

Reducción de Aceites y Grasas en Agua mediante Descarga de Plasma de Barrera Dieléctrica

Anghie Sánchez Aguilar, Br. ¹, Angie Pacheco Flores, Br. ¹, Carlos A. Castañeda Olivera, Dr. ¹, Jorge Jave Nakayo, Dr. ^{1,2}, Eusterio H. Acosta Suasnabar, Dr. ¹, y Elmer Benites-Alfaro, Dr ^{1*}.

¹ Universidad César Vallejo, Av. Alfredo Mendiola 6232, CP: 15314, Perú, sanchezaaguilar.9433@gmail.com, angie.pacheco1994@gmail.com, castanedao@ucv.edu.pe, euhas123@gmail.com, *ebenitesa@ucv.edu.pe

² Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Ciudad Universitaria, Av. Venezuela, CP. 15081, Perú, jojave@gmail.com

Resumen– La contaminación de agua por compuestos de aceites y grasas producto de las actividades humanas y en otros casos debido a accidentes, reduce la posibilidad de su uso y se origina un gran problema al medio ambiente. Esta forma de contaminación de las fuentes de agua repercute en la salud de las personas, la fauna y la flora. Existen métodos variados para descontaminación de aguas residuales de la industria y estar en condiciones de ser vertidas en los cuerpos receptores para que no produzcan impactos negativos o en otros casos volverlas a usar. En la presente investigación el objetivo fue tratar agua contaminada con aceites y grasas generadas en un taller de servicio mecánico y radiadores mediante la tecnología de descarga de plasma de barrera dieléctrica que viene alcanzando aceptación por sus ventajas ambientales y de eficiencia. Con la aplicación de esta tecnología se logró reducir el 99.94% de aceites y grasas (AyG) presentes en el agua contaminada. También mejoró las propiedades fisicoquímicas del agua, estableciéndose que el método resultó viable y eficiente.

Keywords: Plasma de barrera dieléctrica, tratamiento de agua, disminución de aceites y grasas, tecnología limpia.

Abstrac- Water contamination by oil and grease compounds is the result of human activities and, in other cases, may be caused by accidents, reducing the possibility of its use and at the same time creating a major problem for the environment. This form of contamination of water sources has repercussions on the health of people, fauna and flora. There are various methods to decontaminate industrial wastewater so that it can be discharged into the receiving bodies so that it does not produce negative impacts or, in other cases, to reuse it. The objective of this research was to treat water contaminated with oils and grease generated in a mechanical service shop and radiators, using dielectric barrier plasma discharge technology, which has been gaining acceptance due to its environmental and efficiency advantages. With the application of this technology, 99.94% of the oils and greases (O&G) present in the contaminated water were reduced. The physicochemical properties of the water were also improved, establishing that the method was feasible and efficient.

Keywords: Dielectric barrier plasma, water treatment, wastewater, oil and grease reduction, clean technology

I. INTRODUCCIÓN

Los aceites y grasas que se generan en las aguas residuales ocasionan muchos problemas en los sistemas de alcantarillado y las plantas de tratamiento de aguas residuales.

Digital Object Identifier (DOI):
<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2021.1.1.118>
ISBN: 978-958-52071-8-9 ISSN: 2414-6390.

Los aceites y grasas (AyG) son componentes que están generalmente presentes en menor o mayor cantidad principalmente en las aguas urbanas o en aguas que generan las industrias o actividades comerciales donde se usa productos a base de AyG. Algunas publicaciones [1] al respecto indican que las concentraciones de AyG están entre 40 y 80 mg/L en las aguas residuales y a veces superan los 100 mg/L, esto significa la presencia de 25 a 50 kg de estos compuestos por hora (cálculo hecho teniendo un flujo de 12 000 m³/día en una planta depuradora), este hecho significa un potencial problema de incrustación en las redes de alcantarillado y colmataciones entre otros inconvenientes.

Existe la tecnología de la Descarga de Plasma de Barrera Dieléctrica (PBD) para la generación de ozono en el tratamiento de agua, asimismo su aplicación se viene utilizando para diversos casos como el tratamiento de polución de material particulado, tratamiento de superficies de polímeros (aumentar su impresión y adhesión) y tratamiento de gases [2]. También la tecnología de PBD se empleó para la producción de hidrógeno y CO a partir de gasificación de propano [3]. En otro caso se usó un reactor de PBD para degradar azul de metilo, indicando que no se presentó cambios al usar la solución a diferentes pH y conductividad eléctrica, lo que da un potencial al método en el tratamiento de aguas residuales considerando que redujo el DQO en 48.3% [4], trabajo similar se hizo para remover varios contaminantes del agua alcanzando 100% de mineralización del azul de metilo y ceftriaxona en 5 minutos de tratamiento, para el fenol y paracetamol sucedió a los 15 minutos y para la cafeína 25 minutos aplicando 20 kV de voltaje[5]. Con la misma tecnología se eliminó Cromo (VI) y colorante azoico naranja ácido (AO7) con la característica que la presencia de Cromo VI mejoró la eficiencia en la degradación del colorante y viceversa, a pH 3 de trabajo[6]. Durante los últimos años esta tecnología se viene optimizando sobre todo en el diseño y construcción del reactor de descarga de PBD en cuanto a su operación en la reacciones del agua y otros líquidos [7].

Mediante generación de PBD se ensayó la oxidación avanzada para la mineralización del plaguicida Endosulfán con presencia del catalizador de Cerio que aumentó 3 veces la mineralización, observando que la velocidad de degradación fue proporcional a la entrada de energía [8]. Con el mismo

método se logró eliminar el 90.2% de concentración de anilina (100mg/L) en agua al cabo de 12 minutos, haciéndose ver que el pH y voltaje utilizado intervienen en el proceso de tratamiento, el ensayo se desarrolló a un pH de 8.43 usando 3 kV de voltaje [9].

Para contrarrestar el consumo de energía en la generación de PBD se han realizado formas híbridas en el diseño del equipo mediante el empleo de catalizadores, absorbentes y oxidantes, pero lo fundamental en este proceso está los radicales con fuerte poder oxidativo ($\bullet\text{OH}$, $\bullet\text{O}$, H_2O_2 , O_3 , entre otros), además la irradiación ultravioleta, ondas de choque y la alta temperatura puntal que pueden presentarse [10]; Sin embargo, en la presente investigación no se recurrió a este diseño. En una investigación para degradar el contaminante acuoso violeta de cristal (CV) se determinó la presencia del radical OH en el proceso y se agregó Fe^{+2} para mejorar el rendimiento del reactor [11].

El objetivo de la investigación fue reducir la presencia de aceites y grasas en aguas residuales de una empresa que genera aguas contaminadas en sus actividades de servicios, mediante la tecnología de descarga de plasma de barrera dieléctrica, para esto se diseñó y construyó un equipo de PBD, obteniendo resultados positivos a niveles dentro de los valores máximos admisibles (VMA) estipulados por la normatividad peruana y confirmando los resultados similares que se encuentra en la literatura científica; Además de ser un método con ventajas ambientales, al no usarse productos químicos contaminantes para el tratamiento de aguas residuales industriales.

Paralelamente también se evaluaron parámetros fisicoquímicos del agua residual antes y después del tratamiento con PBD, tales como Temperatura, Potencial de hidrógeno (pH), Conductividad eléctrica (CE), Potencial Redox, Sólidos Totales, Sólidos Disueltos, Sólidos Suspendedos Totales (SST), Turbidez, Oxígeno Disuelto (OD), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) con resultados favorables en su mayoría en el mejoramiento de calidad del agua residual tratada.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se desarrolló tomando como muestra agua contaminada con A y G en una empresa de servicios de radiadores y otros servicios, en donde se hace uso de varios productos químicos siendo una de sus líneas el “servicio de lavado” donde se genera agua conteniendo A y G.

El proceso de la investigación siguió las siguientes fases:

1. Análisis inicial de la muestra contaminada: para determinar la concentración inicial de los AyG.
2. Diseño y construcción de equipo de descarga de plasma de barrera dieléctrica (ver Fig. 1), teniendo como características principales: Voltaje de ingreso 15 kV logrado mediante un equipo rectificador de corriente alterna a continua.

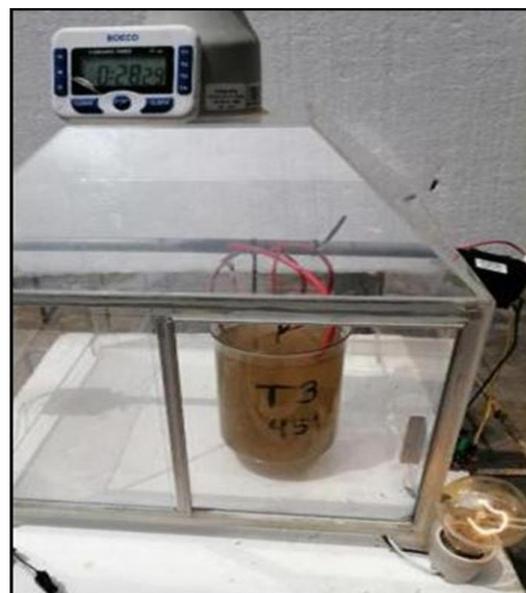


Fig. 1 Equipo de descarga de plasma de barrera dieléctrica

3. Tratamiento de la muestra de agua con PBD durante tiempos de 5, 10, 15, 20, 30 y 45 minutos (Fig. 2).

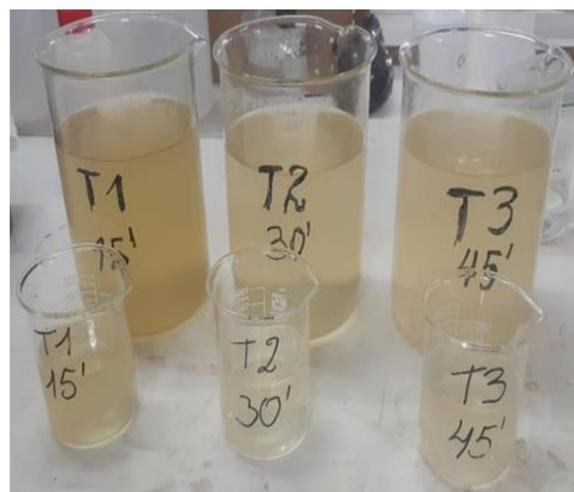


Fig. 2 Aguas residuales tratadas

4. Análisis de los resultados obtenidos en torno a las propiedades fisicoquímicas, con énfasis en la concentración de AyG.

Los valores máximos admisibles que indica la normatividad ambiental peruana en el D.S. 010-2019-VIVIENDA, se muestra en la TABLA I, los resultados de variación de los parámetros en el tratamiento, tuvieron también referencia a estos valores.

TABLA I
VMA DE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS

Parámetro	Unidades	Simbología	VMA para descargas al sistema de alcantarillado
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	DBO	500
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	DQO	1000
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	SST	500
Aceites y Grasas	mg/L	AyG	100

Fuente: [12].

III. RESULTADOS

A. Parámetros fisicoquímicos iniciales de la muestra de agua contaminada con aceites y grasas

El análisis inicial de la muestra presentó los niveles de parámetros fisicoquímicos que se muestran en la Tabla II. Destaca que el agua presenta un pH alrededor del neutro, DQO nivel alto y con un DBO₅ muy bajo. En cuanto a los aceites y grasas presenta una concentración de 2 927 mg/L.

TABLA II
PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS INICIAL DE AGUA CONTAMINADA CON ACEITES Y GRASAS (AYG)

Parámetro	Unidades	Magnitud
Temperatura	°c	19.5
pH (potencial de hidrógeno)		7.13
Conductividad eléctrica	μS/cm	850.4
Potencial Redox	mV	112
Sólidos Totales	mg/L	4548
Sólidos Disueltos	mg/L	3732
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	816
Turbidez	NTU	180.5
Oxígeno Disuelto	mg O ₂ /L	1.27
Demanda Química de Oxígeno	mg O ₂ /L	466.667
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	1.15
Aceites y grasas inicial	mg AyG/L	2927

B. Parámetros fisicoquímicos del agua contaminada con hidrocarburos luego del tratamiento con PBD

En la Tabla III se presenta los valores de los parámetros fisicoquímicos del agua contaminada con hidrocarburos a diferentes tiempos de tratamiento. Se encontró que el pH tiene una tendencia a mantenerse entre 7.05 y 8.23, rango considerado como neutro. En cuanto al potencial redox se observa un aumento en los 20 primeros minutos de

tratamiento para luego mantenerse muy próximo a un valor constante alrededor de 150 mV a más tiempo de tratamiento.

TABLA III
PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS DE AGUA A DIFERENTES TIEMPOS DE TRATAMIENTO POR PBD

Parámetro	Unidades	Tiempo (min) de tratamiento PBD					
		5	10	15	20	30	45
Temperatura	°c	20.5	20.5	20.5	22.6	22.6	22.4
pH		7.6	7.1	7.05	8.03	8.23	7.95
Conductividad eléctrica	μS/cm	940	1118	1240	1656	2212	2285
Potencial Redox	mV	125	118	105	149	152	150
Sólidos Totales	mg/L	3789.8	2757	2559.1	2711	1589	982
Sólidos Disueltos	mg/L	2989	1982	1780	2022	940	709
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	800.8	775.1	779.1	689	649	73
Turbidez	NTU	165	158	145	125	108.1	79.9
Oxígeno Disuelto	mgO ₂ /L	1.45	1.98	2.36	2.75	3.47	4.86
Demanda Química de Oxígeno	mgO ₂ /L	356	287	200	185.2	133.3	66.67
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	mgO ₂ /L	2.23	6.42	12.34	16.41	24.74	32.27

Con tendencia en aumento también se encontró respecto a la conductividad eléctrica que luego de aproximadamente 30 minutos de tratamiento la tendencia es a mantenerse con un leve aumento al pasar el tiempo.

Respecto a la presencia de sólidos totales en la muestra de agua contaminada con hidrocarburos tratada mediante PBD se obtuvo una tendencia a la disminución, conforme se aumentaba el tiempo de tratamiento conforme se aprecia en la Fig. 3.

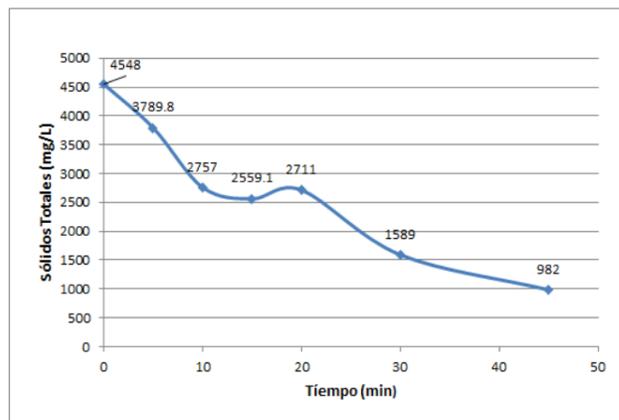


Fig. 3 Sólidos Totales de las aguas residuales

De la misma manera la turbidez conforme transcurre el tratamiento disminuyó, con la tendencia que se presenta en la Fig. 4.

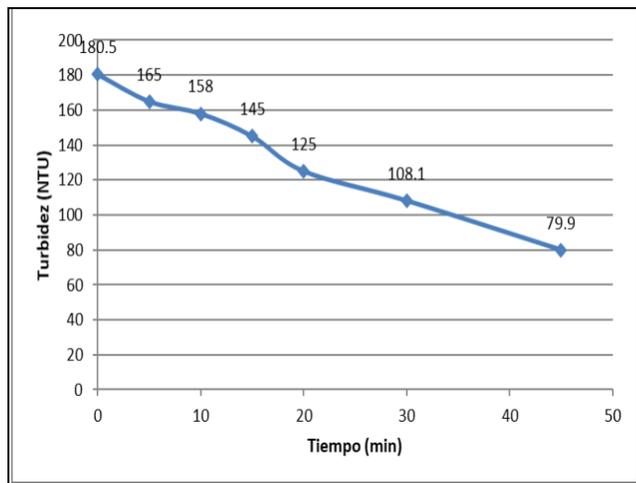


Fig. 4 Turbidez de las aguas residuales

Otro parámetro que tiene variación es el Oxígeno Disuelto, a más tiempo de tratamiento con PBD se observó que éste va en aumento en el sistema, conforme de presenta en la Fig. 5.

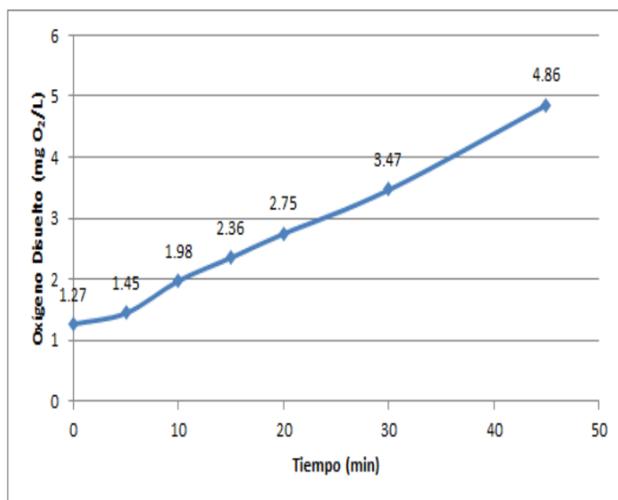


Fig. 5 Oxígeno disuelto de las aguas residuales

La DQO presentó una tendencia a la disminución con el tiempo de tratamiento, conforme se aprecia en la Fig. 6. En cuanto al DBO₅ este parámetro fue aumentando a más tiempo de tratamiento desde 2.23 hasta 32.27 mg/L

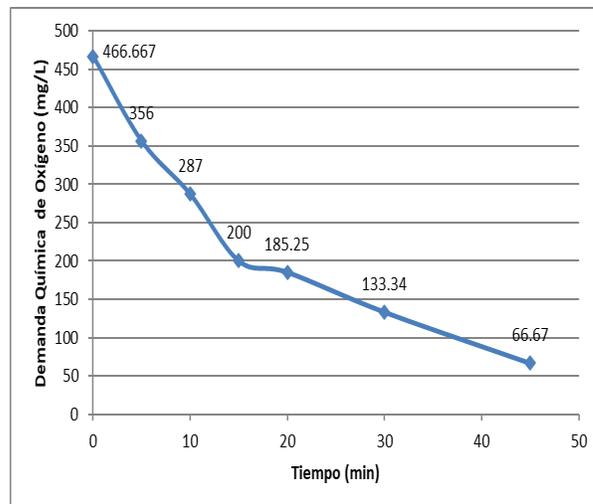


Fig. 6 Demanda Química de Oxígeno de las aguas residuales

C. Concentración de aceites y grasas

La concentración total de aceites y grasas presentes en el agua tratada fue disminuyendo paulatinamente conforme aumentaba el tiempo de tratamiento, esto se muestra en la Fig. 2. De tal modo se logró reducir estos compuestos hasta el valor de 1.86 mg/L luego de 45 minutos del aplicarse la descarga de plasma de barrera dieléctrica, (Tabla IV). Para efectos de comparación significa que se logró una disminución de 99.94% de la concentración de AyG en aguas residuales.

TABLA IV
ACEITES Y GRASAS DE AGUA CONTAMINADA A DIFERENTES TIEMPOS DE TRATAMIENTO CON PBD

Tiempo (min)	Concentración de AyG (mg/L)
0	2927
5	2611
10	2201
15	1936
20	1651
30	975
45	1.86

Con la información experimental se ajustó la curva de disminución de concentración de AyG mediante una regresión polinomial, como se muestra en la Fig. 7. El propósito fue establecer el tiempo aproximado necesario de tratamiento que disminuya la presencia de AyG a un valor cercano a cero, obteniéndose la relación (1):

$$y = 0.0141x^2 - 65.252x + 2915.3 \quad (1)$$

Con $R^2=0.999$

Mediante la ecuación (1), se encontró que la concentración de AyG estará cerca a cero en el tiempo aproximado de 45.12 minutos de tratamiento con PBD; es decir, en este tiempo se lograría obtener un 100% de reducción de dichos contaminantes (AyG) del agua residual con las características particulares del agua del estudio.

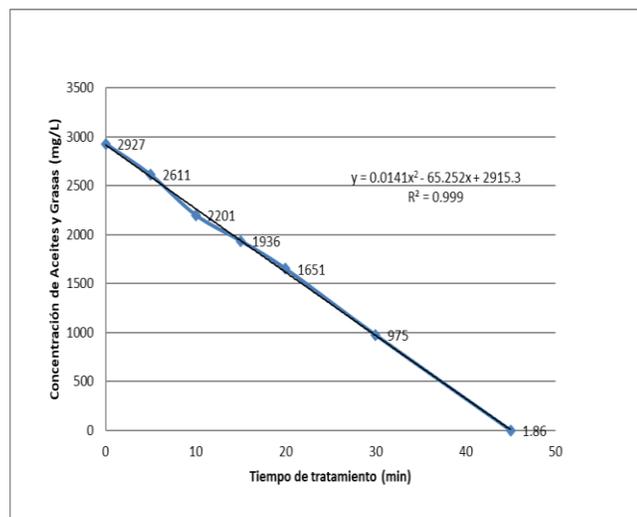


Fig. 7 Tendencia de disminución de la concentración de AyG

IV. DISCUSIÓN

La muestra de agua en el estudio presentó condiciones de contaminación que al ser dispuestas en cuerpos receptores causarían daño ambiental. Se determinó que tenía parámetros fisicoquímicos (TABLA II) con concentraciones fuera de los niveles de los valores máximos admisibles señalado en la norma peruana, que indica para Demanda Química de Oxígeno que es de 1000 mg/L, para Sólidos Suspendedos Totales de 500 mg/L y Aceites y Grasas de 100 mg/L [12].

La presencia elevada de materia orgánica está relacionada con la DQO [13] significando que existe riesgo a reducir el oxígeno disuelto induciendo a condiciones anaerobias con peligro a la vida acuática; sin embargo la muestra estudiada no presentó valor inicial de DQO fuera del nivel de los VMA, pero se observó que luego del tratamiento de PBD se logró reducir este parámetro en el 85.7%, en comparación con resultados conseguidos por otros investigadores que alcanzaron el 48.3% [4], 100% [5], 90.2% [9]. Por otro lado, el OD en la muestra inicial fue de 1.27 mg/L por debajo de 1.5-2.0 mg/L que es lo mínimo para evitar la presencia de olores fétidos por la proliferación de microorganismos anaerobios, por lo que un OD alto propicia la presencia de bacterias aerobias [14]. Se considera un valor de OD menor de 4 mg/L agua de mala calidad, de 4.1 a 7.9 mg/L de calidad aceptable y mayor de 8 mg/L de buena calidad.

En cuanto al DBO el proceso de tratamiento mejoró en un 96.43% desde una concentración inicial muy baja (1.15 mg/L) hasta 32.27 mg/L. No se descarta que los valores bajos encontrados en el DBO probablemente se debiesen a la presencia de elementos inhibitorios en el agua residual (como el cromo), por ser un parámetro débil para algunos efluentes al contrastar el análisis solo una pequeña fracción de la presencia orgánica, conforme a literatura científica [15], [16], [17].

Otro de los parámetros importantes que se logró reducir con el PBD fue los sólidos suspendidos totales desde 816 hasta 73 mg/L equivalente al 38.72% quedando dentro del VMA de la norma peruana [12]. Cabe indicar que la muestra presentó alta concentración de sólidos disueltos y el tratamiento redujo el 81%, esto se debió a la naturaleza del agua residual proveniente de un proceso de lavado, esta presencia alta de SST se refleja también el valor de la turbidez que se encontró inicialmente pero que luego del proceso con PBD disminuyó en un 55.7%.

Los aceites y grasas fueron reducidos en el 99.94% dejando al agua residual dentro del VMA ya antes mencionada que es de 100 mg/L, valor que permitiría ser dispuesto las aguas residuales en el cuerpo receptor sin transgredir la normatividad ambiental; pero lo más importante es la confirmación de la efectividad de la metodología de descarga de PBD para modificar este tipo de parámetro que produce impactos negativos significativos en la infraestructura sanitaria y cuerpos receptores. También el uso de esta tecnología favorece mejorar otros parámetros [4], conforme se muestran en la TABLA II.

Esta eficiencia en la disminución de los AyG y otros elementos se debe al fenómeno de captación de radicales que se producen en la generación con el PBD donde la capacidad oxidante del oxidrilo es importante en la degradación [9], [11]. También la tensión eléctrica (voltaje) que se emplea interviene en la velocidad de mineralización de la materia orgánica y otros contaminantes, en una investigación [9] se usó 3 kV a un pH de 8.43 obteniéndose el 90.2% de reducción de un colorante; Sin embargo, en la investigación que se da cuenta se diseñó el equipo de PBD operando a 15 kV, con resultado muy próximo al 100% en la disminución de AyG y no se recurrió al uso de catalizadores como se sugiere en otra investigación [10] para ahorro de energía. En cuanto al pH se mantuvo en el rango cercano al neutro por lo que no se notó influencia, sin embargo, se debe tomar en cuenta el potencial redox que aumenta en los primeros 20 minutos para luego mantenerse casi constante alrededor de 150 mV indicando la transferencia de carga iónica durante el proceso que a su vez va coincidente con la reducción de contaminantes.

V. CONCLUSIÓN

Se encontró que el método de uso de descarga de plasma de barrera dieléctrica fue eficiente en la reducción de aceites y grasas de aguas residuales contaminadas que se generan en un establecimiento de servicios de radiadores y otros servicios.

La disminución de AyG fue en el nivel de 99.94% dejando el agua residual dentro del valor máximo admisible que señala la norma peruana para ser vertido al cuerpo receptor. Asimismo, la tecnología de PBD también mejoró los parámetros fisicoquímicos del agua residual, sobre todo en la concentración de sólidos suspendidos totales. El método resulta una alternativa viable con ventaja ambiental, al no usar productos químicos para el tratamiento de aguas residuales industriales contaminadas.

AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen a la Universidad César Vallejo, Campus Los Olivos, Lima, Perú, por el apoyo otorgado en la realización y difusión de la investigación.

REFERENCIAS

- [1] IAGUA, "La importancia de la separación de aceites y grasas en el tratamiento del agua residual urbana", <https://www.iagua.es/noticias/teqma/importancia-separacion-aceites-y-grasas-tratamiento-agua-residual-urbana>
- [2] E.Y. Mora, A. Samiento and F. Casallas, "Implementación de un sistema de tratamiento con plasma para gases utilizando una celda de descarga de barrera dieléctrica", *Revista de Investigación Desarrollo e Innovación*, vol. 5, no. 1, pp. 56-65, August 2014. <https://doi.org/10.19053/20278306.3141>
- [3] J. Aminian, A.Khaaghani, "Performance analysis of syngas production in a water thermal plasma reactor", *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 45, no 55, pp. 0017-30028, November 2020, <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.08.128>
- [4] W. Lihang, X. Qinglong, L. Yongbo, W. Zhenyu, L. Xiaojiang, L. Meizhen, N. Yong. "Degradation of Methylene Blue via Dielectric Barrier Discharge Plasma Treatment", *Water* Vol 11, no. 9), pp. 1818, Julio 2019. <https://doi.org/10.3390/w11091818>.
- [5] G. Lervolino, V. Vaiano, V. Palma, "Enhanced removal of water pollutants by dielectric barrier discharge non-thermal plasma reactor", *Separation and Purification Technology*, Vol. 215, no. 15, pp. 155-162, May 2019. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2019.01.007>
- [6] C. Zhang, Y. Sun, Z. Yu, G. Zhang, J. Feng, "Simultaneous removal of Cr(VI) and acid orange 7 from water solution by dielectric barrier discharge plasma", *Chemosphere*, Vol. 191, pp. 527 – 536, January 2018, <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.10.087>
- [7] V.E. Malanichev, M.V. Malashin, S.I. Moshkunov, V. Y. Khomich, "Dielectric barrier discharge plasma reactor", *High Energy Chem* 50, pp. 304–307, 2016. <https://doi.org/10.1134/S0018143916040111>.
- [8] P. Manoj, S. Mahammadunnisa, Ch. Subrahmanyam, "Catalytic non-thermal plasma reactor for mineralization of endosulfan in aqueous medium: A green approach for the treatment of pesticide contaminated water", Vol. 238, pp. 157-163, February 2014. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2013.08.087>.
- [9] W. Sang, J. Cui, Y. Feng, L. Mei, Q. Zhang, D. Li, W. Zhang, "Degradation of aniline in aqueous solution by dielectric barrier discharge plasma: Mechanism and degradation pathways", *Chemosphere*, Vol. 223, pp 416-424, 15 February 2019. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2019.02.029
- [10] K. Shang, J. Li, and R. Morent, "Hybrid electric discharge plasma technologies for water decontamination: a short review", *Plasma Science and Technology*, Vol. 21, no. 4, 2019. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/2058-6272/aafbc6/meta>.
- [11] P. Kumar, CH. Subrahmanyam, "Green Approach for Wastewater Treatment—Degradation and Mineralization of Aqueous Organic Pollutants by Discharge Plasma", *Ind. Eng. Chem Res.*, Vol. 51, no. 34, pp. 11097 – 11103, august 2012. <https://doi.org/10.1021/ie301122p>
- [12] MVCS, D.S. 010-2019-VIVIENDA, "Decreto Supremo que aprueba el Reglamento de Valores Máximos Admisibles (VMA) para las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario, *Diario Oficial El Peruano*, 11 de marzo de 2019, <https://www.sedapal.com.pe/storage/objects/decreto-supremo-no-010-2019-vivienda.pdf>
- [13] C. Méndez, J. Dueñas, "Los procesos biológicos de tratamiento de aguas residuales desde una visión no convencional", *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, Vol. XXXIX, no. 3, pp. 97-107, sep-dic 2018. <http://scielo.sld.cu/pdf/riha/v39n3/1680-0338-riha-39-03-97.pdf>
- [14] E. Valdez y A. Vásquez, "Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales", *Fundación ICA*, México, ISBN 968-750805-4, http://siar.minam.gob.pe/puno/sites/default/files/archivos/public/docs/ingenieria_de_los_sistemas_de_tratamiento_y_disposicion_de_aguas_residuales_civilgeeks.pdf
- [15] D. Orhon, E. Genceli and E. Ubay, "Characterization and modelling of activated sludge for tannery wastewater". *Water Environment Research*, Vol. 71, no. 1, pp. 50-63, January 1999, <https://doi.org/10.2175/106143099X121508>
- [16] G. Vidal, J. Nieto, K. Cooman, M. Gajardo, and C. Bomhardt, "Unhairing effluents treated by an activated sludge system", *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 112, no. 1-2, pp. 143-149, August 2004. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2004.04.004>
- [17] O. Lefebvre, N. Vasudevan, M. Torrijos, K. Thanasekaran, and R. Moletta, "Halophilic biological treatment of tannery soak liquor in a sequencing batch reactor", *Water Research*. Vol 39, no. 8, pp. 1471-1480, Marzo del 2005, <https://doi.org/10.1016/j.watres.2004.12.038>