

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA E INGENIERÍA DE ALIMENTOS



CURSO DE ESPECIALIZACIÓN EN:
INTRODUCCIÓN AL CONTROL DE LA CORROSIÓN INDUSTRIAL

**ESTUDIO DE LA CORROSIÓN EN TUBERÍAS DE ACERO INOXIDABLE
AISI 304 EN UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
DE TIPO FISICOQUÍMICA EN EL RUBRO TEXTIL**

PRESENTADO POR:

FUENTES CALDERÓN, GERARDO ANTONIO

RIVAS LÓPEZ, VÍCTOR RAÚL

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO QUÍMICO

CIUDAD UNIVERSITARIA, 12 de diciembre 2023

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

M.Sc. JUAN ROSA QUINTANILLA QUINTANILLA

SECRETARIO GENERAL:

LIC. PEDRO ROSALÍO ESCOBAR CASTANEDA

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO:

ING. LUIS SALVADOR BARRERA MANCÍA

SECRETARIO:

ARQ. RAUL ALEXANDER FABIÁN ORELLANA

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA E INGENIERÍA DE ALIMENTOS

DIRECTORA INTERINA:

Inga. Eugenia Salvadora Gamero de Ayala

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA E INGENIERÍA DE ALIMENTOS

CURSO DE ESPECIALIZACIÓN EN: INTRODUCCIÓN AL CONTROL DE LA CORROSIÓN
INDUSTRIAL

**ESTUDIO DE LA CORROSIÓN EN TUBERÍAS DE ACERO INOXIDABLE
AISI 304 EN UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
DE TIPO FISICOQUÍMICA EN EL RUBRO TEXTIL**

Para optar al título de:

INGENIERO QUÍMICO

Presentado por:

FUENTES CALDERÓN, GERARDO ANTONIO

RIVAS LÓPEZ, VÍCTOR RAÚL

Docente asesor:

ING. HÉCTOR MANUEL GUERRA PEREZ

CIUDAD UNIVERSITARIA, 12 de diciembre 2023

Trabajo de Grado aprobado por

DOCENTE ASESOR:

ING. HÉCTOR MANUEL GUERRA PEREZ

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer primeramente a Dios porque sin Él no podría lograr nada. A pesar de no ser merecedor, siempre me ha bendecido grandemente, me ha ayudado en todo momento y me ha permitido llegar hasta este punto.

A mis padres Víctor y Sandra, por tanto esfuerzo y sacrificio para lograr salir adelante, por ser fundamentales en mis logros.

A mi hermana Gisela, por ser mi apoyo y uno de mis pilares. Por estar en las buenas y en las malas, algunas veces teniéndonos solo a nosotros.

A mis amigos Gerardo, Jorge y Marlon, por ser ese respiro en momentos críticos, esas personas en las cuales me puedo refugiar y con quienes cobra sentido la frase “Los amigos son la familia que uno elige”, ya que los considero hermanos.

A los docentes de la escuela de Ingeniería Química que nos acompañaron durante la carrera, cuya labor y dedicación siempre estuvo presente.

A mis compañeros y amigos de universidad, por ser parte del proceso y de quienes atesoro recuerdos y amistades importantes.

A Fernanda y su familia, por ser un gran apoyo, por motivarme, por reconocer mis esfuerzos y por tanto cariño.

Gerardo Calderón.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer principalmente a mis padres Gloria y Alex por estar durante todo el proceso, sin importar todos los desvelos y los momentos de estrés, por ser apoyo en muchas ocasiones, por su amor incondicional que siempre ha sido motivación para seguir en este recorrido.

Además, agradecer en gran manera a mi hermano Riciery, tíos, tías y demás familiares que me han brindado su ayuda y por ser un soporte con el que siempre he contado, por estar a mi lado animándome a seguir adelante a pesar de las adversidades.

Agradecer a todos mis amigos y conocidos que de una u otra manera me han brindado su apoyo, consejos o ayuda a lo largo de la carrera.

Finalmente agradecer a todas las personas con las que he compartido y me han acompañado durante esta etapa, su confianza y apoyo han sido invaluable.

Víctor Rivas.

Resumen

En el siguiente estudio se presenta una serie de pruebas realizadas para analizar el desempeño del acero inoxidable AISI 304 en una planta de tratamiento de tipo fisicoquímica en el rubro textil, esto con el propósito de verificar si la elección del acero mencionado es conveniente para evitar la corrosión que se puede producir por las aguas residuales provenientes de tintorería en las plantas de tratamiento del rubro textil. El análisis fue realizado de manera experimental sometiendo pernos de acero inoxidable AISI 304 en muestras de agua residual a diferentes concentraciones, cada una caracterizada en base a parámetros de DQO, pH y temperatura, esto para simular las diferentes variaciones que llega a tener una pila de homogenización debido a factores como lavados de máquinas, lluvia, agua procedente de reprocesamiento de las telas, etc. Y luego, realizar una revisión cualitativa utilizando como referencia la norma ASTM D610 para cuantificar el porcentaje de área corroída.

Las primeras seiscientas horas se sumergen los pernos de acero inoxidable AISI 304 en aguas residuales a diferentes concentraciones, monitoreando los posibles cambios que pudieran tener, sin obtener resultados. Por esto último se opta por realizar un corte en “equis” en la parte superior de los pernos, un corte limpio, sin impurezas que pudieran ser un catalizador positivo para la formación de corrosión. Con esto se siguen monitoreando los pernos por cinco semanas más, sin obtener alguna variación química, únicamente un ligero cambio de color que no tiene ninguna relación con la formación de corrosión.

Los resultados demuestran que aun sometiendo el acero inoxidable AISI 304 a efectos de corte, tiene una excelente resistencia a la corrosión ante las diferentes variaciones que puede tener una PTAR de rubro textil en un período prolongado. Esto pone en evidencia que la inversión en un material que usualmente se cataloga de alto costo para la fabricación de elementos que conforman una PTAR, trae beneficios significativos cuando se toma en cuenta la durabilidad, costos por mantenimientos y alternativas de protección contra la corrosión. Se debe tener en cuenta que el estudio no incluye las malas manipulaciones o contaminaciones en el acero AISI 304, las cuales lo pueden hacer más propenso al ataque corrosivo, esto traerían consigo precauciones y medidas para no afectar la integridad del material.

Contenido

Introducción.....	1
Capítulo 1 Contexto y planteamiento del problema.....	3
1.1 Planteamiento del problema	3
1.2 Objetivos	4
1.3 Justificación.....	5
Capítulo 2 Marco Teórico.....	7
2.1 Aguas residuales y la corrosión.....	7
2.2 Agentes corrosivos en el agua residual	7
2.2.1 Procesos químicos corrosivos y agresivos	7
2.2.2 Corrosión electroquímica	12
2.2.3 Corrosión por agentes microbianos	16
2.3 Ubicación de los agentes corrosivos y agresivos en los saneamientos.....	19
2.4 Costos asociados a los fenómenos corrosivos	22
2.5 Aguas residuales del rubro textil	24
2.6 Ataque corrosivo del agua residual textil a las tuberías de las plantas de tratamiento	25
2.7 Acero inoxidable AISI 304.....	25
2.7.1 Aplicaciones del acero inoxidable AISI 304	26
2.7.2 Propiedades del acero inoxidable AISI 304	26
2.7.3 Acero inoxidable AISI 304L	27
Capítulo 3 Metodología de la investigación.....	29
3.1 Despliegue de objetivos.....	29
3.2 Recursos disponibles.....	32
3.3 Cronograma de actividades	35
3.4 Diseño experimental.....	36
3.4.1 Procedimiento experimental.....	36
3.4.2 Caracterización del agua residual.....	37
3.5 Desarrollo experimental	40
Conclusiones	46
Recomendaciones.....	47
Bibliografía	48

Anexos	49
Anexo A: FICHA TECNICA. ACERO INOXIDABLE 304/ 304L.....	50
Anexo B: NANOCOLOR DQO LR 150 (español).....	56
Anexo C: Ejemplos del control semanal en pila de homogenización de PTAR.....	58

Índice de ilustraciones

Ilustración 2.1	Conducción de agua con deposiciones calcáreas debidas al efecto de aguas incrustantes (precipitación de CaCO_3 y otros materiales asociados). (Rodriguez & Marín, 1999).....	8
Ilustración 2.2	Agresión ácida sobre una acometida industrial de aguas residuales a un colector general de saneamiento (superior); (debajo) efectos de un vertido ácido sobre elementos de obra y metálicos en un pozo de registro. (Han & Klute, 1990).....	10
Ilustración 2.3	Efecto de vertidos alcalinos sobre una acometida de aguas residuales industriales. (Tchobanoglous, 1985).....	11
Ilustración 2.4	Pared de un emisario general de aguas residuales con muestras típicas de la acción conjunta de las corrosiones férricas y las debidas a sulfuros.(Han & Klute, 1990).....	12
Ilustración 2.5	Trozo de tubería metálica severamente corroída mostrando zonas totalmente perforadas. (Marín, 2003).....	13
Ilustración 2.6	Diagrama de estabilidad para el sistema redox $\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2$ en medios desaireados. Las líneas horizontales marcan la concentración de Fe^{2+} disuelto en función de potencial y pH: así, para $\text{pH}=4$ y $E \approx -0.7$ V, $[\text{Fe}^{2+}] \approx 10^{-8}$ mol/kg. (Levine, 1991).....	15
Ilustración 2.7	Corrosión electroquímica interna y externa en tuberías de fundición de hierro. Obsérvense tanto picaduras y perforaciones como acumulaciones de depósitos. (Marín, 2003).....	16
Ilustración 2.8	Tubérculos típicos de corrosión bacteriana en tuberías de hierro. (Marín, 2003).....	17
Ilustración 2.9	Alteración general de la ar queta de recogida de agua depurada en un tanque de oxidación total tras 3 años de servicio. (Han & Klute, 1990).....	20
Ilustración 2.10	Localización de los agentes agresivos y corrosivos en un saneamiento: aguas residuales, gases, y fangos de depuración. (Marín, 2003).....	22
Ilustración 3.1	Modelo para disposición de las diferentes concentraciones de agua residual.....	37
Ilustración 3.2	Disposición de frascos con diferentes concentraciones de aguas residuales.....	40
Ilustración 3.3	Pernos de acero con corte en forma de “X” y recipientes de muestras	42
Ilustración 3.4	Fotografía de los recipientes después de aproximadamente 1270 horas	45

Índice de tablas

Tabla 2.1 Parámetros de entrada y salida de sedimentador lamelar	25
Tabla 3.1 Recursos disponibles.....	32
Tabla 3.2 Parámetros iniciales de las diferentes concentraciones de agua residual.....	37
Tabla 3.3 Muestras después de 100 horas de exposición a las aguas residuales.....	40
Tabla 3.3 Muestras después de 200 horas.....	41
Tabla 3.5 Muestras después de 300 horas.....	41
Tabla 3.6 Parámetros de las muestras después de 600 horas.....	42
Tabla 3.7 Muestras al inicio de la modificación en pernos.....	43
Tabla 3.8 Muestras dos semanas después de la modificación.....	43
Tabla 3.9 Muestras cuatro semanas después de la modificación.....	44
Tabla 3.10 Parámetros de aguas en las muestras finales.....	44

Introducción

La corrosión en plantas de tratamiento de aguas residuales y cualquier otro tipo de plantas industriales es un fenómeno que implica la degradación gradual de los materiales utilizados en la infraestructura debido a reacciones químicas y su interacción con el entorno. La corrosión afecta principalmente a equipos metálicos como tuberías, tanques y bombas, y puede comprometer su integridad estructural y la eficacia del sistema.

En las plantas de tratamiento de aguas residuales se presentan grandes desafíos debido a las condiciones de condiciones operativas, donde las aguas tratadas presentan propiedades corrosivas que afectan directamente al metal de las tuberías de la infraestructura. Factores como la presencia de agentes químicos, niveles de pH y temperatura variables contribuyen a la aceleración del proceso de corrosión.

El presente trabajo busca evaluar los efectos corrosivos del agua residual y sus variables fisicoquímicas sobre la corrosión en una planta de tratamiento de aguas residuales de industria textil, por medio de un estudio cualitativo utilizando como referencia la norma ASTM D610 para cuantificar el porcentaje de área corroída.

Capítulo 1

Capítulo 1 Contexto y planteamiento del problema

1.1 Planteamiento del problema

El fenómeno de corrosión en tuberías puede tener diversas causas, como los altos niveles de gases disueltos, factores como el oxígeno o el dióxido de carbono, pueden corroer tuberías metálicas y causar fugas por roturas. También los altos niveles de fluoruro pueden corroer el acero inoxidable, al igual que los altos niveles de cloro también pueden ser corrosivos.

Las aguas residuales por definición son las aguas provenientes de actividades domésticas, industriales, comerciales, agrícolas, pecuarias o de cualquier otra actividad que, por el uso de que han sido objeto, contienen materia orgánica y otras sustancias químicas que alteran su calidad original.

Estas alteraciones en la calidad pueden ser contaminantes de diversos tipos, ya sean partículas disueltas, oxígeno disuelto, metales pesados, aceites y grasas, entre otros, que suelen venir acompañados de altos valores de pH y temperatura. Por estas cualidades, el agua residual suele ser un factor que afecta a la corrosión en materiales metálicos de construcción de diferentes equipos y tuberías en las plantas de tratamiento de aguas residuales.

Por lo que surge la necesidad de estudiar la medida en la que afecta el agua residual procedente del rubro textil con procesos de tintorería y los parámetros de la misma en la corrosión de las tuberías de una planta de tratamiento de aguas residuales de tipo fisicoquímica. Se debe analizar el tipo de metal utilizado comúnmente en este tipo de plantas de tratamiento y su comportamiento durante el tiempo, ya que las aguas residuales provenientes del rubro textil tienen diferentes variaciones de sus parámetros en las descargas.

Luego de esto, se debe evaluar las posibles formas de protección contra la corrosión, entre las cuales puede estar el recubrimiento anticorrosivo.

1.2 Objetivos

Objetivo general

Evaluar la protección existente en las tuberías de una planta de tratamiento respecto al efecto de la corrosión producida por aguas residuales provenientes de procesos de teñido.

Objetivos específicos

- a) Analizar la relación entre los parámetros fisicoquímicos y cómo afectan a la corrosión del acero AISI 304.
- b) Definir si la elección del material de construcción de las tuberías de la planta de tratamiento fue correcta respecto a la resistencia a la corrosión del material.
- c) Recomendar un método de protección óptimo contra la corrosión para tuberías de la planta de tratamiento de ser necesario.

1.3 Justificación

Por lo general los diferentes contaminantes presentes en las aguas residuales como sus propiedades fisicoquímicas de pH y temperatura que suelen tener valores fuera de lo normal, o sus contenidos en oxígeno disuelto y partículas coloidales promueven o facilitan la corrosión en diferentes elementos dentro de las plantas de tratamiento, esto se debe tener en cuenta al momento de seleccionar los materiales de construcción o al momento de escoger una metodología de protección.

La presente investigación pretende utilizar conceptos técnicos sobre la corrosión y el control de corrosión para determinar si se ha realizado una correcta selección del material de construcción de las tuberías, y de ser necesario recomendar un método de protección óptimo. Se debe señalar que esto incluye una serie de factores a las que el acero puede estar expuesto previamente y que puedan causar algún tipo de daño en su estructura, para luego ser expuestas a las diferentes variaciones en las corrientes de agua residual.

Capítulo 2

Capítulo 2 Marco Teórico.

2.1 Aguas residuales y la corrosión

Las aguas residuales, tanto urbanas como industriales son un medio complejo, rico en muchas sustancias, más o menos degradadas, orgánicas e inorgánicas, así como en cantidades ciertamente importantes de microorganismos que las dotan de un potencial de interacción con el medio muy notable. También por su propia dinámica asociada se constituyen en un medio que paulatinamente va modificando sus características fisicoquímicas y microbiológicas a lo largo de la red de saneamiento, desde su generación en hogares, centros comerciales, centros sanitarios, e industrias, su conducción por colectores y emisarios, hasta su llegada a las estaciones depuradoras, pasando a ser un medio progresivamente más desoxigenado y con más carácter reductor desde el punto de vista químico.

Si bien el agua natural ya de por sí es capaz de afectar al medio en contacto con ella, esta actividad se potencia sensiblemente en el ámbito de las aguas residuales. Así pues, el objetivo de este resumen será pasar revista a los fundamentos de la dinámica de la corrosión y agresividad en redes de saneamiento, tipos de agentes corrosivos y agresivos presentes en las aguas residuales, presentar algunos ejemplos prácticos de los problemas generados, finalizando con la reseña de los costes asociados a esta grave problemática.

2.2 Agentes corrosivos en el agua residual

Se pueden definir tres mecanismos corrosivos: Corrosión química, corrosión electroquímica y corrosión por agentes microbianos.

2.2.1 Procesos químicos corrosivos y agresivos

a) *Fenómenos de agresividad ligados al equilibrio carbónico.*

En las aguas con índice de **Langelier** $i_L < 0$, o índice de **Ryznar** $i_R > 6.8$, se da la paulatina disolución de carbonatos del medio, en este caso de hormigones y materiales de construcción

de colectores y otras instalaciones no metálicas en contacto con las aguas residuales, lo cual favorecerá posteriormente posteriores ataques corrosivos o microbianos y la potenciación de la degradación del elemento de que se trate.

Por su parte, para índices de **Langelier** $i_L > 0$, o de **Ryznar** $i_R < 6.2$, el agua sería incrustante frente al equilibrio carbónico con la deposición asociada de carbonatos sólidos sobre las superficies en contacto con ella (la *figura 2.1* presenta un ejemplo práctico de incrustaciones calcáreas). (Rodríguez & Marín, 1999)



Ilustración 2.1 Conducción de agua con deposiciones calcáreas debidas al efecto de aguas incrustantes (precipitación de CaCO_3 y otros materiales asociados). (Rodríguez & Marín, 1999).

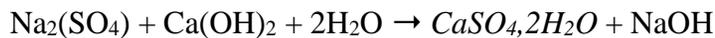
b) Mineralización

Las sales aumentan la conductividad disminuyendo la resistencia al flujo de las corrientes de corrosión que resultan favorecidas: Cl^- , SO_4^{2-} , así como Br^- y NO_3^- , propician el inicio de fenómenos corrosivos, aún en bajas concentraciones. El efecto de los cloruros es muy marcado: al principio se da una acumulación de iones Cl^- (transportados vía electrolítica) en la zona anódica, mientras paralelamente se produce un incremento de iones H^+ por precipitación de hidróxidos de Fe. El efecto global es la generación de trazas de HCl que, unido al O_2 , provocan picaduras en las zonas metálicas. Este efecto se potencia en las aguas más salobres hasta concentraciones de unos 104 g/l de NaCl, punto a partir del cual se

observa una reducción en la solubilidad del oxígeno y un descenso en la agresividad del sistema.

Los iones sulfato también potencian los fenómenos corrosivos por tres causas: incremento de la salinidad del agua, por poder ser convertidos en sulfuros vía microbiana y a través de un proceso específico de degradación de hormigones, que discurre en dos pasos:

- (a) Sulfatación de la cal libre del cemento por los sulfatos del agua, según el proceso,



- (b) Reacción entre sulfato hidratado y aluminato del cemento, generando la “*sal de Candlot*” de alta expansividad, y posterior descomposición y disgregación del material base, de acuerdo a, $3\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + 13\text{H}_2\text{O} + 3\text{CaO}, \text{Al}_2\text{O}_3, 12\text{H}_2\text{O} \rightarrow 3\text{CaO}, 3\text{CaSO}_4, \text{Al}_2\text{O}_3, 31\text{H}_2\text{O}$

donde la presencia de Mg (ligado a la dureza del agua) incrementa la tasa de descomposición.

Para finalizar, si bien cantidades del orden de 1 mg/l de Cu^{2+} aceleran la corrosión por la electrodeposición de Cu metálico (reducido a partir de Cu^{2+}) en las zonas catódicas del sistema, el pH alcalino, y la de algunos aniones tales como cromatos, SiO_4^- y PO_4^{3-} es beneficiosa ya que estos iones actúan como moderadores de la velocidad de corrosión.

c) Temperatura

Diferencias de temperatura de 15°C entre distintas zonas de un material llevan asociadas diferencias de potencial superiores a los 40-50 mV, e importantes efectos corrosivos.

d) Acidez y basicidad

Los ácidos inorgánicos fuertes (HCl, HNO₃, H₃PO₄, H₂SO₄, HF) así como los orgánicos fuertes (cítrico, acético) promueven el ataque a hormigones, cementos y metales (*figura 2.2*). Por otro lado, NaOH, KOH y Na₂CO₃, especialmente, promueven la solubilización inducida de los aluminatos y alúmina presentes en cementos y similares (*figura 2.3*). También podría ocurrir este efecto con la presencia de Mg(OH)₂, proceso acelerado si existe amoníaco.



Ilustración 2.2 Agresión ácida sobre una acometida industrial de aguas residuales a un colector general de saneamiento (superior); (debajo) efectos de un vertido ácido sobre elementos de obra y metálicos en un pozo de registro. (Han & Klute, 1990).



Ilustración 2.3 Efecto de vertidos alcalinos sobre una acometida de aguas residuales industriales. (Tchobanoglous, 1985)

e) Contenido en NH_3

Afecta a hormigones y cementos mediante el desarrollo de procesos microbianos nitrificantes, que generarían nitratos y ácido nítrico en medios aireados, así como por su posibilidad de reaccionar con la cal de los cementos acelerando su degradación.

f) Presencia de sulfuros y ácido sulfhídrico

El sistema $H_2S/HS^-/S^{2-}$ en aguas residuales o atmósferas en contacto con ellas, genera sulfuros metálicos por disolución de metales, pudiendo, además, ser oxidados al sistema H_2SO_4/SO_4^{2-} , altamente corrosivo (*figura 2.4*). Por otra parte, los S^{2-} también podrían reducir el Fe^{3+} del $Fe(OH)_3$ generando FeS con menor volumen que el primero y propiciando la descomposición de los tubérculos de hidróxidos ya existentes en los materiales, que después retroalimentarían el proceso: $pH < 6$ y aumentos de temperatura favorecen estas dinámicas.

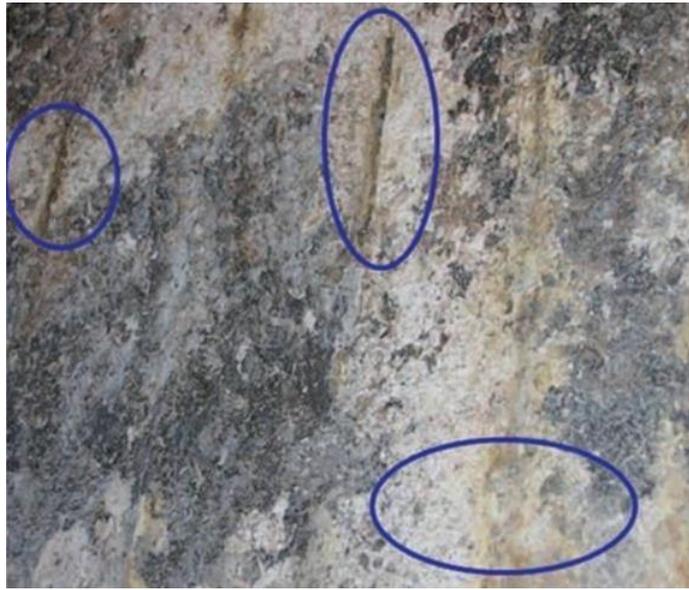


Ilustración 2.4 Pared de un emisario general de aguas residuales con muestras típicas de la acción conjunta de las corrosiones férricas y las debidas a sulfuros. (Han & Klute, 1990)

2.2.2 Corrosión electroquímica

Cualquier metal sumergido en una disolución tiende a ionizarse parcialmente, con lo que sus iones (cargados positivamente) pasan a disolución mientras el metal de partida quedaría con carga negativa. El potencial de electrodo para este proceso se rige por la ecuación de Nernst, $E = (RT/nF) \times \ln(P/\pi) = (RT/nF) \times \ln(C/a_m)$ siendo, “n” la valencia del metal (carga positiva), “T” la temperatura (°K), “R” la constante de los gases perfectos, “P” presión, “ π ” presión osmótica, “ a_m ” actividad de los iones metálicos en disolución, “C” un valor relacionado con la concentración de iones en el metal, y “F” el número de Faraday.

Resolviendo la ecuación para $T = 25\text{ °C}$ se obtendrían los denominados potenciales normales de electrodo que definen las posibilidades de interacción redox entre sustancias.

En la práctica, para un electrodo genérico se tendría, $E = E_0 + (0,058/n) \times \log(a_m)$ que aplicado al caso del electrodo normal de H_2 , a 1 atm de presión y 25 °C , se iguala a cero, siendo la base por convenio para comparar potenciales de electrodo entre pares redox. Las especies electroactivas contactan, bien directamente o bien a través de un medio (agua residual) que transmite la corriente eléctrica, dando lugar a que uno de los electrodos, el de potencial de oxidación más negativo o menos positivo, se vaya disolviendo poco a poco: este

fenómeno es la corrosión electroquímica, la cual puede desarrollarse, tanto en medios aireados como desaireados (lo segundo, lo más habitual en aguas residuales).

a) Corrosión en medios aireados.

Para un metal genérico “Me”, en contacto con un agua residual, se tendrán los procesos:

$\text{Me} \rightarrow \text{Me}^{n+} + n\text{e}^0$ (reacción anódica, oxidación del metal) $\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^0 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$ (reacción catódica, alcalinización del agua).

El potencial de oxidación del par Me/Me^{n+} debe ser más bajo que el del par O/HO (+1.23V) para que las reacciones conduzcan hacia la oxidación del metal. Aplicando la ecuación de **Nernst** y considerando “ $n= 2$ ” (caso del Fe, por ejemplo) quedaría que,

$E = E^0 - (RT/F) \times \ln[\text{OH}^-] + (RT/4F) \times \ln\text{PO}_2$ lo que indica que el potencial, es decir, la oxidación del metal, se favorecerá con el incremento de pH y de la presión parcial de O_2 (concentración) en ella. El Fe oxidado se transforma en hidróxidos, tipo $\text{Fe}(\text{OH})_2$ y $\text{Fe}(\text{OH})_3$, los cuales constituirían los productos prácticos de corrosión en tuberías, colectores e instalaciones, dándose colateralmente la alcalinización del agua por consumo de iones H^+ . Además, la deposición sobre el metal de hidróxidos actúa ralentizando la difusión de O_2 desde el agua, con lo que se propicia la retroalimentación del proceso anódico, y la extensión de la corrosión con la aparición de perforaciones por todo el material (*figura 2.5*).



Ilustración 2.5 Trozo de tubería metálica severamente corroída mostrando zonas totalmente perforadas. (Marín, 2003)

b) Corrosión en medios desaireados.

Es la más frecuente en aguas residuales. Las reacciones redox serían (por ejemplo, para Fe).



El efecto práctico sigue siendo la disolución de Fe que proseguirá mientras el medio contenga suficiente cantidad de iones H^+ ($\text{pH} < 10.5$) o exista suficiente cantidad de Fe^{2+} que recubra las zonas metálicas expuestas del acceso del O_2 . Como diferencia con los medios aireados, el Fe^{2+} en medio desaireado no tendría tendencia a oxidarse después a Fe^{3+} .

Para estudiar estos procesos se desarrollan los diagramas de **Pourbaix**, en los que aplicando las ecuaciones de **Nernst** para diferentes pares de electrodos que podrían interaccionar mutuamente, se obtienen las estabilidades de las especies electroactivas en función del pH, considerando sus valores de potencial. La *figura 2.6* presenta el diagrama de estabilidad para el sistema hierro-agua en medio desaireado.

Por otra parte, la corrosión en medios desaireados sólo cesará en aguas estancadas o sin flujo circulatorio al no darse allí el arrastre de los depósitos de $\text{Fe}(\text{OH})_2$ formados. Finalmente, este mecanismo provoca la generalización de una corrosión bastante uniforme en toda la extensión del metal, con la coexistencia de muchas zonas anódicas, focos de importante alteración.

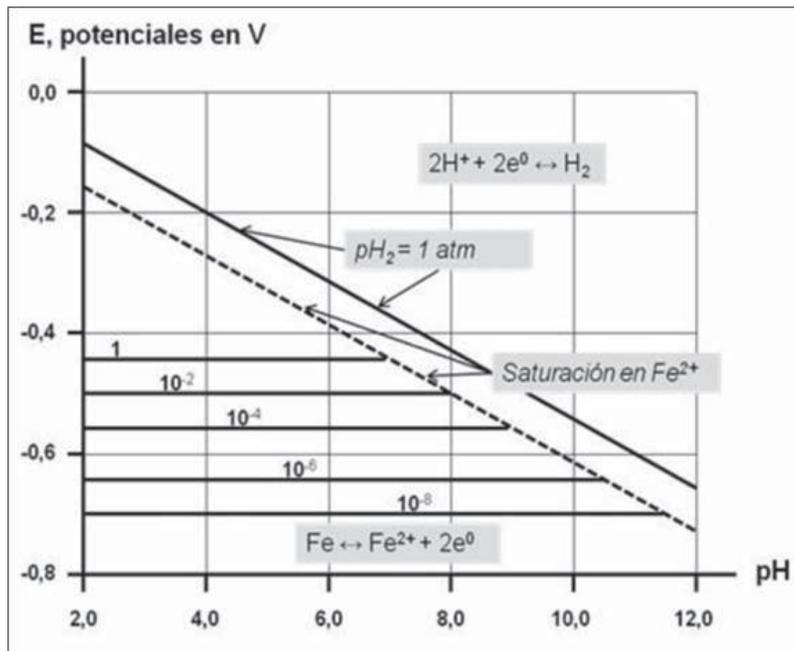


Ilustración 2.6 Diagrama de estabilidad para el sistema redox Fe^{2+}/H_2 en medios desaireados. Las líneas horizontales marcan la concentración de Fe^{2+} disueltos en función de potencial y pH: así, para $pH=4$ y $E \approx -0.7 \text{ V}$, $[Fe^{2+}] \approx 10^{-8} \text{ mol/kg}$. (Levine, 1991)

c) Corrosión por aireación diferencial

Conjugando los dos tipos de corrosión metálica mencionados, se puede esperar que las zonas del metal sin contacto directo con O_2 (recodos, huecos de roscas, fisuras, etc.) constituyan zonas anódicas activas de disolución de metal mientras que las que estén en contacto con O_2 serán zonas catódicas preservadas de la corrosión. Entre las dos se establece una diferencia de potencial y corrosión asociada, proceso al que se denomina “aireación diferencial” (figura 2.7).



Ilustración 2.7 Corrosión electroquímica interna y externa en tuberías de fundición de hierro. Obsérvense tanto picaduras y perforaciones como acumulaciones de depósitos. (Marín, 2003)

Como resumen, todos los metales con potenciales de par inferiores a +1.23 V serán oxidados por el O_2 , mientras todos aquellos con potenciales de par inferiores a 0.00 V, lo serán por el H_2O . En la práctica, excepto los metales nobles (Au, Ag, Pt y Rb, como más empleados habitualmente) todos los metales en presencia de agua se oxidarán más o menos.

2.2.3 Corrosión por agentes microbianos

Siempre posterior a la electroquímica y química, propicia la formación de concreciones, tubérculos, e incluso perforaciones y fisuras en materiales. Se puede considerar cuatro tipos de microorganismos como más activos en corrosión microbiana.

a) Bacterias del ciclo del hierro y del manganeso

Son bacterias quimiotróficas que oxidan Fe^{2+} a Fe^{3+} a pH ácido preferentemente (pH= 4-6), gracias a contar con enzimas redox (flavinas). Pertenecientes a este grupo se tiene:

- i. Clamidobacterias: *Leptothrix ochracea*, *L. crassa* y *L. discophora*.
- ii. Crenotricáceas: *Crenothrix polyspora* y *Clonothrix fusca*.
- iii. Siderocapsáceas: *Siderocapsa geminata*, y especies de *Ferrobacillus* y *Sideromonas*.

iv. Galioneláceas: *Gallionella ferruginea* y *G. major*.

El $\text{Fe}(\text{OH})_3$ formado es almacenado en secreciones mucilaginosas que adoptan forma de vainas, cápsulas y tubérculos (figura 2.8). Las cápsulas suelen estar huecas, conteniendo, además de los óxidos férricos, CaCO_3 y FeS en algunas especies. Las bacterias del Fe y Mn son microorganismos aerobios con una disponibilidad de Fe^{2+} limitada, por lo que actúan incrementando los procesos electroquímicos previos que generan el Fe^{2+} necesario para su vida. Se destaca a *Thiobacillus ferrooxidans* capaz de oxidar Fe^{2+} a Fe^{3+} en medio ácido. Todos estos microorganismos oxidan Mn^{2+} a Mn^{4+} , especialmente cuando exista abundancia de Mn sobre el Fe del medio, estando favorecido su crecimiento por fenómenos paralelos de nitrificación. Además, ciertas bacterias son específicas del Mn (algunas *Pseudomonas*, *Metallogenium* e *Hyphomicrobium*) cuya actividad es más rápida en aguas con pH ácido.



Ilustración 2.8 Tubérculos típicos de corrosión bacteriana en tuberías de hierro. (Marín, 2003)

b) Bacterias oxidantes del hidrógeno

Varias bacterias quimiotróficas aerobias son capaces de crecer en presencia de hidrógeno molecular, aunque pueden emplear otros sustratos oxidables. Este proceso lo realizan el género *Hydrogenomonas* y algunas *Pseudomonas* (*P. facilis* y *P. delafieldii*), oxidando el hidrógeno hacia H_2O , en un proceso favorecido con la presencia de NO_3^- y O_2 , y pH alcalino.

c) Bacterias sulfato reductoras

Bacterias autotróficas anaerobias facultativas, resisten temporalmente la saturación del agua en O_2 . Existen dos rutas metabólicas de reducción bacteriana de sulfatos: reducción *asimilatoria* y *desasimilatoria*. La primera es compartida por muchas bacterias (aerobias y anaerobias facultativas) que emplean el S generado internamente. Así, *E. coli*, para lo que cuenta con enzimas como el sulfato reductasa y el sulfito reductasa que finalmente rinden S^{2-} y H_2S . No obstante, el proceso de más importancia en corrosión bacteriana es la reducción *desasimilatoria*, llevada a cabo por bacterias anaerobias estrictas como *Desulfotomaculum*, *Desulfovibrio* y *Clostridium nigrificans*. En los dos casos los S^- liberados precipitan iones Fe^{2+} generando depósitos de FeS negro que, además, contienen $Fe(OH)_2$.

Con respecto al H_2S , su acumulación en la superficie del agua residual, en condiciones de mínima oxigenación, da lugar al desarrollo de bacterias rojas y verdes del azufre, que en presencia de luz vuelven a oxidar el H_2S nuevamente hacia sulfatos. La alternancia de un tipo y otro de bacterias da lugar a un ciclo del S típico en aguas residuales desoxigenadas marcando en ellas el balance de S^- . Por otro lado, el consumo químico de oxígeno en la superficie de los tubérculos acarrea después el desarrollo de más bacterias reductoras oportunistas que actuarían sobre varios sustratos del medio. Como reacción derivada del proceso anterior, el H_2S formado promueve la reducción electroquímica del Fe^{3+} presente lo que supone la contracción del volumen de los tubérculos y un material más quebradizo y más atacable.

Resumiendo, las condiciones favorables para la corrosión por bacterias sulfato reductoras son: medio anaerobio, pH= 5.5–8.5, presencia de PO_4^{3-} , Fe^{2+} y otros sustratos orgánicos (lactatos, malatos.), presencia de H_2 y temperatura óptima de desarrollo entre 30 y 40 °C.

d) Bacterias del ciclo del nitrógeno

Diversas bacterias fijan N_2 atmosférico desde suelo, agua, y desde los sedimentos orgánicos de medios acuáticos degradados (incluso colectores de aguas residuales): así, especies de *Azotobacter* en medio aerobio. Por otro lado, otras bacterias pueden realizar la amonificación (conversión de compuestos nitrogenados en NH_3) incrementándose la velocidad del proceso con la presencia de proteínas (habitual en el agua residual) y siendo óptima a temperaturas entre 25 y 35 °C, pero no deteniéndose ni incluso a 0 °C. El amonio del agua residual es fuente de nitrógeno para las nitrosobacterias, que producen NO_2^- (nitritación) posteriormente oxidados a NO_3^- por las nitrobacterias (nitratación): sin embargo, elevados contenidos de NH_3 en el agua residual pueden inhibir la “nitratación”. Bacterias típicas en nitrificación son *Nitrosomonas* y *Nitrosococcus* (nitritación) y *Nitrobacter* y *Arthrobacter* (nitratación).

En medios anaerobios ricos en materia orgánica se produce el proceso inverso a la nitrificación o “desnitrificación”, consistente en la reducción de NO_3^- a NO_2^- y de éstos a óxidos de nitrógeno y N_2 . Este proceso es llevado a cabo por numerosas bacterias anaerobias facultativas, que lo utilizan como “solución adaptativa” ante episodios de carencia de oxígeno. Finalmente, la amonificación de nitratos, o generación de NH_3 a partir de NO_3^- , es desarrollado por especies bacterianas de los géneros *Clostridium* y *Bacillus*, y por cepas de *E. coli*.

2.3 Ubicación de los agentes corrosivos y agresivos en los saneamientos

Los compuestos agresivos y corrosivos en los saneamientos no sólo están en el agua residual: ha de extenderse el concepto a todo el entorno que la rodea y tanto en la parte de vehiculación de aguas (saneamiento) como en la de depuración (EDAR).

Siguiendo la línea de proceso, en una EDAR, las limpiezas y mantenimiento periódicos de elementos de elevación de aguas, las purgas de elementos de desengrasado-desarenado, purgas de decantación primaria o, en su caso, las aguas procedentes de secado o centrifugado de fangos secundarios e, incluso, las generadas en lavados y limpiezas periódicas de elementos de la EDAR tendrán potencial corrosivo, aunque se re- conduzcan internamente al

propio proceso depurador. Los restos de productos químicos de tratamiento diluidos y, si bien deben ser gestionados como residuos peligrosos por un gestor autorizado, podrían en situaciones de emergencia o de accidente llegar a proceso en la EDAR y constituirse como otros potenciales focos agresivos y corrosivos (por ejemplo, *figura 2.9*).



Ilustración 2.9 Alteración general de la arqueta de recogida de agua depurada en un tanque de oxidación total tras 3 años de servicio. (Han & Klute, 1990)

Suponiendo que desde un agua residual se emitan compuestos volátiles, bien por encontrarse en origen en ella, o bien por generarse a través de los mecanismos químicos y microbiológicos que se ha reseñado en los apartados anteriores, es muy evidente. Como ejemplo, los bencenos o cloroformo de un agua residual pueden incorporarse parcialmente a la fase gaseosa en equilibrio con la fase líquida a lo largo de un colector que transporte estas aguas residuales en función de varias variables: temperatura, volatilidad, presiones parciales de los componentes, reacciones químicas que puedan experimentar los compuestos, etc. En todo caso una cierta fracción de estos compuestos estará en la atmósfera de los colectores de aguas residuales, y también en el ambiente de cualquier EDAR a la que accedan. Y desde aquí podrán, en mayor o menor medida, llevar a cabo su actividad corrosiva y agresiva en los diversos materiales e instalaciones en contacto con estas atmósferas.

Desde otra óptica, los gases y volátiles que química o microbiológicamente se generan en un agua residual, sin intervención del ser humano, como, por ejemplo, el H_2S , mercaptanos o los compuestos aminados, podrán abandonar muy fácilmente la fase líquida y se instalarán

preferentemente en la atmósfera en contacto con ella, atacando redes de colectores, así como elementos de llegada y de proceso de las aguas residuales en las EDARs (*figura 9*).

De lo dicho ya se identifican dos nichos de localización de importantes cantidades de agentes agresivos: el agua residual (*fase líquida*) bien en origen o la procedente de reboses y procesos internos de las EDARs, y los gases y atmósferas en contacto con estas aguas residuales (*fase gaseosa*). Para completar la panorámica, han de tenerse en cuenta los residuos sólidos generados en una EDAR, así como en los colectores de aguas residuales.

Con respecto a los colectores de aguas residuales nos referimos a compuestos que, en función del trazado de colectores, por zonas de baja pendiente, fondos de saco, mínima velocidad de flujo, etc., se van acumulando en el fondo y paredes de los colectores. Englobados en estos sólidos existen compuestos con capacidad de agredir química o microbiológicamente materiales. Aquí también han de recordarse los pozos de sólidos existentes en elementos accesorios en colectores, como pueden ser bombeos y elevaciones de aguas, o asimismo los sistemas de purgas y de pretratamiento con que cuentan los tanques de tormenta y almacenamientos temporales de aguas residuales instalados en las redes de colectores, sin olvidar los aliviaderos de aguas para casos de emergencia en las redes de colectores que al no funcionar más que eventualmente suelen acumular gran cantidad de restos sólidos.

En las EDARs, los residuos y subproductos agresivos son porcentualmente más importantes: sólidos gruesos, retirados antes de la elevación inicial de aguas a la EDAR; sólidos retirados en desengrasado; sólidos retirados en desarenado; así como fangos de decantación primaria, con o sin adición de reactivos químicos y fangos retirados y no recirculados de decantación secundaria. En realidad, los sólidos de los pozos de gruesos, desarenado y desengrasado, se retiran del agua residual directamente y no suelen ser después sometidos a ningún tratamiento, siendo gestionados por un gestor autorizado al efecto. Así, su agresividad tiene efectos limitados, salvo accidente o evacuación indeseada, circunscribiéndose a los depósitos temporales de almacenamiento y las inmediaciones de los mismos.

Con respecto a los fangos primarios y secundarios, normalmente se envían a proceso interno, en lo que constituye la línea de fangos de cualquier depuradora, siendo deshidratados y eventualmente secados y, finalmente, gestionados como residuos asimilados a urbanos, o

incluso enviados a aprovechamiento agrícola, compostaje, o bien siendo sometidos a digestión anaerobia para su aprovechamiento energético vía cogenerativa. En estos casos, los elementos de deshidratación y secado de fangos, frescos o digeridos, o instalaciones de almacenamiento temporal, sí suelen generar ambientes gaseosos y atmósferas con alto poder agresivo y corrosivo (además de odorífero).

Resumiendo, los agentes agresivos y corrosivos para los sistemas de saneamiento pueden encontrarse en los tres nichos que conforman el sistema (*figura 2.10*):

(a) *en fase líquida* como aguas residuales; (b) *en fase gaseosa* como gases que escapan de la fase líquida; (c) *en fase sólida* como los residuos separados del agua residual, bien a través de su depuración, bien a través de simples fenómenos de decantación no forzada.

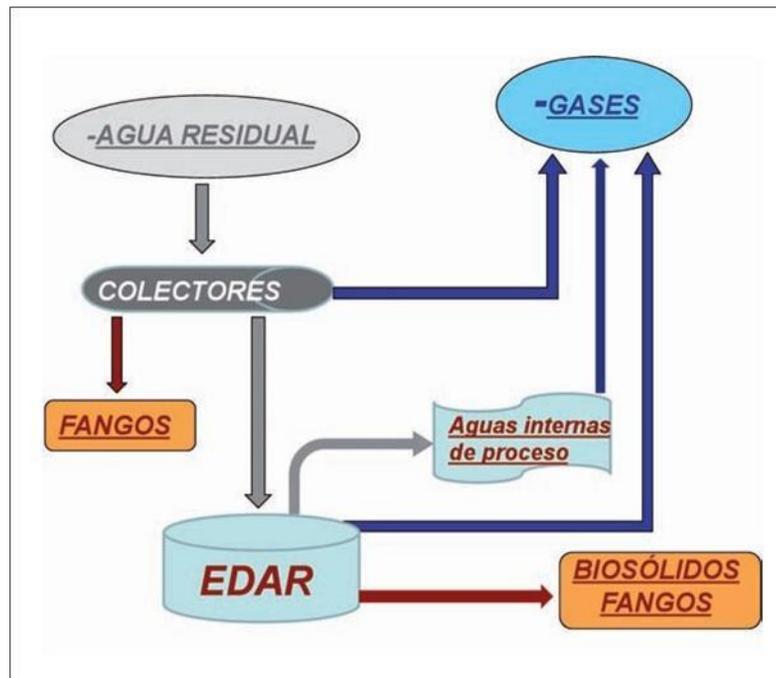


Ilustración 2.10 Localización de los agentes agresivos y corrosivos en un saneamiento: aguas residuales, gases, y fangos de depuración. (Marín, 2003)

2.4 Costos asociados a los fenómenos corrosivos

Se pueden identificar dos tipos: no económicos y económicos. Los primeros se pueden observar en:

- i. Roturas, fisuras, fracturas y deterioros prematuros en colectores y equipos; también

- en los propios elementos y equipos de los laboratorios de proceso de las EDARs.
- ii. Evacuación indeseada al medio ambiente de efluentes sin depurar, tanto aguas residuales como gases y atmósferas nocivas. De producirse en zonas habitadas o en su proximidad, podría generar problemas sanitarios por la contaminación microbiana rica en vectores activos de diversas enfermedades contenidos en las aguas residuales.
 - iii. La salida al medio, especialmente urbano, de efluentes gaseosos también podría acarrear problemáticas ligadas a malos olores y atmósferas desagradables.
 - iv. La salida al freático de aguas residuales sin tratar, o directamente, al medio ambiente urbano o cercano al mismo, podría constituir un foco importante de contaminación ambiental indeseable de los recursos hídricos tanto superficiales como subterráneos.
 - v. Generación de problemas de movilidad urbana e incomodidad ligada a los episodios de reparación de instalaciones deterioradas: cortes de tráfico, ruidos por maquinaria pesada, molestias por gases de combustión de maquinaria (por ejemplo, de corte o para generación eléctrica autónoma) e, incluso, la restricción de acceso a la propia vivienda a los ciudadanos en función de la localización concreta del problema a resolver.
 - vi. Por último, la percepción social del ciudadano de prestar poca atención a la cuestión ambiental ligada a la recogida y depuración de las aguas residuales en su ciudad.

Para concluir, y aunque los costes económicos globales son un aspecto cuyo resultado final estará en función de los parámetros de partida considerados, estimaciones del sector evalúan los costes derivados de los fenómenos agresivos y corrosivos, y que afectan a reposición total o parcial de materiales y equipos de saneamientos y depuradoras, entre el 0.1% y más del 1% sobre el PIB de un país industrializado. Se puede tomar como ejemplo el caso de España, la cantidad podría rondar los 10,000 millones de euros al año, cantidad ciertamente considerable y que plantea la necesidad imperiosa de implantar políticas prácticas que minimicen estos problemas y que puedan ahorrar una cantidad importante en el desarrollo de las actividades de saneamiento y depuración que pueda repercutir favorablemente sobre el bolsillo del ciudadano, que a fin de cuentas es quien soporta al final todo lo concerniente al ciclo integral del agua.

2.5 Aguas residuales del rubro textil

El proceso textil comprende tres fases: hilatura, tejeduría y acabados. Las transformaciones de fibra en hilo y de hilo en tejido son esencialmente operaciones en seco. Los efluentes industriales se generan principalmente en el proceso de acabados, éste se define como cualquier proceso realizado sobre el hilo o tejido para cambiar la apariencia, el tacto y su comportamiento. Siendo el proceso de acabados el responsable de los desechos o efluentes líquidos, detallamos la naturaleza de los acabados en húmedo, que generan efluentes contaminantes:

- a) **Descrude:** dentro de la máquina la tela es bañada con agua a altas temperaturas y mezclada con soda cáustica. La finalidad de este proceso es eliminar las grasas, aceites, pigmentos naturales, suciedad que pueda contener la tela y la parafina.

- b) **Teñido:** se realiza en las mismas máquinas de descrude. La operación se realiza en medio acuoso. Los teñidos utilizados son de dos tipos: teñido con colorantes directos con fijador que se impregna en la tela y con colorantes reactivos, que son colorantes que reaccionan con la tela y forman un enlace químico en condiciones especiales de pH y temperatura.

- c) **Blanqueo:** se realiza cuando se requiere alto grado de blanco, ya sea para posterior teñido con colores claros o para blanqueo óptico. Dependiendo del grado de blanco que se requiera, el blanqueo puede realizarse con cloro o bien con agua oxigenada,

- d) **Exprimiendo los rollos de tela:** luego de ser teñidos se descargan en coches de acero y se llevan a una máquina hidroextractora para retirar la humedad.

Debido a éstos aguas residuales industriales de la industria textil han llegado a ser en muchos lugares un problema que iguala o supera al de las aguas negras domésticas, debido a los contaminantes que contienen, por lo que deben someterse a procesos que mejoren su calidad para ser vertidas o descargadas en alcantarillado público.

2.6 Ataque corrosivo del agua residual textil a las tuberías de las plantas de tratamiento

Además de los contaminantes antes mencionados, como pudieran ser colorantes del proceso de teñido o soda cáustica del descrude, se deben considerar los químicos utilizados dentro de la planta de tratamiento, como un ácido para regular el pH, para el caso de estudio es ácido sulfúrico, y los químicos utilizados para el proceso de coagulación floculación, que para el caso de estudio se deben considerar dos coagulantes orgánicos catiónicos y un floculante también orgánico y catiónico.

Considerando una caracterización histórica para el caso de estudio en el período comprendido entre el 19 y 22 de julio, se tuvieron los siguientes parámetros, considerando la cisterna de homogeneización como entrada y la salida del tanque sedimentador lamelar como salida:

Tabla 2.1 Parámetros de entrada y salida de sedimentador lamelar.

Parámetro	Entrada	Salida
Temperatura (°C)	37.24	35.96
pH	7.11	7.36
DQO (mg/l)	1105.67	889.67

2.7 Acero inoxidable AISI 304

Conocido como acero 18/8 o A2, este tipo de acero inoxidable está catalogado como austenítico, cuya estructura se consigue por medio de una aleación de hierro, manganeso, carbono, fósforo, silicio, sulfuro, níquel y un alto contenido en cromo (18%). Una composición que le hace muy resistente a la corrosión y a la oxidación. Cabe mencionar que, aunque este material se llame acero inoxidable, no significa que no se oxide, sino que, es más resistente al desgaste que el acero normal. El acero inoxidable AISI 304 es, además, económico y fácil de limpiar, es resistente al calor, a las bajas temperaturas, aguanta adecuadamente las deformaciones, entre otras cosas. También es muy buen material para

trabajar en soldadura o embutición. Este acero es más fácil de mecanizar que otros tipos como consecuencia de su elevada resistencia, pero será complicado obtener superficies lisas. Es un material adecuado para su trabajo en frío, como el estirado o la extrusión, pero es más difícil de trabajar que otros materiales.

Asimismo, el trabajo en frío es efectivo si el objetivo es endurecer el AISI 304, ya que no se puede endurecer por medio de un tratamiento térmico. (Martínez, 2012).

Tanto los grados AISI 304 y AISI 304L son aptos para soportar niveles de hasta 200 partes por millón de cloro y pH mayores a 4.5.

2.7.1 Aplicaciones del acero inoxidable AISI 304

La manipulación y mecanizado de acero inoxidable es utilizada para todo tipo de fabricaciones. En concreto, es un material muy recurrente en la industria petrolera, automotriz, aeroespacial, metalúrgica, química, alimenticia, instrumental, farmacéutica o electrónica, entre otras.

Se utiliza para fabricar piezas como chapas, tuberías, muelles, tornillos, placas o incluso cables y varillas; y también se aplica en productos del entorno cotidiano, como en todo tipo de utensilios y herramientas de cocina, material médico y odontológico, electrodomésticos y otros utensilios de uso doméstico. (Martínez, 2012).

2.7.2 Propiedades del acero inoxidable AISI 304

a) Propiedades Térmicas

Su capacidad calorífica específica es de 500 J/(Kg·K) a 20°C y tiene un coeficiente de dilatación térmica a 100°C de $16.0 - 17.30 \times 10^6 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$.

b) Propiedades Físicas

En cuando a la densidad del acero inoxidable AISI 304, esta es de 7,3g/cm³; es de estructura austenítica, su punto de fusión se encuentra en los 1400 – 1455 °C, tiene una capacidad elástica (módulo de elasticidad) de 193,000 N/mm², y una conductividad térmica, es decir, la

capacidad de conducir el calor de 15 / 16 W/m K.

c) Propiedades Mecánicas

Su resistencia a la tracción oscila entre los 460 y los 110 MPa, su módulo de elasticidad es de 190 – 210 GPa, tiene una dureza Brinell de 160 – 190 HBW, puede experimentar un alargamiento o elongación de hasta un 60%, así como una reducción de área del 70%.

d) Propiedades Eléctricas

Tiene una resistividad o resistencia eléctrica a 20C de 70 – 72 μOhmcm y es un material amagnético, pero si se trabaja en frío, puede conseguirse que adquiera cierto nivel de magnetismo.

2.7.3 Acero inoxidable AISI 304L

El acero inoxidable AISI 304L (Low Carbon) es una variación del acero AISI 304 pero con una menor cantidad de contenido en carbono, diseñado así con la intención de minimizar los problemas de soldadura a temperaturas de los 426 a los 900 °C. Este ofrece la misma resistencia a la corrosión, aunque sus propiedades mecánicas son ligeramente menores al AISI 304. (Martínez, 2012).

Capítulo 3

Capítulo 3 Metodología de la investigación

3.1 Despliegue de objetivos.

Para el desarrollo de nuestra investigación decidimos que el diseño de la misma sea de tipo *experimental verdadero*, ya que los datos que se recolectan son en base al análisis estadístico para probar o refutar las hipótesis establecidas. Para esto se deben considerar tres factores importantes: el grupo de control y experimental, la variable y la distribución.

Con la finalidad de satisfacer con cada uno de los tres objetivos específicos determinados en la investigación, se llevarán a cabo una serie de actividades y se establecerán los productos que deberán obtenerse; a partir de este concepto se plantea el presente diseño de investigación:

Objetivo específico 1: Analizar la relación entre los parámetros fisicoquímicos y cómo afecta la corrosión del acero.

Actividad	Producto
Monitoreo de los parámetros del agua residual y observación para el análisis de posibles efectos en el acero Inox 304 pulido, con evidencias de corte.	Control de la variación en los parámetros fisicoquímicos del agua residual.
	Comparación entre las distintas variaciones de parámetros en agua residual y como estas reaccionan con el acero.

Objetivo específico 2: Definir si la elección del material de construcción de las tuberías de la planta de tratamiento fue correcta respecto a la resistencia a la corrosión del material.

Actividad	Producto
Recopilación de datos en base a pruebas experimentales para un registro de parámetros del agua residual y comportamiento en las diferentes muestras de agua.	Registro de parámetros de agua residual y análisis de su comportamiento en interacción con las diferentes muestras de acero Inox 304.
	Determinación de relación entre parámetros de agua residual y corrosión causada (Si llega a existir).

Objetivo específico 3: Recomendar un método de protección óptimo contra la corrosión para las tuberías de la planta de tratamiento de ser necesario.

Actividad	Producto
Recopilación de información sobre los distintos métodos de protección contra la corrosión producida por aguas residuales textiles.	Información detallada sobre los distintos métodos de protección contra la corrosión causada por aguas residuales textiles.
	Comparación entre los distintos métodos teniendo en cuenta costos y caracterización del agua residual.

3.2 Recursos disponibles.

Se realiza una revisión de los recursos que se tienen disponibles y serán necesarios para el desarrollo del proyecto.

Tabla 3.1 Recursos disponibles.

RECURSOS	DETALLES			
HUMANO	Descripción	Cantidad	Precio unitario (US\$)	Precio Total (US\$)
	Estudiantes de Ingeniería Química	2	2700 (9 meses)	5400
	Asesor	1	9000 (9 meses)	9000
	Financiamiento: Fondos propios	Sub Total (US\$)		14400
	PAPELERIA	Descripción	Cantidad	Precio unitario (US\$)
Impresiones		200	0.05	10
Copias		100	0.02	2
Empastados		2	20	40
Paquete de CD's		1	6	6
Financiamiento: Fondos propios		Sub Total (US\$)		58

Continúa...

Tabla 3.1 Recursos disponibles (continuación).

EQUIPO DE OFICINA	Descripción	Cantidad	Precio unitario (US\$)	Precio Total (US\$)
	Laptop	2	300	600
	memoria USB	2	15	30
	impresor multifunción	1	75	75
	cámara (celular o Tablet)	2	200	400
	Financiamiento: Fondos propios	Sub Total (US\$)		1105
EQUIPO DE LABORATORIO Y REACTIVOS	Descripción	Cantidad	Precio unitario (US\$)	Precio Total (US\$)
	Pernos de ½” x 1” acero inox AISI 304	5	0.40	2.00
	Termo reactor para prueba de DQO	1	300	300
	Báscula electrónica	1	125	125
	Phmetro	1	65.79	65.79

Continúa...

Tabla 3.1 Recursos disponibles (continuación).

	Agua destilada (galón)	5	1.75	8.75
	Beaker de 1 L	2	13	26
	Libreta de anotaciones	1	2	2
	Termómetro	1	33.95	33.95
	Financiamiento: Propio en conjunto con empresa	Sub Total (US\$)		564.69
OTROS	Descripción	Cantidad	Precio unitario (US\$)	Precio Total (US\$)
	Botas de seguridad	2	120	240
	Guantes de nitrilo (Caja)	1	17	17
	Financiamiento: Fondos propios	Sub Total (US\$)		257
Total (US\$)				16384.69

3.3 Cronograma de actividades para desarrollo del estudio.

ACTIVIDADES	SEMANAS																																										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39				
Selección del tema para el trabajo de aplicación	■	■	■	■																																							
Entrega del perfil de trabajo de aplicación					■	■																																					
Aprobación del perfil de trabajo de aplicación						■	■	■	■	■																																	
Entrega del avance del anteproyecto											■																																
Elaboración del marco teórico											■	■																															
Desarrollo de la metodología de la investigación													■	■	■	■	■	■	■	■	■																						
Realización de visitas para el desarrollo de las pruebas																						■	■	■	■	■	■																
Análisis e interpretación de resultados																												■	■	■													
Elaboración de conclusiones y recomendaciones																														■	■	■	■	■									
Revisión del documento final																																						■					
Defensa del trabajo de aplicación																																								■	■	■	■

3.4 Diseño experimental

Para comprobar si el acero inoxidable de construcción en las tuberías de la planta de tratamiento se ve afectado por el agua residual que en ella circula, se someterá a una pieza del mismo material a una exposición prolongada con esta agua a diferentes concentraciones simulando así las variadas condiciones fisicoquímicas presentes en la pila de homogenización previa al tratamiento de agua y será monitoreada en distintos intervalos de tiempo para estudiar la integridad del material.

Con el propósito de preservar la integridad y la composición original de las muestras de agua residual, se implementará un procedimiento sobre el almacenamiento de las muestras. Estas muestras se resguardarán en botes de vidrio con tapas, con el fin de prevenir cualquier posible contaminación proveniente de agentes ambientales externos. Teniendo este cuidado se asegurará la representatividad de las muestras, permitiendo una evaluación más precisa de su calidad y propiedades sin interferencias externas.

3.4.1 Procedimiento experimental

- a) En el proceso de evaluación, se emplearán pernos de acero inoxidable AISI 304, que es el material utilizado para la construcción de las tuberías de la planta de tratamiento.
- b) Se extraerá una muestra representativa de agua residual, la cual se empleará en la creación de diversas concentraciones para un análisis exhaustivo. Se llevará a cabo la dilución de la muestra original a concentraciones específicas del 25%, 50%, y 75% (v/v) mediante la mezcla con agua fresca. Para lograr estas concentraciones, se utilizarán beakers de 600 ml, donde se combinarán 400 ml de agua residual con volúmenes precisos de agua fresca: 100 ml, 200 ml y 300 ml, respectivamente.
- c) Las pruebas consistirán en someter el acero a exposición con agua residual. Se incluirán tres escenarios principales: exposición al agua residual sin diluir, a agua residual diluida en concentraciones del 25%, 50% y 75% (v/v), y agua fresca, tal como se muestra en el esquema.
- d) Para llevar a cabo un monitoreo cualitativo preciso, se adoptará la norma ASTM

D610. Esta norma proporciona un marco metodológico confiable para evaluar la corrosión y determinar el porcentaje de área corroída en el acero, la norma se utilizará únicamente como referencia dado que en el caso de estudio no se tiene acero pintado.

- e) Se realizará una caracterización fisicoquímica al inicio y al final de las pruebas donde se medirán propiedades como pH, temperatura y demanda química de oxígeno, y en la caracterización al final de las pruebas se medirán sólidos sedimentables.

Se realiza un modelo similar al de la ilustración 3.1.



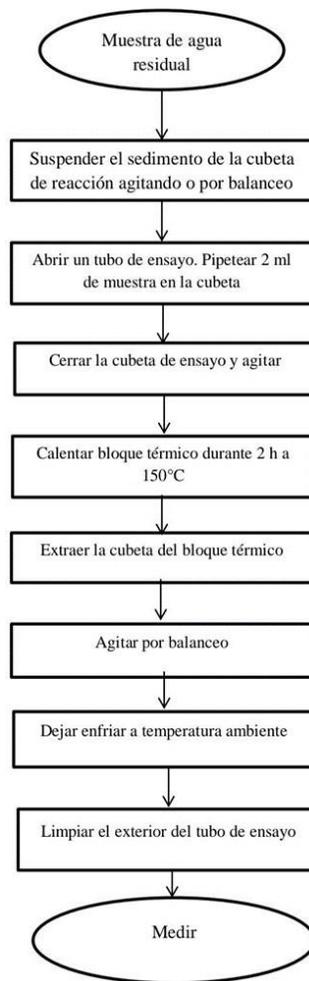
Ilustración 3.1 Modelo para disposición de las diferentes concentraciones de agua residual.

Tabla 3.2 Parámetros iniciales de las diferentes concentraciones de agua residual.

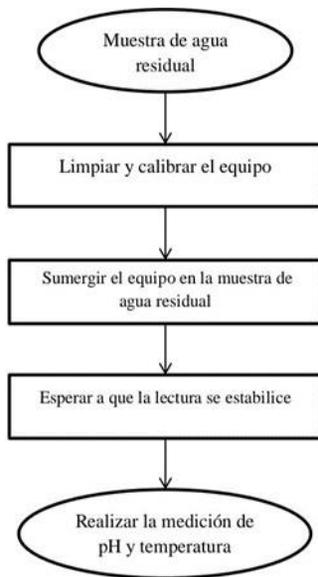
Agua fresca	Agua residual 25%	Agua residual 50%	Agua residual 75%	Agua residual
pH 6.62	pH 7.06	pH 7.29	pH 7.47	pH 7.54
DQO 5 ppm	DQO 391.5 ppm	DQO 783 ppm	DQO 1174.5 ppm	DQO 1566 ppm
T= 23.1°C	T= 26.5°C	T= 30.2°C	T= 33.2°C	T= 37.5°C

3.4.2 Caracterización del agua residual

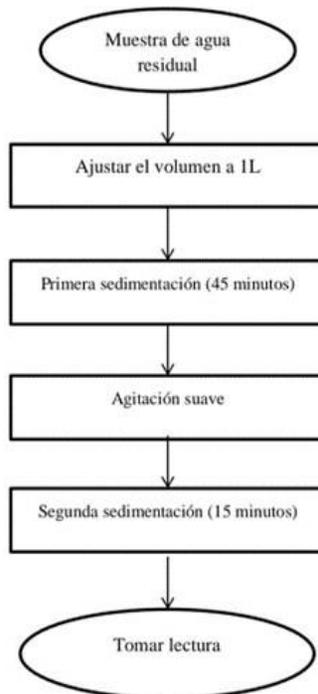
- i. Para la medición de DQO se utilizarán los equipos NANOCOLOR VARIO Compact (termorreactor) y NANOCOLOR 400 D (fotómetro) y viales NANOCOLOR DQO LR 150. Para obtener los valores dentro del rango del vial se hará una dilución de 1+20 con agua destilada. Posteriormente se seguirá el procedimiento que brinda el fabricante MACHEREY-NAGEL en su página oficial (ver anexo 2). Se ejemplifica con la siguiente ilustración:



- ii. Para la medición de pH y temperatura se utilizará el electrodo Milwaukee pH56pro. Dicho proceso se realiza como lo indica la siguiente ilustración:



- iii. En el proceso de medición de sólidos sedimentables mediante el uso de un cono Imhoff, se implementará un protocolo meticuloso para asegurar resultados precisos. El procedimiento se llevará a cabo como lo muestra la ilustración:



3.5 Desarrollo experimental

Se lleva a cabo lo planteado en el diseño experimental (Ilustración 3.2), en el cual se llevará un registro cada 100 horas de los cambios o la ausencia de ellos de los materiales expuestos. Habrá un registro fotográfico y al final se realizará un minucioso análisis físico para inspeccionar cualquier evidencia de corrosión.

Se tiene la siguiente disposición:



Ilustración 3.2 Disposición de frascos con diferentes concentraciones de aguas residuales.

Tabla 3.3 Muestras después de 100 horas de exposición a las aguas residuales.

Concentración	Muestra	Inspección visual	Observaciones
0%		No hubo corrosión.	No se puede destacar algún tipo de cambio en ninguna de las muestras del acero AISI 304. Los valores de pH se mantienen. No se puede evaluar la corrosión en el marco de la norma ASTM D610.
25%		No hubo corrosión.	
50%		No hubo corrosión.	
75%		No hubo corrosión.	
100%		No hubo corrosión.	

Tabla 3.4 Muestras después de 200 horas.

Concentración	Muestra	Inspección visual	Observaciones
0%		No hubo corrosión.	<p>No se puede destacar algún tipo de cambio en ninguna de las muestras del acero AISI 304.</p> <p>Los valores de pH se mantienen. No se puede evaluar la corrosión en el marco de la norma ASTM D610.</p>
25%		No hubo corrosión.	
50%		No hubo corrosión.	
75%		No hubo corrosión.	
100%		No hubo corrosión.	

Tabla 3.5 Muestras después de 300 horas.

Concentración	Muestra	Inspección visual	Observaciones
0%		No hubo corrosión.	<p>No se puede destacar algún tipo de cambio en ninguna de las muestras del acero AISI 304.</p> <p>Los valores de pH se mantienen. No se puede evaluar la corrosión en el marco de la norma ASTM D610.</p>
25%		No hubo corrosión.	
50%		No hubo corrosión.	
75%		No hubo corrosión.	
100%		No hubo corrosión.	

A medida que el tiempo avanzó, los pernos de acero inoxidable AISI 304 no mostraban cambio alguno (como se detalla en las tablas 3.3, 3.4 y 3.5), por lo que después de pasar sumergidas 600 horas, se optó por realizarles un corte en forma de “X” en la parte superior de donde se sujetan para enroscar (ilustración 3.3) y monitorear cada dos semanas las piezas.

Ante de este cambio, se tomaron los parámetros de cada una de las muestras, estos a su vez serían los parámetros para el inicio en el comportamiento de las nuevas muestras, se obtuvo los siguientes resultados de la Tabla 3.6.

Tabla 3.6 Parámetros de las muestras después de 600 horas.

Parámetros	Agua fresca	Agua residual 25%	Agua residual 50%	Agua residual 75%	Agua residual
pH	6.70	7.10	7.28	7.35	7.44
DQO (ppm)	3	358	716	1074	1432
Temperatura (°C)	24.1	24.5	24.2	24.2	24.5

La nueva disposición pasa a ser la mostrada en la ilustración 3.3.



Ilustración 3.3 Pernos de acero con corte en forma de “X” y recipientes de muestras.

Tabla 3.7 Muestras al inicio de la modificación en pernos.

Concentración	Muestra	Inspección visual	Observaciones
0%		No hubo corrosión.	No se puede destacar algún tipo de cambio en ninguna de las muestras del acero AISI 304. No se puede evaluar la corrosión en el marco de la norma ASTM D610.
25%		No hubo corrosión.	
50%		No hubo corrosión.	
75%		No hubo corrosión.	
100%		No hubo corrosión.	

Tabla 3.8 Muestras dos semanas después de la modificación.

Concentración	Muestra	Inspección visual	Observaciones
0%		No hubo corrosión.	No se puede destacar algún tipo de cambio en ninguna de las muestras del acero AISI 304. Los parámetros físicos en las muestras de agua no han tenido cambios significativos. No se puede evaluar la corrosión en el marco de la norma ASTM D610.
25%		No hubo corrosión.	
50%		No hubo corrosión.	
75%		No hubo corrosión.	
100%		No hubo corrosión.	

Tabla 3.9 Muestras cuatro semanas después de la modificación.

Concentración	Muestra	Inspección visual	Observaciones
0%		Ligero cambio de color, pero sin corrosión.	No se puede evaluar la corrosión en el marco de la norma ASTM D610
25%		Ligero cambio de color, pero sin corrosión.	
50%		Ligero cambio de color, pero sin corrosión.	
75%		Ligero cambio de color, pero sin corrosión.	
100%		Ligero cambio de color, pero sin corrosión.	

Tabla 3.10 Parámetros de aguas en las muestras finales.

Parámetros	Agua fresca	Agua residual 25%	Agua residual 50%	Agua residual 75%	Agua residual
pH	6.65	7.03	7.25	7.32	7.41
DQO (ppm)	0	288.75	577.5	866.25	1155
Sólidos Sedimentables (ml/L)	0	5	12.5	26.25	33.75
Temperatura (°C)	24.1	24.5	24.2	24.2	24.5

La apariencia de los recipientes previo a las pruebas finales se muestra en la ilustración 3.4.



Ilustración 3.4 Fotografía de los recipientes después de aproximadamente 1270 horas.

Desde la tabla 3.7 se comenzó a llevar un registro de los pernos y sus posibles cambios posterior a la modificación física en su parte superior. La Tabla 3.8 muestra los resultados pasadas 336 horas, sin ningún cambio visible. La tabla 3.9 se realizó en base a los resultados obtenidos luego de 672 horas de exponer los pernos modificados en el agua residual, no se muestra evidencias de corrosión, solo un ligero cambio en la coloración del acero.

En la tabla 3.10 se pueden apreciar los parámetros de cada muestra de agua, los cuales se realizaron al final de la prueba.

Conclusiones

1. Mediante la evidencia recopilada se comprueba que la elección del material, en este caso acero inoxidable AISI 304, desempeña un rol protector significativo, aunque no se implementen recubrimientos o tratamientos adicionales contra la corrosión. Esta aleación, al ser inherentemente resistente a la corrosión gracias a su composición con cromo y níquel, ofrece una defensa robusta incluso en entornos desafiantes como el de las plantas de tratamiento de aguas residuales.
2. Podemos concluir que, a escalas de tiempo relativamente cortas, es imposible percibir los cambios que pudieran aparecer por los parámetros fisicoquímicos y la carga contaminante del agua que se está tratando, debido a la resistencia a la corrosión y los tiempos de corrosión que presenta el acero inoxidable AISI 304 que se estudió bajo las condiciones que se estudiaron.
3. Si bien la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales construida con acero AISI 304 puede resultar una inversión inicial elevada, esto trae como beneficio un material altamente resistente a la corrosión, por lo cual el costo por algún tipo de protección extra o el reemplazo de tuberías y componentes dañados por el efecto corrosivo se vuelve prácticamente nulo.
4. Finalmente, se concluye que la selección del material de construcción del sistema de tuberías de la planta de tratamiento de aguas residuales, acero inoxidable AISI 304, fue óptima respecto a la resistencia a la corrosión, puesto que no presentó ningún tipo de daño o deterioro durante las pruebas.

Recomendaciones

1. En la elección de materiales para sistemas de tuberías o equipos destinados al manejo de aguas residuales con características similares a las que se han estudiado, se sugiere optar por el acero inoxidable AISI 304. Esta aleación se destaca por su durabilidad excepcional y resistencia sobresaliente a la corrosión, lo cual conlleva a una notable reducción en los costos asociados al mantenimiento a lo largo del tiempo.
2. Teniendo en cuenta la durabilidad y resistencia a la corrosión del acero inoxidable AISI 304, se sugiere el cuidado en la elección de válvulas y conexiones compatibles con este, ya que no solo ofrece una protección específica contra la corrosión galvánica, sino que también contribuye a la sostenibilidad y longevidad del sistema, reduciendo los riesgos operativos y los costos asociados al mantenimiento.
3. Considerando la limitada duración del periodo de investigación se recomienda exceder dicho límite de tiempo para favorecer la observación de procesos corrosivos, posibilitando así un análisis más exhaustivo de las piezas compuestas por un material notablemente resistente a la corrosión como el acero inoxidable AISI 304.
4. Luego de analizar los cambios en las condiciones iniciales y finales del agua, se concluye que a medida que transcurrió el estudio hubo una degradación en esta, por lo que se sugiere que para estudios posteriores se considere esta degradación en el diseño experimental.

Bibliografía

Bethencourt, M., García de Lomas, J., Corzo, A., Villahermosa, D., & Matres, V. (2010). Efecto de la biopelícula en la corrosión de aceros inoxidable. *Revista de metalurgia*, 46(1), 37–51. Obtenido de <https://doi.org/10.3989/revmetalm.0910>

Deutschland, D. (2020). Mn-net.com. Recuperado el 15 de octubre de 2023, de <https://www.mn-net.com/media/pdf/3b/96/ea/Instruction-985036-Tube-test-NANOCOLOR-COD-LR-150.pdf>

Han, H.H. y Klute, R. (1990). *Chemical water and wastewater treatment*. Ed. Springer-Verlag, Darmstadt, Germany.

Levine, I. N. (1991). *Físico Química. 3.ª ed, español*. Ed. Macgraw-Hill. Interamericanade España. Madrid, España.

Marín Galvín, R. (1995). *Análisis de Aguas y Ensayos de Tratamiento: Principios y Aplicaciones*. Ed. GPE, S.A. Barcelona, España.

Marín Galvín, R. (2003). *Fisicoquímica y Microbiología de los Medios Acuáticos. Tratamiento y Control de Calidad de Aguas*. Ed. Díaz de Santos. Madrid, España.

Martínez, M. (2012). *Aceros Inoxidables Austeníticos*. Eae Editorial Academia Española. España. Europer.cl. Recuperado el 20 de octubre de 2023, de <https://europer.cl/wp-content/uploads/2021/11/FICHAS-TECNICA-ACERO-INOX.304-304L.pdf>

Martínez, R. V. (2014). *Bolsas de gases corrosivos en acueductos que transportan agua residual* (Tesis de ingeniería). Unidad de ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México.

Rodríguez Mellado, J. y Marín Galvín, R. (1999). *Fisicoquímica de Aguas*. Ed. Díaz de Santos. Barcelona, España.

Tchobanoglous, G. y Schroeder, E. D. (1985). *Water Quality*. Ed. Adisson-Wesley Pub.Co. Reading (Mass). California, United States.

Tomero, C.Z (2019). *Recubrimientos anticorrosivos inteligentes y medioambientales aceptables basados en nanopartículas de sílice* (Tesis de doctorado). Unidad de ingeniería. Universidad Complutense de Madrid. Madrid, España.

Anexos

**Anexo A: FICHA TECNICA.
ACERO INOXIDABLE 304/ 304L**

**Obtenido de [https://euoper.cl
/wp-content/uploads/2021/11
/FICHAS-TECNICA-ACERO-
INOX.304-304L.pdf](https://euoper.cl/wp-content/uploads/2021/11/FICHAS-TECNICA-ACERO-INOX.304-304L.pdf)**

Aceros Inoxidables	Normas		
	AISI	W. Nr.	DIN
Austeníticos	304	1.4301	X5CrNi18-10
	304L	1.4306	X2CrNi19-11

Aplicaciones

Debido a su buena resistencia a la corrosión, conformado en frío y soldabilidad, este acero es usado extensivamente para la fabricación de utensilios domésticos, lavavajillas, cuchillería, bienes de consumo, arquitectura e industria automotriz. Además, es utilizado en la construcción de estructuras y/o contenedores para las industrias procesadoras de leche, cerveza, vino, alimentos, etc. así como en la industria química de producción del nitrógeno. Para la calidad 304L (bajo contenido de carbono) se puede aplicar en la producción de ácido nítrico, industria farmacéutica e ingeniería nuclear.



Composición Química (Valores Promedio, %)

Tipo Acero	C	Cr	Ni
AISI 304	≤0,07	17 - 19,5	8 - 10,5
AISI 304L	≤0,03	18 - 20	10 - 12

Características del Acero

Acero inoxidable austenítico, aleado con Cr y Ni y bajo contenido de C que presenta una buena resistencia a la corrosión. En la condición de suministro resiste a la corrosión intergranular en el rango de hasta 300°C y 350° C para la calidad 304L. No se requiere un tratamiento posterior al proceso de soldadura; tiene propiedades para embutido profundo, no es templable ni magnético.

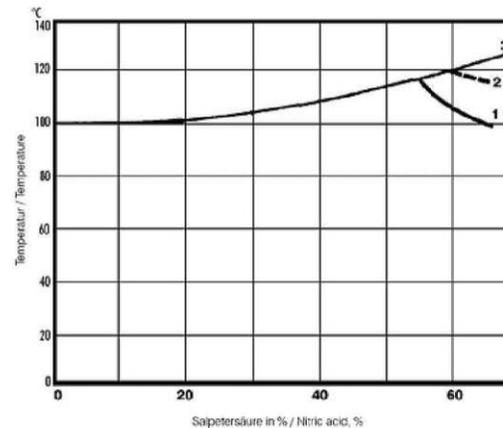
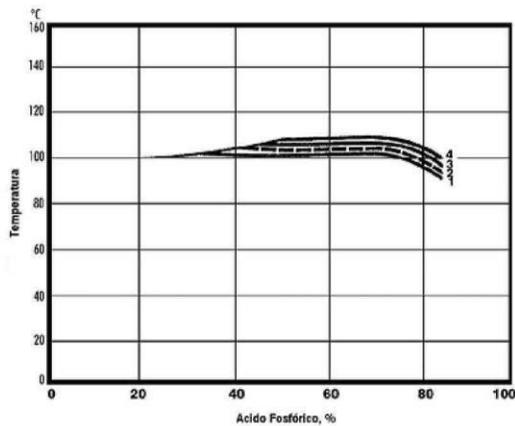
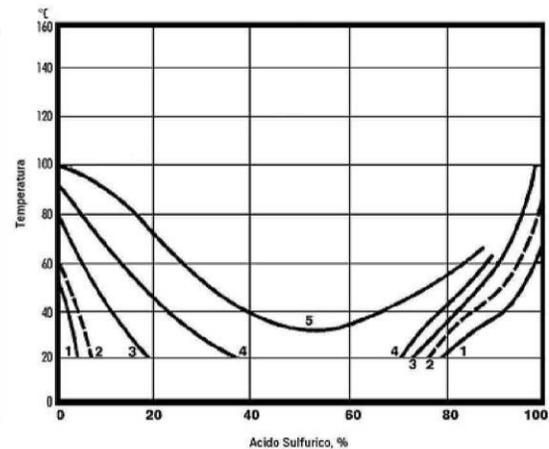
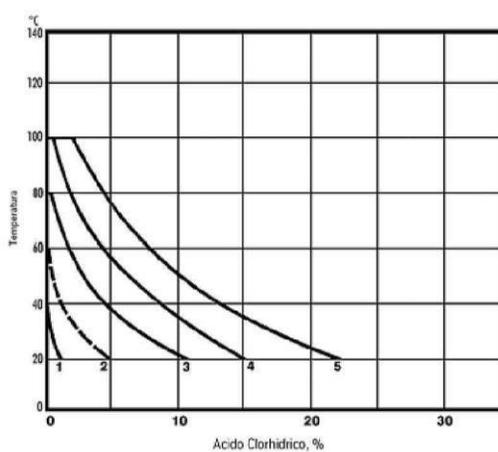
Puede ser fácilmente trabajado en frío (p.ej. doblado, cilindrado, embutido profundo, etc.). Sin embargo, el alto grado de endurecimiento que alcanza por trabajo en frío, comparado con aceros de baja aleación, hacen requerir de mayores



esfuerzos para su proceso de conformado.

Resistencia a la corrosión.

En los diagramas se observan las pérdidas de peso, determinadas experimentalmente para diferentes probetas atacadas con concentraciones variables para distintos ácidos en función de la temperatura. Las curvas representan la pérdida de peso de 0,1 0,3 1,0 3,0 y 10,0 gr/m²·Hr. Generalmente una pérdida de peso de 0,3 gr/m²·hr (línea segmentada) se considera en el límite para ser considerado económicamente viable un acero inoxidable.



Curva	Pérdida de peso
1	0,1 gr/m ² ·hr.
2	0,3 gr/m ² ·hr.
3	1,0 gr/m ² ·hr.
4	3,0 gr/m ² ·hr.
5	10,0 gr/m ² ·hr.

Propiedades del Acero

Propiedades mecánicas

Temperatura ambiente

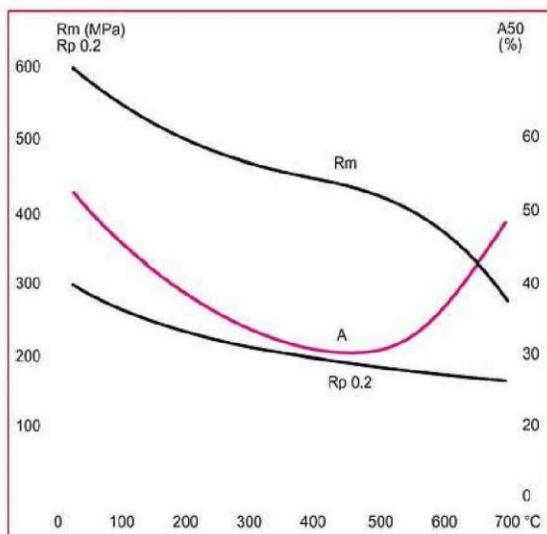
Tipo Acero	Rango de dimensiones	Límite Elástico 0,2% ($R_{p0,2}$) min. N/mm ²	Resistencia a la tracción (R_m) N/mm ²	Elongación (A_5) min. %
304	Laminado en frío e ≤ 6 mm.	≥ 230	540 - 750	≥ 45
	Laminado en caliente e ≤ 6 mm.	≥ 210	520 - 720	≥ 45
304L	Laminado en frío e ≤ 6 mm.	≥ 220	520 - 670	≥ 45
	Laminado en caliente e ≤ 6 mm.	≥ 200	520 - 670	≥ 45

Temperatura variable

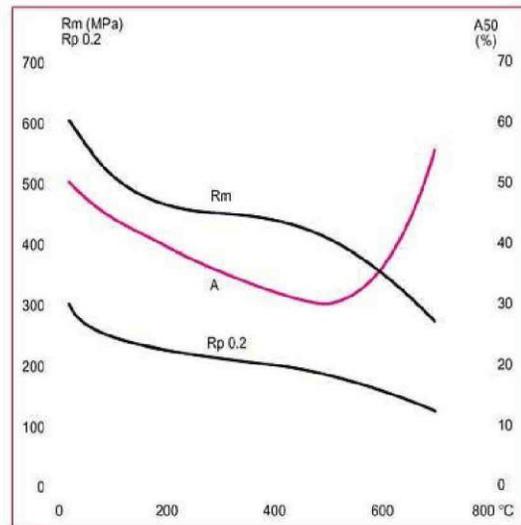
Tipo Acero	Temperatura °C	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550
304	Límite elástico 0,2% ($R_{p0,2}$) min. N/mm ²	157	142	127	118	110	104	98	95	92	90
304L	Límite elástico 0,2% ($R_{p0,2}$) min. N/mm ²	147	132	118	108	100	94	89	85	81	80

Efecto de la temperatura en las propiedades mecánicas

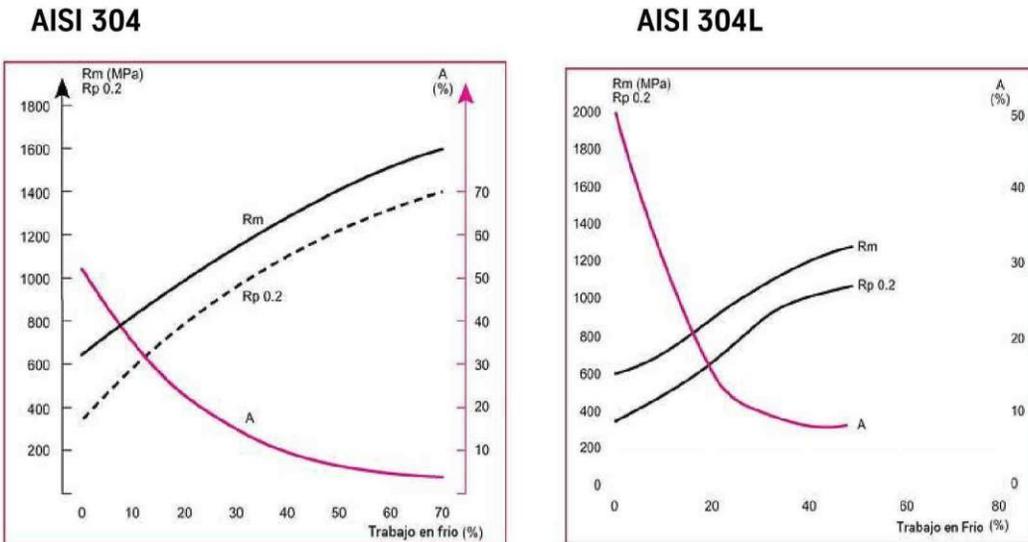
AISI 304



AISI 304L



Efecto de trabajo en frío en las propiedades mecánicas



Propiedades físicas

Densidad a 20°C kg/dm ³	Conductividad Térmica 20 °C W·m ⁻¹ ·K ⁻¹	Calor Específico 20°C J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹	Resistencia Eléctrica 20°C Ω·mm ² /m
7,9	15	500	0,73

Modulo de elasticidad kN/mm²

20°C	100° C	200°C	300° C	400°C	500° C
200	194	186	179	172	165

Coefficiente de expansión térmica in 10⁻⁶ · K⁻¹ entre 20 °C y

	100 °C	200 °C	300 °C	400 °C	500 °C
	16	17	17	18	18

Catálogo Comercial

Tratamiento Térmico

Trabajo en caliente °C	Enfriamiento	Tratamiento térmico °C	Enfriamiento	Estructura
1150 - 850	aire	1000 – 1100	Agua, aire forzado.	Austenita con un contenido menor de ferrita

Recomendaciones sobre mecanizado

Los parámetros de corte que se encuentran a continuación deben ser considerados como valores guía. Estos valores deberán adaptarse a las condiciones locales existentes.

TORNEADO

Parámetros de corte	Torneado con metal duro		Torneado con acero rápido
	Torneado de desbaste	Torneado fino	Torneado fino
Velocidad de corte (vc) m/min.	170 -145	160 - 210	25 - 45
Avance (f) mm/r	0,2 - 0,4	0,1 - 0,2	0,1 - 0,5
Profundidad de corte (ap) mm.	1 - 4	0,5 - 1	0,5 - 3
Mecanizado grupo ISO	M20 - M30	M10	-

Fresado con metal duro

Parámetros de corte	Fresado con metal duro	
	Fresado de desbaste	Fresado en fino
Velocidad de corte(vc) m/min.	60 - 120	100 - 155
Avance (fz) mm/diente	0,2 - 0,3	0,2
Profundidad de corte (ap) mm.	≤ 4	≤ 0,6
Mecanizado grupo ISO	M20 - M30	M10

Taladrado con broca HSS

Diámetro	20	30	40
Velocidad de corte (vc) m/min.	200	200	200
Avance (f) mm/r	0,01	0,12	0,15

**Anexo B: NANOCOLOR DQO
LR 150 (español) obtenido de
[https://www.mn-
net.com/media/pdf/3b/96/ea/Instru
ction-985036-Tube-test-
NANOCOLOR-COD-LR-150.pdf](https://www.mn-net.com/media/pdf/3b/96/ea/Instruction-985036-Tube-test-NANOCOLOR-COD-LR-150.pdf)**

Resumen

El test sirve para la determinación fotométrica de la demanda química de oxígeno (DQO). El test cumple la norma DIN ISO 15705-H45 y es equivalente a los métodos EPA 410.4, APHA 5220D y DIN 38409-H41-1.

El test es adecuado para agua y aguas residuales.

- Rango de medición: 3–150 mg/L O₂ (método 0361)
- Número de determinaciones: 20
- Longitud de onda para la determinación fotométrica: 436 nm
- Duración: 12 meses
- Tiempo de reacción: 120 minutos
- Temperatura de almacenamiento: 15–25 °C
- Condiciones de almacenamiento: protegido de la luz solar, vertical

Método

Las sustancias orgánicas de una muestra de agua se oxidan calentándola con una solución de dicromato de potasio y ácido sulfúrico. La demanda química de oxígeno (DQO) de una muestra de agua es la concentración de oxígeno que es equivalente a la cantidad de dicromato de potasio consumida. El cambio en la concentración de dicromato de potasio se determina a través de la diferencia de absorbancia después de la desintegración.

Alteraciones

Hasta las concentraciones de sustancias extrañas indicadas la muestra no sufre alteraciones. No se ha comprobado el efecto sumario de distintos iones de interferencia.

Datos en mg/L:

- Cl⁻: 2000

Para muestras con un alto contenido de cloruro, es importante suspender el precipitado en el tubo de ensayo agitándolo antes de añadir la muestra. Para contenidos de cloruro superiores a 2000 mg/L, la muestra se debe diluir o debe usarse agente enmascarante de cloruro (REF 918911). Después de la reacción en el bloque térmico, la solución no debe presentar turbidez; de lo contrario se medirán valores de DQO demasiado bajos.

El método no es adecuado para el análisis de agua de mar.

Dejar reposar la turbidez mediante sulfato de mercurio precipitado.

Reactivos y medios auxiliares

Contenido del embalaje:

- 20 cubetas redondas R0

Dispositivos necesarios:

- Fotómetro MACHEREY-NAGEL
- Bloque térmico MACHEREY-NAGEL
- Pipeta de émbolo 1–5 mL (REF 916909) con puntas de pipeta (REF 916916)
- Recipiente de seguridad para agitar las células DQO (REF 91637)

Normas

- NANOCONTROL DQO 160 (REF 92526)
- Multiestándar NANOCONTROL Salida KA 1 (REF 925011)

Toma y preparación de muestras

Ver DIN EN ISO 5667-3-A21.

Control de calidad

Como medida de control de calidad interna, se recomienda la medición de un valor del blanco y de un valor de referencia antes de cada serie de medición.

Parámetros de calidad:

Durante la producción, se determinaron según ISO 8466-1 y DIN 38402-A51 los siguientes datos:

- Número de lotes: 35
- Desviación estándar del método: ± 1 mg/L O₂
- Coeficiente de variación del procedimiento: ± 1 %
- Intervalo de confianza: ± 2 mg/L O₂

Parámetros del proceso:

- Sensibilidad (la extinción 0,010 E corresponde a mg/L): ± 2 mg/L O₂
- Precisión de un valor de medición: ± 5 mg/L O₂

Los certificados específicos de los lotes están disponibles en www.mn-net.com

Procedimiento

1. Suspender el sedimento de la cubeta de reacción agitando por balanceo
2. Abrir un tubo de ensayo. Pipetear 2 mL de muestra en la cubeta
3. Cerrar la cubeta de ensayo y agitarlo (utilizar un recipiente de seguridad, ¡el tubo de ensayo se calienta!)
4. Calentar en el bloque térmico durante 2 h a 150 °C
5. Extraer la cubeta del bloque térmico
6. Agitar por balanceo
7. Dejar enfriar a temperatura ambiente
8. Limpiar el exterior del tubo de ensayo
9. Medir

Notas

Para generar un valor del blanco del reactivo, se debe usar agua sin DQO (REF 918993) como muestra.

El valor de medida utilizando un patrón es constante en un periodo de tiempo de 30 min como mínimo.

La mezcla se puede calentar intensamente.

Si se utiliza otro fotómetro, comprobar si es posible una medición en tubos de ensayo (DE 16 mm) y calibrar el método.

Encontrará la información sobre los riesgos en la etiqueta exterior y en la ficha de datos de seguridad. Puede descargar la ficha de datos de seguridad en www.mn-net.com/SDS.

04/2023

www.mn-net.com

MACHEREY-NAGEL



MACHEREY-NAGEL GmbH & Co. KG
Valenciennner Str. 11
52355 Düren · Germany

DE Tel.: +49 24 21 969-0 info@mn-net.com
CH Tel.: +41 62 388 55 00 sales-ch@mn-net.com
FR Tel.: +33 388 68 22 68 sales-fr@mn-net.com
US Tel.: +1 888 321 62 24 sales-us@mn-net.com

**Anexo C: Ejemplos del control
semanal en pila de homogenización
de la PTAR de rubro textil.**

C1. Tabla de control de primera semana

CONTROL DE PROCESOS FÍSICOQUÍMICOS SEMANA 25													
Fecha	Hora	Caudal (m3/h)	Observaciones	Responsable	pHe	Te (° C)	Color	DQOe (mg/L)	pHs	Ts (° C)	Intensidad de color	SSs (mL/L)	DQOs (mg/L)
19/06/2023	19:00	14	Coloración a la salida	Victor	7,04	32,5	Negro		7,27	31,9	Ligera coloración		
19/06/2023	22:00	14	Coloración a la salida	Victor	7,25	34,2	Negro		7,35	33,5	Ligera coloración		
19/06/2023	23:00	14	Coloración a la salida	Victor	7,09	36	Negro	1209	7,42	33,7	Coloración morada	0	760
20/06/2023	1:00	14	Coloración a la salida	Victor	7,1	36,5	Negro		7,44	35	Coloración morada		
20/06/2023	3:00	14	Coloración a la salida	Victor	7,18	37,1	Negro		7,37	34,8	Coloración morada		
20/06/2023	5:00	14	Coloración a la salida	Victor	6,98	36,6	Negro		7,27	35	Coloración morada		
20/06/2023	17:00	14	Agua clarificada	Victor	7,22	38,7	Morado oscuro		7,42	35,1	Ligera coloración lila		
20/06/2023	19:00	14	Agua clarificada	Victor	7,15	38,2	Morado oscuro		7,42	37	Ligera coloración lila		
20/06/2023	21:00	14	Agua clarificada	Victor	7,09	38	Morado oscuro		7,24	37,7	Ligera coloración lila		
20/06/2023	23:00	14	Agua clarificada	Victor	7,1	37	Morado oscuro	1147	7,38	35,1	Ligera coloración lila	0	1040
21/06/2023	1:00	14	Agua clarificada	Victor	7,05	37,9	Morado oscuro		7,29	37,6	Ligera coloración lila		
21/06/2023	3:00	14	Agua clarificada	Victor	7,05	37,4	Morado oscuro		7,44	36,6	Ligera coloración lila		
21/06/2023	5:00	14	Agua clarificada	Victor	7,07	38,6	Morado oscuro		7,41	37,2	Ligera coloración lila		
21/06/2023	18:00	14	Agua clarificada	Victor	7,11	38,3	Morado oscuro		7,44	36,9	Ligera coloración lila		
21/06/2023	20:00	15	Agua clarificada	Victor	7,09	38,1	Morado oscuro		7,32	37,3	Ligera coloración lila		
21/06/2023	23:00	16	Agua clarificada	Victor	7,07	38,3	Morado oscuro	961	7,29	37,6	Ligera coloración lila	0	869
22/06/2023	1:00	16	Aumento de coloración a la salida	Victor	7,03	38,8	Morado oscuro		7,35	37,7	Coloración morada		
22/06/2023	4:00	16	Coloración a la salida	Victor	7,36	38,1	Morado oscuro		7,36	37,6	Coloración morada		
					7,11	37,24		1105,67	7,36	35,96			889,67

C2. Tabla de control de octava semana

CONTROL DE PROCESOS FÍSICOQUÍMICOS SEMANA ##													
Fecha	Hora	Caudal (m3/h)	Observaciones	Responsable	pHe	Te (° C)	Color	DQOe (mg/L)	pHs	Ts (° C)	Intensidad de color	SSs (mL/L)	DQOs (mg/L)
7/08/2023	21:00	18	Coloración y turbidez a la salida	Victor	7,31	35,7	Negro intenso		7,37	36,1	Leve coloración gris		
7/08/2023	23:00	13	Coloración y turbidez a la salida	Victor	7,25	36,1	Negro intenso	1740	7,26	36,9	Leve coloración gris	1,3	1160
8/08/2023	1:00	13	Coloración y turbidez a la salida	Victor	7,4	36,4	Morado oscuro		7,32	33,7	Leve coloración		
8/08/2023	5:00	13	Coloración y turbidez a la salida	Victor	7,47	36,2	Morado oscuro		7,46	36,5	Leve coloración		
8/08/2023	20:00	16	Agua clarificada	Victor	7,13	38,5	Morado oscuro		7,43	38,5	Leve coloración		
8/08/2023	23:00	15	Agua clarificada	Victor	7,23	40	Morado oscuro	1178	7,43	38,6	Leve coloración	0,3	790
9/08/2023	1:00	15	Agua clarificada	Victor	7,11	40,1	Morado oscuro		7,43	38,9	Leve coloración		
9/08/2023	3:00	15	Agua clarificada	Victor	7,15	40,6	Morado oscuro		7,39	39,1	Leve coloración		
9/08/2023	5:00	15	Agua clarificada	Victor	7,18	39,7	Morado oscuro		7,4	38,7	Leve coloración		
9/08/2023	21:00	17	Agua clarificada	Victor	7,15	41,1	Morado oscuro		7,43	40,1	Leve coloración		
9/08/2023	23:00	17	Agua clarificada	Victor	7,14	41,6	Morado oscuro	1740	7,48	39,3	Leve coloración	0,3	1030
10/08/2023	1:00	17	Agua clarificada	Victor	7,12	39,4	Morado oscuro		7,32	39,1	Leve coloración		
10/08/2023	4:00	17	Agua clarificada	Victor	7,13	38,5	Morado oscuro		7,36	37,1	Leve coloración		