

CAPITULO 4. EL ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA. APLICACIÓN PRÁCTICA A TRES INSTALACIONES PARA TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES.

A continuación se desarrolla al análisis del ciclo de vida de un caso práctico, siguiendo la estructura detallada en los capítulos anteriores.

4.1. Objetivo, marco de estudio e Hipótesis

Se ha realizado el análisis del ciclo de vida a tres soluciones alternativas para el tratamiento de aguas residuales en una casa rural, con una ocupación máxima de 15 personas, con fosa séptica preexistente y vertido final abierto. Dos de estas soluciones son comerciales y una tercera es de tipo autoconstruible. El destinatario final del estudio es el propietario de dicha casa, interesado en la instalación de un equipo que permita el vertido directo de las aguas domésticas bajo el cumplimiento de la normativa vigente. Siguiendo las recomendaciones de la normativa vigente la comparación será de uso no comercial aunque sí permitirá tener datos de la huella medioambiental y poder así tomar una decisión ambientalmente fundada sobre que tratamiento de aguas residuales es más conveniente realizar en la casa rural.

4.1.1. Funciones que deben cumplir las alternativas objeto de análisis.

Los equipos deben cumplir con la normativa actual de vertido española, reflejada en el Real Decreto 606/2003 [23]. Así como los estrictos parámetros de vertido establecidos por la directiva europea 91/271/CEE [24] que se detallan en el siguiente cuadro, extraído de dicha directiva:

Parámetros	Concentración	Porcentaje mínimo de reducción (1)
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO 5 a 20 °C) sin nitrificación (2)	25 mg/l O ²	70-90
Demanda química de oxígeno (DQO)	125 mg/l O ²	75
Total de sólidos en suspensión	35 mg/l (3)	90 (3)

Tabla N°3 niveles y parámetros.

(1) Reducción relacionada con la carga del caudal de entrada.

(2) Este parámetro puede sustituirse por otro: carbono orgánico total (COT) o demanda total de oxígeno (DTO), si puede establecerse una correlación entre DBO 5 y el parámetro sustitutivo.

(3) Este requisito es optativo

Los parámetros a los que se refiere la citada directiva se definen de la siguiente manera:

Demanda bioquímica de oxígeno a los 5 días (DBO5): cantidad de oxígeno disuelto (mg O₂/l) necesario para oxidar biológicamente la materia orgánica de las aguas residuales. En el transcurso de los cinco días de duración del ensayo se consume aproximadamente el 70 % de las sustancias biodegradables.

Demanda química de oxígeno (DQO): cantidad de oxígeno (mg O₂/l) necesaria para oxidar los componentes del agua recurriendo a reacciones químicas.

4.1.2. Fundamentos de la mejora de la calidad del agua por procesos anaeróbicos y aeróbicos

Los sistemas de los productos a analizar, se basan en la digestión en medio aeróbico de materia orgánica y la decantación de sólidos en suspensión por medios físicos, esta decantación es secundaria y continúa con la decantación que previamente tiene lugar en la fosa séptica.

En la fosa séptica además de la decantación inicial, tiene lugar un proceso de digestión anaeróbica. La digestión anaeróbica es un proceso natural en el cual microorganismos, en ausencia de oxígeno, estabilizan la materia orgánica presente en el efluente mediante su conversión a metano y otros productos inorgánicos incluyendo CO₂, NH₃, H₂S y una nueva biomasa menos compleja.

La biomasa fruto de la digestión anaeróbica es la que sirve de alimento a la masa de microorganismos de la digestión aeróbica. La digestión aeróbica es un proceso realizado por diversos grupos de microorganismos, principalmente bacterias y protozoos, que en presencia de oxígeno actúan sobre la materia orgánica disuelta, transformándola en productos finales inocuos y materia celular, los microorganismos se mantienen adheridos en un material de soporte, por lo que se puede decir que la digestión aeróbica que se realiza es un proceso de película fija.

Para más información sobre el tema, se recomienda consultar el libro: Metcalf & Eddy, INC. Ingeniería de aguas residuales. Mc Graw Hill. 3ª Edición (1995)

4.1.3. Sistemas de los equipos

El sistema a analizar se considera la parte comprendida entre la fosa séptica, que incluye la instalación de filtro entre ésta y el propio sistema, para evitar el paso de sólidos voluminosos, que colmaten antes de tiempo el sistema, este filtro necesita de un mantenimiento básico que no es más que un lavado periódico que el mismo usuario puede realizar con una manguera. La fosa séptica tendrá su funcionamiento habitual y necesitará de un mantenimiento periódico. La otra cota del sistema es el punto de vertido, donde el efluente debe cumplir las condiciones exigidas por la normativa para el vertido abierto, que determina las concentraciones máximas vistas anteriormente.

Las tres alternativas que se exponen basan su sistema de funcionamiento en los dos mismos principios, que son: aumento del tiempo de residencia de la materia orgánica activa en su interior, para que ésta termine sus procesos de degradación naturales y salgan pasivadas al medio. Oxigenación del efluente, para facilitar y acelerar las reacciones digestión aeróbica. A continuación se describen los principios de funcionamiento de las tres soluciones.

El proceso completo consta de dos etapas. El agua residual a depurar entra en la fosa séptica, en ella se produce la decantación previa de los sólidos y materiales

gruesos. Es importante que esta fosa séptica esté bien dimensionada para optimizar así la digestión anaerobia de los sólidos decantados que en ella se produce y dilatar así los intervalos de vaciado de la misma.

Ya libre de sólidos y materiales gruesos, el agua pasa a cada uno de los equipos objeto de este estudio, donde la combinación de decantación por filtración y digestión da los resultados buscados.

El equipo Biorock propicia un ambiente adecuado para la generación natural de la masa de microorganismos, exponiendo el efluente a una corriente de aire que se forma por diferencias de presión a través de un sistema de chimeneas a distintas alturas. La masa microbiótica se fija en lechos de lana de roca, situados encima y debajo de un material de relleno que permite el paso de aire. Debido al carácter laminar del flujo dentro del equipo la decantación se produce de forma continua dentro de él, todo esto se puede observar en la fig 3.

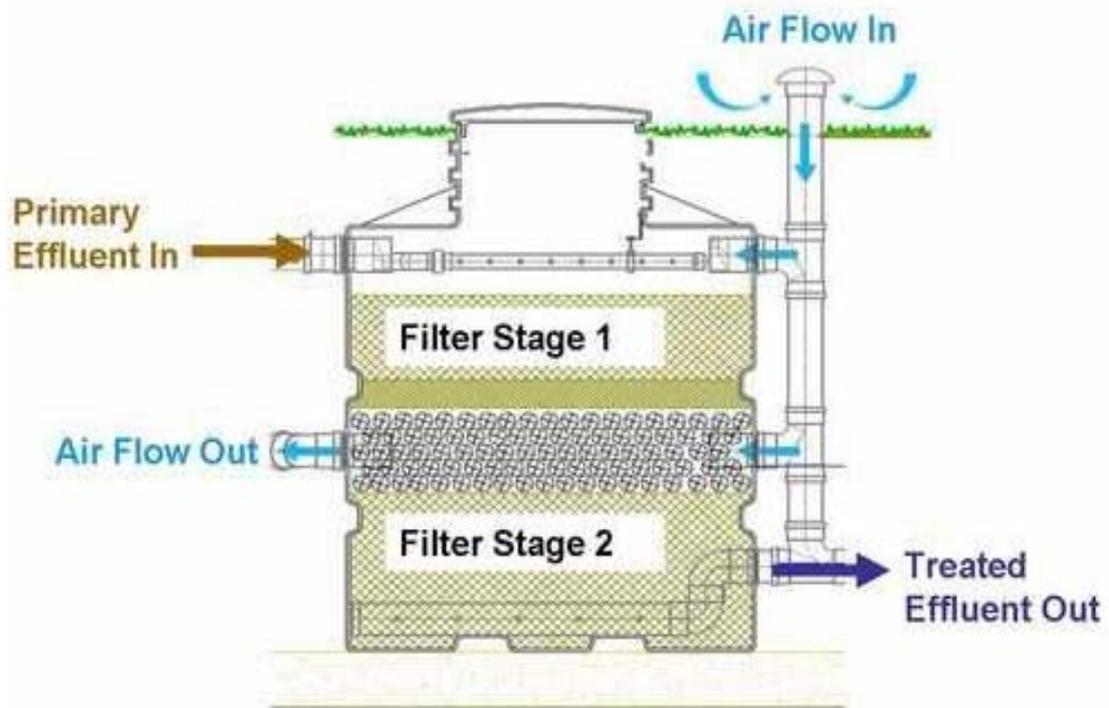


Fig. 3 Flujos del equipo Biorock.

El fabricante del equipo garantiza el cumplimiento de la directiva europea 91/271/CEE

En el equipo Biodiscos la masa microbiótica se fija a unos rulos de cerdas de polipropileno, que están dispuestos en un tambor que gira lentamente, sumergiéndolos en el flujo la mitad de su recorrido, consiguiendo de esta manera que la masa de microorganismos este aireada y en contacto con el efluente. La decantación tiene lugar en la cubeta del equipo. En la fig.4 se puede observar la disposición del equipo, con tanque decantador opcional que no se contempla en este estudio. Según fabricante cumple cánones establecidos por la directiva europea 91/271/CEE

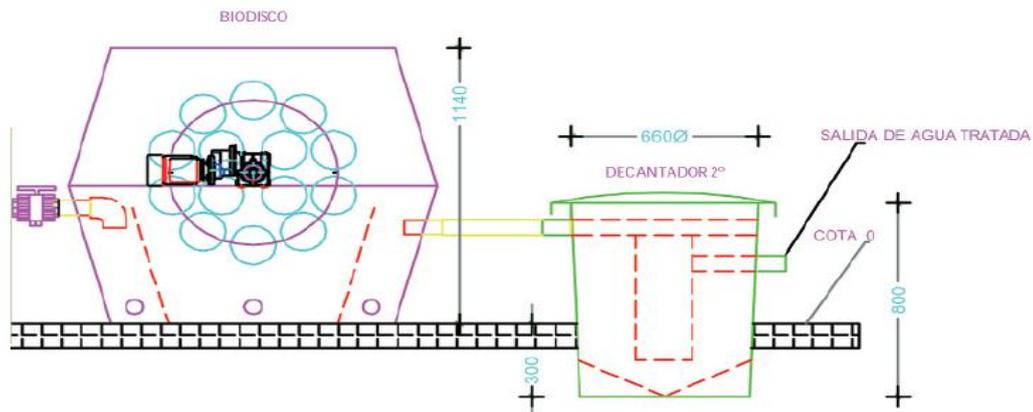


Fig. 4 Disposición del equipo Biodiscos.

En el Canal abierto de saneamiento, conforme el agua va circulando por el drenaje a lo largo de la diagonal de piedras grandes, va disminuyendo por vía bacteriana su contaminación a la vez que van sedimentando los sólidos en suspensión y los fangos generados en el proceso biológico. Por otro lado, el agua residual libre de sólidos aumenta su velocidad al llegar a zonas del drenaje con menor tamaño de piedras.

El proceso no se desarrolla homogéneamente a lo largo del canal, siendo especialmente acusados los fenómenos de separación física de contaminantes en los primeros puntos del recorrido del drenaje. La configuración de piedra propuesta (huecos progresivamente menores) produce un aumento gradual de la velocidad del agua que va creciendo por disminución creciente del diámetro por el que circula.

De esta forma en los primeros puntos, el agua cargada de materia orgánica y sólidos en suspensión circula más lentamente por el canal lo que facilita la sedimentación de las partículas que contiene en suspensión, su adherencia al soporte piedra y el inicio de procesos biológicos, para pasar a aumentos significativos de

velocidad donde se registra disminución de los procesos anteriores con mantenimiento hasta el final de la actividad biológica.

La aireación forzada en el dren de piedras, que se consigue aprovechando el efecto Venturi que se produce con el cambio de velocidad del flujo (véase la fig. 5), proporciona oxígeno al agua. Una parte de este oxígeno se disuelve en el agua y la otra parte es consumida en los procesos biológicos aerobios, incluyendo la oxidación biológica del metano producido en procesos anaeróbicos que tienen lugar en el fondo del canal.

El resultado que da este sistema, actualmente, no cumple los estándares europeos, pero si mejora la situación de países pobres. Dado que este es un sistema en desarrollo y por su gran potencial se toma como una de las alternativas de este estudio.

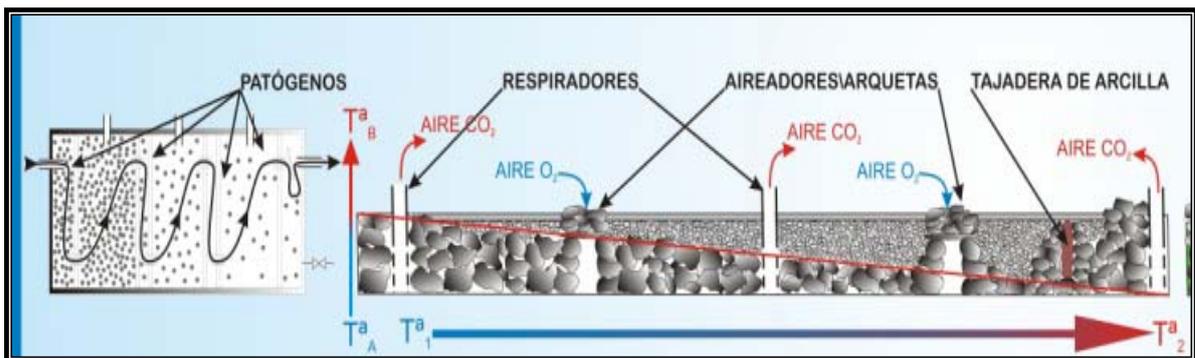


Fig. 5 Flujos en CAS.

4.1.4. Hipótesis

Las hipótesis que se han considerado para hacer este estudio son las siguientes:

- La selección de los equipos se ha realizado para un uso estimado de 15 personas, que es la carga máxima esperada de la vivienda en que se instalara la opción elegida. Los equipos biorock y biodiscos tienen una versión comercial para dicha carga y el del canal abierto de saneamiento se espera que pueda absorber una carga de entre 10 y 20 personas, al estar este último en fase experimental se

considera aceptable a objetos de este estudio la carga producida por el huso de 15 personas.

- Se consideran dos centros de producción únicos, uno para la solución autoconstruida, a no más de 50 km de distancia del punto de implantación. Otro en Alemania para las dos soluciones comerciales, que es donde se fabrican.
- Debido al poco tiempo de uso, no se le imputan al ciclo de vida los hechos derivados del mantenimiento o amortización de la maquinaria utilizada para construcción e instalación y se considera exclusivamente el gasto de gasoil de las mismas.
- Se toma como indicador correspondiente a la electricidad el de Portugal en baja tensión, de valor 46 mp/kWh, debido a que en la base de datos a la que se tiene acceso para la realización del estudio no hay un indicador específico para la energía eléctrica en España, por lo que se asemeja al indicador de la energía del país vecino.
- La fase útil de las tres instalaciones se considera de diez años. Se ha escogido esta duración como unidad funcional para este estudio, teniendo en cuenta que las dos alternativas comerciales tienen una vida media no inferior a diez años y que es esperable que el canal abierto de saneamiento tarde en colmatarse al menos este tiempo.
- Para las fases de desmantelamiento, se considera que será prácticamente asegurable el reciclado de los materiales susceptibles de ello, aquellos que por tener un valor propio, como el cobre y demás metales o aquellos que por su cuantía y baja exposición a los elementos patógenos son fáciles de manipular, como pueden ser las carcasas de los equipos y las tuberías.
- Para el cobre al no tener indicador específico en la fase de reutilización se ha tomado una media de los porcentajes que los demás materiales revierten al cálculo y aplicándolo al cobre.
- Se considera un pedido único de todos los materiales necesarios, necesitándose pues un solo porte para cada una de las alternativas.

- Para materiales usados en muy poca cantidad y de complejidad elevada, si no se tiene un indicador específico se toma el del material más parecido del que se tenga acceso.
- Para el proceso de hilado de cobre, que aparece en el conformado del bobinado del motor del motorreductor, se asume un valor del ecoindicador igual al del proceso de extrusión del aluminio, ya que no se tiene ese valor en la base de datos utilizada. Las propiedades térmicas y mecánicas del cobre, su similitud con el aluminio y el gasto energético de los procesos de extrusión e hilado justifican esta decisión.
- Los equipos objeto de este estudio, tienen partes pintadas, tratamiento superficial del que no hay datos en la base de datos utilizada, por lo que se computa el tratamiento superficial de anodizado en baño de HNO_3 que es del que se tienen datos.

4.2. Inventario

En esta etapa se obtienen los datos y procedimientos de cálculo necesarios para la cuantificación de las entradas de cada una de las alternativas.

4.2.1. Descripción de los tres tipos de instalaciones escogidas.

La recogida de datos para poder definir las tres instalaciones se ha realizado de la forma siguiente: en el caso del equipo biorock se ha basado en la oferta comercial del equipo (http://www.ditrag.net/depuracion_domestica.htm) [25], proporcionada por su proveedor en España; para el caso de los biodiscos en la publicidad y los datos técnicos de carácter generalista publicados en internet por la empresa proveedora del sistema de biodiscos (<http://www.solumedsl.com/>) [26] y para el canal abierto de saneamiento (CAS) en la descripción detallada de la construcción del canal de saneamiento proporcionada por el grupo TAR. (http://www.grupotar.net/index.php?option=com_content&view=article&id=44&Itemid=89). [27]

4.2.1.1. Biorock.

Este equipo es distribuido en España por la empresa Ditrag; Los equipos Biorock son de origen holandés y fabricados en Alemania. En la fig.6 se observa un esquema de flujos y modo de trabajo del equipo en su variante comercial con fosa séptica, donde también se indica el esquema de los flujos que tiene lugar. En la fig.7 se observa la carcasa exterior del equipo.

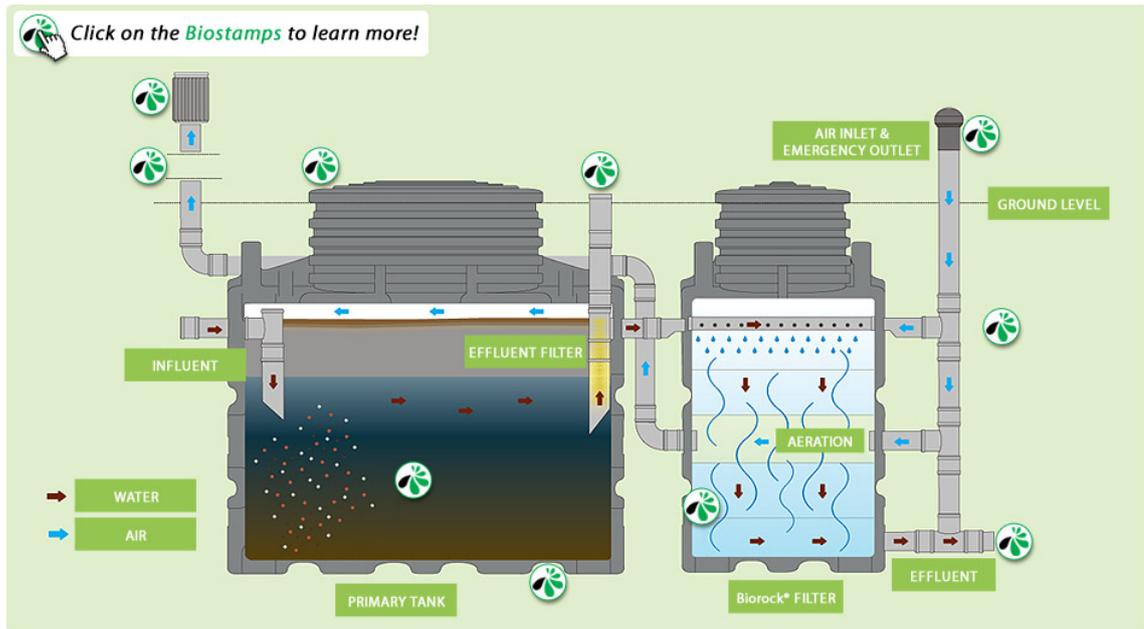


Fig. 6. Esquema de flujos completo.



Fig. 7 Carcasa exterior Biorock 15.

La principal característica de estos equipos es que no requieren energía eléctrica para funcionar porque en su interior no hay partes móviles, esto hace que su instalación sea muy sencilla y se minimice el riesgo de averías y la necesidad de recambios. Las unidades se ensamblan en tanques resistentes y duraderos, construidos en polietileno de alta densidad (**HDPE**), a los que se accedería en caso de necesidad mediante tapas de peso reducido del mismo material. Los componentes realizados en HDPE se conforman mediante moldeo por presión. El filtro de entrada al equipo es de fibras de nylon, conformadas por inyección.

El entramado de tuberías, que se puede observar en la fig.8, es de policloruro de vinilo (**PVC**), que se ensamblan pegándolas a racorería específica del mismo material, el pegamento es teraftalato de dimetila. La fabricación de las tuberías de PVC es mediante calandrado del mismo, proceso que consiste en hacer pasar el PVC entre dos rodillos que giran en sentidos contrarios produciendo así una lamina de PVC del espesor deseado que posteriormente pasa por un banco de rodillos que le da la forma definitiva. La racorería de PVC se fabrica por inyección.



Fig.8. Equipo biorock instalado.

El material de relleno son piezas de polipropileno (PP), fabricadas por inyección, de gran superficie específica (relación entre la superficie de una pieza y su volumen). Este relleno facilita el intercambio de oxígeno entre la corriente de aire y el efluente principal. En la fig.9 se puede observar la geometría de una de estas piezas de alta superficie específica.

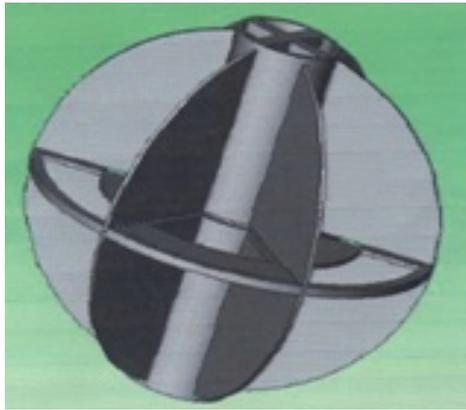
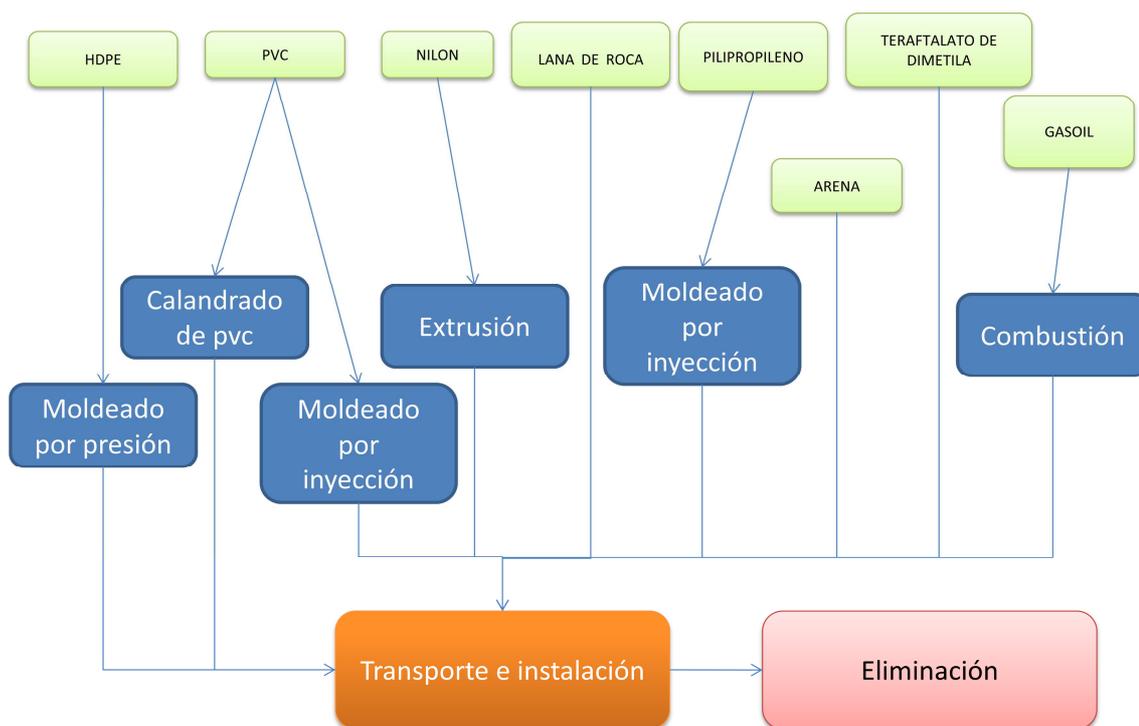


Fig.9 Material de relleno.

En cuanto al transporte e instalación, el equipo biorock se trae desde Alemania por carretera en un camión de larga distancia, recorriendo en total 2500 km. Posteriormente emplea un camión local de reparto, que ha recorrido 50 km para trasladar el equipo desde el centro logístico principal de la zona hasta la casa rural en concreto. La instalación de este equipo es sencilla: consiste en introducir el equipo en un foso previamente excavado con una mini-excavadora. Posteriormente se realiza una nivelación del equipo sobre una base de arena y a continuación el conexionado de las tuberías de PVC con la fosa séptica y el desagüe, que van pegadas. Finalmente se cubre todo el equipo salvo la tapa de acceso al tanque y el registro del filtro y se esparce la tierra sobrante. Todo lo anterior se puede observar de forma esquemática y simplificada en la fig.10.



Proceso simplificado del ciclo de vida del equipo Biorock

Fig.10 Proceso simplificado del ciclo de vida del equipo biorock.

4.2.1.2. Biodiscos.

Los biodiscos son elementos fabricados generalmente de PVC, Polietileno o Polipropileno. En el equipo bajo estudio estos biodiscos no son tales, sino una serie de cilindros de cerdas de PP, conformadas por inyección, que realizarán la misma función y que heredan el nombre de los discos de gran tamaño usados en los equipos que empezaron a usar esta tecnología. Las diferencias debidas al menor tamaño y por tanto menores cargas propias, que permiten la utilización de los cilindros de cerdas, los cuales confieren al sistema de mayor superficie específica.

Los cilindros de cerdas se montan en varillas metálicas unidas a dos chapas metálicas pintadas que conforman el bastidor, este bastidor gira en torno a un eje de acero inoxidable AISI 304 mecanizado, accionado por un grupo compuesto de motor y reductor (motorreductor) y unido a este por un acoplamiento estándar misto de fundición y goma (EPDM, etileno-propileno-dieno). Todo ello sobre una cubeta de HPDE, a la que el efluente llega a través de tubos de PVC. En la fig. 11 se observa el equipo biodiscos.



Fig.11 Equipo biodiscos.

El equipo de biodiscos se trae desde Alemania 2500km por carretera en camión de larga distancia y luego 50 km en camión de reparto. La instalación consiste en colocarlo sobre una solera de hormigón no armada de 20 cm de espesor, y realizar el montaje del entramado de tuberías de PVC.

A continuación en la fig. 12 se puede observar el ciclo de vida de los componentes del equipo de forma esquemática.

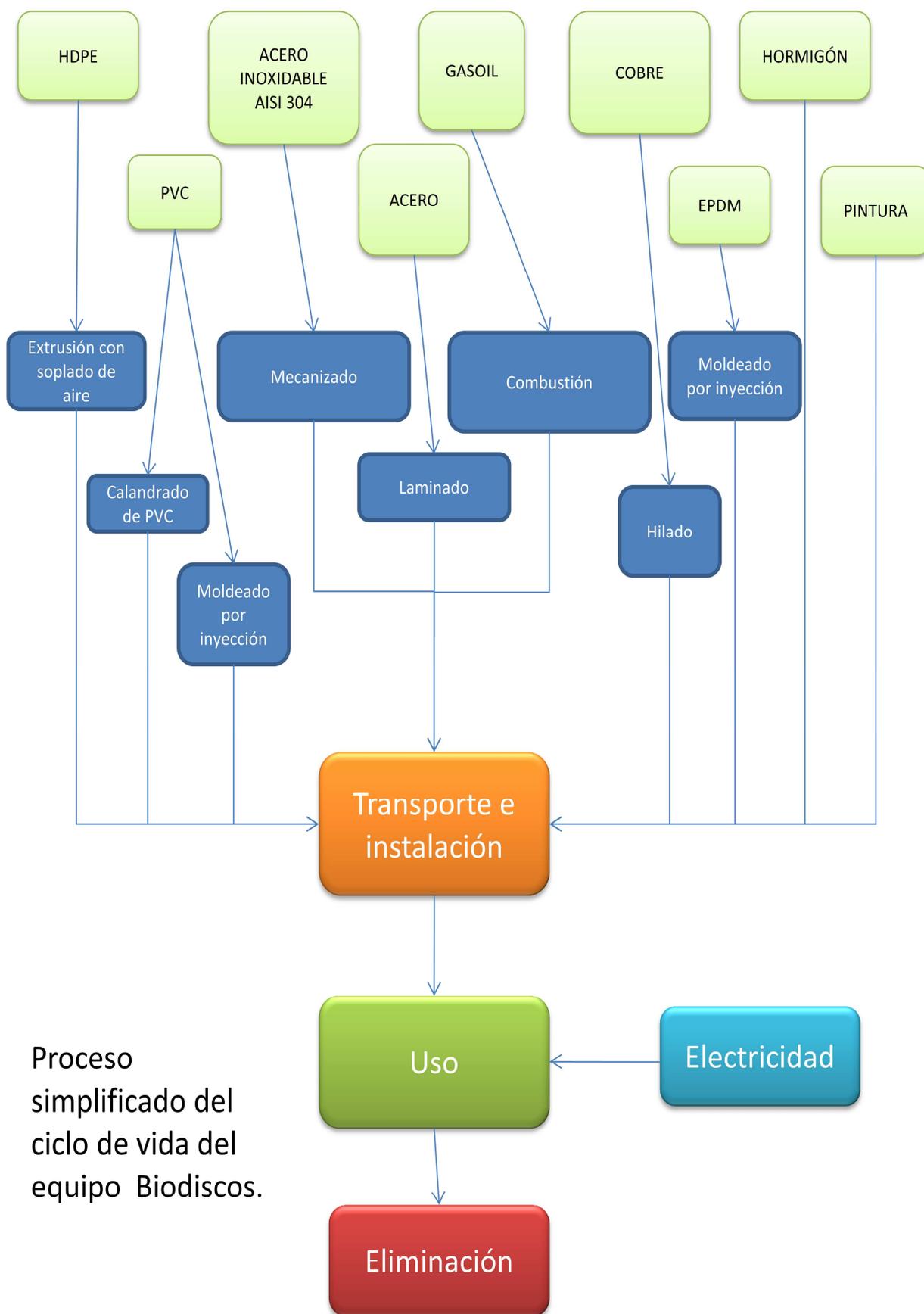


Fig.12 Proceso simplificado del ciclo de vida del equipo biodiscos.

4.2.1.3. Canal abierto de saneamiento (CAS).

El canal de saneamiento abierto es una solución diseñada para ser construida por el propietario o usuario, diseñada por el Grupo TAR (tecnologías ambientales de residuos) de la Universidad de Sevilla, con materiales de fácil acceso al público en general y sin mayor dificultad técnica que la que entraña el hecho de tener que proporcionar al canal una inclinación apropiada. Este canal conduce el agua mediante un sistema de drenaje de piedras de aireación forzada con alimentación horizontal y circulación subsuperficial, evitando en todo momento el contacto directo con las personas.

La zanja en que se dispone el canal debe ser impermeabilizada para evitar filtraciones al subsuelo, esto se hace con pliegos de HPDE según se ve en fig.13, lo que encarece y dificulta la construcción del mismo, en zonas de bajos recursos se puede impermeabilizar de otras maneras menos efectivas, aunque siempre mejores que el vertido libre.



Fig. 13 Impermeabilización del canal.

El drenaje se construye con piedra de cantera haciendo una selección manual adecuada de la granulometría, al final del canal se instala una tajadera de arcilla que regula el flujo del efluente principal.

Los respiradores son tubos de PVC debidamente taladrados en su extremo enterrado, por los que se produce la salida de CO_2 , mientras que la entrada de aire fresco es a través de aireadores formados por la cuidadosa disposición de las piedras como se puede observar en las fig.14. y fig.15.

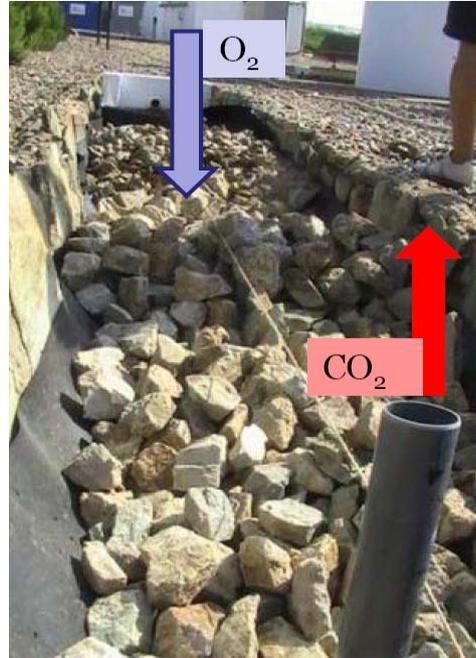


Fig. 14 Respiradores y aireación.

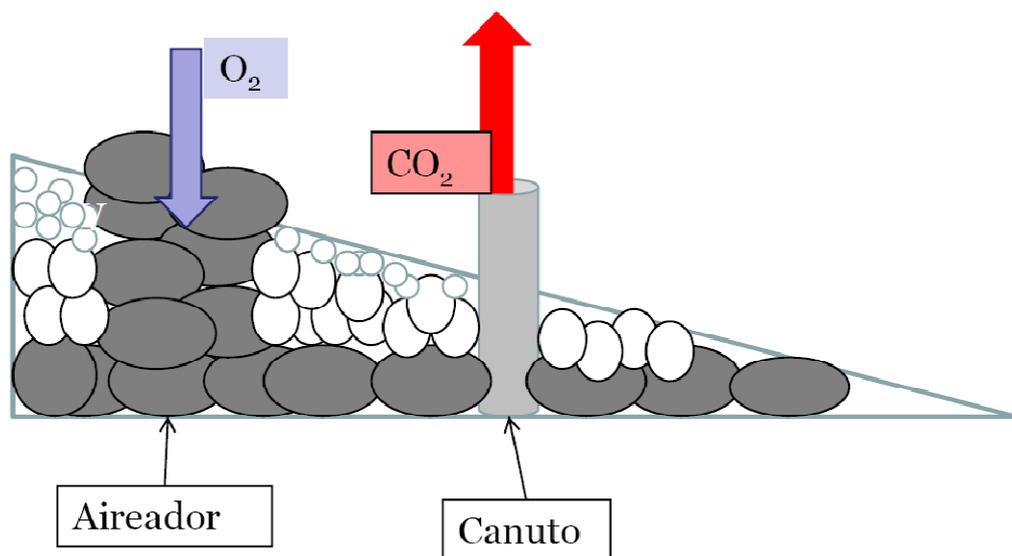


Fig. 15 Disposición de piedras en aireadores.

El canal está cubierto de arena que evita el contacto directo con el flujo principal y desvía el agua de lluvia hacia los laterales véase fig.16, evitando así la percolación de la misma, que arrastraría el flujo principal.

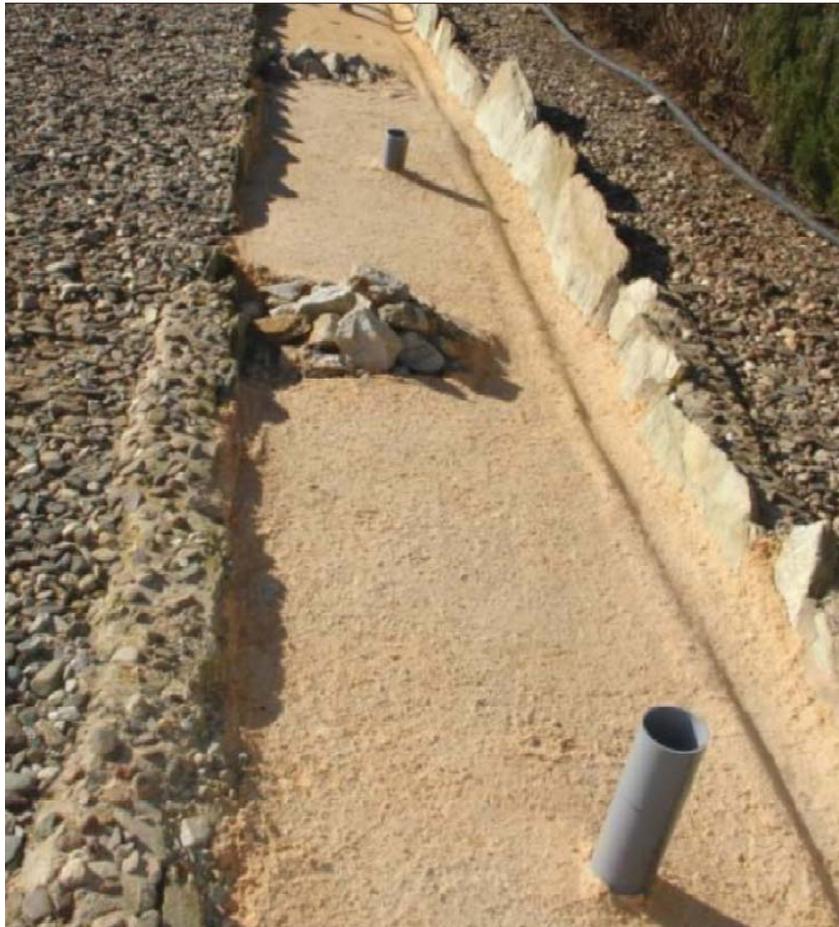


Fig. 16 Cobertura de arena.

Para el canal de saneamiento abierto se considera que desde el centro de distribución principal de la zona, ubicado a 50 km, se transportan todos los materiales necesarios para la construcción del canal, que son: piedra de cantera machacada, arena, pellas de arcilla y tuberías. Posteriormente una mini-excavadora debe excavar una zanja de 30 metros de longitud por un metro de profundidad y un metro de ancho. El resto de trabajos, la colocación de la capa de impermeabilización, la colocación ordenada de las piedras, la tajadera de arcilla, la instalación de los respiraderos de PC y la cubrición con arena, por su delicadeza requieren ser efectuados a mano, exceptuando esparcir la tierra sobrante.

A continuación se puede observar en la fig.17, el diagrama simplificado del ciclo de vida.

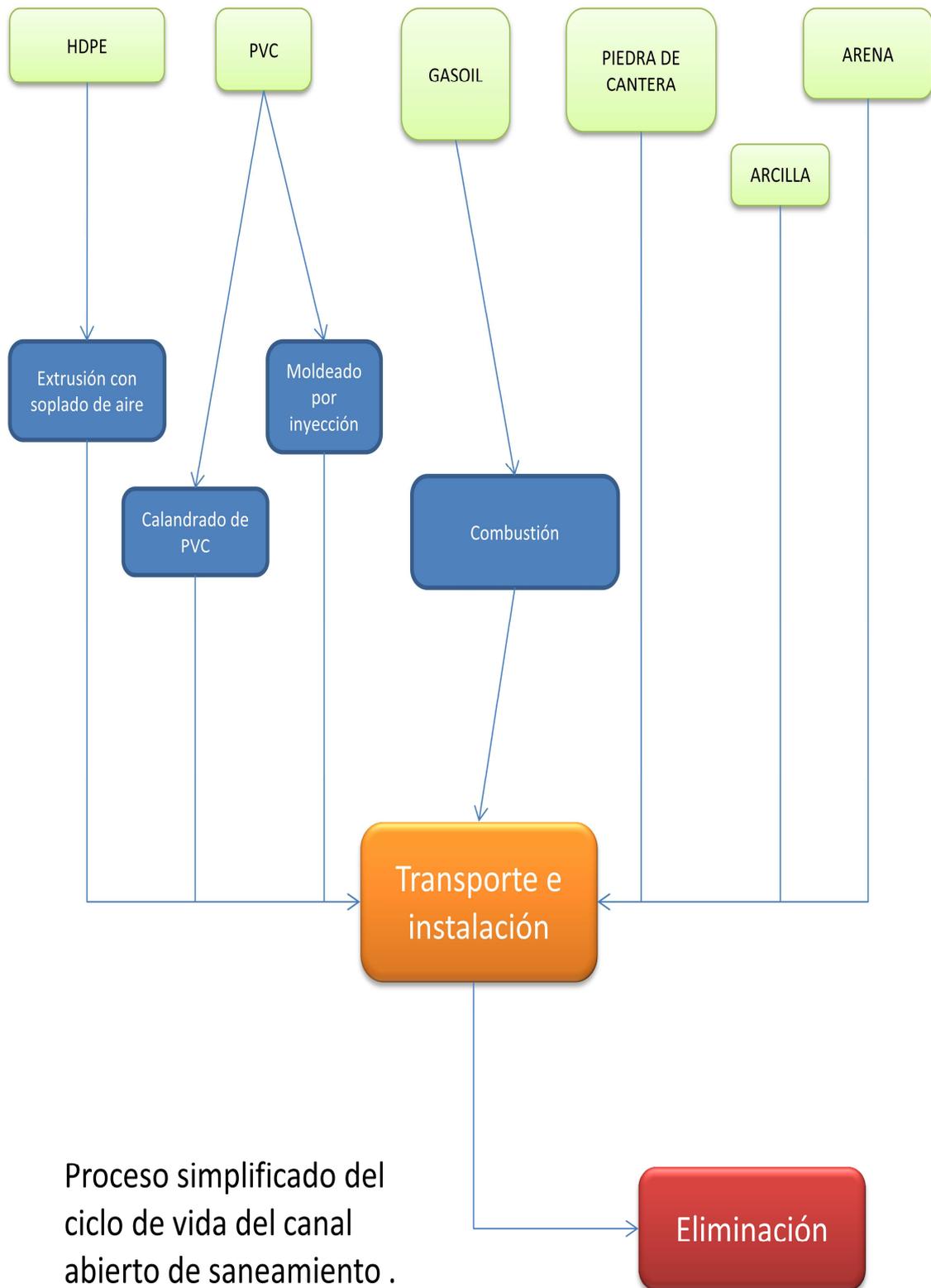


Fig. 17 Proceso simplificado del ciclo de vida del canal abierto de saneamiento.

4.3. Evaluación del impacto del ciclo de vida

En base al Ecoindicador '99 se ha realizado el cómputo general del impacto durante el ciclo de vida de las tres alternativas, cuantificado en términos de milipuntos. Adicionalmente se ha realizado la cuantificación del gasto energético necesario para la obtención y fabricación de las materias primas. Esta última según la base de datos publicada por The European commission's joint research Centre [20].

A continuación se detallan en forma de tabla los resultados de dichas cuantificaciones:

Empezando por la fosa séptica, común a las tres instalaciones, por lo que se detalla aparte el cómputo total de la misma para acentuar de esta manera las diferencias.

- Fosa séptica de hormigón 5000Lt Con tapa, 2 entradas de registro, boca de entrada y boca de salida en pvc [29]
- Medidas: 2,45 x 2,45 x 1,22 m
- Peso: 5.556 Kg.

Fosa séptica prefabricada de hormigón armado: Construida sin juntas, de una sola pieza e impermeabilizada, en la fig. 18 se puede observar la fosa séptica antes del montaje. En la tabla nº4, se puede observar la cuantificación pormenorizada del impacto producido por la misma.



Fig. 18 Fosa séptica.

Tabla N°4 computo del impacto de la fosa septica.

FOSA SÉPTICA									
Materiales									
Denominación	Material	Cantidad	Parámetro característico	Cantidad/Proceso	Indicador	Resultado	Observaciones	Indicador Energía	Resultado
Fosa séptica con tapa	Hormigón	5556 kg		5556 kg	3,8 mp/kg	21.113 mp		0,18 kWh/kg	1007,18 kWh
				-		0 mp			
				TOTAL		21.113 mp		TOTAL	1007,18 kWh
Entradas de registro	PVC	0,3 kg		0,3 kg	270 mp/kg	81 mp		13,71 kWh/kg	4,11 kWh
				Modelado por inyección -2	44 mp/kg	13 mp			
				TOTAL		94 mp		TOTAL	4,11 kWh
Gasoil	-	2,975 kg	124,527567 MJ	2,975 kg	180 mp/kg	536 mp		13,90 kWh/kg	2501,30 kWh
				Combustión	5,6 mp/MJ	697 mp			
				Incluido en el impacto de las acciones.				TOTAL	2501,30 kWh
TOTAL MATERIALES						21.207,00 mp		TOTAL ENERGÍA	3512,60 kWh
Acciones									
Denominación	Ubicación	Cantidad	Máquina	Tiempo de Utilización	Cantidad Combustible	Resultado	Observaciones		
Foso de: 2,45 x 2,45 x 1,22 m	Dispersar en alrededores	7,3231 m ³	miniexcavadora	1,0 h	2,975 kg	0 mp			
Gasoil	-	2,975 kg	-	-	2,975 kg	1.233 mp			
TOTAL ACCIONES						1.232,85 mp			
Uso y Transporte									
Denominación	Ubicación / Maquinaria	Cantidad	Parámetro característico	Cantidad	Indicador	Resultado	Observaciones		
Uso del suelo	-	2,45 m ²		25 m ² /año	45 mp/m ² *año	1.103 mp			
Transporte de los materiales, bajo pedido único a considerar desde el centro de distribución más cercano.	Camión de 16 toneladas	50 km	Transporte	277,800 t/km	34 mp/t*km	9.445 mp			
TOTAL USO Y TRANSPORTE						10.547,70 mp			
Desecho									
Denominación	Ubicación	Cantidad	Parámetro característico	Cantidad	Indicador	Resultado	Observaciones		
Reciclado PVC	-	0,300 kg	-	0,300 kg	-170,0 mp/kg	-51 mp			
TOTAL DESECHO						-51,00 mp			
TOTAL FOSA SÉPTICA						32.936,55 mp			

Biorock:

Tabla n°5: cuantificación pormenorizada del impacto producido en la extracción de las materias primas y en la fabricación de los componentes utilizados en la construcción del equipo Biorock y en las dos últimas columnas se puede observar el balance de energía en términos de energía eléctrica consumida en la extracción y procesado de las materias primas utilizadas para la fabricación de los componentes.

El gasoil se tiene en cuenta para incluirlo en el balance de energía aunque no se incluya en el cómputo del impacto total de los materiales, ya que este pertenece a la fase de montaje en el apartado de acciones.

Tabla n°6: Cuantificación de las fases de transporte, montaje, uso y desecho. En estas fases no se cuantifican el gasto energético de forma separada. En esta segunda tabla se ve reflejada la totalidad del cómputo del equipo biorock, en todas las categorías, materiales, acciones, uso y transporte y desecho.

Biodiscos:

Tabla n°7: cuantificación pormenorizada del impacto producido en la fabricación de las materias primas utilizadas en la construcción del equipo Biodiscos, del gasoil gastado durante la instalación y en las dos últimas columnas se puede observar el balance de energía en términos de energía eléctrica consumida en el procesado de las materias primas implicadas.

El gasoil se tiene en cuenta para incluirlo en el balance de energía aunque no se incluya en el cómputo del impacto total de los materiales, ya que este pertenece a la fase de montaje en el apartado de acciones.

Tabla n°8: cuantificación de las fases de transporte, montaje, uso y eliminación sin datos específicos del consumo energético salvo en los puntos en que este es considerado como parte del uso y no se pormenoriza aparte sino que entra dentro del cómputo del impacto.

Canal de saneamiento abierto:

Tabla n°9: computo total del impacto en todo el ciclo de vida de la instalación. Con cuantificación de gasto energético pormenorizada para las materias primas necesarias para la construcción del canal.

El gasoil se tiene en cuenta en el apartado de materiales para incluirlo en el balance de energía aunque no se incluya en el cómputo del impacto total de los materiales, ya que este pertenece a la fase de montaje en el apartado de acciones.

Tabla N°5: computo del impacto de los materiales del equipo biorock.

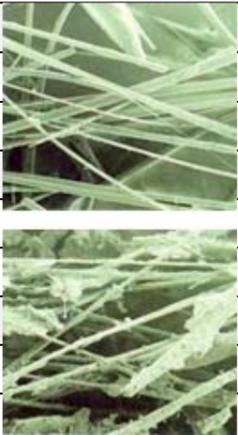
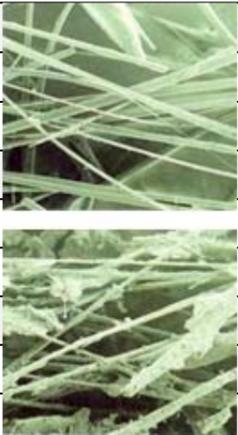
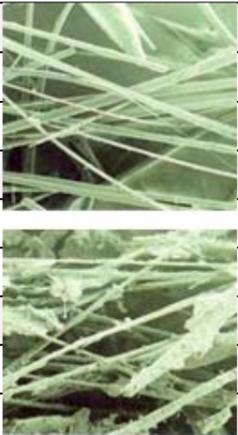
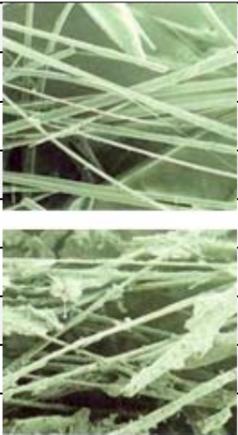
BIOROCK 15									
Materiales									
Denominación	Material	Cantidad	Parámetro característico	Cantidad/Proceso	Indicador	Resultado	Observaciones	Indicador de energía	Resultado
Carcasa biofiltro	HDPE	129,5 kg	4202mm x 1500mm x 1800mm	129,5 kg	330 mp/kg	42.735 mp		18,81 kWh/kg	2435,93 kWh
				modelado por presión	6,4 mp/kg	829 mp			
				TOTAL		43.564 mp			
Racorera pvc	PVC	14,5 kg	-	14,5 kg	330 mp/kg	4.785 mp		13,71 kWh/kg	198,76 kWh
				moldeado por inyección -2	44 mp/kg	638 mp			
				TOTAL		5.423 mp			
Tubos de PVC	PVC	4,92	9,67 m	47,6 kg	270 mp/kg	12.852 mp		13,71 kWh/kg	652,50 kWh
				calandrado pvc	3,7 mp/kg	176,12 mp			
				TOTAL		13.028 mp			
Prefiltro	nylon	0,5 kg	-	0,5 kg	370 mp/kg	185 mp		27,44 kWh/kg	13,72 kWh
				Extrusión	2,1 mp/kg	1,05 mp			
				TOTAL		186,05 mp			
Biofiltro	Lana de roca (diabasa)	30,59 kg/m ³	0,67 m ³	20,5 kg	61 mp/kg	1.251 mp			0,00 kWh
				cutre manual.	sin impacto computable				
				TOTAL		1.251 mp			
Material de relleno	polipropileno	56 kg/m ³	0,75 m ³	42 kg	330 mp/kg	13.860 mp		18,85 kWh/kg	791,63 kWh
				moldeado por inyección	21 mp/kg	882 mp			
				TOTAL		14.742 mp			
Arena	arena	3m ³	2,5 g/m ³	7500 kg	0,82 mp/kg	6.150 mp		0,01 kWh/kg	92,81 kWh
				(incluye extracción y transporte)					
				TOTAL		6.150 mp			
Gasoil	gasoil	5,6525 kg	236,602 MJ	5,6525 kg	180 mp/kg			13,90 kWh/kg	78,55 kWh
				combustión	5,6 mp/MJ				
				incluido como impacto de las acciones					
Pegamento de PVC	Teraftalato de dimetila	0,4 kg	-	0,4 kg	190 mp/kg	76 mp			
				para procesado manual de montaje					
				TOTAL		76 mp			
TOTAL MATERIALES						84.419,47 mp		TOTAL ENERGÍA	4263,89 kWh

Tabla N°6: Computo del impacto de las acciones del equipo biorock.

BIOROCK 15							
Acciones							
Denominación	Ubicación	Cantidad	Máquina	Tiempo de utilización	Cantidad de combustible	Resultado	Energía consumida
Excavación	terreno	13,3m ³	miniexcavadora	1,0 h	2,975 kg		
Nivelación	arena	3m ³	miniexcavadora+ manual	0,2 h	0,595 kg		
Cubrición	terreno	2m ³	miniexcavadora	0,2 h	0,595 kg		
Esparcir	terreno	8,3m ³	miniexcavadora	0,5 h	1,488 kg		
Gasoil	gasoil	5,6525 kg	miniexcavadora		5,6525 kg	2.342 mp	78,77 kWh
TOTAL ACCIONES						2.342,00 mp	78,77 kWh
Uso y transporte							
Denominación	Ubicación/Maquinaria	Cantidad	Parámetro característico	Cantidad	Indicador	Resultado	Energía consumida
uso del suelo	suelo	6m ²	Diez años	60 m ² *año	45 mp/m ² *año	2.700 mp	
transporte	Camión de 16 t	2400 km	540 t*km	540 t*km	34 mp/t*km	18.360 mp	
-	Camión <3,5t	50 km	11,25 t*km	11,25 t*km	140 mp/t*km	1.575 mp	
TOTAL USO Y TRANSPORTE						22.635,00 mp	
Reciclado							
Denominación	Ubicación	Cantidad	Parámetro característico	Cantidad	Indicador	Resultado	Energía consumida
Reciclado HDPE	-	129,500 kg		129,500 kg	-240,0 mp/kg	-31.080 mp	
Reciclado PVC	-	62,100 kg		62,100 kg	-170,0 mp/kg	-10.557 mp	
TOTAL DESECHO						-41.637,00 mp	
TOTAL BIOROCK 15						67.759,47 mp	4342,67 kWh

Tabla N°7: computo del impacto de los materiales en el equipo biodiscos.

BIODISCOS									
Materiales									
Denominación	Material	Cantidad	Parámetro característico	Cantidad/Proceso	Indicador	Resultado	Observaciones	Indicador de energía	Resultado
Cubeta	HDPE	12 kg	-	12 kg	330 mp/kg	3.960 mp		18,81 kWh/kg	225,72 kWh
				Moldeado con presión	2,1 mp/kg	25 mp			
				TOTAL		3.985 mp			
Biodiscos	Polipropileno	23,4 kg	-	23,4 kg	330 mp/kg	7.722 mp		13,71 kWh/kg	320,76 kWh
				moldeado por inyección -2	44 mp/kg	1.030 mp			
				TOTAL		8.752 mp			
Eje	Acero inoxidable mecanizado sin soldaduras ni anclajes	2,75 kg	1,77 dm ³	2,75 kg	910 mp/kg	2.503 mp	Acero de alta aleación	7,48 kWh/kg	20,58 kWh
				Corte/estampación	800 mp/dm ³	1416			
				TOTAL		3.919 mp			
Bastidor de biodiscos	Chapa 0,6 mm	9,9 kg	-	9,9 kg	24 mp/kg	238 mp		3,25 kWh/kg	32,14 kWh
				laminado	30 mp/kg	297 mp			
				TOTAL		535 mp			
Elementos metálicos parcialmente sumergidos	A° C° A 410 B, pintado	0,9 kg	-	0,9 kg	24 mp/kg	22 mp		3,25 kWh/kg	2,92 kWh
				laminado	30 mp/kg	27 mp			
				TOTAL		49 mp			
Tornillería	A° Inox. AISI-304	0,096 kg	251,00 mm ²	0,096 kg	910 mp/kg	87 mp		7,48 kWh/kg	0,72 kWh
				Corte/estampación	0,00006 mp/m ²	0,01506			
				TOTAL		87 mp			
Carcasa motor + Caja reductora	Aluminio	1,45 kg	5,00 dm ³	1,45 kg	94 mp/kg	136 mp	El indicador ha sido estimado en base a los indicadores de los procesos utilizados, por medio de la media geométrica en base al peso.	7,48 kWh/kg	10,85 kWh
				Corte/estampación	400 mp/dm ³	2000			
				TOTAL		2.136 mp			
Bobinado motor 0,18 kW	cobre	2,45 kg	-	2,45 kg	1400 mp/kg	3.430 mp	Asimilando el proceso de hilado al de extrusión del aluminio. Bloques de material que solo contienen cobre primario.	3,58 kWh/kg	8,77 kWh
				hilado de cobre	72 mp/kg	176 mp			
				TOTAL		3.606 mp			
Engranajes motoreductor	Acero de convertidores	4 kg	3,40 dm ³	4 kg	94 mp/kg	376 mp	Bloques de acero que solo contienen acero primario, por lo que el impacto aumenta en relación al precedente íntegramente de chatarra. No se computa el reciclado al ya estar incluido en el indicador.	3,25 kWh/kg	12,99 kWh
				fresado	800 mp/dm ³	3.200 mp			
				TOTAL		3.576 mp			
Chavetas	Acero al carbono F111	0,1 kg	-	0,1 kg	24 mp/kg	2 mp	Bloques de acero que solo contienen chatarra, no se computa pues su reciclado, al ya estarlo en el indicador	3,25 kWh/kg	0,32 kWh
				laminado	30 mp/kg	3 mp			
				TOTAL		5 mp			

Tabla N°7 continuación.

BIODISCOS									
Materiales									
Transmisión parte rígida	Fundición	0,3 kg	1251,00 mm ²	0,3 kg	240 mp/kg	72 mp		3,246 kWh/kg	0,97 kWh
				Corte/estampación	0,00006 mp/mm ²	0,07506 mp			
				TOTAL		72 mp		TOTAL	0,97 kWh
Transmisión parte elástica	Gomas (EPDM)	0,045 kg	-	0,045 kg	360 mp/kg	16 mp		27,440 kWh/kg	1,23 kWh
				moldeado por inyección -2	44 mp/kg	2 mp			
				TOTAL		18 mp		TOTAL	1,23 kWh
Pintura	tratamiento superficial	0,125 kg	HN03	0,125 kg	55 mp/kg	7 mp			0,00 kWh
				-		0 mp			
				TOTAL		7 mp		TOTAL	0,00 kWh
Solera	Hormigón	1320 kg		1320 kg	3,8 mp/kg	5.016 mp		0,181 kWh/kg	239,29 kWh
				-		0 mp			
				TOTAL		5.016 mp		TOTAL	239,29 kWh
Tubos de PVC	PVC	23,8 kg	-	23,8 kg	270 mp/kg	6.426 mp		13,708 kWh/kg	326,25 kWh
				calandrado pvc	3,7 mp/kg	88 mp			
				TOTAL		6.514 mp		TOTAL	326,25 kWh
Racorería PVC	PVC	2,4 kg	-	2,4 kg	270 mp/kg	648 mp		13,708 kWh/kg	32,90 kWh
				moldeado por inyección -2	44 mp/kg	106 mp			
				TOTAL		754 mp		TOTAL	32,90 kWh
Gasoil	Gasoil	2,975 kg	124,53 MJ	2,975 kg	180 mp/kg	536 mp		13,896 kWh/kg	41,34 kWh
				Combustión	5,6 mp/MJ	697 mp			
				incluido en el impacto de las acciones				TOTAL	41,34 kWh
TOTAL MATERIALES						38.277,17 mp	TOTAL ENERGÍA		1277,76 kWh

Tabla N°8: computo del impacto de las acciones en el equipo biodiscos.

BIODISCOS							
Acciones							
Denominación	Ubicación	Cantidad	Máquina	Tiempo de Utilización	Cantidad de combustible	Resultado	Energía consumida
Nivelacion	-	-	miniexcavadora	1,0 h	2,975 kg/h	-	
Ensolado	-	6 m ²	Hormigonera 2 kw	3,0 h	-	828 mp	
Gasoil	-	2,975 kg	-	-	2,975 kg	1.233 mp	41,46 kWh
TOTAL ACCIONES						2.061,00 mp	41,46 kWh
Uso y transporte							
Denominación	Ubicación/Maquinaria	Cantidad	Parámetro característico	Cantidad	Indicador	Resultado	Energía consumida
Uso del suelo	Suelo	6m ²	Diez años	60 m ² *año	45 mp/m ² *año	2.700 mp	
Transporte	Camión de 16 t	2400 km	143,7984 t*km	143,7984 t*km	34 mp/t*km	4.889 mp	
-	Camión <3,5t	50 km	4,1858 t*km	4,1858 t*km	140 mp/t*km	586 mp	
Consumo	motoreductor	0,12 kw	87600 H/10 años	10512 kWh/10 años	46 mp/kWh	483.552 mp	10512,00 kWh
TOTAL USO Y TRANSPORTE						491.727,16 mp	10512,00 kWh
Reciclado							
Denominación	Denominación	Cantidad	Parámetro característico	Cantidad	Indicador	Resultado	Energía consumida
Reciclado HDPE	Reciclado HDPE	12 kg		12,000 kg	-240,0 mp/kg	-2.880 mp	
Reciclado PVC	Reciclado PVC	23,4 kg		23,400 kg	-170,0 mp/kg	-3.978 mp	
Reutilización cobre		2 kg		2,000 kg	-900,0 mp/kg	-1.800 mp	
Reciclado de metales de hierro		5,496 kg		5,496 kg	-70,0 mp/kg	-385 mp	
TOTAL RECICLADO						-9.042,72 mp	
TOTAL BIODISCOS						523.022,60 mp	11831,22 kWh

Tabla N°9: computo del impacto de la solución C.A.S.

CAS									
Materiales									
Denominación	Material	Cantidad	Parámetro característico	Cantidad/Proceso	Indicador	Resultado	Observaciones	Indicador de energía	Resultado
Impermeabilización	HDPE	163 kg	0,952 g/cm ³	163 kg	330 mp/kg	53.790 mp		18,81 kWh/kg	3066,07 kWh
				Extrusión con soplado de aire	2,1 mp/kg	342 mp			
				TOTAL		54.132 mp		TOTAL	3066,07 kWh
Piedra de cantera machacada	-	27000 kg		27000 kg	0,84 mp/kg	22.680 mp		0,07 kWh/kg	1990,18 kWh
				-		0 mp			
				TOTAL		22.680 mp		TOTAL	1990,18 kWh
Arcilla	-	12,5 kg		12,5 kg	0,82 mp/kg	10 mp		0,01 kWh/kg	0,15 kWh
				-		0 mp			
				TOTAL		10 mp		TOTAL	0,15 kWh
Arena	-	12500 kg	2,5 g/cm ³	12500 kg	0,82 mp/kg	10.250 mp		0,01 kWh/kg	154,69 kWh
				-		0 mp			
				TOTAL		10250 mp		TOTAL	154,69 kWh
Tubos de PVC	PVC	26,71 kg		26,71 kg	270 mp/kg	7.212 mp		13,71 kWh/kg	366,14 kWh
				Calandrado de PVC	3,7 mp/kg	98,827 mp			
				TOTAL		7.311 mp		TOTAL	366,14 kWh
Racorería PVC	PVC	2,7 kg		2,7 kg	270 mp/kg	729 mp		13,71 kWh/kg	37,01 kWh
				Modelado por inyección -2	44 mp/kg	119 mp			
				TOTAL		848 mp		TOTAL	37,01 kWh
Gasoil	-	8,925 kg	373,5827 MJ	8,925 kg	180 mp/kg	1.607 mp		13,90 kWh/kg	124,02 kWh
				Combustión	5,6 mp/MJ	2.092 mp			
				Incluido en el impacto de las acciones.				TOTAL	124,02 kWh
TOTAL MATERIALES						95.230,88 mp		TOTAL ENERGÍA	5738,26 kWh
Acciones									
Denominación	Ubicación	Cantidad	Máquina	Tiempo de utilización	Cantidad de combustible	Resultado	Energía consumida		
Canal de: 29x1x0,6	Dispersar en alrededores	30m ³	miniexcavadora	3,0 h	8,925 kg	0 mp			
Gasoil	-	8,925 kg	-	-	8,925 kg	3.699 mp			
TOTAL ACCIONES						3.698,56 mp		124,38 kWh	
Uso y transporte									
Denominación	Ubicación / Maquinaria	Cantidad	Parámetro característico	Cantidad	Indicador	Resultado	Energía consumida		
Uso del suelo	-	30 m ²		300 m ² /año	45 mp/m ² *año	13.500 mp			
Transporte de los materiales, bajo pedido único a considerar desde el centro de distribución más cercano.	Camión de reparto <3,5t	50 km		9,621 t/km	140 mp/t*km	1.347 mp			
TOTAL USO Y TRANSPORTE						14.846,87 mp			
Desecho									
Denominación	Ubicación	Cantidad	Parámetro característico	Cantidad	Indicador	Resultado	Energía consumida		
Reciclado PE	-	162,792 kg	-	162,792 kg	-240,0 mp/kg	-39.070 mp			
Reciclado PVC	-	2,700 kg	-	2,700 kg	-170,0 mp/kg	-459 mp			
TOTAL DESECHO						-39.529,08 mp			
TOTAL CAS						74.247,23 mp		5862,64 kWh	

4.3.1. Interpretación del estudio

Teniendo en cuenta los datos anteriormente recopilados y haciendo hincapié en la importancia relativa entre ellos, se pueden hacer comparativas que ayuden a sacar conclusiones. Para la fosa séptica se puede observar el peso de cada fase del ACV así como el consumo de energía en la tabla n° 10:

TOTAL MATERIALES	21.207,00 mp
TOTAL ACCIONES	1.232,85 mp
TOTAL USO Y TRANSPORTE	10.547,70 mp
TOTAL RECICLADO	-51,00 mp
TOTAL FOSA SÉPTICA	32.936,55 mp
TOTAL ENERGÍA	3512,60 kWh

TablaN°10 totales de la fosa séptica.

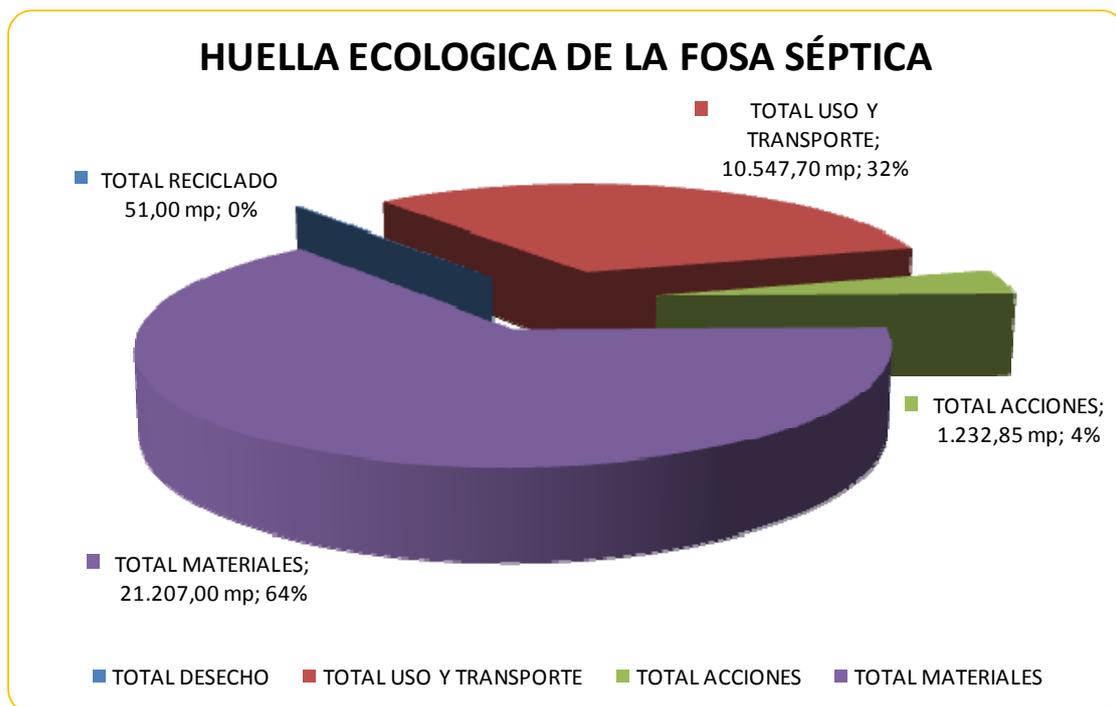


Fig.19 Huella ecológica de cada etapa de la fosa séptica.

El transporte supone un tercio de la huella ecológica producida por la fosa séptica como se puede observar en la fig.19. Si a esta consideracion se le añade el

hecho de que el computo del indicador del transporte para este caso en particular se ha hecho en base a la huella provocada por un camion de 16 toneladas a media carga, que raramente sera el caso, da a entender que el transporte es uno de los momentos durante el ciclo de vida de un producto que mas peso especifico tiene.

Para el equipo Biorock se observa en la tabla n° 11 la recopilación, de los totales por fases, de la huella ecológica y el gasto energético total.

TOTAL MATERIALES	84.419,47 mp
TOTAL ACCIONES	2.342,00 mp
TOTAL USO Y TRANSPORTE	22.635,00 mp
TOTAL DESECHO	-41.637,00 mp
TOTAL BIOROCK 15	67.759,47 mp
TOTAL ENERGÍA	4342,67 kWh

TablaN°11 totales del equipo biorock.

En la fig.24, queda patente la importancia de la fase de uso y transporte.

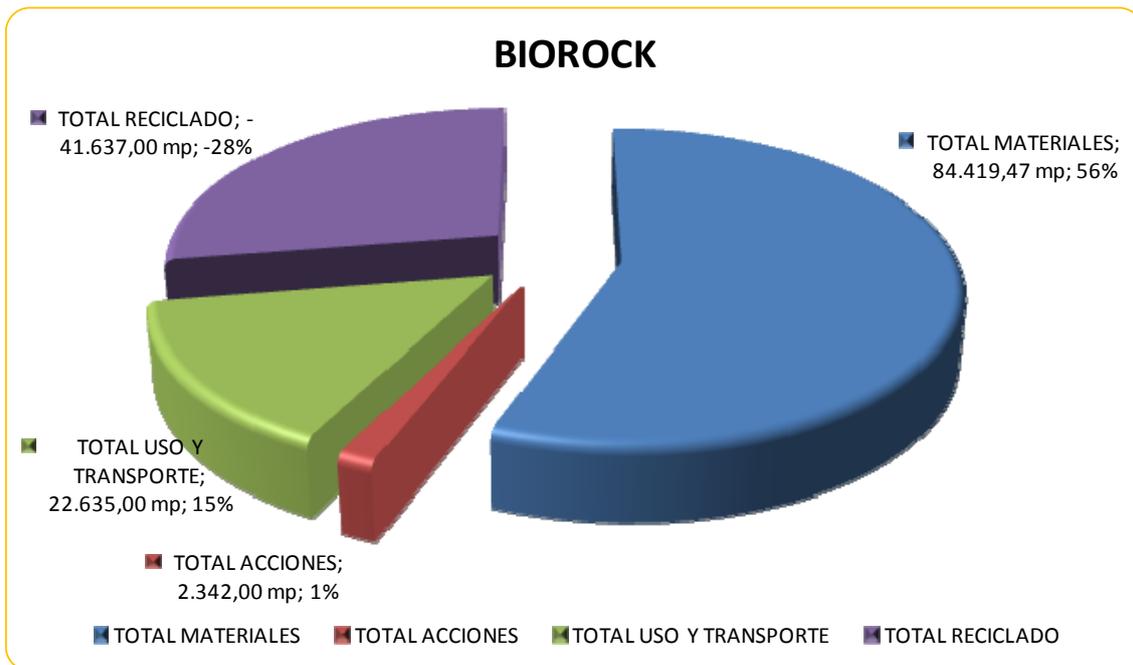


Fig.24 Huella ecológica de cada etapa del equipo biorock.

En las fig.25 y fig.26, que son, computo de la energía consumida en la producción de las materias primas y el conformado de las mismas para que constituyan los diferentes elementos que se implican en la construcción de la solución Biorock y el cómputo en mili puntos de la huella ecológica de cada uno de los componentes, respectivamente. Se observa de nuevo el paralelismo entre consumo energético y huella ecológica.

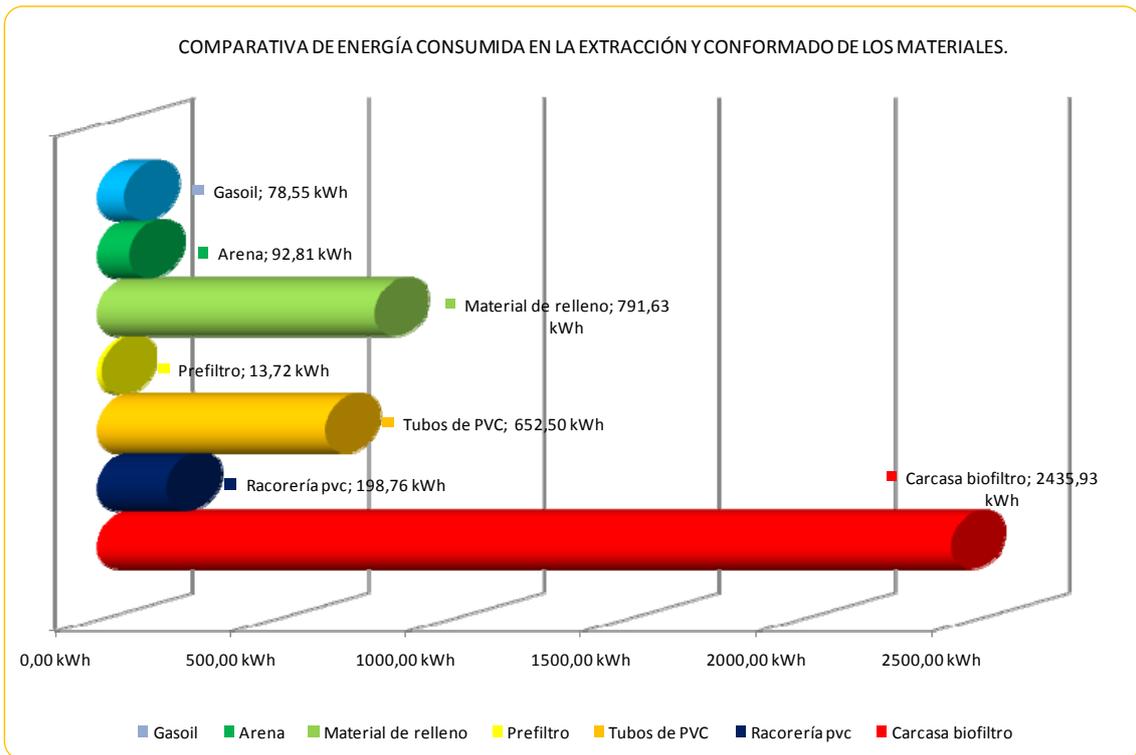


Fig.25 Energía empleada para la producción y conformado de los materiales.

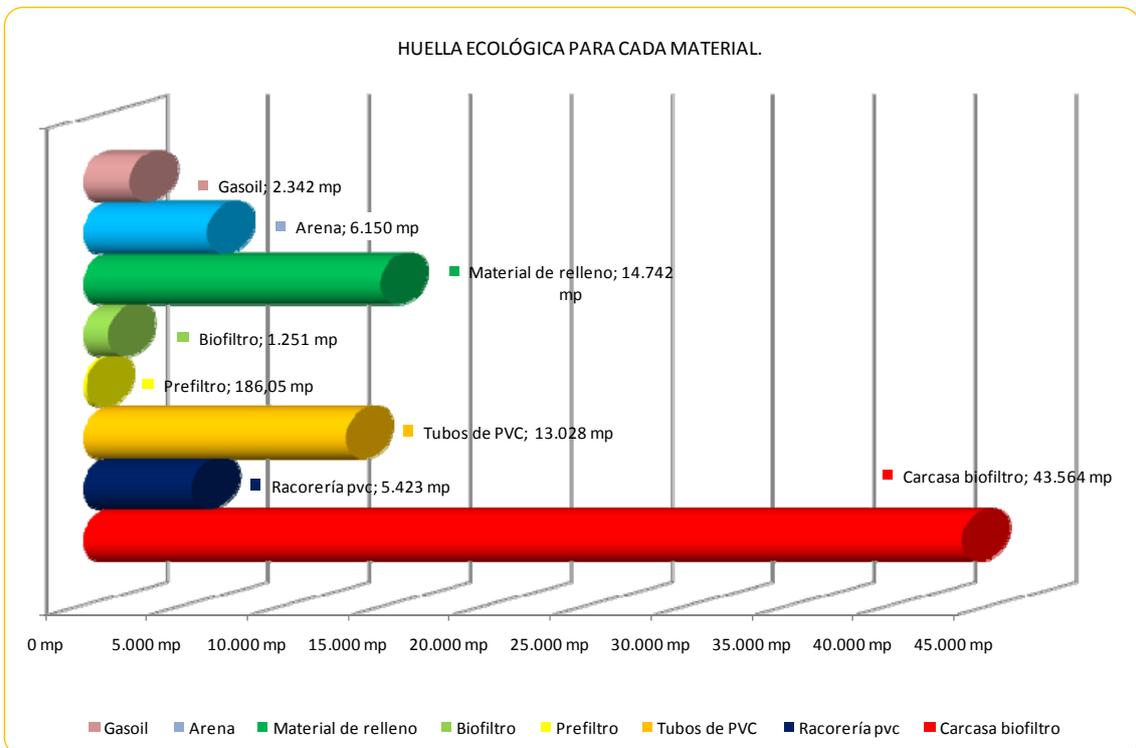


Fig.26 Huella ecológica de los materiales.

Para el equipo Biodiscos se observa en la tabla n° 12 la recopilación, de los totales por fases, de la huella ecológica y el gasto energético total.

TOTAL MATERIALES	38.277,17 mp
TOTAL ACCIONES	2.061,00 mp
TOTAL USO Y TRANSPORTE	491.727,16 mp
TOTAL RECICLADO	-9.042,72 mp
TOTAL BIODISCOS	523.022,60 mp
TOTAL ENERGÍA	11831,22 kWh

TablaN°12 totales del equipo biodiscos.

En las Fig.27, se observan el peso de cada una de las fases del ciclo de vida en la huella ecológica.

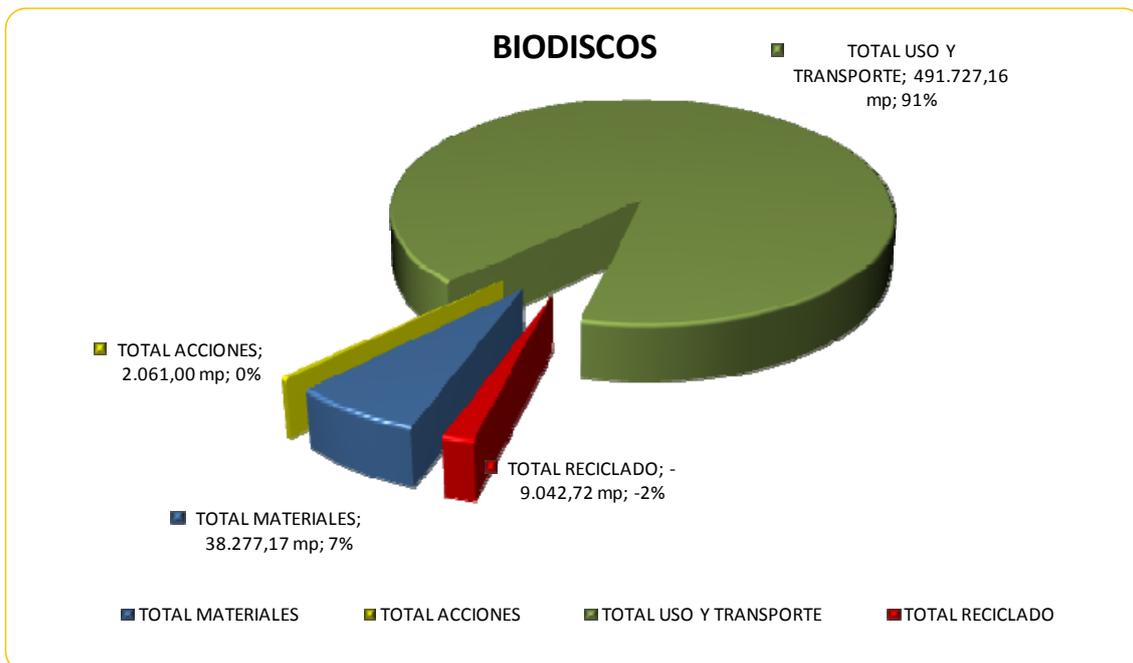


Fig.27 Huella ecológica de cada fase del ciclo de vida.

En las fig. 28 y fig. 29 se pueden observar el gasto energético y la huella ecológica de los materiales del equipo biodiscos.

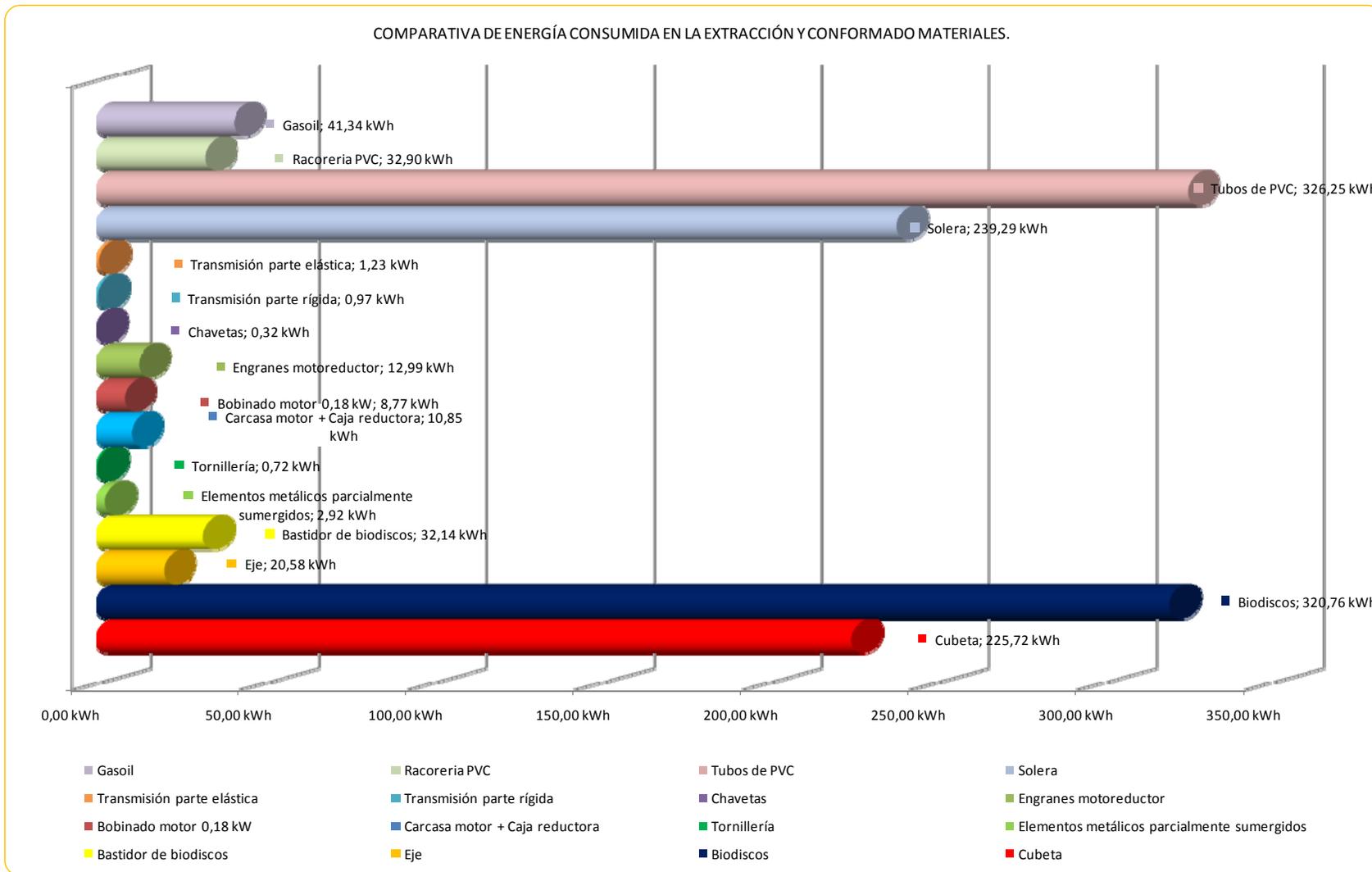


Fig.28 Consumo de energía para la extracción y conformado de los materiales del equipo biodiscos.

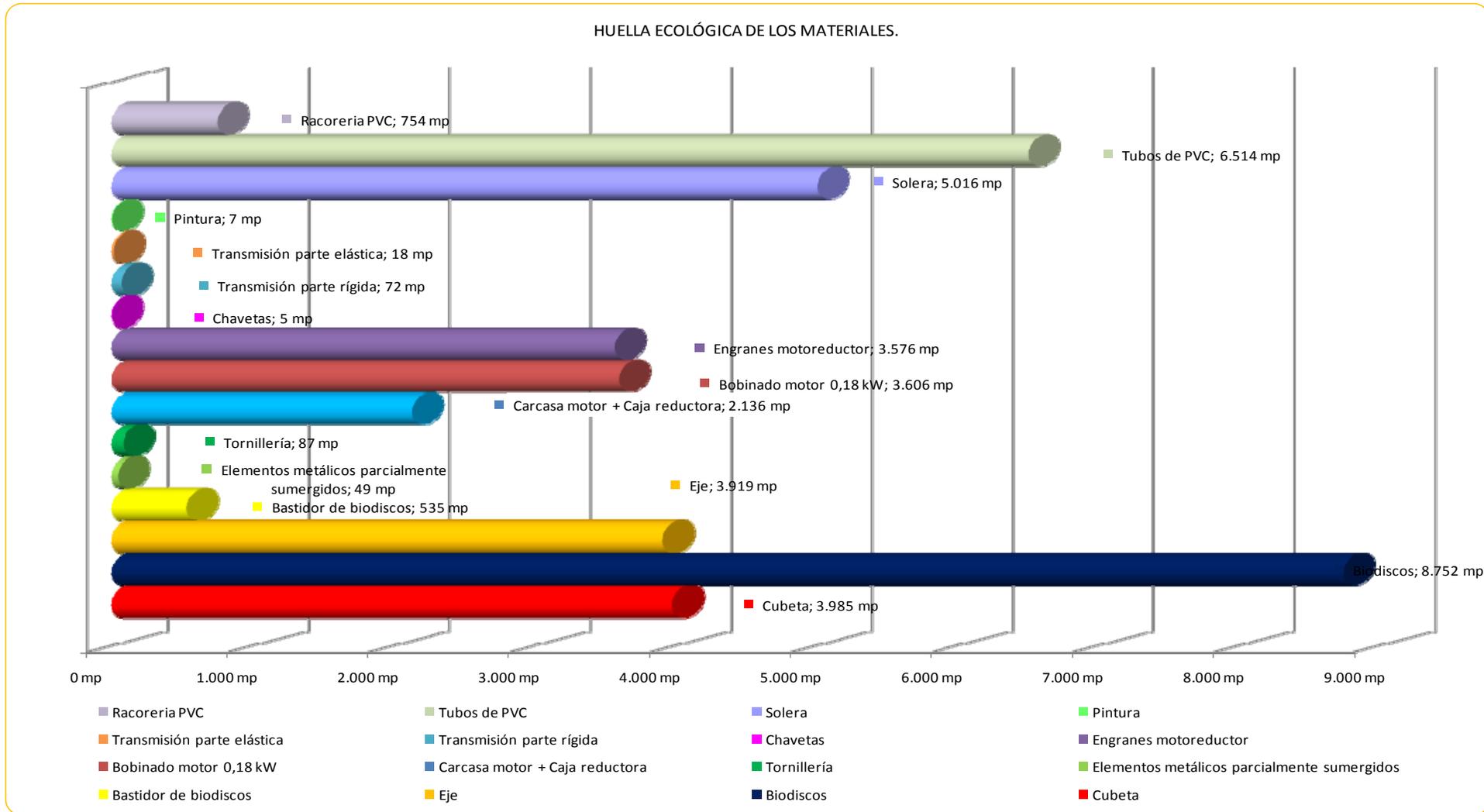


Fig.29 Huella ecológica de los materiales del equipo biodiscos.

Para la solución CAS se observa en la tabla nº 13 la recopilación, de los totales por fases, de la huella ecológica y el gasto energético total.

TOTAL MATERIALES	95.230,88 mp
TOTAL ACCIONES	3.698,56 mp
TOTAL USO Y TRANSPORTE	14.846,87 mp
TOTAL DESECHO	-39.529,08 mp
TOTAL CAS	74.247,23 mp
TOTAL ENERGÍA	5738,26 kWh

TablaNº13 totales del CAS.

Una comparativa visual de la huella ecológica de cada una de las fases consideradas en el ciclo de vida queda como se ve en la fig.20:

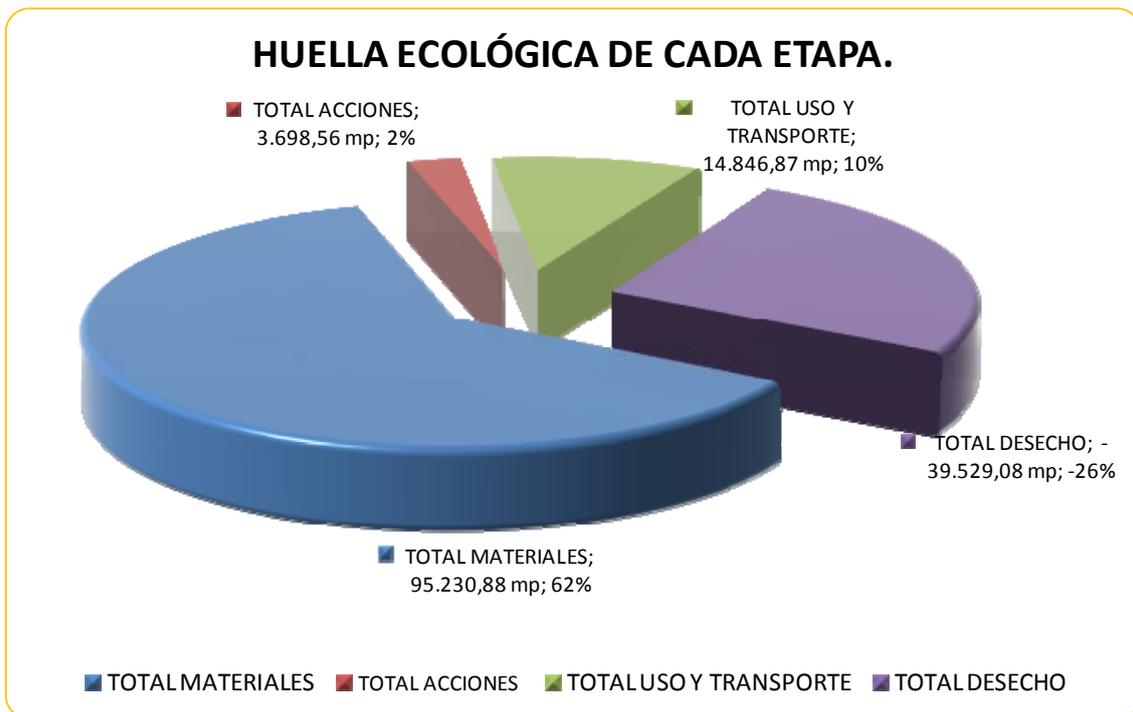


Fig.20 Huella ecológica de cada una de las fases del ciclo de vida del C.A.S.

El mismo tipo de comparativa, pero exclusivamente para los materiales utilizados queda como en la fig.21 da entender que el HPDE a pesar de no ser el material mayoritario en peso si es el que más huella ecológica deja, con diferencia.

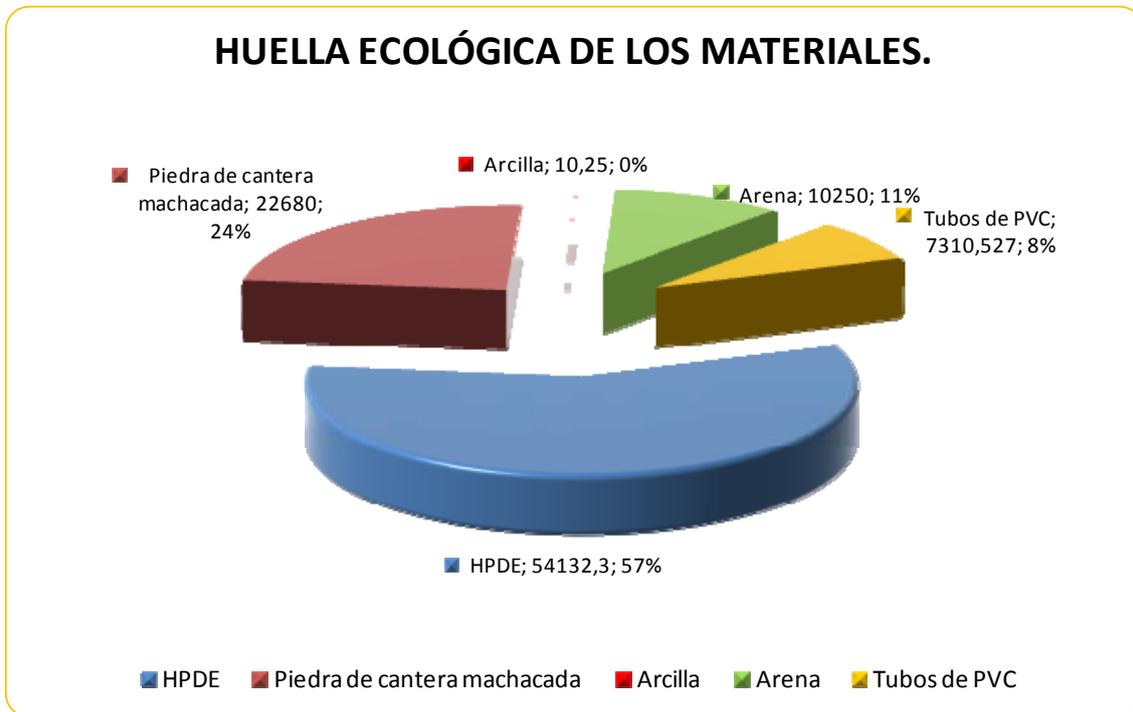


Fig.21 Huella ecológica de cada material en el C.A.S.

En las dos graficas siguientes: fig.22 y fig.23 se puede observar el paralelismo que existe entre consumo energético y huella ecológica para cada material. A grosso modo este paralelismo se conserva salvo excepciones como en este caso es evidente que ocurre con la arena y los tubos de PVC, que invierten sus posiciones de una a otra comparativa aunque si mantienen posiciones parecidas en la visual general del grafico.

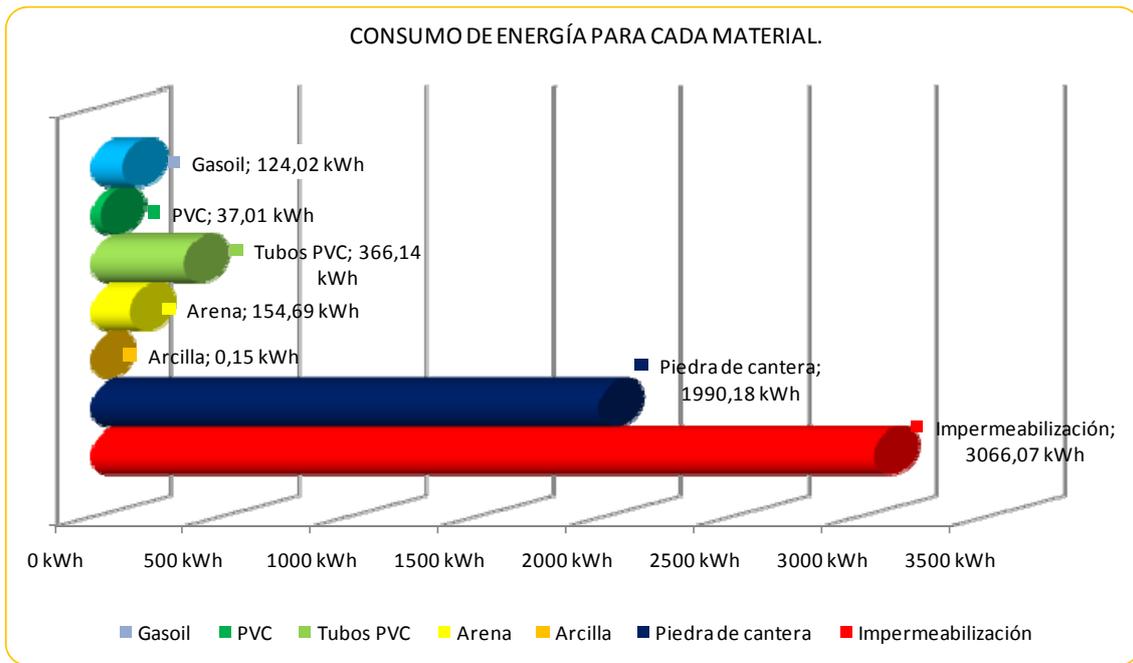


Fig.22 Consumo de energía de cada material en el C.A.S.

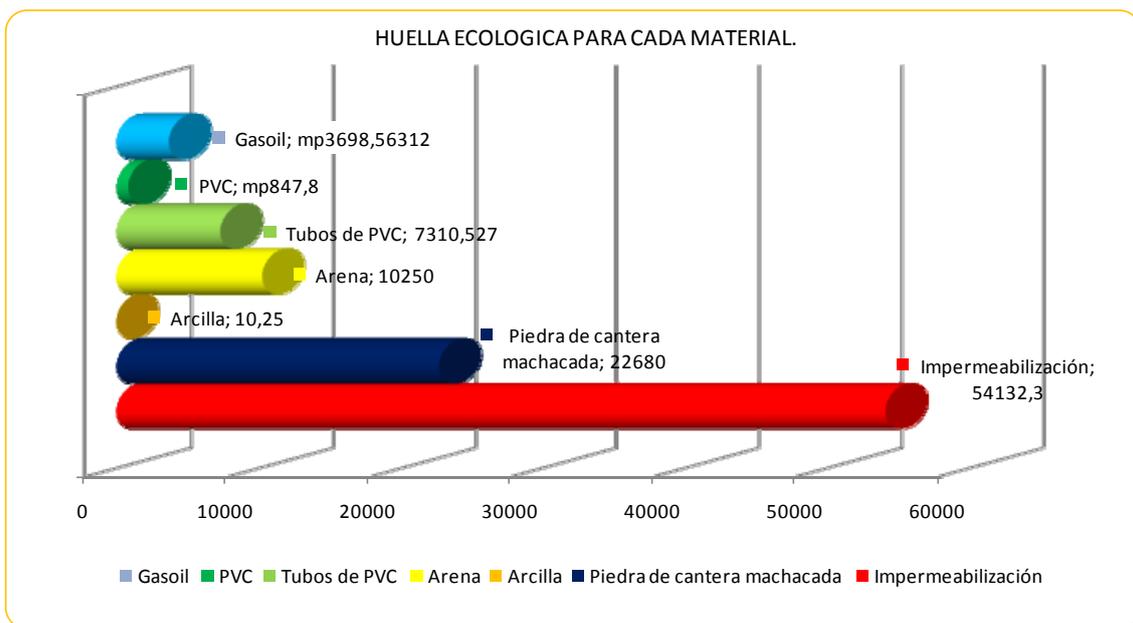


Fig.23 Huella ecológica para cada material del C.A.S.

El objetivo final del proyecto no es otro que la comparación entre las distintas instalaciones alternativas. Queda visualmente detallada en la fig.30 una comparación entre las respectivas huellas ecológicas, de todo el ciclo de vida, de las tres instalaciones alternativas.

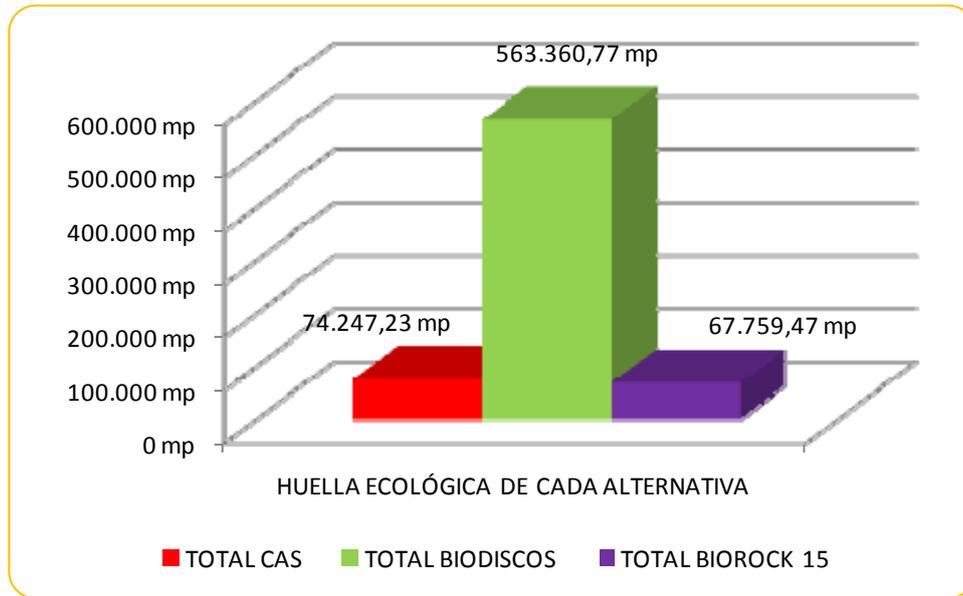


Fig.30 Comparativa de huella ecológica.

El orden creciente de la huella ecológica es:

1° BIOROCK.

2° C.A.S.

3° BIODISCOS.

En cuanto a las materias primas utilizadas para la fabricación de cada una de las alternativas, la comparación de resultados arroja, sorprendentemente, un orden de incidencia muy distinto según se ve en la fig.31:

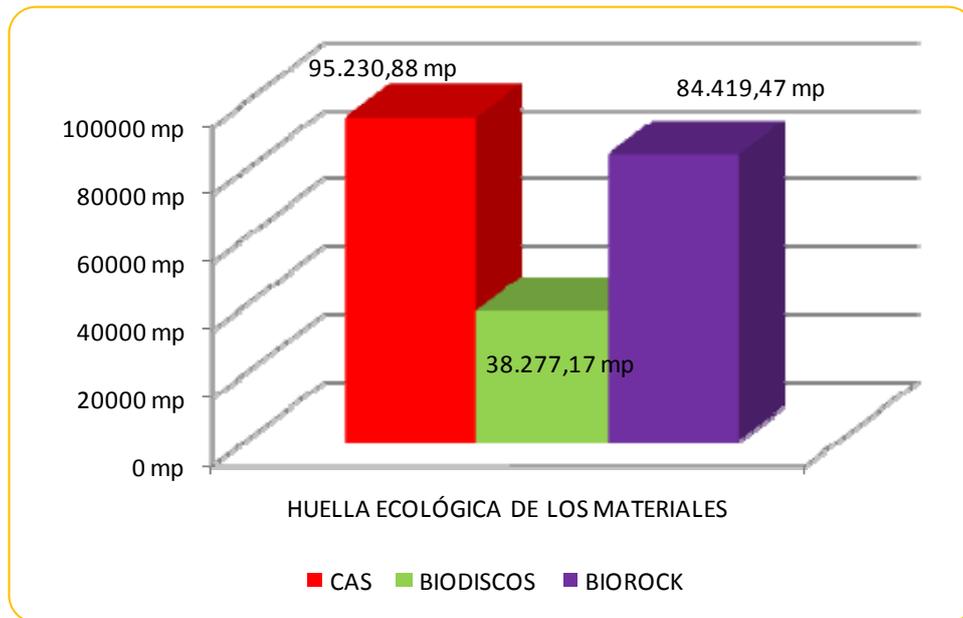


Fig.31 Huella ecológica de los materiales de las tres opciones.

El orden creciente de la huella ecológica es:

1° BIODISCOS.

2° BIOROCK.

3° C.A.S.

Lo que en contraposición con el orden que impone la huella total deja patente la importancia de tener en cuenta la contribución a la huella ecológica de todas las etapas del ciclo de vida del producto y el error que supondría considerar suficiente el peso que sobre ésta tienen los materiales que conforman el producto fruto de estudio.

Si adicionalmente se comparan los gastos energéticos invertidos en la producción y conformado de los elementos que constituyen cada opción se obtiene la fig.32:

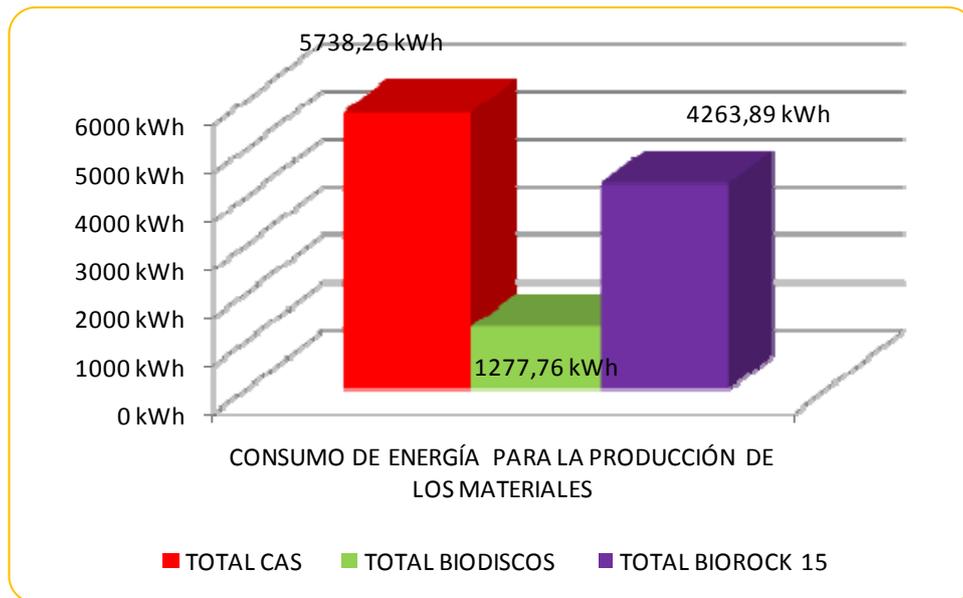


Fig.32 Comparativa de la energía consumida para la producción de los materiales de las tres alternativas.

El orden creciente de consumo energético es:

1° BIODISCOS.

2° BIOROCK.

3° C.A.S.

Si la comparación de energía se hace teniendo en cuenta el total del ciclo de vida de las tres instalaciones, como se puede ver en la fig.33, el nuevo orden es el siguiente:

1° BIOROCK.

2° C.A.S.

3° BIODISCOS.

Que coincide con el que impone la huella ecológica del ciclo de vida, estableciéndose de este modo un claro paralelismo entre consumo eléctrico a lo largo del ciclo de vida y la huella ecológica en base al ecoindicador'99.

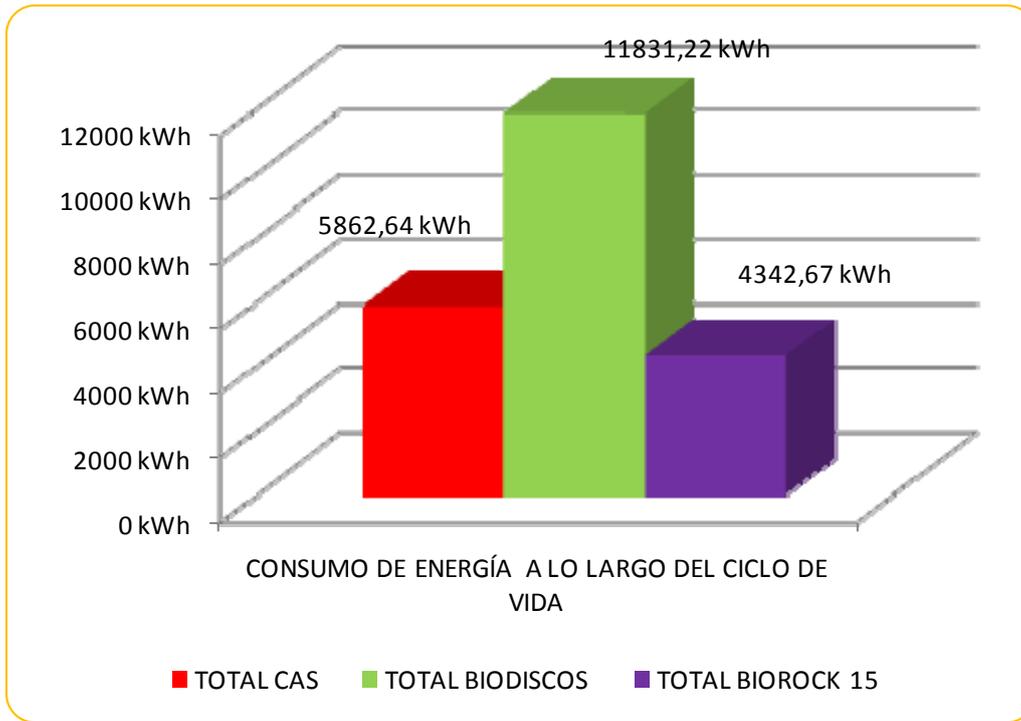


Fig.33 Comparativa de la energía consumida durante todo el ciclo de vida de las tres alternativas.