Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

Eliminación de contaminantes en aguas sanitarias por métodos fotoquímicos

Grado en Ingeniería Mecánica

ALUMNO: Alejandro Mackinlay Hidalgo

DIRECTORES: Santiago Urréjola Madriñán

Claudio Cameselle Fernández

CURSO ACADÉMICO: 2019-2020

Universidade Vigo

Centro Universitario de la Defensa
en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

Eliminación de contaminantes en aguas sanitarias por métodos fotoquímicos

Grado en Ingeniería Mecánica

Intensificación en Tecnología Naval

Cuerpo General / Infantería de Marina

Universidade Vigo

RESUMEN

Hoy en día, el agua potable es un bien preciado y escaso que debe pasar pruebas tanto exhaustivas como normalizadas, para que pueda ser consumido. La razón principal de que exista tanta normativa es que el agua es el hábitat de muchos microorganismos potencialmente peligrosos para los humanos. Para combatir este problema, existen tratamientos de aguas que logran sanearlas completamente.

Por ello, la idea del presente trabajo surge de las enfermedades gastrointestinales que padecieron los tripulantes en el XC Crucero del Buque escuela Juan Sebastián Elcano. La epidemia se creé que fue causada por la contaminación del agua de abordo. Se opta por realizar un estudio de un sistema de desinfección del agua mediante luz ultravioleta.

En este trabajo se llevará a cabo un estudio que pueda cuantificar la naturaleza de inactivación de poblaciones microbianas mediante tratamiento fotoquímico, centrándose en las bacterias coliformes fecales, tales como, *Escherichia Coli.* Además, se llevará a cabo una propuesta que mejore el sistema de suministro de agua potable utilizando lámparas ultravioleta.

PALABRAS CLAVE

Lámparas Ultravioleta, *Escherichia Coli*, Agua Potable, Enfermedades Gastrointestinales, Medios de Cultivo

AGRADECIMIENTOS

A mis tutores. Santiago Urréjola Madriñán y D. Claudio Cameselle Fernández, por el tiempo y esfuerzo invertido en guiarme y corregirme durante los meses en que he llevado a cabo este trabajo. Por haberme ayuda aportando todo el material y tiempo que he necesitado.

A mis compañeros de la Escuela Naval Militar con los que he compartido tantos momentos, buenos y malos, a lo largo de estos cinco años. En especial, a mi compañero Luis Gibert Guitart, por haberme mostrado lo valiosa que es la vida y haberme enseñado a tratar bien a todo el mundo.

A mis amigos de la infancia, por la lealtad que siempre me han demostrado en todos estos años. En especial a mi amigo Manuel Domínguez Gómez, quien me ha asesorado en el desarrollo del presente trabajo. También a mi ahijado Álvaro Romero Aguilar por proporcionarme información desde la mar.

A mi novia Marta, quien me lleva alegrando desde hace tres años, por haberme ayudado a levantarme cada vez que me derrumbo. También por ilusionarme y motivarme a superarme día tras día.

A mi cuñada Clara, por la generosidad que he recibido de ella en momentos difíciles, ayudándome activamente a superarlos.

A mi familia en general, y en especial a mis padres y hermanos, pilares básicos para haber conseguido estar donde estoy, y sobre todo, ser como soy.

Contenido

Contenido 1
Índice de Figuras 3
Índice de Tablas 6
1 Introducción y objetivos 7
1.1 Introducción 7
1.2 Motivación 8
1.3 Objetivos 9
2 Estado del arte 11
2.1 Enfermedades Gastrointestinales 11
2.1.1 Gastroenteritis Vírica 11
2.1.2 Gastroenteritis Bacteriana 12
2.2 Propiedades y tipos de agua 13
2.2.1 Propiedades del agua 13
2.2.2 Tipos de agua 16
2.3 Tratamientos de aguas 17
2.3.1 Tratamientos Físicos del agua potable 18
2.3.2 Tratamientos químicos del agua potable 21
2.4 Desinfección por rayos ultravioletas 23
2.4.1 Generalidades 23
2.4.2 Requisitos para la desinfección UV 23
3 Desarrollo del TFG 26
3.1 Plan de trabajo 26
3.1.1 Desarrollo general 26
3.2 Metodología 28
3.2.1 Materiales y equipos utilizados 28
3.2.2 Medios de Cultivo 35
4 Resultados / Validación / Prueba 36
4.1 Estudio Cualitativo 36
4.1.1 Fase inicial 36
4.1.2 Desarrollo del análisis bacteriano 36
4.2 Estudio Cuantitativo 41
4.2.1 Prueba inicial de búsqueda del tiempo de desinfección 41
4.2.2 Segundo ensayo: Búsqueda de la cinética de inactivación 45

4.2.3 Tercer ensayo: Búsqueda de la cinética de inactivación....47
4.3 Comparativa y estudio de la viabilidad....50
4.3.1 Recta de inactivación de la práctica....50
4.3.2 Comparación entre datos experimentales y bibliográficos....54
4.4 Diseño....55
4.4.1 Estudio de viabilidad....55
4.4.2 Estrategia de trabajo....56
4.4.3 Calculo de caudal de agua a tratar....56
4.4.4 Calcular la transmitancia....57
4.4.5 Dosis UV requerida....58
4.4.6 Elección de lámpara UV....58
4.4.7 Medición y modelado de tanque....59
4.4.8 Separación entre lámparas....60
4.4.9 Diseño final....62
4.5 Ventajas y desventajas del diseño....64
5 Conclusiones y líneas futuras....65
5.1 Conclusiones....65
5.2 Líneas futuras....65
6 Bibliografía....67
Anexo I: Estudios experimentales....71
6.1 Fotografías de las placas Petri....72
Anexo II: Diseño....75
6.1 Encuesta realizada a la Promoción 420/150 de la Armada Española (05/02/2020)....75
6.2 Planos tanque con sistema fotoquímico....76

Índice de Figuras

Figura 1-1 B/E Juan Sebastián Elcano en su XC Crucero....7
Figura 1-2 Itinerario realizado en el XC Crucero de Instrucción....8
Figura 1-3 Medidas para frenar el cambio Climático....9
Figura 2-1 Rotavirus....11
Figura 2-2Norovirus....12
Figura 2-3 Astrovirus....12
Figura 2-4 Crecimiento exponencial de E.Coli en el tiempo....13
Figura 2-5 Temperatura del agua en la superficie (ºC)....15
Figura 2-6 Distribución del agua de la Tierra....16
Figura 2-7 Diagrama conceptual de los principales tratamientos de aguas....17
Figura 2-8 Célula Vegetal realizando Osmosis....18
Figura 2-9 Osmotizador MARCO ESPAÑA S.A. modelo 8003 del J.S. Elcano....19
Figura 2-10 Tanque de flotación....20
Figura 2-11 Planta TAR del B/E Juan Sebastián Elcano....21
Figura 2-12 Formación de partícula de Ozono....22
Figura 2-13 Escala expandida del espectro de la radiación UV....23
Figura 2-14 Rayos ultravioleta incidiendo sobre los nucleótidos de los microorganismos....24
Figura 2-15 Efectos producidos por las partículas sobre los rayos ultravioletas....25
Figura 2-16 Diseño de una lámpara de arco de mercurio y de tipos de balasto.....25
Figura 3-1 Esquema de la metodológica del trabajo....27
Figura 3-2 Turbidímetro Cienytech....29
Figura 3-3 Calibración del Turbidímetro.....29
Figura 3-4 Test de prueba de Bacterias Coliformes y E. Coli....30
Figura 3-5 Balanza Digital....30
Figura 3-6 Calentador y agitador magnético....30
Figura 3-7 Gravilla, tubos de ensayo, puntas y micro pipeta.....31
Figura 3-8 Estufa de laboratorio 'INDELAB'....31
Figura 3-9 Equipo filtración al vacío....32
Figura 3-10 Mechero Bunsen y Placas Petri....32
Figura 3-11 Sistema de Desinfección UV....33
Figura 3-12 Estereomicroscopio marca Motic con cámara 2.0M Pixel....34
Figura 3-13 Microscopio Metalúrgico marca Kruss....34
Figura 4-1 Preparación del medio de cultivo Agar Bilis Rojo-Violeta....37

Figura 4-2 Dilución de la muestra 37
Figura 4-3 Esterilización e Incubación 38
Figura 4-4 Primer ensayo de la muestra sin tratamiento 39
Figura 4-5 Recuento bacteriano en aguas residuales 40
Figura 4-6 Test AQUAVIAL de muestra sin tratar 40
Figura 4-7 Imágenes observadas con el Microscopio Metalúrgico marca Kruss (Objetivo 40X) 40
Figura 4-8 Mapa conceptual del estudio Cualitativo 41
Figura 4-9 Preparación de medio de cultivo ISO 6222:1999 42
Figura 4-10 Medida de la turbidez y pH antes del tratamiento UV 43
Figura 4-11 Siembra en profundidad e incubación del primer ensayo 44
Figura 4-12 Resultados obtenidos en la primera prueba 44
Figura 4-13 Segunda prueba experimental con filtro de membrana 46
Figura 4-14 Segunda serie de placas Petri ya desinfectadas 46
Figura 4-15 Mapa conceptual del estudio cuantitativo 47
Figura 4-16 Ejemplo de Cinética de inactivación de diferentes microorganismos 48
Figura 4-17 Tercera serie de placas tratadas con luz ultravioleta 49
Figura 4-18 Gráfica de desinfección de la tercera serie (Tabla 4-5) 50
Figura 4-19 Consideraciones para cálculo de la Intensidad media 52
Figura 4-20 Gráficas de inactivación de una población microbiana 54
Figura 4-21 Gráfica de Inactivación microbiana del experimento con reducción al 100% 54
Figura 4-22 Nueva propuesta de generación de agua potable en el JSE 56
Figura 4-23 Diámetro de tubería de salida del sistema de agua fría del JSE 57
Figura 4-24 Transmitancia de la luz y resultados de la encuesta 58
Figura 4-25 Medición de tanque de agua 3A en AutoCAD 59
Figura 4-26 Modelado del depósito del tanque 60
Figura 4-27 Disposición y distribución de intensidades de las lámparas UV 61
Figura 4-28 Diseño de las lámparas colocadas 62
Figura 4-29 Sistema de tratamiento fotoquímico en depósito de agua 62
Figura 4-30 Sistema de tratamiento fotoquímico en depósito de agua definitivo 63
Figura 4-31 Volumen del sistema de desinfección dentro del tanque (5065 Litros) 63
Figura 0-1 Placa Petri 18 72
Figura 0-2 Placa Petri 20 72
Figura 0-3 Placa Petri 21 73
Figura 0-4 Placa Petri 22 73
Figura 0-5 Placa Petri 23 74
Figura 0-6 Placa Petri 24 74

Índice de Tablas

Tabla 2-1Parámetros Químicos del Agua 14
Tabla 2-2 Parámetros biológicos para aguas comerciales.....15
Tabla 2-3 Parámetros biológicos generales.....15
Tabla 3-1 Características de la lámpara germicida usada 33
Tabla 3-2 Características de Caldo de cultivo ISO 6222:1999 35
Tabla 3-3 Características Agar Bilis Rojo-Violeta.....35
Tabla 4-1 Filtración por membrana, estudio cualitativo 38
Tabla 4-2 Primer planeamiento de desinfección UV ISO 6222:1999.....43
Tabla 4-3 Segundo ensayo cuantitativo con filtración de membrana y Agar Bilis Rojo-Violeta 45
Tabla 4-4 Tercer ensayo cuantitativo con filtración de membrana y Agar Bilis Rojo-Violeta.....48
Tabla 4-5 Recuento de colonias de la tercera serie de placas.....49
Tabla 4-6 Dosis UV y Reducción logarítmica de la tercera serie de placas Petri 53
Tabla 4-7 Probabilidades estadísticas para desinfectar una muestra contaminada 53
Tabla 4-8 Datos Excel 61
Tabla 0-1 Dosis UV en MWs/cm2 necesaria para inactivar una población microbiana por 1 Log (90%) y 2 Log (99%) 71

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 Introducción

La materia que se expondrá en este trabajo tocará varias ramas de la ciencia, con el objetivo de dar solución a un problema particular que motivó a realizar dicho estudio. Aunque la cuestión a tratar tenga sus bases en la experiencia personal, se demostrará que puede ser aplicable a más situaciones y ser una alternativa a los métodos más populares utilizados.

El objetivo de este trabajo es la utilización de tratamientos fotoquímicos para conseguir eliminar bacterias *Escherichia Coli* del agua para su posterior uso humano. Sería recomendable que las siguientes generaciones desarrollasen mediante sus Trabajos de Fin de Grado un diseño mecánico, fundamentando así, la viabilidad del posible proyecto futuro.

Dicho proyecto consistiría en la implantación de un sistema de esterilización del agua mediante lámparas ultravioletas instaladas en los tanques de agua potable del Buque Escuela Juan Sebastián Elcano (Figura 1-1).

Figura 1-1 B/E Juan Sebastián Elcano en su XC Crucero

Una peculiaridad de este buque, en relación con otros buques que están en servicio en la Armada Española y en otras marinas de guerra, es la obtención de agua potable para el consumo humano

mediante la ósmosis inversa. Si bien es una capacidad que ofrece indiscutibles ventajas económicas y administrativas indiscutibles para este tipo de barco [1], que realiza largas travesías, tiene ciertas carencias sanitarias relativas a la calidad del agua que pueden afectar a la salud de la dotación si no se toman medidas preventivas. Este proyecto no tiene como finalidad cuestionar el funcionamiento del sistema de agua potable ni las decisiones tomadas respecto al consumo a bordo de este buque nonagenario sino que busca mejorar la eficiencia con la adicción de una sección de tratado fotoquímico para asegurar el bienestar general de las dotaciones futuras.

1.2 Motivación

La idea de este trabajo comenzó a desarrollarse cuando se realizaron las prácticas abordo del J.S. Elcano en su XC crucero. Como se puede observar en la Figura 1-2 [2], el viaje consistía en cruzar el Océano Atlántico rumbo a Sudamérica bordeando dicha costa hasta cruzar hacia el Océano Pacífico. Así pues, se bordeaba la costa Oeste del Continente para volver a España al haber cruzado el Canal de Panamá haciendo, durante su travesía, paradas en países sudamericanos como Brasil o Argentina.

Figura 1-2 Itinerario realizado en el XC Crucero de Instrucción

Aunque en principio puede parecer trivial la redacción parcial que se hace en el párrafo anterior del itinerario, es de vital relevancia ya que el agua salada que se trata en el J.S. Elcano por ósmosis inversa tiene composiciones totalmente diferentes, dependiendo del mar de procedencia. Y es aquí cuando gran parte de la dotación sufrieron las consecuencias al ingerir agua de la costa de Brasil produciéndonos serios trastornos gastrointestinales En las siguientes semanas la palabra "Yala-Yala"[1] se hizo eco en todo el barco llegando a ser un problema en la operatividad interna, puesto que el 60% del personal sufrió los susodichos trastornos gastrointestinales. Por cierto, las circunstancias acontecidas durante esas semanas fueron similares a las que se dieron en los asentamientos españoles en Badghis, Afganistán [3].

[1] "Yala-Yala" era el nombre coloquial con el que las fuerzas españolas desplegadas en Afganistán llamaban a los síntomas de la gastroenteritis, tales como diarrea, vomito o fiebre.

Se dio la circunstancia que la más aguda de las gastroenteritis la sufrió el alumno que suscribe. A la llegada a Montevideo fue ingresado en un hospital. Durante unos días se realizaron multitud de pruebas ya que había varios síntomas parecidos a algunas enfermedades mortales, concluyendo finalmente que se trataba de una gastroenteritis aguda. Con ello, se comenzó a prestar atención al agua que se consumía dentro del barco, replanteándose mayormente cómo mejorar las garantías de potabilidad del agua.

Comenzado el curso académico 2019-2020 de la Escuela Naval Militar, se empezó a investigar las posibilidades que tenía para llevar a cabo un Trabajo de Fin de Grado que fuera de interés para la Armada Española y que, a ser posible, la materia principal fuera Química. Una vez se leyó el trabajo de fin de grado *"Aplicación de la tecnología de oxidación fotoquímica a la descontaminación de agua de la dársena del puerto"* [4], se interesó por dicho método, ya que es el tratamiento menos contaminante para la desinfección de aguas, puesto que a diferencia de décadas atrás, se exige cada vez de manera más estricta, actuar de acuerdo a normativas y leyes que respeten el medio ambiente. En el entorno actual, la investigación y el desarrollo de nuevos productos están encaminados hacia la eficacia ecológica. En otras palabras, no es suficiente con encontrar un método que sea capaz de generar agua potable, a expensas de emitir grandes cantidades de gases tóxicos a la atmosfera. Ello se puede demostrar mediante ejemplos populares como la reciente Cumbre sobre la Acción Climática organizada por la ONU en Madrid. En ella se recalcaba la Transición Industrial y las Medidas basadas en la Naturaleza entre otras medidas [5]. Dicha cumbre con carácter global, tiene como objetivo concienciar a la humanidad del esfuerzo conjunto hacía la sostenibilidad ecológica.

Figura 1-3 Medidas para frenar el cambio Climático

Por lo tanto, teniendo muy presente la situación actual en la que vivimos, prevalecerá la conservación activa del medio ambiente frente a tratamientos tradicionales poco respetuosos con la naturaleza, como pueden ser la desinfección por Cloración o la Ozonación, que se hablarán a continuación en el Estado del arte.

La última inspiración de este trabajo surgió al cursar la asignatura Teoría del Buque y Construcción Naval, en la cual se aprendió cómo el aligeramiento, traslado o carga de pesos afecta a la estabilidad de un Buque. Entonces, se preguntó si podría realizar los mismos cálculos en el Juan Sebastián Elcano, descubriendo un estudio de las Curvas de Estabilidad del barco [6] lo cual supuso el empujón definitivo para comenzar el presente trabajo.

1.3 Objetivos

Considerando los problemas asociados a la calidad del agua y sus efectos negativos en la salud humana, se proponen los siguientes objetivos para este estudio:

- Establecer de modo cuantitativo la eliminación de bacterias coliformes[2] en aguas de uso doméstico mediante la acción de luz ultravioleta (UV). En este estudio se usará una muestra de agua en la que haya una concentración significativa de estos microorganismos.
- Tomando como base los resultados asociados al objetivo anterior, se realizará una propuesta de diseño de un sistema/equipo de depuración con luz UV para tratar las aguas del buque J.S. Elcano.
- Realizar un estudio comparativo que abarque beneficios y desventajas entre los tratamientos de aguas que dispone a fecha de hoy, el J.S. Elcano y el diseño propuesto.

[2] Son bacilos gramnegativos, aerobios y anaerobios facultativos, no esporulados. Del grupo *"coliforme"* forman parte varios géneros: *Escherichia, Enterobacter*, *Klebsiella, Citrobacter*, etc.

2 ESTADO DEL ARTE

2.1 Enfermedades Gastrointestinales

Las enfermedades gastrointestinales se definen como aquellas que atacan principalmente al estómago y a los intestinos. Pueden contener múltiples etiologías de las cuales nos centraremos en algunas bacterias y virus. A continuación se analizarán las distintas causas:

2.1.1 Gastroenteritis Vírica

La gastroenteritis viral, también conocida como gripe estomacal, da lugar a unos síntomas muy molestos como náuseas, vómitos, diarrea e incluso fiebre debido a la infección intestinal. La principal forma de contagio es a través del contacto con una persona infectada o mediante el consumo de agua contaminada. No existe un tratamiento preventivo, aunque la higiene personal aminora las probabilidades de transmisión. Los virus causantes son [7]:

- Rotavirus [8]: los niños recién nacidos o de menos de cinco años de edad son los más afectados por este virus de forma globalizada. Se descartará el uso experimental con dicho virus por la simple razón de no darse en adultos, puesto que la tripulación en el J.S. Elcano estaba compuesta por personas mayores de la edad legal. En las personas adultas el sistema inmunológico ya desarrollado consigue hacer frente a este virus, aunque pueden ser portadores e infectar a otras personas. Los síntomas duran de 3 a 7 días.

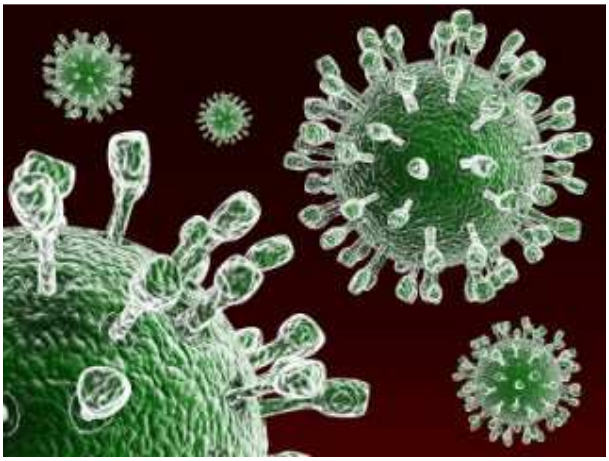


Figura 2-1 Rotavirus

- Norovirus: a diferencia del Rotavirus, éste puede infectar tanto a niños como a adultos; de hecho, puede llegar a propagarse en comunidades enteras mediante el contagio del agua.

Sin embargo, el cuadro médico que presenta dura a lo sumo 3 días, por lo que tampoco será motivo de estudio ya que los síntomas que se dieron se prolongaron durante más de una semana [9].

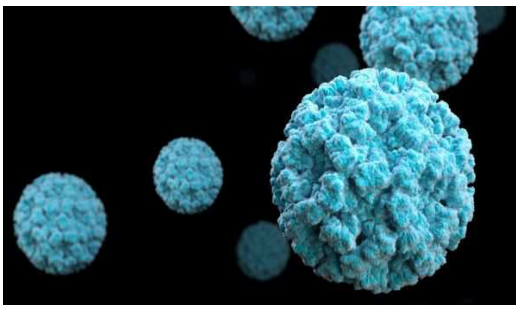


Figura 2-2Norovirus

- Astrovirus: debe su nombre a su morfología en forma de estrella siendo mucho menos peligroso que los anteriores virus. No necesita de tratamiento y su duración es de 2 a 4 días. Es descartado como sujeto de estudio por la misma razón que el anterior [10].

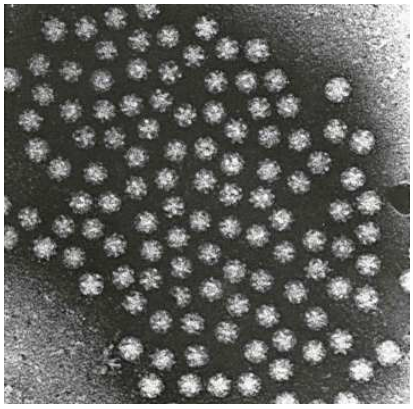


Figura 2-3 Astrovirus

2.1.2 Gastroenteritis Bacteriana

La Gastroenteritis bacteriana se suele dar en más de un individuo, ya que se debe a una intoxicación alimentaria. Esos alimentos han sido invadidos por una colonia de bacterias que se reproducirán a grandes velocidades produciendo infecciones intestinales a los sujetos. Dependiendo del tipo de bacteria y de su entorno, se pueden encontrar en diversos escenarios como puede ser, la carne de res, mariscos crudos y sobretodo, en el agua. A continuación se nombraran algunos de los más comunes [7]:

- Salmonella: la patología ocasionada por Salmonelosis da lugar a un cuadro clínico de gastroenteritis. A fecha de hoy se considera responsable del aproximadamente 50% de las diarreas de origen bacteriano, fundamentalmente en las aves aunque también en mamíferos. Para que se transmita al hombre debe ser por alimentos tales como el huevo, mariscos y carne de animales infectados. La diarrea surge tras la invasión de la mucosa del intestino delgado, con la consiguiente lesión del epitelio [11].

- Campylobacter: es un bacilo que presenta movilidad mediante flagelos. Se suele encontrar prácticamente en los mismos alimentos que en la Salmonella, pero se diferencia en que tiene mayor prevalencia en niños menores de dos años y que residan en lugares cálidos. El

cuadro clínico característico consiste en diarrea aguda acompañada de dolor abdominal, vómitos, cefaleas y malestar general [12].

- *Escherichia Coli*: fue descubierta por el alemán Theodor von Escherich en 1860 quien la bautizó simplemente como "*bacterium coli"*, que significa bacteria del intestino. A pesar de estar encuadra dentro del grupo de bacterias que producen enfermedades gastrointestinales, lo cierto es que la gran mayoría son inofensivas y viven en simbiosis dentro de los intestinos de los mamíferos, incluidos los humanos. El problema proviene de cepas particularmente peligrosas, como la O157:H7, las cuales pueden causar cólicos abdominales intensos, diarrea con sangre y vómitos. Es la bacteria de referencia para la examinación de aguas tanto residuales como potables [13], siendo esta última primordial porque, aun ingiriendo pequeñas cantidades, su proliferación será sorprendentemente alta [14].

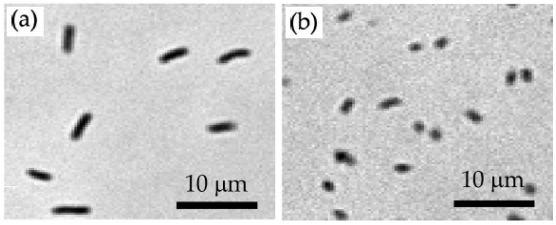


Figura 2-4 Crecimiento exponencial de E. Coli en el tiempo

El agua de los ríos, los lagos y el agua de cultivo se contamina debido a compuestos orgánicos, previsiblemente materia fecal de los animales o personas. La OMS afirma que '*se ha aislado Escherichia Coli en masas de agua (estanques y arroyos), pozos y abrevaderos, y se ha observado que puede sobrevivir durante meses en el estiércol y en los sedimentos de recipientes de agua. Se ha informado de casos de transmisión por el agua, tanto por agua de bebida contaminada como por aguas de recreo'* [15] Aunque los sistemas de agua públicos utilizan cloro, luz ultravioleta u ozono para eliminar la E. Coli, algunos brotes se han relacionado con suministros municipales de agua contaminados[3]. Otra de las preocupaciones existentes proviene de los pozos privados porque no suelen tener ningún sistema de desinfección [16].

2.2 Propiedades y tipos de agua

El agua es el recurso fundamental sin el cual la supervivencia en la Tierra sería imposible para la gran mayoría de los seres vivos. Tanto es así, que la composición química del hombre es de aproximadamente un 70% de agua. La dependencia de ella es tan importante como su conocimiento. Por tanto, en este apartado se definirán las características y la procedencia del agua enfocándose en aquellas propiedades con las que se trabajarán posteriormente en el desarrollo experimental del trabajo.

2.2.1 Propiedades del agua

Es una sustancia cuya composición química consta de dos moléculas de Hidrogeno y una de Oxígeno. Dependiendo de la temperatura se puede encontrar en estado físico, líquido o sólido. Las características que deben cumplir se recogen a nivel europeo en la *Directiva 98/83/CE* de la cual emana el *RD 140/2003* [17].

[3] Ejemplo de ello, es el cierre temporal que se realizó en la playa de Fuentebravía debido a la concentración excesiva de E. Coli en el Agua. Se acusa a la mala depuración del agua local o al posible arrastre de aguas contaminadas debido a las épocas de tormenta. [46].

2.2.1.1 Propiedades físicas

Se denominan así ya que pueden ser percibidos por los sentidos (vista, olfato, gusto) [18]:

- **Olor y sabor:** están altamente relacionados y suele ser la causa mayoritaria de rechazo por parte del consumidor. Si el agua es inodora puede ser un indicio de la ausencia de contaminantes, tales como los compuestos fenólicos[4]. Por otro lado, si es insípida también puede ser síntoma de carencia de provenir de desechos industriales o de microorganismos.
- **Color:** la última de las tres características que las personas tienen grabadas en su mente, es que el agua sea incolora. A pesar de ser la propiedad que más asusta a la gente a la hora de beber, no siempre indica la contaminación. Puede ser consecuencia de la turbidez, la materia en descomposición e incluso del pH.
- **pH:** mide la concentración de iones de hidrogeno que hay en disolución. Los rangos de pH que debe tener el agua es de 6,5 a 9,5.
- **Turbidez:** es originada por las partículas en suspensión o coloides. Los sólidos dispersos en el agua turbia pueden portar microbios o la adhesión de metales, tóxicos y pesticidas. Por otra parte, se ha demostrado que el control de la turbidez del agua está estrechamente relacionado con la eficacia de los procesos de desinfección, tales como radiaciones UV. Turbidez es sinónimo de refugio de bacterias, virus y protozoos patógenos, ya que son protegidas físicamente por el tamaño de la materia suspendida.
- **Materia orgánica:** provocada por la actividad humana. Principalmente son alcoholes, proteínas, hidrocarburos y fibras vegetales. Se pueden medir su cantidad a través de la demanda biológica de oxígeno (DBO).

2.2.1.2 Propiedades Químicas

A pesar de conocerse como H_2O, el agua natural tiene en su composición pequeñas cantidades de distintos minerales fundamentales para el humano. Por ello, se regula mediante el análisis del agua la procedencia y composición de esta, pudiendo ser naturales o industriales y beneficiosos o dañinos de acuerdo a su concentración (véase Tabla 2-1 [13]).

Parámetro	Valor	Parámetro	Valor	Parámetro	Valor	Parámetro	Valor
Acrilamida	0,1µg/l	Cadmio	5,0 µg/l	Mercurio	1,0 µg/l	Tetracloroeteno y tricloroeteno	10 µg/l
Antimonio	5,0 µg/l	Cromo	50 µg/l	Níquel	20 µg/l	Trihalometanos	100 µg/l
Arsénico	10 µg/l	Cobre	2,0 mg/l	Nitrato	50 mg/l	Cloruro de Vinilo	0,5µg/l
Benceno	1,0 µg/l	Cianuro	50 µg/l	Nitrito	0,5 mg/l	-	-
Boro	1,0 mg/l	Fluoruro	1,5 mg/l	Plaguicidas	0,5 µg/l	-	-
Bromato	10 µg/l	Plomo	10 µg/l	Selenio	10 µg/l	-	-

Tabla 2-1Parámetros Químicos del Agua

[4] Compuestos orgánicos que en su estructura molecular contienen un grupo benceno o fenol, el cual produce olores perceptibles al olfato humano.

2.2.1.3 Propiedades Biológicas

Como se expone en la introducción de este apartado, la vida de los seres vivos se debe en gran parte al agua. La supervivencia y/o el crecimiento de los microorganismos dependen principalmente de las propiedades físicas y químicas del agua. Un ejemplo de ello es la gran biodiversidad que existe en aguas tropicales frente a la escasez de estos en las aguas árticas. Esto se debe, entre otros factores conocidos, a que la temperatura del agua ha demostrado ser de gran relevancia en el crecimiento y la biodiversidad de distintos microorganismos (Figura 2-5) [19].

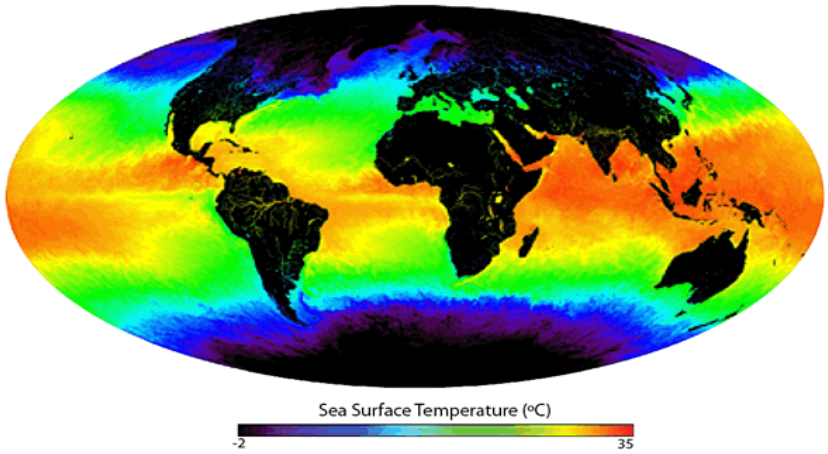


Figura 2-5 Temperatura del agua en la superficie (ºC)

La *Directiva 98/83/CE* generó una normativa que deben cumplir las aguas de consumo humano y la cual se tomará como referencia para el desarrollo experimental que abalará la hipótesis planteada [13].

Parámetro	Valor
Escherichia Coli	0/250 ml
Enterococos	0/250 ml
Pseudomonas aeruginosa	0/250 ml
Recuento de Colonias a 22ºC	100/ml
Recuento de Colonias a 37ºC	20/ml

Tabla 2-2 Parámetros biológicos para aguas comerciales

Parámetro	Valor
Escherichia Coli	0/100 ml
Enterococos	0/100 ml

Tabla 2-3 Parámetros biológicos generales

2.2.2 Tipos de agua

Nuestro planeta es popularmente llamado "planeta azul" ya que tres cuartas partes de este está formada por agua. Lo llamativo es que solamente el 2,5% es considerada agua dulce y la gran mayoría de esta se encuentra localizada en glaciares (Figura 2-6). No es rentable la explotación de los glaciares, ya que en el caso de que se utilizasen en beneficio de los humanos, se estaría acelerando el deshielo de los polos asumiendo todas las consecuencias negativas que ello conllevaría. Por otra parte, se afirma que el porcentaje de agua dulce restante está mal repartida por su mala utilización. El 13% de la población mundial consume el 87% del agua potable accesible. Por ello una de las soluciones disponible, gracias a la mejora continua de la tecnología, es la generación de agua apta para el consumo humano tras un tratamiento efectivo, atendiendo a su composición y lugar de procedencia. [20].

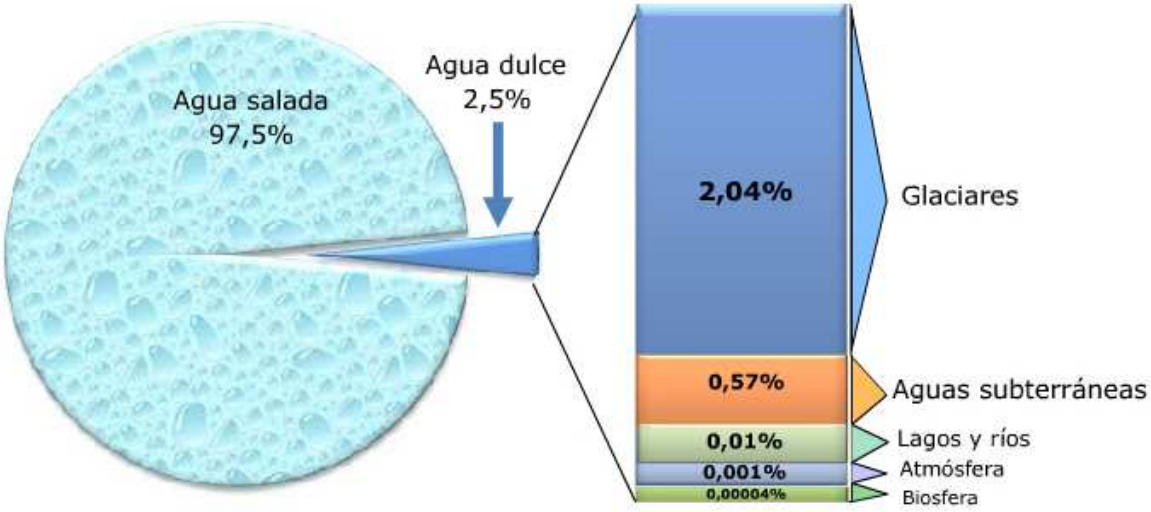


Figura 2-6 Distribución del agua de la Tierra

A continuación se expondrán las principales clases de agua según su lugar de procedencia y composición para mayor comprensión del trabajo [21]:

- Agua Potable: aquella que puede ser consumida por personas y animales sin riesgo de contraer enfermedades.
- Agua salada: tienen una alta concentración de sales y no es apta para el consumo humano.
- Agua salobre: contienen sal en una proporción significativamente menor que el agua marina.
- Agua dulce: está compuesta por una baja concentración de sales o generalmente considerada adecuada con previo tratamiento, para producir agua potable.
- Aguas negras: son aguas de abastecimiento de una comunidad después de haber sido contaminada por diversos usos. Puede ser una combinación de residuos, líquidos o en suspensión, de tipo doméstico, municipal e industrial.
- Aguas grises: aguas residuales procedentes del entorno doméstico, compuestas por agua de lavar procedente de la cocina, cuarto de baño, aguas de los fregaderos, y lavaderos.
- Aguas residuales: aquellos fluidos residuales en un sistema de alcantarillado. El gasto o agua usada por una casa, una comunidad, una granja, o industria que contiene materia orgánica disuelta o suspendida.
- Agua dura: contiene un gran número de iones positivos. Se determina según el número de átomos de calcio y magnesio presentes.

- Aguas muertas: se presenta en estado de escasa o nula circulación, generalmente con déficit de oxígeno.
- Agua alcalina: aquellas que poseen una medida de pH superior a 7.

2.3 Tratamientos de aguas

Los tratamientos para convertir aguas residuales en potables son muy variados y han sido mencionados en anteriores trabajos. L. R. Mateos [4], realizó un trabajo bajo el título «Aplicación de la tecnología de oxidación fotoquímica», donde se definian brevemente algunos tratamientos. Sin embargo, no se clasificaban entre físicos, químicos y biológicos. En el diagrama conceptual realiado y expuesto a continuación, se muestran Diagrama conceptual de los principales tratamientos de aguas (Figura 2-7 Diagrama conceptual de los principales tratamientos de aguas).

La división que se realiza en la bibliografía consultada entre aquellos métodos destinados a las aguas de consumo y las aguas residuales no será valido detro del contexto del presente trabajo, sino que se organizará según la naturaleza del proceso ya que, tanto para la generación de agua potable como en la descontaminación de aguas fecales, los tratamientos se comparten. La diferencia está en la normativa y la precisión que se utilice [22].

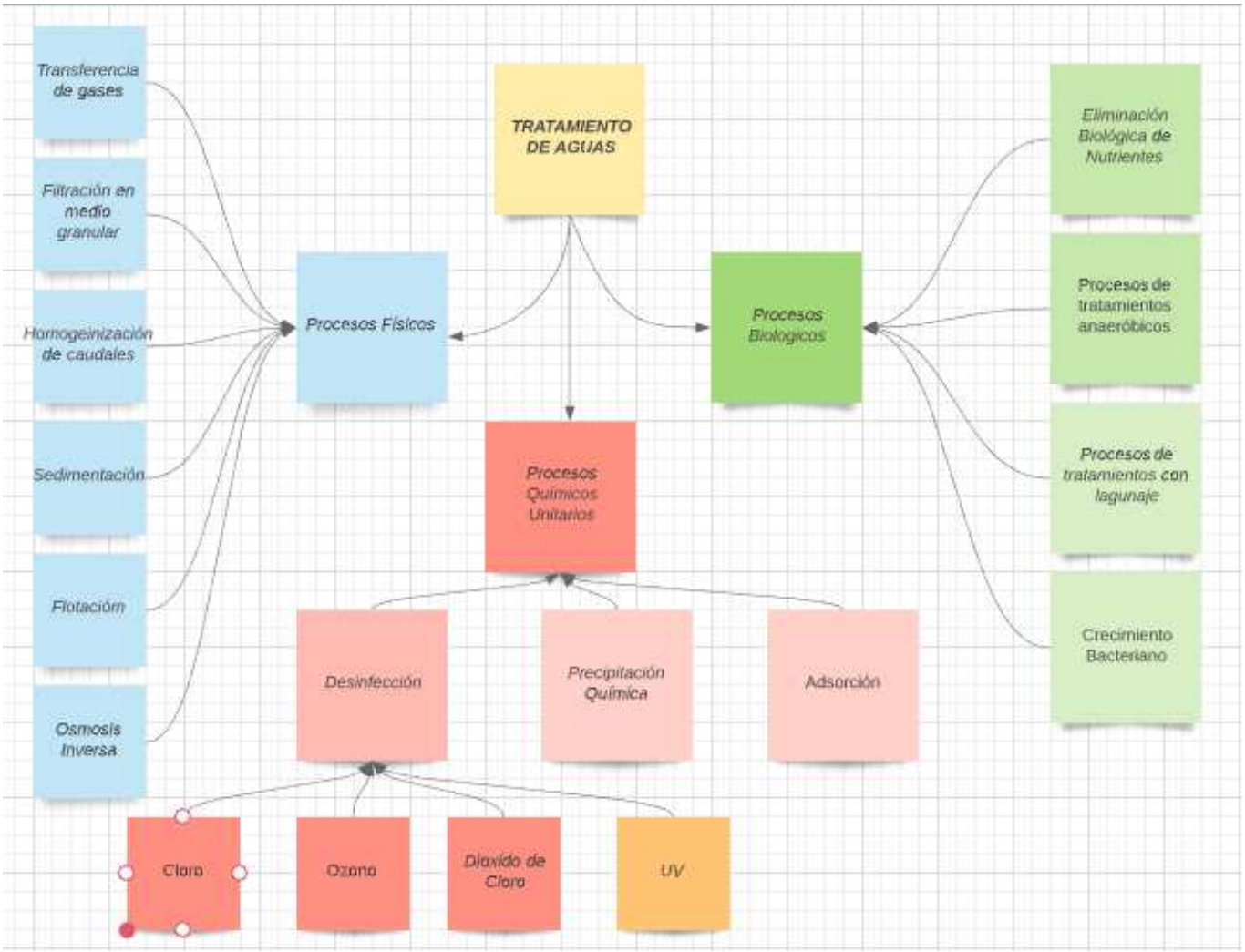


Figura 2-7 Diagrama conceptual de los principales tratamientos de aguas

2.3.1 Tratamientos Físicos del agua potable

Los tratamientos físicos son utilizados fundamentalmente para eliminar partículas sólidas a través de filtros, tamices, membranas o incluso propiedades físicas tales como las diferencias de densidades [23]. Dichos tratamientos deben ir combinados con otros si la finalidad es consumir agua potable o incluso para el vertido de las aguas residuales, ya que a nivel microscópico no se logra la eliminación de microbios. A continuación, se hablarán de aquellos que por sus dimensiones y sus características podrían estar dentro del sistema de suministro de agua del J.S. Elcano.

2.3.1.1 Osmosis Inversa

La ósmosis es el fenómeno que se produce cuando dos líquidos de diferentes concentraciones se encuentran separados por una pared o membrana semipermeable. El líquido del espacio con menor concentración traspasa dicha membrana mediante difusión simple, hacia la solución con más concentración hasta que ambas concentraciones se igualan. Este acción se realiza continuamente a nivel celular en los seres vivos Figura 2-8 [21].

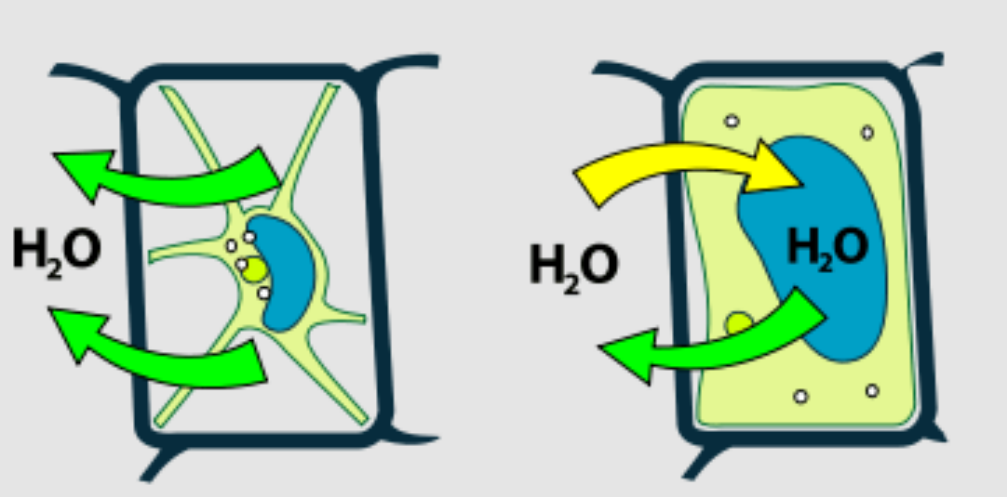


Figura 2-8 Célula Vegetal realizando Osmosis

La ósmosis inversa se realiza justamente lo contrario. Es decir, se traslada el solvente menos concentrado hacía el más concentrado a través de la membrana. Para ello, se necesita un trabajo externo, en este caso suele ser mediante una presión. El resultado final es un líquido muy diluido y otro muy concentrado a gran presión. Al final tiene el mismo fundamento que la filtración, sin embargo, al contrario de este, impide el paso de prácticamente la totalidad de los microorganismos, incluso de las sales minerales. Estas características lo hacen idóneo para la desalinización de aguas marinas y su posterior consumo. Tanto es así, que muchos barcos ya se benefician de esta tecnología, entre ellos el J.S. Elcano. A pesar de ello, es un proceso que tiene impacto sobre el medio ambiente como el gasto energético en la generación de presión para el funcionamiento, el vertido de salmuera y el de productos químicos.

Específicamente para este bergantín, el hecho de utilizar osmotizadores le aporta grandes ventajas económicas frente a los convencionales destiladores [1]. Una de esas ventajas es la mayor producción de agua con un consumo energético menor o la invariabilidad del estado en el proceso, lo que evita incrustaciones y reduce la necesidad de mantenimiento. Sin embargo las membranas semipermeables son delicadas y su recambio es costoso, por lo que se convierten en los elementos más importantes de todo el sistema de producción de agua potable que se muestra más adelante. La eficacia de éstas es tal, que retienen el 91 al 99 % de todos los elementos minerales disueltos, del 94 al 99% de la mayoría de los elementos orgánicos y teóricamente, el 100 % de las materias coloidales más finas, como virus, bacterias o sílice coloidal, según los fabricantes.

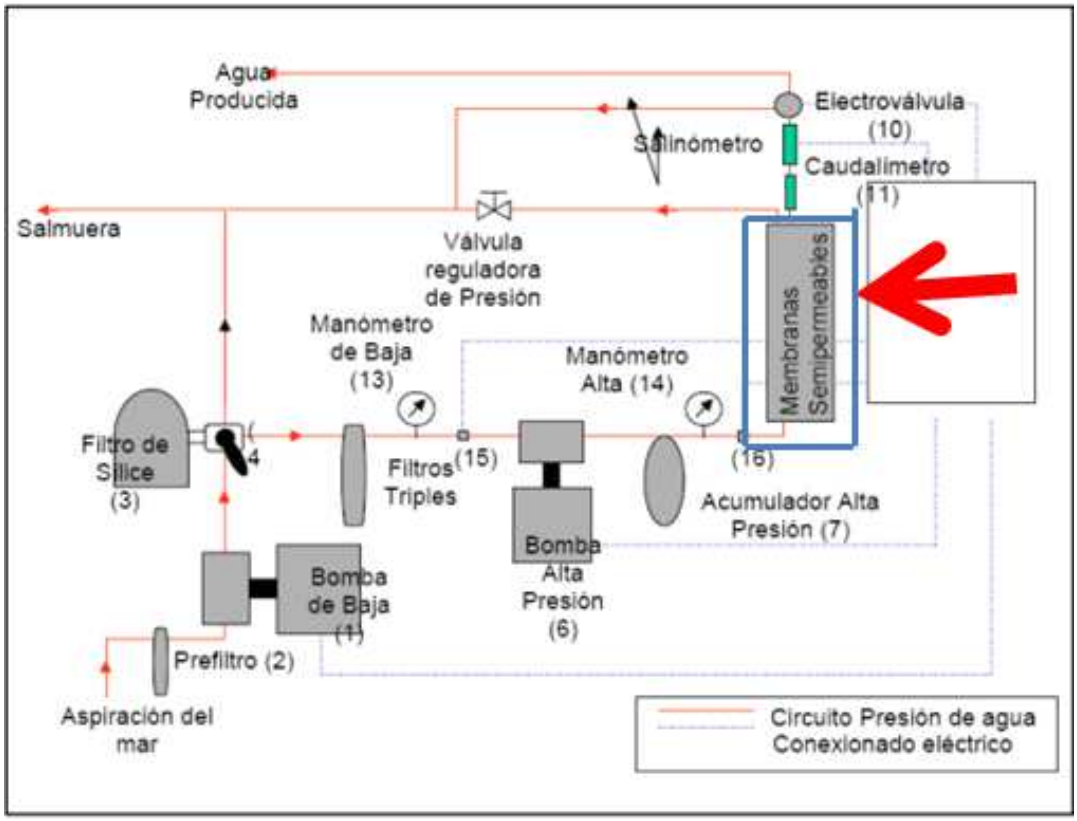


Figura 2-9 Osmotizador MARCO ESPAÑA S.A. modelo 8003 del J.S. Elcano

En el caso particular de J.S. Elcano, la producción real de los dos osmotizadores es de 62 ton/día. Si dicha producción se reduce más de un 15%, significará que las membranas se habrán deteriorado, por lo que se realizará una limpieza acido-base. Jamás se utilizará agua clorada para la limpieza de las membranas ya que las destruiría, por tanto, el agua de abordo no es apta. Además, la inactividad produce el crecimiento bacteriano atascando las membranas, así que en caso de periodos de inactividad superiores a una semana es preciso conservar las membranas sumergidas en una solución conservadora. Por último, la materia orgánica provoca un rápido atascamiento de las membranas, así que está prohibido usar el osmotizador cerca de costa [24], más adelante se explicará en detalle.

2.3.1.2 Flotación

Usualmente, la flotación suele ser la primera operación física en realizarse dentro de las estaciones de agua potable. Ayuda a la división de las sustancias sólidas en un líquido mediante burbujas de aire introducidas en la fase líquida. Dichas burbujas hacen flotar las partículas, como se puede observar en la Figura 2-10 [20], que se desean separar del líquido durante el periodo de tiempo de ascensión hacía la superficie, puesto que la unión partícula-gas es menos densa que el líquido. Este método carece de sentido si no se realizan otros tratamientos complementarios que aglomeren la materia flotante para luego extraerla [25] .

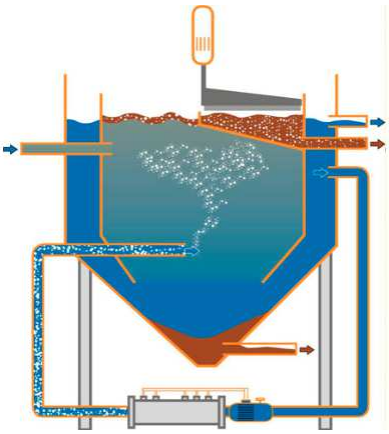


Figura 2-10 Tanque de flotación

2.3.1.3 Coagulación-Floculación

La coagulación y floculación son los procesos intermedios que tienen como objetivo la agrupación de partículas para su posterior precipitación. Mediante este tratamiento se controla la turbidez y el color que generan las partículas en suspensión en el agua. La operación consta de dos fases [23]:

- Coagulación: se logra la ruptura del coloide[5] gracias a la adición de sustancias tales como Sales de Aluminio, Carbón Activo en polvo o Hidróxido Cálcico.
- Floculación: atracción de partículas pequeñas para formar el floculo a través de Coadyuvantes de floculación. Se realiza a través de una mezcla lenta para que se forme y se vaya al fondo.

Actualmente hay dos tanques, uno coagulante y otro floculante dentro del Buque Escuela en estudio (véase en la Figura 2-11). Sin embargo, su función es sobre aguas grises y negras, en vez de agua potable.

2.3.1.4 Sedimentación

Esta operación también conocida como decantación, es totalmente física y consigue que aproximadamente el 70% de los sólidos en suspensión precipiten. Se necesita de tratamientos previos como los mencionaron con anterioridad, para realizar dicha operación al encontrarse la materia dispersa flotando en el agua. Para ello se necesitan amplias estaciones imposibilitan su aplicación en los barcos para la generación de agua potable debido principalmente a la limitación de espacio. En cambio, no sucede lo mismo en las operaciones de aguas negras. El fin de estas es la eliminación de potenciales residuos que contaminen el entorno una vez se vierta al mar. No se busca calidad ni consumo, en consecuencia, existe un tanque de colector[6] dentro de la Planta TAR del B/E Juan Sebastián Elcano donde se realizan, entre otros, este tratamiento. Cumple con el convenio Marpol[7] voluntariamente para contribuir con el medio ambiente.

En la Figura 2-11, la cual pertenece a la planta TAR, se han señalado los tratamientos físicos y químicos que se han explicado en este trabajo, siendo estos procesos la floculación, coagulación, desinfección por cloro y sedimentación [24].

[5] Partículas diminutas dentro del rango de 1 a 400µm.
[6] Tanque dividido en tres zonas que tiene como objetivo la precipitación de la materia en estado sólido.
[7] Conjunto de normativas a nivel internacional que tienen como objetivo la prevención de la contaminación en los buques civiles (los buques de las marinas de guerra no tienen la obligación de cumplirlo).

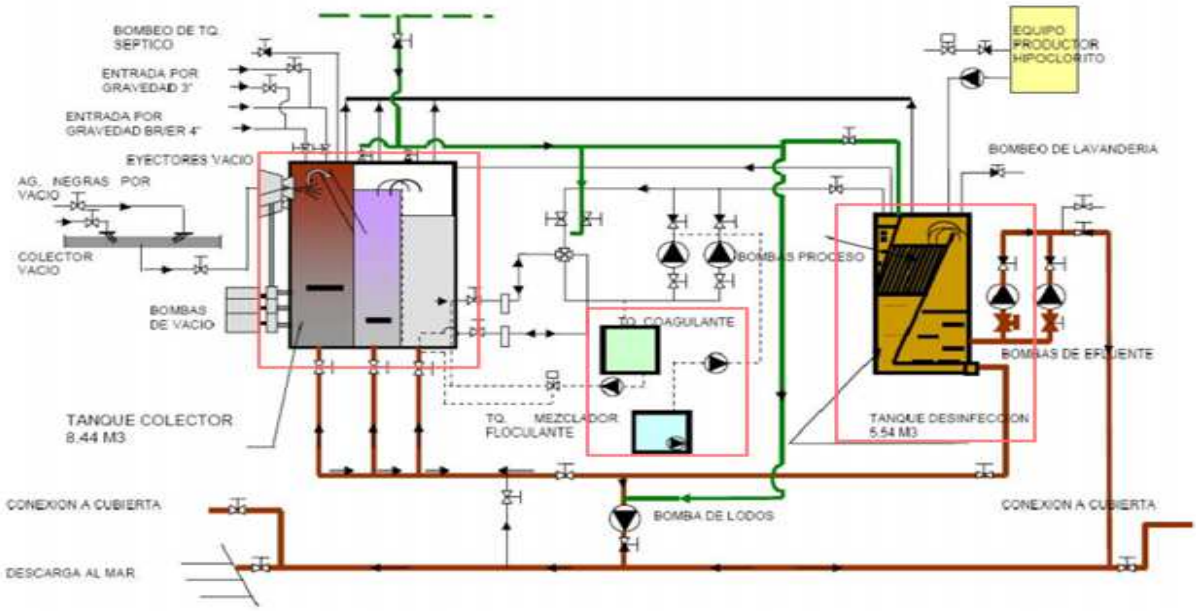


Figura 2-11 Planta TAR[8] del B/E Juan Sebastián Elcano

2.3.2 Tratamientos químicos del agua potable

La composición química del agua sirve para conocer el uso y definir el tipo de agua. Sin embargo, gracias a la tecnología actual se puede modificar dicha composición debido a los tratamientos químicos que se expondrán a continuación. La mala distribución de este líquido en las civilizaciones ha propiciado una enorme diversidad de distintos métodos químicos, de los cuales solamente se mencionarán aquellos, que después de un estudio previo, puedan ser utilizados en una plataforma naval [22].

2.3.2.1 Desinfección por cloración

Este proceso es el más económico que se conoce hasta el momento porque el reactivo que reacciona con el agua es fácil de conseguir. El tratamiento puede realizarse en cualquier fase de la producción de agua y el tiempo de contacto entre el cloro y el agua se relaciona fundamentalmente con el objetivo que se quiere alcanzar [26].

Ejemplo de ello es la lejía o hipoclorito sódico [NaOCl]. Puede utilizarse si el agua que se desea desinfectar no contiene materia orgánica o contaminantes químicos capaces de formar compuestos que den mal sabor al agua. Ésta se disocia en el agua generando ácido hipocloroso el cual trabaja como desinfectante activo (Ecuación 1). Dicho reactivo se emplea en la actualidad dentro de Elcano complementando la Osmosis Inversa para reducir la turbidez.

$$NaOCl + H_2O \Longleftrightarrow Na^+ + \boldsymbol{HOCl} + OH^-$$

Ecuación 1Disociación del Hipoclorito Sódico

Otros reactivos derivados del cloro son las Cloraminas. Disminuyen generalmente los sabores que se encuentran en un tratamiento con cloro. Otra aplicación, aparte de la desinfección, es como protector contra el Biofouling en sistemas de refrigeración. El Amoníaco se adiciona después para que el tiempo de contacto sea menor que cuando se añade primero. Son tan eficaces como el cloro en la eliminación de microorganismos, aunque son más lentos. De entre todas las Cloraminas la más

[8] TAR es el acrónimo de Tratamiento de Aguas Residuales.

eficiente es la Monocloramina (Ecuación 2) porque reacciona directamente con aminoácidos en el ADN bacteriano [30].

$$NH_3 + HOCl \Longleftrightarrow NH_2Cl + H_2O$$

$$NH_2Cl + HOCl \Longleftrightarrow NHCl_2 + H_2O$$

$$NH_2Cl + HOCl \Longleftrightarrow NCl_3 + H_2O$$

Ecuación 2 Reacciones Redox para generación de Cloraminas

Por último, mencionar el empleo del dióxido de cloro como desinfectante. Su uso se extiende desde la descontaminación de aguas negras hasta aquellas procedentes de procesos industriales, tanto para tratamientos en la producción de alimentos como para la esterilización de equipos médicos. Reacciona únicamente con sustancias que ceden electrones y lo hace mediante la oxidación.

$$NaOCl + HCl + 2NaClO_2 \Longleftrightarrow 2ClO_2 + 2NaCl + NaOH$$

Ecuación 3 Reacción Química del dióxido de cloro a partir de Acido hipoclorito

Si se efectúa antes de la decantación, recibe el nombre de precloración, aportando mejores cualidades en el agua como el color cristalino que genera. Consigue reducirlo cuando procede de materias orgánicas. Ello es consecuencia principalmente a que reacciona sobre los iones ferrosos y manganosos, el amoníaco, los nitritos, las materias orgánicas oxidables y sobre los microorganismos presentes (bacterias, algas, plancton). A diferencia de la cloración, la dosis de cloro debe ser mayor al punto crítico, controlando que no se generen soluciones con altas concentraciones de cloro. La reacción es rápida para obtener el menor sabor posible, aunque para ello después haya que eliminar cloro empleando otro proceso (generalmente SO_2) [29].

2.3.2.2 Desinfección con Ozono

Básicamente consiste en incorporar ozono al agua contaminada. El ozono posee un oxidante protoplasmático que destruye las baterías, virus, sabores y el color. Es el desinfectante con mejores rendimientos, a costa de un precio muy superior al de los anteriormente comentados, debido a la dificultad en la formación de esta partícula inestable (ver Figura 2-12 [27]). La cantidad de ozono necesaria oscila dependiendo de la calidad del tratamiento previo. El pH del agua tiene poca influencia sobre el ozono a diferencia del cloro, que es muy sensible. Cuando se exige una dosis residual elevada deben tomarse precauciones, ya que al cabo de más de una hora después del proceso, se siguen detectando todavía trazas. Por ello, si el tiempo de retención en el depósito de agua tratada es corto, pueden plantearse problemas de corrosión. En este caso, se debe proceder a una neutralización [28].

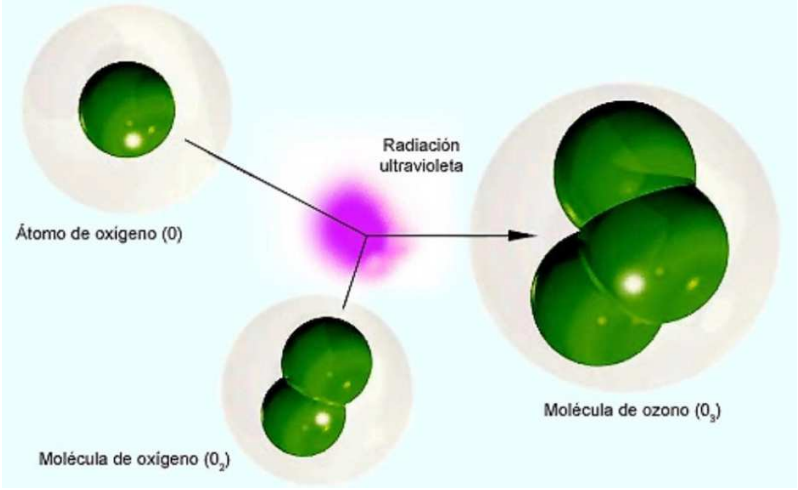


Figura 2-12 Formación de partícula de Ozono

2.4 Desinfección por rayos ultravioletas

La desinfección por rayos ultravioletas no es un invento que haya generado el hombre, sino que mediante la experimentación, el pionero Johann Wilhelm Ritter[9] constató su existencia. De hecho, desde la creación de los tiempos el sol irradia dichos rayos a la Tierra y aquellos rayos que consiguen atravesar la capa de ozono hacen la función de desinfectante natural.

Se explicará finalmente el método de descontaminación que se usará en el Desarrollo del TFG y que ha servido como objeto de estudio en trabajos anteriores. El proceso tiene la peculiaridad de ser catalogado como un tratamiento físico y/o químico según qué referencia. A nuestro juicio se puede encuadrar tanto como químico como físico [29].

2.4.1 Generalidades

La luz ultravioleta no deja de ser una onda electromagnética invisible al ojo humano que toma ese nombre debido a que en el espectro de longitud de ondas se encuentra cercano a la luz violeta visible. Ocupa la porción del espectro electromagnético situada entre los rayos X y la luz visible. Como se puede observar en la Figura 2-13 [30], el espectro se subdivide por un lado, en UV Extremo hasta UV Cercano, y por otro, en términos de impacto sobre el medio ambiente de UV de Vacío hasta UV-A. Es sabido que dichas ondas atacan al núcleo de las células de los tejidos de la piel pudiendo causar cáncer, de ahí el porqué del uso de cremas solares [31]. La razón de ello es el poder de penetración al tratarse de longitudes de ondas de magnitudes de entorno a la milmillonésima parte de un metro. Si a esto se le añade la enorme energía que cargan los fotones, se puede deducir el poder destructivo a nivel celular de estos rayos. Así pues, conocedores de sus características, se ha estado investigando sus aplicaciones industriales dentro del mundo de la medicina, como para la soldadura de arco industrial, el curado fotoquímico de pinturas o la esterilización de aguas. Estas últimas mencionadas son la aplicación de interés del presente trabajo y en las que se entrará en mayor detalle [32].

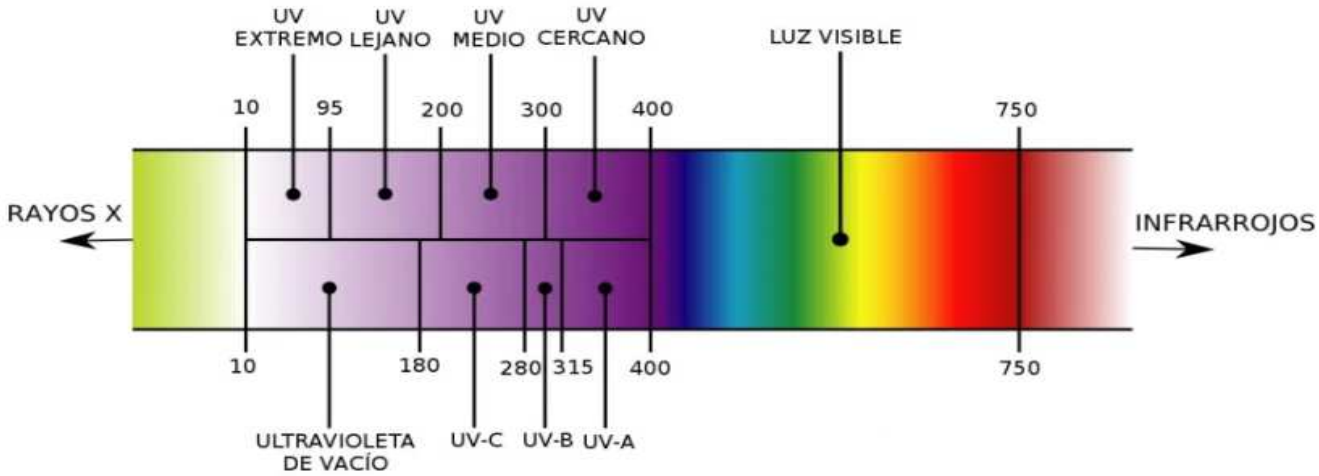


Figura 2-13 Escala expandida del espectro de la radiación UV

2.4.2 Requisitos para la desinfección UV

La naturaleza de este tipo de luz presenta ciertas singularidades y dificultades paramétricas que deben conocerse y tenerse en cuenta a la hora de diseñar el sistema [32].

La región del espectro que posee propiedades germicidas es la UV-C que debe ser generada artificialmente mediante lámparas, puesto que los rayos pertenecientes al sol son detenidos por la capa de ozono. El rango del espectro perteneciente al UV-C con el que se trabaja es 280-100 nm

[9] Físico alemán que en 1801 descubrió los rayos UV situados justo detrás del extremo violeta del espectro visible en un papel impregnado con cloruro de plata.

(concretamente entre 200-260nm). Se hallaron los parámetros anteriores mediante la experimentación, gracias a la premisa de que la inactivación de virus y bacterias dependen de la longitud de onda. Dichas cualidades son el resultado de la absorción por parte de los nucleótidos de los microorganismos, los cuales son los bloques de construcción del ADN y ARN celulares, promoviendo de ese modo la formación de dímeros[10]. En la Figura 2-14se representa claramente como incidiría la luz en el nucleótido del microorganismo, impidiéndose la reproducción y desarrollo de los gérmenes.

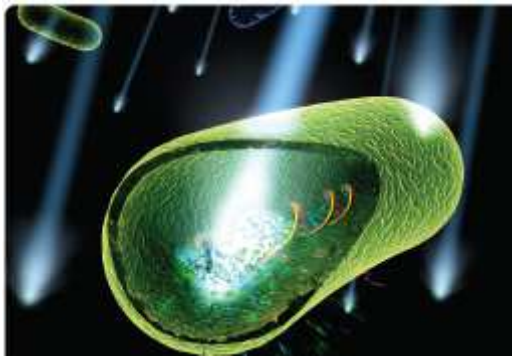


Figura 2-14 Rayos ultravioleta incidiendo sobre los nucleótidos de los microorganismos

Otra de las problemáticas que se ha descubierto a partir de la experiencia, es que las bacterias (no sucede con los virus) pueden tener capacidades fotoreactivadoras [33]. Según numerosos estudios, la dosis límite que asegura la ausencia de reparación de los nucleótidos, se encuentra en torno a los 12 mWs/cm^2. Dicha dosis se puede calcular mediante la Ecuación 4, siendo ésta el producto de la intensidad entre la superficie de incidencia multiplicado por el tiempo de exposición del agua en la cámara de desinfección. Gracias a estudios anteriores podemos conocer las diferentes dosis de inactivación necesarias para cada microorganismos (Véase Tabla 0-1).

$$DOSIS\ UV = \frac{salida\ en\ watios}{area} * tiempo$$

Ecuación 4 Dosis germicida generada por una lámpara [34].

El correcto funcionamiento del sistema solamente se obtiene mediante una adecuada intensidad de radiación sobre los agentes infecciosos. El factor que lo determina es la distancia existente desde el emisor de UV al objetivo. Además los sólidos en suspensión (directamente relacionados con la turbidez del agua 2.2.1.1) deterioran o eliminan completamente la efectividad a causa de la capa de materia flotante presente. La Figura 2-15 [35] es un claro ejemplo de cómo el rayo incidente se dispersa proporcionalmente al tamaño de la partícula en suspensión. De aquí se puede deducir, que para apaliar este efecto en el tratamiento fotoquímico, se aconseja realizar un tratamiento previo de filtración del agua.

[10] Un dímero es una proteína compuesta por dos subunidades.

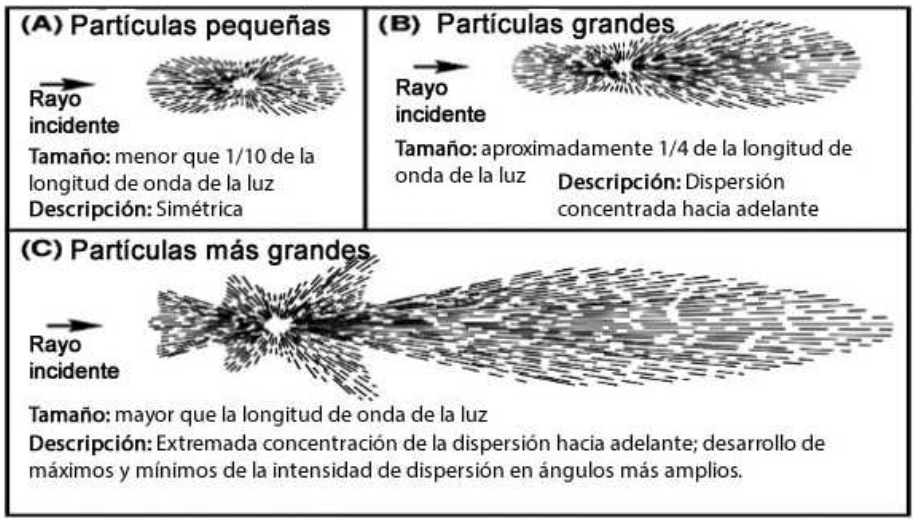


Figura 2-15 Efectos producidos por las partículas sobre los rayos ultravioletas

El agua cuanto más clara sea mejor, desprovista de hierro y de compuestos orgánicos como el plancton, ya que estas impurezas podrían formar sedimentos sobre los tubos, que reducirían considerablemente la penetración de los rayos. Así se garantiza una seguridad total de tratamiento con una instalación ampliamente dimensionada, bien controlada y mantenida, y utilizada con agua de calidad constante a lo largo de todo el año.

2.4.2.1 Lámparas UV

Las lámparas de arco de mercurio de baja y mediana presión son las más utilizadas para conseguir una onda UV-C. Éstas se componen de un tubo hermético de cuarzo con electrodos en los extremos compuestos usualmente de tungsteno mezclados con metales alcalinos. El mercurio y el argón se introducen en el tubo a una presión variable según el tipo de lámpara deseada. La onda ultravioleta se emite desde la lámpara cuando el vapor de mercurio calentado por la descarga regresa a un nivel menor de energía. La función del argón es tanto la de propiciar el arranque como la de prolongar la vida del electrodo. Dependiendo de la fuente de alimentación de dicha lámpara se deberá colocar un balasto[11] u otro. Existen dos tipos de balastos para la corriente alterna (véase la Figura 2-16 [34]): electromagnéticos o electrónicos, siendo los segundos más eficientes energéticamente, así como más compactos y económicos.

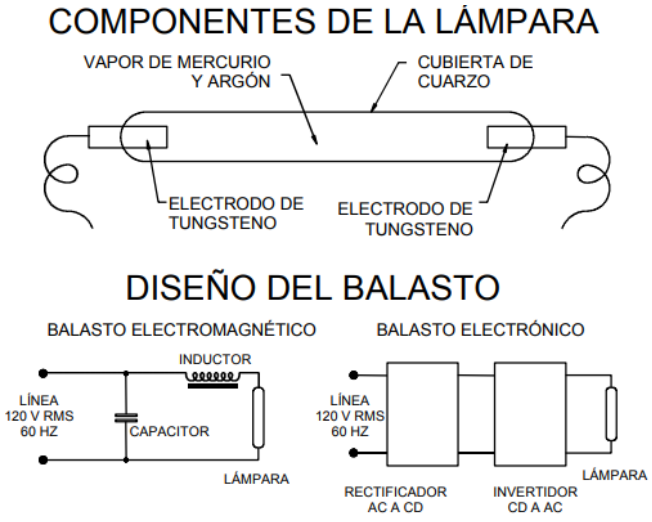


Figura 2-16 Diseño de una lámpara de arco de mercurio y de tipos de balasto.

[11]Equipo que mantiene estable la intensidad de la corriente.

3 DESARROLLO DEL TFG

3.1 Plan de trabajo

3.1.1 Desarrollo general

La temática del trabajo comenzó a partir del deseo propio de mejorar la red de suministro de agua potable del buque J.S. Elcano. Las dimensiones del trabajo propuesto no estaban definidas claramente ya que se unificaban ramas de la ciencia diferentes.

Por un lado, se encuentra la rama de la microbiología donde se ha investigado las posibles causas biológicas de las enfermedades gastrointestinales. Se tuvo que obtener la muestra de agua contaminada con la bacteria deseada en el fondo de una fuente de agua. Ese acontecimiento ha propiciado que se establezca un estudio cualitativo para certificar que la muestra sustraída contiene las bacterias coliformes fecales. En dicho estudio, se probarán dos métodos diferentes para saber si existe *E. Coli* en la muestra, consiguiendo así una mayor experiencia del procedimiento.

A su vez, el trabajo este influenciado por estudios previos en la rama de la química para la aplicación del tratamiento fotoquímico. Haciendo uso de la bibliografía estudiada, se realizará un Estudio Cuantitativo de la posible degradación de las colonias bacterianas que sirva de piloto para el posterior diseño. Además, se medirán algunos de los parámetros de la muestra para contrastarlo con la normativa vigente sobre la calidad del agua.

Por último, se realizarán los pertinentes cálculos necesarios para posteriormente generar un diseño del sistema acorde con los planos proporcionados del J.S. Elcano (Anexo I:), para poder finalmente valorar los resultados obtenidos e instar a mejorar en el futuro este estudio.

La mayor complejidad para el desarrollo de este trabajo se deberá a la abundancia de conocimientos científicos que abarca el problema en cuestión, así como a la acotación del tiempo disponible para realizarlo. A través de numerosas fuentes de información y de los recursos disponibles, se ha creado un mapa conceptual para facilitar la compresión del contexto de la fase preliminar (Figura 3-1).

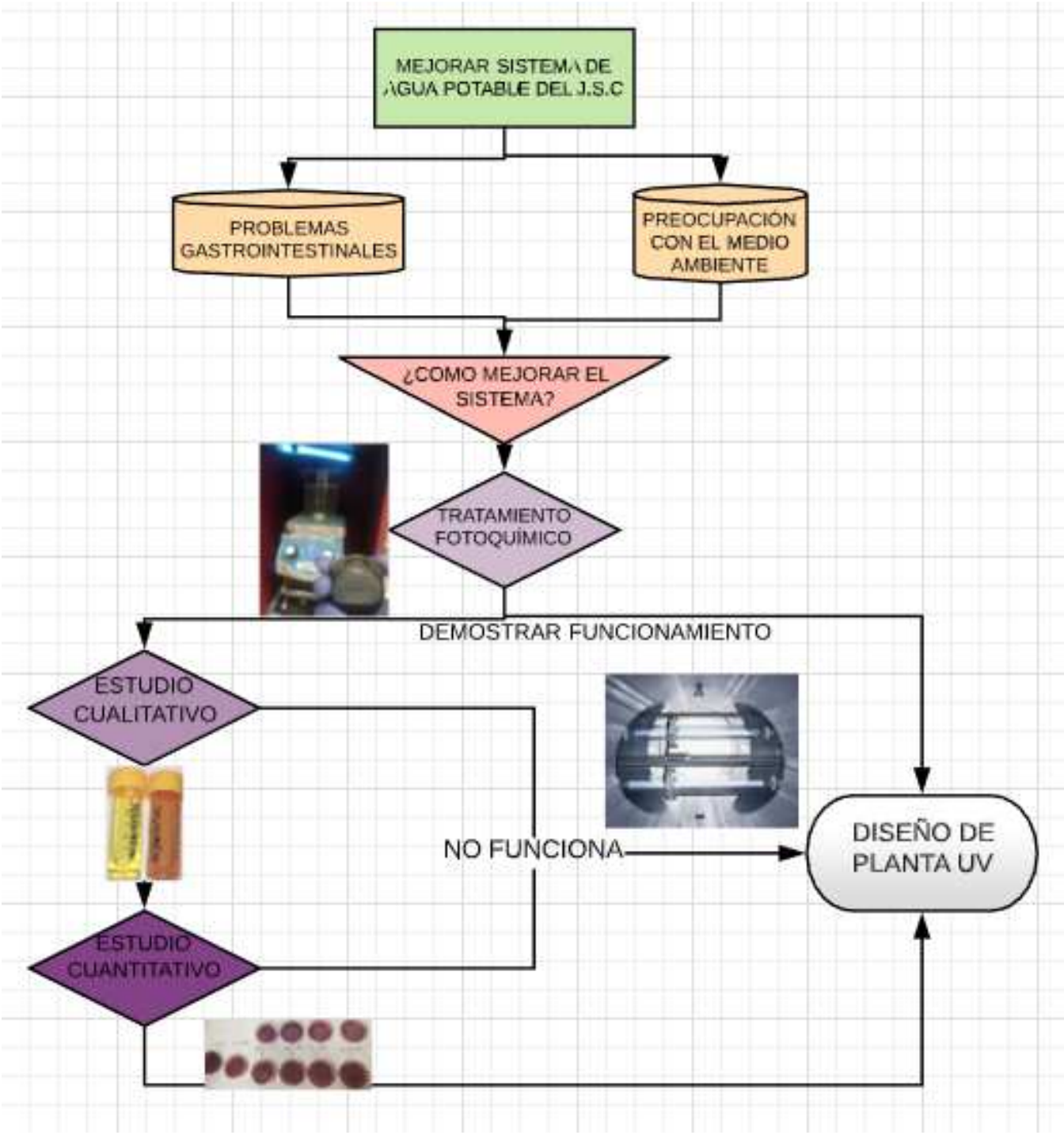


Figura 3-1 Esquema de la metodológica del trabajo

3.2 Metodología

En el presente apartado se muestra una visión general de cómo se han efectuado las experiencias realizadas. Se pueden distinguir las siguientes fases generales:

Estudio cualitativo: se intenta demostrar la presencia de bacterias coliformes fecales en una muestra de agua previamente extraída de un alcantarillado. Para ello se utilizan dos métodos distintos:

1. Se realizan cultivos de bacterias mediante filtración de membrana en Agar bilis rojo-violeta. Se hacen tres diluciones consecutivas de la muestra inicial para preparar un total de cuatro placas Petri.
2. Se corroboran los resultados con un Test Aquavial (Figura 3-4).

Finalmente se contrastan los resultados obtenidos mediante los dos microscopios disponibles.

Estudio cuantitativo: tras la verificación en el estudio anterior, se analiza el comportamiento de la muestra en estudio frente a la exposición de luz ultravioleta. Los procedimientos empleados serán los siguientes:

1. Se miden parámetros del agua tales como el pH y el NTU para conocer las posibles variaciones antes y después del tratamiento.
2. Se lleva a cabo cultivos de bacterias mediante siembra en profundidad según ISO 6222:1999 [36]. Se analizan dos muestras que han sido sometidas al proceso de desinfección en un espacio de tiempo determinado, comparándose con otras dos placas sin tratar. En esta misma fase se realiza otro test de prueba para detección de coliformes a modo de verificación.
3. Se realizaran cultivos mediante filtración por membrana en agar Bilis Rojo-Violeta, afinando el tiempo de exposición necesario para conocer la naturaleza del tratamiento. Es decir, se cuentan las colonias de las placas Petri hasta que se aprecie la degradación continuada en función del tiempo.

Se recogen todos los resultados experimentales en tablas para su posterior análisis.

Análisis comparativo: se halla la dosis UV resultante del experimento, haciendo uso de ciertas consideraciones técnicas y de los datos recogidos de las tablas. Así pues, se generan gráficas de reducción logarítmica al 90%, 99% y 100% para finalmente compararlo con la bibliografía existente.

Diseño de tanque de desinfección: por último, se propone un diseño de modificación en los tanques del B/E Juan Sebastián Elcano, para implantar un sistema de desinfección de lámparas UV. Las herramientas usadas en esta fase son las siguientes:

- Planos escala 1:100 de las cubiertas de Elcano
- Programa de diseño NX11
- AutoCAD
- Excel de cálculo de canales UV[12]

3.2.1 Materiales y equipos utilizados

A continuación, se describirán los materiales y equipos necesarios para el correcto desarrollo experimental según la metodología expuesta anteriormente.

[12] El mencionado Excel pertenece al grupo de investigadores de la Universidad de Cádiz, quienes han tenido a bien, compartir dicho documento.

3.2.1.1 Turbidímetro

El Turbidímetro XS a microprocesador diseñado para cumplir con la norma ISO 7027. El aparato dispone de un sistema óptico que permite leer valores entre 0.01 NTU[13] hasta valores de 1000 NTU.

Figura 3-2 Turbidímetro Cienytech

El maletín contiene un bote de agua destilada y una toallita para dejar perfectamente transparentes los frascos muestras. Antes de realizar la medición, hay que calibrarlo mediante las dos soluciones patrón de 0 NTU y 100 NTU. La operación consiste en:

1. Insertar la solución de 0 NTU en el instrumento y cerrar completamente la tapa.
2. Pulsar el botón "CAL" continuamente hasta que la pantalla muestre el texto "CAL". Liberar el botón.
3. Una vez que en la pantalla aparezca "0.00 NTU", realizar misma operación con el frasco patrón de 100 NTU, tal como se muestra en la Figura 3-3.

Figura 3-3 Calibración del Turbidímetro.

3.2.1.2 Kit de pruebas de agua

El kit sirve para analizar el agua de forma sencilla. Simplemente echando una muestra de 15 mL del agua a analizar en el vial de prueba. Una vez dentro del frasco, se agita y se deja en un lugar a temperatura entorno 35-40 ºC durante un día. Si el color de la muestra pasa o se torna a colores naranja-

[13] NTU (Nephelometric Turbidity Unit): Unidad en la que se mide la presencia de partículas en suspensión en el agua, a mayor valor de NTU mayor turbidez en el agua.

rojizos significará que esa agua contiene microorganismos específicos. Esta muestra de la marca AQUAVIAL es capaz de detectar bacterias coliformes y *E. Coli*. Se empleará como herramienta el Test de prueba de Bacterias Coliformes y para verificar la ausencia o la presencia de bacterias según el caso.

Figura 3-4 Test de prueba de Bacterias Coliformes y E. Coli

3.2.1.3 Balanza Digital

La balanza digital de la marca 'BLAUSCAL' se usará para pesar los diferentes reactivos y para preparar los caldos de cultivos. Este equipo proporciona una precisión de 0,1 g siendo más que suficiente para la función desempeñada. A la hora de realizar las mediciones se coloca sobre la balanza un vidrio de reloj y se tara el equipo quedando el montaje tal y como se muestra en la Figura 3-5.

Figura 3-5 Balanza Digital

3.2.1.4 Agitador Magnético

A la hora de preparar los Medios de Cultivo para asegurar su completa dilución se utilizará el equipo de la Figura 3-6, de la marca 'BIPEE' y modelo 'SH-2 MAGENTIC STIRRER'. Con este aparato se puede tanto calentar por conducción de calor como remover una muestra líquida mediante un imán.

Figura 3-6 Calentador y agitador magnético

3.2.1.5 Equipo de dilución

Estos equipos compuestos por tubos de ensayo, gravilla y micro pipeta son importantes para un desarrollo experimental ágil y preciso. Gracias al uso de las puntas de plástico desechables se conseguirán resultados más certeros debido a la reducción de probabilidad de contaminación de las muestras.

Figura 3-7 Gravilla, tubos de ensayo, puntas y micro pipeta.

3.2.1.6 Equipo de Incubación

Será necesario el uso de una estufa de laboratorio como la mostrada en la Figura 3-8, para mantener durante largos periodos a temperaturas constantes los cultivos de bacterias durante el proceso de incubación de las mismas.

Figura 3-8 Estufa de laboratorio 'INDELAB'

3.2.1.7 Equipo de filtración

El equipo consta de dos partes principales: embudo graduado de cristal y matraz Kitasato. En el embudo se introduce un filtro de membrana cuadriculado, mostrado en la Figura 3-9, que tiene 47 mm de diámetro y un diámetro de poro de 0.22 µm. Se usa para facilitar el conteo de colonias, El equipo consigue generar una presión relativa negativa entre el embudo y el interior del matraz gracias al *Efecto Venturi*[14] que genera el circuito de agua externo.

[14] Fenómeno en el que un fluido en movimiento dentro de un conducto cerrado disminuye su presión cuando aumenta la velocidad al pasar por una zona de sección menor.

Figura 3-9 Equipo filtración al vacío

3.2.1.8 Materiales para la Esterilización

Se han denominado así a los siguientes objetos de simple manejo, pero de vital importancia, puesto que son los únicos medios activos disponibles en el aislamiento de microorganismos dentro del laboratorio docente de trabajo. El primero es el mechero Bunsen para esterilizar el aire en las inmediaciones de la muestra, y el segundo básicamente son placas Petri de plástico estériles de un solo uso (ver Figura 3-10).

Figura 3-10 Mechero Bunsen y Placas Petri

3.2.1.9 Sistema de desinfección UV

Consiste en un casillero metálico hermético con acceso al interior a través de una puerta, la cual tiene la finalidad de generar una oscuridad total en su interior. Así pues, mediante la lámpara descrita en la Tabla 3-1 y fotografiada en la Figura 3-11, se emite luz UV que incide en la muestra. Se dispone de un agitador magnético, el cual está encima de un soporte desplegable para acercar o alejar la muestra de agua en estudio. Por último, existe una abertura en el techo para poder extraer muestras sin abrir la puerta.

Figura 3-11 Sistema de Desinfección UV

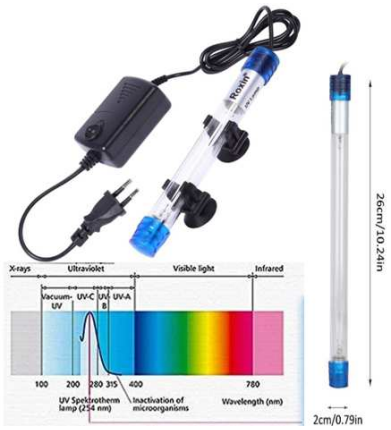
	Características	Valor
Lámpara UV-C	Longitud de Lámpara	28 Cm
	Diámetro	2 Cm
	Longitud de Onda de Trabajo	254 nm
	Potencia de Salida	7 W
	Monocromática	

Tabla 3-1 Características de la lámpara germicida usada

3.2.1.10 Instrumentos de observación a baja escala

En primer lugar, se utilizará un Estereomicroscopio (véase Figura 3-12) el cual posee un cabezal inclinado 45º y rotatorio 360º con división de imagen. Dicho microscopio fue cedido a la Escuela Naval Militar por la Facultad de Enfermería de la Universidad de Vigo. Además, tiene oculares de gran campo (10x/20mm con ajuste dióptrico) con rango de aumento 0.75X - 4,5X. La distancia de trabajo es de 110mm y la platina de trabajo es blanca. El manejo tanto de uno como del otro será para fines estéticos e ilustrativos.

Figura 3-12 Estereomicroscopio marca Motic con cámara 2.0M Pixel

El otro microscopio es especialmente adecuado para identificar y analizar conexiones de acero y otros metales, ya que la luz atraviesa el objeto. También es una forma ideal de evaluar la calidad, analizar materiales y probar estructuras metálicas después del tratamiento térmico. Está equipado con un fototubo para conectar una cámara o grabadora de video. Tiene un ajuste fino en los dos 2 ejes XY y un aumento de zoom considerable debido a los tres objetivos siguientes que lleva instalado:

- Objetivo 4X / NA 0.10, diámetro del área de observación de 5.5 mm
- Objetivo 10X / NA 0.25, diámetro del área de observación de 2.2 mm
- Objetivo 40X / NA 0.65, diámetro del área de observación de 0.55 mm

Figura 3-13 Microscopio Metalúrgico marca Kruss

3.2.2 Medios de Cultivo

Esta técnica de laboratorio consta de un gel que contiene los nutrientes necesarios para permitir el crecimiento de virus y microorganismos, se utiliza para medir el número de colonias o identificar un tipo específico de ser vivo microscópico.

En el presente trabajo se utilizarán dos medios de cultivo. El primero de ellos se realizará para la detección cualitativa de cualquier tipo de microorganismos debido a la simplicidad en la composición como se muestra en la Tabla 3-2 [35], mientras que en la Tabla 3-3 se indican las características del agar Bilis rojo-violeta que tendrá un uso tanto para cuantificación como para identificación.

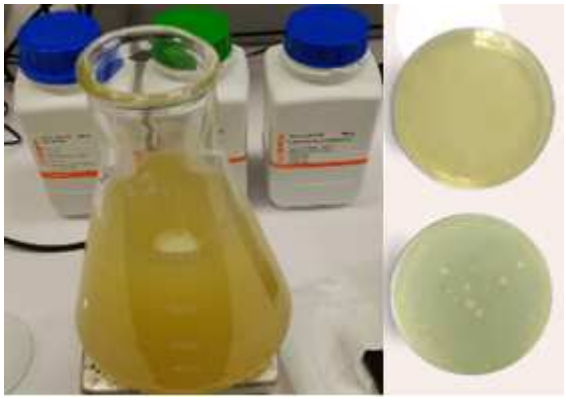
Compuesto	Formula	Valor
Caldo de cultivo según ISO 6222:1999	Extracto de levadura	3.0 g
	Triptona	6.0 g
	Agar Bacteriológico	15.0 g
	Aspecto	Polvo fino
	pH	7,2±0.2
	Color	Beige

Tabla 3-2 Características de Caldo de cultivo ISO 6222:1999

Compuesto	Formula	Valor	Formula	Valor
Agar Bilis rojo-violeta con lactosa	Extracto de levadura	3.0 g	Peptona de gelatina	7.0 g
	Mezcla de sales biliares	1.5 g	Agar Bacteriológico	15.0 g
	Cloruro de sodio	5.0 g	-	-
	Cristal violeta	0.002 g	Marca	
	Lactosa	10.0 g	pH	7,2-7,6
	Rojo neutro	0.03 g	Color	Rojo-Violeta

Tabla 3-3 Características Agar Bilis Rojo-Violeta

4 RESULTADOS / VALIDACIÓN / PRUEBA

4.1 Estudio Cualitativo

4.1.1 Fase inicial

Este estudio fue consecuencia de la incertidumbre existente a causa de no poseer una muestra aislada de la bacteria en estudio. Por lo tanto, siendo cierto que la presencia de las bacterias señaladas es común en todo el mundo, era preciso asegurarse su obtención y supervivencia.

Para la realización del estudio se tomó una muestra de agua fecal de la red de alcantarillado del pueblo de Marín, Pontevedra. Para ello, se adoptaron las medidas de protección sanitarias correspondientes y la muestra se diluyó con agua potable en un recipiente cubierto de papel aluminio para impedir el traspaso de la luz. Se le añadió varias cucharadas de glucosa para asegurar la no inanición de estas y propiciar así, su crecimiento a lo largo de esa semana.

4.1.2 Desarrollo del análisis bacteriano

Una vez generado un ambiente favorable para el aumento de microorganismos, se efectuó el procedimiento estándar para la detección de bacterias coliformes y *E. Coli* recogido en la Directiva 98/83/CE Nacional [13]. Sin embargo, se realizó mediante un medio de cultivo válido (agar bilis rojo-violeta) a pesar de no ser el oficial (agar m-CP) por falta de recursos del laboratorio.

La orden de trabajo consiste en la dilución de la muestra, filtración sobre membrana e incubación anaerobia de la membrana en agar a 37± 2 °C durante 21±3 horas. Para posteriormente observar la presencia de colonias de color violeta dentro de las placas.

4.1.2.1 Preparación del Agar bilis Rojo-Violeta

Su elaboración requiere de una duración aproximada de una hora, sin la cual no se pueden realizar las demás fases del estudio. Los pasos a seguir vienen descritos en la etiqueta del fabricante de forma abreviaba. A continuación se explica su preparación llevada a cabo en nuestro laboratorio (Figura 4-1):

1. Se miden 40.5±1 gramos del compuesto en cuestión en la Balanza Digital.
2. Se vierte la mitad[15] del contenido dentro de un matraz Erlenmeyer[16] o vaso precipitado de un litro.

[15] Es preciso seguir este orden ya que de esta forma se evita que el Agar se solidifique en las paredes del matraz al no estar caliente

[16] Se prefiere Matraz Erlenmeyer ya que es más fácil de manejar a la hora de verter el contenido dentro de las placas Petri.

3. Se coloca el conjunto en el Agitador Magnético con el calentador a la máxima temperatura.
4. Se echan tres cuartos de agua destilada en el matraz y se comienza la agitación lenta.
5. A medida que la temperatura asciende, se continúa echando el resto del agar y se enrasa la línea del litro (se parará de agitar cuando esté enrasando).
6. Una vez disuelto por completo, se deja enfriar (cuando haya hervido durante 1 minuto) hasta los 45ºC-50ºC.

Figura 4-1 Preparación del medio de cultivo Agar Bilis Rojo-Violeta

4.1.2.2 Dilución de la muestra

Como se desconoce el método y la concentración de las posibles bacterias se decide realizar una dilución de hasta 10^{-3} siguiendo la bibliografía consultada [37]. Para ello, se pipetea asépticamente 1 ml de muestra en un tubo de ensayo con 9 ml de solución tamponada estéril y se agita. Así se hallaría la dilución 10^{-1}, por lo que para conseguir la relación 1/1000, hay que realizar el mismo procedimiento dos veces más sobre la dilución anterior (Figura 4-2).

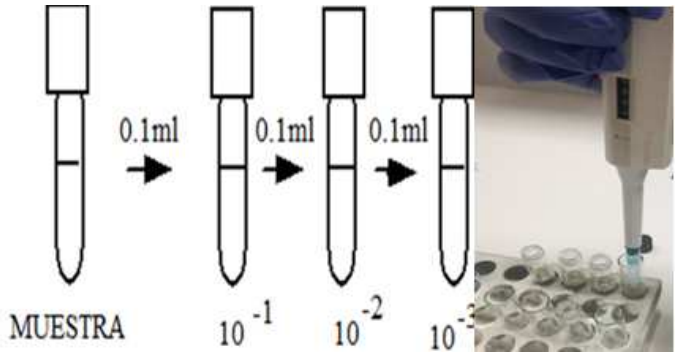


Figura 4-2 Dilución de la muestra

4.1.2.3 Filtración sobre membrana

Antes de comenzar, se realiza un ensayo con el propósito de detectar posibles fugas que disminuyan la presión del sistema descrito en el apartado 3.2.1.7. Para ello se emplea una membrana que se desecha una vez se haya realizado la prueba, y con una muestra de agua destilada de 10 mL se mide el tiempo aproximado de la filtración para la gestión eficiente del tiempo.

Cuando se esté solidificando el medio dentro de la placa (explicación en el apartado 4.1.2.4) se empezarán a hacer las filtraciones. Destacar que las manipulaciones de la membrana para colocación en el filtro y en la placa Petri, se efectúan mediante unas pinzas que se esterilizan con un Figura 3-10 Mechero Bunsen y Placas Petri en cada uso. Se utilizará una membrana por cada filtración, siendo necesarias en este trabajo un total cuatro. En la Tabla 4-1 se resume el experimento a realizar, numerando a cada placa Petri de tal forma que cuando se tenga que mencionar específicamente una de ellas, se hará referencia mediante la misma enumeración (por ejemplo (1)).

Placas Petri	Tiempo de Incubación/ T º C	Dilución
1	24 horas/37 ºC	10^{0}
2	24 horas/37 ºC	10^{-1}
3	24 horas/37 ºC	10^{-2}
4	24 horas/37 ºC	10^{-3}

Tabla 4-1 Filtración por membrana, estudio cualitativo

4.1.2.4 Esterilización e Incubación

En caso de no poseer placas estériles de un solo uso, habría que utilizar algún sistema de esterilización. Entre ellos se encuentran el autoclave o la llama de la Figura 3-10 Mechero Bunsen y Placas Petri, utilizados para evitar la presencia de otros microorganismos que se puedan desarrollar. Asimismo, habría que esterilizar el aire del medio de la misma forma.

La metodología de esta etapa consiste en colocar una almohadilla absorbente dentro de la placa mediante las pinzas desinfectadas, para posteriormente colocarle una cantidad del medio suficiente a 45-50ºC para empapar de forma progresiva la almohadilla para no generar burbujas entre la membrana y el medio. En el momento en el que haya solidificado, se pondrá la membrana en la superficie y se añadirá la suficiente porción del medio para recubrir la membrana. Finalmente, se sitúan las placas invertidas dentro de la Estufa de laboratorio 'INDELAB' durante 24±4 horas a 37 ºC. A modo de verificación, se aprovechará para utilizar el Kit de pruebas de agua, colocando un vial en la estufa el mismo tiempo.

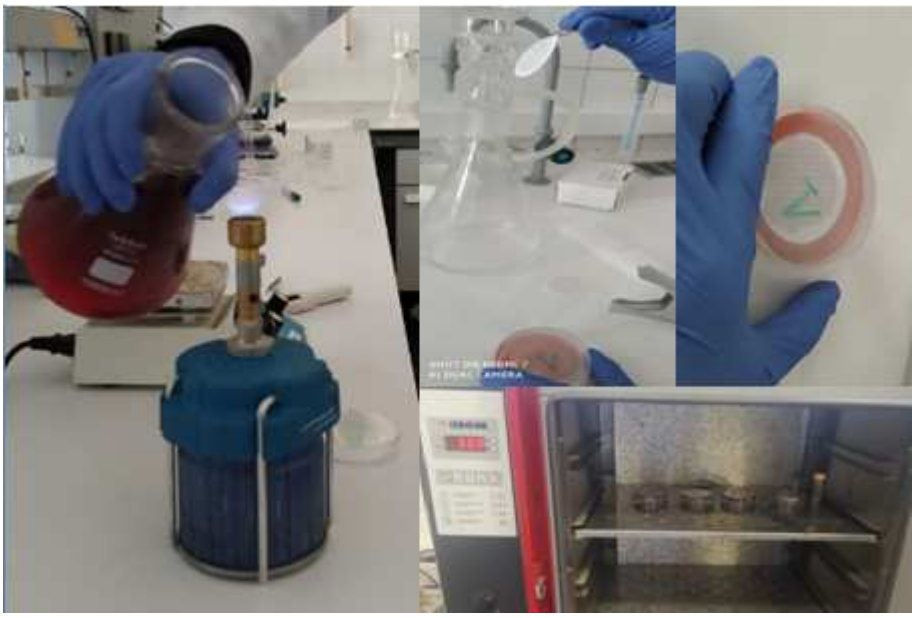


Figura 4-3 Esterilización e Incubación

4.1.2.5 Observación y recuento de colonias en el estudio cualitativo

El resultado del estudio se obtiene de forma visual, si existen bacterias habrá precipitaciones de color violeta y si no se mantendrá el mismo color rojo. En la Figura 4-4 se puede ver el resultado positivo de la presencia abundante de *E. Coli* en las diferentes diluciones. En la primera imagen (fotografía de la izquierda) en la que no se diluyó la muestra de agua contaminada, la presencia de bacteria es tal que el viraje a color violeta es homogéneo en toda la superficie. En la segunda y tercera imagen (fotografías centrales) ya se pueden distinguir entre las zonas, pero sin embargo el recuento de colonias resulta demasiado complejo. Es ya en la dilución de 10^{-3} (por cada 1L de agua hay 1mL de muestra) donde se puede realizar un conteo de las UFC[17] con ayuda del Estereomicroscopio marca Motic con cámara 2.0M Pixel. En este caso se han localizado noventa y siete colonias siendo el resultado final el reflejado en la Ecuación 5 [37]:

$$\frac{\boldsymbol{UFC}}{\boldsymbol{vol.muestra\ filtrada x\ Factor\ de\ dilución}} = \frac{\mathbf{97}}{\mathbf{10 \times 10^{-3}}} = \mathbf{9700}\ \boldsymbol{E.Coli/10mL}$$

Ecuación 5 Recuento de UFC en 10 mL de la muestra sin tratar

Figura 4-4 Primer ensayo de la muestra sin tratamiento

La prueba ha salido satisfactoriamente con resultados extraordinariamente altos, gracias al ambiente propicio para el crecimiento bacteriano, siendo el caso de las Coli es especialmente elevado (Véase Figura 2-4 Crecimiento exponencial de E. Coli en el tiempo). Se cumple de este modo con la

[17] Es la unidad de medida para contabilizar microorganismos en una muestra líquida o sólida (Unidad Formadora de Colonias)

bibliografía estudiada acerca de las aguas residuales (véase Figura 4-5 [38]), puesto que la muestra de agua que se extrajo, guarda una estrecha relación con las aguas residuales al haber fomentado la multiplicación de microbios.

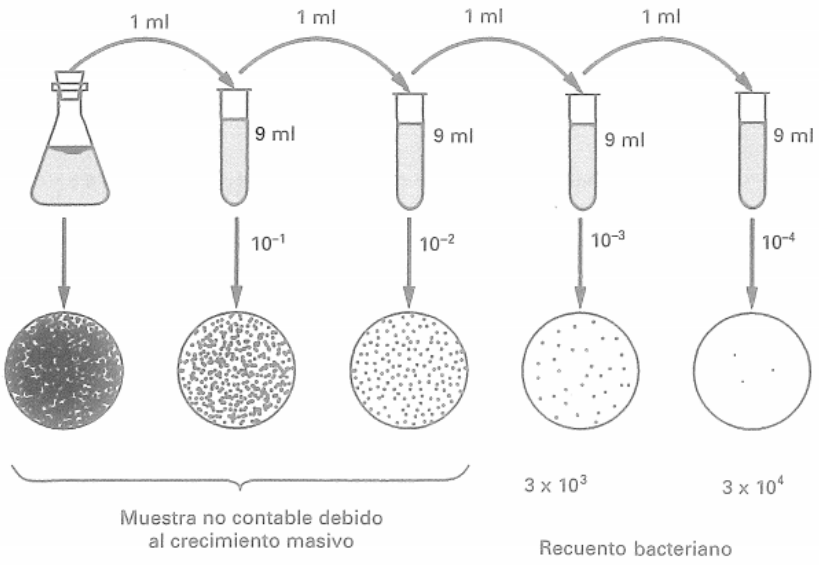


Figura 4-5 Recuento bacteriano en aguas residuales

Además se realizó un test del Kit de pruebas de agua al mismo tiempo, en el cual se verificó que la presencia de *Escherichia Coli*. Los resultado obtenido también son positivos (Figura 4-6).

Figura 4-6 Test AQUAVIAL de muestra sin tratar

La prueba de microscopio realizada para finalizar con el estudio cualitativo, se califica como no concluyente por falta de medios para su realización. No se puede confirmar porque se necesitaría un microscopio de barrido para ver la forma del microorganismo, será utilizado únicamente como material de apoyo. Se realizó una búsqueda mediante el uso de un microscopio con intención de encontrar alguna diferencia entre las colonias y las zonas de color rojo de la superficie de la placa Petri 10^{-3}. En efecto, se apreciaron morfologías distintas en los puntos violetas, que en las zonas vacías; pudiéndose interpretar que se tratan de colonias bacterianas(Figura 4-7).

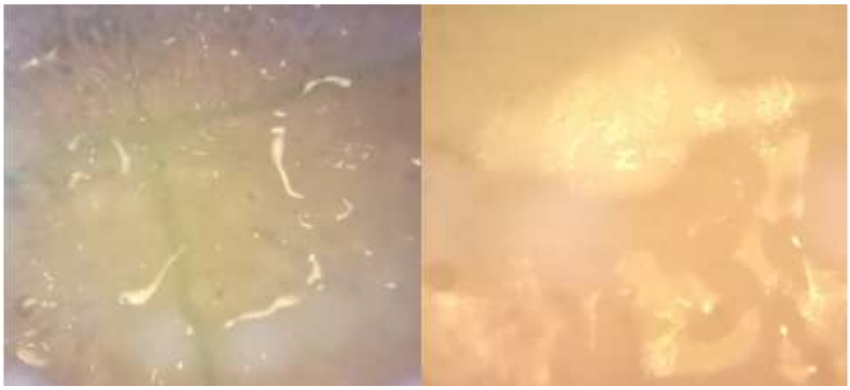


Figura 4-7 Imágenes observadas con el Microscopio Metalúrgico marca Kruss (Objetivo 40X)

Finalmente, al haber conseguido garantizar la existencia de bacterias coliformes fecales mediante el cultivo y el vial *E. Coli*, se ha generado un Mapa conceptual del estudio Cualitativo donde se resume los pasos realizados.

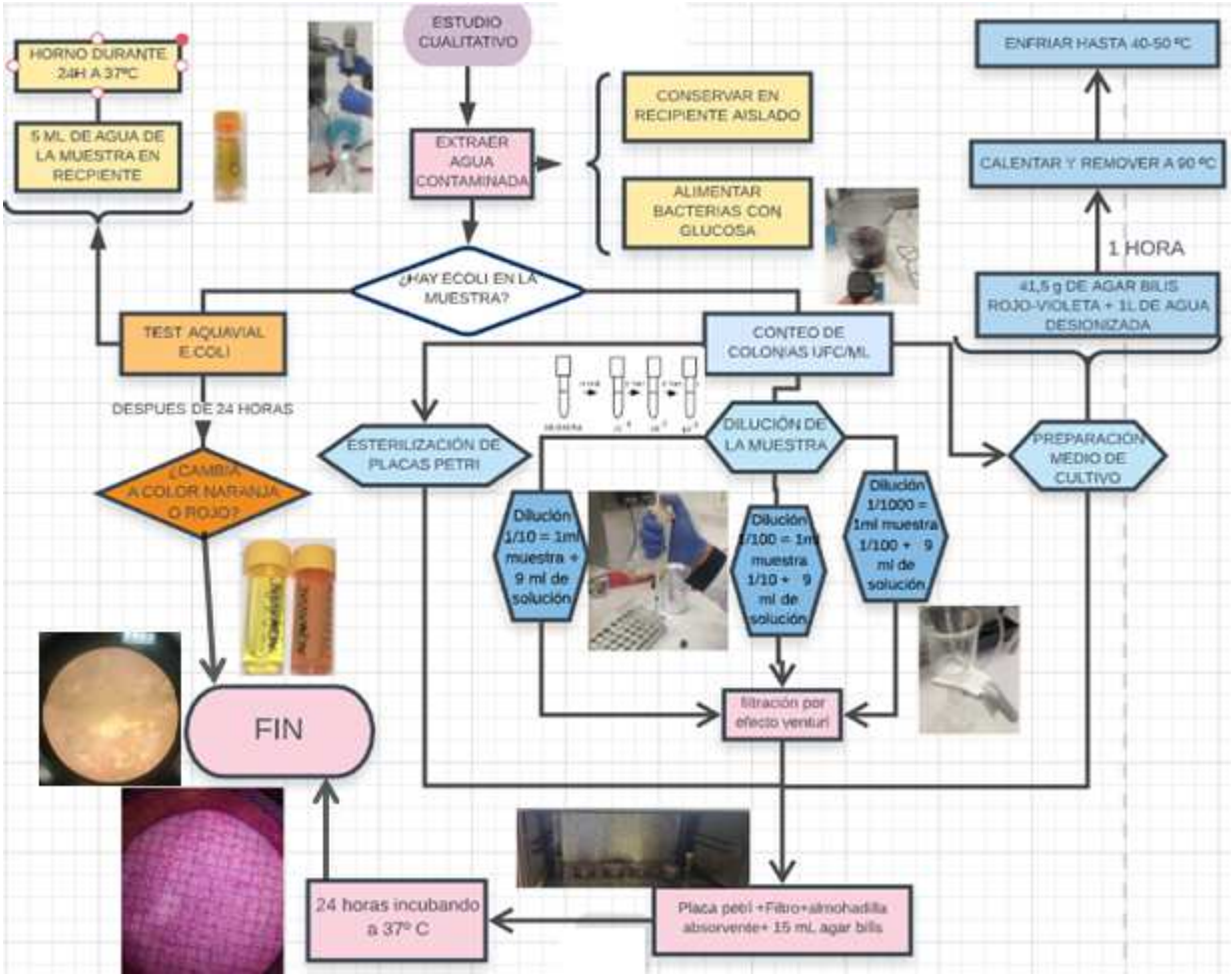


Figura 4-8 Mapa conceptual del estudio Cualitativo

4.2 Estudio Cuantitativo

Siguiendo con el itinerario (Figura 3-1 Esquema de la metodológica del trabajo), se investigarán las propiedades germicidas de la luz ultravioleta con el objetivo de reducir de forma parcial y/o total la presencia de coliformes fecales en la muestra tras haber realizado la filtración. Se procurará conseguir resultados cuantificables para poder compararlo con los estudios existentes de desinfección UV y validar el experimento.

4.2.1 Prueba inicial de búsqueda del tiempo de desinfección

Para conseguir el tiempo de desinfección necesario de manera empírica, se realiza un experimento sencillo inicial por siembra en profundidad. La razón principal por la que se realizará este procedimiento es el ahorro de tiempo, puesto que con este procedimiento se omite la etapa de filtración.

La estrategia de trabajo consiste en colocar la muestra en el Sistema de Desinfección UV durante un tiempo determinado que se encuentra reflejado en la Tabla 4-2, preparar elCaracterísticas de Caldo de cultivo ISO 6222:1999 , hacer la siembra y la incubación anaerobia en el agar a 37± 2 °C durante 44±4 horas y otra placa a temperatura ambiente (~22±2 ºC) durante 68±4 horas. Posteriormente, se observará la ausencia o presencia de colonias de color amarillo sobre el fondo blanco del medio. Además, se usará de nuevo otro test AQUAVIAL para antes y después de la operación

4.2.1.1 Preparación de Caldo de cultivo según ISO 6222:1999

A diferencia del Agar Bilis Rojo-Violeta comercial en el que la mezcla de los componentes en sus correspondientes proporciones ya está hecho, el Caldo ISO 6222:1999 debe prepararse. En la Tabla 3-2 se indica que se necesita de agar bacteriológico (15 g), extracto de levadura (6 g) y triptona (3 g).

Del mismo modo que en la Preparación del Agar bilis Rojo-Violeta se mantendrán las mismas precauciones para la esterilización de la muestra. También se disolverán los componentes sólidos con agua destilada hasta quedar enrasado con la línea de un litro del matraz Erlenmeyer. Antes de esto, se tendrán que medir los compuestos[18] descritos en la Figura 3-5 Balanza Digital, previamente tarada con un vidrio de reloj estéril (Figura 4-9). Por último, mediante un Figura 3-6 Calentador y agitador magnético se incrementará la temperatura hasta la ebullición durante un minuto y enfriamiento posteriormente conservándose en una temperatura de 45-50 ºC. La fase de calentamiento y enfriamiento se puede prolongar hasta la hora y media, lo cual condiciona al resto de etapas y debe ser la primera en realizarse.

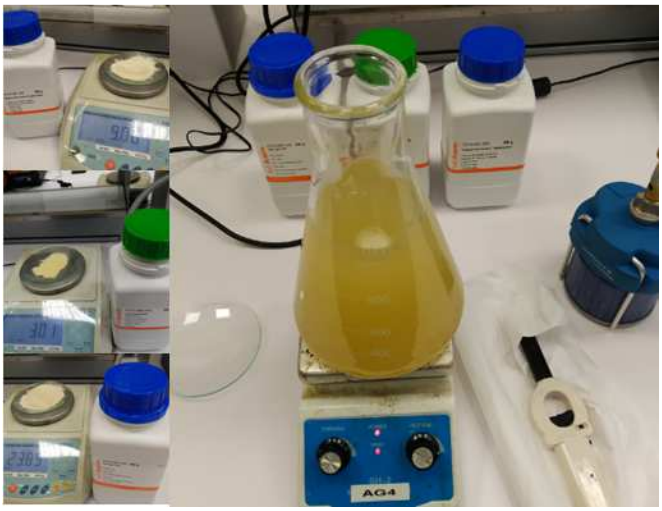


Figura 4-9 Preparación de medio de cultivo ISO 6222:1999

4.2.1.2 Tratamiento en el Figura 3-11 Sistema de Desinfección UV

La dificultad en esta etapa está en decidir los tiempos de desinfección ya que estos dependen de diversos factores como la turbidez o la potencia real de la lámpara. Por tanto, al tratarse de una prueba piloto, se analizarán algunos parámetros sencillos de medir con los instrumentos que se poseen para

[18] Se realizaron las medidas de los compuestos de forma consecutiva, sumando las cantidades hasta llegar a los 24 gramos totales; ya que no afecta en las propiedades finales y es más preciso que utilizar tres vidrios de reloj estériles diferentes.

poder evitar posibles fallos en los resultados. Como ya se comentó anteriormente, el agua cuanto más clara sea mejor; por ello, se hace uso del turbidímetro. Esto se llevará a cabo siguiendo los siguientes pasos:

Extraer 10 mL de los 100 mL de muestra a tratar ya depositada en un vaso precipitado de 250 mL. A continuación, añadir al frasco de medición del turbidímetro y una vez medido, devolver los 10 mL al vaso de precipitado. A mayores se ha efectuado una medición con un pH-metro para contrastar resultados con la posterior medición. Como se puede observar en la Figura 4-10 los datos obtenidos son 9,25 NTU y pH 7,7. La única conclusión de esto sacar es que existe cierto grado de turbidez debido a la materia orgánica suspendida en la muestra que podría dificultar la desinfección.

Figura 4-10 Medida de la turbidez y pH antes del tratamiento UV

Para finalizar este paso, se introduce el vaso precipitado rellano de 100 mL dentro del casillero con el agitador magnético funcionando al mínimo y la lámpara UV encendida. Se establece el límite en una hora y media con la intención de asegurar la ausencia total de bacterias (Tabla 4-2).

Placas Petri	Tiempo de exposición UV	Tiempo de Incubación	T º C
5	0 min	44 horas	37
6	0 min	68 horas	20
7	90 min	44 horas	37
8	90 min	68 horas	20

Tabla 4-2 Primer planeamiento de desinfección UV ISO 6222:1999

4.2.1.3 Siembra en profundidad e Incubación

La siembra en profundidad es un método sencillo (véase Figura 4-11) donde se coloca un volumen de la muestra que no supere los 2 ml en una placa de Petri estelarizada[19]. Añadir de 15 ml a 20 ml de medio fundido y atemperado a no menos de 45ºC. Mezclar cuidadosamente mediante una suave rotación. Esperar a la solidificación del medio y colocar invertidas las placas en la Estufa de

[19] Se utilizarán placas Petri de vidrio que han sido hervidas en agua destilada y posteriormente se les ha pasado una llama por toda la superficie. Se prefieren dichas placas para este método ya que son más grandes para que en la rotación haya menos posibilidades de derramar.

laboratorio 'INDELAB'. Se seguirá el manual básico de microbiología [35], realizando dos series, una incubación a 37ºC en la estufa y otra a la temperatura ambiente del laboratorio.

Figura 4-11 Siembra en profundidad e incubación del primer ensayo

4.2.1.4 Observación de la primera prueba en el estudio cuantitativo

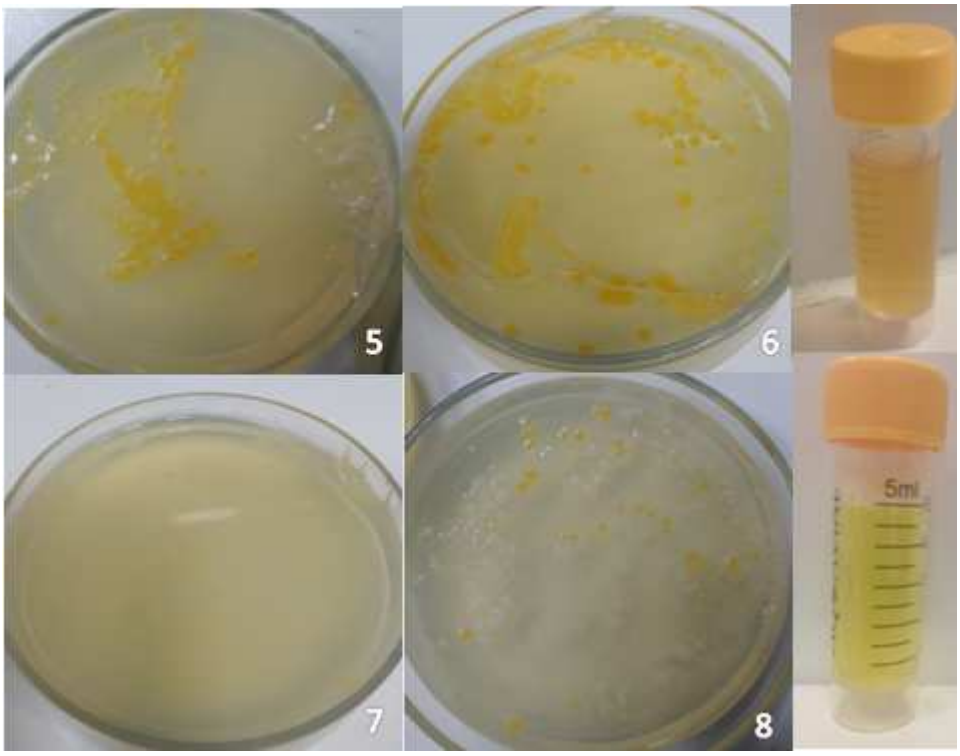


Figura 4-12 Resultados obtenidos en la primera prueba

La interpretación de los resultados de las series de placas se tuvo que hacer en diferentes días, siendo esta satisfactoria para continuar ajustando el tiempo mínimo. En la Figura 4-12 se observa el color anaranjado del vial de *E. Coli* de la captura superior representa la presencia de esta bacteria inicialmente y el vial inferior de color amarillo la ausencia. La fila superior de fotografías de la imagen pertenece a las placas Petri número (5) y (6), las cuales no han sido tratadas. Se observa que la placa (6) tiene más colonias que la (5). Se cree que el hecho de que estuviera 24 horas más de incubación ha propiciado un mayor crecimiento.

Por otro lado, las fotografías de la fila inferior son las placas identificadas como (7) y (8). La placa (7) se encuentra perfectamente desinfectada, siendo un resultado bastante positivo para demostrar el potencial desinfectante de la luz ultravioleta. Sin embargo, no ha sucedido lo mismo en la placa (8),

donde se creé que las pocas colonias dispersas son la consecuencia de una contaminación del aire ambiente.

No se realizará el conteo de colonias coliformes, puesto que es el primer experimento y esta metodología es poco precisa. Pero sí se vuelve a medir la turbidez y el pH, dando resultados numéricos más bajos en ambos parámetros. Se puede interpretar como datos positivos puesto que a menor NTU, menor materia orgánica suspendida en el líquido. En el caso del pH con respecto a la primera prueba donde el pH inicial era 7,8, la disminución es irrelevante y en todo caso positiva al acercar más el valor al pH 7 o más popularmente conocido como pH neutro.

4.2.2 Segundo ensayo: Búsqueda de la cinética de inactivación

Una vez demostrada la aplicación de desinfección, el siguiente paso es aumentar la precisión, en otras palabras, conocer la naturaleza de este dispositivo para que se puede predecir teóricamente la dosis UV necesaria para inhibir una muestra.

La primera acción será iterar el rango de exposición hasta conseguir ver visualmente la disminución de UFC de las placas con el aumento de tiempo. En este apartado si será necesario el empleo del método de filtración por membrana con el cultivo agar Bilis Rojo-Violeta, puesto que el filtro con cuadricula facilita el conteo y este agar es más selectivo que si se utiliza la Siembra en profundidad e Incubación. La metodología de trabajo en esta fase del estudio se caracteriza por la agilidad y fluidez a la hora de preparar las placas. Los pasos a realizar son similares al estudio cualitativo (Figura 4-8 Mapa conceptual del estudio Cualitativo), con la diferencia de que ahora hay que añadir dos etapas más:

1. Tratamiento en el Figura 3-11 Sistema de Desinfección UV
2. Extracción de muestra por el orificio superior

Se decide para este segundo ensayo seguir disminuyendo el intervalo de extracción a cada treinta minutos (véase Tabla 4-3). La última muestra será a la hora y media, puesto que como se demostró en la placa 7, la desinfección en dicho margen de tiempo era total. Así pues, se hará un estudio completo hasta la dilución 10^{-3} a la hora y media de exposición UV, para descartar el resultado incongruente de la placa 8 y poder afirmar que las causas de esa contaminación son ajenas al tratamiento.

Placas Petri	Tiempo de exposición UV	Tiempo de Incubación/ T º C	Dilución
9	30 min	24 horas/37 ºC	10^{-3}
10	60 min	24 horas/37 ºC	10^{-3}
11	90 min	24 horas/37 ºC	10^{0}
12	90 min	24 horas/37 ºC	10^{-1}
13	90 min	24 horas/37 ºC	10^{-2}
14	90 min	24 horas/37 ºC	10^{-3}

Tabla 4-3 Segundo ensayo cuantitativo con filtración de membrana y agar Bilis Rojo-Violeta

En la Figura 4-13 se recoge un resumen genérico incluyendo instantáneas de los pasos nuevos mencionados anteriormente.

Figura 4-13 Segunda prueba experimental con filtro de membrana

4.2.2.1 Resultados obtenidos en el segundo ensayo

La única interpretación objetiva de los resultados obtenidos es que ha habido un exceso de dosis ultravioleta, tanto para la primera como para la última muestra. Se puede afirmar ya, que la placa 8 no fue contaminada posteriormente puesto que todos los resultados obtenidos muestran ausencia total de colonias de bacterias coliformes. En la Figura 4-14 se ve como todas las placas Petri (de la (9) a la (11)) tienen un color rojo brillante muy diferente al violeta de la placa (4) por ejemplo.

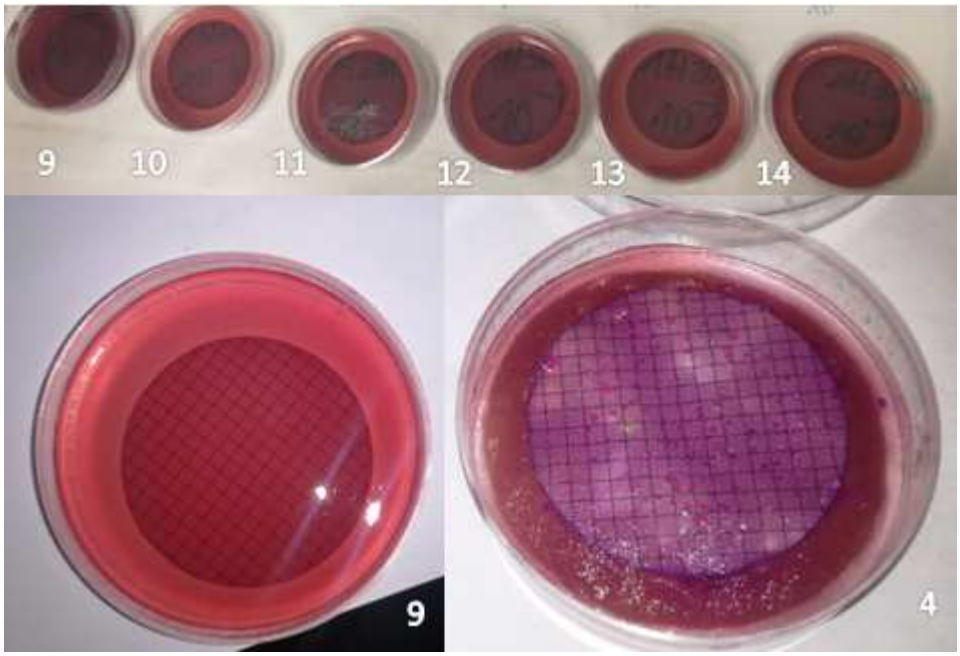


Figura 4-14 Segunda serie de placas Petri ya desinfectadas

Se anotan los resultados y se inicia otro experimento en el cual las iteraciones serán con tiempos menores de treinta minutos.

4.2.3 Tercer ensayo: Búsqueda de la cinética de inactivación

La nueva estrategia será disminuir al mínimo la extracción de muestra y la dilución dejarla en una proporción 10^{-1}, para tener más probabilidades de que aparezcan colonias. Como cada vez el procedimiento es más preciso, se decide realizar un Figura 4-15 Mapa conceptual del estudio cuantitativo (Figura 4-15) para estandarizar la metodología más adecuada para captar la tendencia descendiente de la concentración de colonias en las nuevas placas.

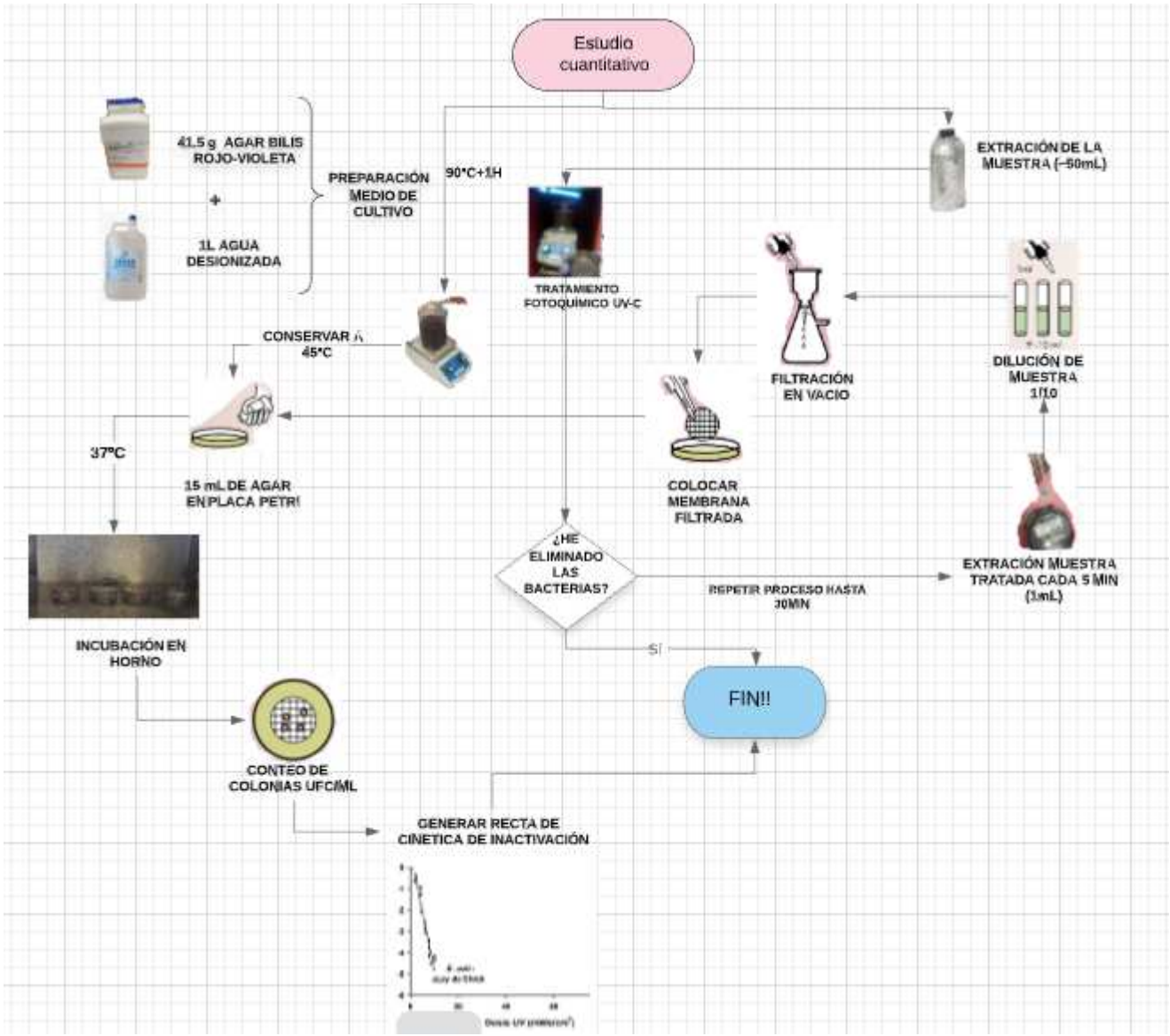


Figura 4-15 Mapa conceptual del estudio cuantitativo

Hay que tener en cuenta para la organización de la nueva serie de placas, que el tiempo físico necesario para preparar una placa no puede bajar de los dos minutos. Esta afirmación se debe a que como se muestra en la Figura 4-15, entre cada extracción que se haga, hay que diluir la muestra, filtrarla, colocar la membrana filtrada y añadir el caldo previamente preparado. También hay que considerar las referencias bibliográficas que posicionan a la *E. Coli* como uno de los microorganismos que antes se eliminan (véase Figura 4-16 [38] o la Tabla 0-1,Anexo I). Por todo ello, no se realizarán

las pruebas planeando los tiempos de extracción, sino que se realizarán cada vez que esté la placa anterior lista para la incubación. Se contará con la ayuda de un cronómetro y se anotará cada vez que se recoja una muestra (nota[20]).

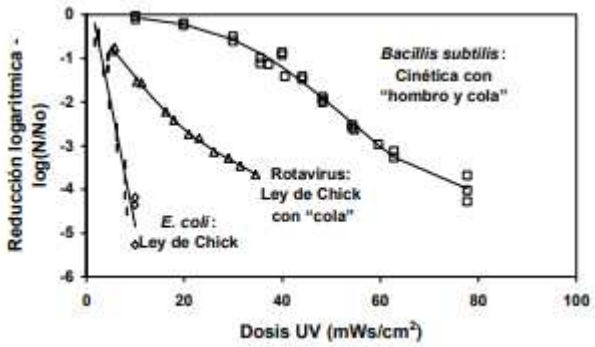


Figura 4-16 Ejemplo de Cinética de inactivación de diferentes microorganismos

Una vez terminada la experiencia, se registraron los datos de la serie de las últimas diez placas (Tabla 4-4).

Placas Petri	Tiempo de exposición UV	Tiempo de Incubación/ T º C	Dilución
15	0 min	24 horas/37 ºC	10^{-1}
16	2 min	24 horas/37 ºC	10^{-1}
17	4 min	24 horas/37 ºC	10^{-1}
18	7 min	24 horas/37 ºC	10^{-1}
19	10 min	24 horas/37 ºC	10^{-1}
20	14 min	24 horas/37 ºC	10^{-1}
21	17 min	24 horas/37 ºC	10^{-1}
22	19 min	24 horas/37 ºC	10^{-1}
23	23 min	24 horas/37 ºC	10^{-1}
24	26 min	24 horas/37 ºC	10^{-1}

Tabla 4-4 Tercer ensayo cuantitativo con filtración de membrana y Agar Bilis Rojo-Violeta

4.2.3.1 Resultados obtenidos en el tercer ensayo

Finalmente, se alcanzaron los resultados deseados sin necesidad de realizar otra prueba. La justificación se encuentra en la Figura 4-17 (nota[21]), donde se observa la degradación exponencial de las colonias.

[20] Extraer la muestra mediante una pipeta Pasteur de 1 mL para rápidamente hacer la dilución 1/10.

[21] Por motivos de edición, se han apilado las fotos de las distintas placas, pudiendo ser dificultosa la apreciación de los puntos violetas, por lo que se han añadido imágenes de las ultimas placas en el apartado 6.1Fotografías de las placas Petri del Anexo I:

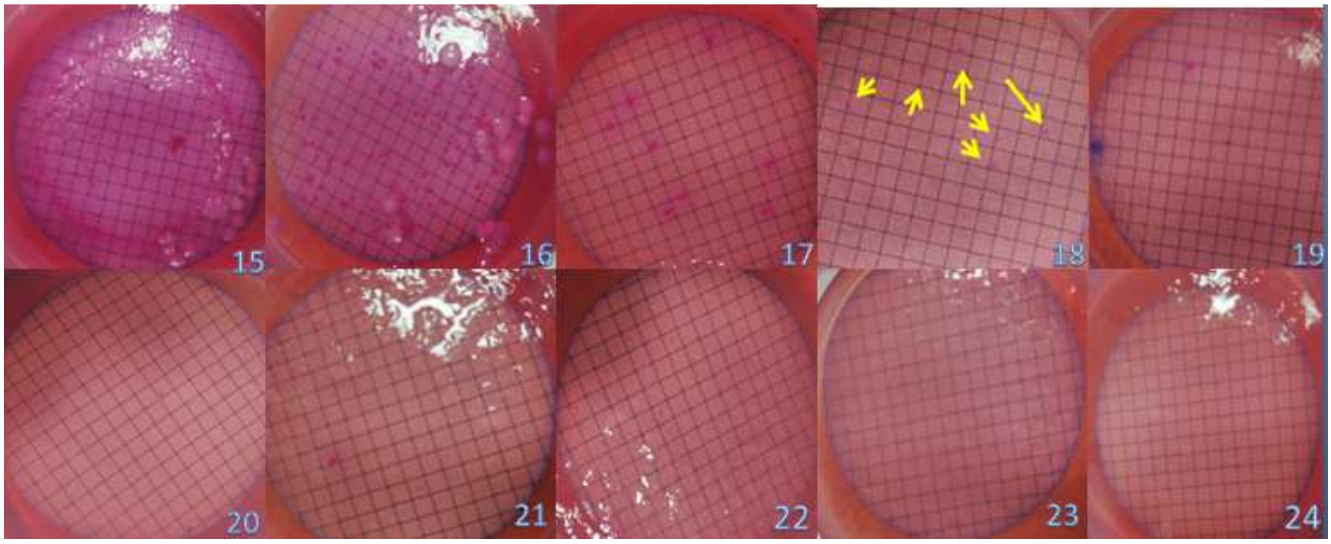


Figura 4-17 Tercera serie de placas tratadas con luz ultravioleta

A continuación, se realiza el conteo de las unidades formadoras de colonias en diez mililitros (UFC/10 mL) haciendo uso de la Ecuación 5, en la que hay que tener en cuenta el factor de dilución (10^{-1}).

Placas Petri	Factor dilución	Vol. Muestra filtrada	UFC	E.coli/10mL
15	10^{-1}	10mL	500	5000
16	10^{-1}	10mL	165	1650
17	10^{-1}	10mL	8	80
18	10^{-1}	10mL	6	60
19	10^{-1}	10mL	3	30
20	10^{-1}	10mL	2	20
21	10^{-1}	10mL	1	10
22	10^{-1}	10mL	1	10
23	10^{-1}	10mL	0	0
24	10^{-1}	10mL	0	0

Tabla 4-5 Recuento de colonias de la tercera serie de placas

En la Figura 4-18 se puede apreciar la degradación exponencial de los microorganismos. Aunque la manera científica que se utiliza en las empresas para mostrar la desinfección sea mediante la ley de Chick (Ecuación 6), esta gráfica sirve para comprender visualmente como la longitud de onda a 265 nm es capaz de eliminar en torno a 4000 UFC en menos de 4 minutos.

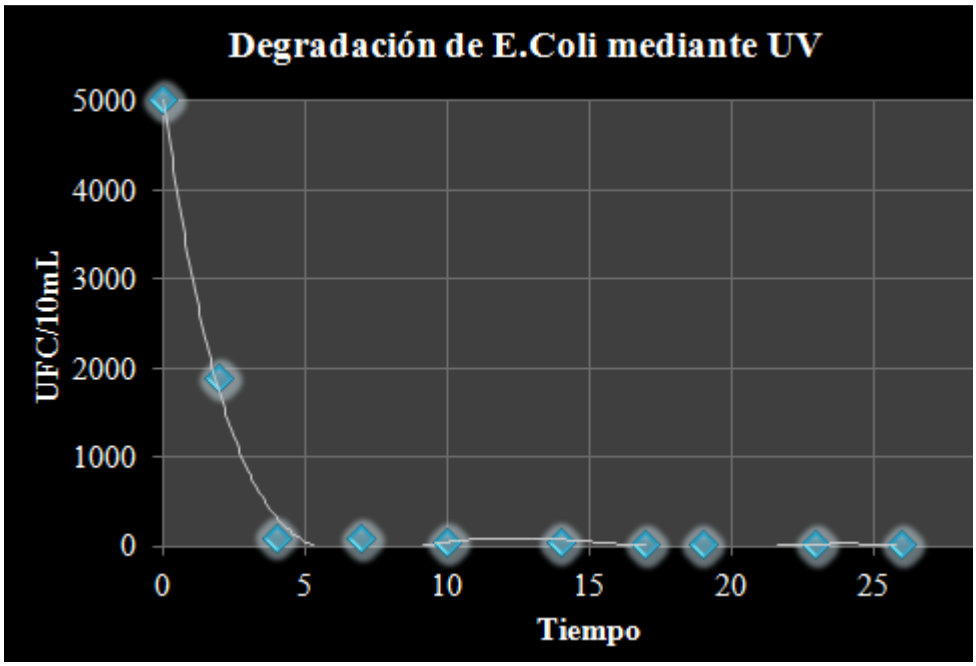


Figura 4-18 Gráfica de desinfección de la tercera serie (Tabla 4-5)

4.3 Comparativa y estudio de la viabilidad

En este apartado se presentarán e interpretarán los resultados obtenidos. Se incluirá, de ser el caso, gráficas y tablas para la facilitar la compresión de los datos. La finalidad será la comparativa de los datos teóricos con los experimentales y el manejo técnico de los parámetros necesarios para el posterior diseño de un sistema fotoquímico dentro de J.S. Elcano.

4.3.1 Recta de inactivación de la práctica

Es necesario validar nuestro sistema de desinfección. Para ello se empleará una herramienta con la que se pueda comparar el potencial de la lámpara con las existentes en el mercado. Esta herramienta tiene que relacionar las capacidades del objeto emisor de luz UV con su efectividad de destrucción de microorganismos. Todo ello se consigue a partir de la ley de Chick o también conocida como la ley de la cinética de inactivación microbiana por UV. Gracias a esta fórmula teórica (Ecuación 6) se puede generar una recta en la que poder ver la semejanzas y diferencias con estudios anteriores (Figura 4-16)

$$N = N_0 e^{-kIt}$$

Ecuación 6 Ley de Chick o de la cinética de Inactivación microbiana por UV [37]

Donde:

N_0 es la concentración inicial de microbios previa a la aplicación de UV

N es el número de microbios que restan después de la exposición a la luz UV

I es la intensidad UV

t es el tiempo de exposición

k es la constante del ritmo de inactivación.

El desarrollo de la Ecuación 6 para obtener la gráfica deseada sería el siguiente:

$$\frac{N}{N_0} = e^{-kIt} \rightarrow -\ln\frac{N}{N_0} = kIt \rightarrow \ln\frac{N}{N_0} = k(DOSIS\ UV)$$

Ecuación 7 Desarrollo de la ley de Chick

Haciendo uso de la Ecuación 7, el objetivo se basa en hallar los factores: reducción logarítmica y dosis UV.

4.3.1.1 Cálculo de la dosis UV

El término dosis UV ya explicado en la Ecuación 4 del apartado 2.4.2, se utiliza para describir la capacidad total de energía absorbida por un microorganismo para eliminar e inhabilitar su reproducción. También puede ser expresado por la siguiente fórmula:

$$DOSIS\ UV = I * t$$

Donde:

I = intensidad de radiación (mW/cm2).

t = tiempo de exposición.

El parámetro que se hallará es la intensidad, ya que el tiempo de exposición es conocido. Para el cálculo de la intensidad se realizarán ciertas consideraciones porque la única manera real para hallarla es mediante un medidor de irradiancia, puesto que las potencias de las lámparas se deterioran con el tiempo y dependen del medio.

Como en el vacío la luz se dispersa radialmente desde la superficie de cada lámpara, siguiendo una geometría cilíndrica de forma idéntica en toda la longitud de la lámpara, se asumirá dicha condición y se aplicará la Ecuación 8 sobre toda la superficie incidente del vaso con la muestra (véase Figura 4-19). Así pues, se desprecian las distorsiones que se producen en los extremos del reactor por considerarlas insignificantes en unas lámparas tan largas.

$$I_0 = \frac{P}{2\pi \mathrm{r_i} L}$$

Ecuación 8 Intensidad UV en el vacío

Donde:

I_0= Intensidad ultravioleta a una distancia r de la pared de la lámpara (mW/cm2).

P= Potencia de la lámpara en W.

L= Longitud de la lámpara en cm.

r_i= Distancia desde el centro de la lámpara a cualquier punto de la sección perpendicular a la lámpara en cm.

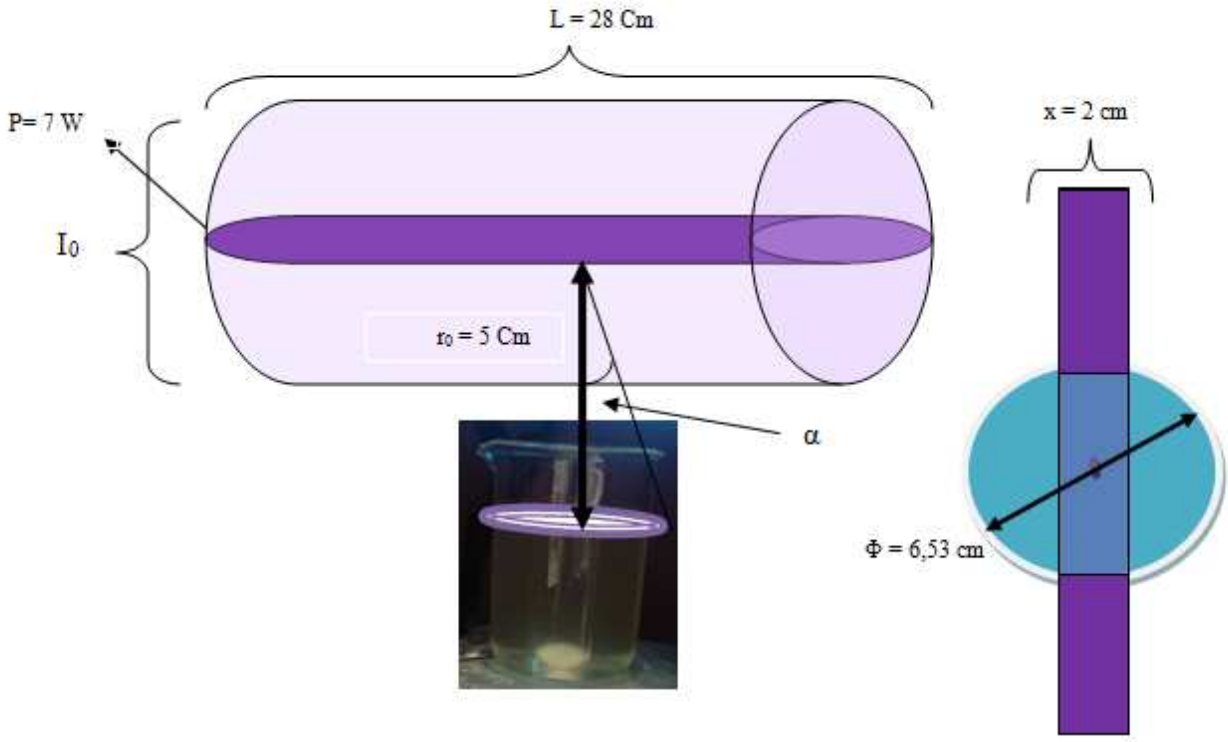


Figura 4-19 Consideraciones para cálculo de la Intensidad media

Como lo que se busca es conocer la intensidad media que habría sobre la superficie superior del vaso, se deduce que dicha intensidad dependerá del ángulo α y del ángulo acimutal de la superficie θ. Por tanto, el desarrollo de la ecuación será el siguiente:

$$I_f = \int_0^{2\pi} \int_0^{\alpha} \frac{P}{2\pi r L \cos\alpha} d\alpha\, d\theta = \frac{P}{2\pi r L} \int_0^{2\pi} \int_0^{\alpha} \frac{1}{\cos\alpha} d\alpha\, d\theta = \frac{P}{rL} {}_0^{\alpha} |\ln\tan\alpha + \sec\alpha| = 0.03 mW/cm^2$$

Ecuación 9 Intensidad UV media en la superficie del Vaso

Siendo:

$$\alpha = \tan^{-1}\frac{\phi/_2}{h} = \tan^{-1}\frac{6.53/_2}{5} = 33.14°$$

4.3.1.2 Generación de la gráfica de inactivación microbiana

A continuación se cogerán los datos de la columna UFC/10 mL de la Tabla 4-5 Recuento de colonias de la tercera serie de placas para generar una nueva tabla, aplicando el logaritmo neperiano de las concentración restante (N) entre la concentración inicial (N_0). Se añadirán a la citada tabla, las dosis UV que se relacionan con cada reducción logarítmica para finalmente generar la gráfica (Figura 4-21).

Placas Petri	Tiempo de exposición UV (seg)	N	Ln (N/N_0)	DOSIS UV (mWs/cm2)
15	0	5000	0	0
16	120	1650	-0,9888614	3,6
17	240	80	-4,1351666	7,2
18	420	60	-4,4228486	12,6
19	600	30	-5,1159958	18
20	840	20	-5,5214609	25,2
21	1020	10	-6,2146081	30,6
22	1140	10	-6,2146081	34,2
23	1380	1*	-8,5171932	41,4
24	1560	1*	-8,5171932	46,8

Tabla 4-6 Dosis UV y Reducción logarítmica de la tercera serie de placas Petri

*Nota: Se asumen que las concentraciones restantes de las placas (23) y (24) son 1 para que la solución no dé un dato erróneo.

En base al experimento realizado y haciendo uso de la Tabla 4-7, se generarán tres gráficas:

1. Para inactivar una población microbiana por 1 Log (90%) (Figura 4-20)
2. Para inactivar una población microbiana por 2 Log (99%) (Figura 4-20)
3. Para inactivar una población microbiana al 100 % (Figura 4-21)

Ln Inactivación	Porcentaje de inactivación
0,0	0,0
0,5	68,38
1,0	90,00
2,0	99,00
3,0	99,90
4,0	99,99
5,0	99,999
6,0	99,9999

Tabla 4-7 Probabilidades estadísticas para desinfectar una muestra contaminada

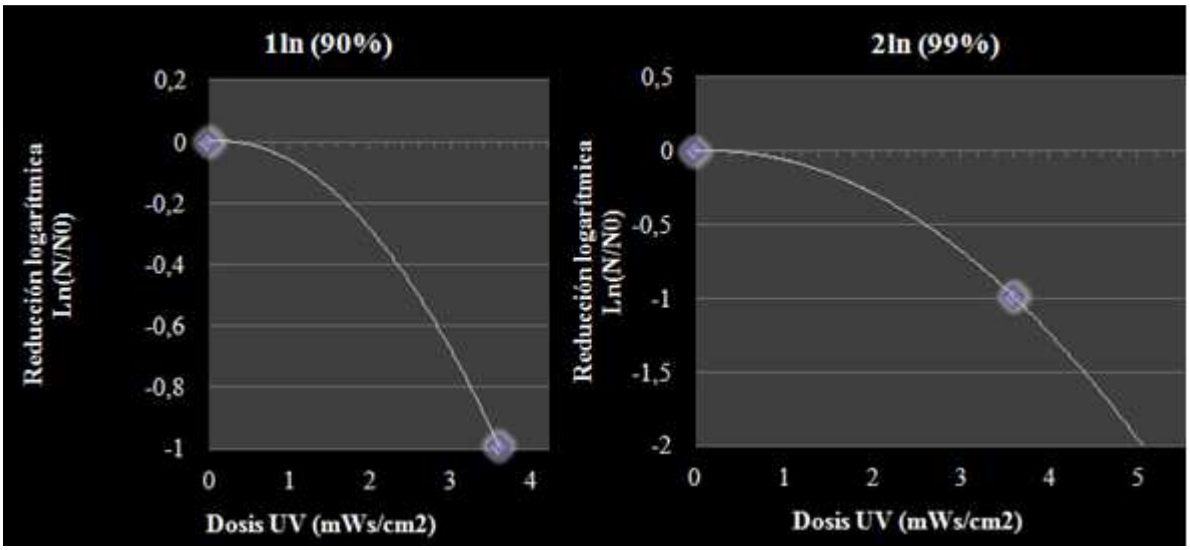


Figura 4-20 Gráficas de inactivación de una población microbiana

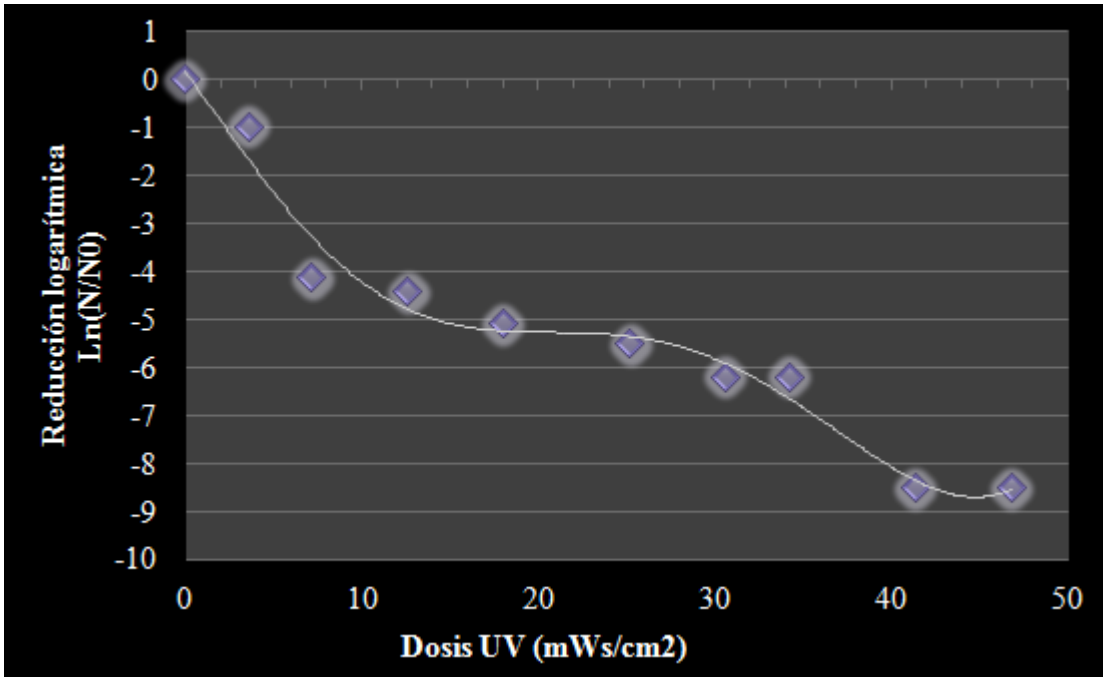


Figura 4-21 Gráfica de Inactivación microbiana del experimento con reducción al 100%

4.3.2 Comparación entre datos experimentales y bibliográficos

Una vez obtenida la recta de desinfección, se realizará una comparación con las referencias bibliográficas para verificar los resultados experimentales obtenidos, centrándose en la Dosis UV la cual permite calcular de forma teórica la capacidad de tratamiento ultravioleta de cualquier sistema.

Según las referencias bibliográficas recogidas en la Tabla 0-1, para una reducción del 90% de la población microbiana se necesita una dosis mínima de 3 mWs/cm^2, por lo que los 3.7 mWs/cm2 (Figura 4-20) obtenidos están aceptados como válidos. Por otro lado, para una reducción del 99% de la población de la Bacteria *E. Coli* se necesita teóricamente una dosis mínima de 6.6 mWs/cm^2 mientras que la dosis resultante (Figura 4-20) son aproximadamente 5 mWs/cm^2. Teniendo en cuenta que se ha trabajado con un sistema donde el emisor de longitud de onda, incide en la superficie de agua en vez de hallarse sumergida en el agua, se puede considerar que las pérdidas serán menores.

Además, hay que recordar que se ha trabajado con una muestra sobrepoblada (5000UFC/10 mL) de microorganismos con el fin de demostrar el poder germicida de los rayos UV. Mientras que según [36], "*se recomienda que la desinfección UV se limite al tratamiento de agua con una concentración máxima de Coliformes totales de menos de 1,000 UFC/100 mL, de lo contrario implicara un mayor suministro de dosis para lograr la reducción necesitada*".

Teniendo en consideración lo anteriormente citado, se puede evaluar el estudio como satisfactorio y por consiguiente, continuando con el Plan de trabajo (véase Figura 3-1), se realizará una propuesta-diseño para el sistema de distribución de agua potable.

4.4 Diseño

El *modus operandi* de esta sección se basa en demostrar mediante el caso particular del J.S. Elcano, una de las aplicaciones que tiene el tratamiento fotoquímico para la obtención de agua potable. Por lo tanto, en vez de centrarse en un diseño óptimo, se buscará mostrar una forma de trabajar que puede servir como línea futura de investigación.

4.4.1 Estudio de viabilidad

Tomada la decisión de implantar un sistema alternativo de agua potable, se tuvo que valorar las posibilidades de las que se dispone. Para ello, hay que mencionar las características principales del sistema de agua potable que posee buque en cuestión.

Se dispone de un buque con una tripulación media de 230 miembros, con un consumo de agua potable de 38 a 40 toneladas al día [24]. Como ya se ha mencionado anteriormente en la página 18 acerca del método de obtención de agua potable, el barco cuenta con dos osmotizadores que generan 62 toneladas de agua al día. Es importante destacar, que los poros de las membranas de los osmotizadores son de menor tamaño que los microorganismos, de modo que, debería impedir que estos pudiesen traspasar la membrana. Sin embargo, la realidad es que, en las travesías realizadas a bordo de este buque, han surgido momentos donde ha habido epidemias gastrointestinales. Para apoyarse en datos objetivos, se realizó una encuesta (página 75) a los 51 compañeros que hicieron el crucero XC a bordo del barco. Los resultados de la encuesta muestran que el 74,5% de los alumnos padecieron gastroenteritis y 68.6% de ellos piensan que la causa fue el agua abordo. Por lo que no se puede negar que existe alguna vulnerabilidad en el sistema por donde los microbios consiguen introducirse en el agua de consumo.

Se descarta la idea de que la fuente del problema sean los osmotizadores, al considerar que el mantenimiento que realizan los operarios en las membranas es diario y exhaustivo [24]. De tal forma, por descarte, las bacterias deben llegar a través de los depósitos de agua. No se puede afirmar como ha estado sucediendo esto, aunque las hipótesis más probables son que haya habido restos orgánicos dentro de los tanques o que alguna empresa haya suministrado agua contaminada cuando el barco se encontraba en un puerto extranjero[22]. Esta segunda suposición ganó verosimilitud entre la tripulación del Crucero XC, puesto que la epidemia gastrointestinal ocurrió nada más zarpar de Río de Janeiro, donde se llenaron los tanques con agua local (Figura 1-2). Fuera la razón que fuese, se llega a la conclusión de que, se necesita garantizar la esterilización de los tanques.

En definitiva, el diseño de lámparas UV se decide instalar dentro de los depósitos como un tratamiento secundario que complemente al sistema de osmosis inversa actual sin tener que modificar nada más que los tanques (Figura 4-22).

[22] Se suele comprar agua potable cuando el barco se encuentra en puerto extranjero durante periodos de más de 3 días atracado, ya que los osmotizadores no pueden producir agua a menos de 12 millas de costa.

Figura 4-22 Nueva propuesta de generación de agua potable en el JSE

4.4.2 Estrategia de trabajo

El procedimiento aplicado para el diseño se basa en una propuesta realizada por el departamento de medio ambiente de la Universidad de Cádiz [38]. Esta metodología al igual que el resto de sistemas de esterilización de agua mediante UV se llevan a cabo sobre canales de agua, puesto que como ya se explicó en el apartado 2.4.2, la luz ultravioleta necesita que el agua no esté turbia, dicho de otra forma, que los sólidos en suspensión se dispersen por la corriente. Por consiguiente, se necesitará adaptar los requisitos de dicha metodología a los propios, estableciéndose los siguientes pasos a realizar:

1. Caudal de agua a tratar
2. La transmitancia UV
3. La dosis UV requerida
4. Elección de lámpara
5. Medición de depósitos (AutoCAD) y modelado 3D (Siemens NX11)
6. Separación entre lámparas mediante Excel
7. Diseño final

4.4.3 Calculo de caudal de agua a tratar

El caudal es vital para conocer la dosis UV o en nuestro caso la intensidad media del reactor, ya que el cociente del volumen efectivo entre el flujo o caudal de agua (Ecuación 10) nos indica el tiempo de exposición [34]

$$Tiempo\ de\ exposicion = \frac{Vol}{Q}$$

Ecuación 10 Relación entre el caudal y el tiempo de exposición

El funcionamiento del suministro de agua a partir de los tanques es mediante dos bombas de agua dulce marca AZCUE tipo MN-32/200 de caudal máximo de 10 m^3/h [24]. Se podría utilizar dicho caudal, sin embargo, se decide mostrar cómo se resolvería de forma genérica en caso de no poseer el dato.

El área de la sección se obtiene gracias a los planos proporcionados (Figura 4-23). Solamente hay que conocer el diámetro de las tuberías de salida del tanque, siendo esta DIN 2" o lo que es lo mismo, 50 mm.

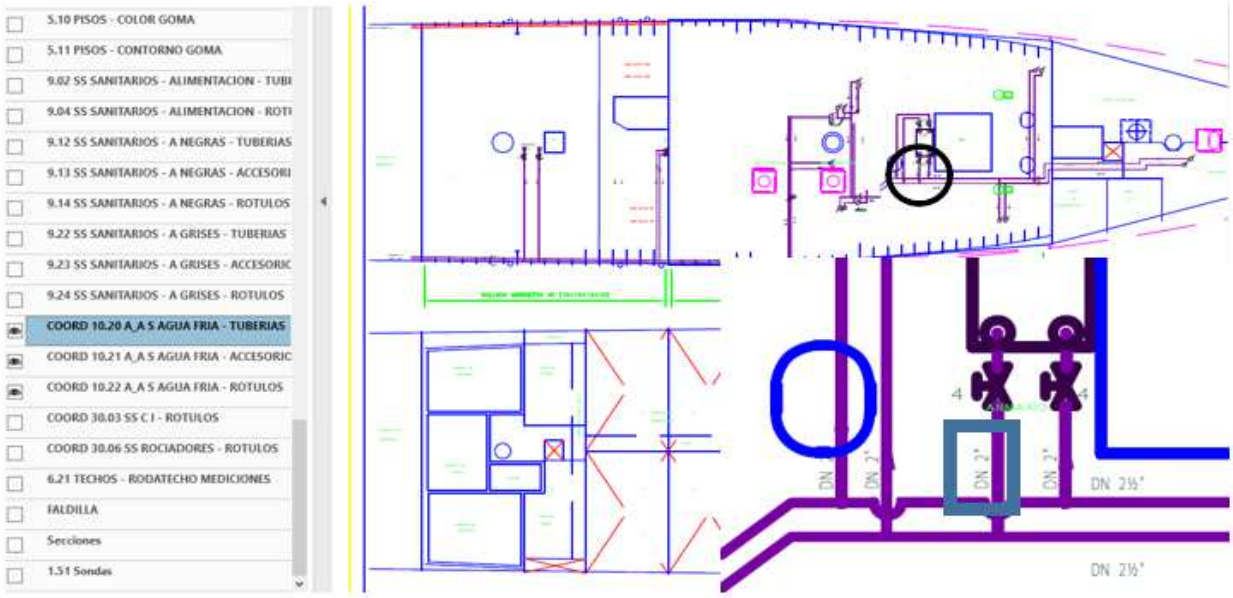


Figura 4-23 Diámetro de tubería de salida del sistema de agua fría del JSE

Se hará uso de la siguiente norma para hallar la velocidad de flujo [39]: *UNE-EN ISO 15748-2, (2003) Embarcaciones y tecnología marina. Suministro de agua potable en buques y estructuras marinas. Parte 2: Método de cálculo.* En ella, se establecen las velocidades máximas de los diferentes líquidos dentro de las tuberías. Como la norma no especifica este caso concreto, pero sí relaciona velocidades con diámetros, se escoge la velocidad máxima para espacios públicos con tuberías DIN2", siendo esta 2 m/s. Finalmente el caudal teórico máximo es el siguiente:

$$Caudal\ (Q) = A \times V = \frac{\pi \times D^2}{4} \times V = 14{,}13 m^3/h$$

Donde:

V = Velocidad del flujo 2 m/s

A = Área de la sección del agua $1{,}96*10^{-3}$ m^2

Se observa que el caudal teórico calculado es mayor que el que puede ofrecer las bombas, por tanto, se escogerán los $10m^3/h$ de las bombas (1,4 m/s velocidad de flujo).

4.4.4 Calcular la transmitancia

La transmitancia UV es una medida porcentual del paso de una longitud de onda de 254 nm a través de una muestra de agua [40]. Como no hay ninguna forma teórica de hallarla, puesto que se requiere de un sensor, el cual está continuamente calculando dicho valor. Por tanto, se decide calcular de manera subjetiva dicho parámetro, utilizando la

Encuesta realizada a la Promoción 420/150 de la Armada Española (05/02/2020) ya que la transmitancia está indirectamente asociada con el color del agua [41]. Por lo tanto, se formuló una pregunta acerca del color del agua en la escala de Likert, en donde 0 era agua incolora y 5 amarilla. Realizando una media sobre los valores obtenidos se opta por asumir que la transmitancia es de 0,7 (tanto por uno/cm), es decir, el agua permite pasar el 70% de la intensidad UV inicial.

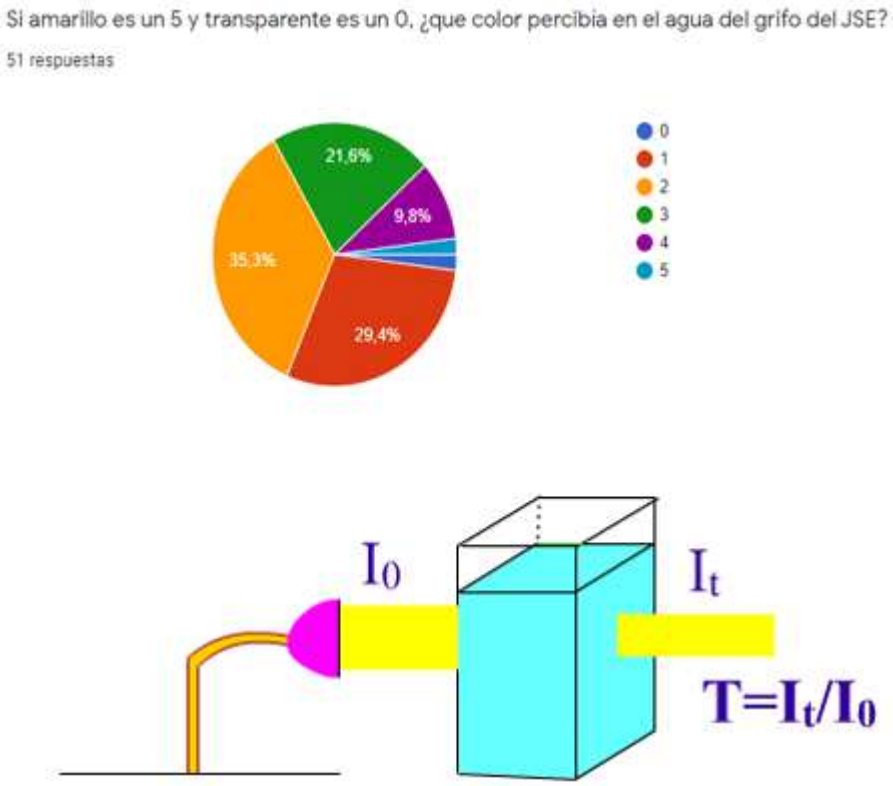


Figura 4-24 Transmitancia de la luz y resultados de la encuesta

4.4.5 Dosis UV requerida

Consultando la bibliografía existente, se opta por escoger una dosis de 50 mWs/cm2 que aunque está sobredimensionada, es la que se recomienda para el agua potable cuando ha habido un tratamiento previo para eliminar las partículas en suspensión, en nuestro caso, la osmosis inversa [42].

4.4.6 Elección de lámpara UV

El negocio de lámparas UV está bastante monopolizado. En Europa se suele trabajar con la marca alemana WEDECO, mientras que la hegemonía en América pertenece a la marca canadiense TROJAN. Para lámparas de alta potencia e intensidad es ideal WEDECO, mientras que TROJAN suele utilizar las de baja presión y potencia [38].

Se descubre a la hora de la elección en el mercado, que las empresas mencionadas venden el conjunto entero de sistema de tratamiento de agua y que no está disponible la información técnica de las lámparas que utilizan. Sin embargo, sí se comenta que sus sistemas de agua potable contienen lámparas de amalgama de alta potencia y bajo consumo [43], por lo que se opta por buscar dichas lámparas en empresas especializadas. Gracias a un catálogo comercial de lámparas UV a medida, se decide escoger unas con características medias [44], siendo estas:

- 1600 mm de longitud de arco
- 17 mm de diámetro exterior de lámpara
- 20 mm de diámetro exterior de carcasa de cuarzo
- 50 W potencia UV efectiva
- 5% de coeficiente de pérdida de eficiencia

4.4.7 Medición y modelado de tanque

Haciendo uso de los planos proporcionados por el destino de máquinas del J.S. Elcano, se abrió el documento PDF mediante el software AutoCAD 2018 y se tomaron las medidas del tanque de agua de popa estribor 3A, por ser el que más capacidad de almacenamiento posee (75.000L) junto con su homólogo de babor 2A. La razón principal es el ahorro de costes y esfuerzo, pero esto no supone ningún inconveniente, ya que el agua puede trasegarse de un tanque a otro.

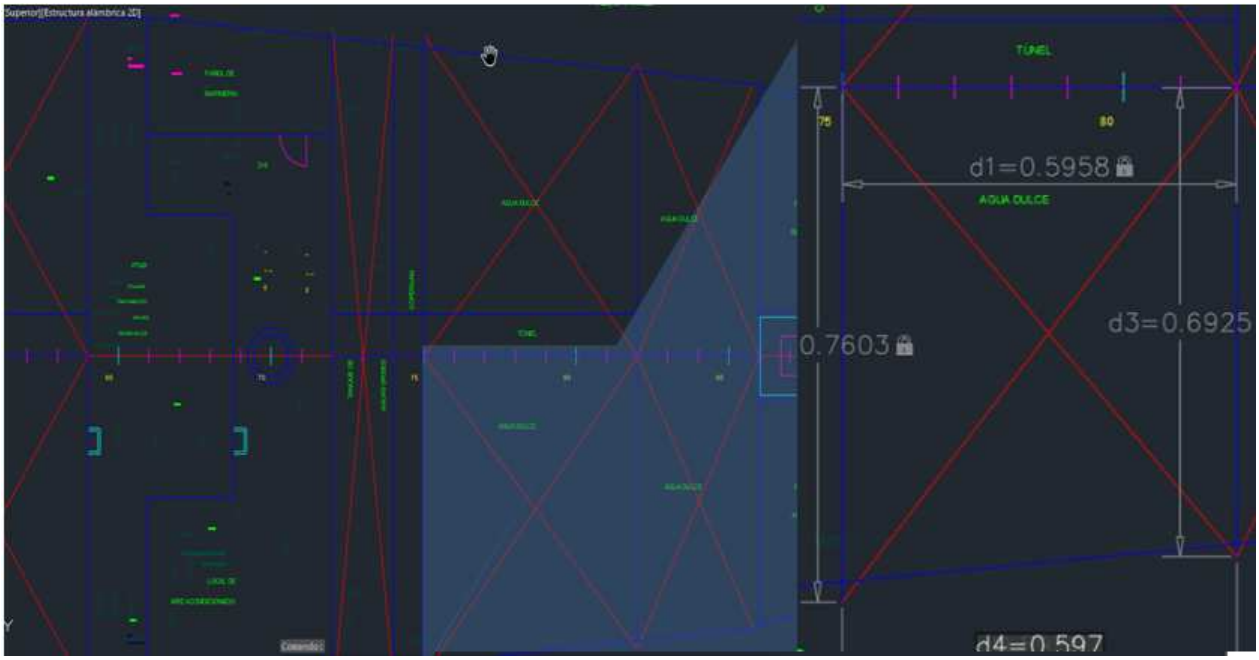


Figura 4-25 Medición de tanque de agua 3A en AutoCAD

El segundo paso consiste en trasladar las acotaciones que se muestran en la Figura 4-25 al programa Siemens NX para posteriormente, extrudir la superficie generada. La altura del depósito, la cual es necesaria para la extrusión, viene determinada por la Ecuación 11:

$$h = \frac{V}{A_t} = \frac{75000\ dm^3}{\frac{59{,}6 \times (76{,}03 - 69{,}25)}{2} + 59{,}6 \times 69{,}25} = 1{,}73\ m$$

Ecuación 11 Altura del tanque de agua 3A

Donde:

V= Capacidad o volumen total

A_t= Superficie total de la base

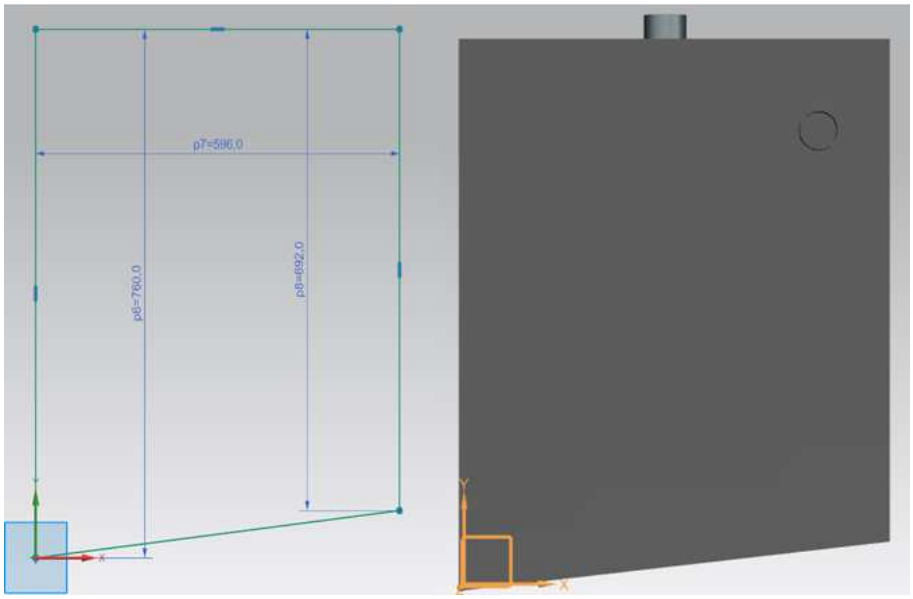


Figura 4-26 Modelado del depósito del tanque

4.4.8 Separación entre lámparas

La correcta distribución de las lámparas UV en un canal es el factor principal que determina el rendimiento del proceso, porque la intensidad media depende de esta, qué a su vez se relaciona con la dosis UV (véase Ecuación 4). La causa principal de que sea un parámetro crítico, es que la intensidad de la luz ultravioleta disminuye muy rápidamente con la distancia en el agua. Por lo tanto, es preciso colocar las lámparas de tal manera que la intensidad resultante sea compatible con el tiempo de exposición deseado. Por otro lado, la intensidad media que atraviesa el canal de agua viene dada por la Ecuación 12, siendo está, el resultado del desarrollo de la Ley de Beer (Figura 4-24) y la intensidad en el vacío (Ecuación 8) sobre el área comprendida entre las lámpara.

$$I_{media} = \frac{P}{2\pi LA} \iint \frac{T^{r_i - r_0}}{r_i} dx\, dy$$

Ecuación 12 Intensidad media que recibe cualquier partícula

*Donde:

r_i= Distancia desde el centro de la lámpara a cualquier punto de la sección perpendicular a la lámpara

A= Área iluminada entre cuatro lámparas en cm^2

Como se puede observar, la dependencia que existe entre todos los parámetros complica el hallazgo del valor de la separación de las lámparas tanto en el eje de abscisas como en el de ordenadas. Por este motivo, basándose en el EXCEL[23] se ha seguido la metodología con el fin de fijar los datos anteriores de forma que se puedan obtener la disposición de las lámparas.

[23] El EXCEL perteneciente al grupo de investigadores de la UCA, desarrolla al detalle las consideraciones expuestas en la memoria del presente trabajo. Esta herramienta se ha utilizado para facilitar los datos, sin dar pie a la divulgación de este documento protegido.

Datos de partida	Valor	Datos de salida	Valor
Velocidad de flujo	1,4 m/s	Separación horizontal	11,4 cm
Potencia UV efectiva	50 W	Separación vertical	3,8 cm
Transmitancia	70 %	Tiempo de exposición	11,4 seg
Dosis UV	50 mWs/cm^2	Intensidad media	4,43 mW/cm^2
Longitud de arco	160 cm	Potencia Real	45,1 W
Radio de lámpara	0,85 cm	Nº de lámparas	4
Coeficiente de pérdida	5%		

Tabla 4-8 Datos Excel

Las soluciones para este modelo son infinitas, por lo que se ha optado por escoger un ejemplo piloto que encaje dentro de las dimensiones del tanque. Se usan los valores mostrados en la Tabla 4-8 para hallar la disposición y la distribución de las intensidades de las lámparas en el área comprendida entre ellas. Se puede observar en la Figura 4-27 que la mínimas intensidades oscilan de 3 a 6 mW/cm y se encuentran en el centro del canal ya que es el lugar más alejado de la fuente.

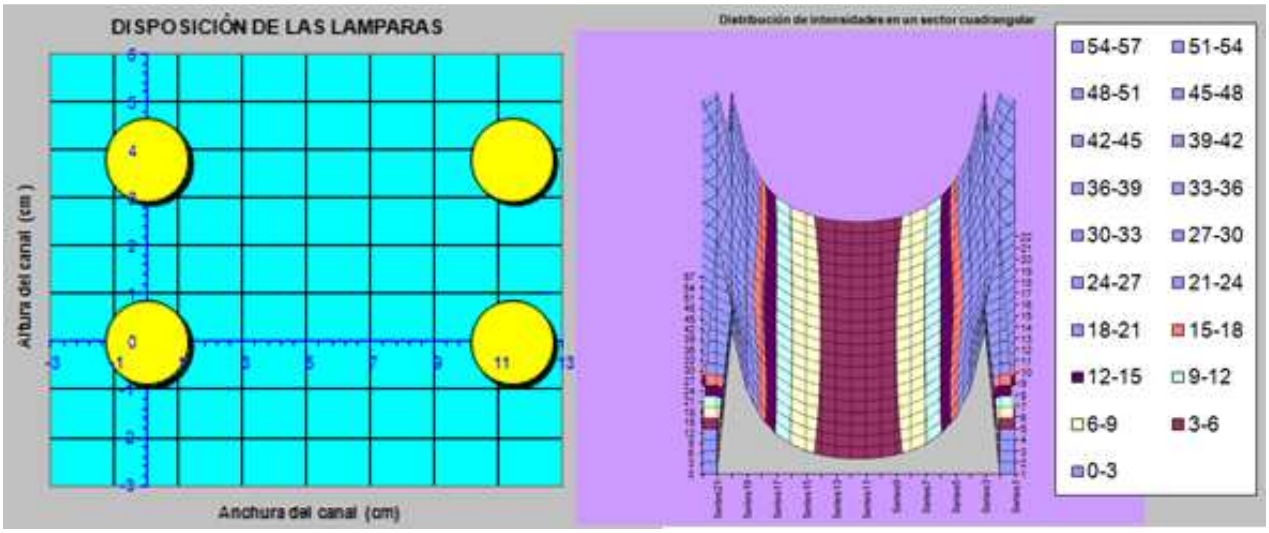


Figura 4-27 Disposición y distribución de intensidades de las lámparas UV

A continuación, se trasladan los resultados al programa Siemens NX11, donde se diseña respetando las separaciones (Figura 4-28) :

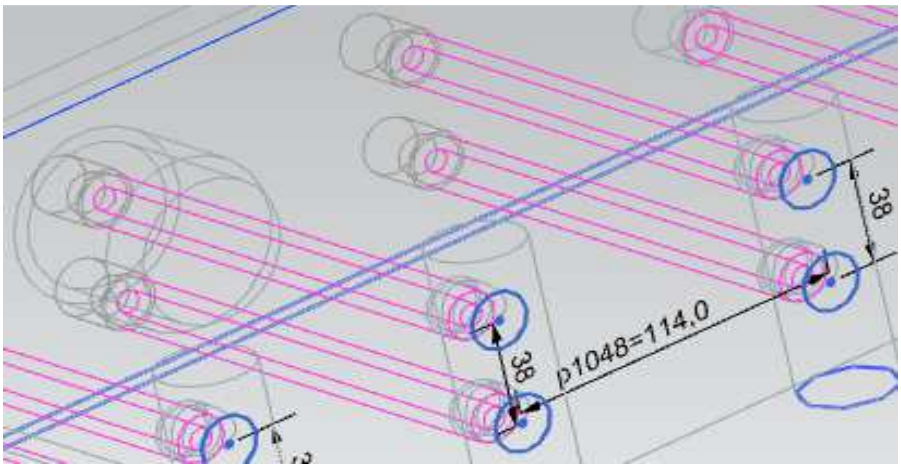


Figura 4-28 Diseño de las lámparas colocadas

4.4.9 Diseño final

Hallados todos los requisitos bibliográficos para el diseño [38], se puede comenzar a diseñar de manera libre. Sin embargo, se debe tener en cuenta que el poder de penetración de la luz ultravioleta está limitada por la transparencia del agua. Por este motivo, las aplicaciones actuales se basan en canales donde fluye el agua continuamente, lo cual permite que los posibles sólidos en suspensión se dispersen, por consiguiente, la eficiencia del tratamiento aumenta. Para solucionar este problema en los depósitos, se decide aumentar el número de lámparas de forma distribuida por todo el tanque (véase Figura 4-29).

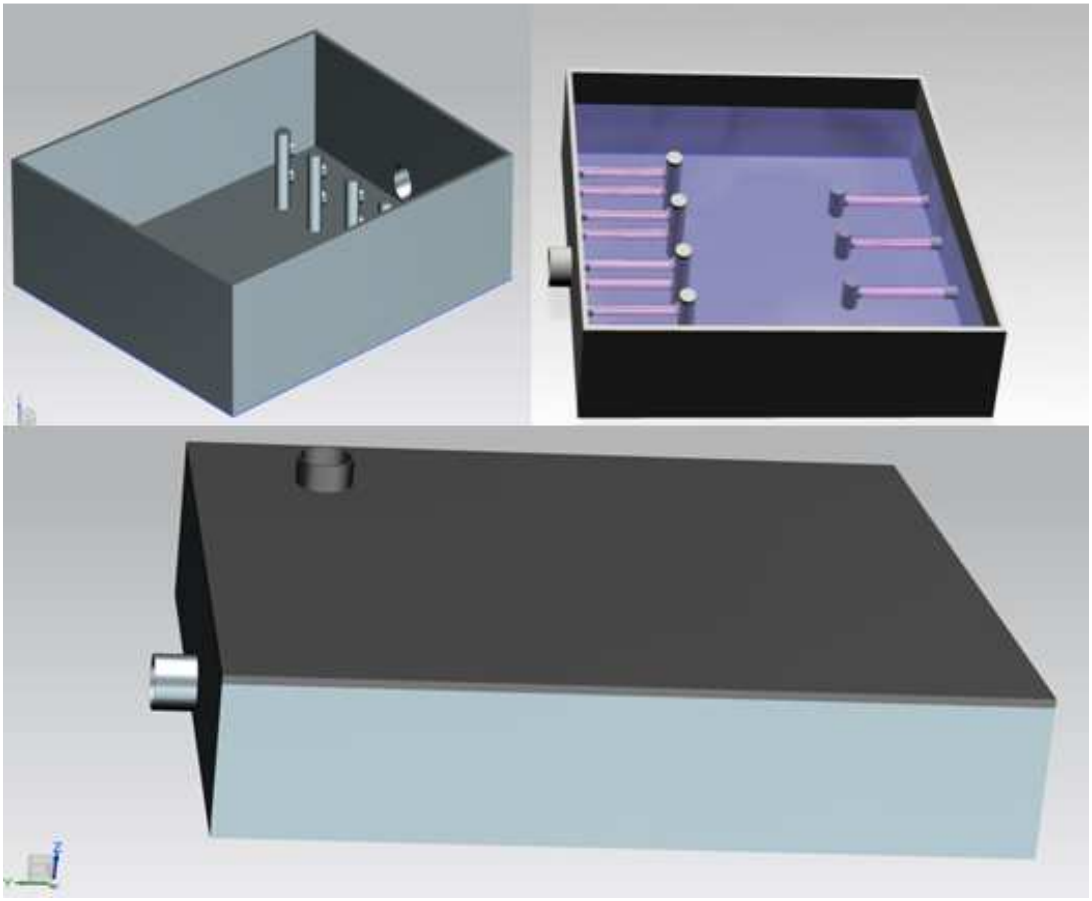


Figura 4-29 Sistema de tratamiento fotoquímico en depósito de agua

Además, se han colocado dos planchas a diferentes niveles que obliguen la circulación del agua cuando se está rellenando el depósito, para aumentar así, la transmitancia del agua.

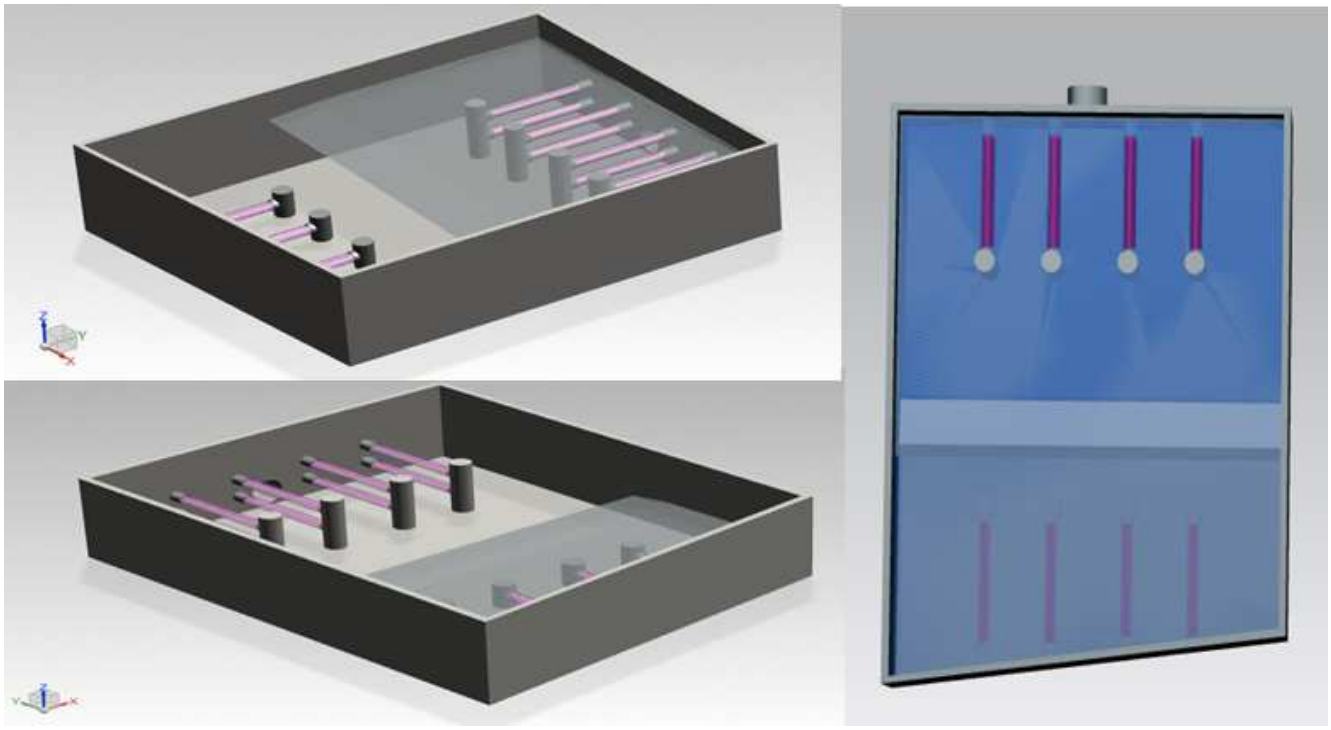


Figura 4-30 Sistema de tratamiento fotoquímico en depósito de agua definitivo

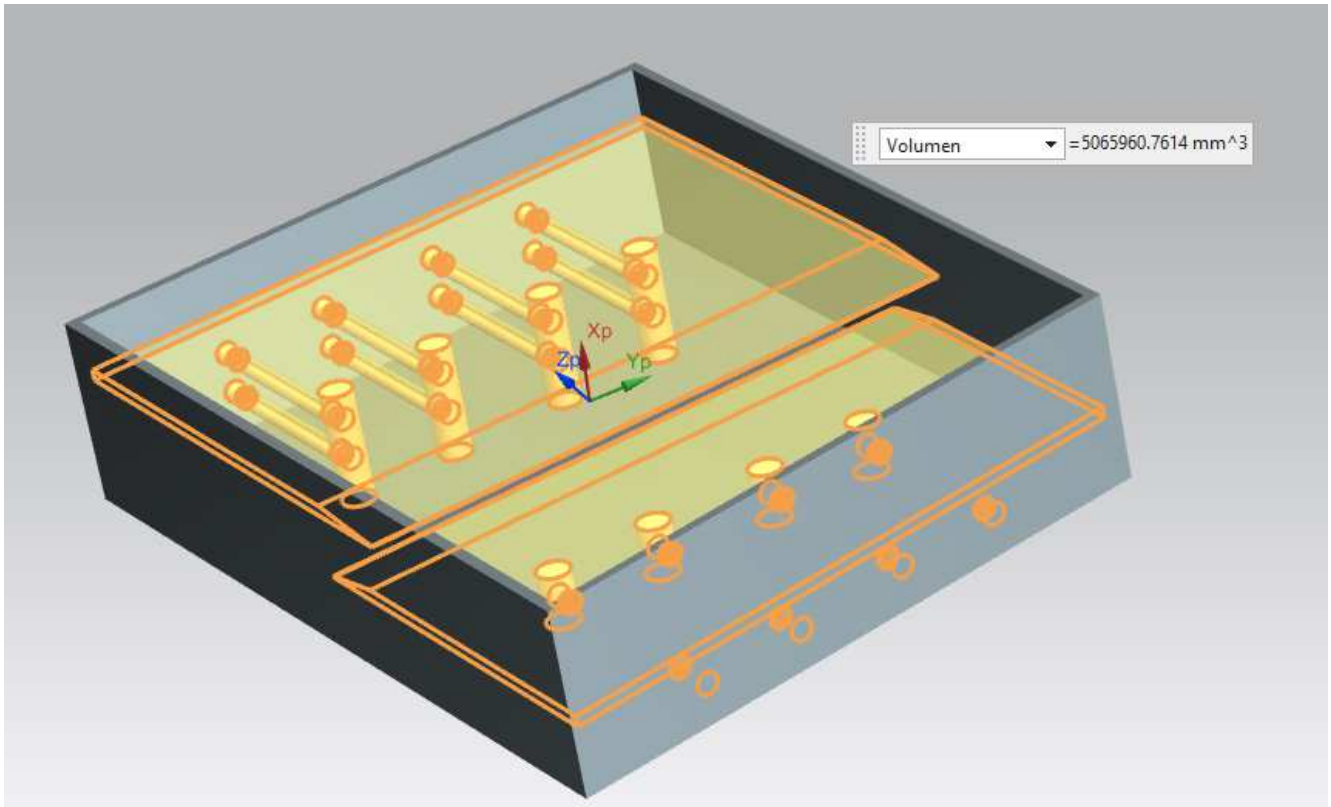


Figura 4-31 Volumen del sistema de desinfección dentro del tanque (5065 Litros)

Dado que el grupo principal de tanques de agua esta a proa y a poca distancia del centro de gravedad del buque y del centro de carenas, las variaciones en el calado de popa son bastante

pequeñas, independientemente de que se vaya con los tanques llenos o vacíos [6]. Por tanto, se considera innecesario realizar un nuevo estudio de estabilidad para dicho buque.

4.5 Ventajas y desventajas del diseño

Las principales ventajas que nos presenta la implementación de este tratamiento secundario son las siguientes [16]:

- Se disminuye el número de patógenos y su crecimiento, evitando la proliferación de enfermedades abordo. Por consiguiente, se asegura que el agua sea apta para el consumo humano, mejorándose de este modo la calidad del agua [45].
- Permite el uso de otras fuentes de agua como aguas de consumo, tanto para cuando el agua provenga de la generación de los osmotizadores como para cuando sea suministrada por una empresa portuaria exterior.
- Se evita el manejo de compuestos químicos que puedan ser perjudiciales para el medio ambiente, reduciéndose los peligros para la seguridad que suponen otros métodos como el cloro. Así pues, no se crean costes a largo plazo asociados al uso de productos químicos, el transporte y la distribución.
- El espacio requerido para llevar a cabo este proceso es menor que el utilizado en otros métodos. Los costes operativos de la desinfección por UV vienen dados por la sustitución anual de las lámparas y el consumo eléctrico.

Desventajas:

- La implementación del nuevo sistema dentro de los tanques reduce la capacidad de almacenamiento de agua en un 14,8 % con respecto al inicial (Figura 4-31).
- Este sistema no es válido como tratamiento primario si no existe una filtración previa ya que los sólidos en suspensión absorben la energía UV.
- Aumento del consumo de energía de la plataforma debido a la demanda de las lámparas.
- Hay que sumar el coste que es debido a los recambios de lámparas, teniendo en cuenta que la vida útil abarca desde 7000 a 14000 horas o cada año. Por lo que se necesita añadir un monitor y los necesarios sensores para controlar y mantener el rendimiento optimo.

5 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

5.1 Conclusiones

1. Sí no se establece un mantenimiento exhaustivo de las membranas semipermeables de los osmotizadores del J.S. Elcano, se corre el peligro de que se filtren bacterias en el agua depurada. Dichas bacterias pueden reproducirse rápidamente en los tanques de servicio de agua, originando brotes de gastroenteritis en la tripulación.
2. Utilizar como tratamiento del agua una radiación de 5 mWs/cm^2 sobre la superficie de una muestra es más eficaz para la eliminación de *E. Coli* en un 99% que los 6,6 mWs/cm^2 bibliográficos radiados en lámparas sumergidas.
3. Realizado el tratamiento de agua con UV, las aguas podrían ser viables para el consumo humano si realiza una filtración previamente.
4. Este procedimiento puede aplicarse en el tratamiento de agua en otros buques de la Armada.
5. Dado que el estudio surge de un problema durante la travesía del J.S. Elcano, se propone un diseño de un equipo de tratamiento de aguas que se pueda implementar en el buque, combinando el sistema tradicional de osmosis inversa con el tratamiento UV.
6. La combinación de la osmosis inversa con el tratamiento fotoquímico evita la proliferación de patógenos que produzcan enfermedades a los miembros de la tripulación.

5.2 Líneas futuras

Los resultados de este trabajo son interesantes para mejorar la calidad de la aguas en los buques de la Armada, pero también se puede emplear este sistema en otros puntos de consumo de agua, como pueden ser a nivel doméstico, hostelería y zonas comerciales, así como uso industrial que requiera agua bacteriológicamente pura. Para el desarrollo de un sistema de tratamiento seguro y fiable sería necesario estudiar con más detalle el efecto de la luz el procedimiento de desinfección UV en la calidad del efluente final. Así, se propone las siguientes líneas de trabajo.

- Estudiar el efecto de la radiación ultravioleta (longitud de onda e intensidad de luz) en los componentes del agua a tratar: bacterias, materia orgánica disuelta o en suspensión, e iones inorgánicos.
- Incluir en el estudio de la calidad del agua parámetros como la DBO, DQO y análisis por cromatografía de sustancias específicas de interés.
- Trasladar los resultados de estos estudios al diseño de un sistema de tratamiento práctico y eficaz que pueda ser implementado en buques. En este sentido, se propone desarrollar un

prototipo a pequeña escala del sistema de tratamiento de aguas y comprobar su efectividad en la Escuela Naval Militar de Marín.

6 BIBLIOGRAFÍA

[1] S. El Ghachaoui Boulben, «Analisis economico y comparativo de la producción de agua dulce mediante un generador a bordo de un buque mercante,» Facultad Naútica de Barcelona, Barcelona, 2013.

[2] E. Villarejo, «Visita histórica de dos Reyes al buque escuela Juan Sebastián de Elcano,» *ABC*, 2 Febrero 2018.

[3] Sanidad Militar, «Yala-Yala: ¿cómo fue la gastroenteritis en Badghis (Afganistán)?,» Fuerzas Armadas, Madrid, 2016.

[4] L. R. Mateos, «Aplicación de la tecnología de oxidación fotoquímica,» Universidad de Vigo, 2019.

[5] ONU, «Cumbre sobre la Acción Climática ONU 2019,» de *Acción Climatica*, Madrid, 2019.

[6] F. B. S. Navarro, «Generación de las curvas hidrostáticas y de estabilidad transversal del buque escuela Juan Sebastián de Elcano.,» Armada Española, 2015-2016.

[7] Equipo de Expertos, «Gripe intestinal: síntomas, duración y dieta recomendada,» 8 12 2017. [En línea]. Available: https://www.universidadviu.es/gripe-intestinal/.

[8] Centro para el control y prevención de enfermedades, «Prevenga el rotavirus,» National Center for Immunization and Respiratory Diseases , 14 Diciembre 2018. [En línea]. Available: https://www.cdc.gov/spanish/especialescdc/rotavirus/index.html. [Último acceso: 2 Febrero 2020].

[9] infosalus.com, «Cinco puntos clave sobre el norovirus,» *INFOSALUS*, pp. 1-3, 23 Noviembre 2016.

[10] Erik A. Karlsson, Stacey Schultz-Cherry, «Astroviruses as Foodborne Infections,» ScienceDirect, 2013. [En línea]. Available: https://www.sciencedirect.com/topics/medicine-and-dentistry/human-astrovirus. [Último acceso: 20 Febrero 2020].

[11] R. Bernácer, «Qué es la salmonelosis y por qué se produce,» 24 Julio 2018. [En línea]. Available: https://www.webconsultas.com/salud-al-dia/salmonelosis/salmonelosis-4744.

[Último acceso: 25 Enero 2020].

[12] N. Sparks, «control en granja del campylobacter,» 2016. [En línea]. Available: https://seleccionesavicolas.com/avicultura/2016/05/control-en-granja-del-campylobacter. [Último acceso: 18 Enero 2020].

[13] Diario Oficial de las Comunidades Europeas, «Directiva 98/83/CE del consejo calidad de las aguas destinadas al consumo humano,» 1998.

[14] F. R. Villatoro, «III Carnaval de Biología: El crecimiento exponencial de las bacterias,» *Naukas*, 2013.

[15] Organización Mundial de la Salud, «E.coli,» Marco de gestión de Crisis, http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/agns/pdf/Preventing_Ecoli_es.pdf, 2017.

[16] purificaragua.com, «Presencia de bacterias coliformes en el agua de pozo,» [En línea]. Available: https://purificaragua.com/blog/41_Presencia-de-bacterias-coliformes-en-el-agua-.html.

[17] BOE, «Real Decreto 140/2003 sobre criterios higienico sanitarios de las aguas de consumo humano,» 2003.

[18] B. Pradillo, «Parámetros de control del agua potable,» iagua, 12 Septiembre 2016. [En línea]. Available: https://www.iagua.es/blogs/beatriz-pradillo/parametros-control-agua-potable. [Último acceso: 4 Febrero 2020].

[19] La escasez de agua a nivel mundial, «Sistema Español de información sobre el Agua,» Hispagua,[Enlínea].Available:http://hispagua.cedex.es/sites/default/files/especiales/escasez/desertificacion.html. [Último acceso: 18 Febrero 2020].

[20] proyectosderecho, «Graficas Agua Potable,» 5 marzo 2017. [En línea]. Available: http://proyectosderecho1.blogspot.com/.

[21] Totagua.com, «Totagua waste water solutions,» Depuradoras Tot Agua S.L., 2012. [En línea]. Available: http://www.totagua.com/productos/equipos-depuracion/38--equipos-de-flotacion.html. [Último acceso: 1 Febrero 2020].

[22] Metcalf«& Ebby,IIELS, Ingenieriade aguas residuales, tratamiento vertido y reutilización, California: McGraw-Hill.

[23] «Tratamientos físicos en las tecnologías de depuración de aguas residuales,» Ingeoexpert, 10 Julia 2017. [En línea]. Available: https://ingeoexpert.com/blog/articulo/tratamientos-fisicos-las-tecnologias-depuracion-aguas-residuales/. [Último acceso: 2 Febrero 2020].

[24] Armada española, libro de información general del servicio de máquinas, 2013.

[25] Canal de Isabel II Gestión, «Ciclo Integral del agua,» Agosto 2015. [En línea]. Available: https://www.fundacioncanal.com/canaleduca/wp-content/uploads/2015/08/Tratamiento-de-agua-potable.pdf. [Último acceso: 2 Febrero 2020].

[26] purificadoresdeagua, «Desinfección del agua por cloración.,» 24 Junio 2015. [En línea]. Available: http://www.guiapurificadoresdeagua.com/desinfeccion-del-agua-cloracion/. [Último acceso: 26 Enero 2020].

[27] A. Bagosi, «El ozono, el mejor desinfectante del aire, agua, alimentos y superficies,» Washapp Lavanderia, 8 Julio 2019. [En línea]. Available: https://www.lavanderiawashapp.es/desinfeccion-con-ozono. [Último acceso: 15 Febrero

2020].

[28] Lenntech water Treatment solutions, «Desinfeccción por Ozono,» water Treatment solutions, [En línea]. Available: https://www.lenntech.es/ozono.htm. [Último acceso: 2 Febrero 2020].

[29] J. A. Orellana, *Tratamiento de las aguas,* Ingeniería Sanitaria- UTN - FRRO, 2005.

[30] A. Aguirre, «Mi Septiembre Rojo Bloq Ecuatoriano de Divulgación Acdemica,» 29 Enero 2018. [En línea]. Available: https://miseptiembrerojo.wordpress.com/2018/01/29/espectroscopia-uv-visible-uv-vis/.

[31] Sociedad Americana Contra El Cáncer, «¿Qué es la radiación ultravioleta (UV)?,» *American Cancer Society,* 19 Abril 2017.

[32] M. B. Oram, «Drinking Water Treatment with UV Irradiation,» Water Research Center, 2008. [En línea]. Available: https://water-research.net/index.php/water-treatment/water-disinfection/uv-disinfection. [Último acceso: 4 Febrero 2020].

[33] Purificaragua, «Cómo funciona un esterilizador de agua por ultravioletas.,» Purifica Agua, [En línea]. Available: https://purificaragua.com/content/15-desinfeccion-del-agua-por-ultravioletas. [Último acceso: 1 Febrero 2020].

[34] H. B. W. y. W. L. Cairns, «desinfeccion de agua por medio de luz ultravioleta,» Trojan Technologies Inc, Ontario.

[35] A. Baños, «La importancia de la turbidez en la técnica instrumental,» de *Product Manager de Fotometría-Turbidez*, Hanna instruments, 2018.

[36] I.C.T, S.L., «Manual básico de microbiología,» Cultimed.

[37] Laboratorio de Tecnología Educativa, «Recuento de coliformes totales. Filtración a través de membrana,» Universidad de Salamanca., [En línea]. Available: http://coli.usal.es/Web/demo_fundacua/demo2/FiltraMembColiT_auto.html. [Último acceso: 23 Enero 2020].

[38] Facultad de ciencias del mar ambientales, «Dimensionamiento de unidades para el tratamiento físico-químico de aguas residuales y de abastecimiento humano: Desinfección,» Universidad de Cadiz, Puerto Real.

[39] A. C. Diaz, «Tratamiento agua sanitaria mediante radiacción ultravioleta en un buque LNG,» Escuela Técnica Superior de Náutica , Universidad de Cantabria, 2017.

[40] Sensorex inc, «Sensorex,» Halma company, 2017. [En línea]. Available: https://sensorex.com/es/monitores-de-transmitancia-ultravioleta/. [Último acceso: 20 Febrero 2020].

[41] Departamento de Biología Aplicada, «Transmitancia, absorbancia y ley de Lambert-Beer,» Universidad Miguel Hernández de Elche, [En línea]. Available: http://repositorio.innovacionumh.es/Proyectos/P_22CursoMateriales/Miguel_Angel_Sogorb/Wimba/Espectroscopia_05.htm. [Último acceso: 16 Febrero 2020].

[42] American Water Works Association, Ultraviolet Disinfection. Guidelines for Drinking Water and Water Reuse, California: National Water Research Institute, 2000.

[43] Trojanuvswift™sc, «Tratamiento De Agua Potable,» Septiembre 2018. [En línea].

Available: https://www.resources.trojanuv.com/wp-content/uploads/2018/07/TrojanUVSwiftSC-Folleto-ES.pdf. [Último acceso: 26 Febrero 2020].

[44] Helios quartz, «Lámparas uv a baja presión de amalgama,» [En línea]. Available: https://www.heliosquartz.com/wp-content/uploads/2016/01/Helios-Quartz_UV-LAMPS_eng.pdf. [Último acceso: 25 Febrero 2020].

[45] F. Ramirez, «El agua potable,» 3 Febrero 2020. [En línea]. Available: http://www.elaguapotable.com/El_factor_CT.pdf. [Último acceso: 23 Febrero 2020].

[46] ABC, «Cierre de la playa fuentebravía,» *La voz de Cadíz,* pp. 3-5, 27 Junio 2019.

ANEXO I: ESTUDIOS EXPERIMENTALES

La reducción de los microorganismos se suele expresar en logaritmos decimales, correspondiéndoles un determinado porcentaje de reducción o inactivación, así por ejemplo 1-log corresponde a una reducción del 90 % de la concentración inicial. Al expresar x-log de eliminación "x" es: x = -(log (1 - % de eliminación). Por ejemplo: 2 = - log (1 - 99/100) [45].

Microorganismos	**Reducción Logarítmica**		**Microorganismos**	**Reducción Logarítmica**	
	1	2		1	2
BACTERIA			Coliformes fecales	3.4	6.8
Bacillus anthracis	4.5	8.7	Salmonella enteritidis	4	7.6
Campylobacter jejuni	1.1	-	Salmonella paratyphi	3.2	-
Clostridium tetani	12	22	Salmonella typhi	2.1	-
Escherichia coli	3	6.6	Salmonella typhimurium	3	-
Legionella	0.9	2.8	Staphylococcus	5	6.6
Mycobacterium tuberculosis	6	10	Yersinia enterocolitica	1.1	-
VIRUS					
MS-2 Coliphage	18.6	-	Influenza virus	3.6	6.6
F-specific bacteriophage	6.9	-	Polio virus	5-8	14
Hepatitis A	7.3	-	Rotavirus	6-15	15-40
PROTOZOOS			**ALGAS**		
Giardia lamblia	82	-	Blue Green	300	600
Cryptosporidium parvum	80	120	Chlorella vulgaris	12	22

Tabla 0-1 Dosis UV en MWs/cm2 necesaria para inactivar una población microbiana por 1 Log (90%) y 2 Log (99%)

Referencias: 1. Legan (1980) 2. Jevons (1982) 3. Groocock (1984) 4. Antopol (1979) Wilson et al (1993) 6. Wolfe (1990) 7. Rice and Hoff (1981) 8. Ransome et al (1993) 9. Harris et al (1987) 10. Trojan Technologies Ltd. 11. Battigelli et al (1993) [38]

6.1 Fotografías de las placas Petri

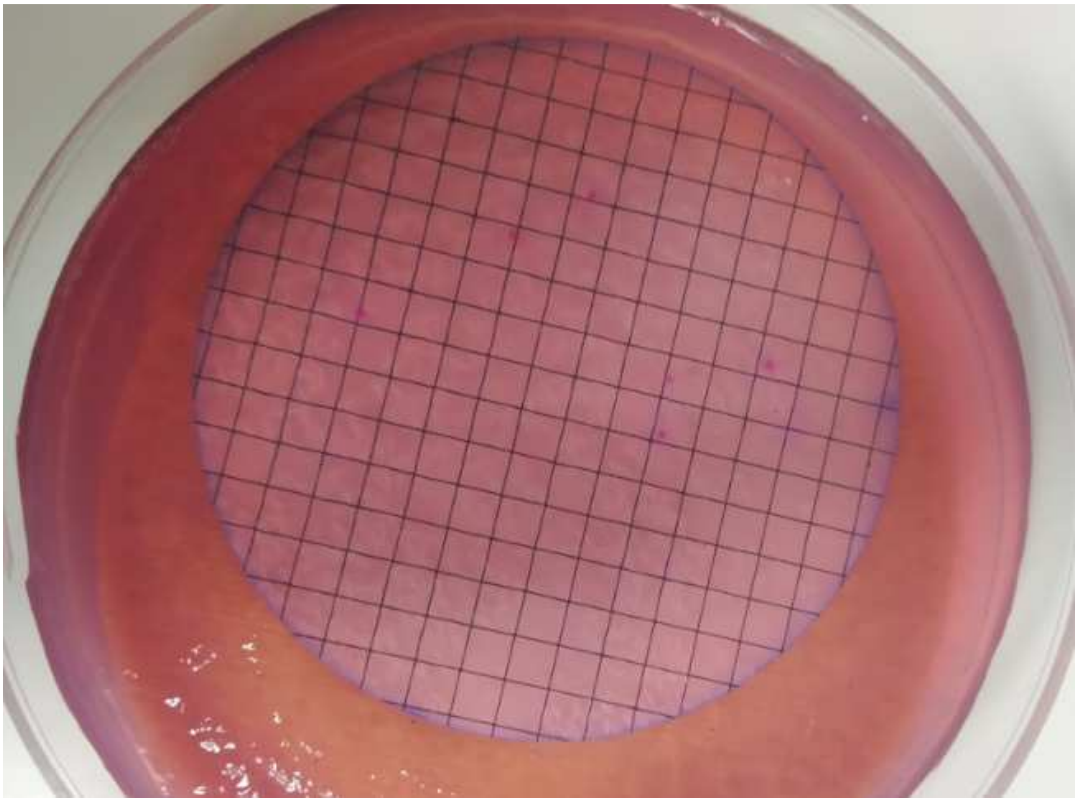


Figura 0-1 Placa Petri 18

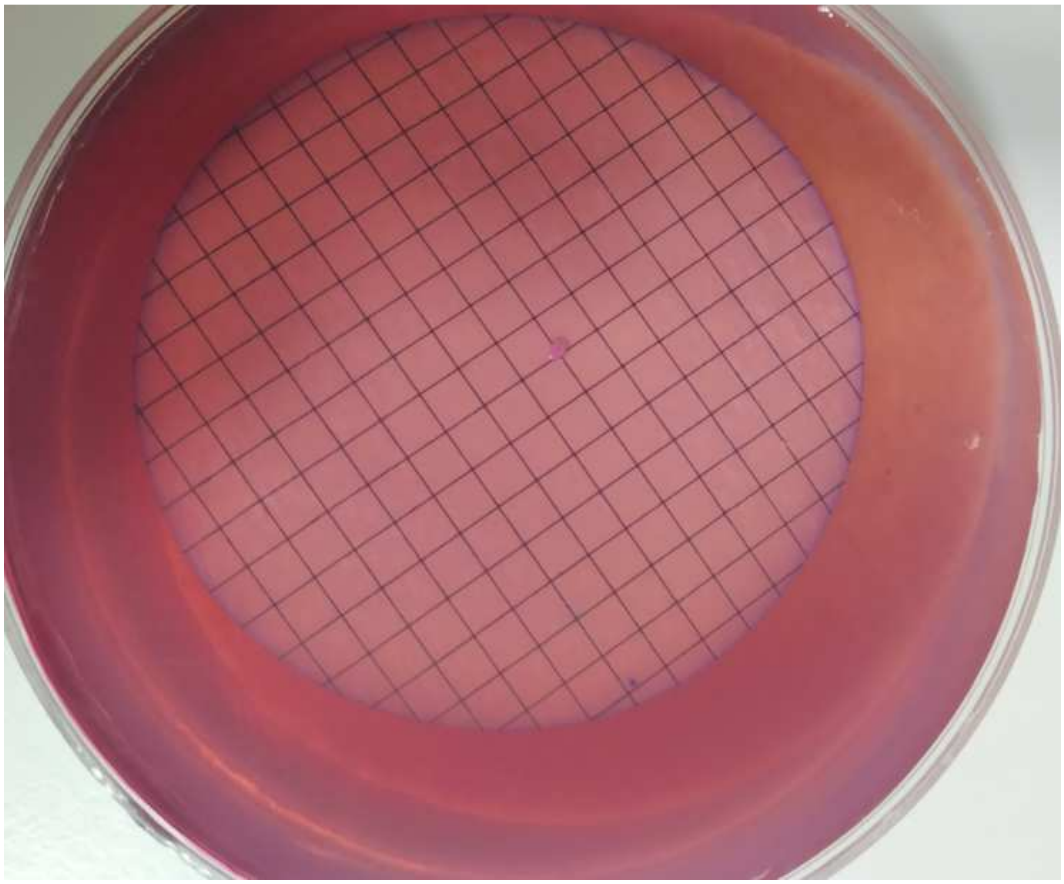


Figura 0-2 Placa Petri 20

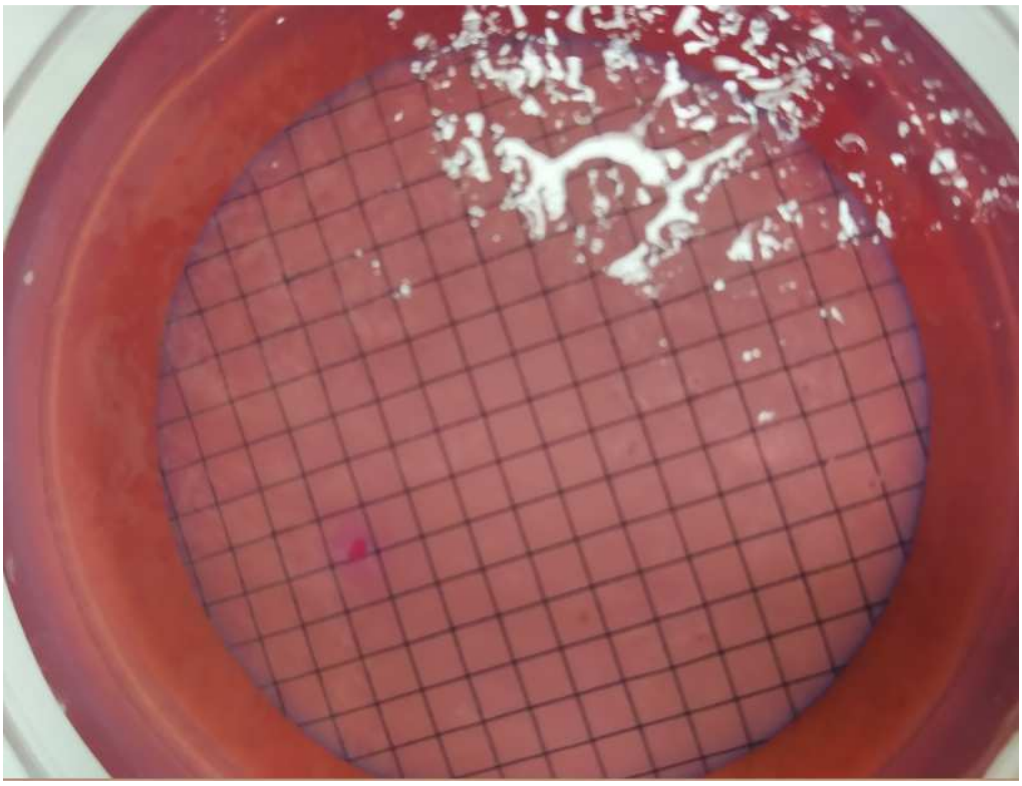


Figura 0-3 Placa Petri 21

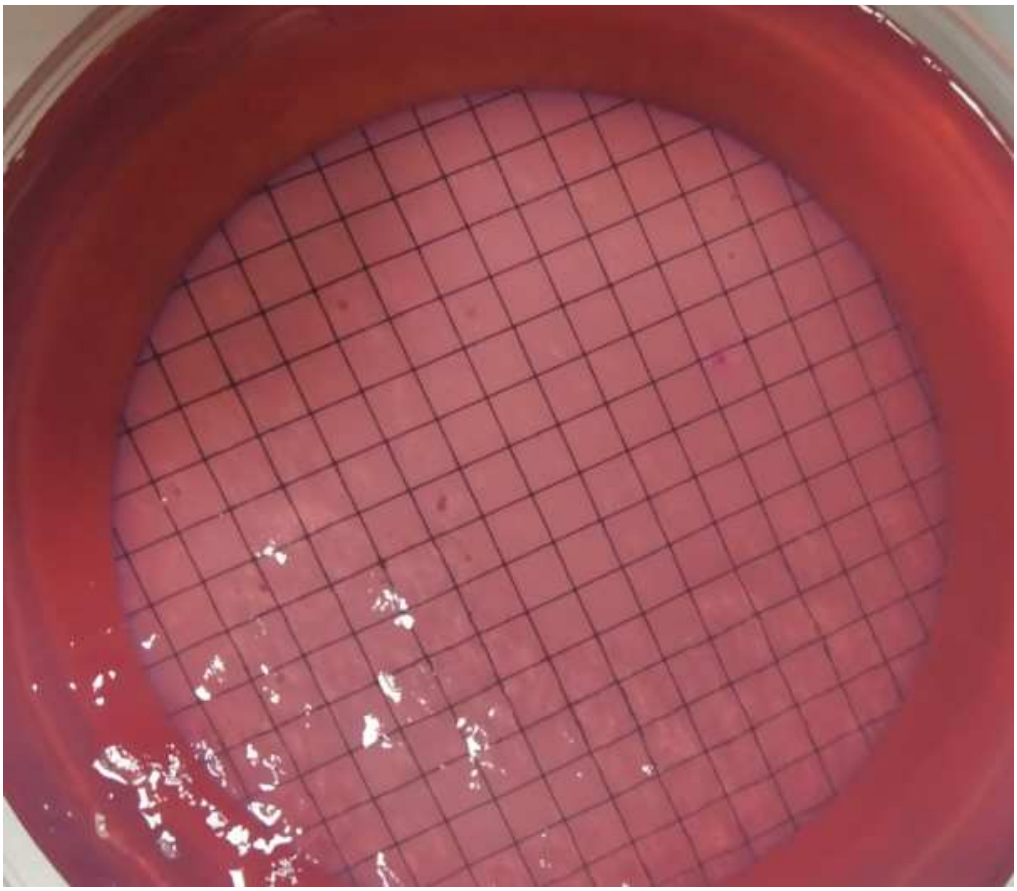


Figura 0-4 Placa Petri 22

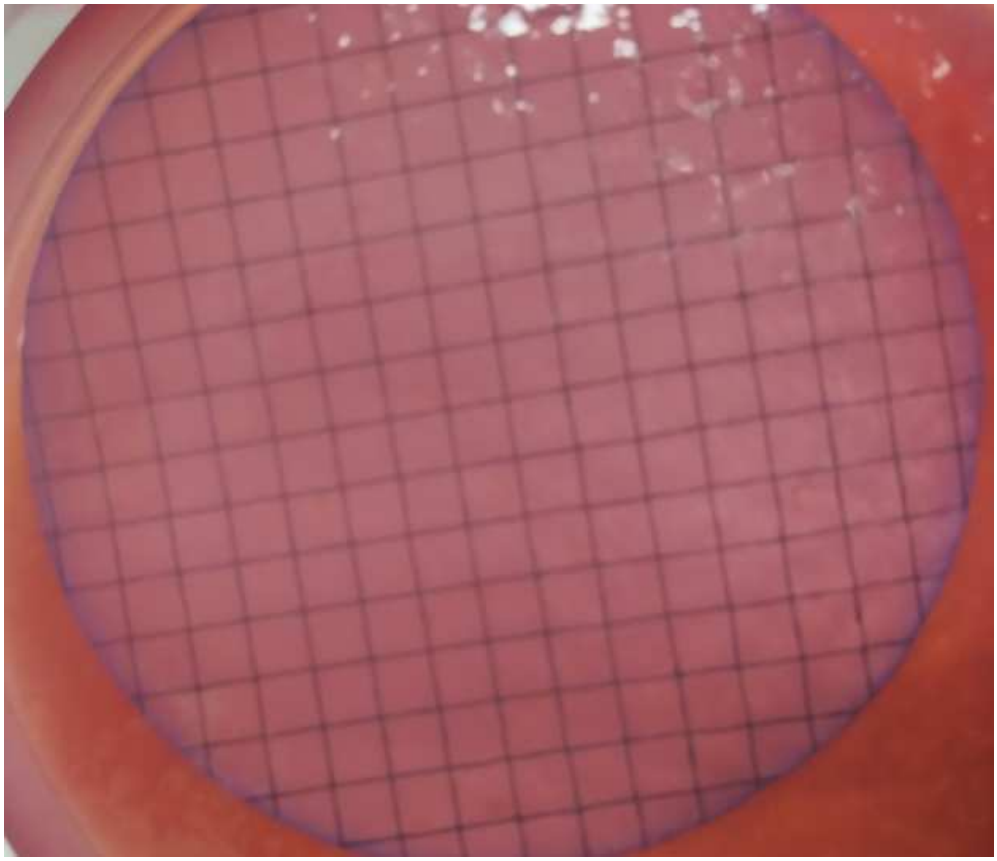


Figura 0-5 Placa Petri 23

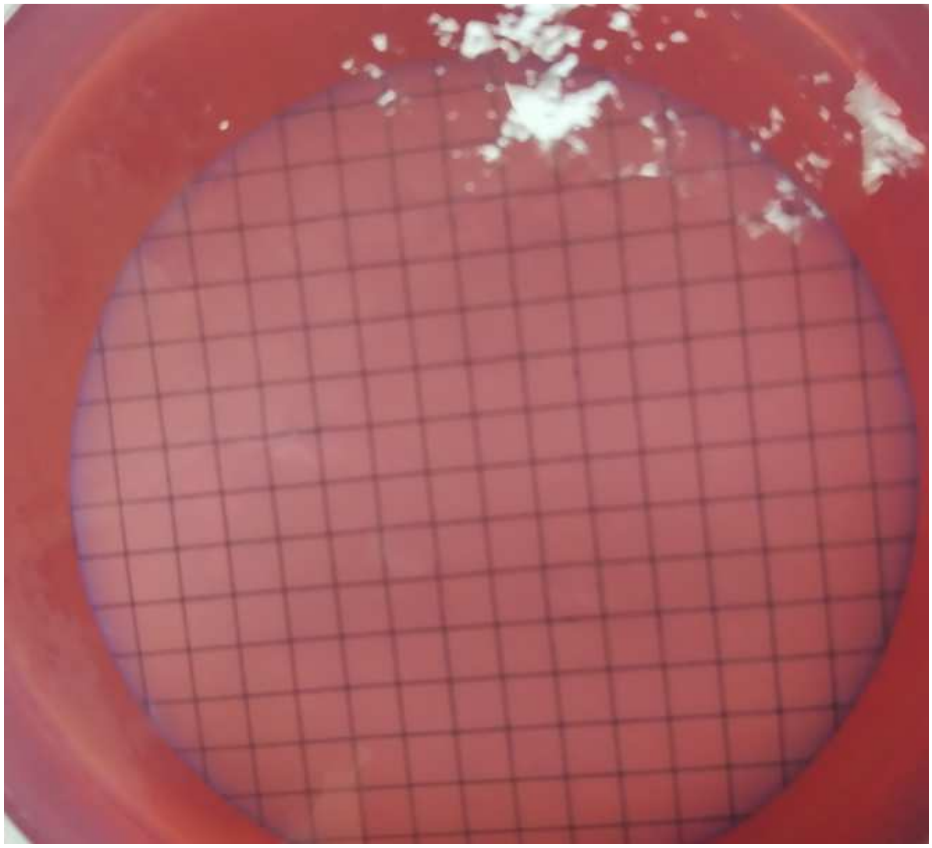


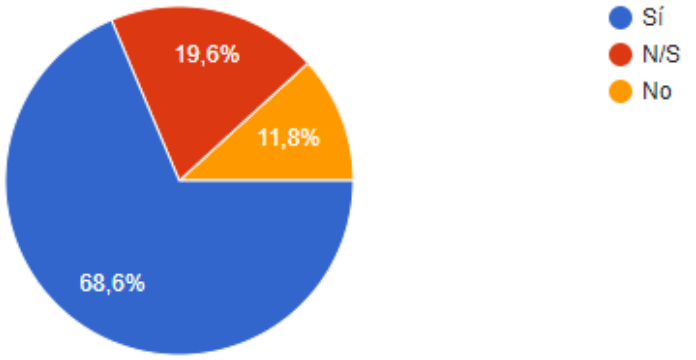
Figura 0-6 Placa Petri 24

ANEXO II: DISEÑO

6.1 Encuesta realizada a la Promoción 420/150 de la Armada Española (05/02/2020)

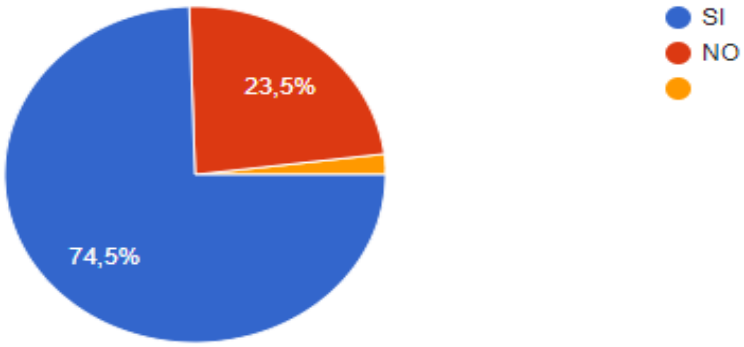
Piensa que el agua del JSE fue causante de problemas gastrointestinales en algún momento

51 respuestas



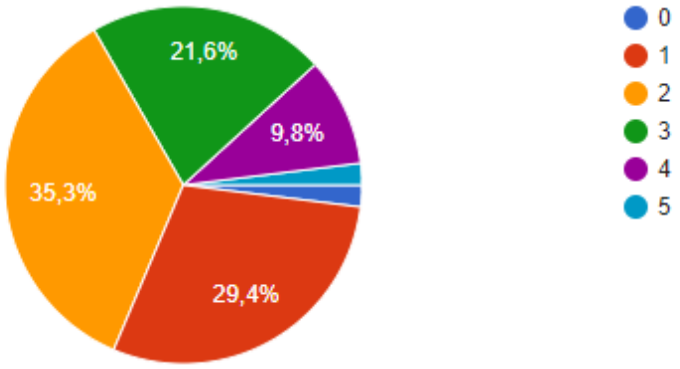
¿ Ha padecido problemas gastrointestinales en el XC Crucero del JSE?

51 respuestas

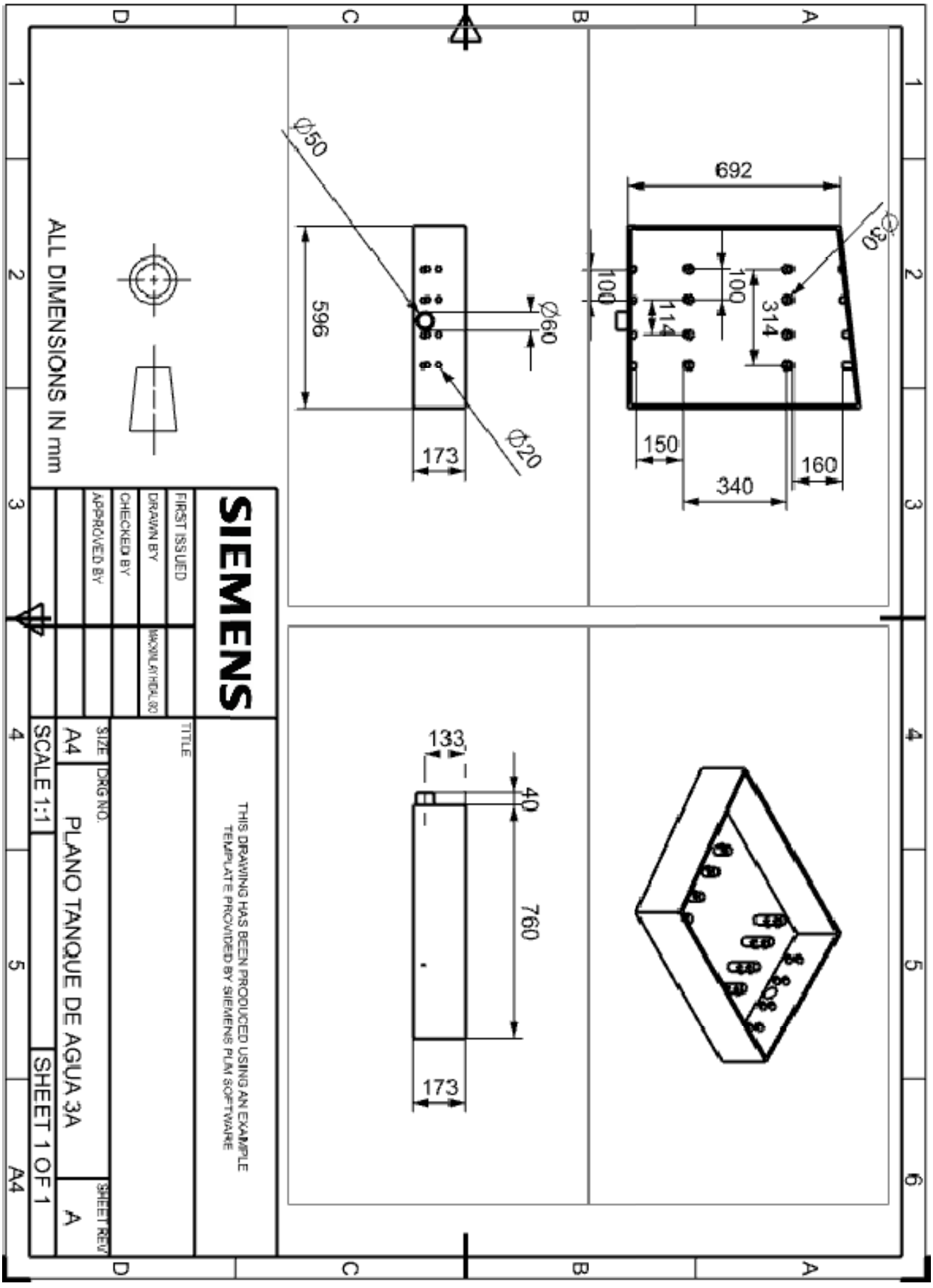


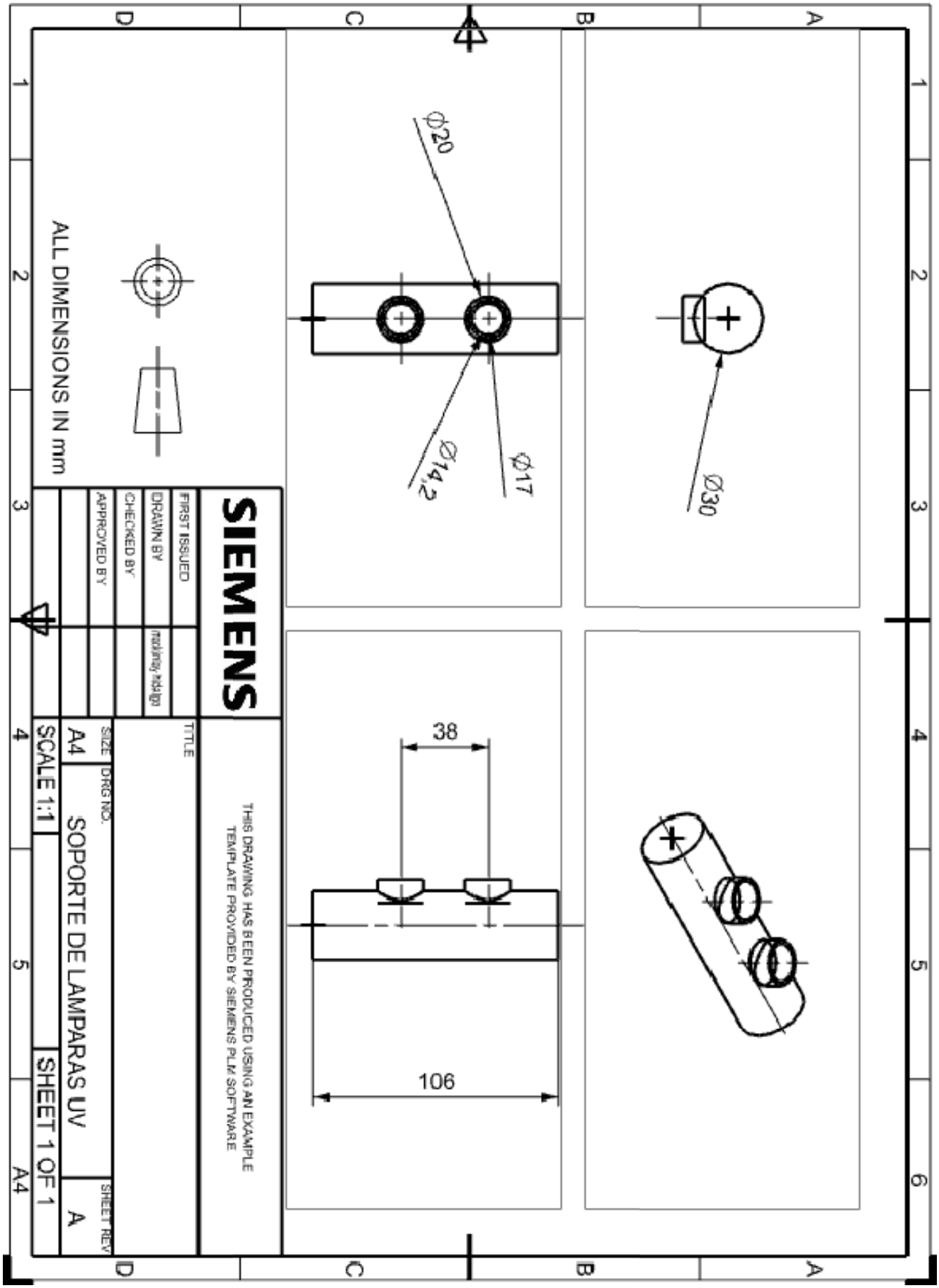
Si amarillo es un 5 y transparente es un 0, ¿que color percibía en el agua del grifo del JSE?

51 respuestas



6.2 Planos tanque con sistema fotoquímico




ALL DIMENSIONS IN mm
SIEMENS
FIRST ISSUED
DRAWN BY
CHECKED BY
APPROVED BY
TITLE
SIZE
A4
DRG NO.
SOPORTE DE LAMPARAS UV
SHEET REV
A
SCALE 1:1
SHEET 1 OF 1
A4
THIS DRAWING HAS BEEN PRODUCED USING AN EXAMPLE TEMPLATE PROVIDED BY SIEMENS PLM SOFTWARE
Ø20
Ø14,2
Ø17
Ø30
38
106