



Fecha de presentación: marzo, 2020 Fecha de aceptación: mayo, 2020 Fecha de publicación: julio, 2020

4

Sistema para el tratamiento de residuales líquidos en la Planta "PAGANI PET" de la Empresa de Recuperación de Materias Primas Cienfuegos.

System for the treatment of liquid waste in the "Pagani Pet" Plan of Cienfuegos
Raw Materials Recovery Company

Ing: Yoan Capote Trujillo¹

ytrujillo@ucf.edu.cu

ORCID: <https://ORCID.org/0000-0002-0902-7934>

MSc. Ania Odalis Hernández Aguila²

oaguila@ucf.edu.cu

ORCID: <https://ORCID.org/0000-0002-6594-0023>

Cita sugerida (APA, sexta edición)

Capote Trujillo, Y. & Hernández Aguila, A. O. (2020). Sistema para el tratamiento de residuales líquidos en la Planta "PAGANI PET" de la Empresa de Recuperación de Materias Primas Cienfuegos. Revista Mapa, 4(20), 64- 76. Recuperado de <http://revistamapa.org/index.php/es>

¹ Profesor investigador. Departamento de Química. Universidad de Cienfuegos "Carlos Rafael Rodríguez". Cuba.

² Profesora auxiliar. Departamento de Química. Universidad de Cienfuegos "Carlos Rafael Rodríguez". Cuba.



RESUMEN

La investigación se desarrolló en la Empresa Provincial de Materias Primas de Cienfuegos, con el objetivo de "diseñar un sistema de tratamiento de residuales líquidos para la Planta PAGANI PET, que permita lograr niveles de vertimiento según parámetros norma", motivada por la situación de contaminación ambiental que presenta dicha entidad. Para dar respuesta a este objetivo se emplearon métodos del orden teórico y del orden empírico; en particular de estos últimos, la entrevista a directivos, métodos de análisis químicos, método de tanteo y error, métodos estadísticos, diseño de experimento y metodologías establecidas para el diseño de los equipos. Como principal resultado de la investigación se logró el diseño de un sistema para el tratamiento de aguas residuales basado en los efectos de la floculación-coagulación, que permite tanto el ahorro del agua como un beneficio económico por concepto de la reducción de la contaminación ambiental. Como principal conclusión se señala que las aguas residuales de la ERMP de Cienfuegos tienen una composición muy heterogénea, lo que hace difícil un diseño de máxima eficiencia y eficacia para todos los procesos de lavado que durante los días de producción se acometen, estando el más apropiado de modo general, en el empleo de 0,5 ml de la solución de alúmina de una concentración de 1,4 mol/L, por cada litro de agua residual a tratar.

Palabras claves: aguas residuales; beneficio económico, coagulación-floculación, contaminación ambiental; sistema de tratamiento de residuales.

ABSTRACT

This work was developed in the Provincial Commodities Company of Cienfuegos, with the objective of "designing a liquid waste treatment system for the PAGANI PET Plant in the Raw Material Recovery Company in Cienfuegos, which allows achieving levels of shedding according to norms ", motivated by the situation of environmental contamination that this entity has. To respond to this objective, it was used methods of theoretical order and empirical order; in particular interviewing managers, chemical analysis methods, trial and error method, statistical methods, experiment design, methodologies established for the design of the equipment. The main result of the research is the design of a wastewater treatment system based on the effects of flocculation-coagulation, which allows the saving of water and an economic benefit, and by this concept, the reduction of environmental pollution. The main conclusion was that the wastewater from the ERMP of Cienfuegos has a very heterogeneous composition, which makes it difficult to design a maximum efficiency and efficacy for all washing processes during the days of production, being the most appropriate Generally, in the use of 0.5 ml of the alumina solution of a concentration of 1.4 mol / L, for each liter of residual water to be treated.

Keywords: wastewaters, economic benefit, coagulation-flocculation, environmental pollution, waste treatment system.



INTRODUCCIÓN

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) el agua contaminada y el saneamiento deficiente de residuales de las industrias, la agricultura, así como de residuales urbanos están relacionados con la transmisión de un gran número de enfermedades, pero también estos tienen un impacto negativo en la economía y el medio ambiente pues contribuyen al aumento de la carga financiera sobre la asistencia sanitaria, reducción de la productividad industrial y agrícola, disminución de la biodiversidad y degradación de los ecosistemas acuáticos entre otros.

Por lo que se coincide en pensar que “en un mundo donde la demanda de agua aumenta de forma permanente y los escasos recursos hídricos se ven cada vez más exigidos por los consumos excesivos, la contaminación y el cambio climático, sería sencillamente impensable no aprovechar las oportunidades derivadas de una mejor gestión de las aguas residuales.”(UNESCO, 2017)

Al realizar un análisis de la planta "PAGANI PET" en la Empresa de Recuperación de Materias Primas ubicada en la provincia de Cienfuegos se pudo constatar que el plástico que allí se recibe para su reciclaje, proviene de depósitos vacíos de diferentes productos, o restos provenientes de diferentes estructuras que casi siempre fueron usadas con función contenedor y en muchas ocasiones vienen acompañadas por restos de productos químicos, tierra, etc por lo que se requiere de grandes volúmenes de agua, para el proceso de limpieza y una vez concluido este, el agua residual es vertida al medio la cual presenta no solo sustancias químicas, sino también, micropartículas de plástico y otros contaminantes.

A partir de esta situación se inicia una investigación por los profesores del departamento de Química en la Universidad de Cienfuegos, con el propósito de diseñar un sistema de tratamiento de residuales líquidos para dicha planta que permitiera lograr niveles de vertimiento según los parámetros en norma. En el presente trabajo aparece el procedimiento seguido por los autores durante el proceso investigativo, así como los principales resultados alcanzados.



DESARROLLO.

El agua está en el epicentro del desarrollo sostenible y es fundamental para el desarrollo socioeconómico, la energía y la producción de alimentos, los ecosistemas saludables y para la supervivencia misma de los seres humanos por lo que en la actualidad a los recursos hídricos se les confiere especial interés. Sin embargo, según reportes de la UNESCO (2017) se estima que, en el mundo, más del 80 % de las aguas residuales, sobre todo en países desarrollados, se vierten al medio ambiente sin tratamiento alguno, trayendo consigo la contaminación de ríos, mares y océanos y con ello afectando a los ecosistemas marinos con repercusiones en la industria pesquera, medios de subsistencia y cadenas alimenticias.

Las aguas residuales se consideran como una combinación de uno o más de los efluentes domésticos que consisten en aguas negras (excremento, orina y lodos fecales) y aguas grises (aguas servidas de lavado y baño); agua de establecimientos comerciales e instituciones, incluidos hospitales; efluentes industriales, aguas pluviales y otras escorrentías urbanas; y escorrentías agrícolas, hortícola y acuícola. En Cuba, el tratamiento y recuperación de aguas residuales se hace más necesario si se tiene en cuenta que el país carece de abundantes recursos hídricos y su única fuente de formación lo constituyen las precipitaciones

Por tales razones actualmente son líneas de acción concurrentes el reciclado del agua en la industria, regular los altos consumidores, promover el reúso, introducir técnicas eficientes en el riego agrícola; rescatar las técnicas tradicionales como fuentes alternativas de agua; así como, establecer la medición de los consumos y el uso de equipos, accesorios y muebles hidro sanitarios eficientes, como norma. (INRH, 2012).

Cuando se realiza un análisis de los recursos hídricos potenciales en la provincia de Cienfuegos son de $1889 \times 10^6 \text{ m}^3$, de ellos son aprovechables unos $1105 \times 10^6 \text{ m}^3$ anuales, correspondiendo el 72 % a las aguas superficiales y el restante 28 % a las aguas subterráneas. De acuerdo con reportes del CITMA (2015) aún no se actualizan y utilizan adecuadamente los índices de consumo por unidad de producto o servicio y persiste una baja cultura con respecto al uso racional del recurso a nivel de la población y los sectores de la producción y los servicios y persisten bajos niveles de aprovechamiento económico de residuales en la mayoría de las empresas.



Entre los principales contaminantes del agua se encuentran los plásticos, pues genera un número considerable de desechos post consumo, los cuales, por su probada resistencia a los agentes biológicos y atmosféricos, son productos nocivos al medio y por otra parte la capacidad de algunas sustancias tóxicas de desprenderse desde los plásticos y los factores que favorecen esa liberación de las mismas, es otro de los aspectos más preocupantes que se analizan actualmente.

Investigadores del Instituto de Ecología de Agua Dulce y Pesca Interior de Leibniz y de la Universidad Libre de Berlín (Alemania) advierten de que el impacto de los microplásticos en suelos, sedimentos y aguas superficiales podría tener un efecto negativo a largo plazo en los ecosistemas terrestres de todo el mundo. En realidad, la contaminación terrestre por partículas de plástico es mucho mayor que la de los mares, entre 4 y 23 veces más, dependiendo del lugar y el entorno. (Residuos Profesional, 2018) De acuerdo con la fuente antes citada las aguas residuales son un importante factor en la distribución de microplásticos, debido a que entre el 80 y el 90% de las partículas contenidas en estas aguas, persisten en los lodos que posteriormente, en muchos casos, se usan como fertilizantes agrícolas, lo que supone que miles de toneladas de microplásticos pueden acabar en los suelos cada año. Algunos microplásticos tienen propiedades con potenciales efectos dañinos sobre los ecosistemas.

De acuerdo con Barcia (2018), en Cienfuegos se constató la presencia de microplásticos en los sedimentos, el agua y organismos marinos en la bahía, éstas micropartículas de plástico suspendidas en la columna de agua pueden absorber contaminantes orgánicos y quedar disponibles para organismos filtradores, de esta forma se acumulan en toda la cadena trófica hasta llegar al hombre.

Entre las principales fuentes de contaminación se encuentra la Empresa de Recuperación de Materas Primas que la cual cuenta con la Planta de Plástico que recupera, procesa y vende los residuos generados por la población, la industria y demás organizaciones.

El proceso productivo cuenta con dos unidades procesadoras (PAGANI y PAGANI PET), las cuales utilizan grandes volúmenes de agua siendo el molino y la lavadora de fricción, los equipos que mayor cantidad utilizan, sin embargo, pudo comprobarse que el agua aquí utilizada es vertida al medio y que en su composición contiene sólidos y partículas en suspensión que son perjudiciales a este.

Por otra parte, se conoció que estudios anteriores realizados por el Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos (CEAC) pudo comprobarse que el valor de plomo en la muestra de la entrada a la trampa



de residual, supera el valor que está normado, pero en la salida está por debajo de este valor por lo que el sistema de tratamiento de residual existente en la empresa no logra eliminar todo el material flotante por lo que no cumple con su función.

Después tener en cuenta estos resultados y realizar diferentes visitas a la Planta "PAGANI PET" con el propósito de familiarizarnos con el proceso se inicia la investigación.

Se comprobó que el agua de entrada llega desde un tanque en alto a través de tuberías de acero galvanizado de diámetro igual a 60mm. Se realiza una medición del flujo de agua mediante el Caudalímetro SITRANS FUP1010 y los datos obtenidos demostraron que el flujo total es de 3,50 m³/h, por lo que en una jornada de 8 horas el consumo del líquido será de 28 m³ y para una jornada de 16 horas será de 56 m³, como valores máximos para cada turno de trabajo. Debido a que durante el proceso de reciclaje de plástico no se producen pérdidas apreciables de agua, además de que no hay equipos donde se alcancen temperaturas mayores e iguales a 100 °C, entonces se puede asumir que el flujo de agua que entra al proceso es aproximadamente igual al flujo de agua residual que sale del proceso para el balance de materiales a realizar: $F_{\text{agua entrada}} = F_{\text{agua salida}} = 3,50 \text{ m}^3/\text{h}$.

Como segundo paso se tomaron muestras de agua de entrada al proceso y se realizaron mediciones de diferentes parámetros como fueron dureza, conductividad, sólidos totales disueltos, turbiedad y sólidos totales suspendidos.

Se comprobó también que el filtro instalado lleva averiado cerca de 6 meses, pero que además su capacidad de filtrado no es suficiente para satisfacer las demandas del proceso ya que no puede procesar todo el volumen de residuales producidos en días donde la materia prima está muy sucia.

A partir del conocimiento de estos elementos se procedió a realizar otros análisis al agua residual, tomándose las muestras en distintos días, tanto cuando la materia prima que entraba a la planta estaba muy sucia como cuando estaba bastante limpia, debido a su procedencia. Estas muestras se extrajeron de la zanja donde se unen los flujos de agua procedente de los distintos equipos del proceso. Se tamizaron las muestras y se determinó el por ciento de sólidos suspendidos de gran tamaño que pueden ser retirados de las aguas y que en su mayoría son macropartículas de plástico. La muestra fue de

500ml y el tamiz de malla 20 cuyo diámetro de orificio es de 0,833 mm. Y se demostró que, el peso de sólidos en base húmeda retenidos en Malla como promedio será aproximadamente:

Tabla 1. Peso de sólidos promedio en base húmeda retenidos en Malla

Para 1 litro	Para 1 m ³	Para 1 hora	Para 8 horas	Para 16 horas
0,07596 Kg	75,960 Kg	265,860 kg	2126,88 kg	4253,76 kg

Fuente: datos de la investigación

Elaborado por: autoría propia

Se evidencia la presencia de grandes cantidades de sólidos en suspensión, en su mayoría de macropartículas de plástico, que pudiera estar originado por el hecho de que el canasto de la centrífuga instalada posee un diámetro de orificio de 2 mm por lo que una gran cantidad de partículas con diámetro menor de igual a 2 mm escapan a través de los orificios de dicho canasto y terminan en los residuales de la planta. También contribuye a ello que las tuberías de otros equipos del proceso no están en el mejor estado.

Se comprobó que el agua posee en determinados casos altos valores de dureza, llegando a alcanzar valores de 300 mg/L, sin embargo, no existe grandes diferencias entre el promedio de estos datos y la dureza del agua de entrada al proceso.

De manera general el agua residual tiene un pH prácticamente neutro en su mayoría, muy poco por debajo del pH registrado para el agua de entrada, lo cual es de vital importancia para los ensayos de coagulación-floculación. Aunque en el caso de algunas muestras que tienen un pH bajo con respecto a las demás, puede ser motivo de que el agua estuvo más de un día almacenada antes de que se le midiera el pH, por lo que la materia orgánica presente pudo haberse descompuesto dando lugar a la formación de CO₂, sustancia responsable de la disminución del pH del agua.

Los datos de conductividad y sólidos totales disueltos, obtenidos en el laboratorio, indican que no hay diferencias significativas entre el agua de entrada y de salida respecto a estos parámetros, lo que



podiera ser producto a que tanto las partículas de plástico como muchas de las materias que los acompañan presentes en los residuales no se disuelven en agua, se mantienen en suspensión.

Los análisis de turbiedad realizados en el laboratorio evidenciaron que hay grandes diferencias entre la turbiedad y los sólidos totales suspendidos del agua residual y del agua de entrada al proceso como era de esperarse, producto a que la mayor cantidad de sustancias presentes (micropartículas de plástico) no se disuelven, sino que se mantienen en suspensión.

Para analizar el comportamiento de la Turbiedad y por ende de los Sólidos Totales Suspendidos con el paso del tiempo, se realizaron dos pruebas, y el resultado fue idéntico. En ambos casos se apreció con claridad que a medida que pasa el tiempo la Turbiedad y por ende los Sólidos Totales Suspendidos comienzan a disminuir exponencialmente, pero después de los 30 minutos y hasta el cabo de una hora esta disminución permanece prácticamente constante, llegando a ser inapreciable su disminución en el tiempo, incluso hasta para un tiempo de 24 horas de reposo, apreciándose a simple vista que aún mantenían la misma turbiedad.

Es evidente entonces que no es viable tratar estas aguas residuales por sedimentación natural por los altos tiempos de retención que presenta, por lo que se decide realizarle tratamientos químicos que disminuyan la estabilidad de los coloides y formen flóculos de un tamaño adecuado que les permita sedimentar con facilidad sin afectar la continuidad del proceso productivo.

No se encontraron referentes acerca de dosis recomendadas de coagulantes, para este tipo de agua residual procedente de proceso de reciclaje de PET, por lo que se partió de un tanteo error para encontrar las dosis de tres tratamientos (alúmina, cal-soda y cal-soda-alúmina) que mejores resultados ofrezcan, y posteriormente replicarlos.

De acuerdo con el diseño de experimento proyectado se pudo constatar que existen varias similitudes en el comportamiento de la turbiedad con el transcurso del tiempo para las tres réplicas con cada dosificación de cal-soda, alúmina y cal-soda-alúmina respectivamente. Quedando demostrado que la dosificación que mejores resultados arrojó fue la de 0,1 ml de alúmina por cada 200ml de agua residual, lo que representa 0,5 ml de la solución de alúmina de concentración 1,4 mol/L por cada litro de agua residual que se produce; ya que se obtuvieron casi los mismos valores de turbiedad al cabo de tres horas para la muestra 2 y para la muestra1 con esta dosis, aun cuando la turbiedad de la muestra 2



tenía una turbiedad mucho mayor con respecto a la 1, no comportándose así para el caso de los dos restantes tratamientos.

De acuerdo con los análisis estadísticos realizados (análisis exploratorios de los datos, análisis del efecto de los tratamientos y análisis de la variabilidad del proceso), el Sesgo y la curtosis estandarizada, se encuentran dentro del intervalo (-2 a +2); los factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre las variables de respuesta (95% de confianza) y existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias de las 3 variables (95,0 % de confianza), respectivamente; por lo que los resultados obtenidos y las conclusiones arribadas son estadísticamente confiables.

Diseño del sistema de sedimentación

Teniendo en cuenta que el máximo flujo de agua a tratar es de 28 m³ para 8 horas, se propuso un sistema de tratamiento donde los sedimentadores sean del tipo cilindro-cónicos normales y trabajarán a *Batch*, sin rascadores de fondo; se procederá a llenarlos a razón del mismo caudal del agua que sale del proceso, para que el tiempo de residencia del agua residual en la cisterna sea el mínimo posible. El agua del primer sedimentador se podrá recircular al proceso, y el agua del segundo sedimentador quedará lista para el día siguiente, el tercer sedimentador se prevé para cuando la planta trabaje 16 horas.

Se estableció que la bomba necesaria para este sistema de bombeo fuera como sigue:

Tabla 2. Características de la bomba necesaria para este sistema de bombeo

Modelo	RNI 32-16
Frecuencia	60 Hz
rpm	1450 rpm
Diámetro de aspiración	50 mm
Diámetro de impulsión	32 mm
Flujo	3,5 m ³ /h
Carga del sistema	10 m
Punto específico	1
Potencia	0,3 kW
Potencia máxima	0.73CV (0.54Kw)
Eficiencia	31,75 %
NPSHr	0,48 m

Fuente: datos de la investigación

Elaborado por: autoría propia

Y para diseñar este sistema de dosificación se tuvo en cuenta el principio de la cubeta invertida, que el flujo de solución de alúmina a dosificar es de $4,86 \cdot 10^{-7}$ m³/s y que la altura con la que se trabajará en este caso es aquella entre el nivel del líquido y el centro de la tubería de descarga (2,5 m) para asegurar que la dosis específica de la solución de alúmina, sea succionada dentro de la tubería y se mezcle con el agua, aprovechando el régimen de flujo turbulento en la tubería. Para la determinación del diámetro de la tubería de dosificación se partió de aplicar la ecuación de Bernoulli entre las secciones del nivel de líquido para la cubeta invertida y la entrada de la tubería de descarga del sistema obteniéndose que el diámetro de la tubería que succionará la solución de alúmina es de 0,003 m.

Por último, se tuvo en cuenta que, de acuerdo con un informe de la ERMP, el agua se paga a un precio de 1.55 cuc/m³ y la planta consume de 480-560 m³ por meses como promedio. Estimando que como promedio se recupere el 85% del agua residual, se pueden ahorrar entre 408-476 m³ por mes (entre 4896 y 5712 m³ anualmente), con un efecto económico entre 632,4 y 737,8 cuc por mes.

Dentro de los distintos gastos a incurrir se encuentran:



Costos de inversión = 2651,87 cuc y Gastos fijos = 339,46 cuc/año

Analizando que se ingresen como mínimo 7588,8 cuc anualmente por ahorro de agua, el Costo Total de inversión representa un 34,94% de los ingresos y los Gastos Fijos representan un 4,5% de los ingresos, por lo que en un año quedará un superávit de aproximadamente 4597,47 cuc.

CONCLUSIONES

Por ser la ERMP una empresa de pequeños ingresos y además no disponer de áreas para suficientes cambios tecnológicos, el sistema propuesto para el tratamiento de sus aguas residuales no debe ser complejo.

Las aguas residuales de la ERMP de Cienfuegos tienen una composición muy heterogénea, lo que hace difícil un diseño de máxima eficiencia y eficacia, estando el más apropiado, en el empleo de 0,5 ml de la solución de alúmina de concentración 1,4 mol/L, por cada litro de agua residual a tratar.

La recirculación de las aguas residuales una vez tratadas, permiten un ahorro de agua entre 4896 y 5712 m³ anualmente, con un efecto económico entre 7588,8 y 8853,6 cuc en este periodo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ariza-Alarcón, B. Z. (2017). *Propuesta de un sistema para el tratamiento de agua residual industrial en la fábrica R.F.G. Bonny LTDA* (Proyecto integral de grado para optar al título de INGENIERO QUÍMICO). Fundación Universidad de América Facultad de Ingenierías Programa de Ingeniería Química, Bogotá D.C. Recuperado a partir de <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/6258/1/6091173-2017-1-IQ.pdf>

Barcia Leyva, I. (2018, mayo). Estudian presencia de microplásticos en la bahía de Cienfuegos. 5 de Septiembre, p. 4.



Blair, R. M. (2017). Micro-and Nanoplastic pollution of Freshwater and Wastewater Treatment Systems. *Springer Science Reviews*, (5), pp.19-30.

Cabrera Mantilla, C. (2017, abril 16). En el 2050 habrá más plástico que peces en el mar. *El Tiempo*. Recuperado a partir de <http://www.eltiempo.com/vida/medio-ambiente/informe-de-la-onu-sobre-contaminacion-del-mar-por-plastico-78184>

Cárdenas, I. Y. A. (2000). *Tratamiento de agua: Coagulación y Floculación* (Evaluación de Plantas y Desarrollo Tecnológico.). Lima, Perú: SEDAPAL. Recuperado a partir de <http://web.frm.utn.edu.ar/webutn/archivos/civil/Sanitaria/Coagulaci%C3%B3n%20y%20Floculaci%C3%B3n%20del%20Agua%20Potable.pdf>

Castellanos, F. L. (2017). *Revisión del uso de coagulantes naturales en el proceso de coagulación del agua en Colombia* (Especialización de Planeación ambiental y manejo integral de los recursos naturales). Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia. Recuperado a partir de <http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/17102/1/CastellanosPinzonFredyLeonardo2017.pdf>

CEAC. (2017). *Caracterización y evaluación de residuales líquidos de la ERMP en Cienfuegos* (Reporte Final No. 57). Cienfuegos, Cuba: Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos, Departamento de Estudios de la Contaminación.

CITMA. (2015a). *Estrategia Ambiental Cienfuegos 2016-2020* (Proyecto). Provincia Cienfuegos: Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente.

De La Cruz Jara, O., & Moya Chauca, G. D. (2018). *Determinación de la Dosificación Óptima de Agentes Coagulantes y Floculantes en Relación con Parámetros Físico-Químicos en el Tratamiento del Agua de SAanguaza de una Empresa Pesquera en Chimbote* (Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial). Universidad Nacional del Santa, Chimbote, Perú. Recuperado a partir de <http://repositorio.uns.edu.pe/bitstream/handle/UNS/3050/47035.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Fleites Ramírez, M. (2007). *Estudio del proceso de tratamientos químico-físico de coagulación-floculación* (Trabajo de Diploma). Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas, Facultad de Química-Farmacología, floculaciónilla Clara, Cuba.

INRH. (2012). *Política Nacional del agua* (Propuesta).



Llopis, J. V. (2014). *Depuración de las aguas residuales en plantas de reciclados de residuos plásticos mediante la tecnología MBR*. (Industria de Reciclaje de Plástico). Parque Tecnológico. C/ Leonardo Da Vinci, 10 -1. 46980 Paterna (Valencia): Europe Membrane, S.L. Recuperado a partir de http://www.europembr.com/document/depuradora_aguas_residuales_reciclado_residuos_plasticos_ultrafiltracion_mbr_biorreactor_membranas.pdf

Ortega Díaz, M. (2016). *Estudio hidrodinámico de los parámetros de diseño en sedimentadores de flujo horizontal empleados en pequeñas plantas de tratamiento de residuales*. (Trabajo de Diploma). Universiada Central "Marta Abreu de Las Villas", Facultad de Ingeniería Hidráulica, Santa Clara.