

# **ANEXO I**

## **DESCRIPCIÓN DE PROCESOS**

## ANEXO I

### DESCRIPCIÓN DE PROCESOS

#### OBRA DE LLEGADA

Por obra de llegada se entiende aquellos elementos que reciben el agua afluente a la EDAR, procedente directamente de la red de saneamiento. La obra de llegada constará normalmente de:

- **POZO DE GRUESOS:** su objetivo es la separación de gruesos y partículas de arena de tamaño superior a 3 mm. La dotación constará de un desbaste de gruesos y precisará de un contenedor de residuos.
- **ALIVIADERO:** constituye el by-pass general de la planta, convirtiéndose en el punto de inicio de la red de by-pass.
- **REJA DE GRUESOS:** protege la estación de bombeo contigua, si la hubiera, y las siguientes unidades de tratamiento, reteniendo los sólidos de tamaño superior a la luz establecida.

#### PRETRATAMIENTO

A continuación de la obra de llegada, viene el pretratamiento, que consiste en el conjunto de operaciones físicas y mecánicas cuyo objetivo es evitar que lleguen a los equipos e instalaciones posteriores, aquellos objetos o sustancias presentes en el agua residual que por su tamaño, densidad o características, pudieran ocasionar trastornos o daños.

El pretratamiento diseñado en el presente proyecto consta únicamente de una operación de debaste.

La dotación o equipos necesarios para este tipo de tratamiento son rejas y/o tamices en serie ubicados en un número determinado de canales (tantos como líneas de tratamiento se establezcan), dotados cada uno de ellos de aislamiento por compuertas y sistemas de recogida de los residuos generados que pueden ser manuales o automáticos (tornillos de transporte, cintas transportadoras y compactador). Además, para completar el sistema de recogida se deberá proveer un contenedor para el almacenamiento de los residuos hasta su posterior tratamiento o retirada por parte de un gestor que se encargue de los mismos.

## FOSA DE ALTA VELOCIDAD

La fosa de alta velocidad es una fosa séptica sobre la cual se han realizado una serie de modificaciones para aplicar la eliminación de patógenos mediante procesos anaerobios con mayores rendimientos.

Juega un papel importante como receptor de aguas fecales brutas, cuyos objetivos principales son:

- Obtener un rendimiento significativo en eliminación de patógenos.
- Mejorar la calidad del agua con vistas a una mejor circulación de éstas por el dren.
- Absorber puntas de caudal debido a su elevado tiempo de retención hidráulico en relación con el dren.

La fosa séptica va dividida en tres compartimentos a los que va accediendo el agua en serie, siguiendo un circuito en zigzag que la obliga a ocupar todo el volumen útil de la misma y a atravesar cada vez el lecho de fangos, aumentando de esta manera el contacto agua-fangos, favoreciendo el efecto filtrante del lecho de lodo.

De esta manera la fosa deja de considerarse una fosa séptica de un solo compartimento, y pasa a actuar como una laguna anaerobia cubierta.

De modo que se puede definir la fosa estudiada como un sistema de tres cámaras con flujo global a pistón y distribución en serie de compartimentos unitarios de mezcla completa, capaz de trabajar a la intemperie con tiempos de retención hidráulicos entre 3 y 4 veces menores que los necesarios en una fosa convencional por lo que se confirma este sistema como un proceso de alta velocidad. (Pozo, L.; 2010)

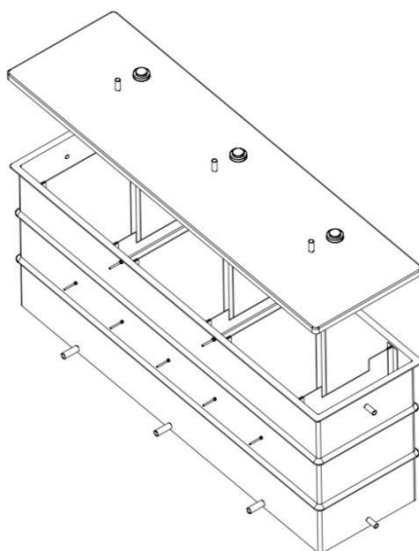


Imagen 1. Fosa anaerobia autoconstruible con eliminación de patógenos en CAS. GrupoTAR

Una de las grandes ventajas de la fosa de alta velocidad es su estabilidad frente a cambios bruscos de temperatura, más acusados por estar dispuesta en superficie, lo que amplía sobremanera su campo de aplicación, así como, la más importante, su elevado rendimiento en eliminación de patógenos por efecto del filtro del lodo en cada celda (reducción > 98% en CF y >99% en Ecoli) (Pozo, L.; 2010).

Con este diseño se promueve la autoselección bacteriana y la formación de flóculos en todo el volumen del reactor. Los flóculos están formados por bacterias anaerobias filamentosas de alta actividad, capaces de adherirse unas a otras, mediante exopolímeros (Lebrato, J., 1990; Gaudy, A.F.; Gaudy, E.T.; 1980). Se asegura una rápida puesta en marcha y mayor garantía de recuperación en caso de shock térmico y de sobrecarga hidráulica con lavado de biomasa bacteriana (Medina, R.I.; 2005).

Una vez alcanzado un régimen constante de alimentación que suponga tiempos de retención hidráulicos superiores a 1,2 días, el sistema tenderá a mejorar con respecto a lo predecible en los modelos citados en cuanto a reducción de patógenos. No obstante, en autoconstrucción se buscan tiempos de retención hidráulicos menores debido a la carencia de medios mecánicos para la excavación.

En este tipo de fosas hay que tener en cuenta que la eficacia en eliminación de materia orgánica (DQO y DBO5) es inversamente proporcional a la concentración de lodo ya que se reducen los tiempos de estancia y se aumentan las cargas hidráulicas o velocidades ascensionales, dando lugar al autolavado del lodo y su posterior arrastre fuera del reactor. Dicho arrastre ocasiona por tanto el empeoramiento de la calidad del efluente en cuanto a materia orgánica se refiere (Medina, R.I.; 2005). En todo caso, la entrada inferior del afluente permite una agitación “posible” que mejora los procesos de eliminación de DBO5 y DQO.

Sin embargo, el rendimiento en eliminación de patógenos es directamente proporcional a la concentración de lodo en la fosa, esto se puede explicar en términos del incremento del “efecto filtro (Pozo, L.; Lebrato, J; 2009).

El compromiso entre la eficacia en eliminación de patógenos y la eficacia en eliminación de materia orgánica con el incremento del lodo tiene que ser aplicado en cada caso. Concentraciones de lodo superiores a 10 g de SV de lodo/l (que tienen lugar tras tres o cuatro años de operación) tienen rendimientos en eliminación de patógenos superiores al 96% y del 45% en Materia Orgánica (Medina, R.I., 2005). Por tanto la frecuencia de purga de lodos en la fosa será muy dilatada en el tiempo, superando en cualquier caso los 2 años de operación.

Por otro lado es importante considerar que la DQO del efluente (debida al arrastre de lodo) no es de la misma calidad que la DQO del influente ya que el lodo presente en el efluente es mucho más estable que el lodo del agua bruta, no atrae moscas, sirve de alimento para la vida acuática superior de los cursos receptores y su demanda de oxígeno es mucho menor que los lodos del agua residual bruta ya que se trata de materia orgánica mineralizada y digerida.

## 1. ELIMINACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA EN PROCESOS ANAEROBIOS

La digestión anaerobia se ha empleado desde casi siempre para la digestión de fangos de depuradora y más recientemente, el tratamiento de aguas muy cargadas. Consiste en la descomposición por vía microbiológica de la materia orgánica en ausencia de oxígeno molecular.

En los sistemas anaerobios decanta la materia sedimentable presente en las aguas negras y se elimina parte de la materia orgánica. La fracción orgánica de la materia sedimentada experimenta reacciones de degradación anaerobia, mineralizándose paulativamente.

Los microorganismos anaerobios ejecutan funciones vitales en ausencia de oxígeno disuelto, consiguiendo su energía a partir de la rotura de los enlaces de los compuestos orgánicos que se degradan a metano ( $\text{CH}_4$ ) y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). El metano, producto reducido final y mayoritario en la fermentación, es inerte en ausencia de aceptores de electrones lo que asegura la continuidad de la descomposición de la materia orgánica (Vega Piqueres y col. 1983).

En el proceso de depuración anaerobia, la contaminación orgánica es transformada en biogás (mezcla de  $\text{CH}_4$  +  $\text{CO}_2$ ), materia orgánica degradada que continúa en disolución, y nuevos microorganismos. En la práctica, la degradación de la materia orgánica se realiza a través de una serie compleja de reacciones bioquímicas que transcurren tanto en paralelo como en serie. La degradación biológica de la materia orgánica se produce por un mecanismo de cuatro etapas:

### 1ª Etapa. Hidrólisis:

En el proceso de hidrólisis se transforman moléculas de gran tamaño en productos más sencillos y fácilmente degradables. Es un proceso de vital importancia en el tratamiento de aguas residuales, dado que una gran parte de la materia orgánica presente en el agua residual urbana está formada por grandes moléculas de difícil degradación, las cuales se presentan mayoritariamente en forma insoluble. Estas fracciones de materia orgánica se hidrolizan parcialmente durante el tratamiento biológico, originando un sustrato asimilable en el proceso de crecimiento. Lógicamente, la hidrólisis contribuye a aumentar la demanda biológica de oxígeno.

La hidrólisis de materiales orgánicos presentes en el agua residual puede describirse desde un punto de vista bioquímico como tres procesos diferentes en función de los tres grandes grupos de componentes orgánicos del agua: hidrólisis de hidratos de carbono, hidrólisis de proteínas e hidrólisis de grasas. El resultado final de la hidrólisis enzimática es la obtención de moléculas de bajo peso molecular como azúcares, aminoácidos, ácidos grasos y glicerol. Estas moléculas se usarán como fuente de carbono y energía para la población heterótrofa del fango activo. (Villaseñor, J., 2001)

Esto es fundamental para suministrar los compuestos orgánicos necesarios para la estabilización anaerobia en forma que puedan ser utilizados por las bacterias responsables de las tres etapas siguientes.

Se producen por tanto las siguientes transformaciones:

Lípidos	—————→	Ácidos grasos
Polisacáridos	—————→	Monosacáridos
Proteínas	—————→	Aminoácidos
Ácidos nucleicos	—————→	Purinas y pirimidinas

El proceso completo se desarrolla mediante la acción conjunta y encadenada de diferentes organismos aerobios facultativos y anaerobios.

El primer grupo de microorganismos, que se ocupa de la hidrólisis, son las bacterias hidrolíticas. Son típicas de este grupo las anaerobias estrictas (*Clostridium*, *Bacteroides*, *Ruminococcus* y *Bacillus* sp.) y las facultativas (*Esterichia Coli* y el *Bacillus* sp.) (Lebrato, J., 1990).

## 2ª Etapa. Acidogéneis:

Consiste en la conversión bacteriana de los compuestos producidos en la etapa anterior en compuestos intermedios identificables de menor peso molecular. Los compuestos orgánicos sencillos generados en la etapa anterior son utilizados por las bacterias acidogénicas, generadoras de ácidos grasos volátiles de 5 ó 6 átomos de carbono, mediante mecanismos de betaoxidación.

Los ácidos grasos son biomoléculas orgánicas de naturaleza lipídica formadas por una larga cadena hidrocarbonada lineal, de número par de átomos de carbono, en cuyo extremo hay un grupo carboxilo. Cada átomo se une al siguiente y al precedente por medio de un enlace covalente sencillo o doble. Al átomo de su extremo le quedan libres tres enlaces que son ocupados por átomos de hidrogeno ( $H_3C-$ ). Los demás átomos tienen libres dos enlaces, que son ocupados igualmente por átomos de hidrógeno ( $\dots-CH_2-CH_2-CH_2-\dots$ ).

Los ácidos grasos forman parte de los fosfolípidos y glucolípidos, moléculas que constituyen la bicapa lipídica de todas las membranas celulares.

En resumen, en la fase ácida las bacterias acidificantes transforman la materia orgánica disuelta, (aminoácidos, azúcares, ácidos grasos de cadena larga), en  $CO_2$  e  $H_2$  y ácidos grasos volátiles. Las bacterias implicadas son facultativas y el proceso es relativamente rápido.

El grupo responsable de la acidogénesis está formado por bacterias facultativas y anaerobias estrictas, “bacterias formadoras de ácidos”, entre las que se han podido aislar se encuentran: *Clostridium* spp, *Peptococcus anaerobus*, *Bifidobacterium* spp, *Desulphovibrio* spp, *Corynebacterium* spp, *Lactobacilus*, *Acitomyces*, *Staphilococcus* y *Escherichia Coli* (Lebrato, J., 1990).

### 3ª Etapa. Acetogénesis:

Las acetogénicas son el tercer grupo de bacterias que rompe los ácidos grasos volátiles en ácido acético  $\text{CH}_3\text{-COOH}$  ( $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$ ), o fórmico  $\text{H-COOH}$  ( $\text{CH}_2\text{O}_2$ ) que a su vez se degrada en  $\text{H}_2$  y  $\text{CO}_2$ .

Hay una gran variedad de bacterias capaces de efectuar la etapa de formación de ácido acético, la conversión ocurre con gran rapidez. Las principales son *Syntrophobacter*, *Syntrophomonas* y *Desulfovrio* (Lebrato, J., 1990). Dado que los productos del metabolismo de las bacterias formadoras de ácido y acetogénicas están muy poco degradados en relación con los productos de partida, la reducción de  $\text{DBO}_5$  o DQO en esta etapa es pequeña.

### 4ª Etapa. Metanogénesis:

Consiste en la conversión bacteriana de los compuestos intermedios en productos finales más simples, principalmente metano y dióxido de carbono. Este paso es realizado por un cuarto grupo de microorganismos, bacterias metanogénicas, formado por bacterias anaerobias estrictas. Los principales géneros de microorganismos que se han identificado incluyen bastoncillos (*Methanobacterium*, *Methanobacillus*), esferas (*Methanococcus*), agrupaciones de esferas (*Methanosarcina*) y las *Methanotrix*, filamentosas que ayudan a la floculación y formación de biopelículas (Lebrato, J., 1990).

El paso más lento de todos los procesos citados es la degradación de los ácidos acético y propiónico, a metano y dióxido de carbono. Por ello su metabolismo es el factor limitante de los procesos anaerobios.

Las bacterias metanogénicas son anaerobias estrictas, muy sensibles al pH. Puesto que en la segunda fase de la digestión se están produciendo ácidos, si no existe en el medio una alcalinidad importante, que tampona el pH del medio y un número adecuado de bacterias metanógenas que los transformen en metano, se produce su acumulación y el pH disminuye. Se estima que para valores de pH inferiores a 6,8 la actividad metanógena comienza a presentar problemas, y que por debajo de pH 6 se detiene completamente (Middlebrooks y col., 1982).

Un sistema anaerobio que estabilice correctamente residuos orgánicos, debe tener valores muy bajos de OD, estar libre de concentraciones inhibitorias de constituyentes (metales pesados y sulfuros), y presentar valores de pH situados entre 6,6 y 7,6. Para su estabilidad debe existir una alcalinidad suficiente, que se produce por el bicarbonato amónico formado en el propio proceso (Middlebrooks y col., 1982).



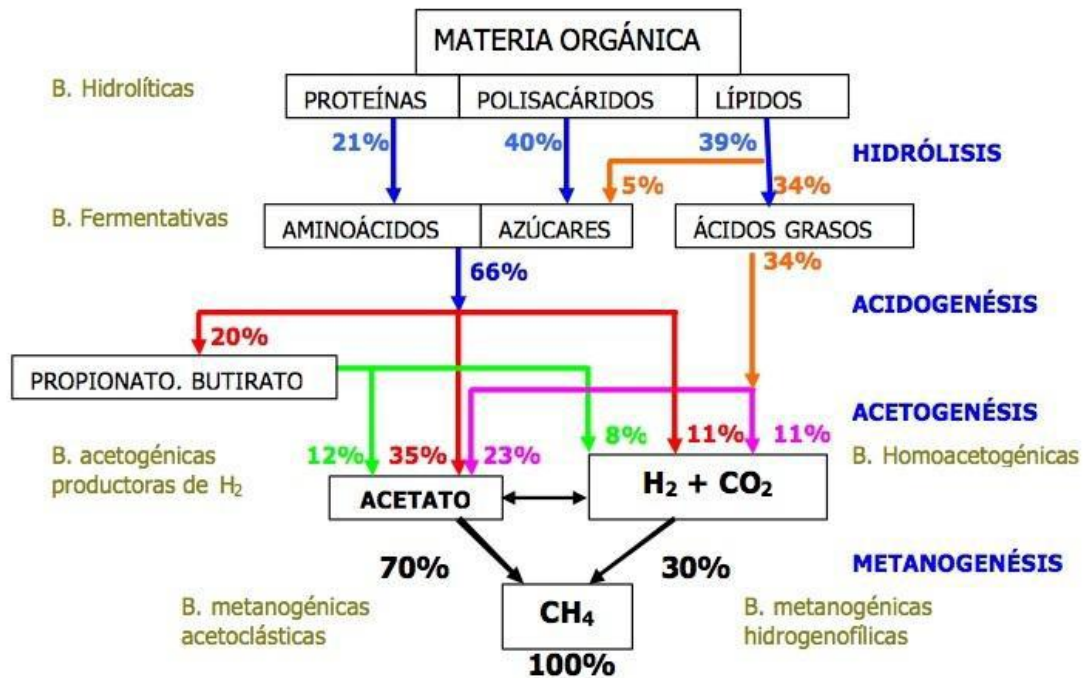


Imagen 1. Etapas de la digestión anaerobia (Madigan, M; 1997, Van Hamden, A:1994).

## SISTEMA ESCALONADO DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL: ESCALERA DE OXIGENACIÓN.

Actualmente, la aireación por gravedad se usa con diferentes fines, como el aumento de OD, entre otros, pero hasta la fecha no se ha considerado un sistema de depuración.

En el tratamiento de aguas residuales, el OD es uno de los parámetros más importantes a tener en cuenta ya que la disponibilidad de oxígeno marca el tipo de proceso biológico que tiene lugar. Si se quiere desarrollar un proceso aerobio, garantizar una oxigenación suficiente del agua es imprescindible.

El aumento del OD tiene lugar en dos etapas diferentes: la primera es la del chorro de agua al caer desde el rebosadero hasta la superficie del cuerpo de agua del siguiente escalón y la segunda, la transferencia de oxígeno que hay desde las burbujas del aire que ha sido arrastrado por el chorro hacia el interior del cuerpo de agua a ésta; todos los estudios coinciden en que esta segunda etapa es la más relevante y en varios de ellos se propone que la relación entre la profundidad del cuerpo de agua y la altura del salto sea de 2/3.

Por otro lado, los parámetros que afectan al proceso de oxigenación son: caudal, altura del salto, profundidad del cuerpo de agua, OD inicial, forma del rebosadero, temperatura y composición del agua.



El diseño de la escalera de oxigenación se basa en la combinación de dos fundamentos: el tratamiento bajo piedra y la aireación por gravedad.

El tratamiento bajo piedra está clasificado dentro de las tecnologías no convencionales. El agua circula subsuperficialmente a través de un lecho de piedras, siendo los mecanismos de depuración principales:

- Sedimentación: las partículas no disueltas chocan contra las rocas, perdiendo energía y decantando. Parte de los fangos decantados son digeridos biológicamente, el resto habrá que retirarlos periódicamente.
- Degradación biológica de la materia orgánica: alrededor de las piedras se genera una biopelícula que se alimenta de la materia orgánica disuelta en el agua. Si la biopelícula crece demasiado se desprende de la roca y cae al fondo, siendo en parte digerida.

La aireación por gravedad es un sistema para aumentar el oxígeno disuelto en el agua basado en el aprovechamiento de un desnivel y la consecuente diferencia de energía potencial. El agua circula desde el punto más alto al más bajo en forma de saltos. Al pasar de un escalón al siguiente, el agua arrastra aire de la atmósfera, introduciéndolo en el agua retenida en el cajón inferior en forma de burbujas, de manera que mediante la transferencia de oxígeno desde las mismas hacia el agua se produce el aumento de OD.

Los parámetros que influyen en este proceso son: caudal de entrada, concentración de OD del agua de alimentación, temperatura, altura del salto, calidad del agua, profundidad del agua receptora y forma del rebosadero.

En resumen, se trata de un proceso aerobio de tratamiento de aguas residuales urbanas con una estructura escalonada y un lecho rocoso como soporte de biomasa, que lleva a cabo una aireación por gravedad.

Tiene dos capacidades fundamentales:

- Oxigenar: No es necesario tener en cuenta el TRH porque se produce rápidamente.
- Depurar: Hay que considerar la relación entre el caudal y el volumen total porque los mecanismos físicos y biológicos de depuración son más lentos.

El SETAR es una herramienta versátil y adaptable a diferentes contextos:

- Si hay espacio y pendiente suficiente para proporcionar un TRH adecuado, tratamiento secundario.
- Si el caudal es elevado, elemento para vehicular el agua entre dos equipos ubicados a diferente cota aumentando el OD durante el transporte (conexión entre una fosa anaerobia y un canal de piedras).

El SETAR cuenta con la ventaja de no requerir gasto de energía, pues sólo usa la fuerza de la gravedad para introducir oxígeno en el agua. Además, su construcción relativamente fácil supone un ahorro económico y de mantenimiento, lo que lo convierte en una herramienta muy útil como tratamiento no convencional (Ingeniería del Agua Posible).

## DRENES DE PIEDRAS DE AIREACIÓN FORZADA

Este sistema de tratamiento secundario se ha definido como un reactor *EAT&RUN*, donde se combinan los procesos de sedimentación y digestión anaerobia en la base, correspondientes a la zona EAT, con el transporte y la mejora de calidad del agua por procesos preferentemente aerobios superficiales en la zona RUN.

La diagonal de piedras dispuesta en el CAS real desdobra su comportamiento en dos zonas diferenciadas:

- Zona *EAT*, sedimentación más digestión anaerobia en la base, que se ha denominado Digestor Anaerobio Equivalente, DAE.
- Zona *RUN*, transporte hidráulico más mejora aeróbica de calidad de aguas y gases que se ha nombrado como Tubería Aireada Equivalente, TAE.

La separación de “sólidos” que se procesan en el digestor anaerobio equivalente (DAE) y de “líquidos” que se transportan aireados en el TAE, mejora la circulación de las aguas residuales en el dren y asegura tiempos de retención hidráulicos muy superiores para sólidos que para líquidos que, al estar aireados, no han presentado problemas de atascos ni de olores.

En el DPAF la circulación del agua se debe producir de la manera más uniforme posible en toda la longitud del lecho, durante un tiempo adecuado y con un tiempo de recorrido de cada una de las partículas similar.

Debido a su montaje en serie, cada tramo recibe agua de mejor calidad que el anterior aportando por tanto al sistema una mayor capacidad de transporte, que posibilita la incorporación de nuevos usuarios. Así mismo, atendiendo a sus características constructivas, relleno de piedras con una especial disposición en diagonal a lo largo de su longitud, cada tramo ha sido dividido a su vez en tres secciones diferenciadas por el lecho que contienen.

Las investigaciones llevadas a cabo para realizar la tesis de Laura Pozo (2010), ya citada anteriormente, y posteriores experimentos, permitieron calcular la tubería aireada equivalente del sistema (TAE), determinando el espacio ocupado por la cámara de aire en el interior del dren.

Desde el punto de vista físico, se distinguen en su interior tres zonas, que se relacionan con los dos reactores descritos:

- Zona correspondiente al lecho de fangos acumulados en el fondo del dren, que se estudia como digestor anaerobio equivalente (DAE) en el interior del tubo y ocasiona una modificación en su capacidad de transporte. Esta zona permite la mejora de la calidad del agua, la mineralización de los contaminantes que de ella se desprenden y favorece la eliminación de patógenos. Teniendo en cuenta su obligada aparición con el paso del tiempo y el volumen que ha ocupado en un año, es posible diseñar el dren con esta consideración y establecer una previsión de mantenimiento del mismo, al igual que ocurre con las conducciones convencionales.

- Zona de transporte del agua, cuya capacidad aumenta considerablemente en la zona *RUN*. En los puntos del TAE correspondientes a la zona *RUN* se han registrado mayores velocidades del agua debidas a la disminución de la sección de paso a través del lecho de piedras que se va originando de acuerdo a la diagonal establecida.
- Cámara de aire y gases resultantes de los procesos aerobios y anaerobios que se dan en el interior del DPAF, constante en cuanto a volumen a lo largo de todo el dren, en contacto directo con los aireadores y los respiradores. Esta zona está presente en el reactor completo *EAT&RUN* siendo significativamente mayor en el reactor *RUN*.

Desde el punto de vista de los procesos que se dan en el interior del DPAF, los procesos de sedimentación y digestión anaerobia son los predominantes en la zona *EAT* donde el transporte de agua es más lento. La cuantía de estos procesos va disminuyendo conforme nos acercamos a la diagonal de piedras por lo que en la zona *RUN* se registra principalmente transporte de agua aireada, son menores los fenómenos de sedimentación, también es menor el volumen del DAE y aumentan las velocidades y el OD en el transporte del agua.