

Trabajo Fin de Máster

Máster en Ingeniería Ambiental

Título:

Estudio del rendimiento de la EDAR por fangos
activos mediante el seguimiento de los
parámetros fisicoquímicos

Autor: *OUALID HANNAT*

Tutor: *JOSE MORILLO AGUADO*

Dpto. Ingeniería Química y Ambiental
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2020



Trabajo Fin de Máster

Ingeniería Ambiental

Título: Estudio del rendimiento de la EDAR por fangos activos mediante el seguimiento de los parámetros fisicoquímicos

Autor:

OUALID HANNAT

Tutor:

JOSE MORILLO AGUADO

Profesor Titular

Dpto. de Ingeniería Química y Ambiental

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2020



Proyecto Fin de Máster:

Estudio del rendimiento de la EDAR por fongos activos mediante el seguimiento de los parámetros fisicoquímicos

Autor: OUALID HANNAT

Tutor: JOSE MORILLO AGUADO

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2020

El secretario del Tribunal



En primer lugar, quiero agradecer al sr. AHBOUCH MOHAMMED, gerente de la estación, por darme la bienvenida al practica y quien me sugirió este tema:

Estudio del rendimiento de la EDAR por fangos activos mediante el seguimiento de los parámetros fisicoquímicos

También agradezco al sr. MAHJOUBI ZOUHIR por mostrarme cómo funciona la planta de tratamiento y por tomarse el tiempo para trabajar conmigo durante este período.

También me gustaría agradecer a las personas del laboratorio de VEOLIA que no escatimaron esfuerzos para darme la documentación y las explicaciones necesarias y que pudieron brindarme a lo largo de la realización de este trabajo,

También agradezco a la Escuela técnica superior de ingeniería de Sevilla por los conocimientos y los cursos que recibí allí y también a mi tutor universitario el profesor JOSE MORILLO AGUADO por la ayuda y los consejos que me dio.

Mi agradecimiento también a todos los que han participado directa o indirectamente en la ejecución de este modesto trabajo.



El aumento de la población de la ciudad de Tánger, la urbanización, los nuevos modos de reproducción y consumo generan volúmenes crecientes de aguas residuales, lo que es un problema real para la salud de la población, pero también para el medio ambiente. El tratamiento de aguas residuales presenta una solución fundamental a los problemas que genera esta agua.

El estudio de los distintos procesos de depuración de aguas residuales en la planta de tratamiento de lodos activados de BOUKHALEF se realiza a través de los dos canales de agua y lodos, y en particular durante el proceso biológico en las piletas de aireación.

Nuestro trabajo se basa en el desempeño de la estación de monitoreo durante un período de dos meses en mayo y junio de 2020, y esto a través de una serie de análisis de los parámetros característicos: físicos, minerales, químicos y biológicos a la entrada y salida de la planta.

El análisis de los distintos parámetros permite el seguimiento del funcionamiento de la estación y más concretamente el tratamiento secundario que constituye el corazón del tratamiento de aguas residuales. La eficacia del tratamiento viene sugerida por el grado de acuerdo de los parámetros con los estándares internacionales óptimos de la OMS.

De acuerdo a los resultados obtenidos durante este período, se puede observar que los rendimientos de la reducción de la contaminación caracterizada son mayores al 90%, por lo que los valores encontrados respetan los estándares relevantes de los vertidos a la salida de la estación, esto permite que sean transferidos en vertido o utilizarlos para el riego de las zonas verdes de Tánger.

El buen desempeño del tratamiento está ligado por un lado a una buena gestión de la estación, y por otro lado a la baja cantidad de contaminación y elementos tóxicos vertidos por las naves industriales en la red colectiva de la ciudad y principalmente el Zona Franca y Zona Industrial Gzenaya.

The increase in the population of the city of Tangier, urbanization, new modes of reproduction and consumption generate an increasing volume of wastewater, which is a real stake for the health of the population but also for the environment. The treatment of wastewater presents a key solution for the problems generated by this water.

The first part of the work consists of studying the different wastewater treatment processes in the activated sludge treatment plant BOUKHALEF; water and sludge sectors, and in particular the biological process at the level of the aeration basins.

The second part is based on monitoring the station performance during a two-month period in May and June 2020, and this through a series of analyzes of the characteristic parameters: physical, mineral, chemical and biological at the entry and exit secondary basin.

The analysis of the various parameters makes it possible to follow the operation of the step of Tangier and more precisely the secondary treatment, which constitutes the heart of the purification of wastewater. The effectiveness of the treatment is suggested by the degree of agreement of the parameters with the optimal international standards

According to the results obtained during this period, it can be seen that the efficiency of the abatement of the characterized pollution is greater than 90%, therefore the values found meet the international norms of the release at the exit communicated within the company, this which allows to put them in rejection or irrigation for the green zones of Tangier.

The satisfaction of the treatment related on the one hand to a good management of the STEP, and on the other hand to the low amount of pollution and toxic elements discharged by the industrial units in the collective network of the city and mainly the free zone and the Gzenaya industrial zone.



Agradecimientos	4
Resumen.....	5
Abstract	6
Índice	7
Lista de figuras	11
Lista de tablas	12
Lista de fotos	13
Lista de abreviaturas	14
Introducción general.....	15

Primera parte: información general sobre el sitio y sobre las aguas residuales

Capítulo I: Presentación del área de estudio.

I. Presentación de la ciudad de Tánger.....	17
II Presentación de la organización: VEOLIA.....	17
1. Historia	17
2. Misiones y objetivos de VEOLIA.....	18
III. La red de saneamiento de la ciudad de Tánger.....	18
1. Definiciones.....	19
2. Descripción de los sistemas de saneamiento.....	19

Capítulo II: Características de las aguas residuales

I. Características de las aguas residuales.....	21
I.1 Características químicas.....	21
I.2 Características minerales.....	21
I.3 Características físicas.....	22
I.4 Características biológicas.....	22
II Tratamiento de aguas residuales.....	22



Capítulo III: Presentación y diagnóstico de la planta de tratamiento de aguas residuales de Tánger (EDART)

I. Ficha técnica.....	24
I.1 Objetivos de establecer de la EDAR de Tánger.....	25
I.2 Situación de la EDART.....	25
I.3 Tipos de aguas residuales que ingresan a la EDAR de Tánger.....	25
I.4 Características del caudal, cargas a tratar y nivel de tratamiento según la legislación.....	25
II Industria del agua.....	27
II.1. Pretratamiento.....	27
II.1.1. cribado o rejillas.....	27
II.1.2. Eliminación de grasas / eliminación de arena.....	29
II.2. Tratamiento secundario.....	31
II.2.1. Cuba de aireación.....	32
II.2.2. Clarificador.....	33
II.3. Tratamiento terciario.....	34
III. Línea de fangos.....	35
III.1. Espesantes.....	35
III.2. Deshidratación de lodos.....	35
IV. Desodorización.....	36

Segunda parte: Tratamiento biológico de las aguas residuales por lodos activados en las cubas de aireación.

Capítulo IV: Información general sobre lodos activados

I. Principio.....	38
II. Microorganismo y micro-fauna de lodo activado.....	38
II.1. Flóculos de lodo activado.....	39
II.2. Micro-fauna.....	39
II.2.1. Protozoos.....	39
II.2.2. Metazoos.....	40
II.3. Bacterias filamentosas.....	40
III. Eliminación de la contaminación por nitrógeno y fosfato.....	41
III.1. Contaminación por nitrógeno.....	41



a) Amonificación.....	41
b) Asimilación / disimilación.....	41
c) Nitrificación.....	41
d) Desnitrificación.....	42
III.2. Contaminación por fosfato.....	43
IV. Tanque de aireación de lodo activado.....	43
IV.1. Diferentes tipos de tanques de aireación.....	44
IV.1.1. Cuenca de flujo de pistón.....	44
IV.1.2. Tanque de mezcla integral.....	44
IV.1.3. Tanques de circuito cerrado.....	44
IV.1.4. Cuenca de la cascada.....	45
IV.1.5. Lavabo escalonado.....	45
IV.2. Tipos de aireación de cuencas biológicas.....	46
IV.3. Elaborando de lodos.....	47

Tercera parte: Monitoreo del desempeño de la planta de tratamiento de lodos activados de Tánger

Capítulo V: Materiales y métodos.

I. Parámetros a medir.....	49
I.1 Sólidos en suspensión (SS) y materia seca (MS).....	49
I.2 Demanda de oxígeno.....	49
I.3 Determinación de nitrógeno y fósforo.....	50
II Parámetro a calcular.....	51
II.1. Carga masiva (CM).....	51
II.2. Carga volumétrica (CV).....	51
II.3. Índice de lodos / MOLHMAN (IM).....	52
II.4. Edad del lodo (A).....	53
II.5. Producción diaria de lodos (Δ SS).....	53
II.6. Velocidad de ascenso.....	53

Capítulo VI: Resultados y interpretación

I. Parámetros característicos del agua cruda a la entrada de la EDAR de Tánger.....	55
---	----



I.1 pH.....	55
I.2 La temperatura.....	55
I.3 Conductividad.....	56
I.4 Sólidos en suspensión.....	57
I.5. Demanda química de oxígeno.....	58
I.6. Demanda bioquímica de oxígeno en 5días.....	59
I.7. Informe DQO / DBO5.....	59
I.8. Productos de nitrógeno y fósforo.....	60
I.9. Retornos anuales de los parámetros de contaminación.....	64
II Parámetros básicos del clarificador.....	65
Conclusión general.....	66
Bibliografía y webgrafía.....	69
Anexo.....	70



- Figura. 1: ubicación geográfica de Tánger en la región de Tánger-Tetuán*
- Figura. 2: principio de funcionamiento del puente rascador de eliminación de arena / aceite*
- Figura. 3: proceso de tratamiento biológico*
- Figura. 4: diagrama esquemático de un decantador secundario raspado*
- Figura. 5: las diferentes etapas de la metabolización de la contaminación por nitrógeno*
- Figura. 6: principio de la cuba de aireación del flujo del pistón*
- Figura. 7: principio de mezcla integral de una cuba de aireación*
- Figura. 8: lavabos de circuito cerrado*
- Figura. 9: piscina en cascada*
- Figura. 10: tanque con suministro escalonado*
- Figura. 11: diferentes tipos de aireadores*
- Figura. 12: variaciones del pH diario de las aguas residuales a la entrada del escalón (mayo, junio de 2020)*
- Figura. 13: evolución de la temperatura media de las aguas residuales en la entrada primaria en función de la temperatura atmosférica (mayo, junio de 2020).*
- Figura. 14: evolución de la conductividad media diaria de las aguas residuales en la entrada primaria (mayo, junio de 2020)*
- Figura. 15: concentración en mi a la entrada y salida del escalón*
- Figura. 16: DQO a la entrada y salida del escalón*
- Figura. 17: DBO5 a la entrada y salida del escalón*
- Figura. 18: cambio en la relación DQO / DBO5 al inicio del tratamiento primario*
- Figura. 19: concentración en NH_4^+ a la entrada y salida del escalón*
- Figura. 20: concentración en NO_3^- a la entrada y salida del escalón*
- Figura. 21: concentración en NTK a la entrada y salida del escalón*
- Figura. 22: concentración en NO_2^- a la entrada y salida del escalón*

Tab.1: Características del caudal a tratar que entra en la EDAR de Tánger

Tab.2: Límites exigidos por la legislación

Tab.3: Pantallas de pretratamiento

Tab.4: Sistema enzimático implicado en la desnitrificación

Tab.5: Valores anuales de los rendimientos de los parámetros de contaminación para los meses 5 y 6 del año 2020 de la EDAR.

Tab.6: Valores medios de la relación masa carga, el índice de lodos y la velocidad de ascenso de la estación.

Foto 1: sinóptico general de la depuradora de Boukhalef

Foto 2: vista general de la EDAR de Tánger

Foto 3: pinza motorizada

Foto 4: el pozo de llegada

Foto 5: bombas sumergidas

Foto 6: pozo de bombeo del ascensor

Foto 7: la estación de cribado fino

Foto 8: pantalla gruesa

Foto 9: el objetivo de verter los residuos en el contenedor

Foto 10: puente rascador para remoción de arena / aceite

Foto 11: puente rascador en desagüe

Foto 12: clasificador de arena

Foto 13: concentrador de grasas

Foto 14: medidor de pH a la salida de la trampa de arena

Foto 15: tanque de homogeneización

Foto 16: tanque de homogeneización en desagüe

Foto 17: (a) tanque de aireación, (b) tanque de aireación en desagüe, (c) tanques de aireación filas 1 y 2

Foto 18: tanque de sedimentación secundario

Foto 19: (a) tolva de recolección de agua tratada, (b) tabique sifoideo

Foto 20: área de tratamiento terciario

Foto 21: (a) silo de almacenamiento, (b) entrega de lodos deshidratados al balde.

Foto 22: equipo de desodorización

Foto 23: estructura microscópica de escamas de lodo activado (500x).

Foto 24: estructura microscópica de bacterias filamentosas en lodos activados (500x)



EDAR: planta de tratamiento de aguas residuales.

SEEN: empresa de agua y electricidad del norte

PNA: programa nacional de saneamiento líquido y tratamiento de aguas residuales

ODM: Objetivos de Desarrollo del Milenio

OMS: organización mundial de la salud

DQO: demanda Química de Oxígeno

SS: sólidos en suspensión

MS: materia seca

DBO5: Demanda bioquímica de oxígeno pendiente cinco días

NO₃⁻: Nitratos

NH₄⁺: El ion de amonio

NO₂⁻: Nitritos

PT: fósforo total

IM: índice de Molhman

MVS: materia volátil en suspensión.

NTK: Nitrógeno Kjeldahl

EH: equivalente habitante.

CF: *coliformes fecales*

CRS: *clostridios reductores de sulfito*

CO₂: dióxido de carbono

VA: velocidad de ascenso

IL: índice de lodos

Cm: carga de masa

LCK 340/348b/348: soluciones reactivas del espectrofotométrico DR 2800



A mediados del siglo XXI, en sólo cincuenta años la población mundial habrá aumentado en un cincuenta por ciento, de seis mil millones a finales de 1999 a casi nueve mil millones en 2050 [1].

El consumo diario de agua per cápita en las zonas residenciales es de 600 litros en América del Norte y Japón y de 250 a 350 litros en Europa. Para los países africanos, la distribución es bastante diferente, ya que el consumo medio per cápita y por día se estima entre 10 y 20 litros. La necesidad de proteger el agua del impacto de las actividades humanas se vuelve inevitable ya que la contaminación afecta su capacidad de autodepuración. Por tanto, para mantener o mejorar la calidad del recurso hídrico es necesario luchar contra la contaminación, mediante la limpieza de las aguas residuales domésticas y los vertidos industriales o agrícolas.

En Marruecos, los volúmenes de aguas residuales vertidos se estimaron en 470 millones m³ por año en 1994 y alcanzarían los 900 millones m³ por año en 2020.

Como en los países en desarrollo, la mayor parte de las aguas residuales se vierten al medio ambiente natural sin tratamiento. Sin embargo, en los últimos años, el aumento de la demanda de agua para consumo humano, industrial y agrícola y las repetidas sequías que azotan a Marruecos han sensibilizado a los responsables de la toma de decisiones para que consideren las aguas residuales como un recurso hídrico apreciable, de ahí la necesidad reflexionar sobre un programa nacional de tratamiento de aguas residuales [2].

Los efluentes urbanos se consideran la principal fuente de contaminación en Marruecos, repercutiendo en la salud de la población y en la estabilidad ambiental. Se estima que el volumen de efluentes generados en áreas urbanas asciende a unos 500 millones de m³ cada año, vertidos en la mayoría de los casos sin ningún tratamiento en áreas naturales. Aproximadamente el 43% de los efluentes urbanos se vierten directamente al mar, el 30% a los ríos y el 27% a tierra firme.

Tenga en cuenta que la "salida portuguesa", el conducto central de la primera red de saneamiento en la ciudad de Tánger se construyó hace más de dos siglos.

El sistema de recogida y transporte de aguas residuales sirvió para recoger todas las aguas residuales de la antigua medina para verterlas al mar sin tratamiento. La salida para los portugueses se amplió a principios de la década de 1970 para llegar a nuevas áreas de la ciudad. Por tanto, casi todas las aguas residuales de la Wilaya se vertieron en el mar y en los Wadis sin tratamiento, es decir, un volumen diario de alrededor de 80.000 m³. Una situación que



inevitablemente repercutió en las aguas provocando verdaderos desastres ecológicos: áreas marinas destruidas, aguas subterráneas contaminadas, aguas de mar no aptas para el baño, ramblas intransitables, inundaciones y riesgos agravados [3].

Para hacer frente a esto, desde 2002 la empresa Franco-Marroquí encargada de la gestión delegada de agua, electricidad y saneamiento líquido en Tánger (AMENDIS-VEOLIA), ha construido el sistema de descontaminación de la Bahía de Tánger. Incluye, en primer lugar, la construcción de una estación de pretratamiento de aguas residuales ubicada detrás del puerto, a nivel del vertido principal de la ciudad, sobre una plataforma para ser cortada en el mar y en segundo lugar, VEOLIA se hizo cargo de una nueva estación de tratamiento y reutilización de aguas residuales, construida en el distrito de Boukhalef, que forma parte del programa de limpieza costera, desde el cabo Malabata hasta Assilah. Esta estación consiste en la depuración de aguas residuales mediante tratamientos primarios, secundarios y terciarios, con el fin de recuperar un recurso hídrico de 50.000 m³/año que se destinará al riego.

Este trabajo revela la actuación de la EDAR y aborda la importancia de las cubas de aireación en las que se realiza el tratamiento biológico del agua mediante el proceso de fangos activados, los factores que inducen su disfunción, el impacto de estos últimos en la calidad del afluente tratado a la salida del tratamiento, así como posibles soluciones que pudieran remediar estos problemas.



I. Presentación de la ciudad de Tánger

Tánger, la perla del Estrecho de Gibraltar, es una ciudad ubicada en el extremo occidental del Rif en el norte de Marruecos en la región de Tánger-Tetuán. Capital de la Wilaya, a unos 14 kilómetros de la costa española. También fue y durante varios años una ciudad internacional donde varias comunidades distintas se codeaban, a saber, los británicos, los españoles, los marroquíes y los alemanes.

Tánger cuenta actualmente con uno de los puertos mercantes más importantes de Marruecos. Se establece en la colina de la Kasbah, la ciudad se extiende gradualmente por los macizos que la bordean al oeste hacia Cap Spartel (meseta Marshan, montaña vieja) y luego, a lo largo de la playa, hacia Ciudad del Cabo. Malabata.

El clima de Tánger es mediterráneo, templado por la influencia oceánica y la brisa del Chergui, presentando cuatro estaciones diferenciadas: invierno suave y húmedo, verano cálido y seco, entre estaciones de lluvias moderadas.

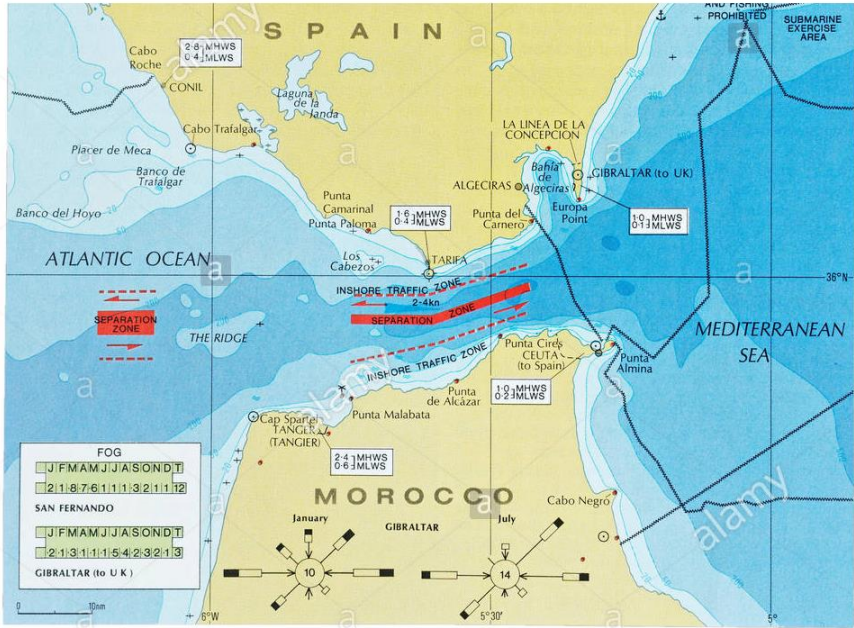


Figura. 1: ubicación geográfica de Tánger en la región de Tánger-Tetuán

II. Presentación de la organización anfitriona: AMENDIS

1. Historia

La empresa AMENDIS, filial del grupo Veolia Water, es responsable, desde el 1 de enero de 2002, de la gestión delegada de los servicios de saneamiento líquido y la distribución de agua potable y electricidad en la Wilaya de Tánger, en este contexto cerca de 900.000 habitantes en 10 municipios diferentes. Esta

es la tercera experiencia en la privatización de agencias autónomas, después de la autoridad de Casablanca (LYDEC) en 1997 y Rabat (REDAL) en 1998.

La licitación internacional fue lanzada el 31 de diciembre de 1998 por el municipio urbano (CU) de Tánger; y otro en Tetuán el 15 de diciembre de 1998 por la UC de esta última ciudad. Experimentó la participación de varios grupos. Tras un concurso internacional, y una valoración muy difícil respecto a la transparencia total, fue el grupo Veolia Environnement (antes Vivendi Water) el que ganó las dos licitaciones. Estaba mejor clasificado, técnicamente y en términos de inversión, en comparación con otros competidores tanto de Tánger como de Tetuán.

Los contratos firmados fueron aprobados por veintitrés municipios que votaron para disolver las autoridades estatales de Tánger y Tetuán.

La nueva concesionaria, la Compañía de Agua y Electricidad del Norte (SEEN), que combina los dos contratos, ha creado una etiqueta para darse una identidad visual. Este es el nombre "AMENDIS". El no viene de:

- "Amen", que deriva del árabe clásico que significa al mismo tiempo seguridad, estabilidad, serenidad y del término usado en Amazigh del Rif para designar el agua.

- "Dis", un sufijo introduce la noción de distribución.

Durante la vigencia del contrato, se invertirán más de 3.700 millones de dirhams para participar en la mejora de la calidad de los servicios públicos en la ciudad de Tánger, en particular a través del sitio de descontaminación de la Bahía de Tánger, finalizado en octubre de 2009. (Ver organigrama de la organización general en anexo).

AMENDIS Tánger sitúa la seguridad y la calidad en el centro de sus preocupaciones. Tras obtener el primer premio de promoción de la calidad en 2005 en la categoría de grandes organizaciones de servicios, el enfoque de calidad de AMENDIS Tánger se materializó en diciembre de 2006 al obtener la certificación de calidad ISO 9001 otorgada por el Ministerio de Industria, Comercio y Mejora de economía, y la oficina "Veritas".

En noviembre de 2007, esta certificación se mantuvo luego de auditorías de seguimiento, premiando así los esfuerzos realizados para mejorar la modernización de los procesos de todas las funciones de la subsidiaria. En mayo de 2010, AMENDIS Tánger obtuvo la certificación OHSAS 18001 (salud y seguridad ocupacional).

2. Las misiones y los objetivos de AMENDIS

La misión de AMENDIS y su mayor preocupación es apoyar el importante desarrollo experimentado por la ciudad de Tánger, garantizar la seguridad del suministro de agua y la gestión de los servicios prestados a los clientes.



El aspecto medioambiental y ecológico sigue siendo el centro de las actuaciones de AMENDIS, en particular el tratamiento y reutilización de aguas residuales.

III. La red de alcantarillado de la ciudad de Tánger

1. Definiciones

El objetivo del saneamiento en las zonas urbanas es asegurar la evacuación de todas las aguas pluviales y residuales a las estructuras de tratamiento antes de su vertido en entornos receptores como los Wadis y el mar de tal forma que sean compatibles con las normas ambientales y de salud pública.

La red de saneamiento tiene dos objetivos:

- Asegurar el correcto drenaje del agua de lluvia para evitar inundaciones
- Asegurar la eliminación de todo tipo de aguas residuales.

2. Descripción de los sistemas de saneamiento

Son posibles varios sistemas de recolección de saneamiento:

- El sistema unitario que recibe aguas residuales y pluviales en las mismas tuberías
- El sistema separado compuesto por dos redes de tuberías diferentes, una destinada a la recogida de aguas pluviales de dimensiones comparables a las de una red unitaria y otra destinada a la recogida de aguas residuales propiamente dicha, de dimensiones más reducidas.
- El sistema co-separativo es un sistema separador donde la tubería de aguas residuales puede recibir algo de agua de lluvia de techos y patios interiores.
- El sistema mixto es una mezcla de los sistemas unitario y separativo que se instalan según las áreas urbanizadas del municipio.

La red de saneamiento colectivo de la ciudad de Tánger es de tipo unitario.

Por lo tanto, la ciudad de Tánger experimenta descargas de aguas residuales sin tratar en su entorno natural, particularmente en los Wadis costeros Moghogha, Lihoud, Souani, ya sea directamente en el Mar Mediterráneo y el Océano Atlántico, o incluso vertidos en pozos de inmersión.

Las aguas residuales y pluviales de la ciudad de Tánger se vierten directamente al medio marino natural sin ningún tratamiento, desde 5 puntos de vertido:

Descarga 1: ubicada en el lado este del arroyo Markala, esta descarga concierne a Oued Lihoud, que puede considerarse como una alcantarilla abierta.



Rechazo 2: ubicado en una pequeña playa detrás del puerto, es el rechazo más importante de la ciudad de Tánger.

Descargas 3 y 4: descendiendo de la meseta de Marshan, las 2 descargas son de tipo doméstico y fluyen directamente a la playa.

Descarga 5: Oued Souani cruzando Tánger que drena una cuenca estrictamente urbana de pequeña extensión de aproximadamente (12 km²). [4]

Esta situación presenta amenazas reales para el medio ambiente de la ciudad y sus habitantes, quienes están cada vez más expuestos directa o indirectamente a los riesgos de enfermedades transmitidas por el agua.

El sector del saneamiento urbano en Marruecos se caracteriza por un predominio del saneamiento colectivo, que afecta al 80% de los centros urbanos que albergan al 97% de la población urbana. El saneamiento in situ o individual afecta al 20% de los centros urbanos.

Con el fin de fortalecer estas acciones y combinarlas con un apoyo financiero efectivo y sostenible del Estado, en 2005 se elaboró un Programa Nacional de Saneamiento Líquido y Tratamiento de Aguas Residuales (ANP).

Este programa permitirá alcanzar el objetivo sectorial marcado por los ODM y tiene dos objetivos principales para 2021:

- Lograr un nivel general de conexión a la red de saneamiento del 80% en áreas urbanas.

- Reducir la contaminación generada por las aguas residuales urbanas en al menos un 60%, mediante la instalación de 260 estaciones de tratamiento de aguas residuales. [5]

De hecho, en ausencia de un proceso de tratamiento de aguas residuales para la ciudad de Tánger, los efluentes, con un caudal medio de alrededor de 80.000 m³/d, se recogen y descargan mayoritariamente en estado crudo. Esta situación se traduce en la contaminación del medio natural, en particular del nivel freático subterráneo, con todas las consecuencias nocivas para la salud y el medio ambiente.

Es así como AMENDIS, para encontrar una solución a este problema, pensó en el proyecto de rehabilitación de la planta de tratamiento de aguas residuales destinado a tratar gran parte de las aguas residuales de la ciudad y que, además de la preservación entorno ecológico, tendrá otras ventajas, a saber, garantizar un volumen de agua depurada de 50.000 m³/año que se puede utilizar para riego.



En este capítulo presentaremos las diferentes características de las aguas residuales tanto desde el punto de vista fisicoquímico como los diferentes tratamientos que se requieren para una descarga de efluentes de calidad aceptable.

I. Características de las aguas residuales

Las aguas residuales contienen materia mineral u orgánica en proporciones variables según su origen. Estos materiales pueden estar en forma sólida, coloidal o disuelta. En general, también contienen una multitud de organismos vivos, algunos de los cuales pueden ser altamente patógenos.

I.1. Características químicas

Las aguas residuales son un entorno extremadamente complejo, por lo que nos referimos a algunos parámetros para caracterizarlo.

-Demanda bioquímica de oxígeno (DBO): expresa la cantidad de materia orgánica biodegradable presente en el agua. Más precisamente, este parámetro, expresado en mg de oxígeno por litro, mide la cantidad de oxígeno necesaria para la destrucción de la materia orgánica gracias a los fenómenos de oxidación aeróbica. Para medir este parámetro se toma como referencia la cantidad de oxígeno consumida a los 5 días. Esto es DBO₅.

Demanda química de oxígeno (DQO): expresado en mg de oxígeno por litro, representa el contenido total de agua en materia oxidable. Este parámetro corresponde a la cantidad de oxígeno que se debe suministrar para oxidar químicamente estos materiales.

I.2. Características minerales

-pH: influye fuertemente en las reacciones de degradación de la materia orgánica. Si las aguas residuales tienen un pH neutro o básico y las bacterias que degradan la materia orgánica crecen de manera óptima a un pH más bajo, el desempeño de la planta de tratamiento se hará sentir.

-Nitrógeno y fósforo: el contenido de nitrógeno y fósforo también son parámetros muy importantes. Las descargas excesivas de fósforo y nitrógeno contribuyen a la eutrofización de lagos y ríos. Este fenómeno se caracteriza por la proliferación de algas y la disminución del oxígeno disuelto, que empobrece la fauna y la flora de las aguas superficiales (ríos, lagos, etc.).



I.3. Características físicas

- Turbidez: disminuye la penetración de la luz.
- Color: a menudo se debe a la liberación de compuestos químicos solubles con una coloración muy marcada (teñido, sangre de matadero, etc.).
- Temperatura: juega un papel fundamental en todas las reacciones químicas que tienen lugar en un medio líquido. La tasa de degradación de la materia orgánica en las aguas residuales aumenta a medida que aumenta la temperatura. Su importancia se siente especialmente en la cinética de purificación mediante una aceleración de los procesos de purificación cuando el entorno biológico es adecuado.
- Sólidos en suspensión (SS): son los sólidos no disueltos contenidos en las aguas residuales que pueden separarse mediante filtración o centrifugación. Se subdividen en dos categorías:
 - Materiales sedimentables: que son sólidos en suspensión que sedimentan por un período fijado convencionalmente en 2 horas
 - Materiales coloidales: que representan la diferencia entre SS y materiales sedimentables.
- Materia seca (MS): se obtienen por evaporación directa a 105°C y representan tanto los sólidos en suspensión como la materia disuelta.

I.4. Características biológicas

Están formados por microorganismos (bacterias, virus, algas, protozoos, etc.) y organismos superiores (gusanos e insectos en diversas etapas de su desarrollo).

Normalmente se utilizan tres grupos principales para este propósito:

- Coliformes fecales (CF)*
- Streptocopios*
- Clostridium reductores de sulfito (CSF)*.

II. Tratamiento de aguas residuales:

La descontaminación de aguas residuales requiere una sucesión de etapas que involucran tratamientos físicos, fisicoquímicos y biológicos. Aparte de los residuos más grandes en las aguas residuales, el tratamiento debe permitir, como mínimo, eliminar la mayor parte de la contaminación por carbono. Según el grado de eliminación de la contaminación y los procesos implementados, se definen cinco niveles de tratamiento:



- Pretratamientos
- Tratamiento primario
- Tratamiento secundario
- Tratamientos terciarios
- Tratamiento de fangos

En el siguiente capítulo, dedicado a la descripción de la planta de tratamiento, presentaremos los niveles de tratamiento de forma clara y detallada.



1-Ficha técnica de la EDAR

contaminar el medio ambiente.

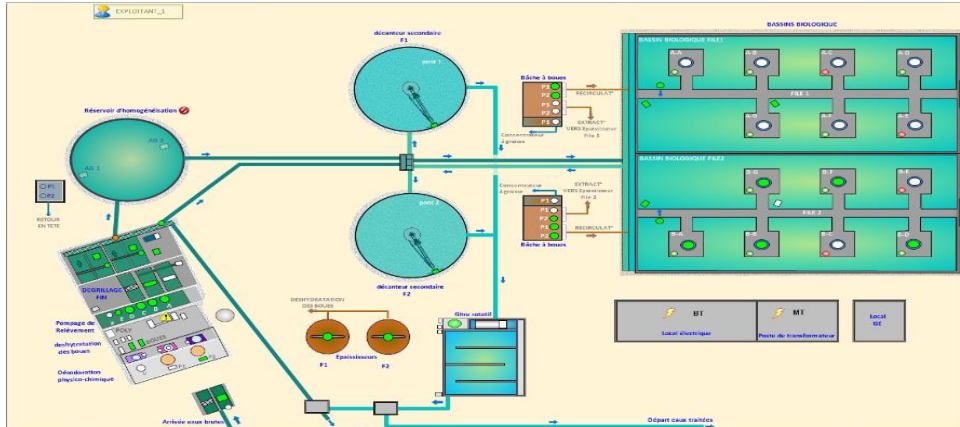


Foto 1: sinóptico general de la depuradora de Boukhalef

Este estudio pretendió, en una primera fase, tratar las aguas residuales

11 333 3/16 inch

Copyright © 2011 John Wiley & Sons, Ltd. *J. Clin. Neurophysiol.* 32: 1–10, 2011. DOI: 10.1002/jcne.22001

[illegible]

I.1. Objetivos de la instalación de la planta de tratamiento de aguas residuales de Tánger

- Mejorar la calidad de las aguas de baño
- Desarrollo y turismo urbanos
- Eliminar molestias por olores Conservación de los recursos hídricos y movilización de un recurso renovable.

I.2. Ubicación de la planta de tratamiento de aguas residuales

La planta de tratamiento de aguas residuales está ubicada en la zona franca de Tánger en el área de Boukhalef al sur de la ciudad.

La elección de la ubicación viene motivada, por un lado, por su litoral más bajo que permite la recogida y transporte por gravedad de las aguas residuales, y por otro, por su ubicación muy próxima al vertedero controlado y equipada para la evacuación. subproductos del tratamiento, a saber, lodos deshidratados, arena y residuos de tamices (los dos últimos son comparables a los residuos domésticos).

I.3. Tipo de aguas residuales que entran en la EDAR de Tánger

La EDAR de Tánger recibe diferentes tipos de efluentes que se enumeran a continuación:

- Aguas residuales domésticas
- Aguas residuales industriales
- Agua de lluvia

Todos los efluentes son recolectados por una red de unidades. Sin embargo, la falta de un perfecto control de los vertidos industriales y la falta de un tratamiento específico de estos vertidos antes de que ingresen a la red de alcantarillado corre el riesgo de interrumpir el funcionamiento de la estación, en particular en su segunda fase que comprende el tratamiento biológico.

I.4. Características del caudal, cargas a tratar y nivel de tratamiento según la legislación:

Como es la estación se encuentra en la zona franca de Tánger, los límites generales de vertido aplicables son estrictamente aplicables a esta estación y son más exigentes que la norma marroquí (ver anexo).

Durante el diseño de la EDAR de Tánger se estimaron tanto los caudales como las cargas contaminantes como se muestra en las siguientes tablas.



Tab.1: características del caudal a tratar que entra en la EDAR de Tánger

Número de equivalentes que viven	140 113 eh
Caudal máximo	20000 m3/dia
Volumen diario de aguas residuales	10 700 m3/dia
Caudal medio en tiempo seco	446 m3/h
Caudal máximo en tiempo lluvioso	1 115 m3/h

Tab.2. Límites exigidos por la legislación

Cargas contaminantes	Promedio durante 24 horas
DBO5	<25 mg/l
DQO	<125 mg/l
SS	<10 mg/l
Coliformes	1000 / 100 ml
Lodos	20% de sequedad

En el complejo, se distinguen los canales principales, a saber:

- Sector del agua: se desarrolla en cuatro etapas: pretratamiento, tratamiento primario, secundario y terciario.
- Sector de lodos: formado por tres tipos de lodos: primario, secundario y mixto (mezcla de lodo primario y lodo secundario).



Foto 2: vista general de la EDAR de Tánger

II. Sector del agua

El sector del agua representa las diferentes etapas del tratamiento de aguas residuales desde que ingresan al paso hasta que salen: pretratamiento, tratamiento secundario y tratamiento terciario.

II.1. Tratamiento previo

Para proteger los equipos mecánicos, la mayoría de las plantas de tratamiento de aguas residuales están equipadas con tratamientos previos físicos. Hay tres fases: cribado, eliminación de arenilla y eliminación de aceite.

II.1.1 Cribado

El cribado es el primer paso en el tratamiento de aguas residuales, que elimina todo tipo de compuestos secundarios de gran tamaño que pueden provocar bloqueos en las diferentes unidades de la instalación.

Podemos distinguir la existencia de dos rejillas utilizadas en esta etapa del procesamiento.

Tab.3: Las pantallas de pretratamiento

Cuadrícula	Inter-cuadrícula	Operación	Procedimiento	Características
Primera cuadrícula	40mm	Pantalla gruesa	Automatico	-2 unidades incluyendo 1 manual -ancho del canal: 1,6 m
segunda cuadrícula	15mm	Pantalla fina	Automatico	-3 unidades incluyendo 1 manual -ancho del canal: 1 m

Después del paso de cribado grueso, el agua cruda aterriza en el pozo del pozo de entrada.





Foto 3: garra motorizada



Foto 4: el foso de llegada

Después del paso de cribado grueso y el pozo bastardo, el agua cruda aterriza en el pozo de bombeo para ser elevada a la estación de cribado fino.



Foto 5: bombas sumergidas



Foto 6: pozo de bombeo de elevación

Las dos pantallas se pueden aislar aguas arriba y aguas abajo mediante válvulas de pared, una de las cuales está motorizada a la entrada del canal de cribado automático.



Foto 7: la estación de cribado fino



Foto 8: cribado grueso

Los residuos recogidos por el raspador a nivel de la criba fina y gruesa se transportan a un objetivo que, mientras se mueve, los vierte en un contenedor de basura para luego ser transferidos al vertedero.



Foto 9: el objetivo de tirar los residuos al basurero.

Para establecer los equilibrios de entrada y salida de la estación y realizar un monitoreo regular del rendimiento de la estación, se proporciona un recolector de muestras automático en la entrada del canal de pantalla fina.

II.1.2. Eliminación de grasas / eliminación de arena

Los efluentes libres de residuos gruesos son admitidos en una instalación de eliminación de arenillas / desengrasado. Las grasas y aceites se emulsionarán y flotarán en la superficie mediante aireación continua. Las arenas se asientan en la parte inferior de la estructura.

El desgrasado se realiza en dos lavabos combinados rectangulares.

Cada libro reúne en un solo conjunto:

- La trampa de arena en la parte inferior.
- El separador de aceite, ventilado en su parte superior, y raspado mecánicamente por un puente longitudinal para extraer grasa y flotadores.

Cada libro reúne en un solo conjunto:

- La trampa de arena en la parte inferior.
- El separador de aceite, ventilado en su parte superior, y raspado mecánicamente por un puente longitudinal para extraer grasa y flotadores.

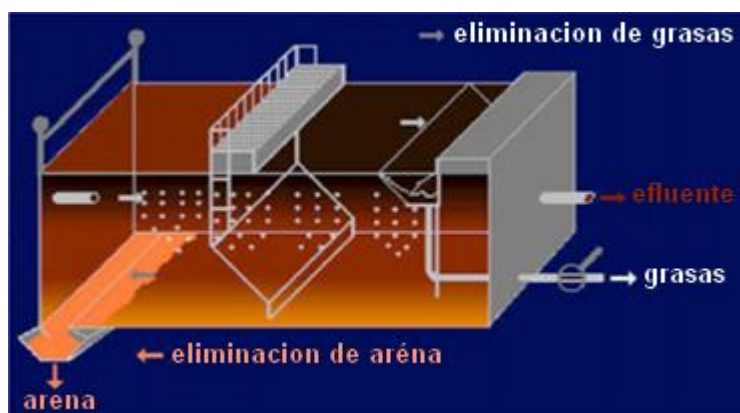


Foto 10: puente raspador para eliminación de arena / aceite en desagüe



foto 11: puente raspador

La aireación es proporcionada por una turbina sumergida cuya función es crear flotación y arrastre de grasa en la superficie. La grasa raspada de la superficie del separador de aceite se agrupa en el conducto común a las dos filas y se envía por gravedad al concentrador de grasa. Las arenas sedimentadas se extraen mediante dos bombas de arena que regresan al conducto de arena común y alimentan un clasificador. Este clasificador asegura la separación de las arenas que serán evacuadas directamente en un contenedor.



Higo. 2: principio de funcionamiento del puente raspador de eliminación de arena / aceite



Foto 12: clasificador de arena foto



13: concentrador de grasas

Nota:

Para controlar la calidad del agua pre-tratada antes de transportarla al tratamiento biológico, se proporciona una medición de pH en el canal de salida de los dos separadores de arena / aceite.



Foto 14: ph - metro en la salida de la trampa de arena

En caso de pH bajo, el agua se canaliza al tanque de homogeneización mediante válvulas motorizadas.

El agua recolectada del tanque de homogeneización se bombea de regreso al cabezal de la estación.



Foto 15: tanque de homogeneización desagüe

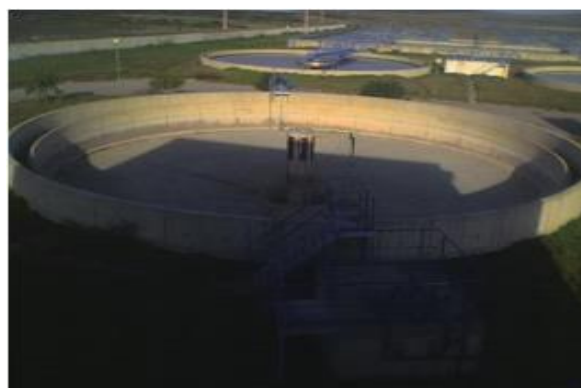


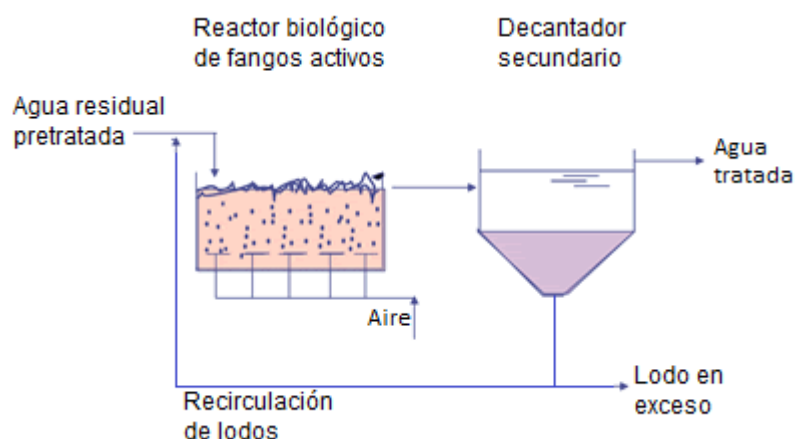
Foto 16: tanque de homogeneización en

II.2. Tratamiento secundario

El tratamiento secundario se realiza biológicamente, su ventaja es eliminar compuestos orgánicos como azúcares y proteínas por nitrificación y desnitrificación (detallado en la parte i). Utiliza una amplia variedad de microorganismos, principalmente bacterias. Estos microorganismos convierten la materia orgánica biodegradable de las aguas residuales en productos simples y biomasa adicional.

Este tratamiento biológico se realiza a nivel de la balsa de aireación y se realiza a nivel del clarificador.

Higo. 3: proceso de tratamiento biológico



La depuración biológica se realiza en un solo canal que comprende:

- Una cuenca biológica con zona de contacto.
- Un tanque de decantación donde se separan los lodos / agua tratada.
- Una estación de recirculación de lodos que asegura la resiembra de lodos del tanque de aireación.

II.2.1. Cuba de aireación

En esta etapa se produce la degradación de la materia orgánica mediante microorganismos en condiciones aeróbicas, provocando así homogeneidad para asegurar el contacto entre el medio de vida, elementos contaminantes, agua y oxígeno.

La eliminación de la contaminación carbonosa se garantiza mediante la mezcla y el suministro de oxígeno, lo que permite que las bacterias transformen la contaminación carbonosa en agua, dióxido de carbono y biomasa. La eliminación de nitrógeno está asegurada por una alternancia de fases aireadas y no aireadas.

Todo el equipamiento de la balsa de aireación consta de:

- Turbinas de superficie lenta para proporcionar el oxígeno necesario para las bacterias. El suministro de oxígeno se distribuye en etapas para promover el flujo del pistón.
- Bombas de recirculación de licor mixto necesarias para la desnitrificación a un caudal unitario de 670 m³/h.
- Instrumentación (oxígeno y redox) necesaria para regular el suministro de oxígeno, y para ajustar las fases aireadas y no aireadas.



A

B

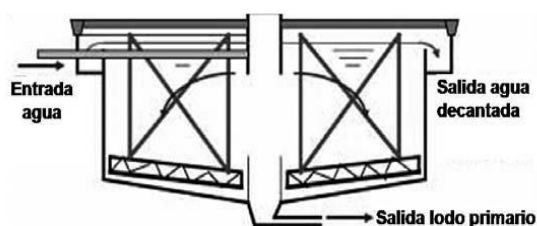
C

Foto 17: (a) pileta de aireación, (b) pileta de aireación en desagüe, (c) piletas de aireación filas 1 y 2

A medida que la materia orgánica se degrada, habrá una estabilización del lodo activo para que el gas atrapado (CO_2 , O_2 , N_2) entre las partículas pueda escapar. Este paso elimina una gran parte del carbono y el nitrógeno que constituyen la mayor parte de la materia orgánica que se lleva al paso.

II.2.2. Clarificador

A la salida de las cubetas de aireación, el licor mixto orgánico (mezcla de lodos y agua depurada) se somete a clarificación, a través de dos decantadores secundarios, para separar los lodos activados del agua depurada, a recuperar. este lodo y reciclarlo al tanque de aireación. Un raspado superficial recoge todos los flotadores presentes en la superficie para ser recogidos en la cubierta del flotador.



Higo. 4: diagrama esquemático de un tanque



Foto 18: tanque de sedimentación secundario
de sedimentación secundario raspado

El agua clarificada se desborda en los golletes y pasa por el canal Venturi para medir el caudal mediante un caudalímetro, este último lo registrará y totalizará el caudal de las bombas de recirculación.



(a)

(b)

Foto 19: (a) tolva de recogida de agua tratada, (b) partición de vacío

Finalmente, a partir de este paso, una gran parte de estos lodos, alrededor del 80%, serán recirculados a las piletas de aireación mientras que la otra parte será recibida por la unidad de flotación.

II.3. Tratamiento terciario

Antes de ser vertida para su reutilización en riego o vertido, el agua clarificada se dirige a la etapa de tratamiento terciario que consta de dos etapas:

- Filtración a 10 μ m mediante tamiz giratorio con limpieza automática
- Desinfección mediante inyección de lejía en el depósito de agua tratada.

El agua reutilizada para riego se trata en el filtro con una capacidad unitaria de 1115 m³/h, con limpieza y desatascos automáticos. En modo normal, el filtro de pantalla está en funcionamiento. En caso de que surja un problema, se puede usar una válvula manual para desviar el filtro de malla y suministrar directamente el tanque de agua tratada. El filtro retiene partículas sólidas nocivas del agua.



Foto 20: el área de tratamiento terciario

Antes de la recuperación, el agua tratada se somete a un paso de desinfección mediante la inyección de lejía en el tanque de agua tratada. Esta inyección se realiza mediante una bomba dosificadora de un tanque de almacenamiento de lejía.



A través de este proyecto de reutilización de agua tratada, se asegura un nuevo recurso hídrico renovable estimado en 50.000 m³/año para riego en el marco de un acuerdo con el Golf de Hilton Group.

III. Línea de fangos

III.1. Espesantes

El lodo secundario proviene de los clarificadores. Del 70 al 80% de estos lodos se envía a las cubetas de aireación mientras que el resto se envía a los dos esperadores rasgados, cuya función es concentrarlos, y servir de almacenamiento para alimentar la etapa de deshidratación. El lodo una vez espesado se bombea a las centrifugadoras. La instalación consta de tres bombas, una de las cuales es de respaldo con un caudal unitario de 511 m³/h. Estas bombas están equipadas con accionamientos de velocidad variable.

III.2. Deshidratación de lodos

El propósito de la deshidratación es producir una pasta de lodo no líquido. Esto significa que parte del agua debe eliminarse del lodo.

A continuación, el lodo se bombea de los esperadores mediante las bombas de desplazamiento positivo que alimentan las dos centrífugas. Antes de llegar a la centrífuga, el lodo se acondiciona con el polímero. La preparación del polímero se llevará a cabo mediante un conjunto de dosificación automático a partir de polímero en polvo. La inyección de polímero se realiza mediante una bomba dosificadora. En la descarga de la bomba de alimentación centrífuga. Por lo tanto, la mezcla de lodo / polímero esencial para una buena deshidratación se produce en la línea de alimentación de la centrífuga. A continuación, la centrífuga deshidrata el lodo.

El lodo deshidratado se devuelve al contenedor o al silo de almacenamiento. Los filtrados de la deshidratación se devuelven por gravedad al pozo de entrada.



(a)

(b)

Foto 21: (a) silo de almacenamiento, (b) entrega de lodos deshidratados al contenedor.

IV. Desodorización

El diseño de las estructuras permite instalar un tratamiento del aire viciado extraído de las estaciones elevadoras, pretratamiento, tratamiento de lodos, almacenamiento de lodos. Las estructuras más contaminantes se agrupan para permitir su desodorización mediante un tratamiento fisicoquímico. La recolección y el tratamiento del aire viciado se pueden lograr fácilmente con una red de conductos mínima. El aire se extrae de la habitación o de las estructuras confinadas, mediante conductos y un ventilador. Este aire pasa luego a través de un ácido y luego una torre de lavado básica (para la disolución del amoníaco muy oloroso). El tratamiento del aire se basa en el principio del paso del aire contra la corriente a través de las soluciones pulverizadas de ácido sulfúrico, luego lejía y soda.

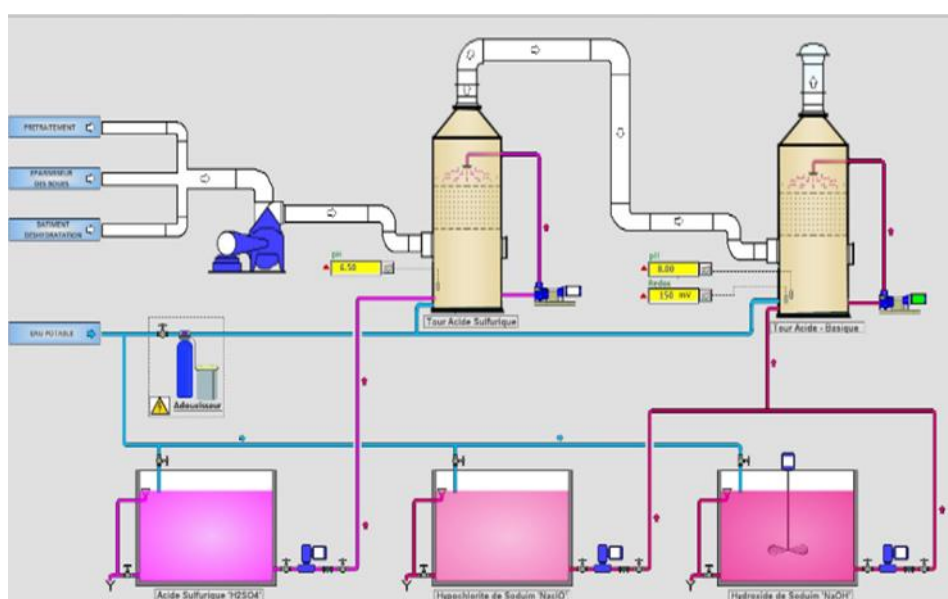


Foto 22: equipo de desodorización

Segunda parte:

*Tratamiento biológico de aguas residuales mediante
lodos activados*



I. Principio

Los primeros procesos de lodos activados fueron diseñados por los ingleses *Arden y Lockett* en Manchester en 1913. Esta técnica no se desarrolló inmediatamente en Europa, pero Estados Unidos la utilizó en 1918. Reapareció en Europa después la dura de 1939-1940. Se han realizado mejoras constantes desde la década de 1980 porque la contaminación orgánica ya no es la única que se elimina. La contaminación por nitrógeno o fósforo también es el caso.

El principio general consiste en cultivar microorganismos principalmente aeróbicos, capaces de consumir la contaminación orgánica contenida en los efluentes. Las cubas de aireación son ecosistemas muy complejos que contienen bacterias filamentosas y no filamentosas, protozoos y metazoos. Esta microfauna se pone en contacto con aguas residuales puras para formar el licor mixto que se transporta a un tanque de sedimentación donde se separa la biomasa del agua purificada. [6]

II. Microorganismos y microfauna de lodos activados [7]

Los lodos están compuestos esencialmente por bacterias vivas y muertas, aerobios facultativos de pequeño tamaño que van desde micrómetros a milímetros. Los lodos activados forman, por tanto, un ecosistema muy complejo en el que conviven diferentes cepas bacterianas y microfauna.

Las bacterias que se encuentran en los lodos pueden ser:

- Tipo unicelular de forma esférica o cilíndrica (0,5 y 5µm).
- Tipo multicelular, cuyo tamaño suele oscilar entre 10 y 500µm.

Es posible una clasificación según la fuente de carbono:

- Bacterias que utilizan materia orgánica como fuente de carbono y como fuente de energía para el metabolismo llamadas heterótrofos.
- Gérmenes autótrofos que utilizan carbono de bicarbonatos y CO₂ como fuente de carbono.

En los procesos de lodos activados, estas dos poblaciones coexisten mientras que sus metabolismos son muy diferentes.

La observación rápida y sencilla por microscopía óptica permite identificar protozoos, metazoos y bacterias filamentosas de morfologías particulares, como *nocardia sp.* Las bacterias filamentosas de los lodos activados cubren una amplia variedad de géneros bacterianos que es necesario poder distinguir.



II.1. Flóculos de lodo activado

Las bacterias (*pseudomonas*, *artrobacter*, *escherichia*, *flavobacterium*, etc.) son el género de microorganismos más presentes en un sistema de lodos activados, pueden estar libres, en forma de células sueltas u organizadas en escamas de lodos. La capacidad de formar copos es una propiedad muy importante para asegurar una buena separación entre el lodo y el agua clara obtenida. [8]

Dependiendo de las condiciones exactas del proceso, puede haber diferencias significativas en la morfología, estructura y tamaño de las escamas. Se pueden distinguir 3 clases:

- Copos pequeños: diámetro <25 micrómetros
- Copos de tamaño mediano: diámetro = [25,250] micrómetros
- Copos grandes: diámetro > 250 micrómetros

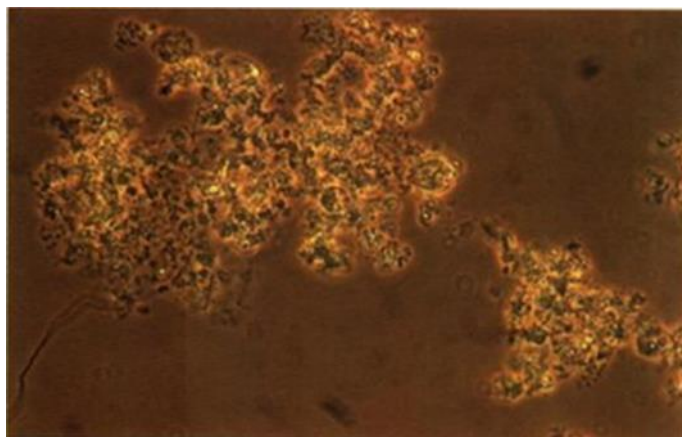


Foto 23: estructura microscópica de escamas de lodo activado (500x).

II.2. Microfauna [9]

Representa una cantidad de células del orden de 10^5 a 10^7 individuos por litro de lodo activado. Esta microfauna juega un papel de depredador de bacterias aisladas y muertas y participa en la clarificación de efluentes. Según la organización celular de los microorganismos, existen dos familias principales:

- Protozoos
- Metazoos

II.2.1. Protozoos

Son organismos eucariotas, unicelulares, móviles que pueden oscilar entre 1 y 500 μm . Se alimentan principalmente de bacterias y moléculas orgánicas disueltas. Los protozoos son en su mayoría heterótrofos acuáticos libres. Algunos son simbioses.



El papel principal de estos protozoos es sobre todo la clarificación del efluente por depredación de bacterias libres. Los protozoos son muy buenos indicadores del funcionamiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales. De hecho, esta microfauna es muy sensible a las modificaciones ambientales: sustratos, oxígeno disuelto, productos tóxicos.

La depredación se puede lograr al pastorear bacterias en la superficie de los copos mediante protozoos rastreros. Además, algunos autores señalan que el papel de los bacteriófagos en las escamas permite mantener poblaciones bacterianas jóvenes que pueden asimilar más fácilmente la materia orgánica. [9]

II.2.2. Metazoos

Los metazoos son organismos multicelulares que varían en tamaño de 100µm a 1mm. Su organización celular es más compleja que la de los microorganismos unicelulares y su ciclo de crecimiento es muy lento. Se encuentran principalmente en instalaciones con alta edad de los lodos (estaciones de baja carga o aireación prolongada). Entre los principales metazoos presentes en los lodos activados de las plantas de tratamiento de aguas residuales, existen fundamentalmente dos familias:

- *Nematodos*
- *Rotíferos*

Los nematodos están presentes en los lodos sometidos a digestión aeróbica. Se encuentran en copos y su papel de depredador bacteriano les permite contribuir a la renovación de la biomasa depuradora. [9]

II.3. Bacterias filamentosas

Los microorganismos dentro de los cuales las células permanecen ensambladas después de la división celular para formar estructuras alargadas se denominan bacterias filamentosas. El crecimiento de filamentos es típico de algún tipo de microorganismo, principalmente bacterias. Algunos ejemplos son *microthrix parvicella*, *haliscomenobacter hydrossis*, etc. [8]



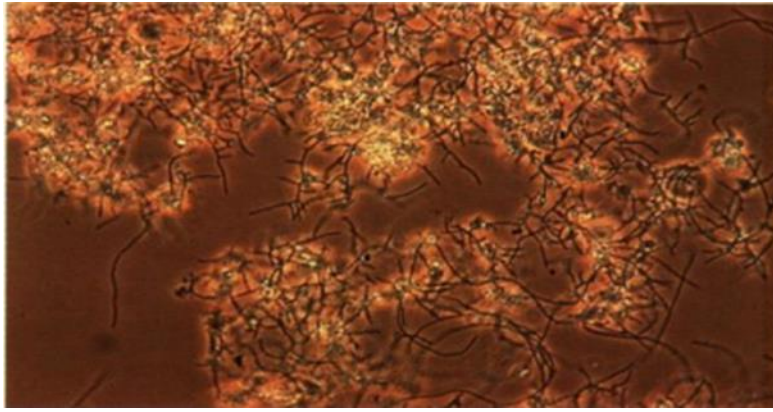


Foto 24: estructura microscópica de bacterias filamentosas en lodos activados (500x). [10]

III. Eliminación de la contaminación por nitrógeno y fosfato

III.1. Contaminación por nitrógeno

La degradación bacteriana de la contaminación por nitrógeno se produce en varias etapas que se muestran en la fig.5:

a) Amonificación:

es la transformación de nitrógeno orgánico (es decir, unido a un radical de carbono) en nitrógeno amoniacal, que se lleva a cabo mediante reacciones como la hidrólisis, la desaminación oxidativa y la desaminación reductiva.

Este proceso tiene lugar en la primera cámara del biorreactor donde las condiciones anóxicas son esenciales para transformar el nitrógeno orgánico en NH_4^+ . Esto significa que el pH está aumentando.

b) Asimilación / disimilación:

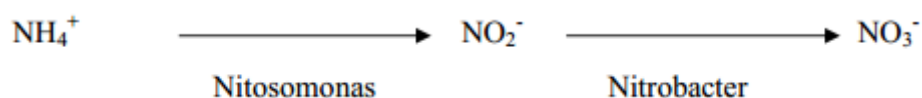
-Asimilación: reacciones de producción de energía. La materia orgánica del agua a tratar se convierte en CO_2 y agua, y se libera energía vital. Este proceso también se llama respiración del sustrato.

-Ocultación: aumento de biomasa. La materia orgánica (principalmente carbono) se convierte en nuevo material celular mediante la disimilación de energía y nutrientes (N y F). Cuando no hay o no hay más sustrato disponible, el material celular se digiere / oxida a su vez. Este fenómeno se llama respiración endógena. [8]

c) Nitrificación:

Esta reacción lleva a cabo la oxidación biológica del nitrógeno amoniacal a nitritos y luego a nitratos involucrando microorganismos estrictamente aeróbicos caracterizados por un metabolismo autótrofo con respecto al

carbono, es decir que sintetizan su materia viva a partir de carbono mineral (carbonato).

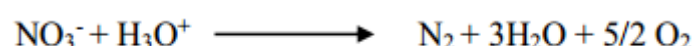


Nitrosomonas y nitrobacter utilizan CO₂ como fuente de carbono para el crecimiento (organismos autótrofos). Además, las bacterias nitrificantes son bacterias de crecimiento lento; esto implica que son necesarios un tiempo de retención de lodos prolongado (> 10 días) y una temperatura relativamente alta (> 15°C) [8].

d) Desnitrificación:

Consiste en la reducción de nitratos formados en gas nitrógeno por bacterias heterótrofas colocadas en un ambiente pobre en oxígeno. El oxígeno combinado de los nitratos se utiliza para descomponer el carbono orgánico necesario para el crecimiento de estas bacterias. [6]

La reacción de desnitrificación general está escrita: [9]



Cabe señalar que las verdaderas bacterias desnitrificantes tienen un sistema enzimático (Nitrato Reductasa) que permite la reacción del óxido nitroso:



En realidad, la desnitrificación requiere cuatro sistemas enzimáticos que se mencionan en la siguiente tabla.

Tab.4: sistema enzimático implicado en la desnitrificación

Enzima	Nitrato reductasa	Nitrito reductasa	Oxido nitroso reductasa	Reductasa de oxido nitrico
Reaccion	$\text{NO}_3^- \longrightarrow \text{NO}_2^-$	$\text{NO}_2^- \longrightarrow \text{NO}$	$\text{NO} \longrightarrow \text{N}_2\text{O}$	$\text{N}_2\text{O} \longrightarrow \text{N}_2$



Fig. 5: las diferentes etapas del metabolismo de la contaminación por nitrógeno [11]

III.2. Contaminación por fosfato

La eliminación de fosfato biológica es una técnica microbiológica para la eliminación de altas concentraciones de fosfato por parte de bacterias que acumulan fosfatos. Las bacterias aeróbicas específicas (*Acinetobacter*) son capaces, además de la absorción de fosfato para el crecimiento celular (= captación de asimilación), la absorción de fósforo adicional en su célula en forma de polifosfato (= absorción de lujo). Estas bacterias son capaces de absorber el 25% de su propia masa celular en forma de polifosfato. [8]

Si se obtienen niveles de 2 a 3% de fósforo en los lodos en condiciones normales de degradación de un sustrato orgánico, el mecanismo de sobreacumulación obliga a colocar la biomasa alternativamente en la fase anaeróbica (sin oxígeno ni siquiera unido a un compuesto químico) y aeróbica. [12]

IV. Tanque de aireación de lodos activados

La cuenca biológica es la estructura más importante por su función. A este depósito lo llamamos: depósito de aireación, depósito de lodos activados o depósito de oxidación. Proporciona tratamiento a los principales contaminantes eliminando elementos orgánicos como grasas, azúcares, proteínas, etc. y reduciendo DBO₅, DQO, nitrógeno y fósforo.

La degradación de estos elementos orgánicos está asegurada por microorganismos (bacterias).

que consumen materia orgánica en presencia de oxígeno (método aeróbico).

IV. Tanque de aireación de lodos activados

La cuenca biológica es la estructura más importante por su función. A este depósito lo llamamos: depósito de aireación, depósito de lodos activados o depósito de oxidación. Proporciona tratamiento a los principales contaminantes eliminando elementos orgánicos como grasas, azúcares, proteínas, etc. y reduciendo DBO₅, DQO, nitrógeno y fósforo.

La degradación de estos elementos orgánicos está asegurada por microorganismos (bacterias), que consumen materia orgánica en presencia de oxígeno (método aeróbico).

IV.1. Diferentes tipos de piletas de aireación

Entre los principales tipos de piletas de aireación, distinguimos: piletas de flujo de pistón, piletas de mezcla completa, piletas de circuito cerrado, piletas en cascada, piletas de suministro escalonada y piletas tipo carrusel.



IV.1.1. Depósito de flujo de pistón

El efluente para tratar y los lodos recirculados son admitidos en la cabecera de la balsa, que está dispuesta de manera que constituya un canal muy largo. Las concentraciones de sustrato y los requisitos de oxígeno del licor de lodo activado varían a lo largo de su recorrido.

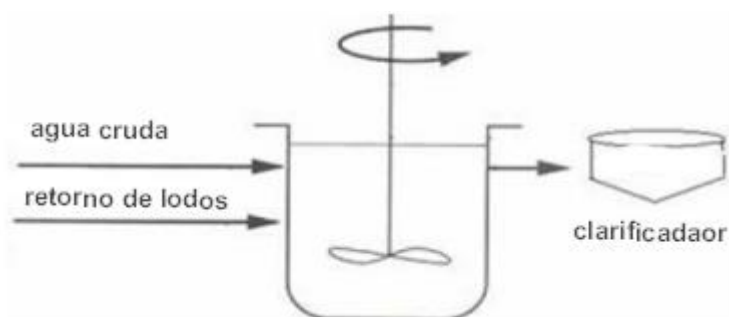
Por lo tanto, la potencia de aireación es normalmente decreciente de aguas arriba a aguas abajo.



Higo. 6: principio del depósito de aireación del flujo del pistón [13]

IV.1.2. Tanque de mezcla integral

El objetivo deseado es obtener un reactor completamente homogéneo que tenga idénticas concentraciones de microorganismos, oxígeno disuelto y sustrato residual en todos los puntos. La ventaja de este dispositivo es que limita las sobrecargas debidas a picos diarios de contaminación, por ejemplo. [13]

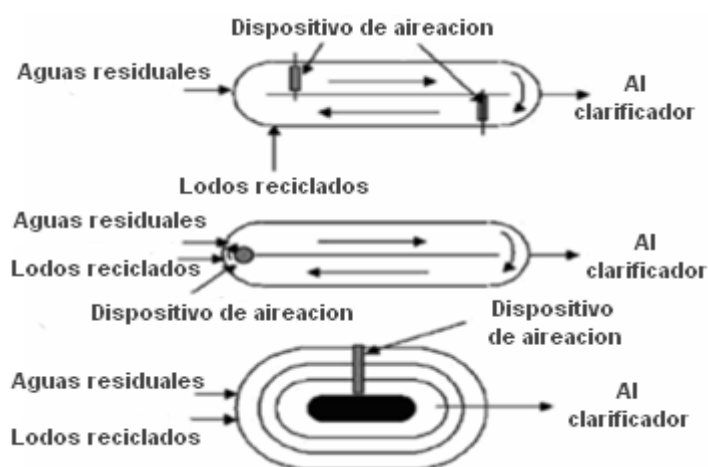


Higo. 7: principio de mezcla integral de una cuba de aireación

IV.1.3. Estanques de circuito cerrado

Esta técnica es similar a la del mezclado integral. Sin embargo, la longitud del circuito y la disposición ocasional de los aireadores provocan variaciones en el contenido de oxígeno disuelto en toda la cuenca. El agua se pone en movimiento por motivos de agitación. La rotación del agua en los canales da como resultado un aumento de la capacidad estándar de oxigenación [13]. Es posible combinar varios lavabos de bucle en serie. Los canales pueden tener forma circular. Se denominan canales anulares "verdaderos" cuando el agua canalizada a lo largo de la pared exterior no tiene acceso al centro de la

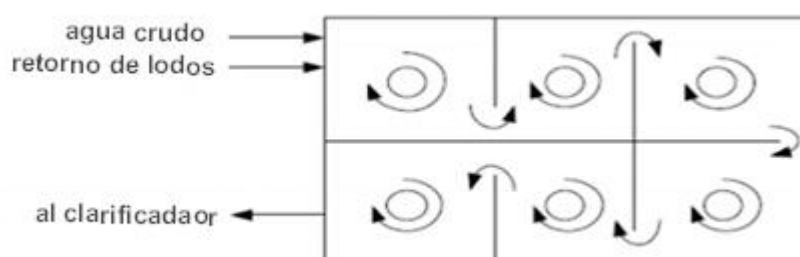
cuenca, y canales anulares "falsos" cuando el agua puede ocupar prácticamente todo el volumen del disco.



Higo. 8: lavabos de circuito cerrado

IV.1.4. Piscina en cascada

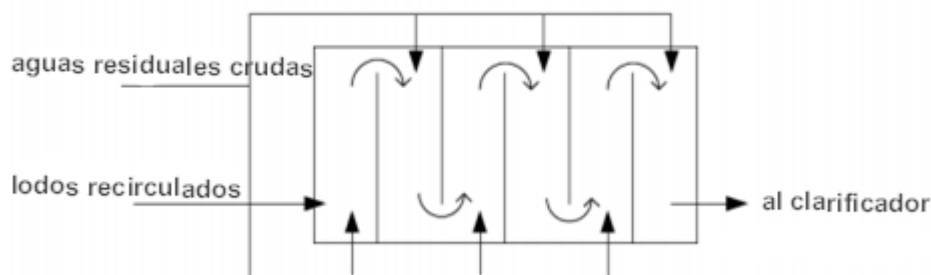
Este tipo de pileta está formada por una serie de piletas totalmente mixtas por las que pasa sucesivamente el licor de lodos activados. Permite acercarse a la cinética de las cuencas de flujo de pistón, al tiempo que implementa reactores compactos de construcción simple. Se adapta muy bien a tratamientos que combinen la eliminación de amonio y fósforo con la de la contaminación por carbono.



Higo. 9: cuenca de cascada [13]

IV.1.5. Cuenca de alimentación escalonada

La llegada del efluente se organiza por etapas en la balsa de aireación formada por una serie de celdas atravesadas sucesivamente por el licor que avanza en zigzag. El lodo recirculado se introduce en la cabecera de la balsa. Por tanto, las necesidades de oxígeno se distribuyen mucho mejor que en una cubeta de flujo de pistón.



Higo. 10: tanque con suministro escalonado [13]

IV.2. Tipos de aireación de estanques biológicos.

El importante desarrollo de los procesos de depuración biológica mediante lodos activados planteó desde el principio el problema de aportar el oxígeno necesario para la vida bacteriana en suspensión. Los sistemas de aireación instalados en una cubeta de depuración biológica tienen un doble propósito. [14]

- Proporcionar a los microorganismos aeróbicos el oxígeno que necesitan, generalmente tomado del aire.
- Proporcionar suficiente homogeneización y mezcla para asegurar un contacto renovado entre el medio ambiente, los elementos contaminantes y el agua oxigenada.

Estos sistemas generalmente consisten en un dispositivo o un conjunto de dispositivos colocados en un recipiente de volumen y forma específicos que realizan estas dos funciones.

Las condiciones de funcionamiento son estándar y permiten comparar los diferentes sistemas de aireación que se pueden utilizar en la práctica, a saber:

- Aireadores de superficie: podemos dividirlo en 3 grupos:
- Aireadores de eje vertical de baja velocidad, aspirando agua del fondo y descargándola directamente en horizontal.
- Aireadores de eje vertical de alta velocidad (1000 a 1800 rpm-1).
- Aireadores con eje horizontal que permiten la oxigenación mediante pulverización de agua al aire.



Higo. 11: diferentes tipos de aireadores [15]

-Dispositivos de inyección de aire presurizado de burbuja fina (difusores porosos con alta eficiencia de oxigenación: 12%), burbuja media (difusores de válvula) o burbuja gruesa (difusores de orificio grande) con baja eficiencia oxigenación (5%). [16]

IV.3. Elaborando de lodos

En las cubetas de aireación, el licor mezclado se agita mediante agitadores que se instalan en el fondo de las cubetas. La instalación de agitadores en las piletas de tratamiento de las depuradoras (lodos activados, zona anóxica, zona anaeróbica, y en algunos casos zona de contacto, desgasificador, etc.) tiene como principales objetivos:

-Mantener las escamas biológicas en suspensión en las estructuras para mejorar el contacto lodo / efluente, y así evitar depósitos en el fondo de la balsa.

-Crear un movimiento hidráulico (canales, cuenca circular) que permita favorecer la transferencia de oxígeno entre la biomasa y el líquido intersticial. [17]



Parte III:

*Seguimiento del funcionamiento de la depuradora
de lodos activados de Tánger*



Diariamente, el personal del laboratorio del paso de Tánger recoge muestras del agua de entrada y del agua depurada para realizar análisis dos veces por semana para cada sector (sector de aguas y sector de fangos).

I- Parámetros a medir:

El laboratorio de Tánger realiza diariamente diversos análisis de los distintos parámetros que permiten el seguimiento del funcionamiento del tratamiento de aguas tratadas.

I.1 Sólidos en suspensión (SS) y materia seca (MS)

-Sólidos en suspensión (SS)

Principio:

Usando un equipo de filtración al vacío o a presión, la muestra se filtra a través de un filtro de fibra de vidrio, el filtro luego se seca a 105°C y la masa de residuo retenido en el filtro se determina mediante peso.

-Materia seca (MS)

El ms representa la concentración de lodo después de la evaporación (a 105 ° C) de una muestra de lodo en una placa de Petri. La concentración de materia seca se calcula de la siguiente manera:

$$MS (\%) = \frac{\text{Peso después del secado (g)}}{\text{Peso inicial (g)}}$$

I.2 Demanda de oxígeno

-Demanda bioquímica de oxígeno de cinco días (DBO5)

Principio:

El principio del método es la determinación midiendo la diferencia de presión en un sistema cerrado (determinación respirométrica del cuerpo). La estación de medición de DBO es un sistema cerrado que consta de un vial de muestra y una sonda de DBO. En el vial sobre el volumen de la muestra, hay un volumen de gas con una cantidad definida de aire; Durante la determinación del cuerpo, las bacterias presentes en las aguas residuales consumen el oxígeno disuelto en la muestra. Este se reemplaza por el oxígeno contenido en el volumen de gas del vial. El dióxido de carbono resultante se combina químicamente con el hidróxido de potasio en el sello de goma del vial.

-Demanda química de oxígeno (DQO):

La demanda química de oxígeno (DQO) es la cantidad de oxígeno consumida para oxidar químicamente ciertos materiales oxidables en la muestra.

El DQO es un indicador de la cantidad de compuestos orgánicos presentes en el lodo. El oxidante utilizado es dicromato de potasio.

Principio:

Las sustancias oxidables reaccionan con dicromato de potasio sulfúrico en presencia de sulfato de plata. El cloruro se enmascara con sulfato de mercurio. La cloración verde de Cr^{3+} se determinará fotométricamente.

Las muestras deben tomarse en recipientes de polietileno, deben analizarse lo antes posible, a menos que se almacenen a 2-5°C.

I.3 Determinación de nitrógeno y fósforo.

-Nitritos (NO_2^-)

Principio:

Los nitritos reaccionan en solución ácida con aminas primarias y amoníaco para dar sales de diazonio.

Estos forman con compuestos aromáticos, que contienen un grupo amino o un hidroxilo, un colorante azotico de color intenso.

Modo operatorio:

- Retire con cuidado la hoja de respaldo del dosicap con cremallera desmontable
- Desatornille la cremallera dosicap
- Pipetear 2ml de muestra
- Atornille inmediatamente la cremallera dosicap; dirigiendo la ranura hacia arriba.
- Agitar vigorosamente hasta que se limpie el liofilizado.
- Esperar 10 min, mezclar nuevamente, limpiar bien el exterior del tanque y medir
- El resultado se mostrará en la pantalla del espectrofotómetro dr2800 en mg/l de NO_2^- .

-Dosificación de nitratos (NO_3^-)

Principio:

En una solución de ácido sulfúrico y fosfórico, los iones nitrato reaccionan con 2,6-dimetilfenol para dar 4-nito-2,6-dimetilfenol.



Muestreo

Las muestras deben tomarse en envases de polietileno. Almacenar en un lugar fresco. No debe haber más de 3 horas entre la recolección de la muestra y el análisis.

Modo operatorio:

- Tomar el tanque de LK 340: 5-35 mg/l NO_3^- (reactivo)
- Medir lentamente 0,2 ml de muestra
- Medir lentamente 1 ml de la solución de LCK 340a
- Cierre el tanque y mezcle el contenido dándole la vuelta varias veces hasta que la mezcla esté completa.
- Espere 15 min, limpie a fondo el exterior del tanque y mida.

-Fósforo total (FT)

El análisis de los ortofosfatos se realiza mediante espectrofotometría de absorción atómica que se basa en el principio de que los átomos libres pueden absorber luz de una determinada longitud de onda. La absorción de cada elemento es específica, ningún otro elemento absorbe su longitud de onda.

Principio:

Los iones de fosfato reaccionan en una solución ácida con los iones de molibdato y antimonio para dar un complejo de molibdato de fósforo y antimonio. Esto es reducido por el ácido ascórbico a azul de Fosfomolibdeno.

También se miden mediante la técnica de espectrofotometría.

Modo operatorio:

- Retire con cuidado la hoja protectora del tanque y desatornille
- Medir lentamente 0,5 ml de muestra
- Atornille inmediatamente el tanque dirigiendo el estriado hacia arriba y agite vigorosamente.
- Colocar en mineralizador a 100°C durante 1 hora.
- Dejar enfriar y agitar
- Añadir 0,2 ml de reactivo b (solución LCK 348b)
- Atornille un dosicap c gris (LCK 348) en el tanque
- Mezclar el contenido del tanque volteándolo varias veces seguidas, esperar 10 min, volver a mezclar, limpiar bien el exterior del tanque y medir.

II. Parámetros a calcular

Todos los parámetros enumerados a continuación se calculan automáticamente utilizando un software especialmente dedicado.



II.1. Carga de masa (CM)

Esta es la relación entre la carga en DBO5 recibida y la cantidad de lodo presente en el tanque de aireación. Está determinada por la siguiente fórmula:

Con:

$$C_m = \frac{\text{comida recibida (kg DBO5)}}{\text{cantidad de lodos (kg MVS)}}$$

La cantidad de lodos = volumen de la cuenca (m³) x concentración en MVS.

MVS: materia orgánica o materia activa de lodos.

Cm: carga de masa en DBO5/día*MVS.

Caracteriza el equilibrio biológico del tratamiento

II.2. Carga volumétrica (CV)

Corresponde a la cantidad diaria de DBO5 (en kg/d) a degradar en el volumen V(m³) de la estructura. Se expresa en kg DBO5/ (d.m³).

$$CV = \frac{\text{DBO5 entrada}}{V}$$

II.3. Índice de Molhman (IM)

El índice de Molhman (IM) o índice de volumen de lodos (SVI) se define como la relación entre el volumen ocupado por un litro de lodo después de 30 minutos de sedimentación (sin dilución) por la concentración de materia en suspensión (SS).

$$IM = \frac{V_{30 \text{ minutos (ml/L)}}}{C_{SS} \text{ (g/L)}}$$

Con:

V30 = volumen de lodo sedimentado en 30 minutos en (ml/l).

CSS = concentración de materia en suspensión en el tubo de ensayo (g/l).

Generalmente, el lodo se puede fraguar bien durante $80 < IM < 150$.



- **Si IM ~ 80:** la sedimentación es muy buena pero el lodo es difícil de bombear.
- **Si IM ~ 150:** el asentamiento es muy lento

II.4. Edad del lodo (A)

$$A = \frac{V [SS_{\text{cuenca}}]}{\Delta SS}$$

Es la relación entre la masa de lodos presentes en el reactor y la producción diaria de lodos.

Con:

V: volumen del tanque de aireación (m³).

A: edad del lodo (d)

ΔSS: producción diaria de lodos (kg/d)

[Cuenca SS]: concentración nominal de materia en suspensión en la cubeta de aireación (g/l).

II.5. Producción diaria de lodos (ΔSS) [18]

Se expresa mediante la siguiente relación:

$$\Delta \text{MES} = \frac{0,84 [\text{DBO5 entrada} + \text{SS entrada}]}{2}$$

Con:

Entrada de DBO5: masa de DBO suministrada por día (kg/d)

SS de Entrada: masa de materia en suspensión en la entrada por día (kg/d)

II.6. Velocidad de ascenso: VA

La Velocidad de ascenso refleja la velocidad de subida del agua en el clarificador que se opone a la velocidad de sedimentación de las partículas de lodo (VS).



VA debe ser mucho menor que VS. Corresponde a la relación del caudal del efluente recibido (Q) sobre la superficie horizontal del clarificador S.

$$VA \text{ (m/h)} = \frac{Q \text{ (m}^3\text{/h)}}{S \text{ (m}^2\text{)}}$$



Capítulo VI: resultados e interpretación

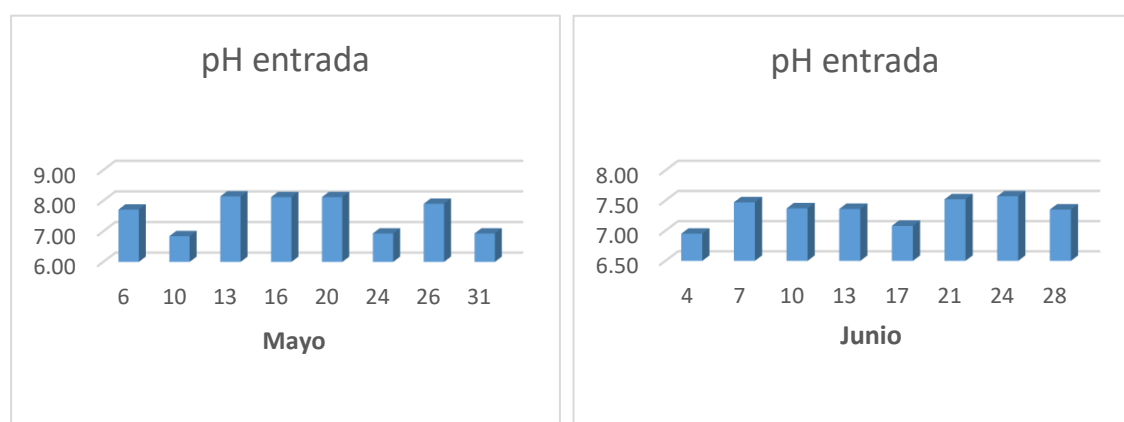
A nivel de esta parte, abordaré los resultados de mi trabajo y las interpretaciones detalladas de los análisis fisicoquímicos de aguas residuales en la ciudad de Tánger determinadas a partir de las muestras diarias tomadas durante los dos meses (mayo y junio de 2020).

El análisis de los distintos parámetros permite el seguimiento del funcionamiento de la planta de Tánger y más precisamente el tratamiento secundario que constituye el corazón del tratamiento de aguas residuales. La efectividad del tratamiento viene sugerida por el grado en que los parámetros concuerden con los estándares óptimos que presentan los estándares de descarga o riego.

I. Parámetros característicos del agua cruda a la entrada del paso de Tánger

I.1. pH

Se mide el potencial de hidrógeno del agua que entra en el paso para determinar el grado de acidez del efluente.



Higo. 12: variaciones del pH diario de las aguas residuales a la entrada del escalón (mayo, junio de 2020)

La Figura 12 muestra un pH del agua levemente básico de entre 6.5 y 8.15 lo que confirma que el efluente es de origen urbano.

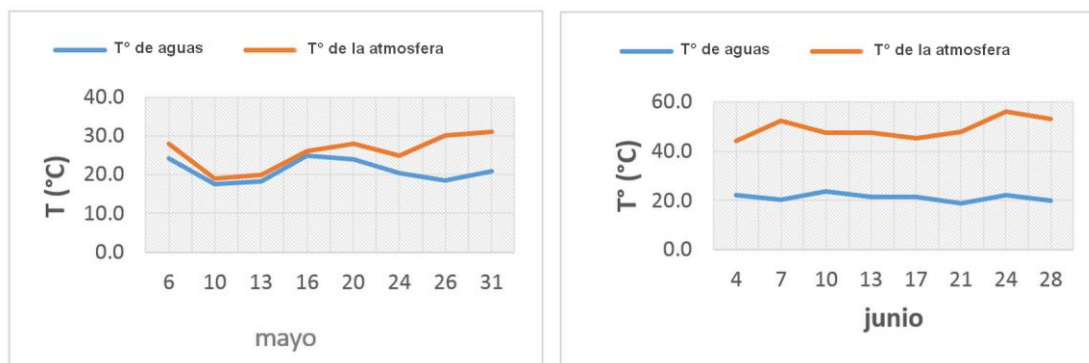
Este es el intervalo óptimo para la actividad de los microorganismos en el lodo activado. Entonces el pH no creará problemas a nivel de la cuenca.

I.2. La temperatura

La temperatura de las aguas residuales tiene una gran influencia en la tasa de biodegradación en el tanque de aireación. Cuanto mayor sea la temperatura,



más rápido será el proceso de biodegradación. Por otro lado, la temperatura de los lodos o del efluente es un factor sensible que tiene diversas repercusiones en el tratamiento y genera diversas disfunciones.



Higo. 13: evolución de la temperatura media de las aguas residuales en la entrada primaria en función de la temperatura atmosférica (mayo, junio de 2020).

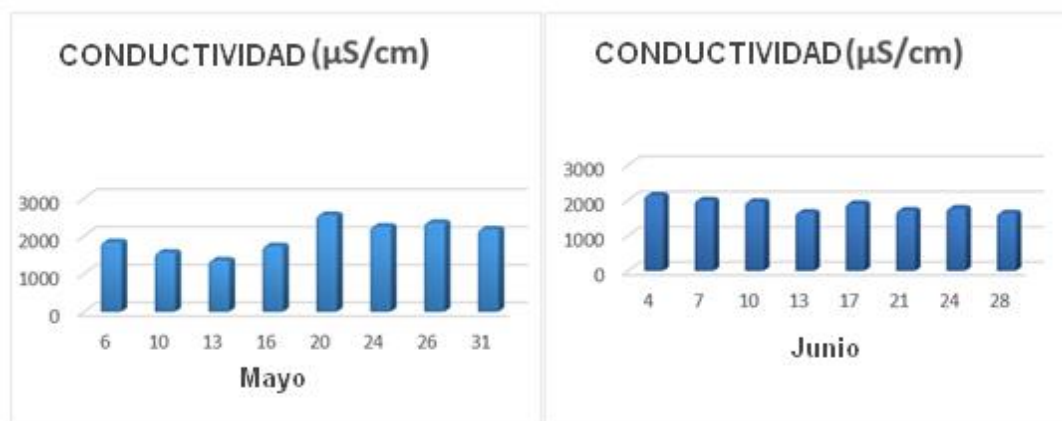
La temperatura de las aguas residuales que ingresan al paso permanece relativamente constante. Se sitúa en torno a la media, que ronda los 22°C.

Estos diferentes valores son aceptables porque permanecen por debajo del estándar establecido por la OMS a 30°C (OMS, 1989).

Generalmente, el intervalo de temperatura durante los dos meses es siempre ideal para la actividad de las bacterias purificadoras dentro del tanque de aireación. Esto prueba que este parámetro no representa un factor limitante del tratamiento biológico durante este período.

I.3. Conductividad

La conductividad es probablemente una de las medidas más simples e importantes para controlar la calidad de las aguas residuales. Refleja el grado de mineralización general del agua y proporciona información sobre la tasa de salinidad del agua cruda que ingresa al paso.



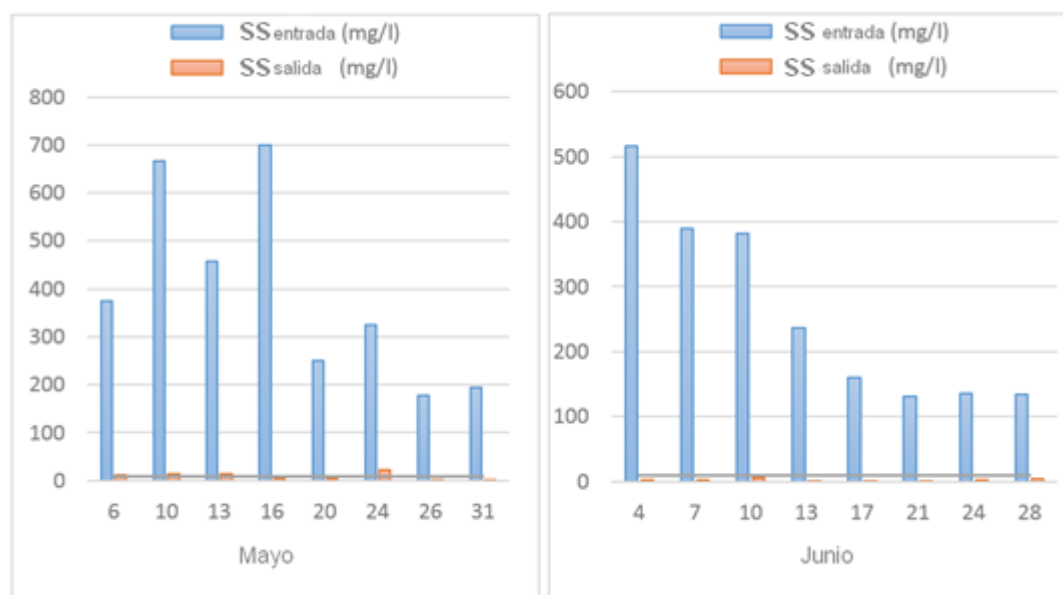
Higo. 14: evolución de la conductividad media diaria de las aguas residuales en la entrada primaria (mayo, junio de 2020)

La Figura 14 revela que el agua cruda tiene una conductividad que varía entre 1365 y 2570µs/cm.

La marcada disminución puede estar relacionada con el efecto de dilución debido a las precipitaciones registradas durante este período, especialmente en mayo.

I.4. Sólidos en suspensión SS

Los resultados de la medición se muestran en la figura 15:



Higo. 15: concentración en SS a la entrada y salida del escalón

Los valores medidos al inicio del tratamiento varían entre 177 y 700mg/l. Al final del tratamiento, los valores medidos se registran generalmente de acuerdo con los estándares establecidos en un máximo de 10mg/l. Sin embargo,

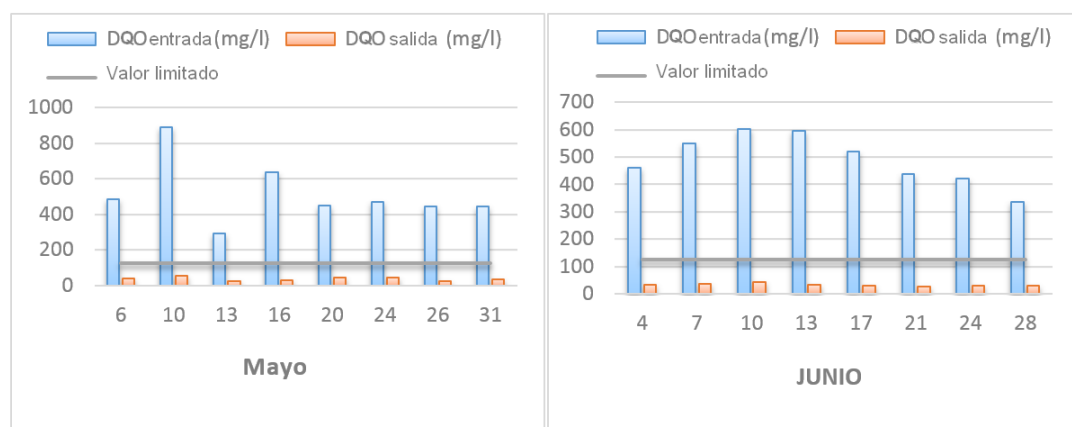
existen valores altos en SS para los días 6, 10, 13 y 24 durante el mes de mayo.

La disminución significativa del contenido de SS en el agua tratada a la salida del tratamiento en comparación con la entrada probablemente se deba al fenómeno de adsorción de materia en suspensión sobre las escamas biológicas por un lado y por otro lado, el buena sedimentación a nivel del clarificador.

Un exceso de SS está necesariamente ligado al desarrollo significativo de bacterias filamentosas que limita en gran medida las capacidades hidráulicas del clarificador y puede dar lugar a la formación de lodos.

I.5. Demanda química de oxígeno DQO

La representación gráfica del DQO a la entrada y salida del paso se muestra en la Figura 16:



Higo. 16: DQO a la entrada y salida del escalón

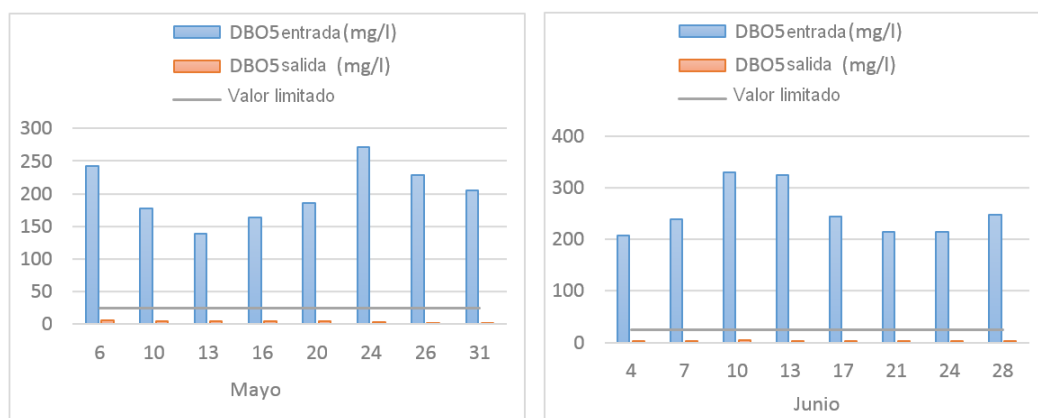
De los resultados notamos que el DQO a la entrada del escalón es alto, esto se explica por:

La recogida de aguas residuales a la estación es proporcionada por una red unitaria, la cantidad de contaminación que llega es alta y el suministro de agua potable de la ciudad es menos importante durante la temporada de verano.

Por otro lado, el DQO a la salida es menor a 125mg/l, esto se explica por una buena oxidación de materiales orgánicos biodegradables y no biodegradables en la balsa de aireación.

I.6. Demanda bioquímica de oxígeno en cinco días DBO5

Los resultados del DBO5 promedio a la entrada y salida del paso se muestran en la Figura 17:



Higo. 17: DBO5 a la entrada y salida del escalón

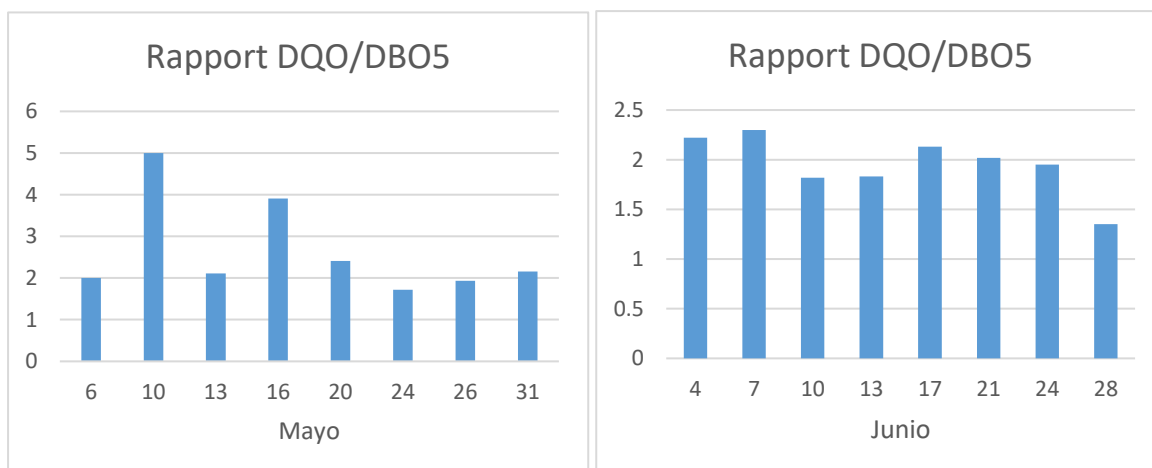
De esta cifra se puede apreciar que el agua al inicio del tratamiento tiene un DBO5 que varía entre 138 y 330 mg O₂/l.

Por otro lado, el DBO5 muestra una disminución significativa en el afluente de salida con valores por debajo del límite óptimo (<25 mg/l) de la salida durante los dos meses. Es decir. La cantidad de O₂ disuelto suministrada a los aireadores en el tanque de aireación es suficiente para las necesidades de las bacterias.

Esta disminución de los valores del DBO5 se interpreta por la actividad de los microorganismos depurativos que aseguran la degradación y transformación de la materia orgánica, permitiendo así la eliminación de la contaminación orgánica, así como el buen funcionamiento del clarificador. Este último asegura una decantación eficiente, favoreciendo así la sedimentación de los lodos responsables de la eliminación de casi la totalidad del DBO5.

I.7. Relación DQO / DBO5

Para juzgar las posibilidades de éxito de la purificación de aguas residuales mediante un proceso biológico, generalmente se utiliza la relación DQO/DBO5.



Higo. 18: cambio en la relación DQO / DBO5 al inicio del tratamiento primario

La Figura 18 muestra que la relación DQO / DBO5 en la entrada de tratamiento primario oscila alrededor de 2. Esta relación es menor a 3 que es el valor requerido por Veolia y por debajo del cual deben ingresar las aguas residuales, excepto el día. 16 y especialmente el día 10 del mes de mayo, donde notamos un aumento significativo de esta ratio.

A partir de este informe se establece la siguiente clasificación:

- $DQO/DBO5 < 1,66$: aguas residuales susceptibles de ser tratadas biológicamente fácilmente.
- $1,66 < DQO/DBO5 < 2,5$: aguas residuales susceptibles de ser tratadas biológicamente.
- $2,5 < DQO/DBO5 < 5$: aguas residuales que probablemente no se sometan a un tratamiento biológico.

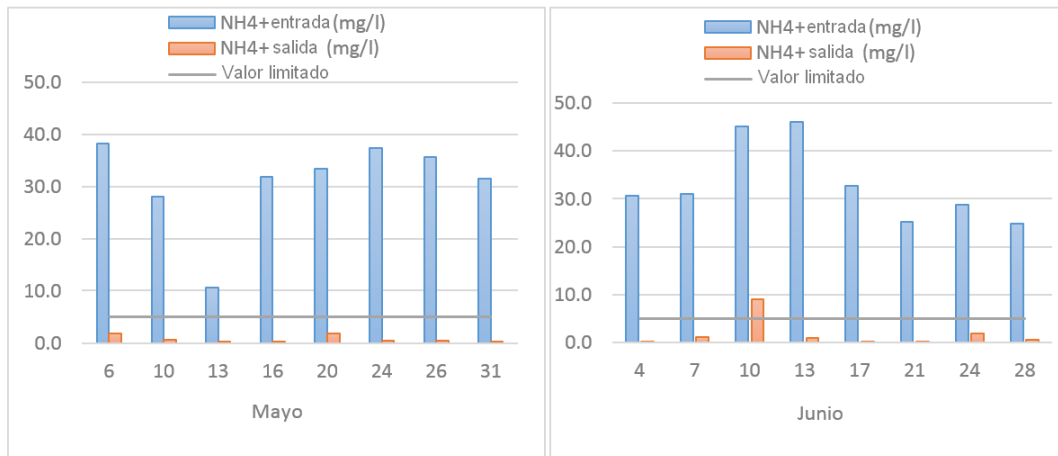
Por tanto, el aumento de esta ratio durante los dos días indica que estamos ante compuestos poco o poco biodegradables.

I.8. Productos de nitrógeno y fósforo

-NH₄⁺

El ion amonio proviene de la degradación de proteínas animales (ciclo del nitrógeno), efluentes domésticos (urea) y escorrentías urbanas.

Corresponde a la forma asimilable de la actividad bacteriana necesaria para el tratamiento biológico.

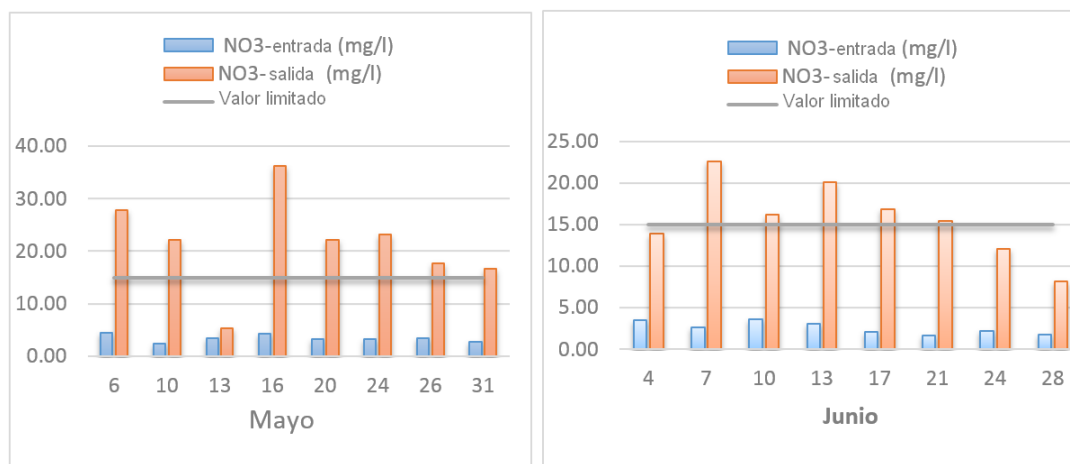


Higo. 19: Concentración de NH_4^+ : a la entrada y salida del escalón

Estos resultados indican un aumento de NH_4^+ en las aguas residuales, es decir, Una cantidad significativa de contaminación por nitrógeno, mientras que, a la salida, estos valores varían entre 0.2 y 1.9 mg N/l para el mes de mayo y entre 0.07 y 1.9 mg N/l para junio excepto el día 10 de este mes, cuando notamos un aumento significativo del orden de 9 mg N/l.

Puede verse que el amonio en la salida es generalmente menor que en la entrada como se muestra en la Figura 19. La tasa de disminución es significativa. Esto se explica por el uso de este elemento por bacterias nitrificantes para transformarlo en nitritos. (El NH_4^+ se oxida a nitrato o nitrito por el consumo de oxígeno).

- NO_3^- -



Higo. 20: concentración en NO_3^- : a la entrada y salida del escalón

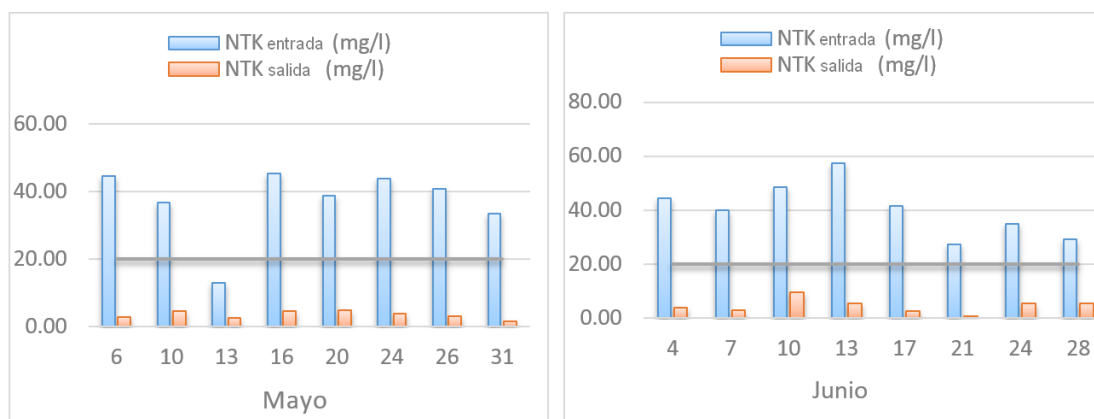
A partir de los resultados de la concentración de NO_3^- recopilados en la Figura 20 a la entrada y salida del paso, notamos que los nitratos se encuentran en bajas cantidades en las aguas residuales, es decir, Que la cantidad de contaminación por nitrógeno es alta, pero después del tratamiento el nitrato



aumenta debido a la nitrificación, lo que significa que el nivel de oxígeno disuelto en el tanque de aireación es suficiente.

- NTK

Nitrógeno Kjeldahl total (NTK) es un término para la suma de nitrógeno amoniacal y nitrógeno orgánico.



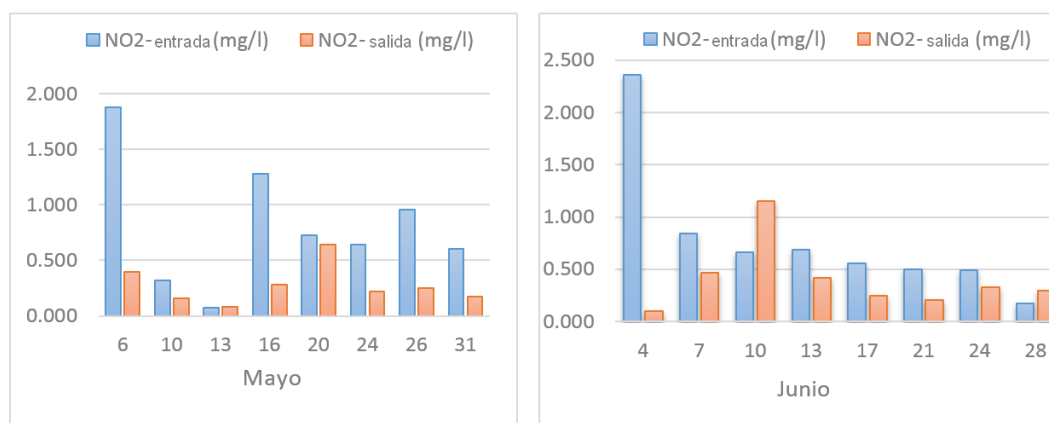
Higo. 21: Concentración de NTK a la entrada y salida del escalón

Los resultados de los análisis de dos meses para NTK al inicio del tratamiento muestran valores entre 13 y 57 mg N/l con un promedio de 37 mg N/l (Figura 21).

Mientras sale, el NTK muestra valores ligeramente por debajo del límite óptimo en todos los días del mes. Esto se debe a la buena reducción de este contaminante en las piletas de aireación. De hecho, la nitrificación a nivel de la cuenca se realiza correctamente.

- NO₂⁻

Los nitritos son el producto del primer paso de nitrificación del ciclo del nitrógeno. Es una forma inestable y su presencia en cantidades significativas es un indicador de bloqueo de la actividad biológica.



Higo. 22: Concentración de NO₂⁻ a la entrada y salida del escalón



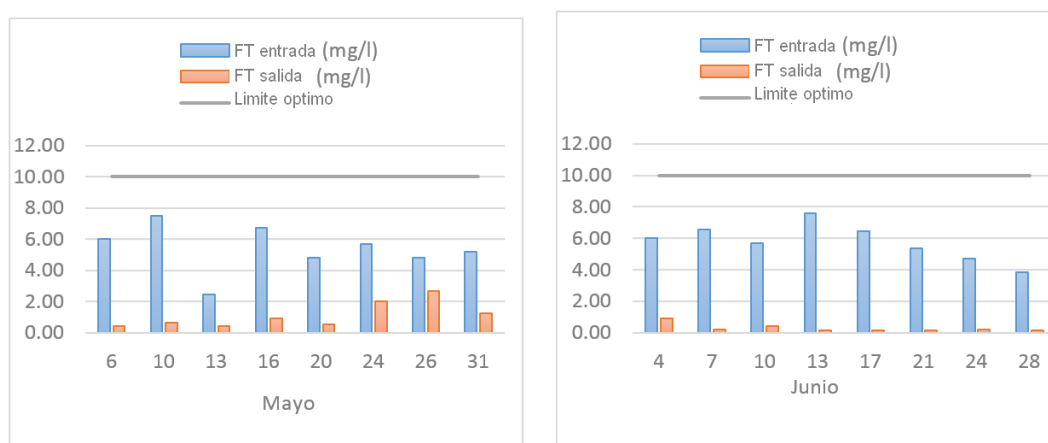
Las concentraciones de nitrito en el agua de salida son muy bajas y varían entre 0,08 mg N/l y 1,15 mg N/l.

Las bajas concentraciones de nitrito en el afluente a la salida del tratamiento secundario podrían explicarse por el hecho de que el ion nitrito es un compuesto intermedio, inestable en presencia de oxígeno, cuya concentración es generalmente muy inferior a la de dos formas que están ligadas a él, los iones nitrato y amonio.

- **Fósforo total (FT)**

El fósforo total es un elemento importante en el campo del tratamiento de aguas residuales. De hecho, este elemento es responsable, cuando se libera en el medio natural en una concentración demasiado alta, del fenómeno de eutrofización de las aguas superficiales.

La eutrofización es un proceso natural y muy lento por el cual los cuerpos de agua reciben una gran cantidad de nutrientes (especialmente fósforo y nitrógeno), lo que estimula el crecimiento de algas y plantas acuáticas. De ahí la necesidad de reducir este fósforo a nivel de estación.



Higo. 23: evolución de la concentración de la PT a la entrada y salida del escalón (mayo, junio de 2020)

La concentración de fósforo en la entrada revela valores entre 2,4 y 7,5 mg F/l, mientras que en la salida los valores varían entre 0,12 y 2,6 mg F/l.

Los resultados son satisfactorios en comparación con los estándares (<10mg/l).

La disminución de la concentración de pt de la salida en relación con la entrada de tratamiento se debe a la conversión de pt en ortofosfato en el nivel de tratamiento secundario.



I.9. Rendimientos anuales de parámetros de contaminación

Tab.5: valores anuales de los rendimientos de los parámetros de contaminación para los meses 5 y 6 del año 2020 de la EDAR.

	Parámetros	SS (%)	DQO (%)	DBO5 (%)	NH ₄ ⁺ (%)	FT (%)
Rendimiento	Mayo	97	92	98	97	81
	Junio	99	93	98	94	96

Los resultados muestran que los rendimientos de abatimiento de la contaminación caracterizados por DQO, DBO5, NH₄⁺ y SS son superiores al 90%.

Los rendimientos de la reducción de FT varían durante los dos meses entre el 81% y el 96%.

II. Parámetros básicos del clarificador

Esta parte determina tres parámetros fundamentales en aireación prolongada o con baja carga, Relación masa carga, el índice de lodos, la tasa de subida del clarificador.

Los resultados del cálculo del EDAR se resumen en la Tabla 6:

Tab.6: valores medios de la relación masa carga, el índice de lodos y la velocidad de ascenso de la estación.

Meses	Cm (kgDBO5/kg.mvs/j)	IL (ml/g)	VA (m/h)
Mayo	0,01	73,67	0,43
Junio	0,02	98,98	0,39

A partir de estos resultados, notamos que:

-Los valores de la relación masa carga son bajos e inferiores a 0,1 kg DBO5/kg MVS.j durante los dos meses. Esta baja carga de masa atestigua una relación



de alimentación, podemos decir que los lodos favorecen una eliminación completa de la contaminación por carbono y nitrógeno.

-IL es inferior a 100mg/l, por lo que el lodo está bien sedimentado.

-El tanque de sedimentación secundario de la estación se dimensionó sobre la base de una velocidad ascendente de 0,6 m/h para un caudal máximo por hora de 446 m³/h. Por tanto, esta estructura tiene una superficie de 571m². Por lo tanto, notamos que la velocidad de ascenso admisible calculada a partir de la superficie y el flujo máximo horario de cada mes es inferior al límite de 0,6m/h. Esto indica que los dos clarificadores están bien dimensionados hidráulicamente.



Los últimos años en Marruecos han estado marcados por un importante y creciente esfuerzo dedicado a la lucha contra la contaminación, especialmente en el ámbito de la protección y puesta en valor de los recursos hídricos. Este esfuerzo se ha materializado en el amplio desarrollo de las instalaciones de plantas de tratamiento de aguas residuales y en un seguimiento más eficaz de su desempeño.

La depuración biológica de aguas residuales mediante el proceso de lodos activados se basa en la actividad de un cultivo bacteriano libre y aerobio, mantenido en suspensión en una estructura específica abastecida con el efluente a tratar.

La aireación es una parte clave de una planta de tratamiento de aguas residuales para suministrar oxígeno a los microorganismos para descomponer la contaminación por carbono.

Los problemas biológicos limitan la fiabilidad de las plantas de tratamiento de lodos activados. Complejos en su comprensión, su control es en ocasiones difícil para los operadores responsables de asegurar el correcto funcionamiento de las instalaciones.

Durante este estudio, realicé una evaluación de las cubas de aireación valorando la efectividad del tratamiento biológico por lodos activados de aguas residuales en la estación de depuración y reutilización de la ciudad de Tánger.

Tras el análisis e interpretación de los distintos parámetros del agua que entra y sale del tratamiento durante los meses de mayo y junio de 2020, los resultados obtenidos permiten concluir que:

“Los análisis de los parámetros de contaminación (DBO5, SS, DQO, NH_4^+ , NO_3^- , FT) se realizan de acuerdo con las normas vigentes.

Los rendimientos de abatimiento de contaminación caracterizados son mayores al 90%, por lo que los valores encontrados cumplen con los estándares de descarga en la salida.

De ahí que el tratamiento de aguas residuales en la EDAR durante los dos meses presente un desempeño satisfactorio, pues da una buena eliminación de DQO, DBO5, SS y NTK con rendimientos más aceptables.

La satisfacción del tratamiento ligada por un lado a una buena gestión de la EDAR, y por otro lado a la escasa cantidad de metales pesados y elementos tóxicos vertidos por las naves industriales en la red colectiva de la ciudad y principalmente el zona franca y zona industrial Gzenaya.

- [1]: Consejo Mundial del Agua
- [2]: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Agrícola, Marruecos, 1998.
- [3]: comunidad nacional de estudios de impacto ambiental 2004 marroquí.
- [4]: plan maestro nacional de saneamiento líquido (sdnal) 2002 // programa nacional de saneamiento líquido y tratamiento de aguas residuales (pna) elaborado en 2005.
- [5]: extracto del informe omd: objetivos de desarrollo del milenio // informe nacional 2007 - edición de septiembre de 2008)
- [6]: edeline, francis. Depuración biológica de aguas residuales. Teoría y técnica, edición cebedoc, 1980.
- [7]: pandolfi d., (2006) -caracterización morfológica y fisiológica de la biomasa de lodos activados mediante análisis de imágenes. Tesis, Instituto Politécnico Nacional de Lorena,
- [8]: radeema, 2011: finalización de la segunda fase y operación de la planta de tratamiento de aguas residuales. Operación manual.
- [9]: canler jp, perrt jm, duchène p, cotteux e (1990). Ayuda en el diagnóstico de plantas de tratamiento de aguas residuales por observación microscópica de lodos activados, edición cemagref, parís
- [10]: pujol, roger, duchene, pholippe y canler, jean-pierre. Plantas biológicas de lodos activados espumantes: caracterización y situación. Wat. Res, vol 25, no II, 1991.
- [11]: berland, jean-marc, deplat, laurent, malrieu, jacques et prognost, joseph. Plantas de tratamiento de aguas residuales: medidas constructivas para mejorar su funcionamiento y facilitar su funcionamiento. París, 1ª edición coordinada por cemagref, 2002 [consultado en enero de 2009]. Disponible en la web: <http://www.fndae.fr/documentation/pdf/fndae22bis.pdf>.
- [12]: ladjel, farid. Operación de una planta de lodos activados, centro de capacitación en habilidades de saneamiento cfma, oficina nacional de saneamiento (ona), boumerdes, 2006.
- [13]: estudio de las variaciones en el oxígeno disuelto encontradas en los sistemas de aireación de purificación de agua y desarrollo de un reactor de escala reducida. Tesis de maestría, Facultad Universitaria de Ciencias Agronómicas de Gembloux.
- [14]: centro nacional de capacitación para el comercio del agua, oficina internacional del agua: diseño y dimensionamiento: ventilación, 2005. [Http // www.oieau.org / cnfme](http://www.oieau.org/cnfme)



[15]: degremont-suez. Guía técnica del agua (volúmenes 1 y 2). 10ª edición. Ed. Degrémont-suez, 2006.

[16]: dhaouadi, 2008: tratamiento de aguas residuales urbanas, procesos de depuración biológica. Tesis, universidad virtual de túnez, 34 p.

[17]: <https://gisbiostep.cemagref.fr>.

[18]: deronzier, gaelle, shetrite, sylvie et al. Tratamiento de nitrógeno en estaciones depuradoras biológicas de pequeños colectivos. Edición cemegref, 2001.



Annexo 1: temperaturas de los meses mayo junio 2020

Tanager, MA						
Maintenant	Week-end	Étendu	Mois	Satellite		
2016						
1	2	3	4	5	6	7
Temp. réelle 28° Hi 14° May. hist. 20° Hi 12°	Temp. réelle 24° Hi 16° May. hist. 20° Hi 12°	Temp. réelle 25° Hi 16° May. hist. 20° Hi 12°	Temp. réelle 24° Hi 17° May. hist. 20° Hi 12°	Temp. réelle 21° Hi 17° May. hist. 20° Hi 12°	Temp. réelle 22° Hi 16° May. hist. 20° Hi 12°	Temp. réelle 20° Hi 15° May. hist. 20° Hi 12°
8	9	10	11	12	13	14
Temp. réelle 18° Hi 13° May. hist. 20° Hi 12°	Temp. réelle 21° Hi 13° May. hist. 21° Hi 12°	Temp. réelle 19° Hi 13° May. hist. 21° Hi 12°	Temp. réelle 17° Hi 12° May. hist. 21° Hi 12°	Temp. réelle 19° Hi 14° May. hist. 21° Hi 12°	Temp. réelle 20° Hi 14° May. hist. 21° Hi 12°	Temp. réelle 20° Hi 12° May. hist. 21° Hi 12°
15	16	17	18	19	20	21
Temp. réelle 22	Temp. réelle 23	Temp. réelle 24	Temp. réelle 25	Temp. réelle 26	Temp. réelle 27	Temp. réelle 28
Temp. réelle 22° Hi 15° May. hist. 22° Hi 14°	Temp. réelle 28° Hi 14° May. hist. 22° Hi 14°	Temp. réelle 25° Hi 18° May. hist. 22° Hi 14°	Temp. réelle 22° Hi 16° May. hist. 22° Hi 14°	Temp. réelle 23° Hi 13° May. hist. 22° Hi 14°	Temp. réelle 23° Hi 12° May. hist. 22° Hi 14°	Temp. réelle 24° Hi 13° May. hist. 22° Hi 14°
29	30	31	juin 1	2	3	4
Temp. réelle 22° Hi 14° May. hist. 23° Hi 14°	Temp. réelle 23° Hi 12° May. hist. 23° Hi 15°	Temp. réelle 26° Hi 11° May. hist. 23° Hi 15°	Temp. réelle 28° Hi 18° May. hist. 23° Hi 15°	Temp. réelle 26° Hi 18° May. hist. 23° Hi 15°	Temp. réelle 23° Hi 18° May. hist. 23° Hi 15°	Temp. réelle 22° Hi 16° May. hist. 23° Hi 15°
5	6	7	8	9	10	11
Temp. réelle 24° Hi 15° May. hist. 25° Hi 15°	Temp. réelle 28° Hi 16° May. hist. 23° Hi 15°	Temp. réelle 32° Hi 19° May. hist. 24° Hi 15°	Temp. réelle 32° Hi 21° May. hist. 24° Hi 15°	Temp. réelle 27° Hi 18° May. hist. 24° Hi 15°	Temp. réelle 24° Hi 18° May. hist. 24° Hi 15°	Temp. réelle 22° Hi 16° May. hist. 24° Hi 15°
12	13	14	15	16	17	18
Temp. réelle 26° Hi 14° May. hist. 24° Hi 15°	Temp. réelle 26° Hi 16° May. hist. 24° Hi 15°	Temp. réelle 24° Hi 20° May. hist. 24° Hi 15°	Temp. réelle 24° Hi 18° May. hist. 24° Hi 15°	Temp. réelle 22° Hi 17° May. hist. 25° Hi 15°	Temp. réelle 24° Hi 14° May. hist. 25° Hi 15°	Temp. réelle 26° Hi 12° May. hist. 25° Hi 15°
19	20	21	22	23	24	25
Temp. réelle 29° Hi 17° May. hist. 25° Hi 15°	Temp. réelle 30° Hi 18° May. hist. 25° Hi 15°	Temp. réelle 29° Hi 21° May. hist. 25° Hi 15°	Temp. réelle 32° Hi 21° May. hist. 25° Hi 15°	Temp. réelle 28° Hi 16° May. hist. 25° Hi 15°	Temp. réelle 34° Hi 19° May. hist. 25° Hi 15°	Temp. réelle 25° Hi 16° May. hist. 25° Hi 15°
26	27	28	29	30	juin 2	3
Temp. réelle 23° Hi 17° May. hist.	Temp. réelle 29° Hi 18° May. hist.	Temp. réelle 33° Hi 20° May. hist.	Temp. réelle 26° Hi 19° May. hist.	Temp. réelle 26° Hi 20° May. hist.	Temp. réelle 25° Hi 19° May. hist.	Temp. réelle 33° Hi 19° May. hist.

Annexo 2: Valores límite de emisión general aplicables a descargas de aguas residuales

Tableau n° 1 : Valeurs Limites Générales de Rejet applicable aux déversements des eaux usées ne disposant pas des Valeurs Limites Spécifiques de rejet.

Paramètres	Valeurs limites générales de rejet dans les eaux superficielles ou souterraines.	BO	Date d'effet
Température (°C)	30	N°6199 du 28/10/2013	janvier 2018
PH	5.5-9.5		
MES (mg/l)	100		
Azote kjeldhal (mg /l)	40		
Phosphore total (mg /l)	15		
DCO (mg O ₂ /l)	500		
DBO ₅ (mg O ₂ /l)	100		
Chlore actif (Cl ₂) (mg/l)	0.2		
Dioxyde de chlore (ClO ₂) (mg/l)	0.05		
Aluminium (Al) (mg/l)	10		
Détergents (anionique, cationique et ionique) (mg/l)	3		
Conductivité électrique (µS/cm)	2700		
Salmonelles/5000 ml	Absence		
Vibrions cholériques/5000 ml	Absence		
Cyanures libres (CN ⁻) (mg/l)	0.5		
Sulfates (SO ₄ ²⁻) mg/l	600		
Sulfures libres (S ²⁻) (mg/l)	1		
Fluorures (F ⁻) (mg/l)	20		
Indice de Phénols (mg/l)	0.5		
Hydrocarbures par Infra-rouge (mg/l)	15		
Huiles et graisses (mg/l)	30		
Antimoine (Sb) (mg/l)	0.3		

Annexo 3: organigrama de la empresa

