

Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

Proceso de Mejora de la Depuración de Aguas de la Piscina de la E.N.M

Grado en Ingeniería Mecánica

ALUMNO: Fernando Méndez San Martín

DIRECTORES: Rosa Devesa Rey

Santiago Urréjola Madriñán

CURSO ACADÉMICO: 2014-2015

Universidade Vigo



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

Proceso de Mejora de la Depuración de Aguas de la Piscina de la E.N.M

Grado en Ingeniería Mecánica

Intensificación en Tecnología Naval

Cuerpo General

Universidade Vigo

RESUMEN

La piscina de la Escuela Naval Militar actualmente lleva instalados filtros de tierra de diatomeas con una capacidad de retención de hasta 5 micras, una vez el agua es filtrada es devuelta al vaso. La calidad del agua que es devuelta debe de ser lo suficientemente saludable para los usuarios, es por ello por lo que el Real Decreto 742/2013 exige diversos indicadores y criterios que deben cumplir las diferentes piscinas en territorio nacional. En este trabajo el parámetro utilizado es la turbidez del agua como indicador principal de la calidad del agua.

El principal objetivo de las diferentes pruebas realizadas es lograr una disminución de la turbidez así como determinar cuales son los efectos de la salinidad, sedimento y cantidad de adsorbente sobre la turbidez del agua

La turbidez del agua debe ser estudiada teniendo en cuenta un modelo de diferentes variables independientes que determinan cuales son los efectos en la turbidez. Mediante la Metodología de Superficies de Respuesta unido al diseño Box-Behnken se han determinado las condiciones óptimas y la influencia de las variables independientes en la turbidez del agua residual, estableciendo un proceso de optimización que permite alcanzar un modelo de eficacia y eficiencia de los recursos empleados, determinando cual es la cantidad óptima de adsorbente que debemos de aportar para obtener la mínima turbidez y máxima calidad del agua.

Los recursos utilizados para la realización de este trabajo cumplen los derechos de autor, no obstante en aquellos casos en los que es necesario un permiso para la reproducción total o parcial de las imágenes así como contenido, los siguientes autores o instituciones han concedido permiso para la publicación de material sujeto a derechos de autor con las correspondientes referencias a su documento y sin ánimo de lucro:

-University College London: “Microfossil Image Recovery and Circulation for Learning and Education”

-Manual de Mantenimiento Avanzado de Piscinas del autor Eugenio Nieto Vilardell

PALABRAS CLAVE

Coagulación-floculación, Box-Behnken, tierra de diatomeas, carbón activo, depuración

AGRADECIMIENTOS

"*En mar calmado somos todos capitanes*" John Ray

Es realmente en los momentos difíciles cuando uno se da cuenta de las personas que se encuentran a tu lado, con quien puedes contar y quien se convierte en tu verdadero depositario de tu confianza

Quiero agradecer este Trabajo de Fin de Grado a todas aquellas personas que han hecho que haya sido posible, ya sea con su dedicación, trabajo, esfuerzo y apoyo.

En primer lugar a toda mi familia y de manera muy especial a mi madre y hermana, las cuales han sido mi principal apoyo.

A todos mis amigos de Madrid y en concreto al arquitecto Alex Landeta por su especial dedicación y consejos en este trabajo.

Al destino de mantenimiento de la Escuela Naval Militar, Capitán de Corbeta D. Luis Felipe Carrascosa, al Sargento D. David Rico y a la Cabo Lorena Iglesias, por haberme enseñado el funcionamiento e instalaciones de la piscina.

A los Alféreces Javier Marín y Javier Dolz, y al Alférez de Navío Javier Antoranz por sus consejos en asuntos militares y profesionales y por todo su apoyo incondicional.

A toda mi promoción 415-145 por todo lo que he aprendido de ellos en estos años. También quiero agradecer al inicial Grupo 4 por las risas, buenos momentos y amistades que hemos desarrollado juntos. Finalmente quiero dedicarles un especial agradecimiento a mis compañeros y amigos de camareta T-4, a Santiago y Pedro, por toda su paciencia y colaboración a lo largo de este año.

Para terminar, quiero agradecerles este trabajo a las dos personas que han sido pilar básico y permanente en este trabajo, mis dos tutores Rosa Devesa y Santiago Urréjola.

CONTENIDO

Contenido 1
Índice de Figuras 3
Índice de Tablas 5
1 Introducción y objetivos 7
1.1 El uso recreativo del agua en los espacios públicos 7
1.2 Las Fuerzas Armadas con el Medioambiente 8
1.3 Objeto y alcance 9
1.4 Características de la piscina de la Escuela Naval Militar 9
1.4.1 Filtrado con tierra de diatomeas: 10
1.4.2 Eliminación de sólidos en suspensión: 12
1.4.3 Control del pH y Cl: 13
1.4.4 Dosificación del Cloro y regulación del pH: 14
1.5 Los principales problemas detectados en la piscina de la Escuela Naval: 15
1.5.1 Mala configuración y diseño de la instalación: 15
1.5.2 Filtros deteriorados: 17
1.5.3 Avería en las instalaciones: 18
1.5.4 Necesidad de incorporación de nuevas tecnologías: 18
2 Estado del arte 20
2.1 Procesos de Depuración en Piscinas 20
2.1.1 Procesos Físicos: La filtración 21
2.1.2 Procesos Químicos: 31
3 Desarrollo del TFG 37
3.1 Experimentación en laboratorio 37
3.1.1 Materiales y métodos: 37

4 Resultados y discusión 50
4.1 Resultados obtenidos: 50
4.1.1 Medición de la turbidez con la incorporación de suelo, diatomea y colorante: 50
4.1.2 Determinación de la dosis de adsorbente para la disminución óptima de la turbidez: 52
4.1.3 Optimización de parámetros: 53
4.1.4 Activación de la diatomea con hidróxido potásico y ácido sulfúrico: 67
5 Conclusiones y líneas futuras 68
5.1 Conclusiones obtenidas en el TFG : 68
5.1.1 Fase previa al laboratorio: 68
5.1.2 En la fase del laboratorio: 69
5.2 Líneas futuras: 70
6 Bibliografía 72
Anexo I: Plano de la Piscina de la E.N.M 75
Anexo II: Valoración presupuestos de diferentes empresas 77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Unidades de filtrado en la piscina de la ENM 10
Figura 2 Interior de la unidad de filtrado de Diatomeas.....11
Figura 3 Introducción de la Tierra de Diatomea 12
Figura 4 Proceso limpieza de filtro 12
Figura 5 Robot automático empleado en la piscina que recoge los sólidos sedimentados diariamente.....13
Figura 6 Determinación del pH y Cl en la piscina de la ENM.....13
Figura 7 Determinación pH y Cl en la piscina de la ENM mediante fotómetro portátil.....14
Figura 8 Piscina de la Escuela Naval Militar 15
Figura 9 Ejemplo de Piscina Desbordante (Suárez Bernal & Blancas Cabello, 2001) 16
Figura 10 Ejemplo de Piscina de Skimmers (Arenas, 2011).....16
Figura 11 Diatomea saliendo a la piscina.....17
Figura 12 Escasa suciedad retenida por los filtros 18
Figura 13 Clasificación de los tipos de sólidos (Sastre, 2005).....21
Figura 14 Ejemplo filtro arena de sílice (Dirección General de Promocion Deportiva de la Comunidad de Madrid, 2008) 23
Figura 15 Comparación diferentes tipos de filtrado (Pentair, 2008).....25
Figura 16 Diatomea en el microscopio (University College London) 25
Figura 17 Pennate Diatomea (University College London).....26
Figura 18 Centric Diatomea (University College London).....26
Figura 19 Lecho formado por la tierra de diatomeas y el filtro (Universidad Autónoma de Baja California Sur).....27
Figura 20 Filtro de diatomeas por dentro (Universidad Autónoma de Baja California Sur). 28
Figura 21 Diatomea utilizada en la ENM.....29
Figura 22 Producto AFM (Dryden Aqua) 31

Figura 23 Comparativa de las diferentes técnicas de filtrado AFM (Insitut de la Filtration et des Techniques Séparatives, 2014) 31
Figura 24 Muestras con el suelo y color añadido 38
Figura 25 Diatomea a incorporar en las muestras 39
Figura 26 Muestras agitándose a 75 rpm....39
Figura 27 Reposo de la diatomea 40
Figura 28 Mezcla del agua con suelo E-10 41
Figura 29 Agitación nuevo suelo con la diatomea 41
Figura 30 Agitado de dos de las quince muestras 43
Figura 31 Proceso de filtrado con filtro 1,2 micras 44
Figura 32 Quince muestras para la medición color 44
Figura 33 Espectrofotómetro empleado 45
Figura 34 Calcinación de la diatomea 48
Figura 35 Agitado diatomea con ácido y base 49
Figura 36 Gráfico de Pareto estandarizado para Turbidez 5 min 58
Figura 37 Gráfico de Pareto estandarizado para Turbidez 15 min 59
Figura 38 Gráfico de Pareto estandarizado para Turbidez 5 min filtrado 59
Figura 39 Gráfico de Pareto estandarizado para Turbidez 15 min filtrado 60
Figura 40 Gráfico de Efectos principales para Turbidez 5 min 61
Figura 41 Gráfico de Efectos principales para Turbidez 15 min 61
Figura 42 Gráfico de Efectos Principales para Turbidez 5 min filtrado 62
Figura 43 Gráfico de Efectos Principales para turbidez 15 min filtrado 62
Figura 44 Turbidez 15 min fijando la salinidad al mínimo y sin filtrado de las muestras 65
Figura 45 Turbidez 15 min fijando la salinidad al mínimo y filtrado de las muestras 66

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Características de la piscina ENM 10
Tabla 2 Guía para regular el pH y Cl 14
Tabla 3 Escala de pH para la cloración de la piscina (Ramsey, 1994).....32
Tabla 4 Diagrama general mantenimiento piscina (Nieto Vilardell, 2014) 33
Tabla 5 Procedimiento empleado para la preparación de 15 muestras 42
Tabla 6 Resultados a los 15 min en reposo 50
Tabla 7 Resultados tras las 24 horas en reposo 51
Tabla 8 Datos relación turbidez en función de la tierra diatomeas 52
Tabla 9 Variación valores medios con respecto a la turbidez a los 15 min 52
Tabla 10 Resultados turbidez antes del filtrado 53
Tabla 11 Resultados turbidez tras filtrado.....54
Tabla 12 Resultados color con espectrofotómetro 55
Tabla 13 Resultados medición muestra agua mas suelo E-10.....55
Tabla 14 Variables independientes y sus rangos de variación 56
Tabla 15 Variables dependientes estudiadas 56
Tabla 16 Resultados del procedimiento Box-Behnken 57
Tabla 17 Resultados del procedimiento Box-Behnken 58
Tabla 18 Resumen de los resultados obtenidos sin filtrar 63
Tabla 19 Resumen de los resultados obtenidos una vez filtrados 64
Tabla 20 Resultados optimización 15 minutos sin filtrar.....66
Tabla 21 Resultados optimización 15 minutos realizado filtrado 66
Tabla 22 Resultados reactivación diatomea tras reposo 15 min 67
Tabla 23 Resultados reactivación diatomea tras 24 horas en reposo 67

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 El uso recreativo del agua en los espacios públicos

La llegada del turismo, el avance de las tecnologías y los largos periodos estivales, han propiciado otros usos del agua: los recreativos. Usos muy diversos entre los que podemos encontrar: la pesca, navegación, parques acuáticos, piscinas, baños, etc. Los datos avalan la importancia del sector turístico en nuestra economía, sector que no solo está abierto al exterior sino también para el disfrute de los Españoles.

La popularidad de las actividades acuáticas ha ido creciendo en los últimos años, y con ella el numero de piscinas en España. Según datos del Salón Internacional de la Piscina en la Ciudad de Barcelona, el número de piscinas unifamiliares ascendía a 1,1 millones y el numero de piscinas de titularidad pública ascendía a 62.000 en el año 2011, convirtiéndose el sector de la piscina como "una de las grandes potencias a nivel mundial". Representa un volumen de mercado de 1190 millones de €, tiene unas 2000 empresas dedicadas a este sector y genera 51240 puestos de trabajos. (Federación de Asociaciones de Fabricantes de Equipos y Constructores de Piscinas, Saunas y Spas, 2011).

Es incuestionable la gran aportación del sector a nuestra economía, a la salud, bienestar, descanso y ocio de los ciudadanos. Si bien las autoridades públicas a través de las diferentes administraciones deben garantizar ciertos requisitos para poder contribuir positivamente al interés general de la sociedad. Es por ello por lo que se deben medir ciertos parámetros higiénico-sanitarios eliminando así contaminantes biológicos y químicos.

El riesgo de contagio en el agua es mucho mayor que en el aire. No adoptar las medidas sanitarias necesarias puede suponer la transmisión de enfermedades, pudiendo causar infecciones gastrointestinales, respiratorias y neurológicas, afectando a la piel, oídos, ojos y heridas (Centers for Disease Control and Prevention, 2013). Claros ejemplos pueden ser los hongos, conjuntivitis, otitis, herpes, etc. Este riesgo se debe reducir y controlar a parámetros perfectamente asumibles por el usuario, garantizando su confort y salud.

La época mas importante del año, en lo relativo a la demanda de agua para consumo poblacional y/o actividades recreativas, es el verano, momento en el cual se incrementa la demanda. Lo que no solo produce un mayor esfuerzo por parte de la Administración Pública para controlar la salubridad e higiene, sino que demanda gran cantidad de recursos hídricos en un momento de escasez de agua en la Península Ibérica.

Tomando como referencia el volumen medio de una piscina de unos 200 metros cúbicos, con el numero de piscinas del año 2008 y con una media del 5% que establecen los reglamentos como porcentaje del agua del vaso que se debe renovar diariamente, sobre la cantidad total de agua.; hace

que sea necesario unos 9 millones de metros cúbicos diarios de agua. Si nos vamos a los 3 meses de verano, donde la demanda alcanza su punto mas alto, hacen que sea necesario unos 660 millones de metros cúbicos (Corral, Vergara, & Alba, 2010) teniendo en cuenta la renovación y el primer llenado del agua.

Estos datos muestran la magnitud del consumo de agua en las piscinas, pero si los comparamos con el consumo doméstico de la Ciudad de Madrid en el año 2012, unos 145,6 millones de metros cúbicos para abastecer 3,2 millones de habitantes (Banco de Datos del Ayuntamiento de Madrid, 2012), nos damos cuenta cómo un excesivo consumo del agua y una mala gestión, supone la perdida de un bien escaso y muy demandado que puede ser esencial para otras personas que no disponen de dichos recursos. De ello se desprende que, con las cantidades de agua de tres meses de las piscinas en España, se podría dar consumo domestico a la Ciudad de Madrid durante 4 años y medio.

La actual sociedad moderna ha de buscar un compromiso entre el consumo de los recursos hídricos, el abastecimiento de la población y su repercusión en el medio ambiente. Por ello se debe controlar el consumo de agua, procurando su reutilización y su reacondicionamiento. Los resultados esperables de estas medidas deben lograr una reducción en el consumo del agua, concienciar a la sociedad de la problemática del agua y mejorar los procesos de reutilización de agua.

La Comunidad Internacional está asumiendo a día de hoy este compromiso, reconociendo el acceso al agua potable como un derecho (United Nations, 2010) y reconociendo que "unas 884 millones de personas carecen de acceso al agua potable, unas 2600 millones de personas no tienen acceso al saneamiento básico, y alarmada por que cada año fallecen aproximadamente unos 15 millones de niños menores de 5 años y se pierden 443 millones de días lectivos a consecuencia de enfermedades relacionadas con el agua y el saneamiento"

Todo ello hace que el mundo civilizado no sólo tome acciones correctivas para mejorar la calidad del agua y su acceso a ella, sino que se implementen medidas tecnológicas y de cooperación entre países, para poder garantizar el acceso a la población mundial buscando así un equilibrio entre cooperación, reutilización y control de recursos disponibles. Teniendo como máxima que la distribución del agua en la tierra no es homogénea territorialmente como estacionalmente.

1.2 Las Fuerzas Armadas con el Medioambiente

Las Fuerzas Armadas no han quedado en un segundo plano. La conciencia medioambiental se haya muy difundida entre sus miembros, en muchos aspectos más que el resto de la población española (CESEDEN, 2007).

> *"El Ministerio de Defensa y las organizaciones militares, como parte importante de la sociedad, colaboran de forma activa aportando su grano de arena en la prevención medioambiental, así como en los estudios y actividades que puedan suponer mejorar las condiciones de salud de las poblaciones. En muchos aspectos, la aportación de la Defensa es muy superior a las de otros departamentos."* (CESEDEN, 2007)

La Escuela Naval Militar es también una muestra de esa conciencia medioambiental de las Fuerzas Armadas cumpliendo los requisitos que exige la normativa ISO 14001 de gestión Medioambiental. Normativa que a día de hoy sigue vigente en la Escuela y por la que se pasan diferentes controles, incluyendo la piscina.

La piscina de la Escuela Naval Militar, no es ajena a dicha normativa, sino que se ve inmersa dentro de ella y su correspondiente evaluación.

Numerosos aspectos influyen en la evaluación satisfactoria para la adquisición y renovación de la ISO 14001. Dentro de los que afectan a la piscina, podemos encontrar:

- El consumo de agua.
- El consumo de gasoil en la caldera con sus correspondientes análisis de emisiones.
- La generación de residuos con bases de cloro (Cl) que requieren de un tratamiento especial en el punto limpio.

No es objeto de este trabajo valorar la correspondiente incidencia de dichos factores sobre la normativa ISO 14001, pero sí se tienen en cuenta a la hora de mejorar el proceso de depuración, ya que esa mejora podría conllevar una reducción sustancial del consumo de agua, lo que supondría una reducción del consumo de cloro y de gasoil, reduciendo a su vez las emisiones.

1.3 Objeto y alcance

Para poder alcanzar objetivos que nos lleven a una mejora real dentro de las instalaciones de la piscina es necesario tener una visión global y general de las piscinas y sus procesos de depuración, esto se consigue teniendo presente los siguientes objetivos y conociendo:

- Las técnicas y procesos de depuración en piscinas comercializados en la actualidad.
- Las principales líneas de avance de la comunidad científica en la tierra de diatomeas, las cuales se exponen en el estado del arte, y en las que se pretende investigar y experimentar para adoptar mejoras dentro de los principales métodos utilizados e innovando en aquellos campos que se vean como potenciables de mejora. Una vez realizada esa innovación o mejora es importante ver la viabilidad dentro de las instalaciones actuales y en el sector de instalaciones acuáticas. En esas líneas de investigación de la tierra de diatomeas, se incluye la mejora de la capacidad de adsorción de la tierra de diatomeas mediante el uso combinado del carbón activo.
- Las características de las instalaciones y los diferentes problemas encontrados en la piscina que motivan la realización de este trabajo.
- El mantenimiento que se realiza por parte del destino.
- La actual legislación vigente a nivel autonómico y estatal.
- Las líneas generales sobre los diferentes tipos de diseño de piscinas en todo aquello que influya en la depuración y mejora de la calidad del agua, sin entrar en el proceso constructivo que formaría parte de un proyecto de construcción.

Los objetivos anteriores se pueden resumir en dos: El primero es la mejora de los procesos de depuración de la piscina de la ENM y el segundo es contribuir a la aportación científica y tecnológica en prevención medioambiental.

1.4 Características de la piscina de la Escuela Naval Militar

La piscina de la Escuela Naval Militar, es del tipo desbordante con canal perimetral, situada en el "Gimnasio Barrutia", construida por la empresa Nacional Bazán en el año 1957 y tiene un volumen de vaso de unos 1600 m^3. Cuenta con un sistema de tratamiento del agua mediante filtro de diatomeas, siendo la capacidad de filtrado actual de unos 120 m^3/h con las 12 bombas en funcionamiento (tabla 1).

Características técnicas	
Largo	33 metros
Ancho	16 metros
Profundidad Min	1,60 metros
Profundidad Max	5,85 metros
Capacidad	1600 m^3
Filtros	6 tipo diatomea
Bombas	12
Caudal Bombas	10 m^3/h

Tabla 1 Características de la piscina ENM

Ante el planteamiento inicial de la mejora de las instalaciones de la piscina y para conseguir una detección real de los errores, se ha procedido a realizar un seguimiento de las instalaciones así como de su mantenimiento y control de parámetros que se realizan a diario. Por ello a continuación se exponen los diferentes modelos, medios e instalaciones que actualmente depuran el agua de la piscina.

1.4.1 Filtrado con tierra de diatomeas:



Figura 1 Unidades de filtrado en la piscina de la ENM

Inicialmente tras ser recogida el agua de la válvula de fondo, pasa por un primer filtro de desbaste, cuya misión es retener las partículas más grandes, que hayan sido vertidas en el fondo de la piscina, ya sea una moneda, un pendiente, un palo de madera, o cualquier otro sólido que pueda poner en riesgo la bomba de aspiración, tras este primer prefiltro se llega a las unidades independientes de filtrado.

Tal y como se observa en la figura 1, el proceso de filtrado esta compuesto de seis unidades de filtrado independientes y todas de tierra de diatomea. En su interior llevan 14 filtros de disco cuya composición es de fibra sintética con una capacidad de retención de hasta 5 micras (figura 2). Sobre estos discos se realiza el vertido de la diatomea de manera manual y en cantidades que se presuponen óptimas (figura 3). El objetivo de la tierra de diatomeas es el de adsorber y filtrar el agua, mejorando con ello su calidad.

Semanalmente se procede a abrir los filtros y someterlos a un lavado de agua a presión (figura 4), consiguiendo con ello la renovación del ciclo de filtrado, que se realiza semanalmente a través del destino de Mantenimiento de la Escuela Naval, el cual tiene personal designado para esta tarea, a la cual posteriormente se le sumarán otras.

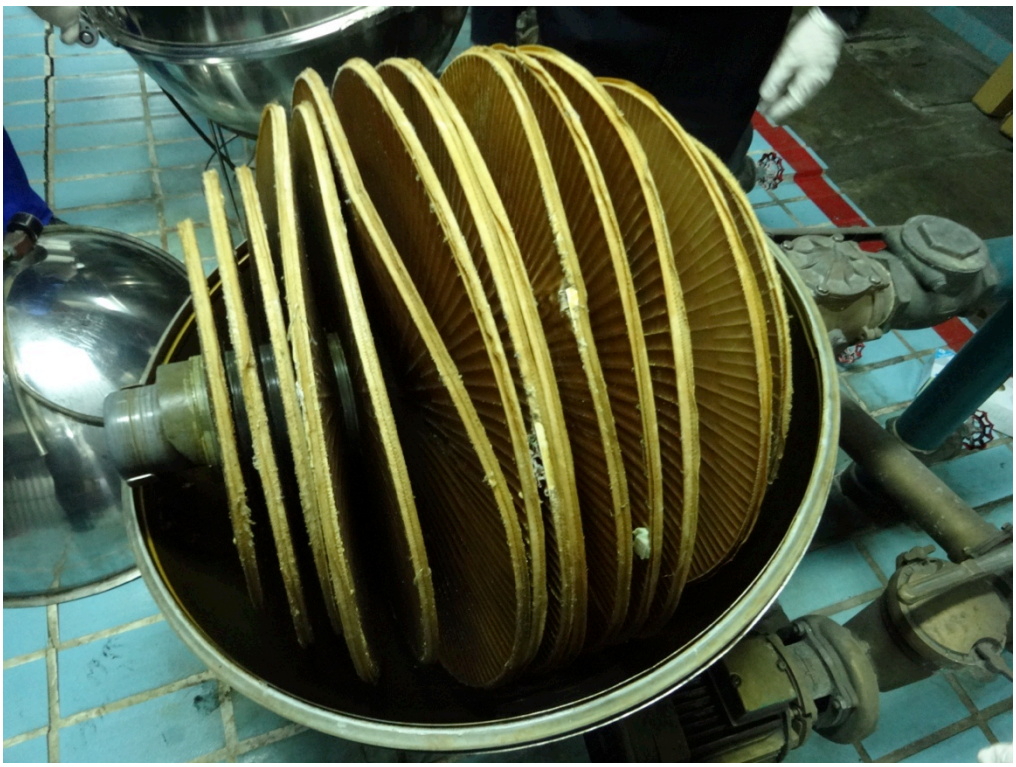


Figura 2 Interior de la unidad de filtrado de Diatomeas



Figura 3 Introducción de la Tierra de Diatomea



Figura 4 Proceso limpieza de filtro

1.4.2 Eliminación de sólidos en suspensión:

En el caso de la piscina la eliminación de sólidos en suspensión se realiza a través de un robot automático (figura 5) el cual lleva un sistema de guiado por el fondo de la piscina y recoge todo los sólidos ya sedimentados y los almacena en una malla de color blanco, eliminándolos de manera

permanente del fondo. Posteriormente en el apartado Procesos de Depuración en Piscinas, se explica la necesidad de la eliminación de solidos en suspensión y su clasificación.



Figura 5 Robot automático empleado en la piscina que recoge los sólidos sedimentados diariamente

1.4.3 Control del pH y Cl:

Para el correcto funcionamiento del Cl como agente desinfectante es necesario tener un pH determinado, tal y como se detalla en el apartado: Procesos Químicos:.

En la piscina de la Escuela Naval hay dos medios para determinar el Cl y pH:

- Determinación del pH y Cl a través del color: este procedimiento se realiza a través de una muestra de agua, a la cual se le introduce una pastilla de DPD (N.N. Dietil -p-fenilendiamina), se agita y se compara el color obtenido con el que mas se parece a los mostrados en la tabla colorimétrica (figura 6).

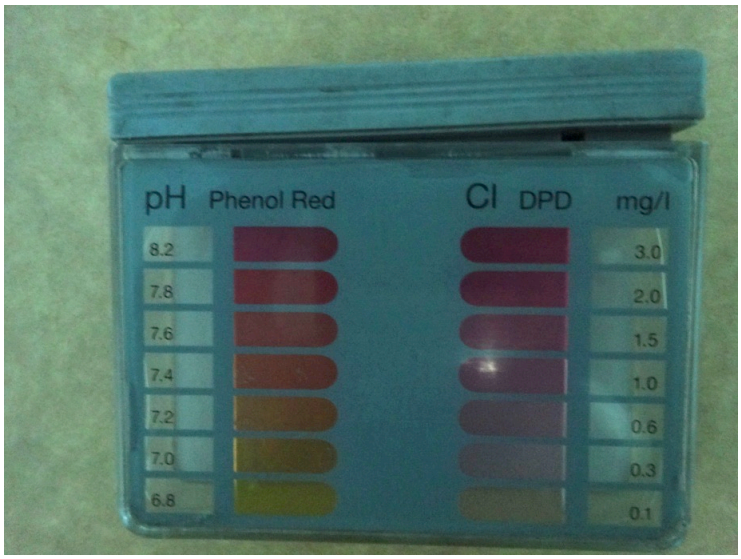


Figura 6 Determinación del pH y Cl en la piscina de la ENM

- Medidor de pH y Cl: En este caso se introduce una tira de papel en el agua y a continuación se lleva a un fotómetro portátil (figura 7) y nos da de manera exacta el valor actual de Cl y pH del agua.
  En la piscina de la ENM estos valores se comprueban a diario en función del resultado se establece si hay que añadir un elevador de pH o reductor de pH.



Figura 7 Determinación pH y Cl en la piscina de la ENM mediante fotómetro portátil

1.4.4 Dosificación del Cloro y regulación del pH:

La instalación no dispone de dosificadores electrónicos y automáticos de medición de Cloro y pH, por lo que el proceso se realiza diariamente de manera manual (Figuras 6 y 7). Todas las mañana se toman muestras de agua y se realizan los análisis descritos en el apartado anterior y, en función de los resultados, se determina la posibilidad de añadir cloro.

La siguiente guía sirve de orientación al destino para corregir los parámetros que a continuación se detallan (tabla 2):

Nivel de concentración de productos químicos	Acción necesaria para corregir la situación del agua	
	Para subir	Para Bajar
pH debe estar 7,2-7,6	Añadir elevador de pH	Añadir reductor de pH
Cloro entre 1-1,5ppm	Añadir cloro	No añadir cloro

Tabla 2 Guía para regular el pH y Cl

En caso de tener que añadir Cloro, se dispone de hipoclorito sódico y se añade hasta llegar a los valores determinados mientras que el pH se regula con el producto pH plus, que no son mas que unas pastillas que hacen de elevador o reductor de pH.

1.5 Los principales problemas detectados en la piscina de la Escuela Naval:



Figura 8 Piscina de la Escuela Naval Militar

Entre los principales problemas detectados en la piscina de la ENM (figura 8) se puede realizar la siguiente clasificación:

- Mala configuración y diseño de la instalación.
- Filtros deteriorados.
- Averías en las instalaciones.
- Necesidad de incorporación de nuevas tecnologías.

1.5.1 Mala configuración y diseño de la instalación:

La actual piscina es considerada como piscina rebosante de canal perimetral (figura 9) por lo que el agua que es desbordada se canaliza en el ciclo de filtrado del agua (Procesos de Depuración en Piscinas).

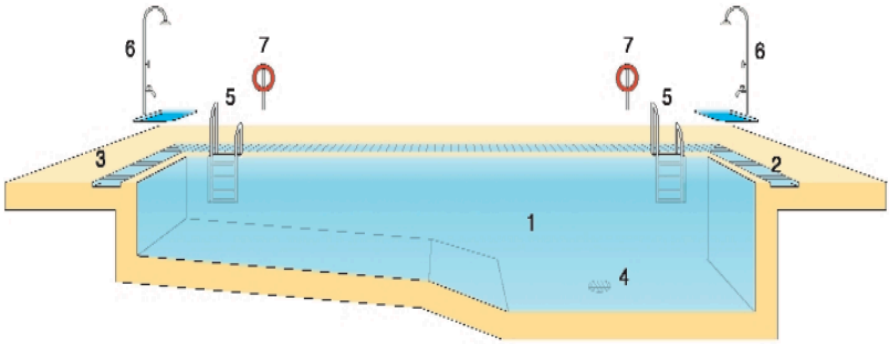
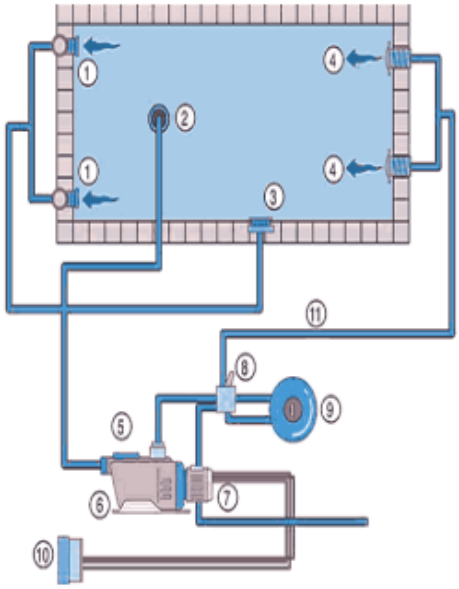


Figura 9 Ejemplo de Piscina Desbordante (Suárez Bernal & Blancas Cabello, 2001)

1- Vaso de la piscina. 2- Rebosadero perimetral continuo. 3- Playa o andén.
4. Desagüe del fondo. 5-Escaleras. 6-Duchas. 7-Flotadores

El primer problema que surge afecta al diseño de la piscina ya que el agua que es desbordada no es incorporada al ciclo de filtrado, lo que conlleva el despilfarro de gran cantidad de agua en caso de que se tenga siempre en rebose. Para evitar este gasto continuo de agua, no rebosa, suprimiendo una parte importante del ciclo de depuración y renovación del agua, con todos los efectos que ello conlleva.

Una solución mas económica a ese problema en piscinas que no son rebosantes es implantarles Skimmers (figura 10), siendo parecido a una canasta donde el agua es aspirada. En nuestro caso, tampoco los lleva. Si bien la Xunta de Galicia en el Decreto 103/2005 limita el uso de skimmers a piscinas de nueva construcción que sean menores de 250 m^2.



1- ºSkimmers
2- Válvula de aspiración fondo
3- Boquilla de aspiración
4- Expulsión agua procedente filtrado
5- Válvula de 6 vías
6- Válvula de 6 vías
7- Válvula de 6 vías
8- Válvula de 6 vías
9- Válvula de 6 vías
10- Armario eléctrico

Figura 10 Ejemplo de Piscina de Skimmers (Arenas, 2011)

El segundo problema esta ligado a la configuración de la piscina, más concretamente al número de bombas instaladas y su capacidad. Actualmente la legislación autonómica vigente establece en 4 el número de horas en la cual el agua del vaso debe haberse recirculado completamente. La realidad es muy distinta, las 12 bombas nos permiten una descarga máxima de 120m^3/h , lo que nos llevaría unas

13 horas y media aproximadamente pero el numero de bombas se reduce a la mitad aumentando con ello el tiempo a 25 horas para recircular toda el agua de la piscina.

1.5.2 Filtros deteriorados:

El lento deterioro de las instalaciones unido a las numerosas averías, especialmente en las bombas en las que solo funcionan 6 de 12, hacen que el proceso de filtrado del agua no tenga similitud con las condiciones iniciales de fabricación.

Uno de los parámetros importantes se encuentra en los filtros, y muy ligado a lo que se conoce como el ciclo de filtración o enjuague. Entendiéndose éste como el tiempo que tiene que transcurrir entre la limpieza de los filtros. Inicialmente el tiempo de limpieza de filtros estaba estimado en 30 días, pero el desgaste, una posible obstrucción o una rotura, afectan en la reducción de el ciclo de filtración. Dichos síntomas hacen que la limpieza de filtros se haya reducido a 7 días, y se encuentren por debajo del 50% de su capacidad.

Una manera fácil de ver si hay que renovar el ciclo de filtración es con los presostatos a la entrada de los filtros. Llevan una gama de colores indicando la presión normal de trabajo: verde tendría un funcionamiento correcto, amarillo se debe lavar y rojo la filtración no se produce. El destino actual de mantenimiento de la piscina carece de dichos presostatos, lo que hace que se haga ese proceso de renovación del ciclo de filtrado de manera orientativa.

La tierra de diatomeas para optimizar el proceso de filtrado del agua debería de quedarse en el ciclo de filtrado, la realidad es distinta. El agua una vez que llega a la unidad de filtrado inicia su tratamiento, si bien nada evita que la diatomea se vaya con el agua a la piscina. Por consiguiente acaba en el vaso de la piscina.



Figura 11 Diatomea saliendo a la piscina

En la figura 11 se observa notablemente como la diatomea procede a salir por los chorros de expulsión procedentes de la unidad de filtrado. La imagen fue tomada justo después de haber realizado la renovación del ciclo de filtración. Afecta de manera muy directa a la turbidez del agua, donde es incrementada de manera notoria los primeros días de la semana y a medida que transcurre la semana la tendencia general es la de sedimentar la diatomea, que se recoge a través del robot. También se puede

corroborar como los sedimentos recogidos en el robot, tienen en su mayoría un color blanco, lo que hace suponer la recolección de la diatomea procedente del filtro.

Cuando se abren las unidades de filtración para realizar la renovación del ciclo de filtrado, la inspección visual permite observar que el filtro apenas retiene diatomea, tal y como puede observarse en la figura 12.

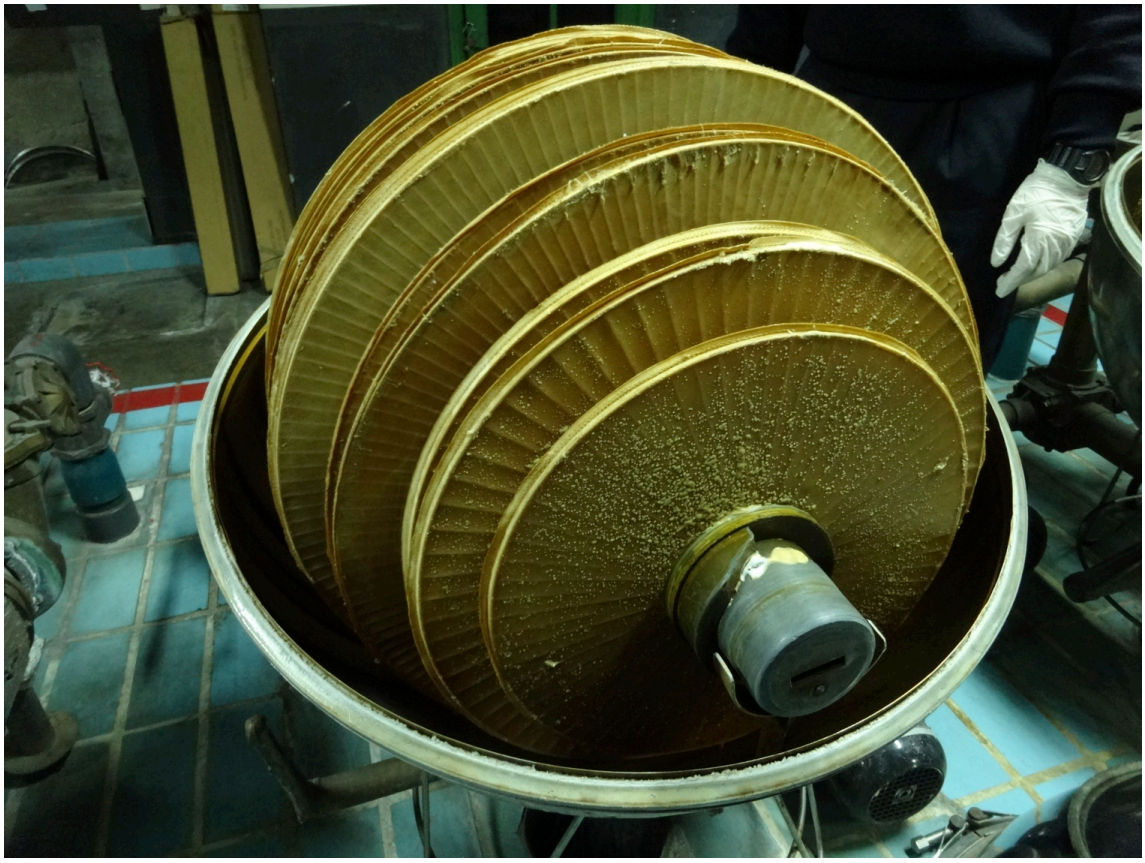


Figura 12 Escasa suciedad retenida por los filtros

1.5.3 Avería en las instalaciones:

Las instalaciones del año 1957 y sus pocas modificaciones posteriores hace que, en la actualidad, de las 12 bombas de la piscina se encuentren sólo 6 en funcionamiento, por lo que se pierde en torno a un 50% de su máxima capacidad de filtrado. Junto a ello se le suman las numerosas pérdidas de agua que tiene a lo largo de toda las canalizaciones.

El desgaste de todas las instalaciones es generalizado: instalaciones eléctricas, tuberías, métodos de dosificación, filtros, llenado del vaso de la piscina, falta de válvulas alternativas para inversión de circuito del agua, etc.

1.5.4 Necesidad de incorporación de nuevas tecnologías:

La legislación estatal vigente en materia de piscinas queda regulada por el Real Decreto 742/2013, de 27 de septiembre por el que se establecen los criterios técnico-sanitarios de las piscina, donde se describen unas directrices generales que se debe de cumplir en todo territorio nacional.

Cada Comunidad autónoma redacta una reglamentación particular acorde a la anterior. En este caso la piscina se encuentra en la Comunidad Autónoma de Galicia, por lo que le es aplicable el Decreto 103/2005, de 6 de mayo, por el que se establece la reglamentación técnico-sanitaria de piscinas de uso colectivo.

La actual legislación vigente en la Comunidad Autónoma de Galicia en piscinas de uso colectivo obliga a adaptar la piscina de la Escuela Naval Militar a ese decreto del año 2005 por el cual "El tratamiento con desinfectante se hará de forma que garantice una adicción continuada y automática". Sin embargo los sistemas de desinfección por cloro se realizan de forma manual y sin ningún dosificador que controle las cantidades con un nivel de precisión que evite un error accidental por parte del destino de mantenimiento. Esto debe motivar la incorporación de las nuevas tecnologías, y de los sistemas de dosificación automática para el control de parámetros de concentración de cloro y del pH lo que afectaría al usuario en un control de la calidad del agua de manera permanente.

Hasta la fecha, los controles de calidad y medición de parámetros se llevan a diario por el destino de mantenimiento, midiendo parámetros de concentración de cloro y del pH, para tener un exhaustivo control del agua e impedir por parte del usuario la transmisión o contagio de enfermedades.

Como se ha mostrado, es necesario adaptarse a estas nuevas tecnologías para el cumplimiento de la actual legislación y para llevar un control permanente del pH y cloro a fin de que el usuario goce de una mayor calidad del agua.

2 ESTADO DEL ARTE

2.1 Procesos de Depuración en Piscinas

La piscina no es un elemento externo a las condiciones medioambientales y meteorológicas, la influencia de la luz y del ambiente contribuyen al desarrollo de algas, bacterias, procesos de sedimentación de partículas, etc., lo que hace necesario garantizar unas condiciones óptimas de salud y confort de los usuarios. Así, las piscinas deben estar dotadas de instalaciones que eviten la presencia de contaminantes biológicos y químicos, evitando con ello la proliferación de virus, bacterias o algas (Corral, Vergara, & Alba, 2010).

Para llegar a dichas condiciones óptimas del estado del agua intervienen dos procesos:

- Físicos: Donde encontramos: sedimentación, absorción, coagulación, floculación, precipitación y filtrado (Bacaicoa, 1992). En las piscinas el principal y más utilizado es el filtrado, aunque el resto puede y suele intervenir según el tipo de instalación.
- Químicos: Principalmente se utilizan: Cloro, Bromo y peróxido de hidrógeno.

En los procesos de filtrado se eliminan las partículas manteniendo el agua limpia, aunque por sí solos no garantizan un agua libre de gérmenes y clara, mientras que en los procesos químicos, se consigue dar un paso más consiguiendo la desinfección del agua (Arenas, 2011).

Algunos autores incluyen un tercer método a la hora de clasificar los procesos, el método Físico-Químico (Arenas, 2011).

- Físico-Químicos: A diferencia de los químicos, es necesario transformar una sustancia que inicialmente no es desinfectante en otra que sí lo es. El resultado final pretende conseguir lo mismo, la desinfección.

Dentro de los procesos Químicos y Físico-Químicos, el sector empresarial no hace distinción del proceso, sino que hace distinción en aquello que le importa al usuario, si tiene que intervenir o no en el proceso de depuración, por ello encontramos la siguiente división: (REINDESA, 2011).

- Automático: el usuario se olvida del proceso de desinfección ya que van con dosificadores.
- Manual: el usuario debe introducir el desinfectante a través de pastillas, u otros métodos.

2.1.1 Procesos Físicos: La filtración

Para poder clasificar los diferentes tipos de filtros antes hay que definir que tipos de sólidos somos capaces de eliminar.

Se entiende como sólidos aquellos elementos o compuestos en el agua que no son agua, incluso las aguas naturales también presentan sólidos en su composición. Los sólidos en suspensión son aquellos que se eliminan una vez que se hacen pasar por un filtro con un tamaño de poro determinado, los solidos filtrables pasan a través del filtro y no son retenidos (Sastre, 2005).

La presencia de sólidos en suspensión y coloides aumenta la turbidez y el color del agua, mientras que los sólidos disueltos incrementan la salinidad. El tamaño, la cantidad de sólidos, la forma y naturaleza influyen en el color y turbidez, por lo que el estudio de dichos parámetros nos da una buena aproximación de la contaminación general del agua, sin tener en cuenta la toxicidad de los sólidos (Sastre, 2005).

La Organización Mundial de la Salud ha reiterado en numerosas ocasiones la importancia de llevar un control exhaustivo de la turbidez, ya que según la OMS una turbidez elevada protege a los microorganismos de los efectos de la desinfección, debiendo ser baja para que los efectos de la desinfección sea eficaz (Organización Mundial de la Salud, 2004).

Posteriores estudios han confirmado que comenzar la desinfección del agua sobre algo sucio o con turbidez elevada es tarea realmente imposible sin un proceso inicial que disminuya la turbidez del agua (Marcó, Azario, Metzler, & García , 2004), por lo que se hace obligatorio la necesidad de realizar un tratamiento físico óptimo que reduzca esa turbidez para proceder a la desinfección o tratamiento químico.

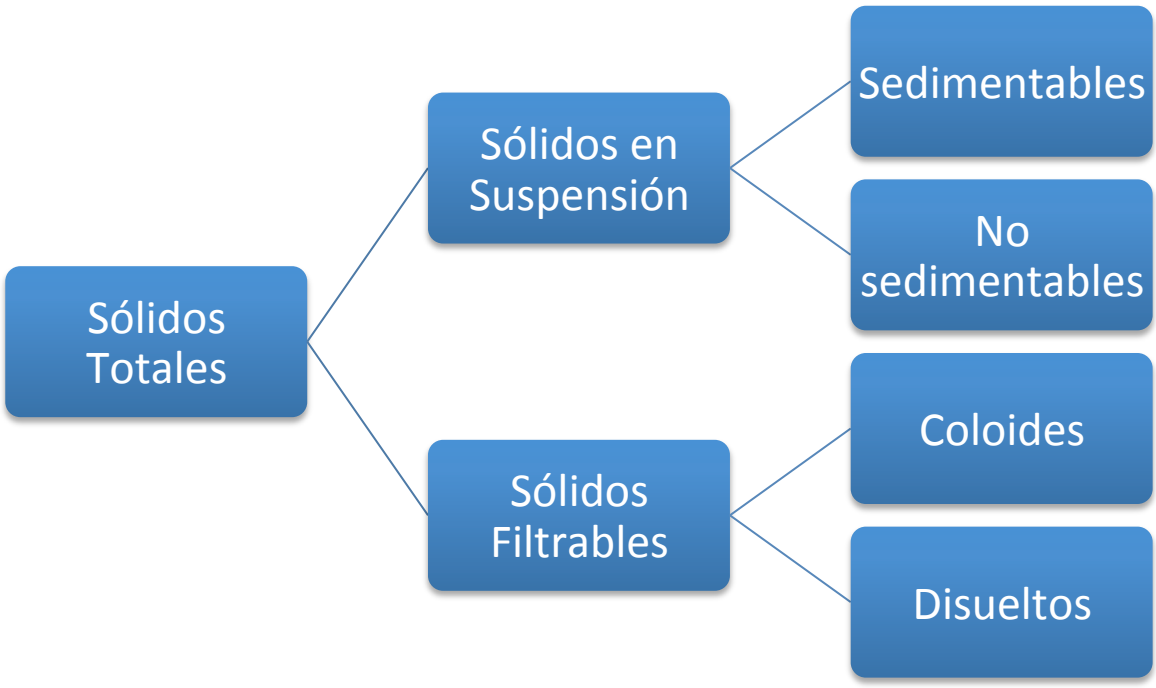


Figura 13 Clasificación de los tipos de sólidos (Sastre, 2005)

Según la clasificación anterior (figura 13), sólo somos capaces de eliminar en una operación de filtrado los solidos en suspensión, por lo que los solidos filtrables pasan a través del filtro que tengamos.

Dentro de los sólidos en suspensión se dividen aquellos que son sedimentables y aquellos que no son sedimentables (figura 13). Los que no lo son no precipitarán en el fondo de la piscina por lo que al cabo de un cierto tiempo habrán sido eliminados siempre que se hagan pasar por la unidad de filtrado.

El problema viene de aquellos que se sedimentan en el fondo, ya que se irán acumulando partículas de manera permanente. Por ello se utilizan diversos métodos como son robots o un diseño correcto de la piscina que procure reducir el tiempo de los solidos en el agua, evitando así la sedimentación.

Es por ello por lo que nos surgen dos necesidades, la primera es la eliminación de los solidos en suspensión sedimentables y la segunda es hacer recorrer el agua lo antes posible por las unidades de filtrado para eliminar los solidos no sedimentables.

En el primer caso para la eliminación de sólidos en suspensión es vital tener un diseño correcto de la piscina, actualmente los dos tipos de piscinas que se encuentran en el mercado son:

- Piscinas desbordantes: Una piscina desbordante es aquella por la que el agua sobrante, se dirige al rebosadero y lo canaliza al sistema de filtrado, devolviendo el agua una vez filtrada a la piscina. Este ciclo no se repite una vez, sino que es continuo. Con ello se eliminan las partículas que vayan posándose en superficie, evitando así su decantación con su respectivo pose en el fondo, lo que implicaría un mayor recorrido hasta su recogida en el fondo, aumentando el riesgo de posible contaminación o infección de la piscina. El agua se mantiene siempre rebosante con un depósito de compensación, que acumula el agua excedente y administra su dosificación para mantener un ciclo correcto de rebose del agua.

- Piscinas con Skimmers: Generalmente suelen ir al lado contrario donde se encuentran los chorros de expulsión del agua procedente de la unidad de filtrado, para empujar los solidos en superficie hacia unas canastas, las cuales llevan en su interior y ligeramente por debajo del agua una bomba de aspiración que lleva el agua a la unidad de filtrado.

El segundo caso, se hace a través de los métodos de recolección del agua en la piscina:

- Skimmers o rebosaderos, según el tipo de piscina que tengamos instalada.
- Desagüe de fondo: por el cual se aspira el agua desde el fondo de la piscina.

Una vez es recogida, se lleva al elemento filtrante para realizar la filtración del agua. Esto se hace circulando el agua a través de un material poroso o lecho, reteniendo en el filtro aquellas partículas que tienen mayor tamaño. Este concepto es conocido como la porosidad del material filtrante y un factor clave para conseguir impedir el paso de partículas coloidales o en suspensión .

Los filtros se clasifican de la siguiente manera:

- Según la posición del filtro: Pueden ser verticales y horizontales.
- Según el tipo de filtro utilizado:
  - Arena
  - Cartuchos
  - Zeolitas
  - Diatomeas o Tierra de Diatomeas
  - *Active Media Filter* (AFM)

Los fabricantes suelen dar las siguientes características técnicas según el tipo de filtro y elemento filtrante elegido (Dirección General de Promocion Deportiva de la Comunidad de Madrid, 2008). Dichas características son:

- Elemento Filtrante
- Superficie de Filtración
- Altura del lecho filtrante
- Velocidad de filtración
- Tipos de crepinas: brazos colectores o placa de crepinas

2.1.1.1 Filtro de arena:

Es un compuesto resultante de la combinación del sílice con el oxígeno, tiene una densidad de 2,5 gr/cm^3 y una granulometría de 0,3 a 0,8 mm . Según las diferentes nomenclaturas es conocido como Oxido de silicio (IV) , Dióxido de Silicio y SiO_2. (Arenas, 2011).

La granulometría es el tamaño del grano a través de diferentes mallas, cuanto menor sea, mayor poder de retención habrá en el filtro. La facilidad para encontrar la arena de sílice en la naturaleza hace que sea de los mas utilizados, unido a sus bajos precios.

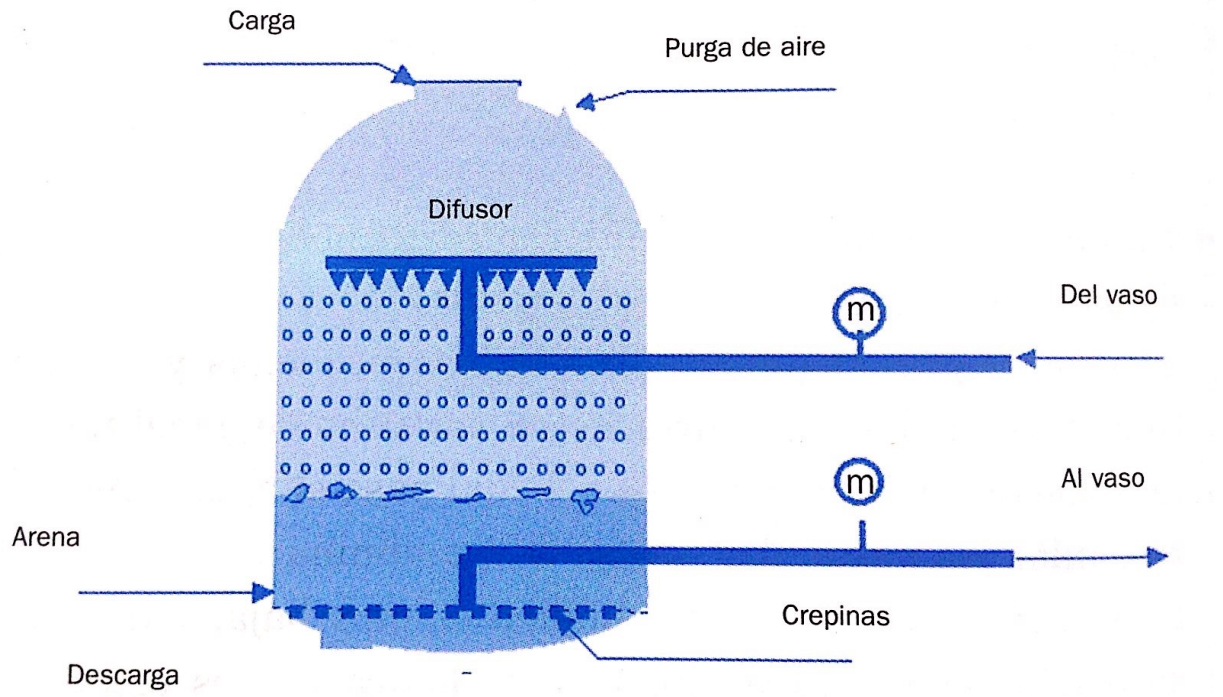


Figura 14 Ejemplo filtro arena de sílice (Dirección General de Promocion Deportiva de la Comunidad de Madrid, 2008)

En la figura 14 se muestra cómo se lleva a cabo el ciclo completo de proceso de filtrado, donde el agua viene del vaso por la parte superior y a través del difusor es canalizada a la parte inferior, en la que se encuentra la arena de sílice para proceder al filtrado. Algunos fabricantes incorporan arenas de sílice de diferente granulometría para mejorar el proceso de filtrado, disminuyendo la granulometría a medida que va realizando el proceso.

En la parte inferior se encuentran las crepinas, parte que comunica las arenas con el circuito que devuelve el agua al vaso de la piscina. Al estar comunicado con la arena es importante que el orificio de las crepinas sea mas pequeño a la granulometría de la arena para evitar la entrada en las piscina.

La colocación de la arena puede hacerse de diferentes maneras (Arenas, 2011):

- Capa filtrante única y heterogénea: No es recomendable, la impurezas quedan retenidas en la primera etapa del filtro.

- Capa filtrante única y homogénea: Hace que sea un método sencillo y a su vez eficaz, siendo los más utilizados en el mercado.

- Lecho multicapa: Se colocan diferentes capas en las que se va variando su granulometría de manera decreciente, para ir reteniendo las partículas de mayor a menor tamaño. En la parte inferior del filtro van las capas mas densas y de menor granulometría y en la parte

superior los de menor densidad y mayor granulometría. Esta disposición es clave a la hora de proceder a la renovación del ciclo de filtración, reinvirtiendo el ciclo del agua en el filtro.

Estos filtros de arena llevan incorporados a la entrada uno o dos manómetros que nos permiten conocer de manera instantánea si hay que proceder a la reinversión del ciclo para proceder a la limpieza del filtro.

Las instalaciones que llevan sólo un manómetro a la entrada, llevan una gama de colores: verde tendría un funcionamiento correcto, amarillo se debe lavar y rojo la filtración no se produce. Sabiendo la presión de entrada procederíamos a saber si toca realizar la renovación del filtro.

Los que llevan dos manómetros, llevan uno a la entrada y otro a la salida. Hay que comprobar en primer lugar la calibración de ambos y posteriormente ver si la diferencia de presión entre ambos excede entre 0,3 a 0,5 kg/cm^2, lo que implicaría realizar el lavado y enjuague de las arenas.

2.1.1.2 Filtros de Cartuchos:

Son muy variados, entre ellos podemos encontrar de poliéster, poliamida, polipropileno, carbón activo, etc. La baja velocidad de filtración y presión hacen que su uso se reduzca a pequeñas aplicaciones como piscinas pequeñas, spas, etc. (Empresa ATH, 2012).

2.1.1.3 Filtro de Zeolita:

Donald W. Breck fue una figura de gran importancia para el desarrollo de los tamices moleculares sintéticos y uno de los fundadores de la IZA, International Zeolite Association (Asociación Internacional de Zeolitas), en su libro publicado 1974 resumía los 25 años de la tecnología de la zeolita "Propiedades de las Zeolitas como Tamices moleculares".

Una de sus famosas frases dejaba en evidencia lo que era para él todo el desarrollo de las zeolitas "Pocas veces en un nuestra sociedad tecnológica hace el descubrimiento de una clase de materiales inorgánicos como resultado de amplio interés científico y el desarrollo caleidoscópico de aplicaciones como ha ocurrido con los tamices moleculares de zeolita" (International Zeolite Association, 2014).

En el año 1997 en el quinto congreso sobre zeolitas naturales celebrado en Nápoles, se concluyó que la zeolita es uno de los mejores materiales para ser elegido en los procesos tecnológicos de eliminación de contaminantes.

Los usos que tiene son muy variados: complemento alimenticio animal, mejorador de suelos, filtro del agua, etc. (Empresa Hortícola Pedralbes, 2015) En comparación con la arena de sílice su superficie es mas rugosa y la estructura es mas cristalina.

Tienen dos propiedades que permiten tener gran capacidad de filtración:

- La primera es el intercambio iónico, por la cual capta los iones de amoniaco, reduciendo la concentración de amoniaco en el agua. El amoniaco es el que reacciona con las cloraminas, lo que produce irritación de los ojos y piel y ese olor característico de las piscinas. Esta característica la hace superior al resto de elementos filtrantes.
- La segunda es debido a su propiedad como Tamiz Molecular, reteniendo las moléculas mas grandes procedentes de las aguas más duras, y dejando que las mas pequeñas sigan su curso. Esta capacidad de adsorción es limitada, por el tamaño del poro. Lo que condiciona que las condiciones del agua deben ser poco turbias y con pocos sólidos, si no el coste económico del proceso se dispararía. (Arenas, 2011).

La Zeolita consigue mejorar la calidad del agua debido a su carácter adsorbente, además de eliminar partículas de hasta 8 micras, reduciendo notablemente la turbidez del agua y la materia orgánica en el agua.

2.1.1.4 Filtro de Diatomeas:

En el apartado 1.4.1 se detallaba con detalle los filtros de diatomea que tiene instalados la piscina de la Escuela Naval Militar . En este apartado se detalla las características de la tierra de diatomeas y la que es utilizada en la piscina de la ENM.

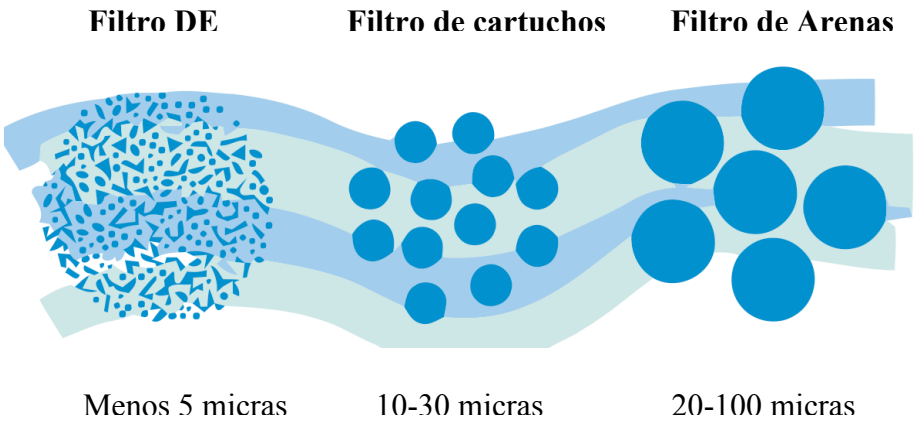


Figura 15 Comparación diferentes tipos de filtrado (Pentair, 2008)

En la figura 15, se muestra una comparación de las diferentes capacidades de retención de partículas de los filtros de: cartuchos, arena y tierra de diatomeas. Como se puede ver la tierra de diatomeas tiene una capacidad de retención de partículas mucho más alta que los filtros de cartuchos y arena. Lo que propicia una mayor calidad de agua y menor turbidez.

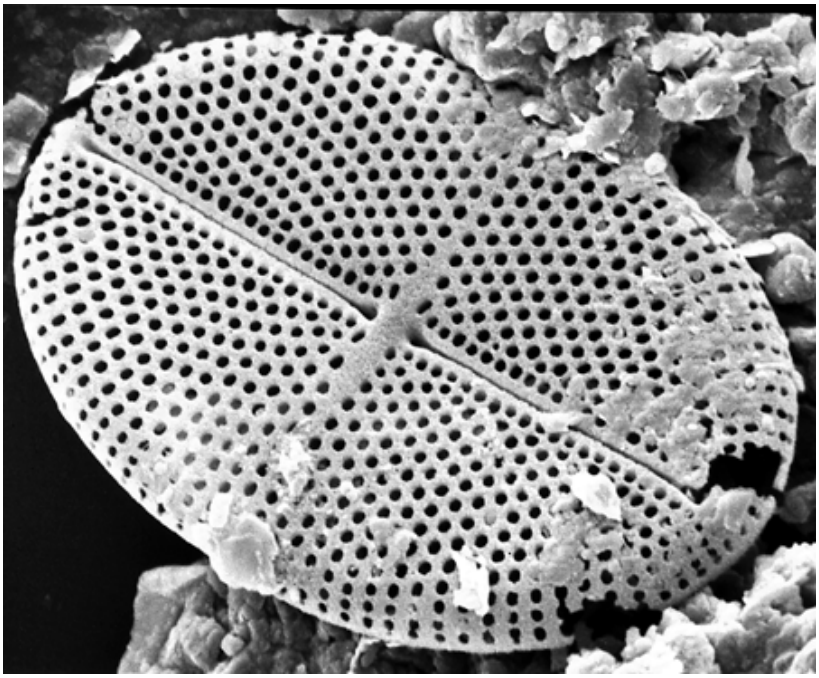


Figura 16 Diatomea en el microscopio (University College London)

Las diatomeas o diatomita son restos fosilizados de algas marinas con un gran poder de retención, tienen una pared celular transparente de sílice y una capa interna de pectina (figura 16). Los diferentes estudios para clasificar las diatomeas fueron iniciados en el año 1979 por Simonsen y en 1990 por Round et al, siendo actualmente el más aceptado. En dicha clasificación hay dos tipos de diatomea según la simetría (figuras 17 y 18): Las Pennadas de simetría bilateral y las céntricas de simetría central (University College London).

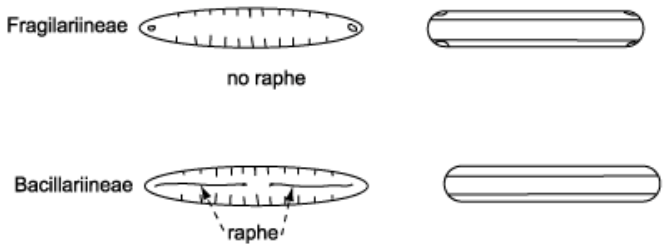


Figura 17 **Pennate Diatomea (University College London)**

El contenido orgánico de las diatomeas es destruido una vez que se han muerto, quedando únicamente su esqueleto de sílice en el fondo de los mares. La posterior extracción de esos restos fósiles en el fondo del mar es lo que se conoce como tierra de diatomeas. Pueden encontrarse en muchos medios acuáticos: agua dulce o salada.

La tierra de diatomeas tuvo su primera aplicación en los ladrillos con los griegos, posteriormente en el año 1864 Alfred Nobel tuvo una explosión de nitroglicerina, en la que murió su hermano y cuatro personas. Alfred se propuso buscar una solución a la inestabilidad de la nitroglicerina. Finalmente mezcló la nitroglicerina con la tierra de diatomeas dando lugar al origen de la dinamita consiguiendo estabilizar la explosión de la nitroglicerina gracias al carácter adsorbente de las diatomeas (Esteban, 2005).

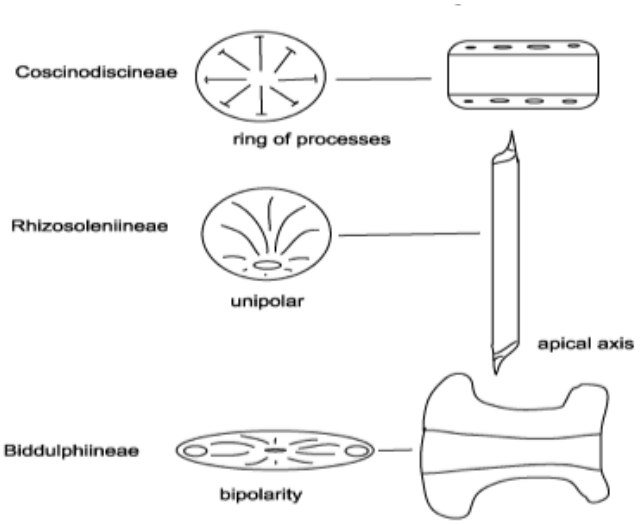


Figura 18 Centric Diatomea (University College London)

Se abría así la primera aplicación práctica que había supuesto una revolución en aquella época: su carácter adsorbente.

Actualmente tiene gran cantidad de aplicaciones prácticas entre las que encontramos: cemento Portland, cremas en cosmética, insecticida natural no tóxico, procesamiento de vino, mosto, zumos e industria cervecera. Las dos propiedades determinantes en este trabajo son: aprovechar esa alta capacidad filtrante, que es capaz de retener a partículas de entre 3 y 5 micras, en diferentes filtros, como es en este caso en un filtro de diatomeas y su aplicación como adsorbente.

En instalaciones acuáticas nos permite alcance un excelente filtrado, con una baja velocidad de filtración. Es aconsejable en vasos cubiertos o descubiertos que no tengan mucho aporte de materia. Incluso se puede utilizar como mejora de la filtración de arena.

En la figura 19 se observa la capa formada sobre la superficie del filtro a la que se le superpone la tierra de diatomeas. El agua es circulada a la superficie del filtro, donde se encuentra ese lecho en el que las partículas son retenidas debido a la baja porosidad de la tierra de diatomeas y el filtro, reduciendo con ello el nivel de turbidez y mejorando la calidad de aguas. Este es el proceso por el cual la diatomea adsorbe las partículas en suspensión en el agua, por esa razón un funcionamiento correcto de los filtros debe estar ligado a una correcta adsorción.

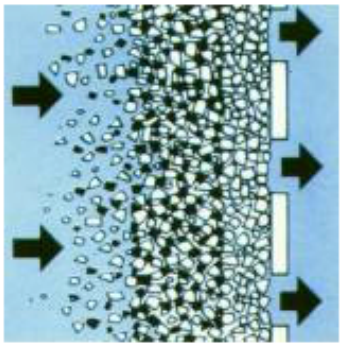


Figura 19 Lecho formado por la tierra de diatomeas y el filtro (Universidad Autónoma de Baja California Sur).

Esa correcta adsorción de los filtros se observa de manera gráfica en la figura 20. El agua entra por la parte inferior y es conducida por la presión hacia el filtro en el que se encuentra la capa de tierra de diatomeas sobre la superficie del filtro haciendo éste de malla. El proceso que tiene lugar es el de la adsorción de partículas sobre la tierra de diatomeas seguido de la filtración (figura 20). En este caso a diferencia de los filtros de arena el agua entra por la toma inferior y sale por la superior por lo que el sentido de circulación de agua es en sentido contrario.

Una vez que se desea renovar el ciclo de filtración, solo hace falta invertir el ciclo, aunque se ha de tener cuidado de no incorporar la tierra de diatomeas a la red de alcantarillado. Una vez realizada la renovación del ciclo de filtración hay que tener en cuenta someter a la limpieza del filtro o malla sobre el que se apoya la diatomea, tal y como se realiza en los filtros de la Escuela Naval Militar, aunque no realizan la función de retención de la tierra de diatomea por lo que parte de la adsorción es desperdiciada. La tierra de diatomeas incorporada es la que aparece en la Figura 21.



Figura 20 Filtro de diatomeas por dentro (Universidad Autónoma de Baja California Sur).

Según datos del Gobierno de los Estados Unidos de América en el año 2014, la diatomea fue utilizada en los diferentes sectores según el siguiente esquema: 56% en filtros, 15% en el cemento, 14% rellenos, 13% en absorbentes y el 2% restante en los diferentes usos mencionados anteriormente (United States Geological Survey, 2015).

Dentro del campo de la investigación científica sigue habiendo interés en mejorar sus capacidades debido a la gran cantidad de recursos accesibles. El uso en absorbentes y filtros acapara el 69% de la producción lo que motiva una mejora de esos ámbitos.



Figura 21 Diatomea utilizada en la ENM

Ese interés que hay en el sector para mejorar esas aplicaciones en las cuales se ven inmersos minerales de bajo coste y cuya abundancia es global por lo que mejorar esas capacidades de adsorción de la diatomea podría incurrir en una disminución de costes a las empresas.

Las dos principales líneas de investigación de las diatomeas que afectan directamente a este proyecto son las siguientes:

- Mejora de la adsorción de la diatomea con otro adsorbente.
- Mejora de la adsorción de la diatomea a través de su activación.

2.1.1.4.1 Mejora de la adsorción de la diatomea con otro adsorbente:

La adsorción es un proceso por el cual los átomos de la superficie de un sólido atraen y retienen en su superficie partículas de otros compuestos. Es un fenómeno que ocurre en la superficie y a través de las fuerzas de Van der Waals.

El área superficial es un factor muy importante, determina por ejemplo la retención de humedad, la rapidez con que un sólido se quema, la cristalización, o la capacidad de adsorción de un material. Cuanta mayor área superficial mayor capacidad de adsorción.

El área superficial se define como la superficie total de una partícula por gramo de sólido. Esa superficie total incluye el área de los poros, más el área externa de la partícula (Izquierdo, Cunill, Tejero, Iborra, & Fité, 2004).

La comunidad científica se ha planteado en más de una ocasión que el uso conjunto de dos adsorbentes puede suponer la disminución de costes e incluso una mejora de la adsorción. El carbón debido a su alta porosidad ha sido utilizado en gran cantidad de aplicaciones como la separación de gases, la purificación del agua, reacción catalítica y el procesamiento electroquímico.

La alta porosidad y adsorción de la diatomea junto a sus buenos resultados y su abundancia hacen que tenga una gran demanda. El carbón y la tierra de diatomeas tienen una fuerte capacidad de adsorción aunque diferente porosidad, el carbón tiene una estructura macroporosa y la diatomea microporosa. Esta diferente porosidad podría incurrir en una mejora de la adsorción conjunta de ambos adsorbentes.

Es por ello por lo que se le han ido buscando diferentes alternativas que exploten esa combinación con otros adsorbentes. Un claro ejemplo es su uso como plantilla, donde además la tierra de diatomea es utilizada como catalizador del carbono debido a su acidez, evitando tener que utilizar ácido sulfúrico evitando un riesgo para el medioambiente (Dong, et al., 2012).

Desde la Universidad de China han llegado a la realización de lo que ellos llaman el carbono de diatomea con plantilla, donde la diatomea es utilizada como molde o plantilla y catalizador. Los mecanismos de preparación se han estudiado en base a la acidez de la diatomea lo cual simplifica el proceso de preparación del carbono. En esa experimentación se ha visto la capacidad de adsorción del carbono en la plantilla de diatomea tomando como referente el azul de metileno como contaminante. De la memoria se concluye que las capacidades de adsorción del azul de metileno sobre los carbonos de diatomita fueron altamente más altos que con el carbono activado. Se concluye que la morfología, porosidad y acidez de la diatomea tienen efectos más que notables sobre el carbono, lo que hace que sea algo prometedor dentro del ámbito de la purificación y adsorción (Dong, et al., 2012).

2.1.1.4.2 Mejora de la adsorción de la diatomea a través de su activación:

Se ha demostrado que la concentración de ácido fluorhídrico es un factor determinante para la creación de poros más abiertos, por lo que tiene un área de superficial BET mayor que la de partida. El método BET consiste en determinar la cantidad de gas adsorbido para formar una monocapa y el área que ocupa una de sus moléculas adsorbidas. Una vez conocidos, es posible estimar el área del sólido.

En los estudios realizados en el año 2005 en el Departamento de Ingeniería Ambiental y Ciencia de la Universidad de Taiwan, se desprende que el tratamiento ácido fluorhídrico, incrementa el área superficial a través del método BET pase de 3,8 m^2/g a unos 10 m^2/g, lo que conlleva una mejora sustancial de la capacidad de adsorción de la tierra de diatomeas (Tsai, Lai, & Hsien, 2005).

2.1.1.5 Active Media Filter:

Es un producto de cristal (figura 22), producido por la empresa Dryden Aqua, la cual ha desarrollado un producto innovador y que en un futuro no muy lejano podrá sustituir a los filtros de arena de sílice. La principal innovación del producto es su mejora en la capacidad de filtrado y su capacidad como anti biofilm.

El biofilm según el Instituto de Agrobiotecnología "son comunidades de microorganismos que crecen adheridos a una superficie inerte o un tejido vivo", siendo la manera natural del crecimiento de las bacterias y teniendo un gran impacto en las aguas naturales entre otros. (Instituto de Agrobiotecnología)



Figura 22 Producto AFM (Dryden Aqua)

El biofilm, se va apelmazando, aprovechando los diferentes recovecos, lugares donde se va acumulando el biofilm. Produciendo un mayor desarrollo de microorganismos y bacterias.

Es por ello por lo que el AFM es un tipo de cristal reciclado, con formas muy regulares, evitando la formación del biofilm y favoreciendo su rendimiento y un caudal uniforme. Además de reducir el consumo de agua, mejorar la calidad del agua consiguiendo una mejorar de la salud publica y mejora en el impacto ambiental.

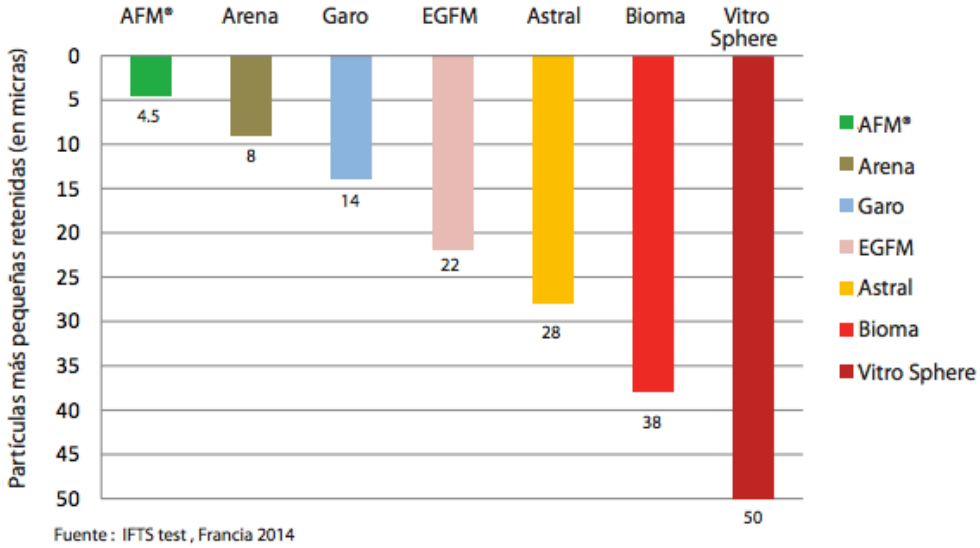


Figura 23 Comparativa de las diferentes técnicas de filtrado AFM (Insitut de la Filtration et des Techniques Séparatives, 2014)

El Instituto de la Filtración y Técnicas Separativas IFTS (Insitut de la Filtration et des Techniques Séparatives en francés) en su informe de enero de 2014, en el que compara el AFM con la arena de sílice y otros medios similares en el mercado y concluye que el AFM retiene el 80% de todas las partículas del agua hasta las 4,5 micras. Si lo comparamos con las arenas ese tamaño no llega hasta las 8 micras, lo que permite superar en un 40% la mejora de los filtros de arena (figura 23).

2.1.2 Procesos Químicos:

Una vez realizado el proceso físico de filtrado, es necesario realizar un proceso desinfectante que conlleve la eliminación de hongos, bacterias y virus y evitar el desarrollo de algas. Si bien, para

alcanzar una verdadera calidad del agua usando estos procesos químicos es necesario definir el concepto de pH, que nos permite conocer el grado de acidez.

La medida del grado de acidez es determinante para el correcto funcionamiento del cloro como agente desinfectante, ya que debe de oscilar el pH entre 6,5 y 8, así como para poder establecer unas condiciones de confort y saludables para el usuario. Es un parámetro muy importante debido a que ciertas reacciones como las del Cloro suceden con un pH determinado, en este caso entre 6,5 y 8.

Siendo los parámetros óptimos entre 7,2 y 7,6; si desciende de 7,2 no solo disminuye la eficacia del Cloro, sino que aumenta la acidez del usuario creando irritaciones en los ojos y piel. Mientras que si aumenta de 7,8 la eficacia disminuye rápidamente.

El control del pH se realiza a través de la adición de carbonato sódico, el cual elevamos el pH mientras que con el bisulfato sódico o ácido sulfato sódico se baja el nivel de pH hasta que llegamos al valor deseado.

En la tabla 3 se pueden ver las diferentes escalas de pH y como afecta al usuario y eficacia del cloro.

<table>
<tr><td rowspan="2">6,8-7,0 PH

Ácido,

Irritante para los ojos y piel, etc.</td><td rowspan="2">7,0-7,2
Demasiado bajo</td><td colspan="3">7,2…….8,4
NO IRRITANTE……..</td><td>8,4-8,6
Irritante</td></tr>
<tr><td>7,2_____7,6
Nivel ideal de cloro

MÁXIMA EFICIENCIA</td><td>7,6_____7,8
Nivel Satisfactorio de cloro</td><td>7,8_____8,4
La eficacia del cloro baja rápidamente</td><td></td></tr>
</table>

Tabla 3 Escala de pH para la cloración de la piscina (Ramsey, 1994)

En la Tabla 4 se muestra un esquema general, en el cual se aplica el procedimiento de actuación para el control del pH y del cloro en función de los diferentes resultados que se hayan obtenido de la medición. Este procedimiento es el que se realiza a diario en las instalaciones de cualquier piscina para tener controlados los principales indicadores del estado del agua.

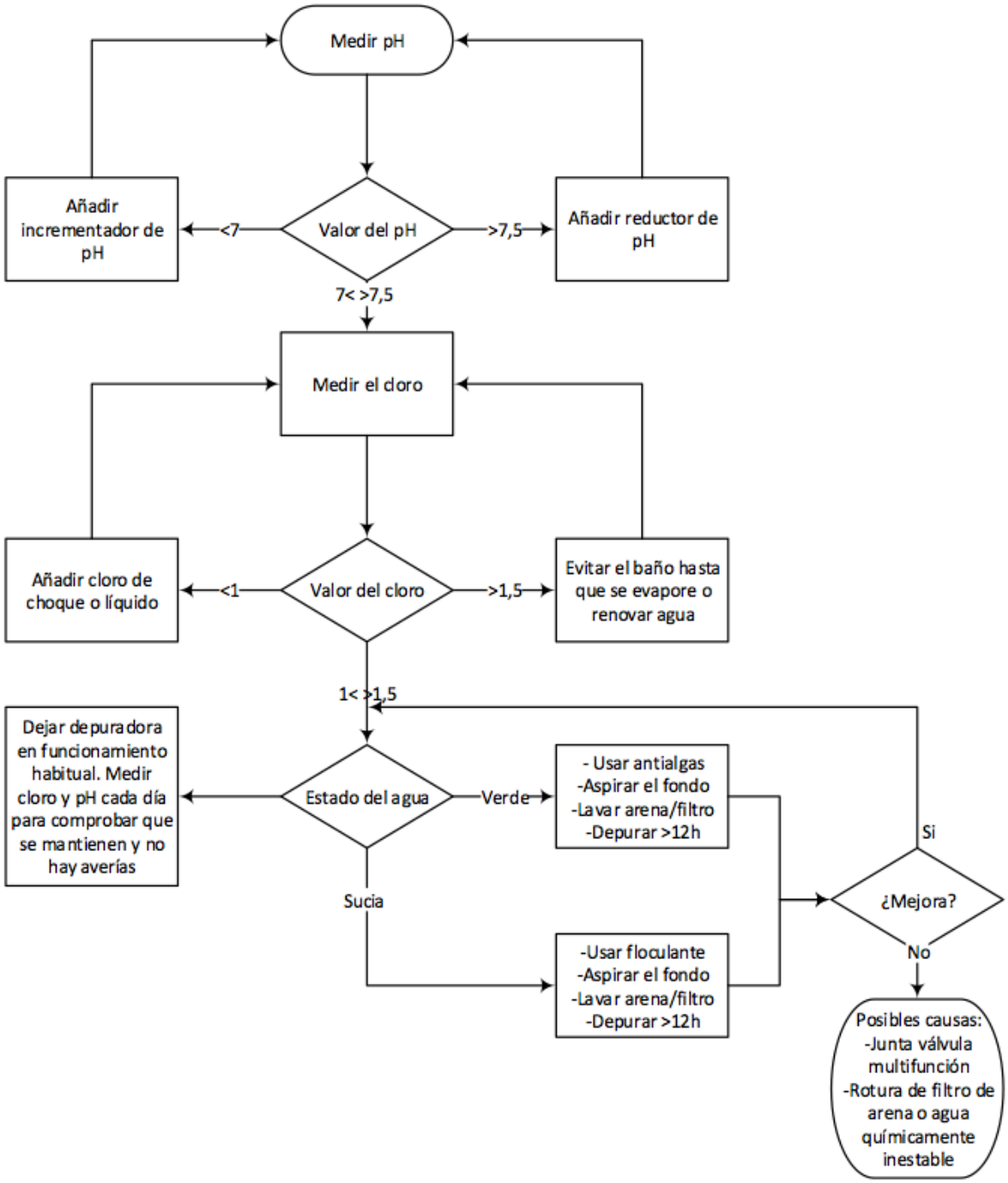


Tabla 4 Diagrama general mantenimiento piscina (Nieto Vilardell, 2014)

Anteriormente se detallaba la diferencia entre procesos Químicos y *Físico-Químicos* (en cursiva), dentro de este apartado se van a desarrollar ambos. Entre los principales métodos químicos en piscinas podemos encontrar los siguientes:

- Cloro
- Bromo
- Peróxido de Hidrógeno
- *Ionización Cobre-Plata*
- *Electrólisis salina*
- *Luz Ultravioleta*
- *Ozono*

2.1.2.1 Cloro:

Es un elemento químico que se encuentra dentro del grupo de los halógenos, reacciona por oxidación, se encuentra en la naturaleza en forma de cloruros como son la sal común, carnalita,…

Es capaz de transformar los residuos orgánicos más complejos como son pelos, piel convirtiéndolos en otros mas sencillos que se pueden evaporar. A día de hoy es uno de los métodos más utilizados debido a su precio económico y gran poder de desinfección pudiendo matar la mayoría de bacterias en menos de 30 minutos, aunque la aparición de otros reactivos están sustituyendo al cloro.

En el agua se aporta como hipoclorito sódico o como hipoclorito cálcico. Este último es un compuesto blanco y seco comercializado en forma granulada o en pastillas, mientras que el hipoclorito sódico se conoce como cloro líquido, siendo el principal ingrediente activo en las lejías de limpieza casera. Se vende en forma de garrafas de plástico de diferentes volúmenes (Ramsey, 1994).

Los dosificadores de cloro son automáticos o manuales. En la actualidad en la Escuela Naval Militar el manual es el método empleado. Las cantidades normales de cloro son entre 1-1,5 ppm, cantidades de cloro residual que queda permanentemente en la piscina y que no sólo es desinfectante contra las bacterias, sino que además es efectivo contra la aparición de algas.

El cloro libre es aquel que queda remanente en el agua de la piscina para oxidar la materia orgánica que se vaya depositando, es desinfectante y reactivo a los microorganismos y bacterias que se vayan introduciendo, y por lo que nos interesa mantener de manera excedente para mantener ese poder desinfectante. El Cloro combinado es aquel que ya ha sido mezclado con la materia orgánica y no tiene capacidad de oxidación ni desinfectante. Para los bañistas supone picores, alergias, irritaciones, olores y escozores. Además de servir como indicativo de un posible defecto de filtrado, alta carga orgánica o falta de higiene en los bañistas.

El cloro combinado o cloraminas al haber reaccionado con la materia orgánica forma una serie de compuestos conocido como sustancias organocloradas, donde encontramos: los trihalometanos de carácter cancerígeno, cloritos, acido cloro acéticos o cloruro de cianógeno. En días de verano donde la radiación UV es alta influyen negativamente sobre el cloro llegando a destruirlo en casi un 90%, por ello se utiliza el ácido isocianúrico haciendo de estabilizante del cloro libre, ese ácido isocianúrico y el cloro combinado acumulado en varias semanas es perjudicial para la salud. Todos estos motivos justifican que las normativas autonómicas establezcan como un 5% el agua de renovación del vaso. El cloro total es la suma de ambos (Corral, Vergara, & Alba).

2.1.2.2 Bromo:

Es un líquido pesado, hasta tres veces más que el agua, a temperatura ambiente es volátil, formando un gas de color marrón muy tóxico. Numerosos estudios bacteriológicos han demostrado su efectividad, igualando al cloro (Ramsey, 1994). Sin embargo su precio más alto hace que no se encuentre tan extendido en el mercado.

Dentro de los procesos químicos hay otros menos utilizados como son:

-Hipoclorito de Sodio: Es de aplicación en piscinas, como fórmula tiene NaClO. Tiene un alto poder desinfectante, aunque su elevado coste y modificación del pH hacen que haya que estar llevando un control permanente.

-Dióxido de cloro: Es necesario generarlo en la propia piscina, que junto a la dificultad hacen que quede utilizado en un segundo plano. (Arenas, 2011)

2.1.2.3 Peróxido de Hidrógeno :

Tiene una alta capacidad desinfectante, se utiliza en estado líquido y está libre de sustancias tóxicas. Aunque su manipulación especializada, y su coste vuelven a ser el principal problema.

2.1.2.4 Ionización Cobre-Plata:

Se hace circular una corriente continua de unos 12 V a través de dos electrodos: cobre y plata. Los iones producidos rompen el balance enzimático de las algas y virus, evitando su crecimiento y reproducción. Con éste método se consigue reducir los porcentajes de cloro a valores ínfimos: 0,2-0,4 ppm.

2.1.2.5 Electrólisis salina:

Conocido comúnmente como "las piscinas de sal", no es más que un pequeño clorador salino que lleva a cabo la electrólisis. En ella se hace pasar el agua, que lleva disuelta una pequeña cantidad de sal 5-6gr/l, por unos electrodos de titanio. Al circular corriente eléctrica por los dos electrodos se produce la electrólisis del agua salada, donde se desprende Cl_2, disolviéndose en el agua, de lo que se obtiene ácido hipocloroso que actúa como agente desinfectante. Una vez que el ácido ha esterilizado el agua se tiene ácido clorhídrico que, con la sosa caustica, da lugar a una reacción de neutralización obteniendo sal.

En el polo negativo (cátodo) tiene lugar la siguiente reacción:

$$2H_2O + 2e^- \Longrightarrow H_2 + 2OH^-$$

Mientras que en el polo positivo (ánodo) tiene lugar estas otras reacciones:

$$2H_2O \Longrightarrow O_2 + 4H^+ + 4e^- \;\; ; O_2 \, se \, encuentra \, en \, estado \, gaseoso$$

$$2NaCl \Longrightarrow Cl_2 + 2Na^+ + 2e^-$$

Paralelamente el cloro reacciona con los iones oxhidrilo dando lugar a iones cloruro y ácido hipocloroso:

$$Cl_2 + OH^- \Longrightarrow HClO + Cl^-$$

Aunque dentro del ciclo de electrólisis salina no se observan pérdidas de sal, es importante tener en cuenta que al estar disuelta en el agua, los bañistas al salir de ella sobre su piel retienen ligeras cantidades. Lo que conlleva la pérdida indirecta de sal, en función del numero de bañistas.

2.1.2.6 Luz Ultravioleta:

La luz ultravioleta es un tipo de radiación electromagnética, tiene menor longitud de onda que la luz visible, aproximadamente entre 100-400 nm. La luz UV comprendida entre los 100-200 nm se conoce como UV lejano y la luz comprendida entre los 200-400 nm se conoce como UV cercano, a la luz visible.

El agua se hace pasar por un equipo que emite radiación UV generalmente entre 240-280 nm de longitud de onda, atacando directamente sobre la bacteria, consiguiendo el efecto deseado: desinfección del agua

Este equipo no sólo consigue la desinfección del agua, sino que además es capaz de reducir las cloraminas o cloro combinado en el agua hasta partículas entre 0.1-0.2 ppm. (Hidritec)

2.1.2.7 Ozono

Su alto poder desinfectante, del orden de unas 3000 veces mas que el cloro, hacen que sea capaz de oxidar los microorganismos y destruir las cloraminas.

El ozono no tiene carácter residual, por lo que debe utilizarse junto a otro desinfectante químico. Es producido de manera artificial “in situ” a través de una descarga de electricidad.

Elimina completamente el escozor y picor de los ojos en los usuarios, aunque por contrapartida su alto coste y gran volumen de instalación dificultan su aceptación.

3 DESARROLLO DEL TFG

3.1 Experimentación en laboratorio

Las diferentes pruebas han sido realizadas en el laboratorio de química situado en el edificio Isaac Peral de la Escuela Naval Militar. El objetivo de estas pruebas es la de analizar y mejorar los dos parámetros principales que afectan a la calidad de aguas: Turbidez y color.

Se han realizado diferentes pruebas, de las cuales no todas se han obtenido resultados que supusiesen la implementación de mejoras aunque si han supuesto la detección y confirmación de errores en la depuración.

Las pruebas realizadas son las que se determinan a continuación:

- Medición de la turbidez con la incorporación de suelo, diatomea y colorante
- Determinación de la dosis de adsorbente para la disminución óptima de la turbidez
- Optimización de parámetros
- Activación de la diatomea con hidróxido potásico y ácido sulfúrico

3.1.1 Materiales y métodos:

3.1.1.1 Medición de la turbidez con incorporación de suelo, diatomea y colorante:

La medición de la turbidez es un parámetro importante para determinar la calidad del agua, junto a la diatomea y un suelo residual con alta carga orgánica se verá cómo influyen sobre la turbidez. El material de laboratorio necesario para la realización de la práctica es el siguiente:

3.1.1.1.1 Material empleado:

- Material de vidrio
- Una balanza marca Blauscal serie AH
- Un turbidímetro marca Eutech Instruments TN-100
- 6 agitadores mecánicos

Se realizan 3 muestras por duplicado en las que se emplea en cada una de ellas:

- 2,5 gr de suelo a base de Turba negra con alta carga orgánica, marca “Compo Sana Universal” Las propiedades del suelo son las siguientes:

- pH($CaCl_2$) entre 5,0-6,5;
- Contenido en sal (KCl) < 3,0 g/l
- Contenido en abono 200-450 mg/l Nitrógeno
- Contenido en abono: 200- 500 mg/l Fosfato (P_2O_5)
- Contenido en abono: 300-550 mg/l Óxido de potasio (K_2O)
- Contenido básico: turba, perlita, Agrosil, cal y elementos nutrientes.

- 5 ml de colorante
- 250 ml de agua
- Una muestra con 1gr/l de diatomea, otra con 5gr/l y una última de 10gr/l

3.1.1.1.2 Procedimiento empleado:

1- Se toman 3 vasos de precipitado en los que en cada uno de ello se introducirán 250 ml de agua. Este procedimiento se realizará por duplicado, por lo que el numero totales de vasos serán 6, aunque para evitar la redundancia se procederá a explicar cada uno por independiente.

2- Se añaden 2,5 gr de suelo en cada una de las 3 muestras

3- Se añaden 5 ml de colorante a cada una de las 3 muestras (figura 24)

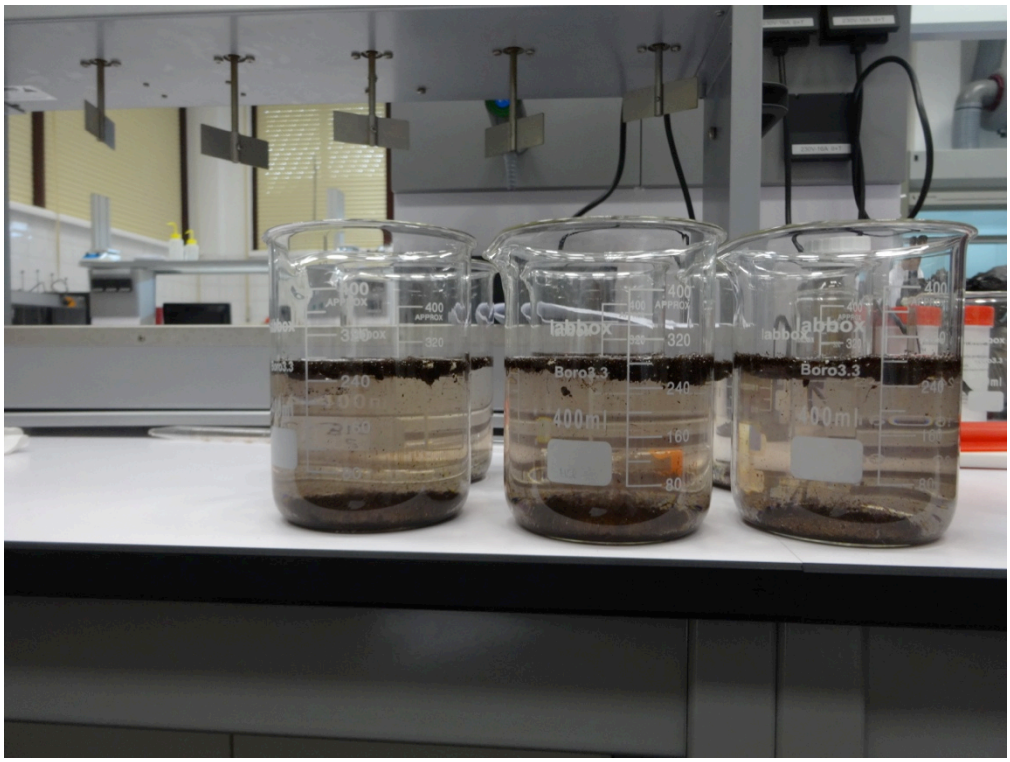


Figura 24 Muestras con el suelo y color añadido

4- A la primera muestra se le añadirá 1 gr/l de diatomea, a la segunda muestra se le añadirá 5 gr/l de diatomea y a la tercera muestra se le añadirá 10gr/l. Unos 0,25 gr; 1,25gr y 2,5 gr de diatomea respectivamente por los 250 ml de agua (figura 25).



Figura 25 Diatomea a incorporar en las muestras

5- Una vez se ha procedido a la introducción del material en el recipiente, se procede a agitar la mezcla durante 5 minutos a 200 rpm y posteriormente 10 minutos a 75 rpm (figura 26).

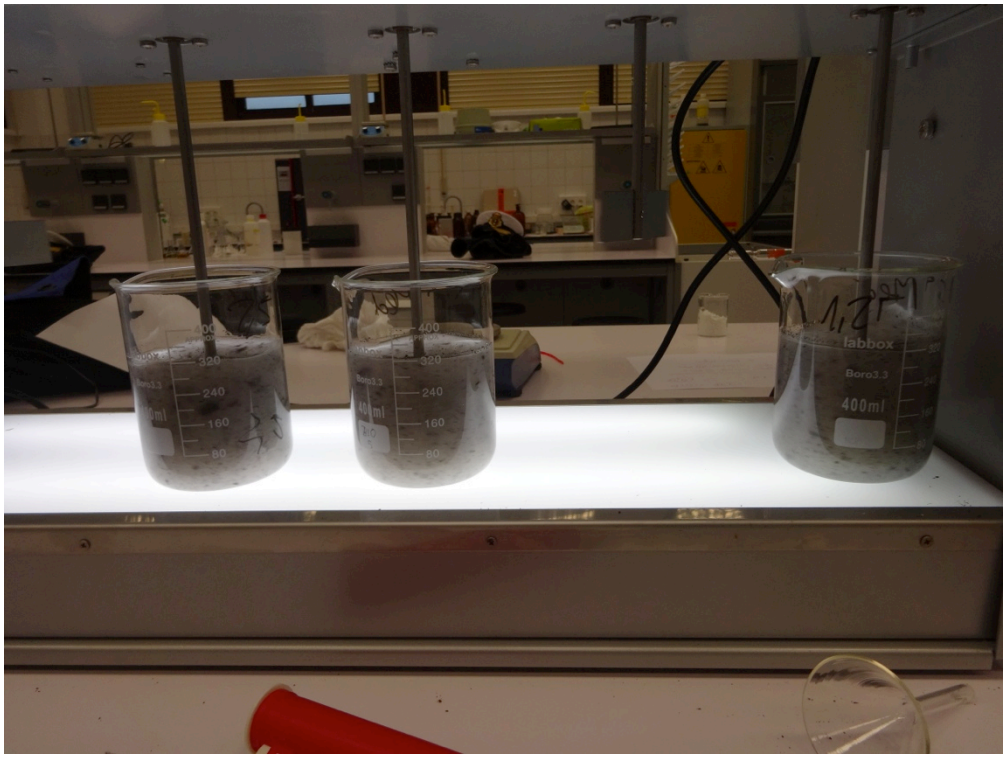


Figura 26 Muestras agitándose a 75 rpm

6- Se deja reposar 15 minutos (figura 27) y se toma una muestra a la cual se le mide la turbidez. Para la medición de la turbidez, se debe calibrar previamente el turbidímetro. Una

vez esté calibrado, se introducirá la muestra en el correspondiente tubo de ensayo para ser medido su valor.

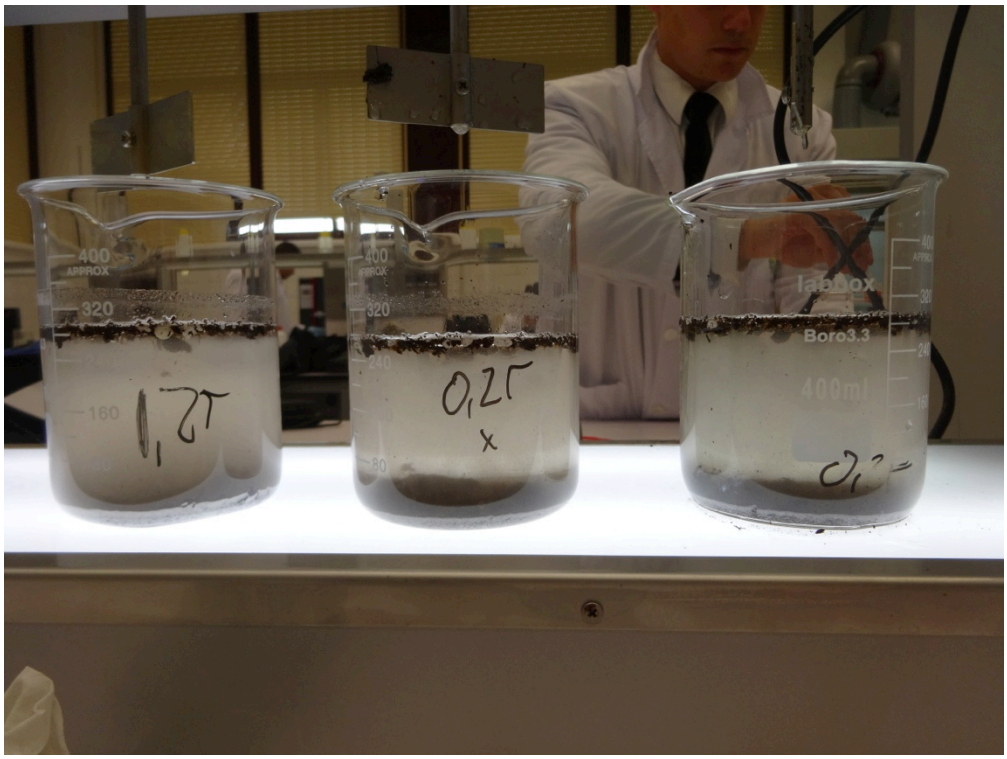


Figura 27 Reposo de la diatomea

7- Tras 24 horas se volverá a realizar una medición de la turbidez.

3.1.1.2 Determinación de la dosis de adsorbente para la disminución óptima de la turbidez:

En este apartado se pretende buscar cual es la cantidad de diatomea óptima que hay que añadir a nuestra agua residual para conseguir la menor turbidez posible. Lo que se podría resumir en eficiencia de la diatomea.

Para ello se repite el procedimiento del apartado anterior, pero en este caso no se incorpora color y el suelo utilizado es el E-10.

3.1.1.2.1 Material empleado:

- Material de vidrio
- Una balanza marca Blauscal serie AH
- Un turbidímetro marca Eutech Instruments TN-100
- 6 agitadores mecánicos

Se realizan 3 muestras por duplicado en las que se emplea en cada una de ellas:

- 2,5 gr de suelo E-10, recogido en suelos de ribera. Las propiedades de este suelo son las siguientes:
  - pH 6,2;
  - Granulometría fina (>95% de arcillas);

- 250 ml de agua
- Una muestra con 5gr/l de diatomea, otra con 10gr/l y una última de 20gr/l

3.1.1.2.2 Procedimiento empleado:

1- Se toman 3 vasos de precipitado en los que en cada uno de ello se introducirán 250 ml de agua. Esta vez también se realizará por duplicado, por lo que el numero totales de vasos serán 6.

2- Se añaden 2,5 gr de suelo en cada una de las 3 muestras (figura 28).

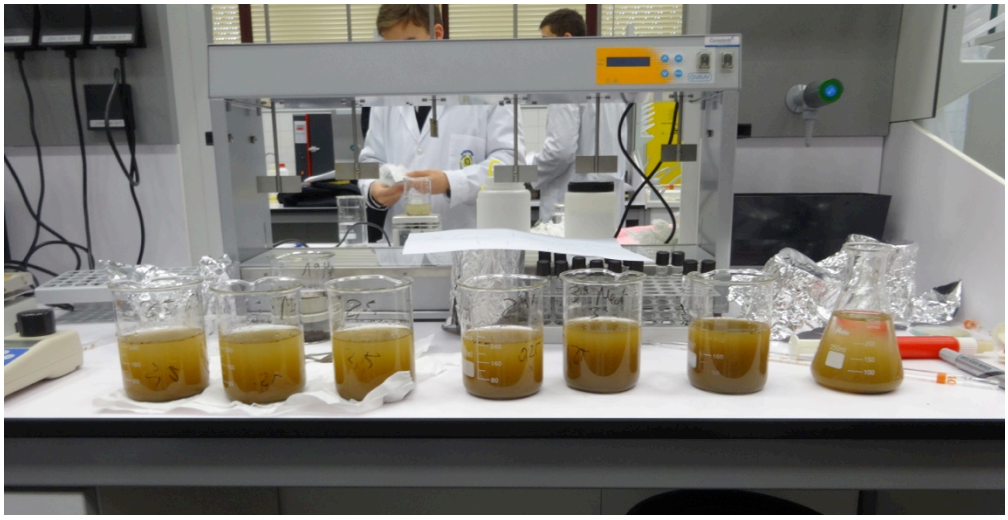


Figura 28 Mezcla del agua con suelo E-10

3- A la primera muestra se le añadirá 5 gr/l de diatomea, a la segunda muestra se le añadirá 10 gr/l de diatomea y a la tercera muestra se le añadirá 20 gr/l.

4- Una vez se encuentre la muestra preparada con todos los pasos anteriores se procederá a agitar 200 rpm durante 5 minutos y 75 rpm durante 10 min.

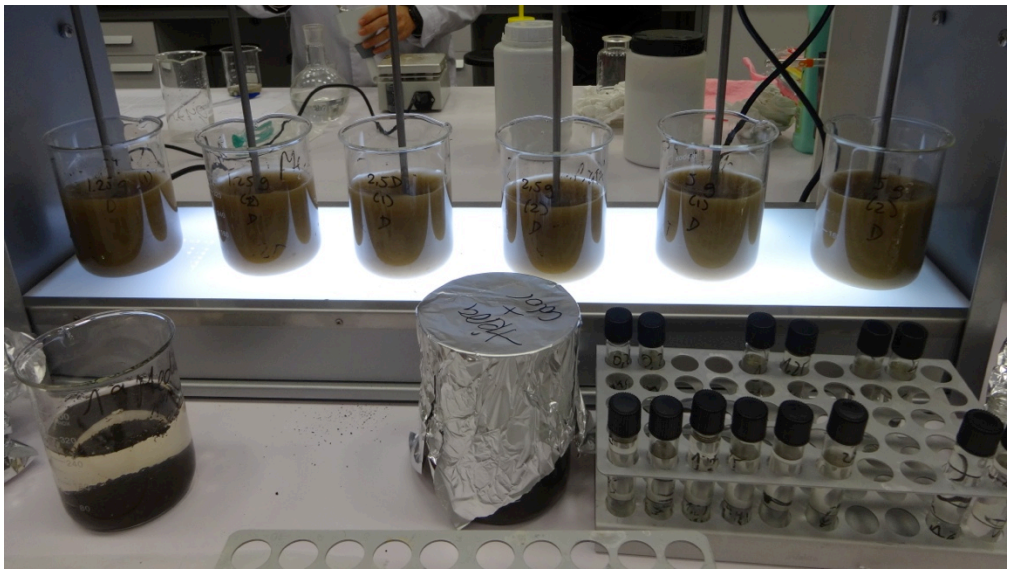


Figura 29 Agitación nuevo suelo con la diatomea

5- A 15 minutos, 30 minutos y 60 minutos de reposo, se toman las respectivas muestras a las cuales se les mide la turbidez

6- Una vez realizada la medición de la turbidez se guardan las muestras (figura 29).

3.1.1.3 Optimización de parámetros:

El carbón activo es un adsorbente muy utilizado en procesos de depuración. Atrapa todo tipo de contaminantes orgánicos, destruye el cloro combinado y residual después de haber hecho desinfectado por lo que ejerce una labor muy importante dentro del proceso de depuración de una piscina.

El objetivo de este apartado es buscar una optimización de dos buenos adsorbentes: las diatomeas y el carbón activo, estudiando su influencia junto con otra variable: la diferente salinidad inicial del agua a tratar.

3.1.1.3.1 Material empleado:

- Material del vidrio
- Una balanza marca Blauscal serie AH
- Un turbidímetro marca Eutech Instruments TN-100
- 30 filtros de diámetro 90 mm, marca Prat Dumas y porosidad 1,2 um.
- Un espectrofotómetro marca Spekol 1500
- Un matraz Erlenmeyer
- 6 agitadores mecánicos

3.1.1.3.2 Procedimiento empleado:

En la Tabla 5 se expone el procedimiento empleado para la obtención de las 15 muestras:

Concentración carbón activo (g/l)	**Gramos sedimento (g)**	**Salinidad agua (ml)**
1,5	2,5	250 ml agua
1,5	7,5	250 ml agua
1,5	2,5	250 ml agua mar
1,5	7,5	250 ml agua mar
0,5	2,5	125 ml agua+125 ml agua mar
0,5	7,5	125 ml agua+125 ml agua mar
2,5	2,5	125 ml agua+125 ml agua mar
2,5	7,5	125 ml agua+125 ml agua mar
0,5	5	250 ml agua
0,5	5	250 ml agua mar
2,5	5	250 ml agua
2,5	5	250 ml agua mar
1,5	5	125 ml agua+125 ml agua mar
1,5	5	125 ml agua+125 ml agua mar
1,5	5	125 ml agua+125 ml agua mar

Tabla 5 Procedimiento empleado para la preparación de 15 muestras

Se toman 15 vasos de precipitado en los que en cada uno de ello se introducirán las cantidades establecidas en la tabla 4. Para el agua de mar se preparó una disolución de NaCl con una concentración de 35 gr/l .

1. Una vez se tienen las 15 muestras, se agitan 5 minutos a 200 rpm y 10 minutos a 75 rpm (figura 30).

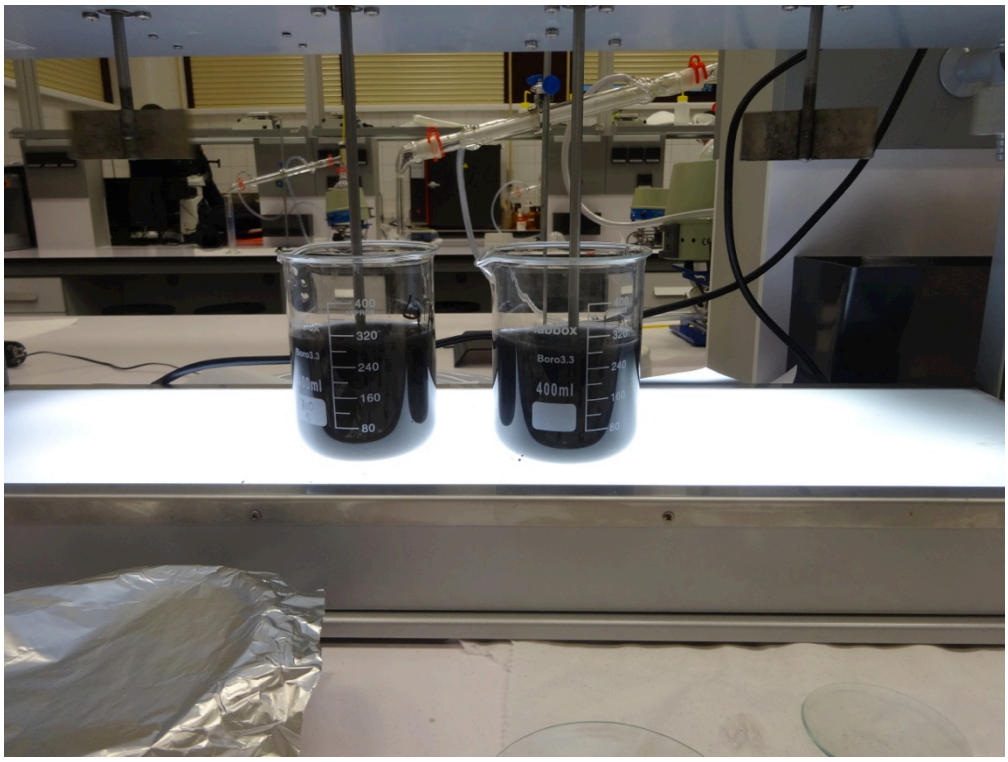


Figura 30 Agitado de dos de las quince muestras

2. Se deja reposar 5 minutos y a continuación se toma una muestra a la cual se realiza una medición de turbidez. Una vez realizada la medición se guarda la muestra.
3. A los 15 minutos de reposo se vuelve a tomar una segunda muestra y se le realiza otra medición de turbidez. Una vez realizada la medición se guarda la muestra.
4. A continuación todas las muestras a los 5 y 15 minutos se proceden a filtrarse con papel de porosidad 1,2 micras (figura 31).

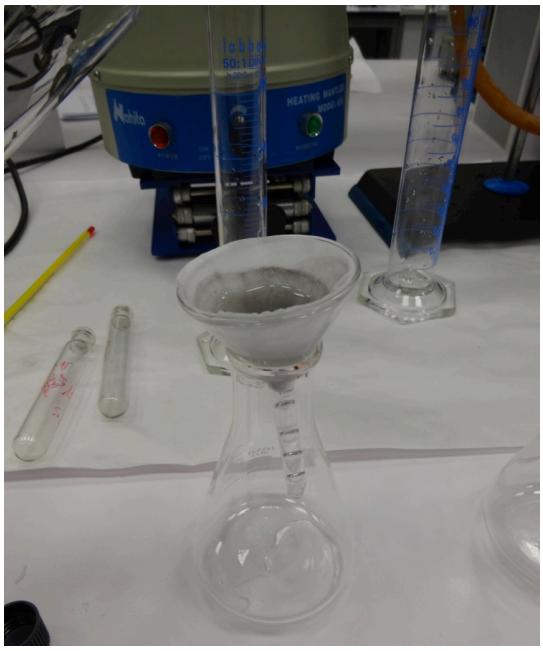


Figura 31 Proceso de filtrado con filtro 1,2 micras

5. Una vez se tienen las 15 muestras con sus mediciones a los 5 minutos y 15 minutos de reposo, se procede a calcular la función de optimización.
   Se extrae de las 15 muestras guardadas a los 5 minutos y a los 15 minutos, una pequeña cantidad para medir el color en el espectrofotómetro (figura 32).

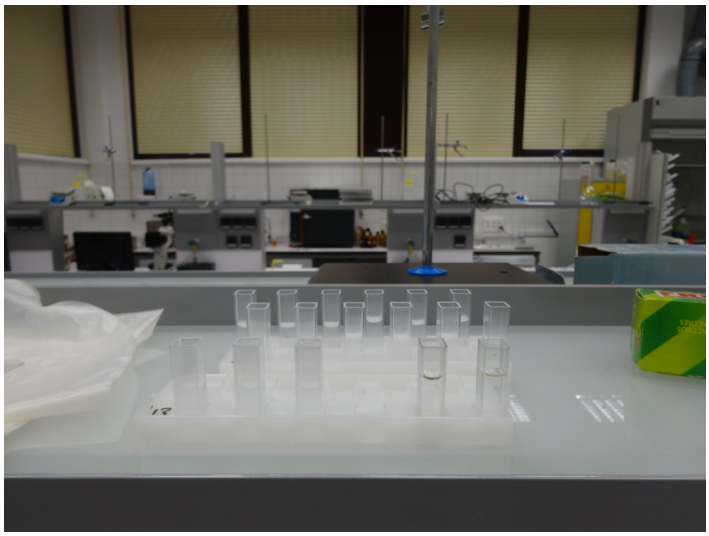


Figura 32 Quince muestras para la medición color

Se realizarán dos mediciones con dos diferentes longitudes de onda, una a los 535 nm y la otra a los 480 nm (figura 33). Para tener una mayor precisión y menor error se debe limpiar los laterales del recipiente antes de introducirlos en el espectrofotómetro y se colocará de manera que el rayo no pase por las estrías del recipiente. Como cero o unidad base tomamos una muestra de agua destilada.

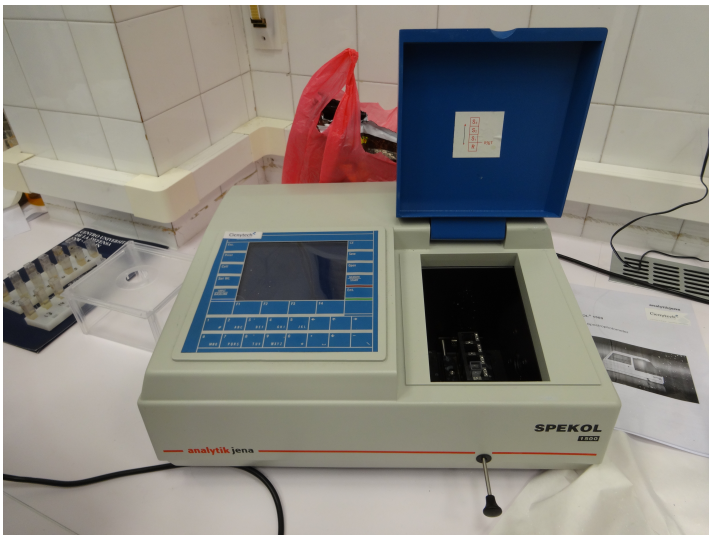


Figura 33 Espectrofotómetro empleado

6. Una vez realizadas las muestras se procederá a evaluar los datos.

3.1.1.3.3 Tratamiento estadístico de datos: Metodología Box-Behnken

El método utilizado para la evaluación de datos es a través de la optimización Box-Behnken, es una metodología creada en 1960 por George EP Box y por Behnken Donald.

Para la utilización de este método es necesario la elección previa de los factores importantes que influyen en el medio que queramos estudiar. Una vez elegidos estos valores se procede a la búsqueda de las condiciones óptimas en el medio. Lo que nos permite mejorar estudiar la viabilidad de una mejorar en: costes, productividad, tiempos y cumplimiento de la especificaciones.

Este método es conocido como Metodología de Superficies de Respuesta que a diferencia de un diseño experimental, no solo pretende mostrar cual es el factor óptimo sino mostrar todo el proceso conjunto y analizar las condiciones óptimas de todo el proceso.

Esta metodología de superficie de respuesta consiste en un conjunto de técnicas matemáticas y estadísticas basadas en modelos empíricos de ajuste a los datos experimentales obtenidos, en relación con el diseño experimental realizado en el laboratorio.

Los diseños de Box-Behnken son una clase de diseños de segundo orden giratorios o casi giratorios basados en tres niveles, diseños factoriales incompletos.

El número de experimentos (N) necesarios para el diseño completo Box-Benhken están dados en la fórmula:

$$N = 2k(k-1) + C_0$$

Donde k es el número de factores y C_0 es el número de puntos centrales.

La ecuación simple que describe una función lineal esta descrita por la siguiente ecuación:

$$y = \beta_0 \sum_{i=1}^{k} \beta_i X_i + \mathcal{E}$$

Donde β_0 es el factor constante; β_i representa los coeficientes de los parámetros lineales; k es el número de variables; X_i representa las variables y $\mathcal{E}$ es el factor residual asociado con los experimentos.

Cuando los datos experimentales no se ajustan a una ecuación lineal, entonces es recomendable incluir los diferentes niveles de las variables de entrada. En este caso debe ser generada una superficie con un polinomio de respuesta.

El método Box-Behnken fue diseñado para un modelo de segundo orden, en los que la ecuación queda de la siguiente manera:

$$y = \beta_0 \sum_{i=1}^{k} \beta_i X_i + \sum_{i=1}^{K} \sum_{j \geq i}^{k} \beta_{ij} x_i x_j + \mathcal{E}$$

Donde β_{ij} representa los coeficientes de los parámetros de interacción. Estos diseños incluyen un punto central que se utiliza para determinar la curvatura y las condiciones críticas o óptimas se deducen de la ecuación de segundo orden incluyendo los términos cuadráticos, tal y como se muestra a continuación:

$$y = \beta_0 \sum_{i=1}^{k} \beta_i X_i + \sum_{i=1}^{k} \beta_{ii} x_i^2 \sum_{i=1}^{K} \sum_{j \geq i}^{k} \beta_{ij} x_i x_j + \mathcal{E}$$

Donde β_{ii} representa los coeficientes de parámetros cuadráticos. Por tanto los datos experimentales nos permiten el desarrollo de modelos empíricos que describen la interrelación entre variables convencionales y experimentales por las ecuaciones incluyendo la lineal, la interacción y términos cuadráticos.

La gama de variables independientes y dependientes estudiadas están en la tabla 14 y en la tabla 15, respectivamente.

Las variables codificadas, adimensionales, utilizadas con variaciones limite comprendidas entre (-1,1), se definieron:

- x_1 como la concentración de carbón activo con tierra de diatomeas
- x_2 como la concentración de sedimento
- x_3 como la salinidad

Por tanto, con las variables anteriores queda definida la ecuación cuadrática de la siguiente manera:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_{12} x_1 x_2 + \beta_{13} x_1 x_3 + \beta_{23} x_2 x_3 + \beta_{11} x_1^2 + \beta_{22} x_2^2 + \beta_{33} x_3^2$$

Donde y es la variable dependiente, β son los coeficientes de regresión calculados a partir de los datos experimentales de múltiples regresiones utilizando el método de los mínimos cuadrados; donde x denota las variables independientes.

Los datos experimentales se analizaron por el método de superficie de respuesta con el software Statistica 7.0

La relación entre variables codificadas y no codificadas ha sido determinada por ecuaciones deducidas de los respectivos limites de variación según la siguiente ecuación:

$$x_i = \left(\frac{z_i - z_i^0}{\Delta z_i}\right) \beta_d$$

Donde Δz_i es la distancia entre el valor real en el punto central y el valor real en el nivel superior o inferior de una variable; β_d es el valor límite codificado importante en la matriz para cada variable y z^0 es el valor real en el punto central.

A las variables codificadas se le asignaron los siguientes valores: -1, 0 y 1, los cuales corresponden con los límites de mayor y menor variación y el valor central para cada una de las variables estudiadas.

La superficie de respuesta que se obtiene es a partir de estas variables codificadas y por lo tanto no esta influenciado por la magnitud del valor de cada variable lo que nos permite tener una combinación de valores en una escala adimensional de manera que los valores grandes no influyan sobre los mas pequeños.

3.1.1.4 Activación de la diatomea:

La activación de la diatomea consiste en la utilización de un tratamiento ácido y básico para la mejora de la adsorción y porosidad. En nuestro caso es utilizado ácido sulfúrico e hidróxido potásico.

3.1.1.4.1 Material empleado:

- Material de vidrio
- Una balanza marca Blauscal serie AH
- Un turbidímetro marca Eutech Instruments TN-100
- 4 agitadores mecánicos
- Mufla marca Nabertherm B-150
- 2 Morteros

En este caso, la experimentación se realizará por duplicado, una con hidróxido de potásico y la otra con ácido sulfúrico. Los reactivos empleados son los siguientes:

- Hidróxido potásico relación 1:1
- Ácido sulfúrico relación 1:1
- 2,5 gr/l de suelo E-10
- 2,5 gr de diatomea reactivada con ácido
- 2,5 gr de diatomea reactivada con base

3.1.1.4.2 Procedimiento empleado:

1- Se preparan 20 gr de diatomea, a los cuales se le introduce acido sulfúrico en relación 1:1 sobre el mortero. Se prepara lo mismo con el hidróxido potásico. Se mezcla y se lleva al horno.

A continuación se deja en la mufla a una temperatura de 500ºC durante dos horas (figura 34).



Figura 34 Calcinación de la diatomea

2- Tras la activación de la diatomea se prepara el agua residual, para ello se añaden 250 ml de agua en el vaso de precipitado. Posteriormente se introducen los 2,5 gr de suelo E-10 y los 2,5gr de diatomea reactivada con el ácido sulfúrico. En este caso esta operación y la siguiente con el hidróxido potásico también se realizará por duplicado.

3- Se repite la operación con el hidróxido potásico.

4- Una vez se ha procedido a la introducción del material en el recipiente, se procede a agitar la mezcla durante 5 minutos a 200 rpm y posteriormente 10 minutos a 75 rpm (figura 35).

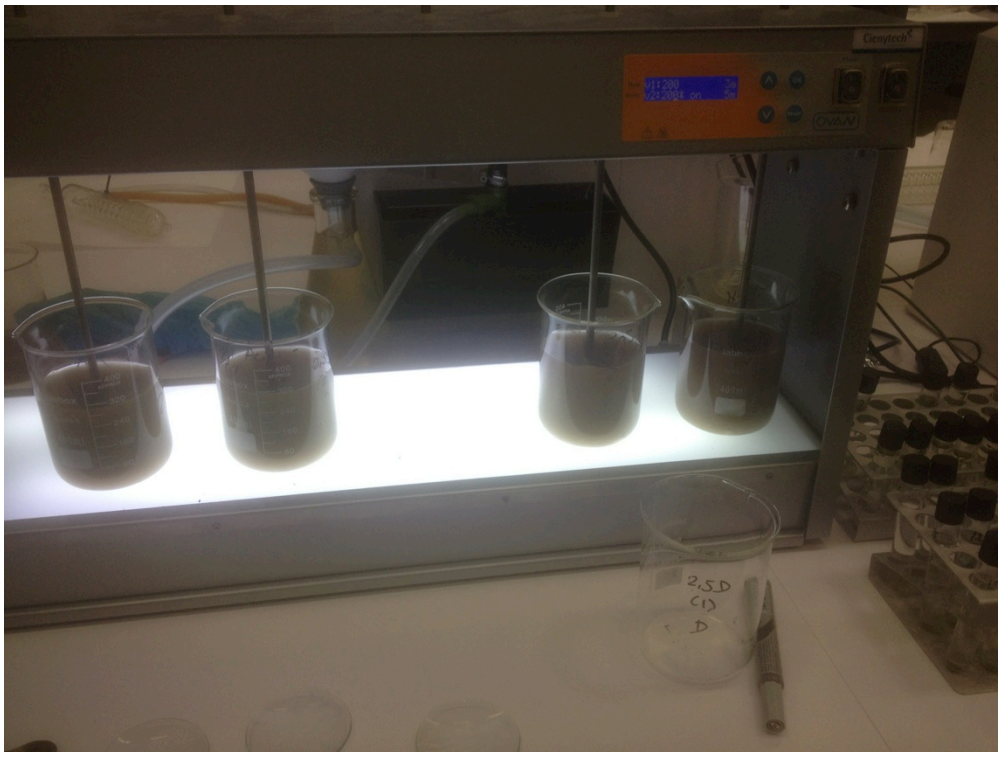


Figura 35 Agitado diatomea con ácido y base

5- Se deja reposar 15 minutos y se toma una muestra a la cual se le mide la turbidez. Para la medición de la turbidez, se debe calibrar previamente el turbidímetro. Una vez este calibrado, se introducirá la muestra en el correspondiente tubo de ensayo para ser medido su valor.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados obtenidos:

Como se detalló en el apartado anterior, se han realizado cuatro pruebas diferentes para mejorar el proceso de depuración:

- Medición de la turbidez con la incorporación de suelo, diatomea y colorante
- Determinación dosis de adsorbente para la disminución óptima de la turbidez
- Optimización de parámetros
- Activación de la tierra de diatomea con hidróxido potásico y ácido sulfúrico

En los siguientes subapartados se van a exponer los resultados obtenidos.

4.1.1 Medición de la turbidez con la incorporación de suelo, diatomea y colorante:

Muestras	Turbidez NTU
1ª 0,25 gramos	37,4 NTU
2ª 0,25 gramos	39,83 NTU
3ª 1,25 gramos	75,9 NTU
4ª 1,25 gramos	87,63NTU
5ª 2,5 gramos	97,6 NTU
6ª 2,5 gramos	142 NTU

Tabla 6 Resultados a los 15 min en reposo

En esta experimentación se agitaron las muestras durante 5 minutos a 200 rpm y 10 min a 75 rpm, tras la agitación se procedió a dejarlas 15 minutos en reposo y tomar una muestra para medirle la turbidez.

Los resultados de las muestras (tabla 6) ponen en evidencia el aumento de la turbidez propiciado por la tierra de diatomeas. Las dos primeras muestras tienen una concentración de 1gr/l de tierra de diatomea, mientras que la segunda y tercera tienen 5 gr/l; y la quinta y sexta 10 gr/l. Se observa como a mayor tierra de diatomea mayor turbidez del agua. Esta tendencia de aumentar la turbidez con la cantidad de tierra de diatomeas no es suficiente para explicar que los valores iniciales sin tierra de diatomeas estén por debajo de los valores obtenidos de la muestras.

Por ello, para poder comparar los resultados y valorar el efecto de la tierra de diatomeas sobre el agua residual, se ha realizado una muestra paralela a las seis, pero sin tierra de diatomeas, es decir solo con sedimento y color pero que sí se ha sometido a la misma agitación y tiempo comprendidos entre ambos. En este caso la turbidez tiene un valor de 16 NTU a los 15 minutos del reposo, que en comparación con los resultados nos avala una vez mas como la tierra de diatomeas aumenta la turbidez y además se obtienen valores peores que si no tuviésemos diatomea.

Si esta conclusión la llevamos a la piscina, se explica como la diatomea influye en la turbidez del agua, por lo que en las primeras horas en las que se ha renovado el ciclo de filtración la tierra de diatomea sale hacia el vaso y aumenta con ello la turbidez general. Este resultado avala lo que se presuponía por parte del personal de mantenimiento.

Tras 24 horas de reposo de las seis muestras se obtienen los siguientes datos (tabla 7):

Muestras	Turbidez NTU
1ª 0,25 gramos	4,08 NTU
2ª 0,25 gramos	4,27 NTU
3ª 1,25 gramos	4,74 NTU
4ª 1,25 gramos	4,04 NTU
5ª 2,5 gramos	3,72 NTU
6ª 2,5 gramos	4,12 NTU

Tabla 7 Resultados tras las 24 horas en reposo

Se observa cómo la turbidez general del agua disminuye, esto es debido a la sedimentación de gran parte de la materia orgánica y de la tierra de diatomeas. Los resultados son aceptables, si bien, es necesario tener el agua 24 horas en reposo para alcanzar dichos niveles, lo cual dentro del ámbito de instalaciones acuáticas no es viable debido a su alto tiempo de sedimentación.

En la piscina de la Escuela Naval Militar este efecto tiene repercusión en la sedimentación, la mayoría de la tierra de diatomea que llega al vaso de la piscina es sedimentada tras 24 horas, justificándose que la mayoría de cantidad de sedimentos recogidos por el robot es de color blanco, por lo que apunta de manera directa a la diatomea sedimentada.

Los valores obtenidos son muy parecidos entre sí y apenas se distingue una notable diferencia de turbidez entre las 3 diferentes concentraciones de diatomea, por lo que a la larga el efecto de la cantidad de diatomea deja de tener tanta influencia sobre la turbidez.

La granulometría de las partículas es determinante sobre el tipo de adsorbente utilizado, en este caso las partículas utilizadas son de granulometría gruesa, lo que hace exceder la capacidad de adsorción de la diatomea. Esto justifica la necesidad de tener una pre-etapa en la que se haga un pre-filtrado de partículas gruesas y lo que motiva el cambio a un tipo de suelo de menor granulometría para poder hacer un estudio mas detallado de la turbidez.

Como conclusión general de esta experimentación se extrae que la tierra de diatomeas tiene a corto plazo un efecto muy importante sobre la turbidez del agua, aumentándola notablemente, si bien a la larga los efectos son mucho menores debido a su sedimentación y obteniendo resultados por debajo de los 5 NTU y que podemos considerar como aceptables dentro del ámbito de la calidad del agua, pero inviables desde el punto de instalaciones acuáticas.

4.1.2 Determinación de la dosis de adsorbente para la disminución óptima de la turbidez:

En esta prueba, se ha determinado la dosificación del adsorbente en relación al tiempo de exposición. En los diferentes tiempos que se establecen en la tabla 8 se han tomado mediciones de turbidez y son las que se determinan a continuación:

Muestras	**Turbidez a los 15 min**	**Turbidez a los 30 min**	**Turbidez a los 60 min**
1ª 1,25 gramos	567 NTU	530 NTU	432 NTU
2ª 1,25 gramos	585 NTU	545 NTU	482 NTU
3ª 2,5 gramos	533 NTU	367 NTU	261 NTU
4ª 2,5 gramos	540 NTU	339 NTU	301 NTU
5ª 5,0 gramos	518 NTU	430 NTU	382 NTU
6ª 5,0 gramos	540 NTU	394 NTU	335 NTU

Tabla 8 Datos relación turbidez en función de la tierra diatomeas

La tendencia general del la turbidez es disminuir con el paso del tiempo, aunque dentro de las seis muestras unas tienen valores mas bajos que otros. Los valores de 2,5 gramos de tierra de diatomeas tienden a ser mas bajos, a los que le siguen los 5 gramos y finalmente los 1,25 gramos. Si a ello le sumamos el factor tiempo, las muestras tercera y cuarta disminuyen mas pronunciadamente que el resto.

Muestras	**Turbidez a los 15 min**	**Turbidez a los 30 min**	**Turbidez a los 60 min**
1,25 gramos	576 NTU	537,5 NTU (± 38,5)	457 NTU (± 119)
2,5 gramos	536,5 NTU	353 NTU (± 183,5)	281 NTU (± 255,5)
5,0 gramos	529 NTU	412 NTU (± 117)	358,5 NTU (± 170,5)

Tabla 9 Variación valores medios con respecto a la turbidez a los 15 min

En la tabla 9 se observa la variación de valores medios (semisuma de la primera y su réplica) de 1,25 gramos de tierra de diatomeas, entre la turbidez a los 15 minutos y a los 30 minutos es de 38,5 NTU. Esa variación de valores medios entre la turbidez de los 2,5 gramos de diatomea aumenta a 183,5 NTU entre los 15 minutos y los 30 minutos y si nos vamos a los valores de 5 gramos de diatomea la variación es de 117 NTU entre valores de turbidez a los 30 minutos.

Si comparamos esos valores iniciales de turbidez a los 15 minutos y hacemos la variación de los valores medios de la turbidez a los 60 minutos, se obtiene que la mayor diferencia es con los 2,5 gramos de tierra de diatomeas, seguido de los 5,0 gramos y los 1,25 gramos

A consecuencia de estos resultados, se determina que la cantidad de tierra de diatomeas óptima para los 250 ml de agua es la de 2,5 gramos, ya que los resultados de turbidez son mucho mas bajos desde el comienzo a los 15 minutos y conforme aumenta el tiempo la variación es mucho mayor. La siguiente cantidad es la de 5,0 gramos que tampoco es justificable su elección debido a que no es tan eficiente como la segunda. Finalmente se opta por tomar esta cantidad para el resto de pruebas debido a su mayor eficiencia y mejores resultados con respecto al resto de cantidades ya estudiadas.

4.1.3 Optimización de parámetros:

Los resultados que se muestran a continuación son de las 15 muestras con un reposo de 5 minutos y 15 minutos, después de la agitación (tabla 10):

Muestras	Turbidez NTU a los 5 min	Turbidez NTU a los 15 min
1ª	51,55	50,725
2ª	46,25	66,7
3ª	65,925	42,9
4ª	86,625	66,125
5ª	108,25	72,775
6ª	175	116,75
7ª	63,425	40,9
8ª	57,425	69,825
9ª	88,625	99,9
10ª	75,8	61,35
11ª	53,15	83,65
12ª	45,25	40,5
13ª	80,65	64
14ª	54,75	40,425
15ª	59,075	50,525

Tabla 10 Resultados turbidez antes del filtrado

La tendencia general de las muestras (Tabla 9) es disminuir la turbidez a medida que aumenta el tiempo debido a la sedimentación de las partículas en suspensión, no obstante, en algunos casos se observa como la turbidez es mayor, esto se justifica debido a la pequeña granulometría de nuestro suelo utilizado es influenciada por el medio externo siendo prácticamente incontrolable. Un pequeño movimiento sobre la mesa, la acción del viento, o una misma desestabilización del sistema al introducir la pipeta dentro del agua. Se concluye por tanto que son producto de un error accidental.

Muestras tras el filtrado	Turbidez NTU a los 5 min	Turbidez NTU a los 15 min
1ª	28,225	24,125
2ª	15,7875	19,725
3ª	1,5575	1,5525
4ª	1,6	1,2375
5ª	1,78	0,9225
6ª	2,005	0,78
7ª	3,1525	4,23
8ª	2,51	2,2325
9ª	41,725	30,9
10ª	1,6775	1,42
11ª	28,675	24,2
12ª	28,675	23,9
13ª	1,565	1,6125
14ª	2,3125	2,0075
15ª	2,275	1,6975

Tabla 11 Resultados turbidez tras filtrado

En este segundo caso (tabla 11), una vez realizado el filtrado se observan como los datos son francamente positivos, ya que de las 15 muestras 11 obtienen valores por debajo de los 4 NTU. Si tenemos en cuenta la recomendación de la Organización Mundial de la Salud y el Real Decreto 742/2013 por el que establecen las condiciones técnico sanitarias que deben de cumplir las piscinas, 11 de las 15 muestras cumplen la ley al verse por debajo de los 5 NTU.

La segunda muestra, sería una excepción que sobrepasaría los 5 NTU, pero estaría por debajo de los 20 NTU, lo que no supondría el cierre inmediato del vaso de la piscina al público. Mientras que las muestras restantes, supondrían el cierre inmediato de las instalaciones de la piscina.

Anteriormente se concluía la existencia de ciertas muestras con un error accidental, en este caso esas muestras siguen con ese error, si bien la reducción del error entre la primera muestra y la segunda es mucho menor. Como ejemplo, previamente al filtrado la octava muestra antes del filtrado tenía una diferencia de 12 NTU y después del filtrado la diferencia solo es 0,3 NTU, en otras la diferencia es menor, aunque se nota una disminución general una vez filtrado. Por consiguiente el filtrado reduce ese error aleatorio o accidental.

Para terminar con la discusión y análisis de este apartado, la disminución general de la turbidez es muy pronunciada en ciertas muestras como la quinta y sexta entre otras, la disminución de 175 NTU previamente al filtrado a 2 NTU una vez realizado el filtrado pone en evidencia que los objetivos de reducción de la turbidez han sido alcanzados con el carbón activo y la tierra de diatomeas.

Muestras	Longitud de onda 535 nm	Longitud de onda 480 nm
1ª	0,025	0,013
2ª	0,011	0,008
3ª	0	0
4ª	0	0
5ª	0	0
6ª	0	0
7ª	0,002	0
8ª	0	0
9ª	0,060	0,061
10ª	0	0
11ª	0,027	0,029
12ª	0	0
13ª	0,020	0,019
14ª	0,012	0,009
15ª	0,010	0,007

Tabla 12 Resultados color con espectrofotómetro

Los resultados obtenidos tras las mediciones a dos longitudes de onda 535 nm y 480 nm se muestran en la tabla 12. Puede observarse cómo en los análisis realizados la reducción de color es prácticamente total, obteniéndose valores próximos al cero en casi la totalidad de las muestras.

En el laboratorio, se ha procedido a realizar una experimentación con la agitación estándar, 5 min a 200 rpm seguida de otra de 10 min a 75 rpm, a los 5 min después de haberla dejado reposar se toma una muestra y se mide turbidez, lo mismo a los 15 min. A estas muestras también se le han hecho análisis de color a 535 nm y 480 nm. Los resultados de la muestra a la que se le ha incorporado suelo E-10 son los siguientes (tabla 13):

	Medición turbidez	Absorbancia 535 nm	Absorbancia 480 nm
A los 5 min	893 NTU	1,073	1,025

Tabla 13 Resultados medición muestra agua mas suelo E-10

Como valoración general de los resultados y previa al proceso de optimización, se determina que se ha logrado la reducción de la turbidez y del color de manera satisfactoria a valores aceptables para el uso del agua en instalaciones acuáticas. Por ello se abre paso al siguiente paso de optimización para determinar que parámetros son los mas influyentes en el agua.

Se ha seguido un modelo estadísticos, dentro de ese modelo desarrollado se han obtenido graficas a través del programa Statistica 7.0 software, a continuación se muestran las diferentes graficas que nos permiten realizar el correspondiente análisis de resultados.

4.1.3.1 Variables utilizadas:

Las variables independientes utilizadas en el modelo son las siguientes (tabla 14):

a) Variables independientes	**Nomenclatura**	**Unidades**	**Rango de variación**
Concentración de carbón activo con tierra de diatomeas	[CA:D]	g/l	0,5-2,5
Concentración de sedimento	[Sed]	%	2,5-7,5
Salinidad	[S]	g/l	0-100
b)Variables codificadas, adimensionales			
Variable	**Nomenclatura**	**Unidades**	**Rango de variación**
Concentración de carbón activo con tierra de diatomeas, adimensional	x_1	([CA:D]-3/1,5	(-1,1)
Concentración de sedimento, adimensional	x_2	([pH]-10)/5	(-1,1)
Salinidad, adimensional	x_3	[(T)-100)/50	(-1,1)

Tabla 14 Variables independientes y sus rangos de variación

Las variables dependientes utilizadas en el estudio son (tabla 15):

Variables dependientes		
Variable	**Nomenclatura**	**Unidades**
Turbidez, 5 minutos	y_1	NTU
Turbidez, 5 minutos filtrado	y_2	NTU
Turbidez, 15 minutos	y_3	NTU
Turbidez, 15 minutos filtrado	y_4	NTU
Color	y_5	nm

Tabla 15 Variables dependientes estudiadas

Variables independientes				Variables dependientes				
Exp	x_1	x_2	x_3	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5
1	0	-1	-1	51,6	28,4	50,7	23,9	<L.D.
2	0	1	-1	46,3	16,04	66,7	19,9	<L.D.
3	0	-1	1	65,9	1,42	42,9	1,52	<L.D.
4	0	1	1	86,6	1,61	66,1	1,23	<L.D.
5	-1	-1	0	108,3	1,61	72,8	0,98	<L.D.
6	-1	1	0	175,0	2,22	116,8	0,81	<L.D.
7	1	-1	0	63,4	3,05	40,9	4,27	<L.D.
8	1	1	0	57,4	2,58	69,8	2,24	<L.D.
9	-1	0	-1	88,6	41,9	99,9	30,8	<L.D.
10	-1	0	1	75,8	1,77	61,4	1,42	<L.D.
11	1	0	-1	53,2	29,1	83,7	24,9	<L.D.
12	1	0	1	45,3	29,1	40,5	24,9	<L.D.
13	0	0	0	80,7	1,64	64,0	1,63	<L.D.
14	0	0	0	54,8	1,9	40,4	2,04	<L.D.
15	0	0	0	59,1	2,2	50,5	1,71	<L.D.

Tabla 16 Resultados del procedimiento Box-Behnken

En la tabla 16, se encuentran todos los resultados de las muestras con las diferentes variables dependientes e independientes. Es importante reseñar dentro de esta parte la variable dependiente y_5 que es la absorbancia, en este caso los resultados obtenidos han sido por debajo del límite de detención (<LD). Los buenos resultados obtenidos en el espectrofotómetro hacen que sea imposible realizar un estudio de la variable dependiente que es la absorbancia.

En la tabla 17 se muestran los datos del ajuste de la curva y el nivel de significación de cada uno de los parámetros. Se ha elegido un nivel $p<0,05$ por lo que se considera que todos aquellos parámetros cuyo nivel de significación superen este valor no se consideran influyentes en el proceso. De acuerdo con estos valores pueden definirse unas ecuaciones predictivas, despreciando aquellos factores que no resulten significativos para el proceso:

$$[\text{Turbidez}]_{5\ \text{min}} = 74,3-65,2[\text{CA:D}]$$

$$[\text{Turbidez}]_{5\text{min,filtrada}}=12,3+3,0[\text{CA:D}]-8,6[\text{CA:D}]^2+8,1[\text{Sed}]^2-18,2[\text{Sal}-15,0[\text{Sal}]^2+20,1[\text{CA:D}][\text{Sal}]$$

$$[\text{Turbidez}]_{15\ \text{min}} =51,6-38,3[\text{CA:D}]$$

$$[\text{Turbidez}]_{15\ \text{min, filtrada}}=1,8+4,4[\text{CA:D}]+5,0[\text{CA:D}]^2-4,8[\text{Sed}]^2-9,3[\text{Sal}]+13,7[\text{Sal}]^2+7,3[\text{CA:D}][\text{Sal}]$$

	y_1	p_{y1}	y_2	p_{y2}	y_3	p_{y3}	y_4	p_{y4}	y_5, y_6	p_{y5}, p_{y6}
b_0	74,28	0,0038*	12,19	0,00006*	51,63	0,017*	1,79	0,0049*	--	--
b_1	-65,15	0,024*	3,02	0,0047*	-38,27	0,047*	4,40	0,0006*	--	--
b_{11}	-22,89	0,104	-8,59	0,00035*	20,01	0,099	5,04	0,0006*	--	--
b_2	27,13	0,139	0,11	0,678	11,60	0,300	-0,145	0,445	--	--
b_{22}	-13,27	0,240	8,14	0,00040*	3,43	0,667	-4,75	0,0007*	--	--
b_3	6,53	0,622	-18,19	0,00016*	-0,30	0,974	-9,33	0,0002*	--	--
b_{33}	22,03	0,111	-14,96	0,00012*	-0,27	0,972	13,67	0,00008*	--	--
b_{12}	-36,35	0,120	-0,54	0,193	-3,77	0,589	-0,46	0,51	--	--
b_{13}	2,45	0,133	20,06	0,00019*	-1,17	0,861	7,34	0,0002*	--	--
b_{23}	25,32	0,727	2,82	0,27	-20,12	0,189	1,99	0,105	--	--

***Coeficiente significativo (p<0,05)**

Tabla 17 Resultados del procedimiento Box-Behnken

4.1.3.2 Análisis de datos mediante Gráficos de Pareto :

El orden de exposición a continuación es similar al de preparación, primero a los 5 min y 15 min antes del filtrado y posteriormente tras el filtrado.

El principio de Pareto establece que hay "unos pocos relevantes y muchos irrelevantes" o lo que es lo mismo el 80% de los problemas se pueden solucionar si se conocen el 20% de las causas (Ultsch, 2002).

Las gráficas que se muestran son mediante el principio de Pareto, los factores mas influyentes son los que influyen en el proceso estudiado, que en nuestro caso es la turbidez. De esa manera se pretende ver cuales son el 20% de las causas que originan en el 80% de los casos la turbidez del agua.

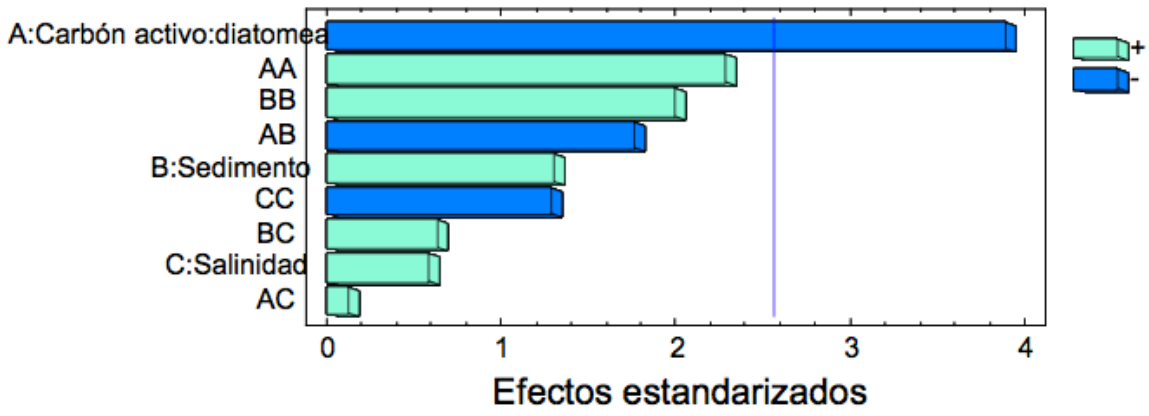


Figura 36 Gráfico de Pareto estandarizado para Turbidez 5 min

En esta primera imagen (Figura 36) podemos ver como cuales son los principales factores que influyen en la turbidez en los 5 minutos de reposo, no obstante hay que tener en cuenta que en esta primera medición la variabilidad del proceso es mucho mayor. El factor decisivo es el carbón activo y

la diatomea donde influye en nuestro proceso disminuyendo la turbidez. El resto de parámetros se consideran triviales para tener influencia sobre el proceso. Ya que no supera, la línea azul que representa el valor a partir del cual el proceso se puede tomar como influyente o vital. El resto de parámetros como es la salinidad y la combinación del resto, es influyente pero no decisivo.

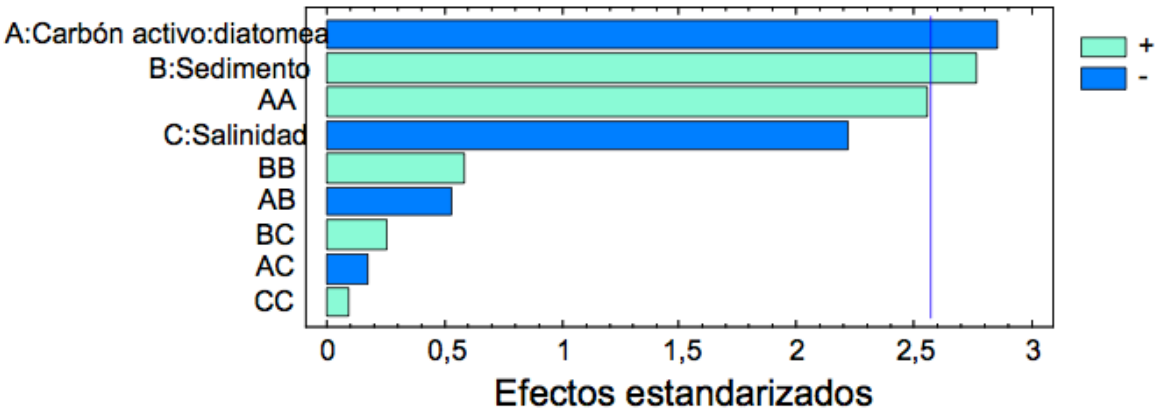


Figura 37 Gráfico de Pareto estandarizado para Turbidez 15 min

A los 15 minutos el carbón activo y la tierra de diatomeas siguen teniendo influencia sobre la turbidez, el sedimento aparece como factor que aumenta la turbidez del agua (Figura 37).

El primer dato que llama la atención es el factor AA, esto representa la variable combinada consigo misma, esto desde el punto de vista matemático nos permite calcular la curva o superficie, pero desde la aplicación practica no supone ninguna aplicación.

Las gráficas (Figura 36 y 37) coinciden con los datos mostrados anteriormente (Tabla 10 y 11) donde se ve como la turbidez es afectada con ambos factores. Como se mencionó anteriormente la cantidad de sedimento influye en el medio aumentando la turbidez y el adsorbente carbón activo y tierra de diatomeas influyen disminuyendo la turbidez. Como el carbón activo y la diatomea son elementos que añadimos nosotros al medio, somos capaces de influir sobre ellos, por ello es importante ver como influye en el medio y qué cantidad hemos de aportar para conseguir la menor turbidez.

La necesidad de reducir en el espacio temporal la turbidez nos hace que hagamos un filtrado del agua. A continuación se muestran las gráficas con los factores decisivos una vez realizado en el filtrado (Figura 38 y 39).

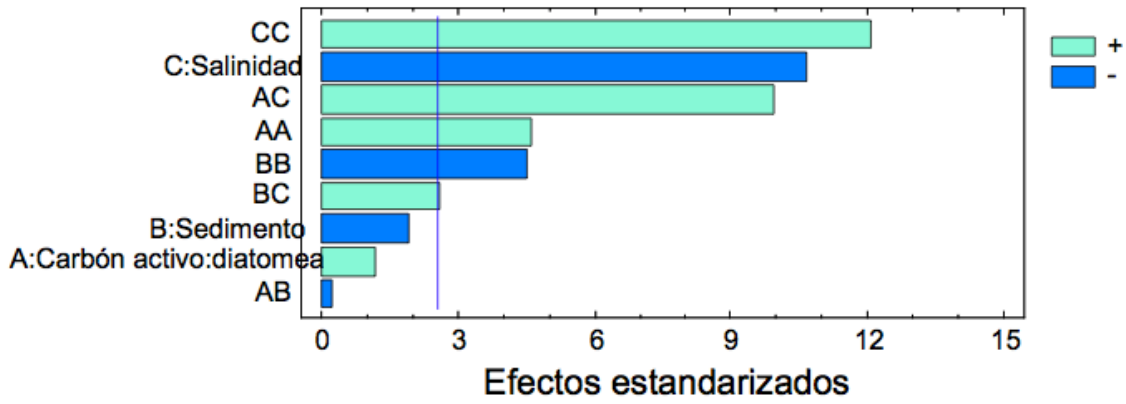


Figura 38 Gráfico de Pareto estandarizado para Turbidez 5 min filtrado

En esta gráfica (Figura 38) tras realizar el filtrado del agua residual, se observa como el sedimento y carbón activo y tierra de diatomeas han perdido influencia sobre la turbidez al haber quedado retenidos en el filtro, por ello ahora la salinidad adquiere un factor decisivo sobre la turbidez del agua. La salinidad influye reduciendo la turbidez lo que favorece desde el punto de vista práctico la coagulación de coloides.

La combinación del carbón activo y diatomea con la salinidad puede aumentar la turbidez si la relación entre ambas es inadecuada, lo mismo ocurre con la combinación del sedimento y la salinidad del agua.

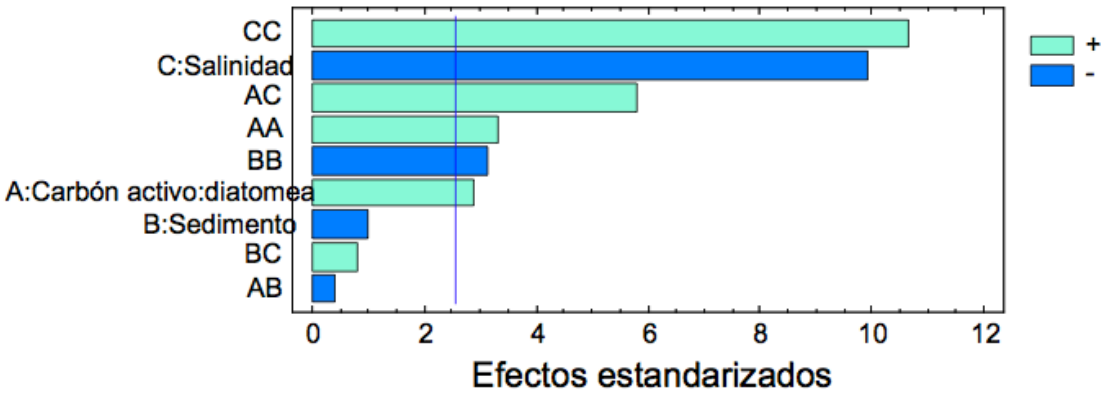


Figura 39 Gráfico de Pareto estandarizado para Turbidez 15 min filtrado

A los 15 minutos la salinidad (figura 39) sigue siendo factor influyente en la reducción de la turbidez, aunque el factor carbón activo y diatomea vuelve a tomar importancia en el proceso aumentando en este caso la turbidez, ello es debido a la baja granulometría del carbón lo cual dentro del proceso de filtrado hace que haya mayor turbidez del agua.

Las gráficas de Pareto nos dan cuales son los valores independientes mas influyentes sobre la turbidez, sin embargo que sea muy influyente no es suficiente para saber como es la tendencia sobre la cantidad aportada. En otras palabras, la cantidad de carbón activo y tierra de diatomeas es un factor influyente en la disminución de la turbidez, aunque no tiene por que tener una relación proporcional con la cantidad aportada, por lo que es necesario incluir un estudio mas detallado en el que se tenga en cuenta esa variable decisiva y su efecto en la turbidez del agua conforme la variación de la cantidad aportada o grado de variabilidad de la variable independiente, determinando los posibles puntos de inflexión

4.1.3.3 Efectos de las variables independientes sobre la turbidez:

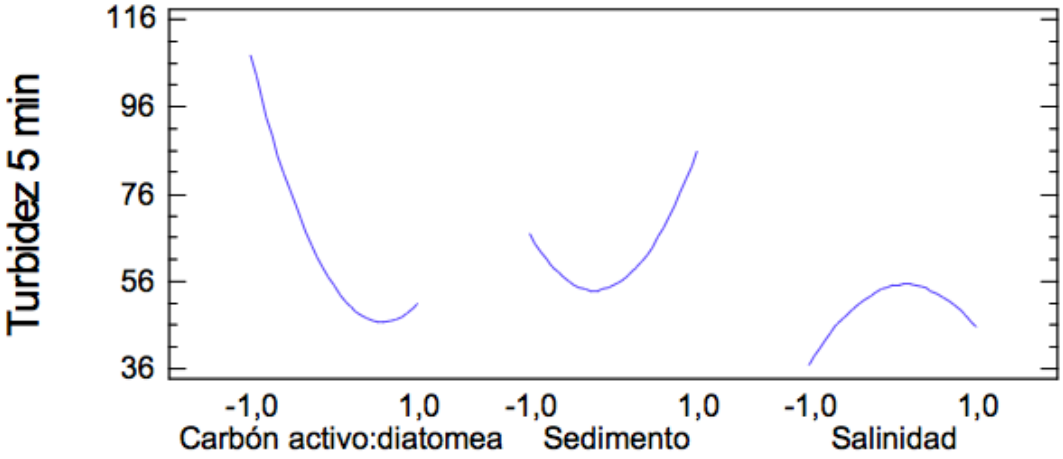


Figura 40 Gráfico de Efectos principales para Turbidez 5 min

Los 3 parámetros que hemos estudiado en el medio: carbón activo y diatomea, sedimento y salinidad, oscilan del menor punto, el cual tiene valor menos uno y aumentan hasta que adquiere su valor mayor que es uno.

El carbón activo y diatomea como se puede ver (figura 40) disminuye la turbidez a medida que se aumenta la cantidad aportada, es notable el punto de inflexión que tiene en valores cercanos a uno, donde invierte esa tendencia. Esta curva de la turbidez y adsorbente aportado es muy similar a los 15 minutos.

Si unimos el efecto del carbón activo con las causas directas de la turbidez, podemos concluir que el aumento del carbón activo es un factor muy decisivo para disminuir la cantidad de turbidez por lo que mayor cantidad de carbón activo reduce la turbidez, no obstante se debe prestar especial atención a la cantidad aportada, que puede implicar un aumento de la turbidez debido a la existencia de un punto de inflexión que se confirma en las gráficas a los 5 minutos y 15 minutos.

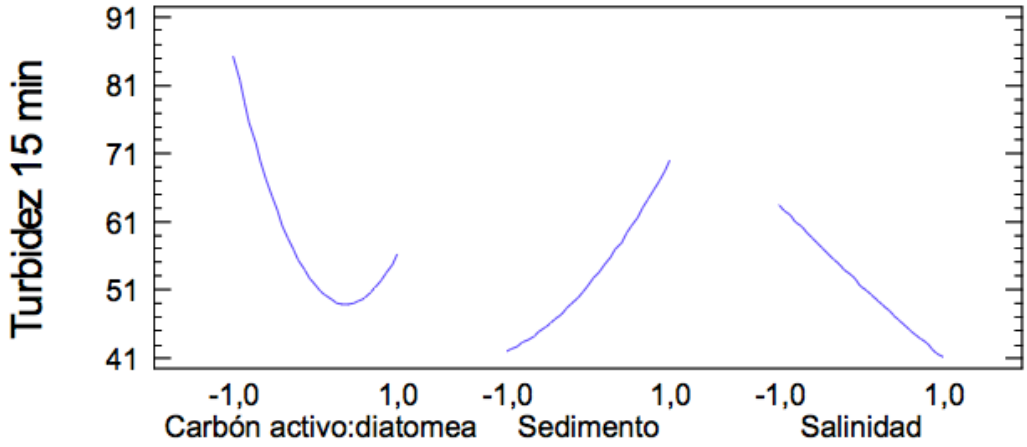


Figura 41 Gráfico de Efectos principales para Turbidez 15 min

La cantidad de sedimento (Figura 41) aportada aumenta la turbidez, si esto lo unimos a la grafica anterior de Pareto en la que se hace un análisis de la turbidez a los 15 minutos, se confirma que no es solo decisivo para el aumento de la turbidez sino que además mayor cantidad implica mayor turbidez

La tendencia general de la turbidez con la salinidad es disminuir a medida que aumenta, por tanto el uso de piscinas con agua salada es justificable y no influye negativamente sobre la turbidez. Todo lo contrario, la salinidad ayuda a disminuir la turbidez del agua.

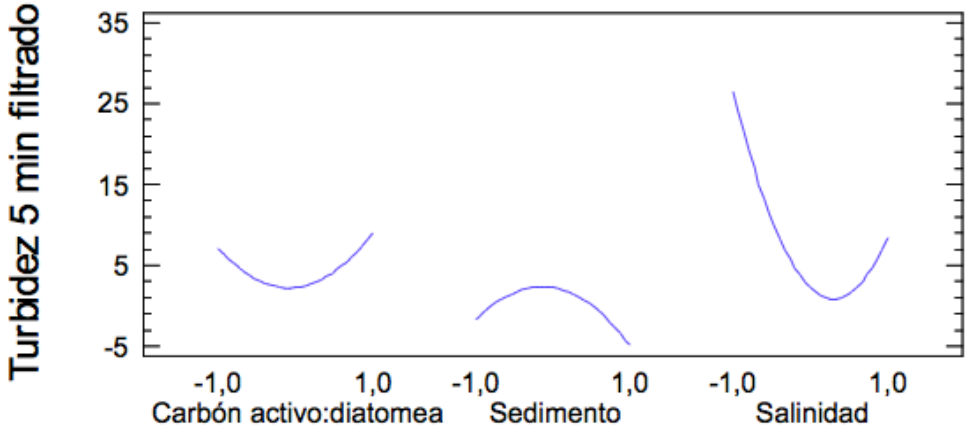


Figura 42 Gráfico de Efectos Principales para Turbidez 5 min filtrado

Las dos gráficas que se muestran a continuación (Figura 42 y 43) es una vez realizado el filtrado de las muestras a los 5 minutos y 15 minutos.

Como en las gráficas anteriores, un aumento en la concentración de carbón activo y tierra de diatomeas disminuye la turbidez hasta el punto de inflexión cercano a uno. El sedimento influye en la turbidez aumentando el efecto, aunque en este caso no es una variable decisiva según el grafico de Pareto. La salinidad sin embargo es un factor decisivo sobre la turbidez, la cual al aumentar hace disminuir la turbidez hasta el punto de inflexión en valores cercanos al punto medio.

Se debe prestar atención al estudio combinado que se comentó anteriormente de las variables conjuntas de carbón activo y tierra de diatomeas con la salinidad y el sedimento aportado con la salinidad.

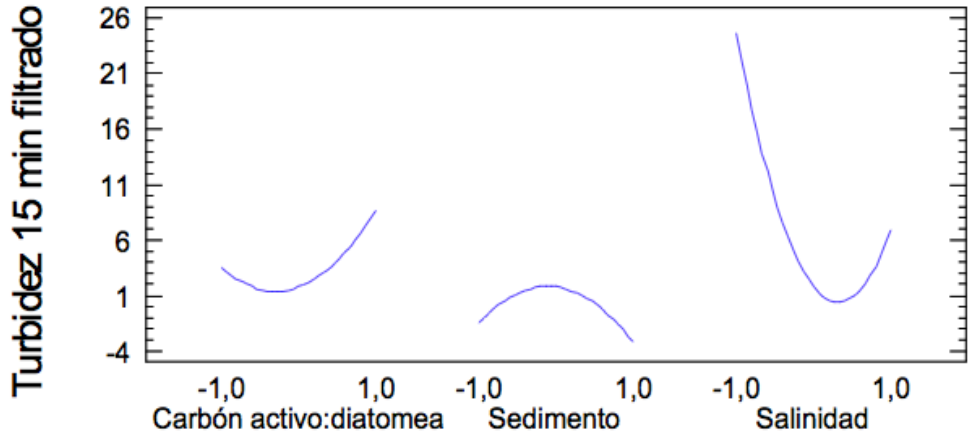


Figura 43 Gráfico de Efectos Principales para turbidez 15 min filtrado

Como resumen general de todo lo comentado anteriormente, y para visualizarlo de una manera mas gráfica se muestran en la tabla 18 :

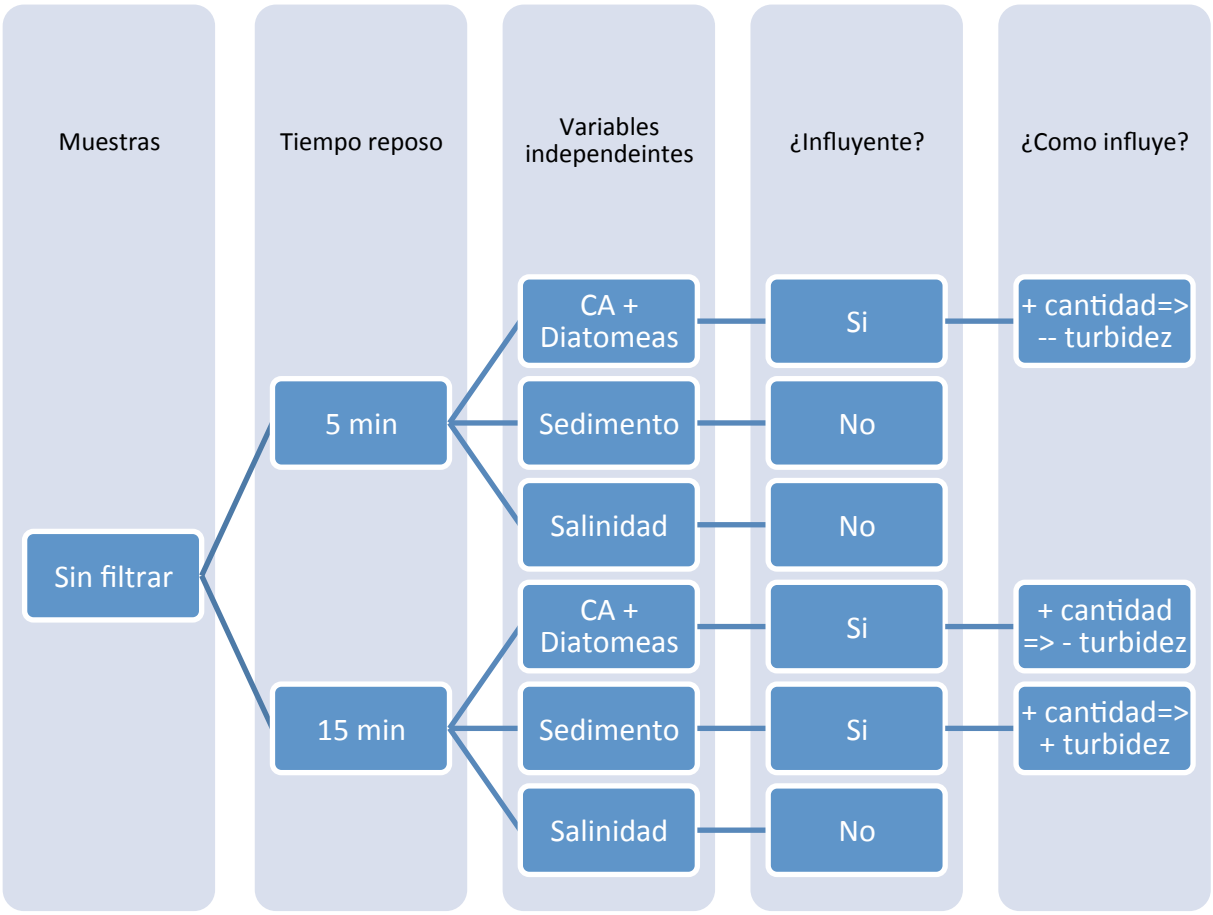


Tabla 18 Resumen de los resultados obtenidos sin filtrar

De una manera muy general y de forma gráfica se repite la misma gráfica anterior, pero con las muestras a las que se le ha procedido el filtrado (tabla 19).

Para la creación de la siguiente gráfica y simplificar la notación se ha tomado la siguiente nomenclatura como la combinación de las siguientes variables

- A*C: combinación de la tierra de diatomeas y carbón activo con la salinidad
- B*C: combinación del sedimento con la salinidad

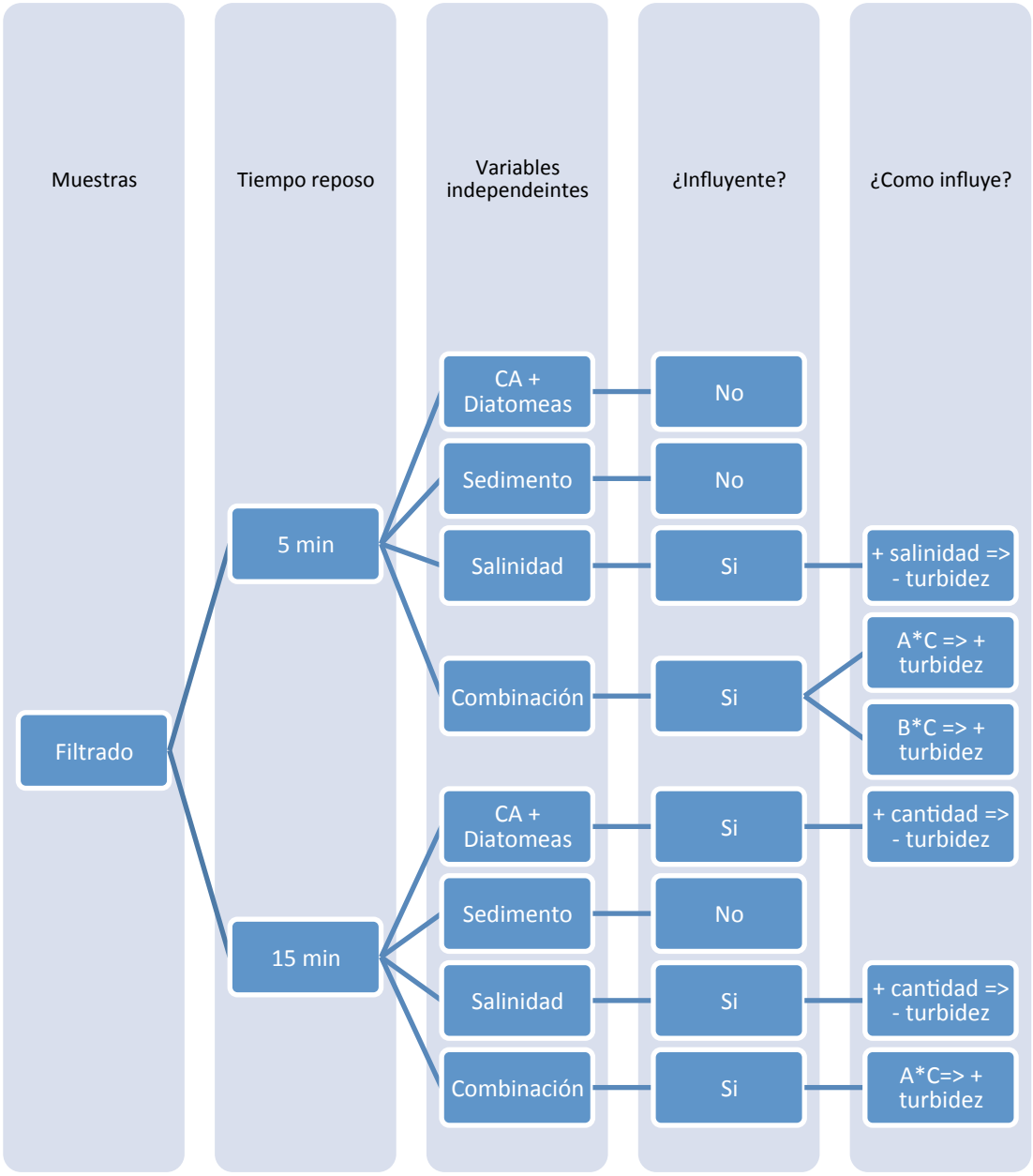


Tabla 19 Resumen de los resultados obtenidos una vez filtrados

4.1.3.4 Gráficas de variación de variables:

En la primera gráfica se puede observar cuanto da la turbidez, conforme a la variación de dos parámetros, carbón activo y tierra de diatomeas y sedimento con un valor fijo de salinidad al mínimo, es decir se fija una variable independiente al mínimo y las otras dos son las que se reflejan en la gráfica

En la figura 44, se puede observar como para valores bajos de carbón activo y tierra de diatomeas la turbidez alcanza los valores más altos, lo que justifica la utilización del adsorbente.

Se observa que a medida que el carbón activo y la tierra de diatomeas alcanza valores intermedios, la reducción general de la turbidez es bastante notable. El área que más nos interesa para nuestro ámbito de aplicación es aquella en la que la turbidez es menor, por tanto valores intermedios de carbón activo y tierra de diatomeas propician una mayor reducción de turbidez .

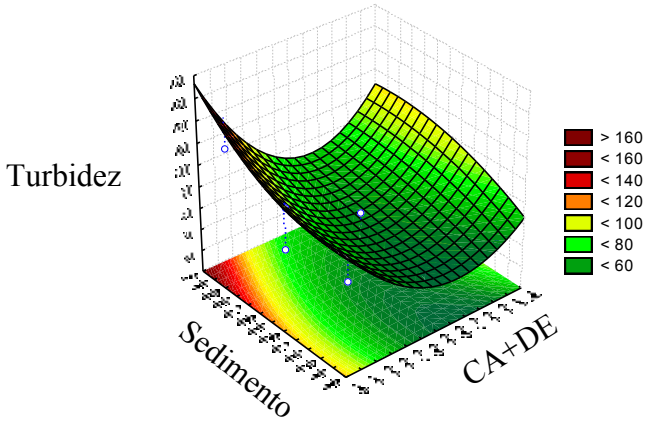


Figura 44 Turbidez 15 min fijando la salinidad al mínimo y sin filtrado de las muestras

El carbón activo y la tierra de diatomeas son factores que disminuyen la turbidez del agua, sin embargo el proceso no es suficiente ya que como se ha descrito en apartados anteriores es necesario realizar el filtrado de partículas para alcanzar unos valores de turbidez que se encuentren dentro de la legislación vigente (Real Decreto 742/2013, 2013).

En la figura , se observa cuales son los valores en los que debe encontrarse la cantidad de carbón activo y tierra de diatomeas para lograr una mayor reducción de la turbidez dentro de todo el rango de sedimento. Con valores altos de carbón activo y tierra de diatomeas la reducción de la turbidez alcanza los valores más bajos, aunque se debe tener en cuenta la combinación de la tierra de diatomeas y carbón activo con la salinidad ya que propicia un aumento de la turbidez del agua (tabla 19).

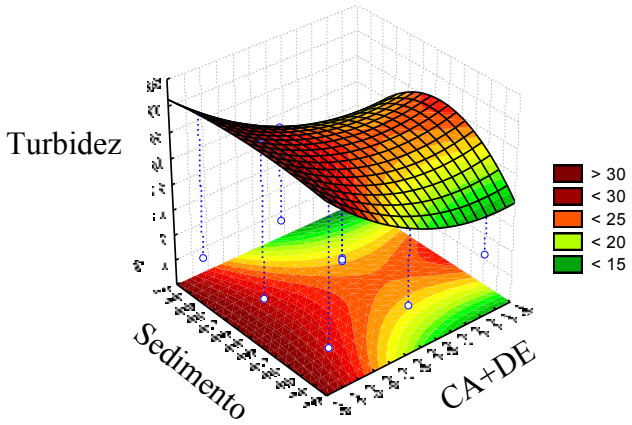


Figura 45 Turbidez 15 min fijando la salinidad al mínimo y filtrado de las muestras

4.1.3.5 Optimización de parámetros:

En este apartado se analizan cuales son los puntos en los que tenemos menor turbidez determinando cuales son los valores de las variables independientes, para conocer así cual es la cantidad de carbón activo que debemos aportar.

El punto en el cual se determina esa optimización, a los 15 minutos y sin filtrar es con los siguientes valores (tabla 20):

Variable independiente	Mínimo codificado	Máximo codificado	Óptimo codificado	Óptimo no codificado
Carbón activo y tierra de diatomeas	-1,0	1,0	0,357669	1,85
Sedimento	-1,0	1,0	-1,0	2,5
Salinidad	-1,0	1,0	1,0	100

Tabla 20 Resultados optimización 15 minutos sin filtrar

En la tabla 20 se determinan cuales son las cantidades óptimas que se obtienen del punto de la gráfica que tiene menor turbidez. Esas cantidades se corresponden con una turbidez 27,3966 NTU, lo que justifica la realización del filtrado de las muestras para obtener valores de turbidez inferiores.

Variable independiente	Mínimo codificado	Máximo codificado	Óptimo codificado	Óptimo no codificado
Carbón activo y tierra de diatomeas	-1,0	1,0	-0,53614	1,85
Sedimento	-1,0	1,0	-1,0	2,5
Salinidad	-1,0	1,0	0,477313	73

Tabla 21 Resultados optimización 15 minutos realizado filtrado

En la tabla 21 los valores que se obtienen, determinan los valores de las variables independientes mediante los cuales se consigue la menor turbidez. En este caso la turbidez resultante es -6,01854 NTU. En este caso un valor negativo de la turbidez se interpreta como 0 NTU, ya que la mínima

turbidez posible en el sistema es 0 NTU, aunque la metodología Box-Behnken incluya valores negativos.

4.1.4 Activación de la diatomea con hidróxido potásico y ácido sulfúrico:

La tierra de diatomeas que ha sido activada previamente en el laboratorio, es la que ha sido utilizada para la realización de dicho experimentación. Y posteriormente con ella se procede a la agitación a 200rpm durante 5 min y 75 rpm durante 10 min. Tras 15 minutos de reposo se toman las muestras y se obtienen los siguientes resultados (Tabla 20):

Muestras	Turbidez NTU
1ª Ácido	556 NTU
2ª Ácido	667 NTU
3ª Base	563 NTU
4ª Base	519 NTU

Tabla 22 Resultados reactivación diatomea tras reposo 15 min

La turbidez con tierra de diatomeas activada, es mucho mayor que sin la tierra de diatomeas utilizada. Dicha experimentación ha sido realizada con otros ácidos como es el HF (tal y como se describe en el estado del arte) y han dado resultados mas que positivos.

La técnica utilizada pretende utilizar otro tipo de ácido y base que no haya sido puesto en práctica en la técnica de activación de tierra de diatomeas, en menor relación que los ya experimentados.

Los resultados no cumplen una mejora de la turbidez, ni a corto plazo ni a largo. Ya que tras las 24 horas todavía se tienen niveles de turbidez mas altos que sin tierra de diatomeas (tabla 21).

Muestras	Turbidez NTU
1ª Ácido	31,5 NTU
2ª Ácido	28,0 NTU
3ª Base	26,9 NTU
4ª Base	32,0 NTU

Tabla 23 Resultados reactivación diatomea tras 24 horas en reposo

Como conclusión de la activación de la tierra de diatomeas, se deduce que las técnicas implementadas en nuestro laboratorio no llegan a alcanzar resultados que supongan una reducción de la turbidez. Si comparamos el tiempo que estuvo nuestra tierra de diatomea en la mufla con el acido/base con el tiempo que estuvo en la experimentación ya realizada (8 horas a 100ºC), se concluye que probablemente es necesario mantener mayor tiempo el reactivo en la mufla Queda como tarea pendiente hacer una activación de la tierra de diatomeas con mayor relación de acido/base y tierra de diatomeas, ya que en las practicas realizadas con HF (Tsai, Lai, & Hsien, 2005), los gramos de diatomea aportados variaban entre 2,5-12,5 gr de diatomea por cada 100 ml de HF. No obstante en las experimentaciones realizadas en este trabajo la cantidad de ácido/base era mucho menor.

5 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

Las conclusiones de este trabajo expuestas a continuación son parte del trabajo en las diferentes áreas en las que se ha ido trabajando. Se ha hecho un seguimiento, estudio y análisis detallado de las instalaciones de la piscina, como un estudio exhaustivo del proceso de depuración utilizado con tierra de diatomeas.

5.1 Conclusiones obtenidas en el TFG :

5.1.1 Fase previa al laboratorio:

Las principales conclusiones que se extraen en lo que afecta al diseño, construcción y dimensionamiento de la piscina son las que se mencionan a continuación:

- Las instalaciones de la piscina de la Escuela Naval Militar del año 1957 requieren una modernización y modificación de las instalaciones, los filtros se encuentran deteriorados y el 50% de las bombas fuera de uso, lo que hace que el agua no se recircule con la rapidez que debería, favoreciendo la decantación de partículas y una mayor contaminación del agua.

- Los filtros de diatomeas no realizan un correcto funcionamiento ya que parte de la diatomea sale al vaso de la piscina, influyendo en la turbidez del agua y su fibra sintética se encuentra deteriorada lo que hace que el ciclo de filtración se haya reducido a una semana.

- El diseño de la piscina no cumple las condiciones de una piscina de skimmers ni desbordante, por lo que su diseño necesita ser estudiado y modificado para adecuarse al de una piscina desbordante.

- La actual legislación vigente obliga a la instalación es piscinas de dosificadores automáticos de cloro y control del pH, esa modificación que no solo supone el cumplimiento de la legislación sino una menor carga de trabajo al destino de mantenimiento y una mejor percepción de la calidad del agua al usuario.

Los objetivos iniciales de la parte anterior al laboratorio han sido alcanzados de manera satisfactoria en el siguiente orden:

- ✓ En la primera fase se ha hecho un análisis de los principales problemas detectados en las instalaciones.

- ✓ En segundo lugar tras el seguimiento del mantenimiento realizado por el destino se han detectado errores en el uso de las diatomeas y su repercusión sobre la turbidez del agua.

- ✓ En tercer lugar se han analizado los problemas por los que no cumple las piscina ciertos aspectos de la legislación en lo referente al objeto de este trabajo

- ✓ Finalmente se han examinado los diferentes sistemas de depuración física instalados en piscinas, obteniendo conclusiones sobre como debe ser el correcto proceso de adsorción de la tierra de diatomeas y posteriormente confirmado en el laboratorio

5.1.2 En la fase del laboratorio:

En el laboratorio se ha confirmado el principal error en el uso de la tierra de diatomeas, al insertarla de manera directa sobre los filtros y sin ningún medio de retención que evite su salida al vaso, favoreciendo con ello el aumento de la turbidez. De la misma manera el personal de mantenimiento ha tenido dicha percepción en diversas pruebas en las que se ha incrementado la cantidad de diatomea aportada, aumentando la turbidez general de la piscina

Se han hecho diferentes pruebas en las que se concluye que la diatomea aumenta la turbidez inicial del agua de la piscina, posteriormente tras el estudio de la turbidez en partículas gruesas se concluye que la diatomea es mas efectiva sobre la turbidez en partículas de menor granulometría, aunque al ser menor el tamaño de las partículas la turbidez aparente es mayor pero la variación de turbidez en 10 minutos de reposo es mucho mayor, por lo que la eficacia de la diatomea es mayor en un sedimento de menor granulometría. Además en esta prueba se determina la cantidad óptima de tierra de diatomea que se debe de aportar para alcanzar un menor grado de turbidez.

Posteriormente en la siguiente experimentación se determina que la adición de carbón activo sobre la tierra de diatomeas no solo mejora la turbidez del agua sino que también adsorbe el color llegando a valores cercanos a cero. Dentro del proceso de mejora de la depuración del agua se han obtenido datos que avalan que en un largo espacio temporal las turbidez disminuye a valores aceptables para el uso del agua en instalaciones acuáticas, no obstante ese largo espacio temporal es inviable desde el punto de vista de una piscina ya que necesita rapidez en la depuración del proceso, con el objetivo de dar una solución a ese problema se adopta una etapa de filtrado, por la cual se consigue de manera inmediata valores de turbidez del agua y color prácticamente inmejorables, demostrando que de manera conjunta el carbón activo y tierra de diatomeas alcanzan resultados excelentes, propiciando un menor consumo de tierra de diatomeas al aportar el carbón activo cuyo coste es menor.

Dentro del proceso de la optimización de parámetros en la que se utiliza la metodología Box-Behnken, se ha hecho un análisis exhaustivo de los tres principales parámetros que afectan a la turbidez: sedimento, salinidad y cantidad aportada de carbón activo y tierra de diatomeas. En definitiva se obtienen diferentes gráficas en las que se muestran cuales son las variables independientes que mas afectan en la turbidez, dentro de las cuales el carbón activo y la tierra de diatomeas ayudan a reducir la turbidez en el medio, el sedimento aumenta la turbidez y la salinidad en las muestras filtradas reduce la turbidez. Se remarca la combinación de variables independientes a las cuales hay que hacer un seguimiento ya que puede influir en el aumento de la turbidez, si la relación entre ambas es inadecuada.

Finalmente en el laboratorio se ha realizado una experimentación de activación de la tierra de diatomeas mediante un ácido y una base en una relación menor que las utilizadas en otros trabajos. No se obtuvieron resultados plenamente satisfactorios debido a una baja relación tierra de diatomeas y ácido/base aportados. La falta de tiempo ha supuesto no poder dar por finalizada esta línea de investigación abierta con este proyecto, no obstante en el siguiente apartado se incluye como líneas futuras.

De manera general, se resumen los objetivos que han sido alcanzados en el laboratorio de manera satisfactoria:

- ✓ Inicialmente se ha visto la repercusión de la granulometría sobre la capacidad de la adsorción de la tierra de diatomeas, lo cual justifica la etapa del prefiltrado para la eliminación de partículas en suspensión.

- ✓ Se ha determinado la cantidad de tierra de diatomeas apropiada para una mayor reducción de la turbidez del agua.

- ✓ Se han determinado los efectos de la salinidad, sedimento y carbón activo y tierra de diatomeas sobre la turbidez del agua, conociendo a través de múltiples variables los efectos que producen sobre la turbidez del agua.

En resumen, podemos concluir que las variables independientes estudiadas en la optimización son influyentes en la turbidez del agua o variable dependiente de nuestros proceso. Esas variables que podemos delimitar y cuantificar son clave para alcanzar un nivel de agua óptimo para el usuario de las instalaciones acuáticas, de esa manera se consigue aportar las cantidades óptimas de carbón activo y tierra de diatomeas, optimizando el proceso de adsorción y que nos permiten alcanzar las altas exigencias en depuración de aguas alcanzando así el objetivo principal de este trabajo.

5.2 Líneas futuras:

El desarrollo del estado del arte junto al seguimiento del mantenimiento de las instalaciones, fomenta una visión global de las instalaciones y del conocimiento del entorno actual. Con ello surge la apertura de diversas líneas que no son afrontables dentro del trabajo de este proyecto ya que no forman parte de los objetivos, sin embargo son de gran interés para el desarrollo de futuros proyectos o líneas de investigación que continúen el aporte científico iniciado con este trabajo.

Por consiguiente, dentro de este apartado se abren diversas líneas futuras con el objetivo de:

- o Propiciar en el lector el desarrollo de esas líneas de investigación dentro del campo científico.

- o Dejar comenzada una línea de investigación a los alumnos de la Escuela Naval Militar para continuar las aportaciones que se propician en el ámbito de la investigación a través de la titulación de grado impartida por el Centro Universitario de la Defensa.

Las líneas futuras que se obtienen del trabajo son las siguientes:

- o "Adaptar el dimensionamiento y construcción de la piscina a la actual legislación vigente y a las características de una piscina desbordante permitiendo su correcto funcionamiento". Las instalaciones actuales de la piscina como su diseño se encuentran muy deterioradas, de las 12 bombas solo funcionan 6, las características de la piscina no cumple la características de piscina desbordante. Por ello se propone una revisión del número de bombas, revisión de la potencia instalada y de su caudal, renovación de los filtros, reparación de grietas por las cuales hay pérdidas de agua, etc. Haciendo una revisión del diseño para actualizarlo a las necesidades actuales.

- o "Diseño y estudio de un filtro que sustituya a los filtros actuales de diatomea y contemple la optimización realizada con el carbón activo y filtros de diatomeas". En este caso los resultados que hemos obtenido a través del carbón activo y la tierra de diatomeas se deben

implementar en un nuevo diseño de filtros que contemple ambas granulometrías y que evita la salida de ambos adsorbentes al vaso. Solucionando así el problema de la salida al vaso de la diatomea y bajando el coste del mantenimiento de la piscina a través del uso conjunto de la tierra de diatomeas y carbón activo.

- "Estudio para la elección de un óptimo dosificador que realice el proceso de desinfección del agua de manera automática y el control y regulación del pH". La actual legislación vigente obliga a la instalación de dosificadores automáticos para la desinfección química, esta línea futura pretende aportar cual sería el mejor dosificador para las actuales instalaciones en la piscina de la Escuela Naval, teniendo en cuenta el actual escenario de restricción económica.

- "Continuación del apartado de activación de la tierra de diatomeas a través de un ácido y base para mejorar la turbidez del agua". Los datos obtenidos unidos a la falta de tiempo han hecho dejar abierta esta línea de investigación, en la que se debe alcanzar una relación óptima de ácido/base para la activación de la tierra de diatomeas, determinando si las cantidades de ácido/base que propicien una reducción de la turbidez.

- "Pruebas reducción turbidez en combinación de la tierra de diatomeas con zeolitas" Como líneas futuras queda pendiente el tratamiento conjunto de la zeolita con la tierra de diatomeas.

Finalmente estas líneas generales alcanzadas con la realización de este trabajo fin de grado no solo deben considerar las líneas incluidas en este proyecto, sino que además deben tener en cuenta otras recomendaciones realizadas de otros trabajos en los cuales tengan alguna parte en común con las instalaciones de la piscina. Valorando otras propuestas con el fin de alcanzar una mejora real de las instalaciones.

6 BIBLIOGRAFÍA

Ultsch, A. (2002). *Prueba de la Ley de Pareto 80/20 y los Límites Precisos para Análisis ABC.* University Malburg, Malburg (Germany).

Universidad Autónoma de Baja California Sur. (s.f.). *Filtración y Tratamiento del Agua*. Recuperado el 27 de 02 de 2015, de UABCS: http://www.uabcs.mx/maestros/ccaceres/acuacultura/Filtracion.htm

University College London. (s.f.). *Microfossil Image Recovery and Circulation for Learning and Education*. Recuperado el 20 de 1 de 2015, de Diatoms: http://www.ucl.ac.uk/GeolSci/micropal/diatom.html

United Nations. (28 de 10 de 2010). *General Assembly of United Nations.* Recuperado el 5 de 2 de 2015, de United Nations: http://www.un.org/en/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/64/292&Lang=S

United States Geological Survey. (2015). *Mineral Commodity Summaries.* Recuperado el 3 de 2 de 2015, de USGS: http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/

Arenas, G. V. (2011). Instalaciones en Piscinas. *Instalaciones I: Universidad Politecnica de Cartagena* . Cartagena: ARQ & IDEA.

Bacaicoa, J. S. (1992). Piscinas de Tratamiento: Higiene y Control. En *Jornadas de Aguas Minerales y Minero Medicinales en España.* Instituto Geológico y Minero de España.

Banco de Datos del Ayuntamiento de Madrid. (2012). *Área de Información Estadística del Ayuntamiento de madrid.* Recuperado el 5 de 2 de 2015, de Munimadrid: http://www-2.munimadrid.es/CSE6/control/seleccionDatos?numSerie=14030200040

Centers for Disease Control and Prevention. (25 de 6 de 2013). *Centers for Disease Control and Prevention*. Recuperado el 13 de 1 de 2015, de http://www.cdc.gov/healthywater/swimming/rwi/

CESEDEN. (2007). Fuerzas Armadas y Medioambiente. *Documentos de Seguridad y Defensa* , 104.

Corral, M., Vergara, E. P., & Alba, F. (2010). Estudio de las piscinas para su reutilización. (pág. 10). Madrid: Universidad de la Rioja.

Corral, M., Vergara, E., & Alba, F. Eliminación del Ácido Isocianurico Presente en el Agua de las Piscinas. *12th International Conference of Project Engineering.*

Empresa ATH. (2012). Empresa Dedicada a la Produccion de Filtros de Cartuchos.

Empresa Hortícola Pedralbes. (2015). *Hortícola Pedralbes*. Recuperado el 28 de 1 de 2015, de http://horticoladepedralbes.com/pdfs/ficha_tecnica_zeolita.pdf

Esteban, C. I. (2005). Usos Indutriales de las Algas Diatomeas. *Quercus* .

Decreto 103/2005. (2005). Reglamentación técnico-sanitaria de piscinas de uso colectivo. *Reglamentación técnico-sanitaria de piscinas de uso colectivo* . Galicia: Xunta de Galicia.

Dirección General de Promocion Deportiva de la Comunidad de Madrid. (2008). *Mantenimiento de Instalaciones Acuaticas.* Madrid: BOCM.

Dong, L., Peng , Y., Daoyong, T., Hongmei, L., Tong , W., Mingde, F., y otros. (2012). Facile preparation of hierarchically porous carbon using diatomite as both template and catalyst and methylene blue adsorption of carbon products. *Journal of Colloid and Interface Science* .

Dryden Aqua. (s.f.). *Dryden Aqua*. Obtenido de Dryden Aqua: http://www.drydenaquapools.com/

Federación de Asociaciones de Fabricantes de Equipos y Constructores de Piscinas, Saunas y Spas. (2011). *El Sector de la Piscina en España.* Barcelona: Market AAD.

Izquierdo, J. F., Cunill, F., Tejero, J., Iborra, M., & Fité, C. (2004). *Cinetica de las Reacciones Químicas.* Barcelona, España: Publicacions de la Universitat de Barcelona.

Insitut de la Filtration et des Techniques Séparatives. (2014). *Insitut de la Filtration et des Techniques Séparatives*. Recuperado el 4 de 02 de 2015, de IFTS: http://www.ifts-sls.com/?lang=en

Instituto de Agrobiotecnología. (s.f.). *Idab*. Recuperado el 13 de 02 de 2015, de Grupo de investigación de Biofilms Microbianos: http://www.agrobiotecnologia.es/es/grp-biofilmsMicrobianos/index.htm

International Zeolite Association. (2014). *International Zeolite Association*. Recuperado el 29 de 01 de 2015, de IZA: http://www.iza-online.org/

Hidritec. (s.f.). *Hidritec.* Obtenido de Hidritec: http://www.hidritec.com/hidritec/desinfeccion-con-ultravioleta

Nieto Vilardell, E. (2014). *Manual de Mantenimiento Avanzado de Piscinas.* Écija: Ediciones Fidestec.

Marcó, L., Azario, R., Metzler, C., & García , M. (2004). La turbidez como indicador básico de calidad de aguas potabilizadas a partir de fuentes superficiales. *Higiene y Sanidad Ambiental* .

Pentair. (2008). *System 3 Filtros DE.* Recuperado el 02 de 20 de 2015, de Pentair Pool: http://www.pentairpool.com/pdfs/sys3deDS.pdf

Organización Mundial de la Salud. (2004). *Guía para la Calidad del Agua Potable.* Organizacion Mundial de la Salud. Ginebra: Vol 1.

Ramsey, D. (1994). *Piscinas* . Madrid: Paraninfo.

Real Decreto 742/2013, B. (2013). Criterios Técnico-Sanitarios de las Piscinas. *Criterios Técnico-Sanitarios de las Piscinas* . Madrid: BOE.

REINDESA. (2011). *Reidesa.* Recuperado el 20 de 01 de 2015, de Desinfección de Piscinas: http://www.reindesa.com/metododos-desinfeccion-tratamiento-piscinas

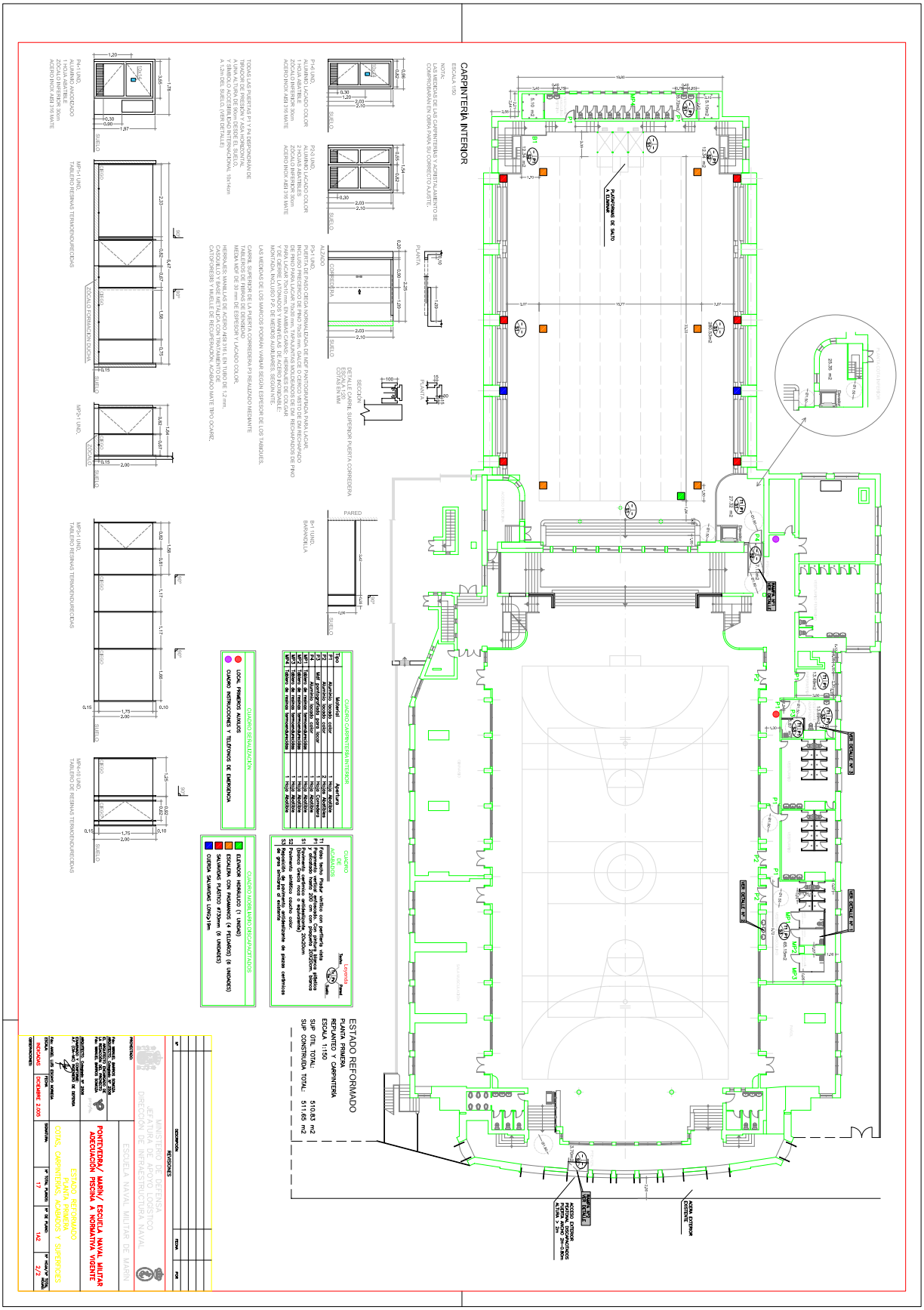
Suárez Bernal, M., & Blancas Cabello, C. (2001). *Recomendaciones Higiénico Sanitarias en Piscinas de Uso Colectivo.* Consejería de Salud Junta de Andalucia.

Sastre, J. A. (2005). *Tecnologías para la sostenibilidad* (1ª ed.). Madrid: Fundacion EOI.

Tsai, W.-T., Lai, C.-W., & Hsien, K.-J. (2005). Caracterización y Propiedades de Adsorción de Tierras de Diatomeas Modificados por Ácido Fluorhídrico. *Journal of Colloid and Interface Science* .

ANEXO I: PLANO DE LA PISCINA DE LA E.N.M

Como información complementaria a este trabajo se adjunta un plano de todo el "Gimnasio Barrutia" y de las dimensiones detalladas de la piscina.


CARPINTERÍA INTERIOR
ESTADO REFORMADO
PLANTA PRIMERA
REFLANTEO Y CARPINTERIA
ESCALA 1:150
SUP. ÚTIL TOTAL: 510,83 m2
SUP. CONSTRUÍDA TOTAL: 511,65 m2
PONTEVEDRA/ MARÍN/ ESCUELA NAVAL MILITAR
ADECUACIÓN PISCINA A NORMATIVA VIGENTE
ESTADO REFORMADO
PLANTA PRIMERA
COTAS, CARPINTERÍAS, ACABADOS Y SUPERFICIES
DICIEMBRE 2.020
1/42
2/2
MINISTERIO DE DEFENSA
JEFATURA DE APOYO LOGÍSTICO
DIRECCIÓN DE INFRAESTRUCTURA NAVAL
ESCUELA NAVAL MILITAR DE MARÍN

ANEXO II: VALORACIÓN PRESUPUESTOS DE DIFERENTES EMPRESAS

En este anexo se detallan los diferentes presupuestos solicitados a diferentes empresas en los que se pide un informe económico sobre el posible coste de la instalación de los dosificadores automáticos y reguladores de pH más comercializados en la actualidad .

Con el fin de mantener la confidencialidad de los datos y no mostrar estrategias comerciales de las diferentes empresas, se muestran los diferentes costes.

Tipo de instalación	**Precio Bruto en €**
Ozono	25.617,21
Cloro	3.630,36
Clorador Salino	19.998,00
Ozono y UV	21.642,98

El precio que se desglosa es bruto a lo que habría que añadirle el 21% de IVA