe otro de 30 MW que no está en servicio activo.

### Usos industriales: calor para secado

La Compañía Islandesa de Diatomita (Kisilidjan) es la principal consumidora industrial de energía geotérmica en el país, y también la primera. Constituida en 1966, el estado es el principal accionista, conjuntamente con una corporación americana y autoridades locales. La producción se inició en mayo de 1968.

La diatomita se utiliza para actividades de filtración en la industria de los alimentos y como material de relleno en pasta dentífricas, pinturas y otros productos. En el fondo del Lago Myvatn



se encuentra un depósito natural de tierra diatomita, una de las atracciones naturales más hermosas de Islandia. Se extrae por bombeo durante los meses de verano, y la sustancia se concentra y almacena en una laguna de contención cercana a la fábrica. La energía geotérmica se utiliza para secar el producto en hornos rotatorios, donde se aumenta la proporción de materia sólida de un 45% a un 99 %, y además para impedir que la laguna se hiele durante el invierno.

La fábrica de diatomita es la única en el mundo que utiliza la energía geotérmica para el secado. Dos perforaciones a temperaturas de 180 a 200°C. suministran entre 260.000 y 300.000 toneladas de vapor que se utilizan anualmente para producir alrededor de 26.000 toneladas de tierra diatomita seca.

Durante más de una década la energía geotérmica se aplicó para el secado de algas marinas en Reykhólar, en la costa nor-este de Breidfjörður al oeste del país. Se utiliza en permutadores térmicos el vapor de dos perforaciones a 110°C para calentar el aire que se sopla sobre las algas marinas. En Breidfjörður se recogen dos especies de algas, *Ascophyllum nodosum* y *Laminaria digitata* que posteriormente se exportan a varios países para el consumo humano, como aditivo para forrajes y para el procesamiento en industrias químicas y cosmetólogas. La producción anual es de cerca de 4.500 toneladas, y el producto puede competir favorablemente en el mercado mundial debido al proceso de secado libre de contaminación y a la alta calidad resultante.

### Concentrados Químicos

Unos pocos kilómetros al sur-este de Svartsengi, las propiedades químicas del agua geotérmica salobre se convierten en un recurso industrial para la Gykjanes Geo-Chemicals, una compañía de propiedad del estado, comunidades locales y capitales privados. En los terrenos de la compañía se encuentra una de las perforaciones más potentes del mundo, la R9 de 1.445 metros de profundidad con un potencial de energía de 165 MWT, aún no aprovechados.

Desde su fundación en 1981, la compañía ha operado principalmente en carácter experimental, utilizando la energía geotérmica y el agua salobre de uno de los pozos de ensayo de la zona, perforado hace 13 años. La perforación produce una mezcla de agua salobre y vapor en proporción de 3:1 a una temperatura de 180°C y una presión de 10 barios. La planta utiliza 50 toneladas de vapor por hora. Hasta el momento, la producción se concentró especialmente en la elaboración de sal (cerca de 2.000 toneladas anuales), sin embargo se está procurando alcanzar una cifra de 6.000 toneladas anuales.

Durante los últimos meses se desarrolló una nueva técnica para controlar la precipitación del sílice en el agua geotérmica salobre. Utilizando el calor geotérmico se concentra el agua salobre por evaporación hasta el punto de saturación del sílice. Se dilata la precipitación de la sustancia con ácido clorhídrico y se compensa la acidez resultante añadiendo hidróxido de sodio. Ajustes en la concentración permiten determinar el tamaño de las partículas de la precipitación del sílice de tal manera que en vez de solidificarse descontroladamente en forma de película en las superficies del equipo, obstruyendo la cañerías y los permutadores térmicos toma la forma de una lechada de sílice.

En base a esta lechada se están desarrollando tres productos: una pomada para la psoriasis, otra para los problemas de acné juvenil y una máscara cosmética.

Una posterior evaporación del agua, luego de la extracción del sílice produce sal, que se cristaliza en bateas abiertas.

La planta de productos geoquímicos de Reykjanes comenzó asimismo la producción de anhídrido carbónico, inicialmente para producir 700 toneladas anuales. Se preve un gran potencial para el mercado doméstico, tanto en forma líquida que se utiliza en la graduación atmosférica de los invernaderos, en las bebidas refrescantes y los procesos de congelamiento rápido, como en forma de hielo seco para el transporte de alimentos, la preservación de alimentos en las aeronaves y otros.

Los planes futuros incluyen la exportación de un "concentrado de mar" con un equilibrio iónico

similar al del cuerpo humano para fines terapéuticos y la extracción de una amplia variedad de sustancias químicas del agua salobre, tales como sales de litio, sales de bromuro, cloruro de calcio y cloruro de potasio.

### Agua caliente para alimentación y salud

Los cultivos en invernaderos desempeñan una función importante en Islandia, ya que las condiciones climáticas limitan la variedad de plantas que pueden crecer en condiciones naturales. Invernáculos comerciales permiten cultivar todas las flores que se comercializan en el país, así como también más de 1.000 toneladas anuales de verduras, tales como tomates, pepinos y pimientos. La superficie total de los invernaderos comerciales asciende a 170.000 m<sup>2</sup>. Asimismo es cada vez más popular la construcción de pequeños invernaderos en los jardines familiares, utilizando el agua residual de sus sistemas de calefacción domiciliarios.

Islandia ha comenzado tardíamente pero muy promisoriamente las actividades para la cría de peces. Se estima que el potencial de los productos de acuicultura puede alcanzar hasta un cuarto del total de la exportación del país hacia fines de éste siglo. Si bien la función de la energía geotérmica es pequeña aún, es importante por lo económico que resulta el abastecimiento de agua caliente para acelerar el crecimiento de los peces. Uno de los principales factores para fortalecer la industria es que existe abundante agua en las perforaciones para el abastecimiento de agua caliente y fría libre de bacterias, que evita la necesidad de recurrir al tratamiento químico o al uso de antibióticos para prevenir las enfermedades, permitiéndo una producción de peces de mejor calidad, en un medio verdaderamente natural.

Finalmente, todavía se practica en gran escala una de las aplicaciones más antiguas del agua geotérmica, es decir en baños y piletas de natación. Existen en Islandia 111 piletas de natación, (una por cada 2.200 personas), con un volúmen total combinado de 30.000 m<sup>3</sup> y la natación forma parte importante en la vida de la comunidad.

A pesar de que el uso pasivo de la energía geotérmica para baños y lavado de ropa ha sido utilizado por siglos, recién en los años 1920 comenzó a aplicarse en forma más activa. Desde entonces, tanto en Islandia como en otros países, el vapor y el agua caliente natural se aprovecha en un ámbito más amplio. La aplicación de nuevas tecnologías junto con amplias facilidades para la investigación permitieron un mayor desarrollo de ésta pequeña nación del Atlántico en los límites con el Océano Artico. A través del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, y el departamento de estudios geotérmicos de la Universidad de las Naciones Unidas con sede en Reykjavik se comparte esta valiosa experiencia con el resto de la comunidad mundial.

### LECTURAS COMPLEMENTARIAS SUGERIDAS

1. Armstead H.C.H., 1978: *Geothermal Energy: Its Past, Present and Future Contribution to the Energy Needs of Man*. E.í F.N. Spon, Londres
2. DiPippo, R. 1980: *Geothermal Energy as a Source of Electricity*. Departamento para la energía de los Estados Unidos, Washington, D.C. DOE.RA.28320-1
3. Fanelli, M & Taffi, L. 1980: *Status of Geothermal Research and Development in the World 26o*. Congreso Internacional de Geología (Publicado en: *Revue d l'Institut Franáaise du Pétrole*, XXXV, 429-448).
4. Gudmundsson, J.S. & Pálmason, G. 1981: *World Survey of Low Temperature Geothermal Energy Utilization* Orkustofnun, Reykjavik, OS81005/JHD02.
5. Rybach, L íMuffler, L.J.P. 1981, *Geothermal systems: Principles and Case Histories* J. Wiley & Sons, Nueva York
6. Brianza, M. Guglielminetti, M. Invernizzi, G & Sommaruga C., 1984 *Industrial Non-Eletric Uses of Geothermal Fluids*. Seminario sobre el uso de la Energía Geotérmica para la Producción energética y la Calefacción del Espacio, Florencia, mayo de 1984.





## CAPTACION DE AGUAS DE MANANTIALES

por Dan Campbell, Especialista en Información,  
Proyecto Sanitario de Agua y Saneamiento

y Craig Hafner, Oficial Adjunto de Proyecto  
Proyecto Sanitario de Agua y Saneamiento

### INTRODUCCION

Se denomina manantial o fuente de agua surgente al lugar donde las aguas subterráneas brotan en la superficie. Las aguas surgentes llegan a la superficie cuando una capa de material de arcilla o roca impide su flujo descendente. En general, se encuentran en las laderas de las colinas o en las cuencas de ríos. También el crecimiento de vegetación verde en una zona árida puede ser índice de la existencia de un manantial. El flujo de las aguas surgentes se rige por una serie de factores; una zona de acumulación de agua en una cuenca fluvial, el promedio de filtración de agua a través del suelo, el espesor de la tierra adyacente al acuífero y la capacidad de almacenamiento de la tierra.

Las aguas surgentes varían en función de las estaciones y tienden a disminuir durante las estaciones de lluvia (pueden tener un flujo normal luego de una prolongada estación seca antes de secarse, y no reiniciar el flujo hasta muy avanzada la estación de lluvias).

Los efectos filtrantes del suelo hacen que las aguas surgentes carezcan de organismos patógenos nocivos para la salud. Sin embargo algunos manantiales fluyen a través de piedra calcárea o fisuras y grietas geológicas en las rocas, que disminuyen al mínimo los efectos filtrantes y facilitan la contaminación de las aguas.

### Selección de manantiales

Para seleccionar un manantial como potencial fuente de agua, se considerarán los siguientes puntos:

1. debe tener un flujo adecuado y seguro de agua,
2. debe ser agua potable,
3. debe ser accesible y cómodo para el usuario, y
4. debe posibilitar la captación de agua.

Un simple método permite verificar el primer punto: determinar la suficiencia del flujo de agua. Para ello se requiere un balde o recipiente con un volumen específico y un reloj con cronómetro. Medir el tiempo que requiere llenar el recipiente de agua. Dividir la cantidad de agua por el tiempo insumido para determinar el promedio de litros por minuto. Por ejemplo si un recipiente de 10 litros se llena en 45 segundos, el promedio del flujo será de:

$$\frac{10 \text{ litros}}{45 \text{ segundos}} = 0.22 \text{ litros/segundos}$$

$$0.22 \text{ litros/segundo} \times 60 \text{ segundos (un minuto)} = 13.2 \text{ litros/minuto}$$

Resulta fácil entonces determinar el volúmen de agua disponible en un período de 24 horas, multiplicando el número de litros por minutos por 60 para establecer la cantidad de litros por hora. Por ejemplo:

$$13.2 \text{ litros/minuto por } 60 = 792 \text{ litros/horas}$$

Multiplicar la cantidad de litros por hora por 24 (24 horas en un día) para hallar el flujo diario. Por ejemplo:

$$792 \text{ lts/hora} \times 24 \text{ horas/día} = 19.008 \text{ litros por día}$$

Se compara esta cantidad con las necesidades diarias de la comunidad, multiplicando el número de usuarios por la cantidad de litros que cada persona utiliza diariamente. Por ejemplo, una población de 300 personas que utilizan 40 litros por día requerirán 12.000 litros de agua diarios. La fuente puede utilizarse también como abrevadero para el ganado. En términos generales cada animal necesita diariamente como mínimo las siguientes cantidades de agua: vacas de 10 a 25 litros, búfalos de 15 a 20 litros, cabras de 5 a 19 litros, pollos 5 litros por docena.

Un manantial resulta eficaz cuando el flujo de agua es constante y adecuado durante las estaciones secas y de lluvia.

Para satisfacer el segundo punto se requiere un estudio sanitario.

El primer paso del estudio es determinar las condiciones físicas en la superficie. Si existen grandes grietas o fisuras en el lecho de rocas cercanas al manantial facilitarán la contaminación de las aguas con la escorrentía de la superficie, que se filtra a través de las fisuras y puede contaminar las aguas subterráneas.

Identificar primeramente el origen del manantial. Muchas veces una corriente desaparece en la tierra a través de una pequeña fisura y surge nuevamente en tierras más bajas, y lo que aparenta ser un manantial, no es más que una corriente que fluye en forma subterránea durante una distancia corta. En general son aguas contaminadas que corren durante la estación de lluvias.

Determinar entonces si existen potenciales fuentes de contaminación fecal. Zonas ganaderas, tanques sépticos y otros puntos de eliminación de aguas de alcantarillado son focos de contaminación, especialmente si se encuentran en zonas más altas que la fuente de agua o a menos de 100 metros, facilitando la contaminación y el contagio de enfermedades bacterianas.

El segundo paso del estudio sanitario es el exámen de la zona aledaña al manantial. El tipo de suelo indicará las probabilidades de contaminación. Las tierras permeables a una profundidad mayor de 3 mt. dentro de un radio de 15 mt. del manantial dificultarán el proceso de filtración. El agua fluye rápidamente a través de tierras gruesas impidiendo la filtración de impurezas. En caso de existir sospecha de contaminación, analizar el agua.

Las aguas que fluyen a través de rocas calcáreas o muy fisuradas están propensas a la contaminación. Los movimientos telúricos producen fisuras en la piedra calcárea que facilita la entrada de aguas superficiales de escorrentía prácticamente sin filtrar las impurezas. Si las aguas surgentes fluyen a través de un lecho de roca calcárea, comprobar la calidad del agua luego de la caída de fuertes lluvias. Si las aguas están turbias, indican un grado de contaminación en la superficie y deberán analizarse o de lo contrario escogerse otra fuente de agua. En la página 75, véase un ejemplo de un estudio sanitario para evaluar las aguas de manantial.

El tercer punto indica que la fuente de agua debe estar localizada lo más cerca posible del usuario para minimizar la tarea diaria de las mujeres y los niños en el acarreo del líquido. Se evitarán los cruces difíciles o peligrosos, tales como caminos, puentes de madera o aguas infestadas.

Para determinar el cuarto punto, la factibilidad de la captación de agua de un manantial, se considerarán varios factores, a saber:



- debe tener suficiente pendiente para un desagüe correcto,
- debe estar protegido de las inundaciones y de la desviación de aguas de escorrentía,
- debe tener suficiente pendiente para permitir la colocación de un recipiente bajo la tubería de salida,
- debe disponerse localmente de mano de obra y materiales tales como grava, piedras, arena y arcilla, y
- debe tener suelos firmes para la construcción de una estructura.

### Diseño de estructuras para manantiales

La selección de la estructura para la protección de fuentes de aguas surgentes depende de las condiciones geológicas de la zona, el material disponible y el nivel de capacitación de la mano de obra. El proyecto incluirá los siguientes documentos que serán entregados al supervisor de la obra.

1. Un mapa de la zona que incluya la ubicación de la fuente de agua y de las viviendas de los usuarios, la distancia entre los mismos, un corte frontal y otros datos importantes. Véase el mapa en la figura 1.
2. Una lista de la mano de obra, materiales y herramientas necesarias, a fin de asegurar la disponibilidad de los materiales y evitar demoras en la construcción.
3. Un plano con las dimensiones de la cámara, según el ejemplo de la figura 2. El plano muestra una vista frontal, lateral y superior y las medidas para una cámara de 1mt. x 1mt. x 1mt.

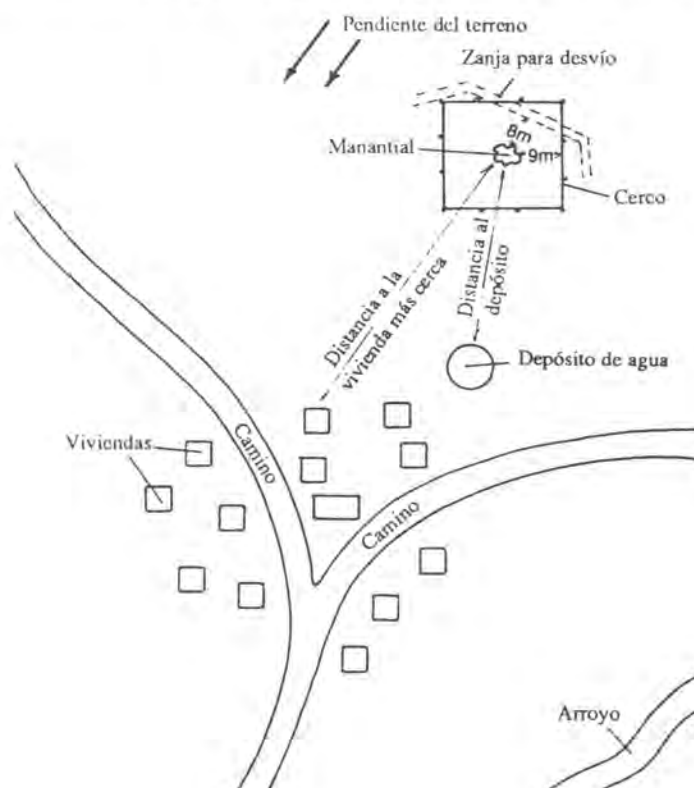


Fig. 1:

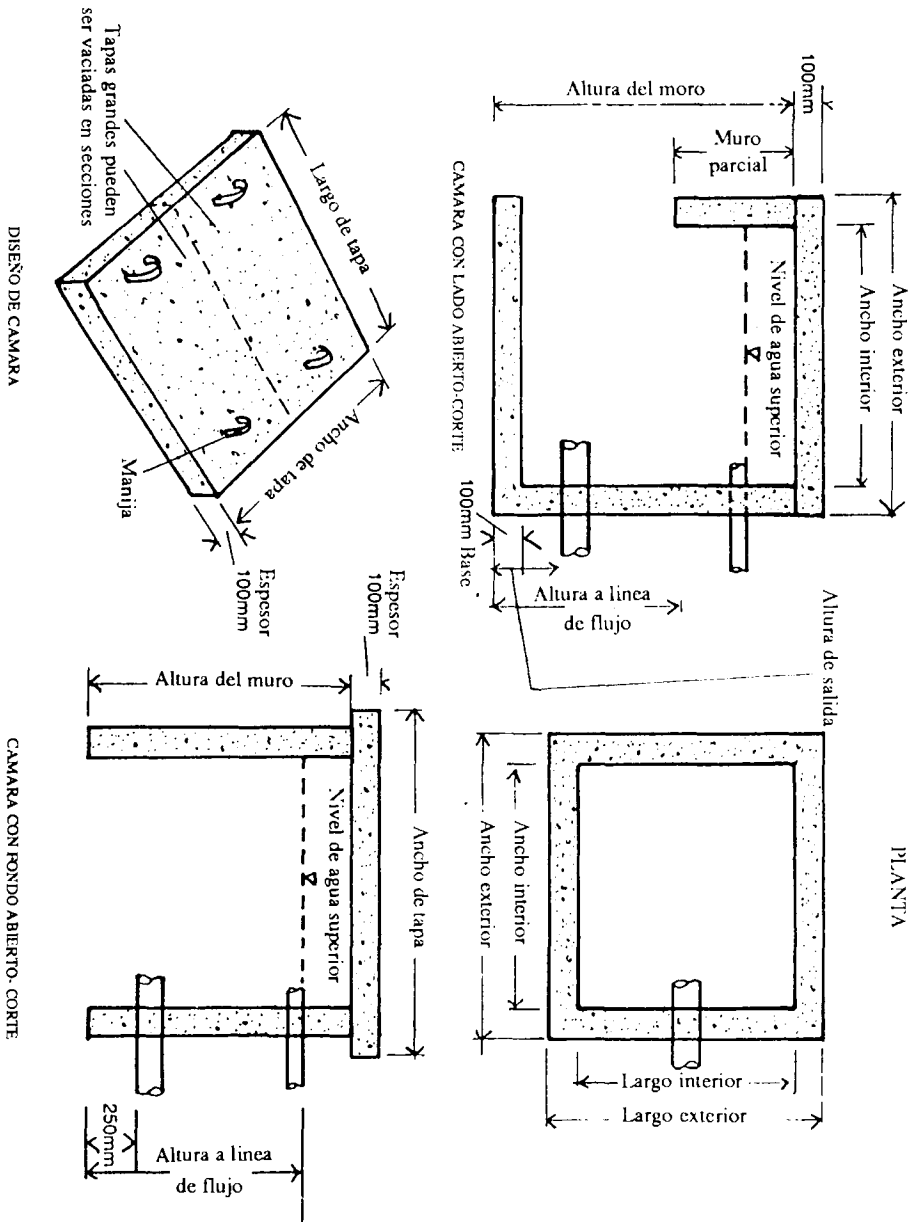


Fig 2:

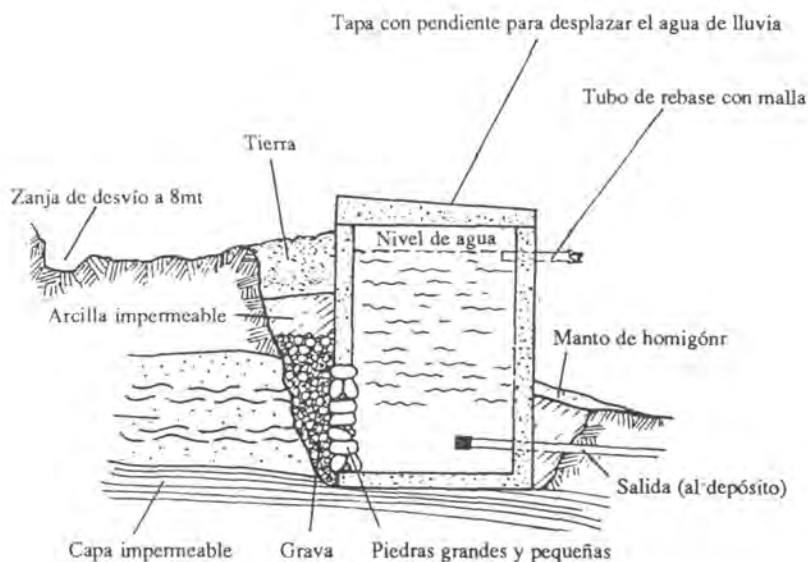
Existen varios diseños para tanques o cámaras de captación, pero las características son en general similares. Los tanques sirven para captar las aguas surgentes. También se utilizan como tanques de almacenamiento cuando abastecen a un pequeño número de usuarios y la fuente está ubicada a corta distancia de las viviendas. Cuando abastecen a un mayor número de personas, las aguas fluyen a tanques de almacenamiento más grandes. Este artículo estudia dos tipos básicos de cámaras, una con un lado permeable para la captación de agua en una ladera y otra con fondo permeable para la captación de agua de un manantial que brota en un solo punto a nivel del suelo. Para determinar el tipo de diseño adecuado excavar la zona aledaña al manantial hasta alcanzar una capa impermeable, ubicar la fuente y diseñar la cámara correspondiente.

### Cámara de captación con un lado abierto

Se requiere una cámara con un lado permeable para proteger los manantiales y captar las aguas. Excavar la zona alrededor del manantial a fin de captar para canalizar todo el flujo de agua hacia la cámara.

Construir una cámara de captación alrededor de la fuente, según indica la figura 3. Forrar con grava la zona excavada. La grava contra la abertura del manantial sirve de fundación de la cámara y evita que el flujo de agua erosione la tierra. Asimismo la grava filtra los sólidos suspendidos. La zona que se rellena con grava debe tener entre 0.5 mt. y 1 mt. de ancho, según el tamaño de la zona de captación del manantial. Para evitar la contaminación del agua, la grava debe estar a por lo menos 1 metro por debajo del nivel del suelo. Ubicar entonces el tanque de captación en la ladera o elevar el nivel del suelo con relleno.

Al excavar se tomarán las precauciones necesarias para no dañar las formaciones del terreno y evitar el desvío del flujo de agua hacia otra dirección u otra fisura. No obstante la excavación debe ser suficientemente profunda para permitir que la cámara se apoye en material impermeable. Si la cámara no llega al material impermeable, utilizar arcilla impermeable para sellar los costados de la misma.



CAMARA CON FONDO ABIERTO

Fig: 3

### Cámara de captación con fondo abierto

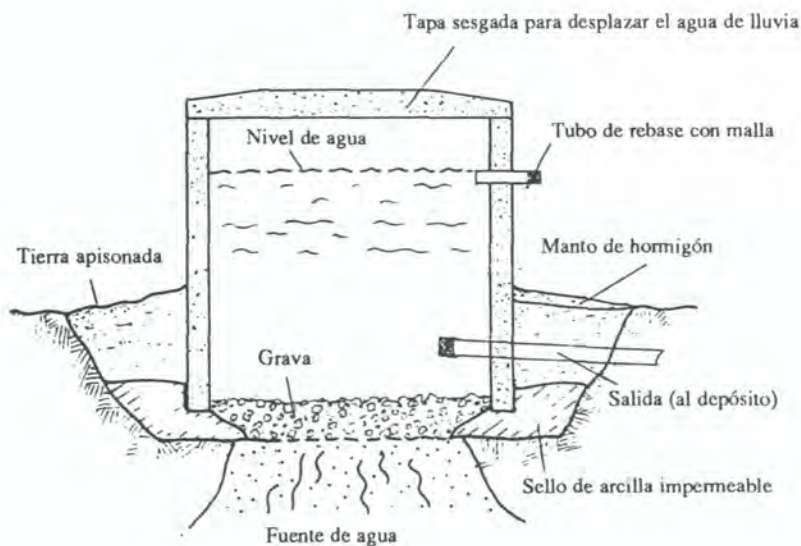
Un manantial que fluye a través de una fisura y brota en un solo punto en la superficie, permite utilizar una cámara con fondo abierto, tal como ilustra la figura 4. Se excava la zona alrededor del manantial. Se nivela y forra con grava la zona aledaña. Se coloca la cámara sobre el manantial y el fondo de grava y se sella con arcilla u hormigón los costados de la cámara para evitar filtraciones. Puede construirse un pequeño sumidero en el fondo para el depósito de sedimentos.

El diseño de ambos tipos de cámaras es básicamente el mismo, y tiene las siguientes características:

- Una cámara hermética para la captación de agua, construída en hormigón, ladrillos, tuberías de cerámica u otros materiales,
  - Una tapa pesada removible que previene la contaminación,
  - Un tubo para el desagüe por rebase, y
  - Una conexión a un tanque de almacenamiento o directamente a un sistema de distribución.
- La cámara con fondo abierto resulta más económica y fácil de construir. En general, el flujo de agua a nivel de tierra de un solo manantial permite fácilmente la captación de todo el flujo de agua. La excavación es menor, se requieren menos materiales, y por lo tanto disminuyen los costos.

La cámara debe construirse en el sitio para facilitar su instalación. Si los materiales son asequibles localmente, es preferible construir la cámara de hormigón. Por información sobre el uso del hormigón, véase la hoja de trabajo A.

Tres lados de la cámara deben ser impermeables, y según el tipo de material seleccionado, el fondo o el costado que apoya sobre la ladera serán permeables o abiertos. El lado permeable de una cámara abierta puede construirse parcialmente con hormigón, y parcialmente con grandes piedras y grava, tal como se ilustra en la figura 3. Las grandes piedras sostienen la cámara y permiten la circulación de agua. Se utilizarán piedras más chicas entre las rocas grandes para rellenar los huecos y filtrar el sedimento.



CAMARA CON FONDO ABIERTO

Fig 4:



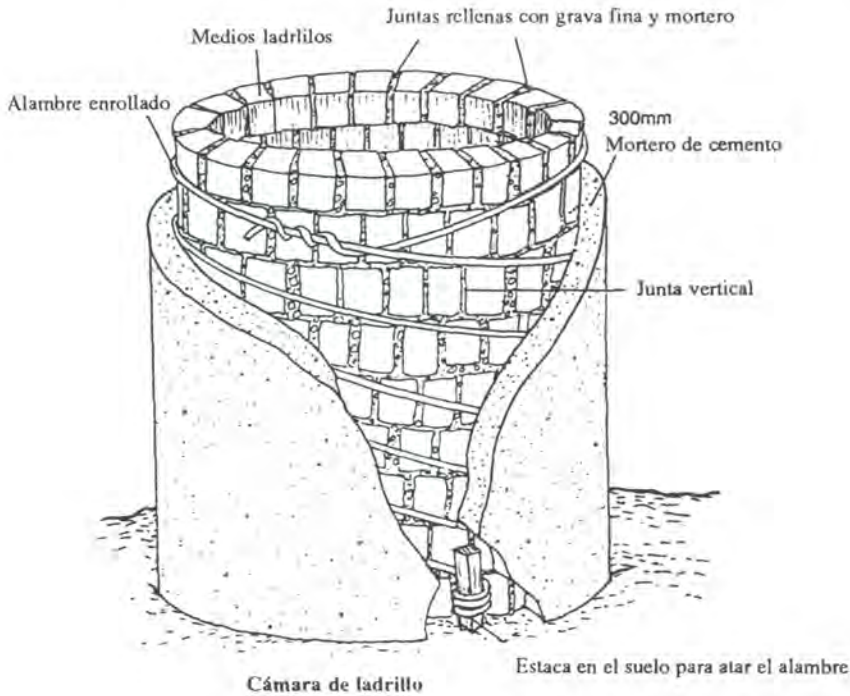


Fig 5:

Cámara de ladrillo

Estaca en el suelo para atar el alambre

Si no hay material disponible en la zona para construir una cámara de hormigón o si el costo es excesivo, existen otras alternativas especialmente útiles para desarrollar una sola fuente de agua surgente. Se colocarán alrededor del manantial grandes tubos prefabricados de hormigón o de cerámica a modo de cámara de captación. El agua asciende en el tubo y fluye por la tubería de salida. Incluso pueden construirse anillos de ladrillos y mortero para la captación de agua. Se utilizarán ladrillos rotos o partidos para construir los anillos, tal como ilustra la figura 5. Los ladrillos se colocan en forma circular de manera que las juntas verticales no coincidan y se rellenan los espacios con grava y mortero. Se colocan ladrillos hasta una altura de 0.90 mt. a 1.20 mt. El diámetro es variable, pero debe alcanzar aproximadamente entre 0.7 y 1. mt. Antes de la instalación se colocará una tubería de salida y de desagüe por rebase en la estructura con su correspondiente refuerzo. Este tipo de estructura es de construcción práctica y económica; requiere poco cemento y pueden utilizarse materiales locales.

La capacidad de la cámara depende de si se destina para depósito o para pre-almacenamiento. Si se destina a depósito debe ser lo suficientemente grande para contener un volumen similar a las necesidades de los usuarios durante un período de 12 horas. Por ejemplo, si un grupo de 100 personas utilizan 25 litros de agua diarios cada uno, consumirán 1.250 litros cada 12 horas. Un m<sup>3</sup> contiene 1.000 litros, consecuentemente el volumen de la cámara será de 1.25 m<sup>3</sup> (volumen= largo x ancho x altura). Si la cámara se utiliza para pre-almacenamiento y el agua fluye a otro tanque-depósito, la cámara puede ser más pequeña.

Se construye una tapa de hormigón armado para proteger el tanque de la contaminación exterior. El hormigón de la tapa debe vaciarse in situ para asegurar el ajuste perfecto. Debe sobresalir aprox. 0.10 mt. de la cámara para evitar la lluvia sobre la base de la misma, y ser lo suficientemente pesada para que los niños no puedan levantarla.

La cámara de captación contará con una tubería de desagüe por rebase. Dicha tubería se coloca un poco por debajo del nivel máximo de agua, y por lo menos a 0.15 mt. sobre el fondo del tanque.

Si la tubería se encuentra ubicada por sobre el nivel máximo de agua, el líquido no fluye y formará presión dentro del mismo. La presión puede causar que las aguas se acumulen y consecuentemente se desvíen. La tubería de salida estará protegida por una malla lo suficientemente fina para evitar la entrada de mosquitos, y lo suficientemente fuerte para impedir la entrada de animales pequeños. El tamaño de la tubería depende del flujo de agua. Se colocará en el exterior del tanque por debajo de la tubería de salida un drenaje de piedras o una losa de hormigón para evitar la erosión cerca de la base y canalizar el agua del manantial. Conviene instalar una tubería de 3 a 5 metros de largo para evitar que las aguas se estanquen.

Colocar una tubería de salida a por los menos 0.10 mt. sobre el fondo del tanque, conectada al sistema de distribución para evitar que la acumulación de sedimentos produzca una obstrucción. El tamaño de la cañería depende de la pendiente y del flujo de las aguas. Por regla general se utiliza una cañería de 30 mm. en una pendiente del 1% mientras que una inclinación de entre 0.5 y 1% requiere una tubería de 40 mm y en una pendiente de menos del 0.5% se utilizará una tubería de 50 mm. En algunos casos la misma tubería sirve para la salida y rebase de las aguas. La tubería de salida debe tener suficiente pendiente descendente para facilitar el flujo.

Luego de instalar la cámara se rellena el espacio posterior con tierra y grava, ésta como capa inferior. Sobre ella se forma una capa impermeable para impedir la filtración de aguas superficiales, que puede ser de hormigón o de arcilla impermeable formada por una mezcla de arcilla y agua apisonada hasta adquirir un espesor de 0.15 mt. Se colocan varias capas de arcilla apisonada en la parte posterior de la cámara.

Cuadro 1: Lista de materiales (ejemplo)

Partidas	Descripción	Cantidad	Costo Estimado
Mano de obra	Capataz Obreros	_____	_____
Materiales	Cemento portland Arena y grava limpia (o materiales disponibles locales) Agua (lo suficiente para hacer una mezcla firme) Malla metálica o varillas de armadura Tubos de hierro galvanizado o de plástico (para salida, rebase y colectores) Malla tamiz (para los tubos) Tablas y madera contrachapada (para los moldes) Aceite de motor usado u otro lubricante (para lubricar los moldes) Alambre Clavos	_____	_____
Herramientas	Palas y picos (u otra herramienta para excavar) Cinta métrica o varillas Martillo Serrucho Balde Escuadra de carpintero o similar (para escuadrar ángulos) Recipiente para mezclar hormigón Palanca de hierro Pinzas Llave para tubos Carretilla Destornillador Paleta de albañil	_____	_____

TOTAL COSTO ESTIMADO \_\_\_\_\_



Se sellará el área, y se recubre la cámara totalmente con tierra o se deja a la intemperie sobre el suelo. La cámara estará por lo menos 0.30 mt. sobre el nivel del suelo para evitar la filtración de aguas de escorrentía. Para una mayor protección sanitaria, se excavará una zanja a una distancia de aproximadamente 8 metros más arriba de la cámara para impedir la entrada de aguas superficiales. La tierra excavada se apila en la pendiente formando un reborde que permita evitar la entrada de aguas superficiales. Una cerca impedirá que los animales se acerquen al manantial, y contaminen o destruyan el sitio. La cerca tendrá un radio de entre 7 y 8 metros.

Además del mapa de ubicación y el diseño, se entregará al encargado de la construcción una lista de materiales similar a la que ilustra la tabla 1, indicando el número de obreros y el tipo y cantidad de materiales necesarios para la construcción. Algunas cantidades serán determinadas en el campo.

### Hormigón

El material más usado en la construcción de tanques para aguas surgentes y muros de intercepción es el hormigón, una mezcla de cemento Portland, arena limpia y grava en una determinada proporción. Generalmente se utiliza una parte de cemento, dos partes de arena y tres partes de grava (1:2:3) Para mezclar el hormigón se utiliza agua en una proporción de veintiocho litros por cada bolsa de cemento. La hoja de trabajo A ayuda a determinar la cantidad necesaria de materiales. Utilizar la hoja de trabajo para efectuar los siguientes cálculos.

#### Ahoja de trabajo A: Cálculo de cantidades de materiales necesarios para hormigón (Ejemplo para cámara de fondo abierto de 1 mt x 1mt x 1 mt)

Volumen total de la cámara = largo (l) x ancho (a) x altura (h)

Espesor de muros = 0.10 mt <sup>m</sup>

1. Volumen de la tapa =  $11.2\text{mt} \times a 1.2\text{mt} \times h 0.10\text{mt} = 0.144\text{m}^3$
2. Volumen del fondo =  $10\text{mt} \times a 0\text{mt} \times h 0\text{mt} = 0\text{m}^3$
3. Volumen de dos lados =  $11\text{mt} \times a 1\text{mt} \times h 0.10\text{mt} \times 2 = 0.20\text{m}^3$
4. Volumen de dos extremos =  $11\text{mt} \times a 1\text{mt} \times h 0.10\text{mt} \times 2 = 0.20\text{m}^3$
5. Volumen total = sumatoria de 1, 2, 3, y 4 =  $0.54\text{m}^3$
6. Volumen de materiales sin mezclar = volumen total x 1.5,  $0.54\text{m}^3 \times 1.5 = 0.81\text{m}^3$
7. Volumen de cada material (cemento, arena, grava, 1 : 2 : 3)  
 Cemento :  $0.167 \times \text{volumen renglón } 6 \text{ } 0.81 = 0.13\text{ m}^3 \text{ cemento}$   
 Arena :  $0.33 \times \text{volumen renglón } 6 \text{ } 0.81 = 0.26\text{ m}^3 \text{ arena}$   
 Grava :  $0.50 \times \text{volumen renglón } 6 \text{ } 0.81 = 0.4\text{ m}^3 \text{ grava}$
8. Cantidad de bolsas de cemento de 50 Kg =  $\frac{\text{Volumen de cemento}}{\text{Volumen por bolsa}}$   
 Volumen de cemento  $0.13\text{ m}^3 + .033\text{ m}^3/\text{bolsa} = 4\text{ bolsas}$
9. Volumen de agua = 28 litros x 4 bolsas de cemento = 112 litros

NOTAS: 1) Para un lado o fondo abierto no calcular el volumen.  
 2) La losa superior sobresale 0.1 mt a cada lado.  
 3) Los mismos cálculos se harán para determinar los materiales para construir un muro de filtración.  
 4) Para ahorrar cemento se puede usar una mezcla 1 : 2 : 4.

1. Calcular el volumen necesario de hormigón mezclado (largo x ancho x espesor, hoja de trabajo A, renglón 6).

2. Multiplicar esta cifra por 1.5 para obtener el volúmen total de material suelto y seco necesario (cemento, arena y grava, hoja de trabajo A, renglón 6).
3. Sumar las cifras proporcionales para obtener las cantidades de cada material (1:2:3 =6) de manera que 1/6 de la mezcla será de cemento, 2/6 de arena y 3/6 de grava. En decimales las cifras serán de 0.167 de cemento, 0.33 de arena y 0.50 de grava.
4. Determinar la cantidad necesaria de cada material multiplicando el volúmen de mezcla seca del Punto 2 por la cantidad proporcional para cada material (0.16 x volúmen de mezcla seca = cantidad total de cemento necesaria, hoja de trabajo A, renglón 7).
5. Dividir el volúmen de cemento necesario por 0.033m<sup>3</sup> (33 litros) la cantidad de cemento en una bolsa de 50 kg. para hallar el número de bolsas de cemento que se requieren. Al determinar la cantidad de cemento se lleva la cifra a la unidad entera superior (hoja de trabajo A, renglón 8)
6. Añadir una cantidad extra de cemento en el total para el relleno y sellado de las zonas aledañas a los tubos de salida.
7. Calcular la cantidad de agua necesaria para mezclar el hormigón (28 lts. de agua por bolsa de cemento, hoja de trabajo A, renglón 9).
8. Se necesita una cantidad extra de grava para rellenar la zona posterior de la fuente de agua. Es preferible utilizar grava graduada, no obstante de ser necesario pueden utilizarse materiales disponibles localmente. Calcular el volúmen de la zona a rellenar multiplicando longitud x ancho x altura.

### Hormigón armado

Para obtener mayor resistencia, se armará el hormigón utilizando malla metálica o varillas de acero. Los espesores mínimos del hormigón armado deben ser de por lo menos 0.10 mt. Se construyen las tapas de las cámaras y las paredes estructurales filtrantes en hormigón armado. Si se utiliza malla metálica, la cantidad necesaria será aproximadamente igual a la superficie de la losa a construir. Si se utilizan varillas de acero, éstas deben ser colocadas en el encofrado de madera antes de verter el hormigón, usando varillas de 10 mm. de diámetro.

Las varillas de la armadura deben ser dispuestas de la siguiente forma:

- Dejar una separación mínima de 25 mm. (0.025 mt.) con respecto al borde del molde o encofrado en todos los lados.;
- Colocar la armadura en la parte inferior de la cubierta, a dos tercios de distancia desde la parte superior o a 70 mm. desde el borde superior para una losa de 100 mm;
- Dejar un espacio de 150 mm. (0.15 mts.) entre varillas paralelas en ambos sentidos de la cuadrícula, tal como muestra la figura 6.

En el cruce de las armaduras, las varillas se atan con alambre en cada punto de intersección.

Para determinar el número de varillas de la armadura, dividir el largo o ancho total de la tapa de la cámara por 0.15m (distancia entre varillas). Por ejemplo,  $\frac{1.2 \text{ mt.}}{0.15 \text{ mt.}} = 8$  varillas.

$$\frac{1.2 \text{ mt.}}{0.15 \text{ mt.}}$$

Para calcular el largo de cada varilla restar 0.05 mt. (0.025 mt. de cada lado) del total de largo o ancho de la tapa. Por ejemplo  $1.2 \text{ mt.} - 0.05 \text{ mt.} = 1.15 \text{ mt.}$



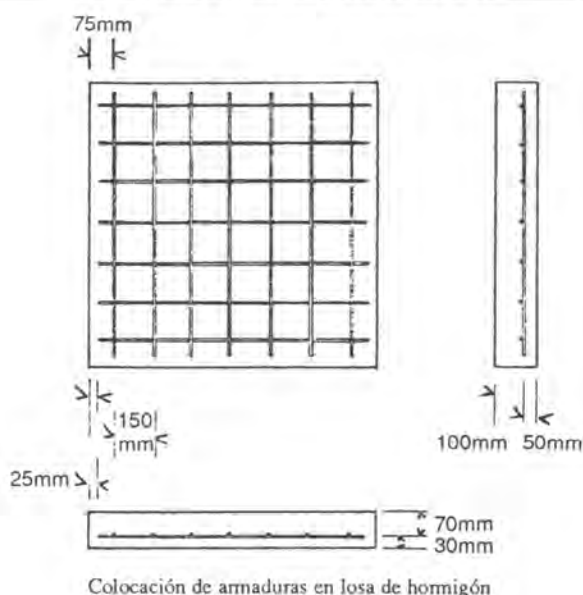


Fig 6:

### Tuberías

Los tubos de salida pueden ser de hierro galvanizado o de plástico, según la disponibilidad. Son preferibles los tubos de hierro galvanizado por su mayor resistencia, durabilidad y por que no se rompen como los tubos de plástico. Las tuberías de entrada pueden ser de arcilla, de plástico perforado, de cemento a junta abierta, o en algunos casos de bambú. La elección dependerá del costo y de la disponibilidad de los materiales. Los tubos deben tener un diámetro mínimo de 50 mm. para asegurar un adecuado suministro de agua al sistema de captación. Todos los tubos serán colocados en una pendiente uniforme para prevenir la formación de bolsas de aire en el sistema.

Una vez determinadas las necesidades de mano obra, materiales y herramientas, preparar una lista de materiales similar a las del Cuadro 1 y entregar al encargado de la construcción.

### **Estructuras para fuentes surgentes**

#### **Procedimiento general de construcción**

Seguir los siguientes pasos y tomar como referencia los diagramas indicados para el proceso de construcción.

1. Ubicar el lugar de la fuente surgente y utilizando una cinta métrica, cuerdas y estacas de madera o varas con punta, replantear el área de construcción tal como se indica en la figura 7.
2. Excavar y limpiar la zona aledaña al manantial para asegurar un buen flujo. Si las aguas fluyen desde una ladera, excavar lo suficiente dentro de la ladera hasta ubicar el origen del manantial. Cuando el agua brota en más de una abertura, excavar lo suficiente para asegurar que toda el agua fluya dentro de la zona de captación. Si resulta imposible canalizar el agua por que las diversas aberturas están muy separadas entre sí, se utilizará un sistema de drenaje. Véase la información sobre la instalación de drenes en la sección sobre el desarrollo de sistemas de captación por filtración.



Fig 7

El agua que surge desde varios lugares puede encausarse a una sola abertura si se excava lo suficiente dentro de la colina. Cuando se excava alrededor de la fuente observar si aumenta el flujo de las aberturas principales o si se detiene el flujo de las filtraciones más pequeñas. Estas señales indican que el flujo del manantial se está centralizando y que la mayor parte del agua puede captarse en un solo punto. El objetivo es recoger todo el agua disponible de la fuente surgente. En términos generales resulta más fácil recoger agua de una abertura que de varias.

Excavar en profundidad lo suficiente hasta alcanzar una capa impermeable. La capa impermeable constituye una buena cimentación para la cámara y proporciona una mejor superficie de sellado para evitar el escurrimiento inferior. Si no se llega a alcanzar una capa impermeable, construir la cámara en el suelo menos permeable que se encuentre.

3. Apilar piedras sueltas y grava contra la fuente surgente antes de instalar la cámara. Las piedras sirven como cimentación del tanque y ayudan a compactar la tierra cerca de la abertura del manantial, evitando la erosión. También facilitan un cierto grado de sedimentación. Para mantiales de flujo rápido se colocan piedras grandes rellenas con grava entre sí alrededor de la fuente surgente, formando una buena y sólida base. La figura 4 es un ejemplo de piedras y grava colocadas entre la fuente surgente y la cámara.

Si un manantial fluye a nivel del suelo por una sola abertura, conviene excavar alrededor de la misma hasta formar una cuenca. Excavar hasta alcanzar una capa de material impermeable que constituya la base de la cámara. Conviene forrar la excavación con grava de manera que el agua fluya a través de la misma antes de entrar en la cámara. Véase la figura 5.

4. Excavar una zanja aproximadamente a 8 metros por encima del sitio del manantial para desviar las aguas de escorrentía. La zanja debe ser suficientemente grande como para recoger el agua de fuertes lluvias. Si se dispone de piedras grandes en la zona, conviene utilizarlas para forrar la zanja, incrementando el grado de escurrimiento y previniendo la erosión.
5. Delinear un área de aprox. 9 mt. x 9 mt. para un cerco. Colocar los postes del cerco con una separación de 1 mt. y acordonar la cerca para prevenir que los animales se acerquen al manantial.

### Procedimiento para la construcción de hormigón

Para obtener una estructura resistente, el hormigón debe ser curado durante un mínimo de siete días. La resistencia aumenta con el tiempo de curado. En consecuencia la construcción de la cámara debe ser la primera etapa de los trabajos. Si se vierte el hormigón durante el primer día, se disponen de siete días para preparar la zona antes de instalar la cámara. Conviene asegurarse la disponibilidad de todas las herramientas y los materiales necesarios para la mezcla del hormigón y la construcción de los moldes en el lugar de trabajo.

1. **Construcción de los moldes de madera:** Cortar la madera según las medidas y ensamblar los moldes sobre una superficie nivelada. Las dimensiones externas de los moldes deben ser 0.10 mt. más grandes que las dimensiones interiores. Construir un molde con fondo abierto para un pozo surgente con una sola boca de salida a nivel del suelo. Para manantiales que brotan desde una ladera construir una cámara con la cara posterior parcialmente abierta, según se ilustra en las figuras 6 y 7. El tamaño de la abertura depende de la zona comprendida para la captación del agua. Cuando se construyen moldes para una cámara con fondo, ensamblar los moldes interiores a 0,10 mt. por encima del fondo del piso, clavando el molde interior al molde exterior de manera que cuelgue 0.10 mt. por encima del piso. Hacer orificios en los moldes para los tuberías de salida y de desagüe por rebase, colocando pequeños segmentos de tubo entre los moldes para formar orificios una vez que el hormigón fragüe. Construir también un molde para la tapa de la cámara. Construir todos los moldes en el lugar.

Los moldes deben estar bien asegurados y apuntalados antes de verter el hormigón. El cemento es pesado y los moldes tienden a abrirse si el apuntalamiento no es lo suficientemente fuerte. Un buen método es atar juntos los refuerzos con un alambre, según se ilustra en las figuras 8 y 9. Perforar agujeros en los moldes y colocar alambre a través de los mismos. Utilizando una vara, tal como se señala, torcer el alambre para tensarlo y ajustar los moldes conjuntamente.

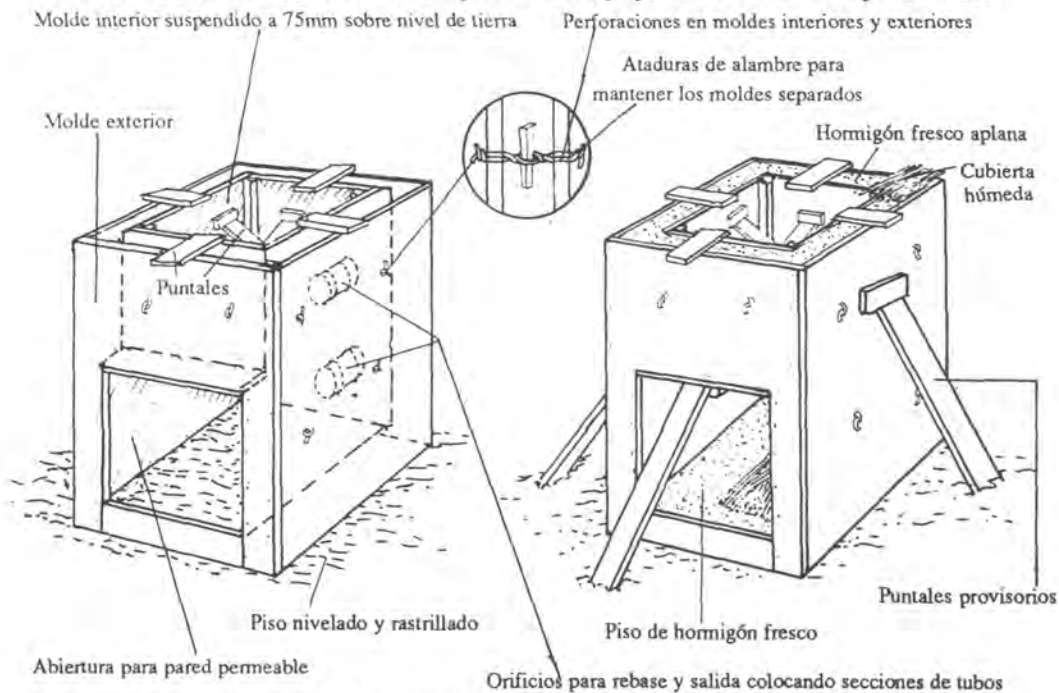
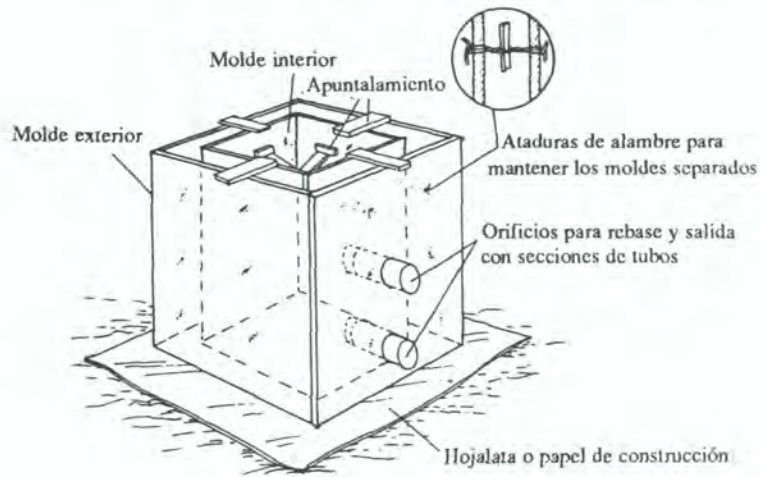


Fig 8

Moldes de encofrado para cámara de lado abierto





Moldes de encofrado para cámara de fondo abierto

Figura 9

2. **Ensamblar los moldes en sitio:** Deben armarse en el lugar donde se instalará la cámara o en un lugar cercano que permita desplazar la estructura terminada sin dificultad. Si se arman los moldes y se vierte el hormigón en el mismo lugar, será necesario desviar el agua de la zona, que puede hacerse fácilmente excavando una pequeña zanja como se indica en la figura 8, permitiendo así asegurar que el agua no llegue a los moldes e impida el curado del hormigón.

Si el desvío del agua resulta difícil, contruir los moldes y vaciar el hormigón en un lugar cercano a la fuente. Una vez seco el hormigón, desprender los moldes y desplazar la estructura terminada a su lugar final. Se necesitará la ayuda de seis a ocho personas.

3. **Aceitar los moldes:** Poner aceite de motor usado en los moldes de madera para evitar que el hormigón se adhiera a los mismos.
4. **Preparar las varillas de la armadura en forma de malla cuadriculada y colocar en los moldes para la tapa de la cámara.** La distancia entre las varillas paralelas será de 0.15 m. y estarán atadas entre sí con alambre. Posteriormente colocar la armadura en el molde. Véase en la figura 9 un ejemplo de la disposición de las varillas y su colocación en la tapa de la cámara. No se necesita una armadura especial para las paredes laterales, pero disponiendo de algunas varillas pequeñas en forma perimetral, se previene la aparición de pequeñas fisuras en el cemento. Colocar cuatro varillas atadas para formar un cuadrado.
5. **Mezclar el hormigón en una proporción de una parte de cemento, dos partes de arena y tres partes de grava (1:2:3).** Agregar solo el agua necesaria para formar una pasta espesa. Demasiado agua produce un hormigón débil. Para ahorrar cemento puede utilizarse una mezcla de 1:2:4. Esta mezcla es efectiva cuando se usa grava de alta calidad.





Figura 10

6. Vaciar el hormigón dentro del molde: Golpear el hormigón para asegurar el llenado total de los moldes y evitar huecos o burbujas de aire que puedan debilitarlo. Repasar y suavizar todas las superficies. Conviene dejar una pequeña pendiente en la tapa desde el centro hacia los lados (forma convexa), tal como ilustra la figura 10, para facilitar el escurrimiento del agua de la cubierta lejos de la cámara.
7. Cubrir el hormigón con lona, arpillera, plástico, bolsas de cemento, paja o cualquier otro material protector para prevenir la evaporación del agua del hormigón. La cubierta debe mantenerse húmeda para impedir que se absorba el agua del hormigón. Si el hormigón se seca no se endurece, pierde resistencia y comienza a fisurarse. Mantener la cubierta protectora durante siete días o mientras dure el curado del hormigón.
8. Dejar fraguar la estructura de hormigón durante siete días, humedeciéndola diariamente como mínimo. Después de siete días remover los moldes e instalar la cámara.

Para construir un anillo protector de mampostería seguir los siguientes pasos:

1. Marcar en el terreno un círculo con el diámetro del anillo de mampostería propuesta.
2. Replantear un círculo de ladrillos externamente alrededor del anillo con medios ladrillos.
3. Rellenar los espacios entre los ladrillos con gravilla fina y mortero mezclado en una proporción de una parte de cemento a tres partes de arena. Levantar con mortero la siguiente hilada de ladrillos evitando juntas verticales continuas.

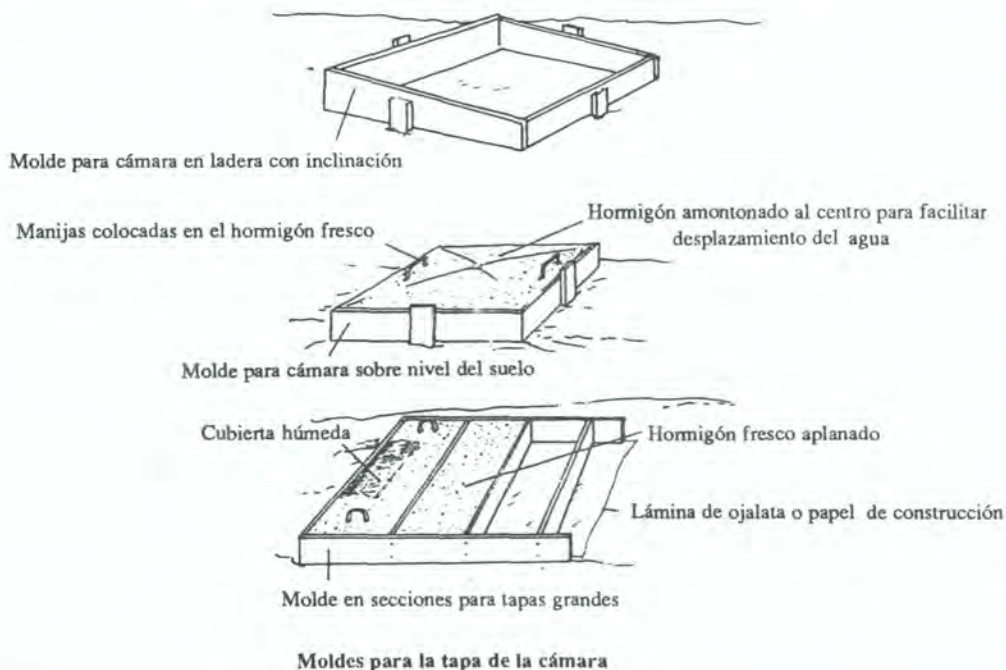


Figura 11:

4. **Reforzar la estructura con alambre de púas o cualquier alambre disponible:** Al llegar a la altura deseada poner una estaca en el terreno junto al cerco para atar el alambre y darle varias vueltas alrededor del mismo, tal como se ilustra en la figura 11. Posteriormente asegurar y cortar el alambre.
5. **Preparar una mezcla de mortero en proporción de una parte de cemento a tres partes de arena.** Cubrir el exterior del anillo con una capa de mortero de espesor suficiente como para cubrir totalmente el alambre.
7. **Construir una tapa circular.** Seguir las mismas técnicas empleadas para la construcción de la tapa de hormigón de la cámara.

#### **Para instalar la cámara de captación de agua**

La cámara debe ser instalada correctamente asegurando su ajuste en una base sólida y permeable, sellando la base para prevenir la filtración del agua por debajo de la estructura.

1. **Colocar la cámara de forma tal que permita recoger el flujo de agua.** Si el líquido fluye desde una pendiente, el lado posterior de la cámara quedará abierta. Colocar piedras en la parte posterior de la estructura como sostén y para facilitar al mismo tiempo el flujo de agua a la cámara. La figura 4 ilustra la colocación de piedras en una cámara ya instalada en una ladera. Comprobar que la cámara tenga una fundación sólida en material permeable a nivel del suelo. Colocar grava alrededor de la cámara o en la zanja para que el agua fluya a través de ella antes de ingresar en la cámara.

2. Sellar la zona donde la cámara está en contacto con el suelo, utilizando hormigón o arcilla impermeable para prevenir la filtración de agua descendente.
3. Comprobar que la zona del manantial esté bien forrada con grava, y luego rellenar con grava la zona excavada. Se rellenará hasta la altura de la entrada de agua a fin de que el líquido se filtre en la grava al fluir hacia la estructura. En la figura 4 la capa de grava debe alcanzar el nivel de la pared de piedra. Las cámaras en suelo nivelado no necesitan relleno de grava.
4. Colocar las tuberías en la cámara. Remover las secciones de tubo utilizadas para formar los orificios de las tuberías y colocar los caños necesarios para la salida y el rebase. Utilizar hormigón a ambos lados de la pared para sellar las tuberías y evitar la filtración de agua. Colocar una malla sobre la abertura del tubo asegurándola con alambre.
5. Desinfectar el interior de la cámara con una solución de cloro. Antes de cerrar la cámara lavar las paredes con cloro. Seguir las instrucciones para desinfectar que aparecen en el capítulo sobre "desinfección de pozos".
6. Colocar la tapa sobre la cámara.
7. Rellenar la zona aledaña con tierra y arcilla apisonada. En las laderas colocar capas de arcilla sobre grava para formar una pendiente desde la cámara. La capa de arcilla debe llegar al borde superior de la cámara y estar bien apisonada para que el suelo sea lo más impermeable posible. Si solo se utiliza tierra como relleno, debe tener por lo menos 1.5 a 2 mts. de profundidad para evitar que el agua contaminada alcance la capa de grava. En aguas surgentes a nivel del suelo, colocar arcilla alrededor de la cámara. La base de arcilla tendrá pendiente descendente para facilitar el flujo de aguas desde la boca de salida del manantial.
8. Terminar la instalación rellenando las zonas remanentes con tierra.



**Hoja de trabajo B: Preguntas para ser evacuadas mediante un estudio sanitario:**

- |   |    |    |
|---|----|----|
| 1. Existen potenciales fuentes de contaminación en la superficie? | Si | No |
| a) en la zona más alta al lugar o en la cuenca fluvial            | —  | —  |
| b) en el lugar  | —  | —  |

Si la respuesta es afirmativa determinar las fuentes y,

- a) eliminar la fuente contaminante, y/o
- b) proteger el abastecimiento de agua, o
- c) buscar una fuente de abastecimiento más aceptable

- |  |    |    |
|--|----|----|
| 2. Existe una fuente potencial de contaminación fecal? | Si | No |
| a) en la zona más alta al lugar o en la cuenca         | —  | —  |
| b) en el lugar   | —  | —  |

Si la respuesta es afirmativa determinar las fuentes y

- a) analizar el agua o
- b) eliminar las fuentes de contaminación

Si el porcentaje de bacterias coliformes es mayor a 10 organismos por 100 ml. de agua

- a) tratar el agua o
- b) buscar una fuente alternativa

- |   |    |    |
|---|----|----|
| 3. El agua tiene calidades químicas o físicas inaceptables, tales como: | Si | No |
| a) color  | —  | —  |
| b) turbiedad  | —  | —  |
| 1) constante  | —  | —  |
| 2) luego de una tormenta de lluvia                                      | —  | —  |
| c) olor desagradable  | —  | —  |
| d) excesiva cantidad de sal   | —  | —  |
| e) excesiva cantidad de algas   | —  | —  |
| f) excesiva cantidad de fluoruros                                       | —  | —  |
| g) es dura  | —  | —  |

Si la respuesta es afirmativa a cualquiera de estas preguntas se estudiará cuidadosamente la fuente de agua y analizará el líquido en lo posible. En términos generales estas características determinan que el agua es inaceptable para el usuario y debe ser tratada o de lo contrario buscar otra fuente de agua.



## TECNOLOGIAS DE FILTRADO PARA EL ABASTECIMIENTO DE AGUA EN COMUNIDADES PEQUEÑAS

Dr. Sr. Vignswaran, Profesor Asociado,  
División de Ingeniería Ambiental y

Sr. A. A. Mamoon, Científico en Información,  
Centro de Información para el Saneamiento Ambiental

Instituto Asiático de Tecnología, Bangkok, Tailandia

### INTRODUCCION

Existen numerosos sistemas de purificación de agua en base a tecnologías sofisticadas. Sin embargo una gran parte de la población en los países en vías de desarrollo habitan en zonas rurales donde dichos sistemas son inadecuados o sumamente costosos. Las prevalencia de enfermedades transmisibles a través del abastecimiento de agua demostraron que los procesos de clorinación son insuficientes para asegurar la calidad del agua. En consecuencia, se requiere estudiar cuidadosamente las diferentes características del abastecimiento de agua potable antes de proponer soluciones generales.

El proceso de filtrado es una tecnología muy antigua que ha alcanzado un alto grado de sofisticación en el presente. No obstante, por razones del costo elevado, el equipo sofisticado y el personal altamente calificado, dichas técnicas no se utilizan en zonas apartadas en los países en desarrollo. En general la población rural adopta técnicas con un bajo nivel de mecanización, adecuadas a sus propias necesidades, conocidos como métodos tradicionales de tratamiento de agua, que incluyen:

1. Filtración a través de paja trillada (utilizado comunmente en Mali),
2. Filtración a través de tela (comunmente utilizado en aldeas en la India, Mali y el sur de Níger),
3. Filtración a través de vasijas de barro (utilizado en Egipto),
4. Filtración a través de material vegetal (comunmente utilizado en Kerala, India),
5. Método de filtrado Semping Stone (utilizado en Bali, Indonesia).

A pesar de que estos métodos tradicionales son útiles y pueden extraer ciertos tipos de partículas del agua, no necesariamente la calidad del agua alcanza niveles aceptables. Por lo tanto es aconsejable agregar desinfectantes para eliminar al menos los patógenos del agua.

En la práctica, es difícil lograr en corto tiempo el correcto abastecimiento de agua potable. El aumento de población y la consecuente demanda de agua, conjuntamente con la inversión necesaria para las plantas de tratamiento de agua en los países en desarrollo, han derivado en el desarrollo de métodos simples y económicos para el tratamiento de agua aplicados en zonas rurales. Algunas de éstas técnicas incluyen:

1. Técnicas de filtración y sifonado
2. Coagulación del agua y filtración en arena
3. Tanques para filtración de agua
4. Sistemas domiciliarios de filtración lenta en arena (India y Tailandia).

Sin embargo éstos sistemas domésticos para el tratamiento del agua no constituyen soluciones finales, dado que la mayoría de la población rural no está en condiciones de financiarlos o no tienen los conocimientos suficientes para adoptarlos. Es entonces necesario estudiar diseños de plantas adecuadas al nivel de las comunidades rurales.

### Calidad del agua

La calidad del agua es el aspecto más importante en las plantas de tratamiento. Los componentes del agua potable deben alcanzar niveles seguros para la salud del consumidor. El agua debe ser o estar:

- libre de patógenos
- clara (es decir baja turbiedad, poco color)
- insalobre
- libre de componentes con efectos nocivos para la salud humana
- libre de sustancias químicas que provoquen la corrosión en el sistema de abastecimiento de agua o manche la ropa lavada.

La calidad del agua es vital para determinar el grado de tratamiento necesario y para seleccionar procesos de tratamiento adecuados. El principal problema de las fuentes hidrológicas en los países en desarrollo es la turbiedad, en general ocasionada por suspensiones de limo y arcilla. En base a dos de los parámetros de mayor influencia, la turbiedad y el contenido bacteriológico (medido generalmente en términos del contenido de colibacilos) el cuadro 1 presenta una guía del procedimiento para la selección de opciones en materia de tratamiento del agua, según las diferentes calidades.

Cuadro 1 - Lineamientos para seleccionar opciones de tratamiento

Calidad del agua	Tratamiento
Turbiedad <1 NTU E-Coli MPN<10/100 ml	Distribución sin tratamiento
Turbiedad 10-50 NTU E-Coli 10-1000/100ml	Filtración lenta en arena o clorinación
Turbiedad(50-100) NTU	Pre-Tratamiento + Filtración lenta en arena + clorinación
Turbiedad hasta 150 NTU	Pre-tratamiento (HFP) + Filtración lenta en arena + clorinación
Turbiedad>1000 NTU	Coagulación química + sedimentación + filtración lenta en arena +clorinación

### Opciones de tratamiento

Los sistemas de tratamiento en los países en desarrollo deben construirse y mantenerse con recursos y tecnologías locales. Por lo tanto es necesario estudiar los siguientes factores antes de diseñar sistemas de tratamiento de agua para poblaciones rurales:



1. Equipo mínimo
2. Máxima posibilidad de utilizar sistemas por gravedad
3. Mínimo uso de sustancias químicas
4. Mantenimiento y operación mínimos
5. Capacidad de operación sin mano de obra calificada
6. Construcción con materiales disponibles localmente
7. Costo mínimo, incluyendo construcción, operación y mantenimiento
8. Aceptabilidad y apoyo por parte de la comunidad local

En base a éstos criterios, el método de tratamiento por filtración lenta en arena parece ser el más adecuado. Sin embargo, este método no puede utilizarse para el tratamiento de aguas sumamente turbias. En la mayoría de los países en desarrollo el agua superficial tiene un alto nivel de turbiedad, en cuyo caso es necesario un pre-tratamiento si se utiliza el sistema de filtración lenta en arena. Este capítulo procura destacar éstas técnicas de filtración, señalando los criterios para el diseño, la adaptabilidad a las condiciones locales, las ventajas y los inconvenientes. Asimismo se incluyen condiciones para su aplicación y datos sobre costos.

### Filtración lenta en arena

En las zonas rurales, especialmente en los países en desarrollo donde la tierra es abundante, el tratamiento por filtración lenta en arena puede utilizarse satisfactoriamente siempre y cuando el agua no sea demasiado turbia. El sistema es adecuado cuando el agua no alcanza niveles de turbiedad de 50 NTU. En caso de niveles mayores, se requiere un pre-tratamiento. La Figura 1 incluye un diagrama esquemático de una planta simplificada de filtración lenta en arena que sirve a una población de 1.500 a 2.000 personas.

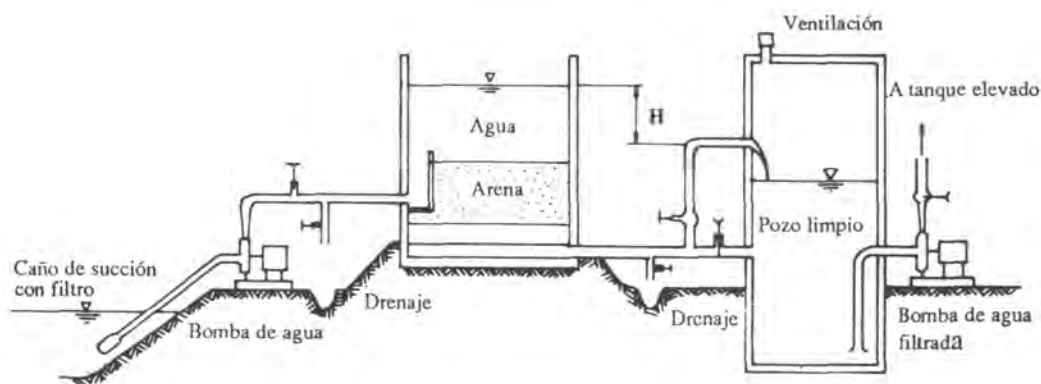


Figura 1: Operación simplificada de filtración lenta en arena (Huisman, 1978)

### Principios y Operación

El agua se purifica lentamente a través de un lecho de arena fina ( $0.1 - 0.3 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ h}$ ), provocando la retención de la materia suspendida en la capa superior  $0.5 - 2 \text{ cm}$ . del lecho del filtro. Se remueve esta capa superior, y se limpia el filtro, que retoma su capacidad original. El período de tiempo entre dos procesos de limpieza varía de unas pocas semanas a unos pocos meses, según las características del agua natural.

Los mecanismos de remoción de las partículas en un filtrado lento en arena incluyen el tamizado mecánico, la sedimentación, la dispersión y la oxidación química y biológica. Las partículas gruesas y finas de la materia suspendida se depositan en la superficie del lecho del filtro por la acción del tamizado mecánico y la sedimentación respectivamente, mientras que las impurezas coloidales disueltas se remueven por la acción de la dispersión. Mediante la oxidación química y biológica, la materia orgánica depositada se convierte en sólidos inorgánicos que se eliminan durante el proceso de filtración de los efluentes. Los procesos microbianos y bioquímicos, es decir la remoción de impurezas, tienen lugar principalmente en la capa zoológica superior del lecho del filtro (Schumtzdecke).

Los parámetros de diseño importantes para la filtración lenta en arena incluyen la profundidad del lecho del filtro, el espesor y tamaño del medio filtrado, la velocidad de filtración y la profundidad del agua por encima del nivel de arena. En lo posible, éstos parámetros de diseño deben estar basados en la experiencia de otras plantas de tratamiento existentes que utilizan una fuente de agua de calidad similar. De no tener acceso a datos confiables de plantas en funcionamiento, se pueden utilizar plantas pilotos para determinar los criterios de diseño apropiados. Los siguientes valores sirven como lineamientos adecuados:

Cuadro 2 - Resumen de filtrado lento en arena

Parámetros de diseño	Entorno de valores
Velocidad de filtración	$0.15 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ h}$ ( $0.1-0.2 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ h}$ )
Superficie por lecho de filtro	$10-100 \text{ m}^2$ (depende de la construcción del filtro)
Número de lechos de filtro	Mínimo de 2
Profundidad del lecho de filtro	$1 \text{ m}$ ( $1 - 1.4 \text{ m}$ )
Espesor del medio filtrado	Espesor efectivo (e) = $0.15 - 0.35 \text{ mm}$ Coeficiente de uniformidad (C.U) = (2.5)
Altura del agua por encima del nivel de arena	$1 \text{ m}$ ( $1 - 1.5 \text{ m}$ )
Sistemas de drenaje:	
- ladrillos comunes	} Generalmente no se requieren nuevos cálculos hidráulicos
- losas de concreto premoldeadas	
- bloques de concreto premoldeados con orificios superiores	
- Hormigón poroso	
- Caños perforados (laterales y tubos múltiples)	Velocidad máxima en los colectores y en laterales = $0.3 \text{ m/s}$
	Espacio entre laterales = $1.5 \text{ m}$ Espacio entre orificios en laterales = $0.15 \text{ m}$ Tamaño de orificios en laterales = $3 \text{ mm}$



El mecanismo de purificación en un filtrado lento en arena es esencialmente un proceso biológico, y por lo tanto su eficiencia depende de una comunidad biológica balanceada en la capa superior, el "Schumtzdecke". Por lo tanto conviene diseñar filtros que funcionen en lo posible a una velocidad constante. Sin embargo, el funcionamiento de los filtros lentos en arena en la mayoría de los países en desarrollo es intermitente debido a las dificultades financieras para la mano de obra que permita operar la planta durante las 24 horas del día. El funcionamiento intermitente deteriora la calidad del efluente, dado que durante las interrupciones, los microorganismos que provocan la degradación bacteriológica de las impurezas pierden efectividad. El funcionamiento intermitente perturba la continuidad necesaria para una actividad biológica eficaz.

Una solución al problema es permitir que el filtro funcione a una velocidad decreciente luego de un ciclo de filtración de velocidad constante. La velocidad decreciente de filtración proporciona una producción adicional de 0.5 y 0.7 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> de agua con una velocidad decreciente de funcionamiento de 8 y 16 horas luego de las 16 y 8 horas de marcha a velocidad constante respectivamente. El efluente que se obtiene mediante esta operación alcanza en general niveles de seguridad satisfactorios. Mas aún, el método de velocidad decreciente puede aplicarse durante la noche, facilitando un ahorro importante en mano de obra.

### Ventajas e inconvenientes

La simplicidad del diseño y funcionamiento, y las necesidades mínimas de energía y de sustancias químicas costosas determinan que esta técnica resulte apropiada para extraer la materia orgánica e inorgánica en suspensión, así como también los organismos patógenos presentes en la superficie de las aguas en las zonas rurales de los países en vías de desarrollo. Los problemas del manipuleo de lodos son también mínimos. No se requiere un operario para controlar estrictamente la operación, factor muy importante en las pequeñas comunidades, donde por lo general el operario asume diferentes responsabilidades. La experiencia del diseño en América demuestra que el filtrado lento de arena es eficiente en más de un 99.9 % para remover la bacteria coliforme y los quistes *Giardia*, y proporciona un efluente de calidad estable con un reducido presupuesto de funcionamiento (Seelans, T.J. et al, 1986). Tiene además la ventaja adicional de permitir el uso de materiales y mano de obra disponibles localmente.

Costos estimados, (Paramasivan et al.) basados en precios de 1979 (en Nagpur, India, y excluyendo los beneficios del contratista), muestran que el costo por m<sup>2</sup> de lecho de filtro es de Rs 350 (US \$43.75), y que el costo por metro de longitud de muro asciende a Rs 570 (US\$71.25). Otro estimativo (Paramasiva et al, 1981) indica que la construcción de dos filtros no aumenta significativamente el costo y aumenta la eficiencia y flexibilidad de funcionamiento. El estudio demostró que el número de filtros puede aumentarse de 2 a 5, aumentando el costo de un 6 a un 22%.

Sin embargo, la filtración lenta en arena tiene ciertas limitaciones. Los principales inconvenientes incluyen la necesidad de una vasta superficie y grandes cantidades de material de filtro como también mano de obra para la limpieza manual. Estas limitaciones no son aplicables a zonas rurales en los países en desarrollo, donde existe disponibilidad de tierra y de mano de obra no calificada.

### Métodos apropiados de pre-tratamiento para comunidades rurales

La experiencia en el funcionamiento de los filtros lentos en arena indica que cuando la turbiedad del agua natural excede los 50 NTU, se requiere alguna forma de pre-tratamiento para suavizar la operación del filtrado. Algunos sistemas de pre-tratamiento más simples y adecuados incluyen:

1. Filtración en el lecho de un río
2. Almacenamiento en piletas o embalses
3. Sedimentación simple

4. Filtración rápida (filtros de fibra de coco)
5. Filtración por flujo horizontal a través de materiales gruesos
6. Pre-filtrado en grava por flujo ascendente

Este capítulo, sin embargo se refiere unicamente a las técnicas de prefiltrado factibles de utilizarse como métodos de pre-tratamiento.

### Filtración por flujo horizontal a través de materiales gruesos

Esta técnica es esencialmente para pre-filtrado con el uso de agregados gruesos o piedras partidas como medio de filtrado, y resulta sumamente conveniente para aguas turbias con altos niveles, mayores de 50 NTU. Durante el pasaje horizontal del agua a través de un filtro en base a agregados gruesos - finos - gruesos, se produce una combinación de filtración y sedimentación de los sólidos en suspensión. Al mismo tiempo, los mecanismos biológicos similares a los de la filtración lenta en arena ayudan a remover los patógenos, aunque en cantidades limitadas. Investigaciones realizadas en el "Asian Institute of Technology" (Thanh & Ouano, 1977; Thanh 1978) indican que el sistema puede remover entre un 60 y un 70 % de la turbiedad y cerca de un 80% de bacterias coliformes. Sin embargo, si los compartimientos de entrada y salida quedan expuestos a la luz solar, pueden desarrollarse ciertas especies de algas, fácil de evitar con una cubierta protectora de la luz solar. La figura 2 indica la disposición del filtro, y el cuadro 3 los criterios utilizados para el diseño.

El filtro tiene buenos resultados si se utiliza como un sistema de pre-tratamiento para aguas con niveles de turbiedad de entre 50 y 150 NTU. Se ensayó la unidad de pre tratamiento en forma satisfactoria en un programa de abastecimiento de agua en una aldea de Tailandia en la localidad de Jedee Tong (Thanh et al, 1978), para el pre-tratamiento de agua impura antes de ser filtrada en arena y abastecer de agua potable a una población de aproximadamente 720 residentes. El cuadro 4 resume el comportamiento del sistema. En zonas rurales de Tailandia varios de estos sistemas de purificación del agua han estado funcionando durante años sin ningún tipo de problema (Thanh e Hettiratchi, 1982).

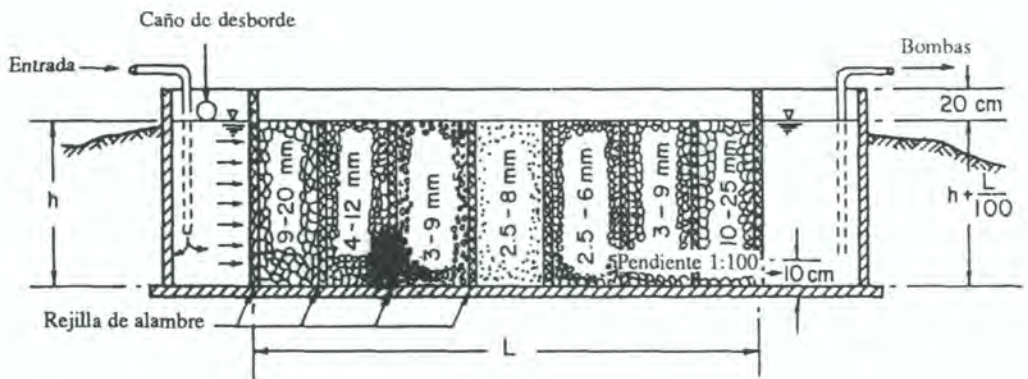


Fig. 2: Filtro de flujo horizontal a través de materiales gruesos

Cuadro 3: Resumen del diseño de Pre-Filtro por flujo horizontal

Parámetro	Indice de valores
Velocidad de filtración	0.3 - 1.0 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> - h
Velocidad óptima de filtración	0.5 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> h para aguas de bajo nivel de turbiedad (15 - 50 NTU) 0.3 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /h para aguas de alto nivel de turbiedad (hasta 150 NTU)
Profundidad del lecho del filtro	1 m (0.8 - 1.5 m)
- nivel del agua	0.8 m
- espacio libre	0.2 m
Longitud del filtro	5 m. (4 - 10 m)
Relación longitud: ancho	1:1 a 6:1
Superficie del filtro (en la dirección del flujo)	Grava 9 - 20 mm Grava 4 - 12 mm. Grava 3 - 9 mm. Grava 2.5 - 8 mm Grava 2.5 - 6 mm. Grava 3 - 9 mm. Grava 10 - 25 mm.
Pendiente en el fondo	Una pendiente de 1/100 hacia el extremo final para facilitar el flujo del agua pre-tratada.
Cobertura de los compartimientos de entrada y salida	Si el filtro está expuesto a la luz solar

El costo de un m<sup>3</sup> de agua tratada es de aproximadamente 0.05 de dólares americanos, de acuerdo con precios de Tailandia en 1978, costos sumamente razonables para el abastecimiento de agua a las zonas rurales. (Thanh, 1978).

A pesar de que la construcción, el funcionamiento y la manutención de los pre-filtros de flujo horizontal son simples, los requisitos de espacio son grandes (aún mayores que los de filtración lenta en arena).

Cuadro 4: Comportamiento del Pre-filtrado por flujo horizontal y del filtrado lento en arena en la planta de tratamiento de agua para la aldea Jedee Thong en Tailandia

Sistema	Turbiedad (JTU)		Total coliforme (MPN/100ml)		Pérdida con respecto al origen cm/día)	Tiempo de Filtro
	Afluente (prom.)	Efluente (prom.)	Afluente (prom.)	Efluente (prom.)		
Pre-filtro Horizontal	25	12	5000	1000	0.6	
Filtro lento de arena	12	3	1000	100	0.5	Más de 5 meses

### Pre-filtrado en grava por flujo ascendente

Este filtro se diferencia de otras técnicas de filtrado por la dirección del flujo del agua sin depurar. El agua llega al pre-filtro con dirección ascendente a través de perforaciones en el sistema de drenaje inferior. Varias capas de gravas, que varían sucesivamente desde tamaños gruesos en el fondo hasta tamaños finos en la parte superior se disponen en una altura total de 1 metro. La altura puede variar de acuerdo con las necesidades. La selección del tamaño de la gravas debe estar basada en la disponibilidad local del material y el grado de pre-tratamiento necesario. Los drenajes de filtrado pueden fabricarse localmente, utilizando tanto un tipo de diseño "Teepee" (Anboleda, 1973) como un sistema de colector y laterales.

La velocidad de filtración en este sistema es relativamente alta, dado los espacios grandes que ocupan los poros y que en general no se obstruyen rápidamente. La frecuencia de limpieza puede ser de solo una vez al mes, dependiendo de la impureza del agua. El agua se depura pasándola a gran velocidad en dirección ascendente. El cuadro 5 y la Fig. 3 presentan un esquema típico para el diseño de un pre-filtro de grava de flujo ascendente.

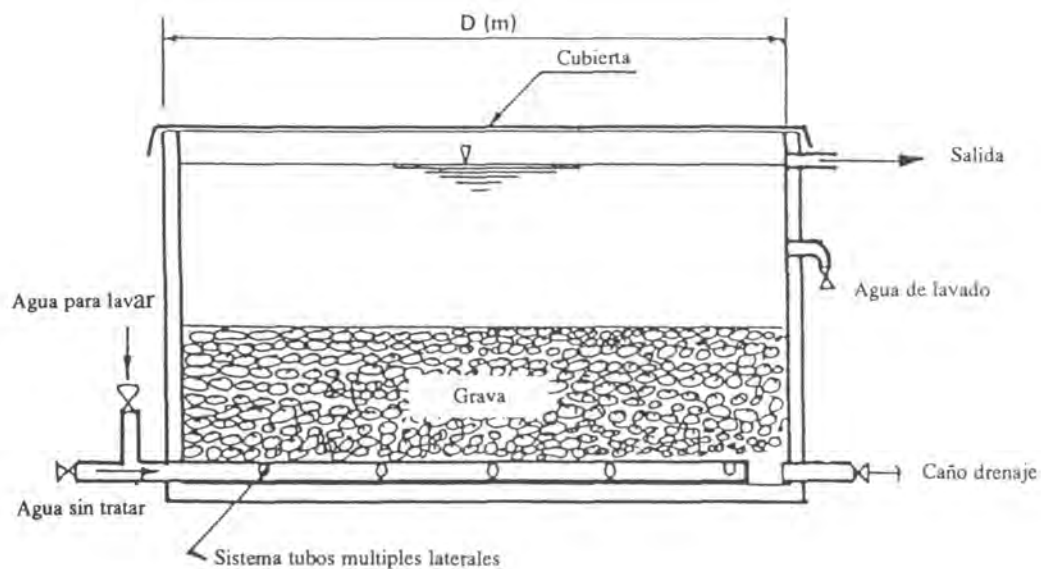


Figura 3 . Componentes importantes de un pre-filtro de grava de flujo ascendente.



Cuadro 5 - Resumen de diseño de un pre-filtrado en grava por flujo ascendente

Parámetros de diseño	Indice de valores
Velocidad de filtración (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /h)	2 a 6 (dependiendo de la calidad del agua)
Profundidad del lecho de grava (m)	0.7 a 1.2
Tamaño de la grava	1.5 a 3 mm en una altura de 10 a 20 cm. 3 a 4mm. en una altura de 10 a 20 cm. 4 a 6 mm. en una altura de 20 a 30 cm. 6 a 10 mm. en una altura de 30 a 50 cm.
Sistemas de alimentación del efluente (sistemas de colector lateral )	Laterales = Tubos de acero de 50 mm. de diámetro con orificios de 4 mm. a una distancia de 30 cm. de separación Espaciamiento de laterales = 1.5 cm. de separación Colector = canales de hormigón 150 mm.x 150 mm.

### Alternativas tecnológicas

En sustitución del filtrado lento en arena se pueden utilizar otras técnicas de filtrado que demostraron ser económicas y satisfactorias para el abastecimiento de agua potable. A continuación se describen brevemente dos de dichos sistemas.

#### Filtros en dos etapas

Frankel (1977, 1979) desarrolló filtros en dos etapas utilizando fibra de coco y cáscara de arroz quemada. La figura 4 ilustra una pequeña unidad construida en Ban Som, Tailandia. El filtro resulta efectivo para el tratamiento de agua con un nivel de turbiedad de hasta 150 NTU (Frankel 1979).

Consiste en dos etapas, la primera utiliza un filtro áspero de fibra de coco desmenuzada para remover las partículas gruesas, y un filtro subsecuente de refinamiento, en base a cáscara de arroz quemada para remover la turbiedad residual y otros contaminantes. El fenómeno de absorción de la cáscara de arroz quemada del filtro permite remover en forma eficiente los materiales, las partículas y la materia disuelta. El cuadro 6 ilustra los criterios aplicados para el diseño.

En vez de una filtración en dos etapas, la fibra de coco y la cáscara de arroz quemada pueden mezclarse para formar una unidad de filtración en una sola etapa, que en términos de funcionamiento es más económica y efectiva que un sistema de filtración en serie (Thanh & Pescod, 1976)

#### Operación

Se puede preparar la fibra de coco sumergiendo la cáscara en agua durante 2 a 3 días y luego separando las fibras una por una, eliminando así las impurezas sólidas que aglomeran las fibras. La cáscara del arroz parcialmente quemada se deja en agua y se mezcla luego de ser tamizada a través de una malla de alambre de un octavo de pulgada (o malla mosquitera). Se elimina el agua que queda por encima del nivel, y que contiene las partículas de cenizas finas y el procedimiento de lavado se repite varias veces.

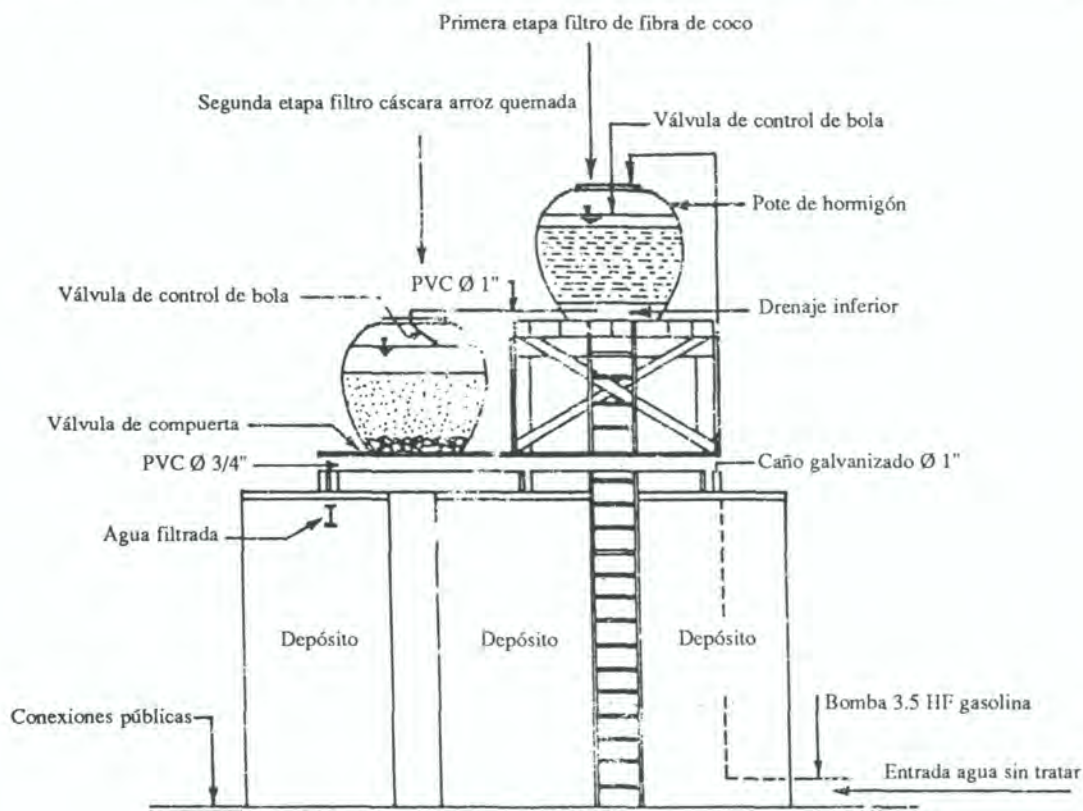


Fig 4. Unidad de filtrado en dos etapas construida en Ban Som, Korat, Thailand

Cuando la pérdida de volumen de agua excede la profundidad del espacio libre, el filtro se detiene y la fibra de coco usada se limpia cuidadosamente con agua y se utiliza nuevamente o de lo contrario se cambia por una nueva fibra.

En el caso del filtro en base a cáscara de arroz quemada, se remueve la capa superior de 10 cm., y se reinicia la operación para un nuevo ciclo. En ambos filtros, el lavado se realiza una vez cada tres o cuatro meses, según la turbiedad del agua impura.

### Ventajas y Limitaciones

El sistema es positivo en su relación costo-eficacia y puede ser aplicado en aguas con altos niveles de turbiedad. El proceso en dos etapas funciona a una velocidad de filtración 10 a 15 veces más alta que los filtros lentos de arena, reduciendo considerablemente los costos de construcción.

Durante 1973 y 1974 se iniciaron plantas pilotos en Kampuchea, Laos, Tailandia y Vietnam. Otros sistemas más importantes construidos en las Filipinas funcionan consistentemente y correctamente, con un porcentaje promedio de eliminación de bacterias coliformes de un 90%. La experiencia en el sud-este de Asia indica que el costo total de construcción de un sistema que sirve a una población de 2000 personas es menor a 2 dólares americanos per cápita. (Franke, 1979).

La insuficiente eliminación bacteriológica es uno de los principales problemas, dado que no cumple con las normas establecidas por la OMS en cuanto al contenido de bacterias coliformes en el agua potable. Sin embargo, éste sistema puede muy bien ser la única opción en localidades que carecen de arena para una filtración convencional.

Cuadro 6 - Resumen del Diseño de Filtración en dos etapas

Parámetros	Filtro de fibra de coco (1a etapa)	Filtro de cáscara de arroz quemado (2a. etapa)
Profundidad del filtro	60 a 80 cm.	60 a 80 cm
Espacio libre	1.0 mt.	1.0 mt.
Velocidad de filtración	1.2 a 1.5 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /h	1.2 a 1.5 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /h
Sistema de drenaje inferior		
i) capa de grava	Grava redonda de 1/8 a 1/4 pulgadas (5 a 10 cm. de profundidad)	
ii) drenaje inferior,	Tuberías del drenaje principal y laterales:	acero galvanizado o tubos PVC
	Espaciamiento entre orificios:	0.3mt.
	Espaciamiento entre laterales:	0.3mt.
	Diámetro de orificios:	0.6 cm.
	Relación área de orificios a lateral:	1:2
	Relación de área de lateral a área principal:	1:1.5

### Sistemas de filtrado para el abastecimiento de aguas superficiales (SWS)

Este sistema de filtrado se desarrolló en el Reino Unido y se basa en la teoría de utilizar el mismo lecho del río como filtro natural eficiente. La figura 5 muestra un diagrama esquemático de éste sistema.

### Operación

La operación es bastante simple. Un compartimiento de 60cm. x 60cm. de material no corrosivo se sumerge invertido en el lecho del río, tal como lo indica la figura 5. Cerca de tres cuartas partes del compartimiento se llenan con grava y arena gruesa y el cuarto superior queda libre. Debe existir una distancia de por lo menos cm. 15 entre el fondo del río hasta la tapa del compartimiento. Un tubo flexible conecta el espacio vacío del compartimiento con una bomba de succión cerca de la costa, tal como se indica. Cuando se conecta la bomba se crea una carga de succión en el espacio vacío que a su vez facilita la filtración del agua a través del lecho del río hasta la sección de filtrado de la unidad. El cuadro 7 indica los criterios de diseño utilizados para una unidad típica de filtrado.

Este sistema de filtración se utiliza en Malasia, Filipinas, Singapur y Tailandia para el abastecimiento de agua para uso industrial, piletas de natación, criaderos de peces, etc. (Vigneswaran & Viswanathan, 1983). También puede utilizarse como unidad de pre-filtrado para reducir la carga de la unidad de tratamiento subsiguiente. Asimismo se utiliza con buen resultado para tratar las aguas sumamente turbias del Rio Ganges en la India (Nigam, 1981). Una versión modificada del sistema SWS, recientemente instalado en Sudán, ha permitido controlar eficientemente las enfermedades. (Anon, 1983)

Es un proceso simple, donde no se utilizan piezas móviles ni sustancias químicas facilitando el funcionamiento continuo o intermitente. La instalación de un sistema en el fondo de un río demanda aproximadamente un hora. Sin embargo solo se puede aplicar en fuentes permanentes de aguas superficiales, y no puede utilizarse en causas profundos y barrosos, costas rocosas escarpadas y desfiladeros.



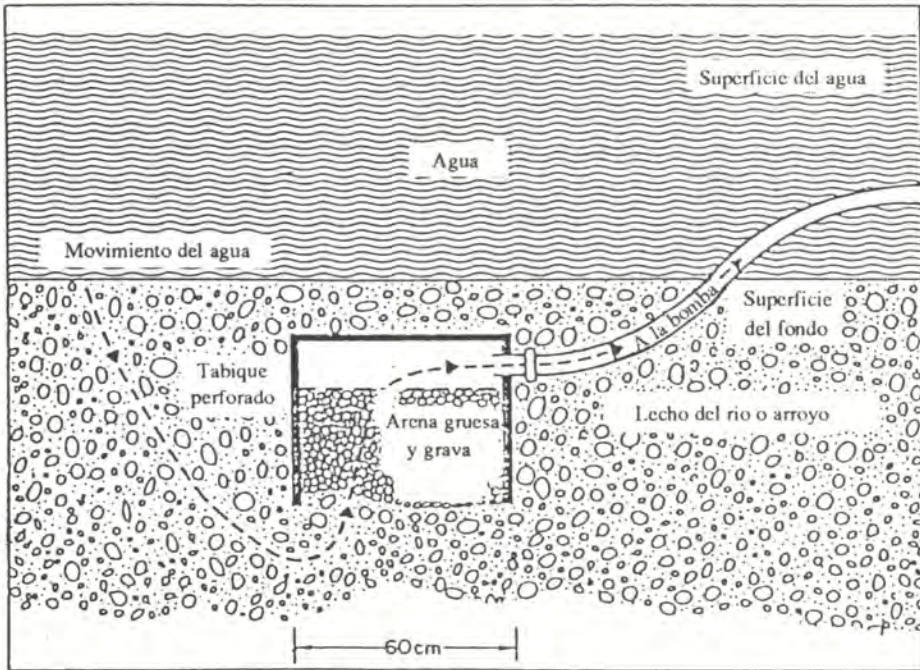


Fig. 5 Sistema de filtración de agua SWS

El sistema es sumamente económico. Según los informes, el costo total durante un período de 5 años para una unidad grande, con salida de 40.000 l/h fue de 360 libras esterlinas en base a precios de 1979, es decir un costo de 20 peniques por día incluyendo 1 penique por electricidad para 5.000 litros y 5 peniques para gasolina (Cansdale, 1979).

Cuadro 7 - Resumen de diseño de un sistema de filtro SWS

Parámetro	Índice de valores
Unidad	i) compartimiento de forma cuadrada de 60 c 60 cm. (máximo) con una profundidad de 40cm. ii) una sección hueca de 10 cm. entre la parte superior del medio de filtrado y la tapa del compartimento. Esta sección hueca tiene una serie de piezas distanciadoras para mayor estabilidad y evitar el derrumbe de la unidad en condiciones de vacío.
Medio de filtrado	Se utiliza grava y arena gruesa de tamaño entre 0.5 y 5.0 mm. Las arenas finas, especialmente las que mueve el viento (0.2 mm) y las piedras muy grandes (50mm) no son adecuadas como medios de filtrado
Altura de succión	La altura máxima de succión permisible debe mantenerse a menos de 7 mt.
Líneas de distribución	-Se necesita una manguera flexible reforzada desde la unidad hasta por lo menos el máximo nivel del agua -Es posible utilizar caños de PVC semi-rígidos desde la orilla del río y en la línea de distribución.
Bombas	Bomba manual de 4 m <sup>3</sup> /h.



### Comparación entre diferentes métodos de filtración

Los cuadros en las páginas siguientes comparan las diferentes técnicas de filtración y pueden utilizarse como guía para seleccionar las técnicas apropiadas para una fuente determinada de agua sin depurar.

#### Diseños compactos

Las plantas compactas de tratamiento se diseñan en general para instalaciones pequeñas en base a unidades prefabricadas y resultan más económicas que las plantas convencionales. Son adecuadas para lugares donde la construcción y el montaje en situ resultan poco prácticos. El método de tratamiento de filtración por flujo ascendente o descendente es simple y económico para el suministro de agua en pequeñas comunidades en los países en desarrollo. Puede utilizarse en el diseño de plantas modulares y compactas para el tratamiento de agua. Nuevamente puede apreciarse que una sola unidad reemplaza tres unidades separadas de un proceso convencional, facilitando la construcción y el funcionamiento de la planta.

#### Filtración por flujo ascendente y descendente

La filtración por flujo ascendente y descendente incluye en una misma unidad el mezclado convencional, la floculación, la sedimentación y la filtración rápida. El sistema contiene una serie de compartimientos (o nichos), tal como se muestra en la figura 6.

En este caso el sistema consiste en un floculador de lecho de grava de flujo descendente; tubos sedimentadores de flujo ascendente y un medio de filtrado doble de flujo descendente. En efecto, estas unidades producen un rápido mezclado, floculación, sedimentación y filtración. En el floculador de lecho de grava, una capa compacta de grava proporciona la situación ideal para la formación de masas flocosas compactas sedimentables debido al repetido y continuo contacto del flujo de agua a través de los intersticios entre la grava. La dirección del flujo puede ser tanto ascendente como descendente.

Los conceptos básicos de los tubos sedimentadores son similares a los de la sedimentación convencional en las cuencas. Sin embargo, en los tubos sedimentadores se aumenta la superficie por la división de los varios compartimientos de la pileta, uno encima de otro a través de las placas horizontales. Una vez instalados en una pileta de sedimentación convencional, estas unidades pueden mejorar su capacidad entre un 50 y un 150 %. Los mecanismos de tubos sedimentadores que más comunmente se utilizan en los países desarrollados son tubos interiormente forrados, con secciones circulares o rectangulares, fabricados y agrupados para formar un módulo.

Los filtros dobles están en general compuestos por arena y antracita, aunque esto puede variar en función de la disponibilidad local. En efecto, el agua sin depurar con coagulantes se mezcla y flocula en un floculador de lecho de grava, se depura a través de un clarificador y luego se pasa a través de un doble filtro, produciendo un efluente pronto para el proceso de desinfección. Es necesario destacar que toda la cadena del tratamiento se integra en una sola unidad. Según la calidad del agua impura, y la velocidad del flujo, el número de unidades de tratamiento puede aumentarse, como también puede aumentarse el número de cada una de las partes de la unidad.

La elección del filtro se basa en la experiencia. La figura 6 muestra un diseño típico, y en el cuadro 9 se ilustran algunos de los valores de diseño más comunes. Varios países en vías de desarrollo ya están aplicando los filtros de flujo ascendente -descendente en comunidades rurales. Kardile (1981) informó de diversos usos en la India. Por ejemplo se diseñaron las siguientes plantas para el tratamiento de las aguas turbias. Una planta de 2.400 m<sup>3</sup>/día para Ramtek (población 20.000) para aguas de baja turbiedad, una planta de 1.000 m<sup>3</sup>/día para Chandori (población 15.000) y una planta de 4.200 m<sup>3</sup>/día para Varangoon (población 35.000).

Cuadro 8. Características generales de las alternativas de filtración para el abastecimiento de agua a comunidades pequeñas

Parámetro	Filtración lenta en arena	Filtración en dos etapas	Filtración de SWS	Prefiltrado flujo horizontal
Característica agua en sin depurar	50 NTU	150 NTU	Puede utilizarse en aguas con alto nivel de turbiedad	200 NTU
Grado de tratamiento	Produce buena calidad de agua en términos de turbiedad y contenido bacteriológico	Produce buena calidad de agua en términos de turbiedad y contenido bacteriológico	Usada como unidad de pre-tratamiento	Usada como unidad de pre-tratamiento
Pre-tratamiento	Si la turbiedad es mayor que 50 NTU se requiere una unidad de pre-tratamiento tal como el filtro de flujo horizontal	Si la turbiedad es mayor que 150 NTU se requiere una unidad múltiple o la coagulación	—	—
Post-tratamiento	Preferentemente desinfección	Preferentemente desinfección	Depende de la calidad del agua sin depurar (generalmente filtro en arena seguido de desinfección)	Depende de la calidad del agua sin depurar (generalmente filtro en arena seguido de desinfección)
Velocidad de filtración	0.1-0.2m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .h	1.2-1.5m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .h	—	—
Tamaño del medio de filtrado	arena (e) = 0.15 a 0.35 mm., U.C.=2.5	Fibra de coco desmenuzada y lavada. Cáscaras de arroz quemadas de (e) = 0.3 -0.5m y U.C. = 2.3-2.6	Puede utilizarse grava y arena gruesa de medio de 0.3-0.5m	Grava 9 - 20mm 4-12mm 3-9 mm 2.5-8mm. 2.5-6 mm. 3 - 9 mm 10-25 mm

Parámetro	Filtración lenta en arena	Filtración en dos etapas	Filtración de SWS	Prefiltrado flujo horizontal
<p>Profundidad del medio filtrado</p> <p>Sistemas de drenaje inferior</p>	<p>1 a 1,4 mt.</p> <p>Sistemas de colector y laterales (para pequeñas unidades o ladrillos comunes o bloques de cemento pre-moldeados con orificios superiores en hormigón poroso. (Este drenaje inferior está por debajo de la capa de grava )</p>	<p>0,6 a 0,8 mt.</p> <p>Sistemas de colector y laterales bajo a capa de grava</p>	<p>0,3 mt.</p>	<p>0,8 mt.</p>
<p>Altura por encima del nivel</p>	<p>1 a 1,5 mt</p>	<p>1,0 mt</p>	<p>0,1 mt.</p>	<p>—</p>
<p>Limpieza</p>	<p>Remover algunos centímetros superiores y reemplazar con arena nueva (o la arena se lava y coloca nuevamente)</p>	<p>El filtro de coco se cambia por nuevas fibras de coco (o lavarlo). En el caso de cáscara de arroz quemada, la capa superior de 10 cm. se remueve y cambia por una nueva</p>	<p>—</p>	<p>La limpieza se realiza periódicamente compartimiento por compartimiento</p> <p>En cada compartimiento se remueve, se limpia y coloca la grava nuevamente</p>
<p>Frecuencia de limpiado</p>	<p>Cada dos meses (depende de la calidad del agua sin depurar)</p>	<p>Cada 3 o 4 meses (depende de la calidad del agua sin depurar)</p>	<p>—</p>	<p>Cada 2 a 5 años (depende de la calidad del agua sin depurar)</p>

Parámetro	Filtración lenta en arena	Filtración en dos etapas	Filtración de SWS	Prefiltrado flujo horizontal
Construcción: i) costo de construcción tamaño de arena adecuado)	Promedial según el tamaño de la arena	Baja	Baja	Promedial
ii) Necesidad de superficie de tierra	Grande	Promedial	Pequeña	Grande
iii) materiales de construcción	i) hormigón ii) ferro cemento iii) hormigón armado	Estructura de soporte en madera, hormigón o tinajas de hierro galvanizado para el tanque de filtrado	Caja rectangular de vidrio de fibra de 0.6x0.6x0.4m	i) Mampostería ii) Ferro cemento iii) Hormigón armado
iv) Construcción	Poca dificultad	Simple	Simple	Poca dificultad
Operación i) Necesidad de operario calificado	No	No	No	No
ii) Facilidad de operación	Simple	Muy simple	Muy simple	Simple
Costo de mantenimiento	Promedial	Bajo	Bajo	Promedial
Requisitos especiales	Ninguno	Ninguno	Cerca del río o fuente de agua	Ninguno
Tamaño de comunidad por unidad	Población mediana	Menos de 1.000 personas	Unidad grande (con salida de hasta 40.000 l/h)	Población mediana



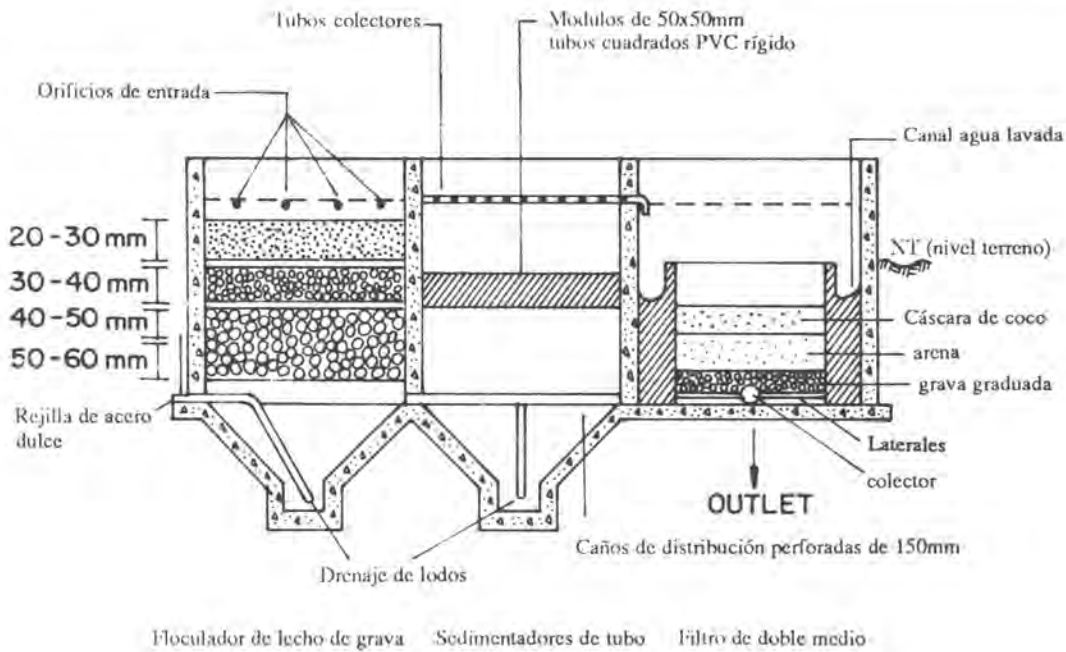


Figura 6 - Diagrama a nivel de una planta de flujo ascendente - descendente en Varangoon (Schulz & Okun, 1984)

Tanto la planta de Ramtek como la de Chandori fueron construídas utilizando materiales disponibles localmente, tales como ladrillos. Se constató que los costos de construcción de estas plantas resultaron ser entre un 30 y un 50 % menores en relación con los costos de plantas convencionales de la misma capacidad (Kardile, 1981).

Cuadro 9 - Valores típicos de diseño de filtros por flujo ascendente - descendente (Schulz & Okun, 1984)

Parámetro	Unidad	Valor
Capacidad (flujo)	m <sup>3</sup> /d	100 a 2400
Turbiedad agua sin depurar	NTU	0 a 160
Color del agua sin depurar	Pt - Co unidades	0 a 180
Profundidad del filtro	metros	1.5 a 3.0
Medio de filtrado (tamaño efectivo)	mm.	0.7 a 2.0
Velocidad de filtración	m/hr	12 a 16
Tamaño de la grava del lecho	mm.	10 a 60
Velocidad de flujo en lecho de grava	m/h	4 a 8
Tiempo de una operación de filtrado	hora	10 a 45
Consumo de agua de lavado	% de agua tratada	1.4 a 2.9

Los filtros de flujo ascendente - descendente pueden construirse íntegramente con materiales locales, y tratar satisfactoriamente aguas con un nivel de turbiedad inicial de 10 a 200 NTU. Sin embargo, la experiencia está aún limitada a unos pocos países, y de ahí la necesidad de estudios a escala piloto.

### CONCLUSIONES

Las tecnologías de filtración que se presentan son las opciones más económicas y prometedoras para las comunidades rurales en los países en vías de desarrollo. Las plantas de purificación de agua utilizando estos tipos de diseño se construyen íntegramente en base a los conocimientos y los materiales locales, y en consecuencia son más económicas que otros métodos convencionales. Debe considerarse, sin embargo, que las tecnologías que aquí se presentan están basadas en experiencias de situaciones particulares y solamente proporcionan información básica. Por lo tanto, para el diseño de una unidad de tratamiento completa, para una comunidad específica, es necesario introducir las modificaciones pertinentes según los criterios de diseño que se adapten mejor a las condiciones locales.

### REFERENCIAS

- Anon, (1983) SWS Unit. *World Water*, (mayo); 24.
- Arboleda, J.V. (1973). *Teoría Diseño y Control de los Procesos de Clarificación del Agua*. Serie Técnica 13. CEPIS, Lima, Perú.
- Cansdale, G.S. (1979). *Report on Second Regional Consultancy Low-Cost Filtration System*. Informe No. SCS/79/WP/84. Programa de coordinación y desarrollo de las pesquerías del mar de China meridional, Manila.
- Frankel, R.J. (1977). *Manual for Design and Operation of the Coconut Fiber/Burnt Rice Husk Filter for Supplying Drinking Water to Rural Communities in Southeast Asia*. Am. J. Public Health, 69(i):75-76.
- Hilmoe, D.J. & Cleasby, J.L. (1986). *Comparing Constant-Rate and Declining-Rate Filtration of a Surface Water*. AWWA J., 78(12):26-33.
- Huisman, L. (1978) *Development of Village-Scale Slow Sand Filtration*. Prog. Water Technol, 11(1/2):159-165, 423-426.
- Kardile, J.N. (1980). *Development of Simple and Economic Filtration Methods for Rural Water Supplies*, Aqua, (1):226-229.
- Nigam, J.P. (1981). *Low Cost Filtration Plants for Water Supply for Ardha-Kumbha Mela, 1980 at Ardwar*. J. Inst. Eng. (India) - División de Ingeniería Ambiental, Nagpur, India.
- Paramasivan, R. & Sundaresan, B.B. (sin fecha). *Slow Sand Filters for Rural Water Supplies in Developing Countries*. Instituto nacional de investigación en ingeniería ambiental, Nagpur, India.
- Paramasivam R., Mhaisalkar V.A. & Berthouex P.M. (1981) *Slow Sand Filter Design and Construction in Developing Countries*. AWWA J., 73(4):178-185.

---

Schulz T.J., Hendricks D.W. & Jononis B.A. (1984). *Surface Water Treatment for Communities in Developing Countries*. John Wiley & Sons, N.Y. EE.UU.

Seclaux T.J., Hendricks D.W. & Jononis B.A. (1986). *Design and Operation of a Slow Sand Filter*. AWWA J., 78(12):35-41.

Thanh N.C. (1978). *Functional Design of Water Supply for Rural Communities*, IDRC Research Award, Instituto Asiático de Tecnología, Bangkok.

Thanh N.C. & Hettiaratchi J.P.A. (1982) *Surface Water Filtration for Rural Areas - Guidelines for Design, Construction and Maintenance*. Centro de Información Ambiental, Bangkok.

Thanh N.C. & Ouano E.A.R. (1977). *Horizontal Flow Course-Material Prefiltration*, Informe de Investigación No. 20, Instituto Asiático de Tecnología, Bangkok.

Thanh N.C. & Pescod M.B. (1976). *Application of Slow Filtration for Surface Water Treatment in Tropical Developing Countries*. Informe de Investigación No. 65. Instituto Asiático de Tecnología, Bangkok.

Viganeswaran S.C., Tam D.M., Visvanathan C., Thanh N.C. & Schulz C.R. (1983). *Water Filtration Technologies for Developing Countries*. Centre de Información de Sanidad Ambiental, Bangkok.





## MECANISMOS DE ORDENACION AMBIENTAL

Por R.G.H. Turnbull  
Centro de Planificación y Medio Ambiente  
Universidad de Aberdeen  
Reino Unido

*"La ordenación ambiental es un proceso de desarrollo que incluye al impacto ambiental entre sus componentes para asegurar la viabilidad y el bienestar humano en forma sostenida." Consejo de Administración del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 1975.*

### INTRODUCCION

Este capítulo estudia los aspectos institucionales y de ordenamiento para integrar los considerandos ambientales en la planificación del desarrollo. Los problemas ambientales de los últimos veinte años a nivel mundial, obligaron a replantear y revalorar los métodos de planificación y administración tanto en los países desarrollados como en vías de desarrollo. Dada la importancia y relevancia de estos considerandos sociales, económicos y políticos para la adopción de decisiones en cada país, se procurará estudiar los fundamentos de la ordenación ambiental; el porqué es importante la ordenación ambiental; que incluye la ordenación y como llevarla a cabo; modelos actuales e interacción entre los organismos pertinentes.

Entre los ámbitos que abarca se incluyen: estructura de la organización y administración para la adopción de decisiones en la esfera ambiental; interacción entre organismos estatales, industria y grupos populares; mecanismos para vincular ministerios, departamentos y organizaciones gubernamentales; y métodos para coordinar las actividades. Se considera esencial el apoyo legislativo, la formulación de sanciones para los transgresores ambientales, conjuntamente con los sistemas de apoyo necesarios para la capacitación, promoción, financiación, vigilancia y procedimientos de evaluación ambiental.

#### **Fundamentos de la Ordenación Ambiental**

Desde la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano, celebrado en Estocolmo en 1972, y la siguiente Conferencia sobre Asentamientos Humanos, celebrada en Vancouver en 1976, continuó aumentando la preocupación por las cuestiones ambientales, hasta convertirse en un asunto de carácter mundial. La mayoría de los países han reconocido su importancia, y han tomado las medidas para formular políticas ambientales y los mecanismos necesarios para su instrumentación.

La Conferencia de Estocolmo destacó la importancia de los movimientos ecológicos y ambientales, destacando que los mayores problemas ambientales en los países en desarrollo provienen de la pobreza y las actividades de desarrollo inadecuadas. Para lograr una mejor calidad de vida, es necesario integrar las cuestiones ambientales, población y recursos dentro del contexto del proceso de desarrollo.

El objetivo de la Conferencia de Vancouver fue promover actividades que aceleren la formulación de políticas; especialmente en cuanto a la planificación física y las medidas organizativas, y sirvió para que los gobiernos se unan en el compromiso de mejorar la calidad de los

asentamientos humanos, contribuyó a la elaboración de mejores disposiciones internacionales para una acción efectiva, y facilitó el intercambio de información. Entre otros temas se estudiaron las carencias y limitaciones de los planes nacionales de desarrollo basados íntegramente en criterios económicos y financieros. Asimismo, se destacó la necesidad de considerar los aspectos físicos y espaciales del desarrollo en la formulación de los planes nacionales.

En virtud de ambas Conferencias y los compromisos asumidos por los gobiernos, tanto los países desarrollados como en vías de desarrollo continuaron y aumentaron las actividades para lograr la ordenación racional de sus recursos básicos, tales como el suelo, el agua, los bosques, la vida marina y silvestre, conjuntamente con un enfoque integral de la planificación y ordenación del medio ambiente natural y humano. El éxito de esta integración depende de la disponibilidad y distribución de los recursos financieros y humanos para el desarrollo, y la elección de alternativas menos nocivas para el medio ambiente.

Las Conferencias de Estocolmo y Vancouver establecieron los fundamentos iniciales para una ordenación efectiva del medio ambiente a través de la identificación de las relaciones físicas, económicas, sociales e institucionales entre los asentamientos humanos y el medio ambiente natural, y la forma de encarar las cuestiones ambientales a nivel local, regional y nacional. Se identificó la relación entre la ordenación ambiental, la evaluación ambiental y las medidas de apoyo (fig.1) que sirvieron de base para enfocar aspectos específicos y la necesidad de formular actividades pertinentes. En años recientes los gobiernos y las instituciones adquirieron considerable experiencia práctica y se beneficiaron de la investigación internacional sobre la aplicación de la evaluación del impacto ambiental (EIA) y de las técnicas de ordenación ambiental actualmente en vigor en varios países.

Los organismos y órganos internacionales participaron también en la elaboración de los principios generales aplicables a los principales problemas de contaminación atmosférica y marina transfronteriza que afectan al mundo. La mayor parte del trabajo se orientó a la creación de organizaciones administrativas para ordenar conjuntamente los recursos compartidos, incluyendo el control de la contaminación, y no hacia la formulación de los medios jurídicos para compensar los daños por el uso indebido.

### Que es la ordenación ambiental

Uno de los problemas que más ha confundido la formulación de mecanismos y técnicas ambientales en años recientes, ha sido la proliferación de nuevos términos o frases, y la amplitud de la esfera ambiental. Por lo tanto es de real importancia clarificar el significado de la frase "ordenación



Figura 1. Esquema simplificado de la relación entre la Ordenación Ambiental, la Evaluación Ambiental y las Medidas de Apoyo.

ambiental". Esencialmente, la "ordenación ambiental" es la coordinación de actividades y políticas de gobierno o instituciones que conjuntamente mejoran el medio ambiente natural y artificial. Esta acción no puede ser efectiva a menos que forme parte de los objetivos de la planificación a largo plazo, tanto en las políticas como en los planes locales, regionales o nacionales.

### **Importancia de la Ordenación Ambiental**

El concepto y la necesidad de una "ordenación ambiental" fue reconocido hace años por los países desarrollados y en vías de desarrollo. La creación de un sistema de derecho ambiental coherente a nivel nacional, y el establecimiento de organizaciones administrativas para el control del medio ambiente, permite superar carencias anteriores y facilita la planificación de los recursos en general. De esta forma, es posible evaluar las políticas opcionales en forma sistemática definiendo los objetivos y metas, evaluando las necesidades y los resultados, y estudiando las alternativas pertinentes. La ordenación ambiental ayuda también al proceso político, facilitando la definición y ejecución de la voluntad política. Asimismo es un enfoque que procura servir las necesidades de la sociedad en forma global y no fragmentada.

### **Que incluye la ordenación ambiental**

Los gobiernos han demostrado su creciente responsabilidad en la ordenación y protección ambiental promulgando una legislación ambiental y estableciendo estructuras administrativas con personal de apoyo tales como Juntas para la Protección Ambiental, Consejos o Agencias especiales, así como también organismos independientes o como parte de los ministerios y departamentos gubernamentales ya existentes. Este enfoque facilita la formulación de reglamentaciones y controles más uniformes, la búsqueda de soluciones a los problemas creados en las diferentes jurisdicciones administrativas; proporciona asesoramiento a nivel central y asegura el compromiso nacional ante los problemas ambientales.

Si bien prevalecen distintas condiciones en los varios países, es posible clasificar la ordenación ambiental en varios ámbitos generales, tales como: el crecimiento de la población, el agotamiento y deterioro de los recursos naturales; la urbanización e industrialización; y el control de la contaminación (aire, agua y suelo) y otras. Estos temas están en general interrelacionados y presentan complejos problemas de ordenación en la interacción de la población y el medio ambiente por un lado, y el uso eficiente de los recursos por otro.

Por ejemplo, la disminución de los recursos en las zonas rurales, obliga a la población a buscar las zonas urbanas. A su vez provoca tensiones sociales y políticas que requieren una correcta ordenación e interpretación de los problemas por todas las partes. Ambos sectores, rural y urbano enfrentan similares problemas ambientales que están interrelacionados. Si bien las soluciones no son fáciles existe la tendencia a estudiarlos en forma separada y fragmentada y *ad hoc* en vez de aplicar técnicas y métodos de ordenación integrados.

Cuando existen serios problemas de deterioro ambiental y mala ordenación de los recursos naturales, se requiere el apoyo conjunto del proceso político y el respaldo de los servicios administrativos para la formulación e instrumentación de políticas, programas y planes de acción adecuados. El deterioro de los recursos naturales conlleva consecuencias importantes para la supervivencia del país y el potencial del futuro desarrollo. A fin de proteger y mejorar estas condiciones es necesario adoptar un plan de acción coordinado e integrado. El enfoque incluye diversos ámbitos y complejas interrelaciones entre los factores socio-económicos y ecológicos y el mismo proceso de desarrollo.

En base a la experiencia del país, se estudiará la estrategia correcta para enfocar problemas específicos, suficientemente flexible para formular e instrumentar las políticas, los programas y los planes de acción necesarios. El enfoque permite agrupar las consideraciones de la estrategia y de



las actividades tácticas en dos ámbitos principales. El primero requiere el desarrollo de un programa de mejoramiento ambiental a largo plazo dentro del marco de un plan de acción integrado. Es necesario formular los componentes del plan de acción en cada nivel de planificación (nacional, regional y sectorial) para que abarque los problemas ambientales específicos. El segundo requiere diferentes actividades en diversas esferas, desde la ejecución de proyectos específicos para el desarrollo de los recursos naturales en los varios ecosistemas; el traslado de la industria a otras zonas; la ordenación del turismo y las actividades de esparcimiento en las zonas protegidas; hasta el control de los diferentes niveles de contaminación.

Otros temas importantes incluyen: la investigación, el desarrollo de técnicas y métodos de planificación y ordenación y el establecimiento de un marco institucional y de información para el funcionamiento de dichas actividades. Es esencial el desarrollo de métodos para la planificación y la ordenación integrada y la aplicación de la evaluación del impacto ambiental en el análisis de los proyectos o las alternativas. Por otro lado, es necesario elaborar programas de capacitación sobre temas ambientales como también intercambiar y difundir todo tipo de información ambiental. Un importante requisito previo es la creación de un mecanismo que permita canalizar las actividades en la dirección adecuada.

### Como lograr la correcta ordenación ambiental

A nivel nacional, la necesidad de integrar la protección ambiental como componente imprescindible dentro de la estrategia a largo plazo, determinó la creación de secretarías para el medio ambiente con diferentes niveles de operación administrativa. Sin embargo, no está claro si estos grupos han influenciado o cambiado la actitud de los antiguos grupos económicos fuertes en los gobiernos. La creación de un marco legal para la protección ambiental ha sido hasta cierto punto desigual, y no es extraño que no existan aún fórmulas estándar aceptables, a pesar de los muchos ejemplos disponibles. En muchos países en vías de desarrollo la legislación para la protección ambiental a nivel nacional es aún incompleta, a diferencia en general de la legislación ambiental sectorial, por ejemplo, la salud pública, la protección laboral y las reglamentaciones municipales limitadas a las cuestiones de higiene. Los diferentes sistemas políticos y los complejos dispositivos administrativos y financieros de la mayoría de los países, impiden la aplicación de fórmulas simples que permitan formular un sistema integral de ordenación ambiental.

Las tendencias organizativas de los sistemas de ordenación ambiental están orientados a buscar la supervisión directa a través de un solo departamento a nivel nacional o establecer un organismo multidisciplinario con o sin poder ejecutivo.

Otras disposiciones incluyen la creación de dos o más estructuras de ordenación escalonadas, la designación de autoridades sectoriales o especializadas en el tema; o de autoridades distritales y de desarrollo regional con responsabilidades específicas. Estas autoridades, inclusive en el ámbito municipal, pueden o no limitarse a cuestiones de planificación. La división de funciones y responsabilidades entre las distintas organizaciones está en general basada en la eficiencia técnica, la eficacia administrativa, las consideraciones políticas y la equidad fiscal.

La introducción de un sistema de protección y ordenación ambiental dentro de un sistema administrativo existente requiere una cuidadosa preparación, no solo en lo que respecta a la calificación técnica necesaria, sino también en cuanto al planteo mismo. En las etapas iniciales, es esencial mantener un sistema simple, limitado tal vez a la introducción de métodos y técnicas de evaluación ambiental disponibles y adoptados universalmente. Este planteamiento debe ser apoyado por adecuados programas de capacitación técnica.

A menudo se presta demasiada atención a los complejos aspectos de la planificación ambiental, dejando de lado los considerandos sobre la mejor forma de introducirlos. El sistema más efectivo puede fracasar si un personal inexperto intenta introducirlo apresuradamente, especialmente cuando existe oposición de otros sectores del departamento. Los siete puntos que se enumeran a



continuación, podrían llamarse principios racionales para introducir un nuevo concepto en ordenación.

#### *Compromiso*

Debe existir un compromiso político formal para crear un sistema de ordenación y protección ambiental.

#### *Decisiones*

Una vez adoptado el compromiso, es necesario tomar decisiones sobre las responsabilidades para la instrumentación, asignación de personal y el proceso de información.

#### *Información*

La etapa de información es de suma importancia. La falta de comunicación con el resto del personal o con otros departamentos, inevitablemente derivará en malentendidos y la consiguiente oposición. El personal participante durante la iniciación del proceso requiere cierto grado de capacitación, según su experiencia previa.

#### *Recopilación de datos e interpretación*

La recopilación e interpretación de la información no es un fin en sí mismo, y debe extenderse únicamente hasta un nivel que permita desarrollar el sistema de ordenación. Es necesario destacar la importancia del vínculo con terceras partes.

#### *Planificación*

No deben considerarse los planes elaborados en un marco integral de un sistema de ordenación y protección ambiental como "concebidos por" o "pertenecientes" a los organismos o consejos para el medio ambiente. Es necesario comprender que son planes sobre servicios y recursos del medio ambiente para todos los departamentos de gobierno.

#### *Conformidad*

La planificación y ordenación ambiental no debe incluir la elaboración de planes ingeniosos, a menos que se traduzcan en políticas acordes, adoptadas con el compromiso de financiar adecuadamente. La planificación y ordenación ambiental debe asegurar que los planes expresen la realidad de una voluntad política.

#### *Evaluación*

No es necesario vigilar y actualizar las políticas adoptadas sino establecer el valor práctico de la planificación y ordenación ambiental. La evaluación de la planificación ambiental puede resultar difícil de cuantificar por los muchos beneficios intangibles, tales como cambios de actitud, mejoras en las actividades de cooperación y evaluación ambiental y en el propio medio ambiente.

El diagrama de la figura 2 ilustra éstas etapas. Claramente queda demostrado que la organización designada para crear un sistema de planificación ambiental debe llevar a cabo la ejecución. De esta forma la organización para el medio ambiente y otros departamentos gubernamentales desempeñan funciones complementarias y no conflictivas.

### **Consideraciones Administrativas y Técnicas**

Los procedimientos técnicos y administrativos para incorporar los considerandos ambientales dentro del proceso de planificación del desarrollo varían de país en país. La eficacia de éstos procedimientos como instrumentos de ordenación, depende en gran medida del compromiso político, la disposición organizativa, y la disponibilidad de personal y recursos.

A nivel teórico, los organismos internacionales, las comunidades académicas, los institutos de investigación y los gobiernos mismos han elaborado un gran número de directrices generales y técnicas. En términos generales las directrices incluyen instrucciones sobre procedimientos o técnicas útiles, así como también la aclaración de diversos aspectos del proceso de planificación y

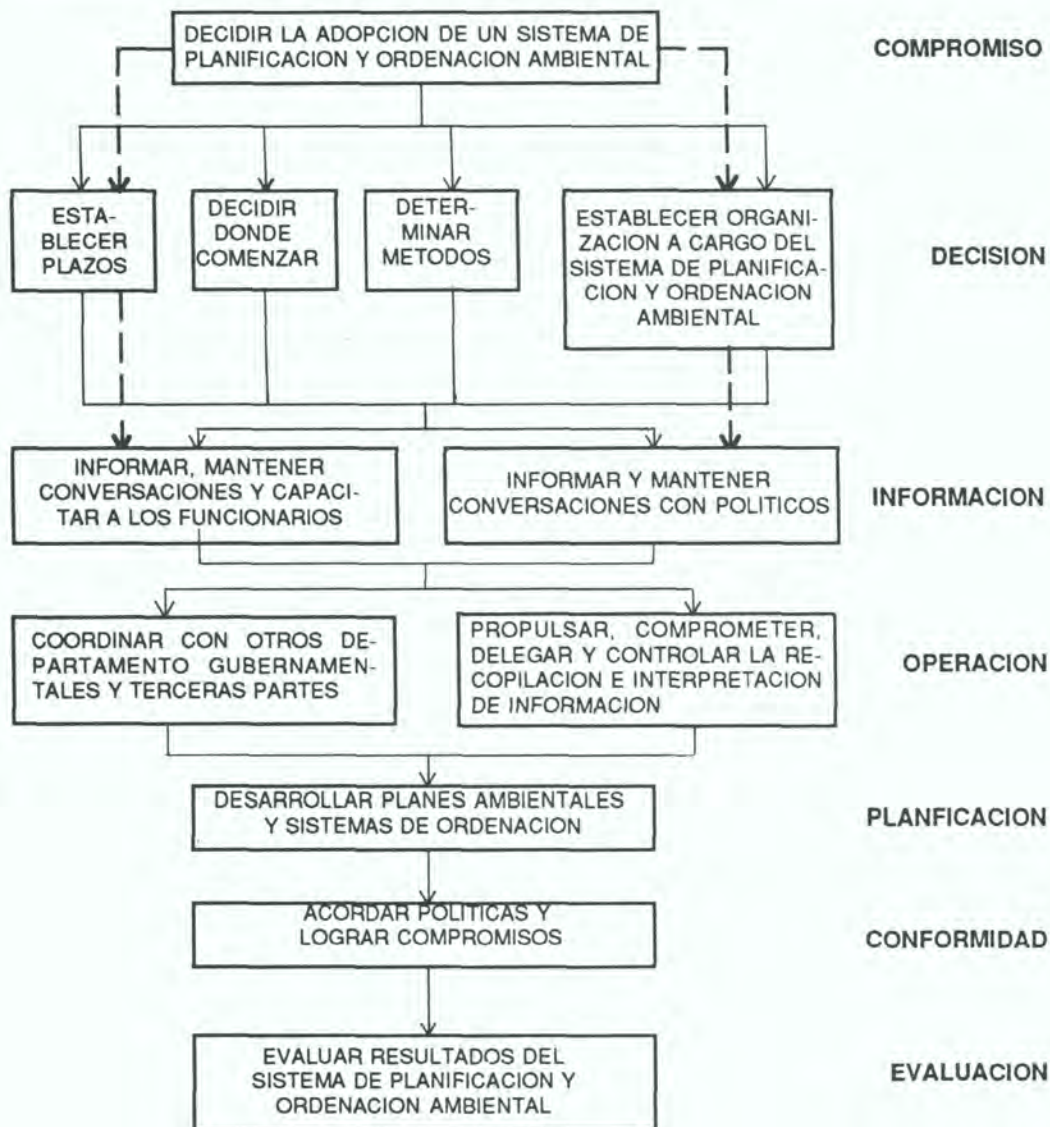


Fig. 2. Siete etapas básicas en la introducción de un sistema de Planificación y Ordenación ambiental.

evaluación ambiental. En ciertos países, las directrices fueron elaboradas por departamentos gubernamentales o instituciones privadas responsables o interesados en incluir el estudio de las cuestiones ambientales durante la adopción de decisiones y en el proceso de la evaluación y planificación del desarrollo. Según el objetivo, las directrices pueden ser mandatorias o asesoras.

Las directrices pueden incluir consejos y directivas sobre una variedad de temas o aspectos técnicos y procedimiento especiales sobre cuestiones ambientales, tales como:

- Descripción o esclarecimiento de los procedimientos legales o administrativos, tareas, responsabilidades y plazo para realizar una evaluación del impacto ambiental, según las disposiciones



de los estatutos operativos. Un ejemplo son las directrices para las agencias federales elaboradas por el Consejo para la Calidad Ambiental (CEQ) de los Estados Unidos sobre la instrumentación y preparación de las declaraciones del impacto ambiental (EIS).

- Esclarecimiento o descripción detallada de los procedimientos a seguir para la preparación y remisión de una evaluación del impacto ambiental a la autoridad o institución responsable de la adopción de decisiones pertinentes. Estas directrices pueden abarcar una o más esferas de actividades, tales como planes, políticas, carreteras, proyectos industriales u otros intereses sectoriales.
- Esclarecimiento o descripción detallada para informar técnicamente como llevar a cabo una evaluación sobre actividades específicas del desarrollo, tales como plantas de energía, represas, planes y políticas, etc. Se elaboraron y están disponibles una amplia variedad de directrices, destacándose especialmente las directrices preparadas por el Banco Mundial y otras organizaciones de asistencia internacional.
- Esclarecimiento y descripción de las técnicas y métodos ambientales, incluyendo el uso de listas de verificación y matrices, evaluación de impactos, presentación de documentos y métodos para la participación pública. Algunos ejemplos incluyen los manuales elaborados para la preparación de la evaluación del impacto ambiental por la Junta Nacional para el Medio Ambiente de Tailandia, y por el Departamento para el Medio Ambiente del Reino Unido sobre la evaluación de las principales propuestas para el desarrollo.
- Descripciones detalladas de factores ambientales en temas específicos tales como la salud, el agua, la calidad del aire, la población y los productos tóxicos. Los ejemplos incluyen publicaciones de la Organización Mundial de la Salud y la Agencia para la Protección Ambiental de los Estados Unidos.

Las directrices representan una importante ayuda para el intercambio de información, consejos y directivas sobre el proceso de la planificación y ordenación ambiental entre departamentos gubernamentales, empresas públicas y privadas y miembros del público en general.

Dado que la evaluación del impacto ambiental es un proceso relativamente nuevo en muchos países en vías de desarrollo y en base a la experiencia previa, se estima que desarrollar un sistema efectivo para el control del medio ambiente demandará varios años. Es durante este período que las directrices técnicas y de procedimientos resultan de suma importancia para delinear los requisitos legales y administrativos del sistema y el desarrollo y capacitación de la mano de obra necesaria para las tareas técnicas.

La necesidad de directrices de procedimiento depende en parte de las disposiciones institucionales, administrativas y jurídicas de cada país. No obstante, resulta conveniente introducir el concepto de la EIA como instrumento de ordenación en todas las actividades para el desarrollo. Las siguientes directrices de procedimiento para desarrollar un sistema ambiental, pueden resultar útiles.

- Objetivo y necesidad de una evaluación del impacto ambiental.
- Como y cuando preparar una evaluación del impacto ambiental durante el proceso de toma de decisiones.
- Cooperación imprescindible dentro y entre los departamentos gubernamentales a nivel local, central y otros.
- Asesoramiento sobre forma y contenido de los documentos de la evaluación del impacto ambiental.



- Publicidad a nivel local, regional y nacional.
- Participación pública y técnicas de presentación.
- Procedimientos de vigilancia y verificación posterior
- Requisitos institucionales para la evaluación del impacto ambiental.
- Glosario de términos sobre planificación y ordenación ambiental.

En Europa, América del Norte y en otros países en vías de desarrollo se aplican con más frecuencia los métodos y técnicas para la evaluación del impacto ambiental. Es importante que los países dispuestos a incluir las cuestiones ambientales en el proceso de adopción de decisiones, consideren las consecuencias de la integración de la evaluación del impacto ambiental durante las primeras etapas. La incorporación a proceso de decisiones jurídicas puede afectar a toda una serie de reglamentaciones y procedimientos existente, flexibles o no a este tipo de innovaciones. La facilidad de dichos cambios varía de país en país.

Si bien se están llevando a cabo diversas investigaciones técnicas sobre los métodos y parámetros a utilizar, es necesario destacar que éstos no tienen valor legal y no implican por sí mismos la protección ambiental. Los ensayos de métodos administrativos en algunos sectores pueden ser convenientes, sin embargo no es aplicable a la esfera ambiental, donde la gravedad de las cuestiones planteadas y la urgente necesidad de actividades inmediatas demandan una acción positiva y rápida.

En resumen, varían los logros alcanzados en la planificación y la ordenación ambiental. Los progresos para definir el alcance de los problemas y la elaboración de los instrumentos necesarios para solucionarlos continúan avanzando. Sin embargo, subsisten los problemas reales a nivel de ejecución, a saber:

- Contínuos conflictos entre los objetivos socio-económicos y los de la ordenación y protección ambiental.
- Aspectos institucionales del control de la planificación y ordenación ambiental en relación con otras actividades del desarrollo.
- Recursos financieros y humanos inadecuados para enfrentar el desafío ambiental.

Es posible demostrar y promover la planificación y la ordenación ambiental, sin embargo la responsabilidad para instrumentar las medidas de apoyo, evaluación y una adecuada ordenación recaen en el propio gobierno.

### **Modelos existentes**

Durante la década del sesenta, la ordenación ambiental comenzó a ocupar un lugar cada vez más importante en los programas sociales de muchos de los países desarrollados. Se introdujeron nuevos sistemas institucionales y administrativos para alcanzar los objetivos de la política ambiental y para abordar la nueva y antigua legislación sobre las actividades públicas y privadas.

Otro aspecto importante de la planificación y ordenación ambiental fue la ampliación de la administración central y local gubernamental. Como ejemplo se citan la creación de la Junta nacional para la protección ambiental en Suecia en 1967, el Departamento para el medio ambiente en el Reino Unido en 1970, y el Consejo para la calidad ambiental (CEQ) en los Estados Unidos de América que se estableció para instrumentar la ley sobre política nacional ambiental de 1970. Estados Unidos fue el primer país en introducir procedimientos formales para la evaluación del impacto ambiental con instrucciones generales sobre cuando y que debe incluir la EIA. En 1970 se creó la Agencia para la Protección Ambiental (EPA) como institución autónoma (figura 3) para estudiar las propuestas de la EIA en el ámbito de la contaminación del aire y el agua, el ruido, la eliminación de residuos sólidos, los plaguicidas y la radiación, y se fortaleció al mismo tiempo las administraciones locales y regionales. En general la EPA no tiene mandato suficiente para detener



un proyecto iniciado por otra agencia federal, a pesar de que puede solicitar un análisis y mayor información sobre una actividad ambientalmente nociva o remitir el asunto al CEQ. Otros países desarrollados y en vías de desarrollo elaboraron medidas similares para formular una legislación ambiental y sistemas de control.

En términos generales, los sistemas de planificación y ordenación ambiental están basados en medidas administrativas, tales como la legislación, el control de la planificación física y la adopción de procedimientos para la autorización previa de los proyectos por las autoridades públicas. Además de los trámites netamente administrativos, se tomaron disposiciones para otorgar subsidios y para el pago de impuestos para financiar, por ejemplo, los gastos de recolección, tratamiento y eliminación de residuos sólidos, muestreos, análisis, etc. Desde que se adoptó el principio de que "el que contamina paga", es más difícil distinguir la línea que divide el control administrativo y financiero.

En la mayoría de los países desarrollados existen controles estrictos para la planificación física de los proyectos de desarrollo públicos y privados en acuerdo con los planes y políticas para el desarrollo ya aprobados. El estudio de las solicitudes de permisos, que deben estar de acuerdo con las normas de emisión de contaminación y otros requisitos, indican precondiciones en diversas actividades para casos individuales.

### **Legislación Ambiental**

Los progresos de la legislación ambiental internacional son comparativamente recientes, sin embargo en el transcurso de los años se estableció una nueva serie de conceptos y principios, que surgen de declaraciones, resoluciones y cartas internacionales, de compromisos específicos e hipótesis implícitas, comunes en un creciente número de convenios internacionales. La legislación nacional y local (municipal) tiene un impacto más o menos directo en el proceso de la formulación de leyes a través de la adopción de normas para la salud ambiental, y sobre los aspectos aceptables de ciertas actividades desarrolladas en el medio ambiente natural y artificial.

Es importante para las naciones con costas extensas prevenir la contaminación de las aguas por los derrames de hidrocarburos de los barcos. La promulgación y el cumplimiento de dicha legislación resulta más fácil si las naciones firman y ratifican algunos de los convenios y cartas internacionales sobre la protección de los océanos.

El objetivo principal de la legislación sobre protección ambiental es proteger el medio ambiente de la emisión de contaminantes en el agua y el aire, el ruido, las vibraciones, etc. En términos generales, el cumplimiento de la legislación asegura la adopción de medidas protectoras para contrarrestar las actividades nocivas, como así también la aceptación de las limitaciones impuestas. La legislación también protege a las personas afectadas, a través del derecho de protesta y la compensación por las pérdidas resultantes.

### **Administración Ambiental**

Tradicionalmente, la administración gubernamental se compone de una serie de ministerios y departamentos, consejos y comités cuyas oficinas nacionales y locales están dispersas en todo el país en función de los límites jurisdiccionales. Los principales ministerios funcionan en base a líneas sectoriales, tales como defensa, finanzas, relaciones exteriores, agricultura, pesca, vivienda y planeamiento, salud pública, comunicaciones, industria, educación, etc. En general el ministerio del interior o asuntos internos es responsable de la administración local, vigilancia policial, tierras, bienestar social, planificación urbana y nacional, desarrollo rural y planificación de políticas. También pueden funcionar cierto número de unidades asesoras en políticas, vinculadas a la oficina del jefe de gobierno.

La tarea principal de los ministerios y sus departamentos es servir de guía, a través de una



legislación apropiada y de procedimientos financieros, y enfrentar y resolver los problemas que puedan surgir. Los consejos administrativos y los comités son responsables de la aplicación de las decisiones gubernamentales en esferas de interés particular, tal como el medio ambiente. Dentro de este contexto, la responsabilidad de las cuestiones ambientales puede recaer en uno o más ministerios o ser derivados a una junta ejecutiva con comités de apoyo, según las circunstancias. En general un cierto número de ministerios participan en las cuestiones ambientales, como por ejemplo la planificación física y el control de la contaminación.

En países donde es difícil identificar el ministerio o departamento adecuado responsable de la protección ambiental, se crearon Consejos de Protección del Medio Ambiente, en calidad de autoridad administrativa central en la esfera ambiental. En muchos casos los Consejos dependen de varios comités de asesoramiento especializados, especialmente en cuestiones técnicas de los programas ambientales, así como también en asuntos institucionales y de procedimiento. La figura 4 es un diagrama de organización típica, basado en la administración ambiental en Tailandia.

El Consejo Nacional para el Medio Ambiente de Tailandia (NEB), establecido en 1975, publicó y distribuyó un manual con directrices sobre los procedimientos para la evaluación del impacto ambiental a todas las agencias e individuos tanto en el sector público como privado. El objetivo de las directrices es iniciar un sistema adecuado para la evaluación del impacto ambiental. El manual incluye directrices para preparar estudios ambientales iniciales (IEE), preparar informes del impacto ambiental (EIS), y preparar los términos de referencia para propuestas de firmas consultoras invitadas u otras instituciones interesadas en realizar estudios del impacto ambiental para proyectos específicos. Se procurará actualizar el manual a medida que aumente la experiencia en la planificación y ordenación ambiental.

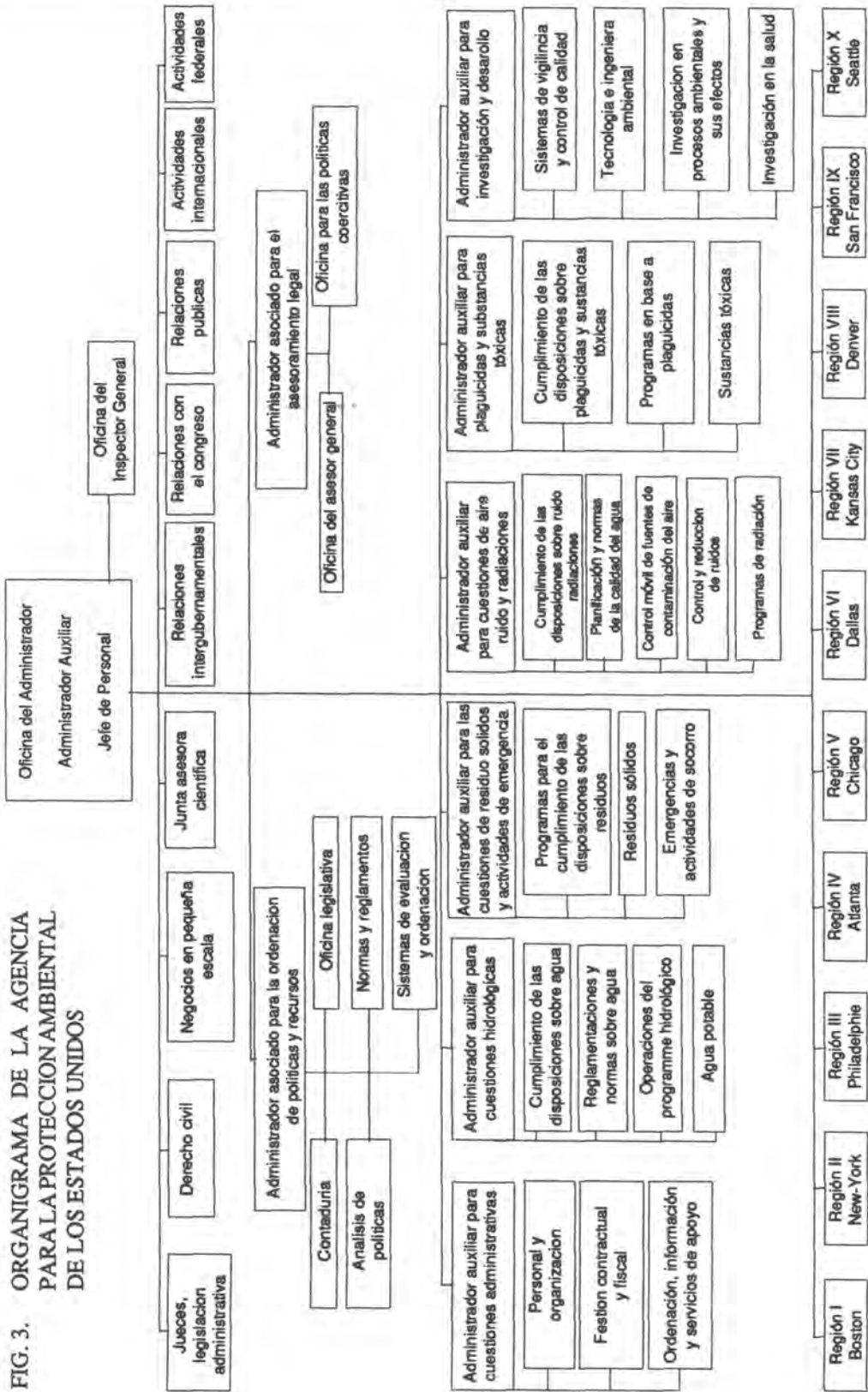
Es de suma importancia que los consejos nacionales para el medio ambiente y otros ministerios, departamentos o agencias gubernamentales mantengan buenas relaciones, a fin de desarrollar un sistema nacional de planificación y ordenación ambiental eficaz. Los comités o grupos asesores especializados, debidamente representados por los diferentes intereses desempeñarán una función importante en el desarrollo y la comprensión de las cuestiones ambientales, y en la cooperación entre los ministerios y departamentos gubernamentales. Es también importante reconocer el paralelismo entre las administraciones ambientales dentro y entre las grandes zonas urbanas y las del medio ambiente en general. Los deberes y la organización de las juntas nacionales para el medio ambiente se reflejarán en los ajustes necesarios de la administración y organización de las grandes zonas urbanas.

Muchos países con experiencia en planificación urbana y nacional, han o están por adoptar los métodos y las técnicas de la evaluación del impacto ambiental en los sistemas administrativos para la autorización de proyectos. Es de especial importancia para los estados miembros de la Comunidad Económica Europea (CEE) que promulgó directivas para un sistema obligatorio de la evaluación del impacto ambiental en los proyectos públicos y privados.

De acuerdo con un estudio reciente del proceso de la evaluación del impacto ambiental en los diez y siete países mediterráneos, solamente Francia e Israel formularon procedimientos obligatorios de la EIA. En Yugoslavia se requiere legalmente una evaluación del impacto ambiental, sin embargo es una medida reciente que no está aún bien establecida. En Turquía se crearán los procedimientos necesaria cuando se apruebe la legislación de apoyo. Otros países, tales como España, Siria y Libia requieren una evaluación del impacto ambiental en ciertos sectores, sin embargo la medida no ha sido rigurosamente aplicada. En virtud de las directrices de la CEE, Grecia, Italia y España deben elaborar un sistema obligatorio de evaluación del impacto ambiental antes de 1988.

En Suecia se estableció en 1967 la Junta Nacional para la Protección Ambiental en calidad de órgano administrativo central para la protección del medio ambiente y para instrumentar las decisiones de gobierno. Conjuntamente se fortalecieron las administraciones locales a través de unidades especiales de protección ambiental. El ámbito de responsabilidades incluye la protección

FIG. 3. ORGANIGRAMA DE LA AGENCIA PARA LA PROTECCION AMBIENTAL DE LOS ESTADOS UNIDOS





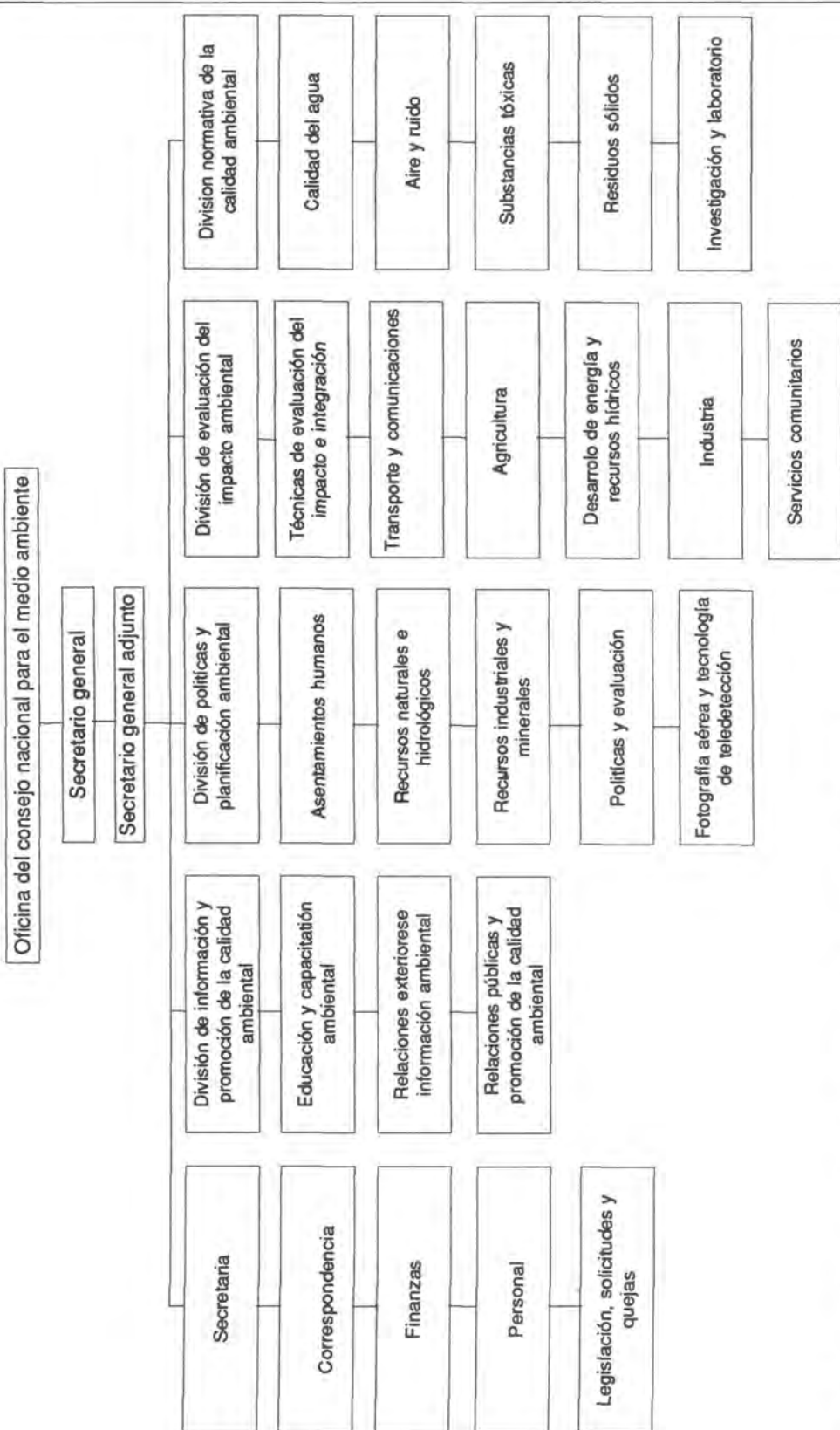


Fig 4: Organigrama de la junta nacional para el medio ambiente en Thailandia

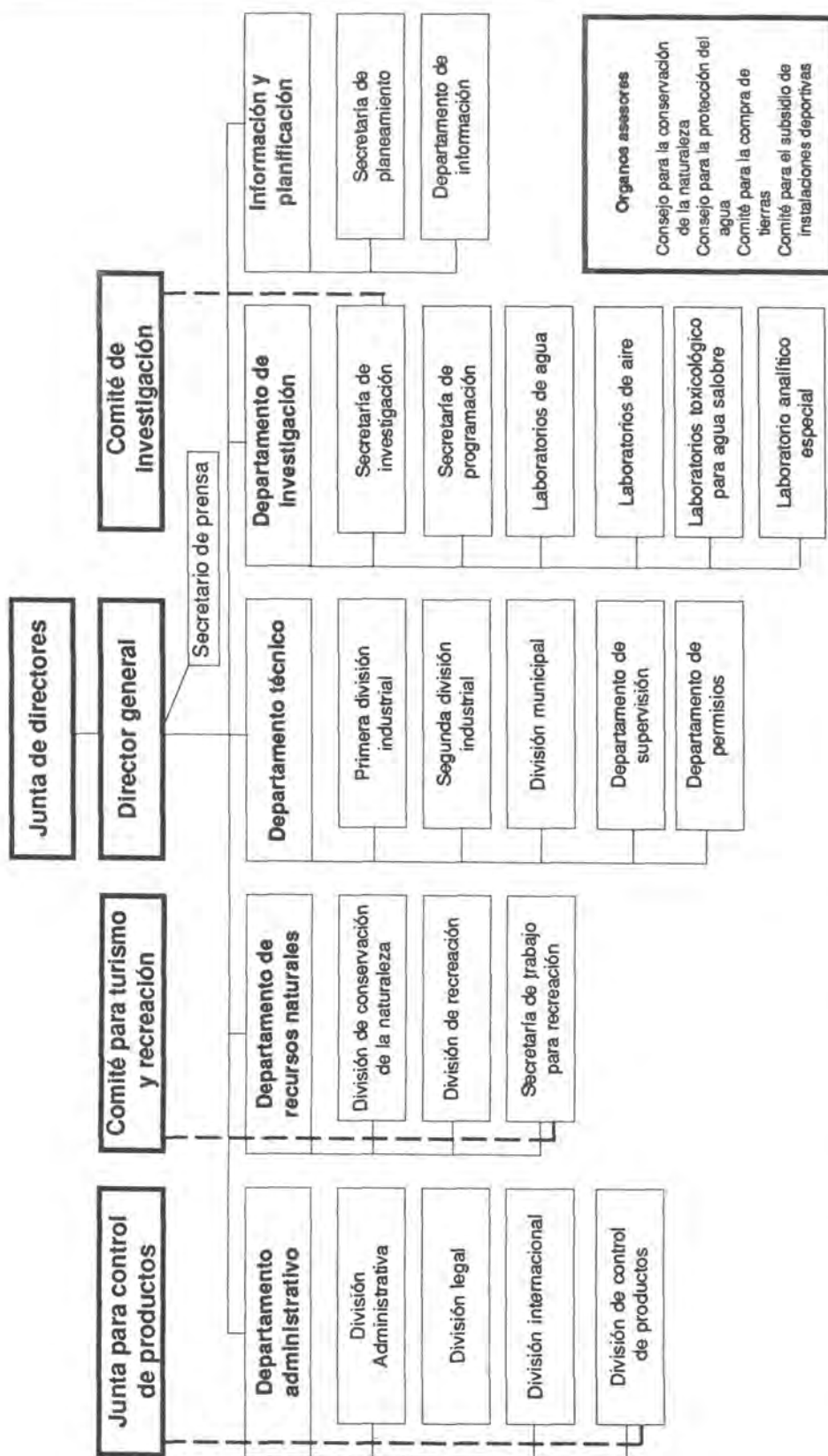


Fig 5: Organigramma del consejo nacional de protección ambiental en Suecia

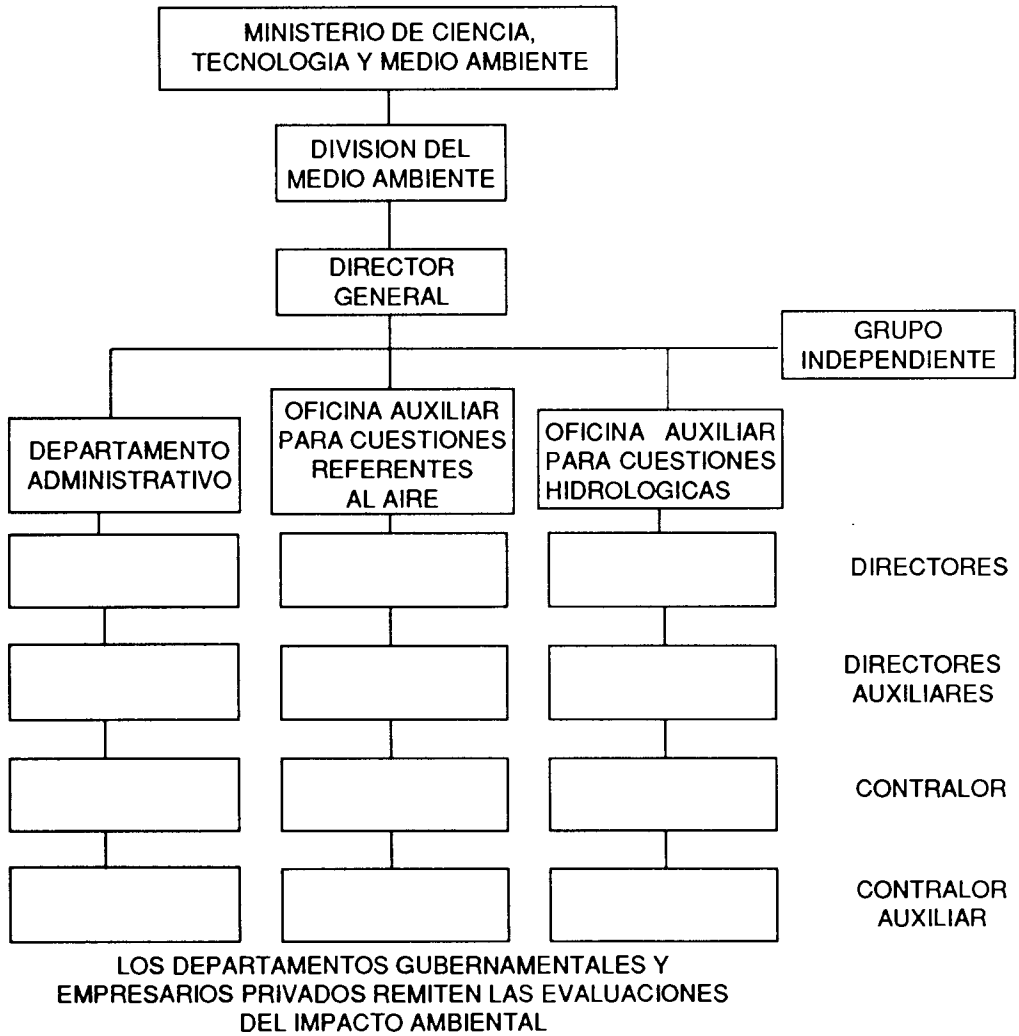


FIG. 6 ORGANIGRAMA DE LA DIVISION DEL MEDIO AMBIENTE DE MALASIA



ambiental, la conservación del aire y del agua, la ordenación de los residuos, la información ambiental, la vida activa al aire libre, la protección de la naturaleza y la caza. La Junta se divide en cinco departamentos que a su vez están subdivididos en divisiones (fig.5), y depende del Ministerio de Agricultura, responsable de la protección ambiental general a nivel gubernamental. Está dirigido por una junta de directores, presidida por un Director General, designados por el gobierno.

La junta de directores está integrada por nueve miembros representando a la Confederación Sueca de Sindicatos, la Federación de Industrias Suecas, las municipalidades, los movimientos populares y el parlamento. Asimismo incluye a dos representantes del personal. Otros ministerios, juntas, órganos asesores y unidades locales participan también en las cuestiones ambientales, tal como el Ministerio de Vivienda responsable de la planificación física nacional, la Junta de Control de Productos, órgano independiente pero vinculada administrativamente con la Junta Nacional para la Protección Ambiental a través de la Secretaría. El Comité para el Turismo y Recreación se encarga de la coordinación gubernamental en el sector. La Secretaría del Comité funciona en la Junta de Protección Ambiental, al igual que el Comité para la Investigación con funciones asesoras y de adopción de decisiones. Tres órganos asesores apoyan la labor de la Junta, a saber: el Consejo para la Conservación de la Naturaleza, el Consejo para la Protección del Agua, y el Consejo para la Protección del Aire, además de dos comités. Estos órganos incluyen a representantes de las autoridades, organizaciones, institutos de investigación, etc., especialmente vinculados al ámbito de la protección ambiental.

En el Reino Unido la evaluación del impacto ambiental es voluntario dentro del proceso de estudio integral de las propuestas y actividades de desarrollo que requieren autorización de las autoridades competentes y otros organismos estatales. En virtud de las directivas de la CEE, el Reino Unido debe formular un sistema de evaluación obligatorio. En el transcurso de los últimos años se introdujeron diversas disposiciones administrativas y operativas para la protección ambiental, incluyendo la reorganización del gobierno local en 1975, dentro del marco de la planificación urbana y nacional, y las leyes sobre contaminación. El Departamento para el Medio Ambiente es el órgano responsable en Inglaterra y Gales, y el Departamento Escocés de Desarrollo desempeña dicha labor en la Oficina Escocesa. Las principales instituciones gubernamentales para el medio ambiente natural incluyen al Consejo para la Conservación de la Naturaleza (NCC), que asesora al gobierno en todas las cuestiones relacionadas con la conservación y la "Countryside Commission".

En Malasia, la Ley sobre la Calidad Ambiental de 1974 designa el cargo de Director General y formula un marco coordinado y amplio para la elaboración de medidas de protección ambiental y control de la contaminación. En 1975 se estableció la División del Medio Ambiente incorporada posteriormente al Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente; organizado en base a tres departamentos, a saber: la Oficina para la Contaminación del Agua, la Oficina para la Contaminación del Aire y la Oficina Administrativa. La Oficina para la Contaminación del Agua tiene dos dependencias: la dependencia para la calidad del agua y la dependencia sobre efluentes industriales. La primera, a su vez está compuesta por la unidad de inspección de las vías fluviales y la unidad de control de la contaminación (figura 6).

En los últimos años, Malasia realizó grandes progresos para tratar de resolver los problemas ambientales relacionados con el desarrollo. Por ejemplo, el Tercer Plan de Desarrollo de Malasia (1976-1980) incorpora por primera vez un capítulo sobre "Desarrollo y Medio Ambiente", que establece la política general nacional en materia ambiental, y la evaluación ambiental en particular. En 1978 el Comité Nacional de Planificación del Desarrollo aprobó un procedimiento de evaluación del impacto ambiental con un marco administrativo para incorporar las consideraciones ambientales en la planificación y ejecución de los proyectos de desarrollo. El procedimiento puede considerarse simplemente como un mecanismo complementario del proceso de planificación del desarrollo ya existente, y es específicamente apropiado para la evaluación de importantes y complejos proyectos.

El sistema de evaluación del impacto ambiental se aplica a todas las actividades y proyectos de desarrollo en el sector público y privado, y permite una evaluación preliminar detallada y un posterior análisis de los informes de evaluación presentados a las autoridades responsables de la aprobación del proyecto. Los resultados finales de la evaluación se presentan formalmente a estudio de las autoridades pertinentes. Asimismo se remite una copia al grupo independiente que preside el Director General del Medio Ambiente y el jefe de la Secretaría a través de su Secretaría en la División Ambiental. El Ministro de Medio Ambiente designa personalmente y es responsable directamente de este grupo de estudio. Los miembros incluyen:

- un ecólogo o un científico ambiental
- un especialista en una esfera de los recursos naturales
- un especialista en algún aspecto de la salud humana
- un especialista en asuntos sociales o culturales
- un miembro seleccionado entre el público en general
- un miembro de la unidad de planificación económica de la Oficina del Primer Ministro
- un miembro de la Junta para el Desarrollo Industrial de Malasia
- un miembro de la Asociación de Bancos
- un ingeniero
- un arquitecto o planificador urbano
- un miembro provisorio del Ministerio/junta gubernamental promotor o responsable del proyecto.

La dependencia para la evaluación del impacto ambiental en la División de Medio Ambiente actúa también en calidad de Secretaria del grupo de estudio. Dicho grupo puede solicitar el asesoramiento de expertos en campos específicos de todo proyecto en estudio.

El proceso de estudio tiene un plazo máximo de dos meses para recibir los comentarios y opiniones de las instituciones pertinentes y del público. Las recomendaciones del grupo se remiten a la autoridad competente para su aprobación, incluyendo las observaciones correspondientes. Si las recomendaciones para la ejecución del proyecto son negativas, y el proponente decide revisar o abandonar el proyecto, no se presenta el proyecto para su aprobación ni para la consideración del público.

Uno de los mayores inconvenientes del sistema es la falta de obligatoriedad. El concepto de utilizar únicamente el mecanismo de persuasión para adherirse al sistema resulta muy poco satisfactorio y lento. La evaluación del impacto ambiental debería haberse aplicado a muchos otros proyectos. Por otro lado los proponentes enfrentan grandes carencias de datos e información básica para llevar a cabo los estudios de la EIA.

### **Interacción entre instituciones**

El grado de cooperación interdepartamental varía en función de las diferentes disposiciones administrativas y organizativas, la capacidad técnica del personal y el volumen de trabajo. La disponibilidad y flujo de información técnica y otra, y el entendimiento claro y preciso de los mutuos intereses es esencial para lograr una colaboración y coordinación efectiva entre varias instituciones. La mejor forma es a través de la creación de una Junta de Información y Evaluación para el procesamiento de la información general y técnica proveniente de todos los sectores de gobierno.

Los organismos ambientales enfrentan las mismas dificultades iniciales de toda nueva organización que trata de integrarse a la burocracia gubernamental. Surgen nuevamente dificultades para tratar de incorporar la planificación y ordenación ambiental en los métodos tradicionales del gobierno. Otro aspecto a considerar es la falta de preocupación por los aspectos ambientales en muchos países. Esta situación requiere una activa promoción del valor propio del medio ambiente como un recurso nacional para la recreación, la educación y el habitat de la flora y fauna silvestre.



El éxito o fracaso de toda organización de ordenación y planificación ambiental depende especialmente de la habilidad administrativa del personal superior para establecer el diálogo con colegas en otros departamentos del gobierno. Al mismo tiempo es necesario aumentar la capacidad técnica del personal a su cargo como también las relaciones con otros colegas. Es necesario mejorar continuamente y conjuntamente los siguientes aspectos:

- el desarrollo de futuras actividades dinámicas en la planificación y coordinación, en contraposición con los sistemas estáticos diarios de medidas coercitivas.
- el desarrollo de la cooperación en diversos campos con el apoyo de los sectores políticos, burocráticos y privados.
- el desarrollo de un sistema de información fácilmente accesible a los usuarios en otros departamentos.
- el desarrollo de una imagen de credibilidad a través del mejoramiento de la organización interna.

A pesar de los considerables esfuerzos para establecer y mejorar los sistemas de planificación y ordenación ambiental, se reconoce y acepta que en general el sistema adolece de:

- falta de personal técnico para resolver las múltiples y complejas cuestiones ambientales
- falta de planificación a largo plazo en los principales sectores del medio ambiente
- falta de un marco macro-económico con el cual relacionar y coordinar los programas de inversión en el proceso de planificación ambiental
- falta de experiencia en la preparación de estudios de factibilidad y en la evaluación ambiental de proyectos especiales
- falta de un marco general de planificación física para controlar la localización de los proyectos de desarrollo y proteger el medio ambiente

### Apoyo Técnico y Educativo

El mejoramiento de la calidad de la vida depende especialmente de la protección y florecimiento del medio ambiente natural y artificial. Es necesario considerar:

- la participación en actividades internacionales para proteger las zonas costeras de los peligros de hidrocarburos y otros contaminantes y de otro tipo de explotación
- el mejoramiento de los asentamientos humanos a través de la provisión de servicios de infraestructura esenciales;
- el control de la contaminación del agua, del aire y de la tierra a través de medidas legislativas ambientales actuales y futuras tanto en las zonas urbanas como rurales,
- la protección de zonas verdes y agrícolas de actividades nocivas y de la contaminación por eliminación de residuos
- la mejor distribución de la población para vivir en condiciones ambientales favorables, y
- la preservación de lugares históricos y arqueológicos.

Todas estas cuestiones ambientales están interrelacionadas y requieren soluciones mixtas para lograr un equilibrio equitativo. Para ello es necesario adoptar políticas ambientales, y como se mencionara anteriormente, crear un marco administrativo y técnico eficaz, apoyado también por un programa educativo para capacitar progresivamente al personal e informar a la población sobre las cuestiones ambientales.

Las directrices técnicas y de procedimiento son efectivas para impartir información, sin embargo no proporcionan capacitación práctica en estudios de investigación y evaluación ambiental. Se requiere entonces organizar seminarios y talleres de capacitación con preguntas y discusiones entre los participantes. Resultan de gran importancia las técnicas de simulación de proyectos para lograr la participación de los capacitados en cada etapa del proceso a fin de alcanzar la apreciación y la comprensión práctica del problema.



El doble enfoque de directrices y talleres de capacitación refleja la necesidad de una capacitación en las primeras etapas de la planificación y ordenación de los recursos. A corto plazo, las directrices permitirán mejorar la comprensión y la capacidad de todas las partes interesadas, los talleres de capacitación facilitarán una mejor interrelación del personal con los consultores y colegas de otros departamentos para eventualmente asumir la responsabilidad de todas las cuestiones ambientales. Además de los cursos técnicos de corta duración, es necesario considerar las facilidades para llevar a cabo las tareas de investigación y educación a tiempo completo que permitan capacitar a planificadores profesionales y a científicos en la esfera ambiental.

Un vez más se reconoce que la capacidad para satisfacer estas cuestiones radica principalmente en la disponibilidad de recursos financieros, personal capacitado y las disposiciones de organización y coordinación de los diversos ministerios, departamentos, juntas, comités y administraciones locales. Naturalmente, la planificación y la ordenación efectiva es esencial para el futuro desarrollo. Por lo tanto es evidente la necesidad de elaborar programas de capacitación ambiental para crear y mantener la sensibilización y comprensión de la población y de los funcionarios gubernamentales sobre las cuestiones ambientales.

## REFERENCIAS

Ahmad, Y.J. (1983) *La Ordenación del Medio Ambiente*, PNUMA, Estudio 7, PNUMA, Nairobi.

Banco Mundial (1982) *El Medio Ambiente, Salud Pública y Ecología Humana: Consideraciones para el Desarrollo Económico*, Banco Mundial, Washington D.C. Estados Unidos de América

Bradfield, R.E.M. (1987) *Pollution Prevention Does Pay*. Presentado en el Seminario sobre el Impacto Ambiental de las Actividades Industriales para funcionarios superiores de ordenación en el año para la industria 1986, 18 de noviembre de 1986.

Departamento para el Medio Ambiente del Reino Unido (1987) *Environmental Impact Assessment in the U.S.A.*, A critical Review Report 26, HMSO.

Junta Nacional para el Medio Ambiente de Tailandia (1979): *Manual of Guidelines for the Preparation of Impact Evaluations*, Tailandia.

MacNewil, J.W. (1971) *Environmental Management* Estudio constitucional preparado para el Gobierno de Canada, Information Canada.

Naciones Unidas, Departamento de Asuntos Internacionales, Económicos y Sociales (1982) *Ocean Economic and Technology Branch: Coastal Area Management and Development*, Naciones Unidas.

Naciones Unidas (1976): *Recomendaciones de la Conferencia sobre los Asentamientos Humanos, Habitat*, Vancouver.

P.A. International Management Consultants (1975): *Introducing Policy or Corporate Planning into Local Government, A basic Handbook*.

