

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Diseño de pre-tratamiento de agua de mar con membranas bipolares con fines de potabilización y extracción de CO₂ en Playa Pacoa, Santa Elena – Ecuador.

PROYECTO DE GRADUACIÓN

Previo la obtención del Título de:

Maestría en Ingeniería Civil con Mención en Construcción y Saneamiento

Presentado por:

Christian David Collaguazo Taza

Israel Bolívar Murillo Lozano

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2023

DEDICATORIA

De parte de Israel esta tesis va dedicada a mi familia en especial a Nancy Lozano, Elena Ullaguari, la Ing. Gladys Ullaguari y al Ms.C. Jarman Ullaguari, quienes me apoyaron en este nuevo proceso de aprendizaje y me inculcaron a seguir esta maestría. Mi tutor el Ph.D. Leonardo Gutierrez y la cotutora la Ph.D. Priscila Valverde, a mis amigos por estar siempre dándome ánimos en momentos complicados y por su puesto mi compañero de tesis el Ing. Christian Collaguazo.

DEDICATORIA

De mi parte, Christian, este proyecto de tesis va dedicado para mi esposa y familia ya que gracias a su esfuerzo y apoyo incondicional me motivaron a continuar en esta gran etapa de aprendizaje. A mi tutor el Ph.D. Leonardo Gutierrez, a la cotutora la Ph.D. Priscila Valverde, y al Ing. Jonathan Méndez; quienes con su conocimiento permitieron hacer de este trabajo una excelente experiencia. Y finalmente a mi compañero el Ing. Israel Murillo, por todo su apoyo y entrega en la realización de este trabajo.

AGRADECIMIENTOS

Mi más sincero agradecimiento a la ESPOL y sus laboratorios, a los diferentes docentes, a los técnicos de laboratorio y de investigación que permitieron mediante su ayuda y su experiencia completar esta tesis.

Ing. Israel Murillo

Agradezco primeramente a Dios por brindarme la oportunidad de poder continuar mis estudios; a la ESPOL, sus docentes y técnicos de las diferentes áreas que con su ayuda hicieron de este trabajo una excelente experiencia tanto personal como profesional.

Ing. Christian Collaguazo

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, me(nos) corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; (*nombre de los participantes*) y doy(damos) mi(nuestro) consentimiento para que la ESPOI realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”

Ing. Christian David
Collaguazo Taza

Ing. Israel Bolívar Murillo
Lozano

EVALUADORES

M.Sc. Nadia Quijano, Ing.

PROFESOR DE LA MATERIA

M. Sc. Samantha Hidalgo, Ing.

PROFESOR DE LA MATERIA

Ph.D. Priscila Valverde, Ing.

PROFESOR CO-TUTOR

Ph.D. Leonardo Gutierrez, Ing.

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

La escasez de agua ha sido un problema en las regiones áridas y semiáridas a nivel mundial durante años. Según la Organización Mundial de la Salud aproximadamente el 29% de la población mundial no tiene acceso a servicios de agua gestionados de forma segura. Paralelamente, la acidificación oceánica producto del CO₂ atmosférico es otro problema que afecta negativamente a las especies marinas de los océanos a nivel mundial. Con el propósito de abordar estas problemáticas el proyecto tiene como objetivo diseñar experimentalmente un sistema de pre-tratamiento de agua de mar mediante el uso de membranas bipolares para fines energéticos que paralelamente contribuya a la disminución de la acidificación oceánica en Playa Pacoa, Provincia de Santa Elena, alineándose con los objetivos de desarrollo sostenible ODS 06 (Agua Limpia y Saneamiento), ODS 13 (Acción por el Clima) y el ODS 14 (Vida Submarina). Este proyecto utilizó un stack de membranas aniónicas, catiónicas y bipolares, así como el potencióstato, multiparamétrica y turbidímetro. Para el proceso de electrodiálisis reversa se obtuvo la desalinización parcial del agua de mar obteniendo valores de 25000 μS . Adicionalmente, se obtuvo un valor energía acumulada de 1.82×10^{-12} Kw.h proveniente de la desalinización de agua de mar y un OCV de 0.87 V. Los resultados indican que es posible obtener una pre-desalinización del agua de mar y obtención de energía, influyendo en la economía circular, garantizando que el proyecto sea económicamente sostenible y que la agua cumpla las normativas locales de potabilización a excepción de la salinidad.

Palabras Clave: ODS, desalinización, electrodiálisis, membranas bipolares.

ABSTRACT

Water scarcity has been a problem in arid and semi-arid regions globally for years. According to the World Health Organization, approximately 29% of the world's population does not have access to safely managed water services. At the same time, ocean acidification due to atmospheric CO₂ is another problem that negatively affects marine species in the oceans worldwide. With the purpose of addressing these problems, the project aims to experimentally design a seawater pre-treatment system through the use of bipolar membranes for energy purposes that simultaneously contributes to the reduction of ocean acidification in Playa Pacoa, Province of Santa Elena, aligning with the sustainable development goals SDG 06 (Clean Water and Sanitation), SDG 13 (Climate Action) and SDG 14 (Life Underwater). This project used a stack of anionic, cationic and bipolar membranes, as well as the potentiostat, multiparameter and turbidimeter. For the reverse electro dialysis process, partial desalination of seawater was obtained, obtaining values of 25,000 μS . Additionally, an accumulated energy value of 1.82×10^{-12} Kw.h was obtained from the desalination of seawater and an OCV of 0.87 V. The results indicate that it is possible to obtain pre-desalination of seawater and obtain energy, influencing the circular economy, guaranteeing that the project is economically sustainable and that the water complies with local purification regulations except for salinity.

Keywords: ODS, desalination, electro dialysis, bipolar membranes.

ÍNDICE GENERAL

EVALUADORES.....	6
RESUMEN.....	i
<i>ABSTRACT</i>	ii
ÍNDICE GENERAL	iii
ABREVIATURAS.....	v
SIMBOLOGÍA	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
CAPÍTULO 1.....	11
Introducción.....	11
1.1 Localización.....	12
1.2 Antecedentes	13
1.3 Problemática a resolver.....	14
1.4 Justificación.....	16
1.5 Objetivos	18
1.5.1 Objetivo General.....	18
1.5.2 Objetivos Específicos.....	18
CAPÍTULO 2.....	19
Desarrollo del proyecto.....	19
2.1 Marco conceptual	19
2.1.1 Agua de mar	19
2.1.1 Desalinización de agua de mar.....	20
2.1.2 Métodos convencionales de potabilización.....	20
2.1.3 Procesos desalinizadores	21
2.1.4 Electrodialisis por membranas bipolares (BMED) y captura de CO ₂	23
2.1.5 Eficiencia Energética	25

2.1.6	Electrodiálisis Inversa (EDI) para generación de energía	25
2.1.7	Especies de carbonatos en el agua de mar	26
2.2	Marco metodológico	27
2.2.1	Trabajo de campo	29
2.2.2	Trabajo de laboratorio o gabinete	31
2.2.3	Tabulación de datos.....	40
2.2.4	Solución a diseñar	42
CAPÍTULO 3.....		43
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		43
3.1	Resultados	43
3.1.1	Electrodiálisis mediante el uso de Membranas Bipolares	43
3.1.2	Electrodiálisis Inversa (EDI) para generación de energía y pre-potabilización 46	
3.2	Análisis de resultados.....	47
CAPÍTULO 4.....		52
Conclusiones Y Recomendaciones		52
BIBLIOGRAFÍA.....		55
PLANOS Y ANEXOS.....		65

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
ONU	Organización de Naciones Unidas
OMS	Organización Mundial de la Salud
OI	Ósmosis Inversa
ED	Electrodialisis
EDI	Electrodialisis reversa
BMED	Electrodialisis por membranas bipolares
UPSE	Universidad Estatal Península de Santa Elena
EPN	Escuela Politécnica Nacional
PDOT	Plan de desarrollo y ordenamiento territorial
SEC	Consumo específico de energía
PDOT	Plan de desarrollo y ordenamiento territorial

SIMBOLOGÍA

mg	Miligramo
pH	Potencial de Hidrógeno
m	Metros
V	Voltio
mA	Miliamperios
km	Kilómetros
W	Watts
m ²	Metros cuadrados
°C	Grados centígrados
CO ₂	Dióxido de carbono
CH ₄	Metano
H ₂ CO ₃	Ácido Carbónico
km ³	Kilómetros cúbicos
kW.h	Kilowatts hora

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación de la zona de estudio. Fuente: Autores	12
Figura 2. Proceso ilustrativo del funcionamiento de ósmosis y ósmosis inversa. Fuente: (Shatat & Riffat, 2014)	22
Figura 3. Movimiento de iones en el proceso ED. Fuente: (Shatat & Riffat, 2014)	23
Figura 4. Esquema del montaje experimental de la unidad de BPMED. Fuente: (Chen, Bi, Zhao, et al., 2022; Eisaman et al., 2012)	25
Figura 5. Reacción química del CO ₂ en contacto con el agua de mar. Fuente: (Marcela et al., 2011).....	27
Figura 6. Esquema metodológico del proyecto. Fuente: Autores	29
Figura 7. Medición de parámetros fisico-químico. Fuente: Autores	30
Figura 8. Verificación de turbidez y embebado de botellas con agua de mar. Fuente: Autores	31
Figura 9. Recolección y almacenado del agua de mar. Fuente: Autores	31
Figura 10. Esquema por considerar para ensamblaje en laboratorio. Fuente: Autores	32
Figura 11. Diseño experimental de la BPMED (Bipolar Membrane Electrodialysis – Electrodiálisis con Membrana Bipolar). Fuente: Autores	33
Figura 12. Curva esquemática de Corriente-Voltaje para una membrana bipolar.	34
Figura 13. a) Incrustaciones (scaling) en membrana. b) Membrana en óptimas condiciones. Fuente: Autores	35
Figura 14. Porcentaje de saturación de los diferentes precipitados en procesos de electrodiálisis. Fuente: Autores.....	36
Figura 15. Fase I: Revisión de parámetros. Fuente: Autores	37
Figura 16. Fase II: Experimentación y recopilación de datos. Fuente: Autores	38
Figura 17. Diseño experimental de la EDI (Electrodialysis Reverse – Electrodiálisis Inversa) Fuente: Autores	39
Figura 18. Concentración de Ácido Carbónico, Bicarbonato y Carbonato de acuerdo con el rango de pH. Fuente: (Rokitta & Wegener, 2012).....	41
Figura 19. Energía específica generada para llegar a pH=5. Fuente: Autores	43
Figura 20. Energía específica generada para llegar a pH=4. Fuente: Autores.....	44
Figura 21. Cinética para lograr a pH=5. Fuente: Autores	45
Figura 22. Cinética para lograr a pH=4. Fuente: Autores	45

Figura 23. Potencial obtenido a partir de la cinética aplicada. Fuente: Autores	47
Figura 24. Resultados de pH básico en los ratios 1:5 y 1:7 bajo la aplicación de 5.75 Volt.	48
Figura 25. Resultados de cinética experimental en los ratios 1:5 y 1:7. Fuente: Autores	49
Figura 26. Resultados de energía específica en los ratios 1:5 y 1:7. Fuente: Autores ..	49
Figura 27. Energía acumulada del proceso de EDI. Fuente: Autores.....	51
Figura 28. pH para R = 1:5 y 4V. Fuente: Autores.	74
Figura 29. Curva de intensidad (azul) y energía acumulada (rojo) para R = 1:5 y 4V. Fuente: Autores.....	75
Figura 30. pH para R = 1:5 y 5V. Fuente: Autores.	78
Figura 31. Curva de intensidad (azul) y energía acumulada (rojo) para R = 1:5 y 5V. Fuente: Autores.....	79
Figura 32. pH para R = 1:5 y 6V. Fuente: Autores.	81
Figura 33. Curva de intensidad (azul) y energía acumulada (rojo) para R = 1:5 y 6V. Fuente: Autores.....	82
Figura 34. pH para R = 1:6 y 4V. Fuente: Autores.	88
Figura 35. Curva de intensidad (azul) y energía acumulada (rojo) para R = 1:6 y 4V. Fuente: Autores.....	89
Figura 36. pH para R = 1:6 y 5V. Fuente: Autores.	93
Figura 37. Curva de intensidad (azul) y energía acumulada (rojo) para R = 1:6 y 5V. Fuente: Autores.....	94
Figura 38. pH para R = 1:6 y 5V – 07/11. Fuente: Autores.....	102
Figura 39. Curva de intensidad (azul) y energía acumulada (rojo) para R = 1:6 y 5V – 07/11. Fuente: Autores.	103
Figura 40. pH para R = 1:7 y 4V. Fuente: Autores.	107
Figura 41. Curva de intensidad (azul) y energía acumulada (rojo) para R = 1:7 y 4V. Fuente: Autores.....	108
Figura 42. pH para R = 1:7 y 5V. Fuente: Autores.	118
Figura 43. Curva de intensidad (azul) y energía acumulada (rojo) para R = 1:7 y 5V. Fuente: Autores.....	119
Figura 44. pH para R = 1:7 y 4.5V. Fuente: Autores.....	135
Figura 45. Curva de intensidad (azul) y energía acumulada (rojo) para R = 1:7 y 4.5V. Fuente: Autores.....	136

Figura 46. pH para R = 1:7 y 5.5V. Fuente: Autores.....	140
Figura 47. Curva de intensidad (azul) y energía acumulada (rojo) para R = 1:7 y 5.5V. Fuente: Autores.....	141
Figura 48. pH para R = 1:7 y 5.75V. Fuente: Autores.....	146
Figura 49. Curva de intensidad (azul) y energía acumulada (rojo) para R = 1:7 y 5.75V. Fuente: Autores.....	147
Figura 50. pH para R = 1:7 y 6V. Fuente: Autores.	151
Figura 51. Curva de intensidad (azul) y energía acumulada (rojo) para R = 1:7 y 6V. Fuente: Autores.....	152
Figura 52. pH para R = 1:6 y 5.75V. Fuente: Autores.....	157
Figura 53. Curva de intensidad (azul) y energía acumulada (rojo) para R = 1:6 y 5.75V. Fuente: Autores.....	158
Figura 54. pH para R = 1:5 y 5.75V. Fuente: Autores.....	163
Figura 55. Curva de intensidad (azul) y energía acumulada (rojo) para R = 1:5 y 5.75V. Fuente: Autores.....	164
Figura 56. pH para R = 1:5 y 5.5V. Fuente: Autores.....	169
Figura 57. Curva de intensidad (azul) y energía acumulada (rojo) para R = 1:5 y 5.5V. Fuente: Autores.....	170

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Consideraciones iniciales para el proceso de EDI.....	40
Tabla 2. Resultados del proceso de EDI	46
Tabla 3. Volumen final de las soluciones producto del EDI	46
Tabla 4. OCV teórico	47
Tabla 5. Resultados obtenidos con ratios 1:5 y 1:7	50
Tabla 6. CE final del proceso de EDI.....	50
Tabla 7. Check list de la salida de campo	66
Tabla 8. pH - Ratio 1:5 (4 Volt)	67
Tabla 9. pH - Ratio 1:5 (5 Volt)	76
Tabla 10. pH - Ratio 1:5 (6 Volt)	80
Tabla 11. pH - Ratio 1:6 (4 Volt)	83
Tabla 12. pH - Ratio 1:6 (5 Volt)	90
Tabla 13. pH - Ratio 1:6 (5 Volt) – 07/11	95
Tabla 14. pH - Ratio 1:7 (4 Volt)	104
Tabla 15. pH - Ratio 1:7 (5 Volt)	109
Tabla 16. pH - Ratio 1:7 (4.5 Volt)	120
Tabla 17. pH - Ratio 1:7 (5.5 Volt)	137
Tabla 18. pH - Ratio 1:7 (5.75 Volt)	142
Tabla 19. pH - Ratio 1:7 (6 Volt)	148
Tabla 20. pH - Ratio 1:6 (5.75 Volt)	153
Tabla 21. pH - Ratio 1:5 (5.75 Volt)	159
Tabla 22. pH - Ratio 1:5 (5.5 Volt)	165

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

El agua dulce es un recurso hídrico que representa el 2,5% del agua en el planeta, considerándose un recurso prioritario por su importancia en la vida (Merchán-Sanmartín et al., 2022). Este porcentaje no abastece a la población que crece a lo largo de los años en un determinado territorio (Munia et al., 2016). Como resultado, la demanda de agua excede el suministro disponible provocando el concepto de estrés hídrico en un determinado poblado (Ma et al., 2020).

Según (WHO & UNICEF, 2019) aproximadamente el 29% de la población mundial no tiene acceso a servicios de agua gestionados de forma segura, definidos como agua potable accesible en las instalaciones cuando sea necesario. Por otro lado, según el Banco Mundial, aproximadamente el 47% de la población rural no cuenta con servicios de agua potable gestionados de forma segura (Amoroso et al., 2021).

Adicionalmente, otros factores como la contaminación y el cambio climático aumentan el estrés hídrico y a su vez disminuye los recursos en agua superficial y subterránea en la mayoría de las regiones áridas y semiáridas (Villanueva et al., 2023). Algunas comunidades a nivel mundial utilizan reservorios de forma ingenieril para almacenar agua dulce durante los períodos de precipitación alta, y suministrar agua continuamente a las comunidades para evitar la escasez del recurso hídrico durante los períodos secos (He et al., 2021).

En este contexto, el ser humano ha encontrado nuevas fuentes de agua para su consumo, mediante el diseño de plantas desalinizadoras, utilizando como fuente el agua de mar desde 1950 (Curto et al., 2021). Esto debido a que el 97% de los recursos hídricos de la Tierra se distribuyen en los océanos (Zhang et al., 2021a). Estos, de forma natural no son aptos para ser utilizados como fuente directa de agua industrial, agrícola y potable, ya que contienen gran cantidad de sustancias tóxicas y nocivas o exceso de iones salinos (Yu et al., 2023).

Por ello, estas aguas provenientes del océano deben primero ser tratadas de forma no convencional, para posteriormente ser distribuidas a las diferentes comunidades (Ayaz et al., 2022a). Esta solución ingenieril de metodologías no convencionales para tratar el agua de mar permite resolver dos problemas, el estrés hídrico que posee determinado territorio y la acidificación del océano producido por el cambio climático que afecta directamente el agua de los océanos.

1.1 Localización

Mapa de ubicación de la zona de estudio

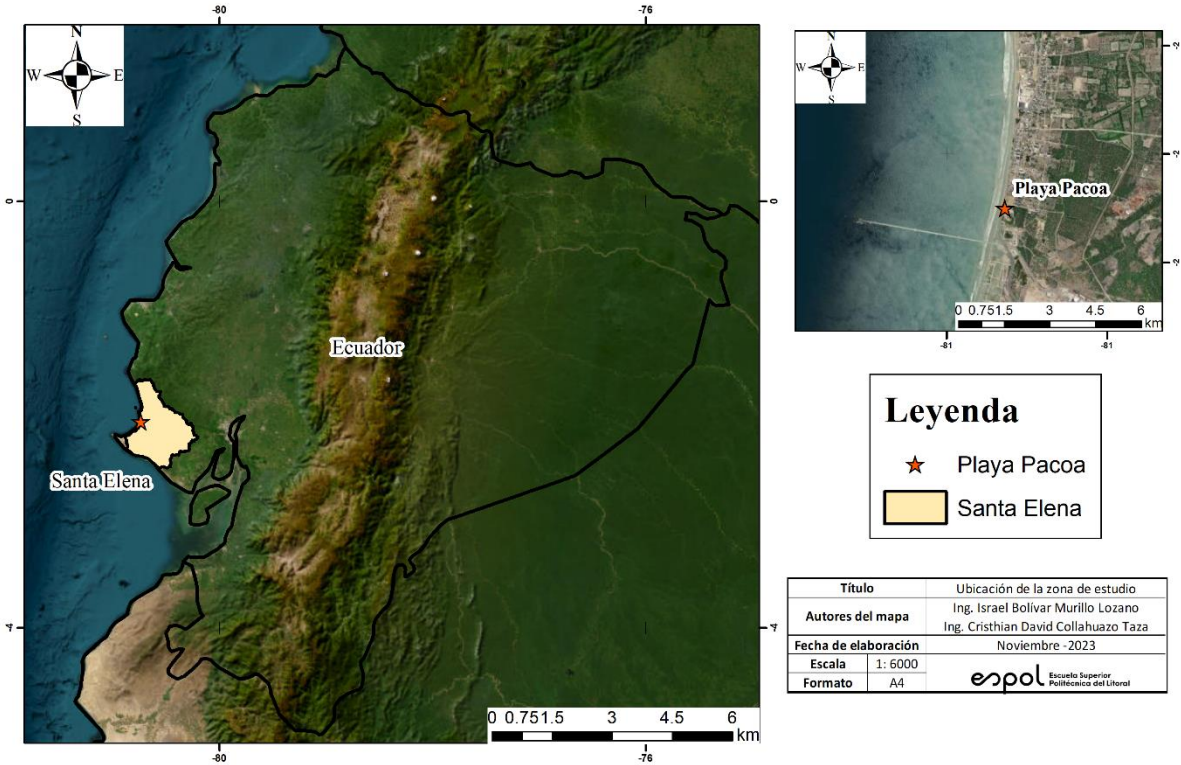


Figura 1. Mapa de ubicación de la zona de estudio. Fuente: Autores

El proyecto del presente estudio se encuentra ubicado en la comuna de Playa Pacoa, parroquia Colonche - Provincia de Santa Elena (Figura 1). En dicha comuna se implementará el sistema de desalinización de agua de mar, que permitirá el aprovechamiento de dicha agua para el uso y aprovechamiento de la comuna, como un recurso hídrico potabilizado.

1.2 Antecedentes

Algunos países desarrollados poseen tecnologías de desalinización actuales que son prohibitivamente caras y consumen mucha energía. El ejemplo más utilizado a nivel mundial es el método denominado ósmosis inversa (OI), una tecnología de desalinización que económicamente es más costosa que el tratamiento estándar de agua dulce como agua potable (Mccutcheon et al., 2005).

Si bien algunos países especialmente en Europa han construido recientemente plantas desalinizadoras de agua de mar para abordar los problemas de escasez de agua durante la era del cambio climático (Contaminación de CO₂) (Dara et al., 2017). Algunos de los países como regiones de Medio Oriente y África del Norte tradicionalmente dependen de la desalinización de agua de mar debido a la falta de fuentes de agua superficial (Kim & Hong, 2023).

Según la documentación bibliográfica, Ecuador inició estudios de factibilidad y diseño de modelos pilotos de la desalinización del agua de mar desde el año 2014 con tesis de grado de la Universidad Estatal Península de Santa Elena (UPSE) (Yunda Ponce, 2014) y artículos de la Escuela Politécnica Nacional (EPN) de Quito (Freire C & Albuja M, 2015) y Guayaquil en la Isla Puná (Veolia, 2020). Mientras, que en la región insular del país se realizaron diseños de plantas piloto de desalinización en las Islas Galápagos (Amoroso et al., 2021). Estos estudios arrojaron metodologías aplicables y resultados ingenieriles positivos bajo las condiciones sociales, económicas y energéticas de la provincia de Santa Elena.

A partir del año 2019, gracias a los resultados favorables de los estudios iniciales en la desalinización de agua de mar, en la provincia de Galápagos comenzaron a realizar estudios de desalinización de agua de mar, mediante la metodología de Ósmosis Inversa (Moreno Torres & Tuza Pajunia, 2019). Este método, permitió el avance económico, social y ambiental de Galápagos, incluso siendo la parte ambiental el factor más importante, ya que la construcción de este tipo de plantas podría afectar en gran medida a las diferentes especies de animales que habitan en las islas.

1.3 Problemática a resolver

El 30% de la población mundial no tiene acceso a servicios de agua potable. Este es uno de los principales problemas que afectan a las personas en todo el mundo. Adicionalmente, se espera que la demanda mundial de agua aumente un 55%, mientras que actualmente alrededor del 25% de las grandes ciudades están experimentando algún nivel de estrés hídrico (Salehi, 2022).

Por ello, las Organización de Naciones Unidas (ONU) decidió incluir el suministro universal de agua potable entre sus objetivos de desarrollo sostenible (Guo et al., 2022). Gracias a estos objetivos, específicamente el indicador de la meta 6.1 de los Objetivos de desarrollo sostenible (ODS), uso de servicios de agua potable gestionados de forma segura (SMHW), aborda las limitaciones existentes al acceso universal y equitativo al agua potable; además de generar un insumo de calidad (Bain et al., 2008).

Por otro lado, los estándares internacionales publicados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) desde 1958 tratan de garantizar el suministro de agua potable (OMS, 2023). Estos estándares incluyen algunos requisitos mínimos para la seguridad del agua, que son fundamentales para que las autoridades en cada país elaboren regulaciones, considerando las condiciones actuales como la parte ambiental (cambio climático), sociales, económicas y locales (Lopes et al., 2022).

El agua es un recurso hídrico importante para los seres humanos, las plantas y los animales. Un ejemplo muy común ocurre en los humanos, estos necesitan agua como parte del proceso metabólico para descomponer sustancias grandes en sustancias pequeñas y transportarlas a otras partes del cuerpo (Abu Hasan et al., 2020). Sin embargo, el crecimiento demográfico sin control y posible contaminación de las fuentes de agua dulce existentes hacen que muchos países y comunidades de regiones secas recurran al océano como fuente de agua dulce (Zapata-Sierra et al., 2022a).

La problemática de escasez y la acidificación del agua que ocurre cuando el CO_2 se disuelve en el agua de mar, formando ácido carbónico (H_2CO_3), durante este proceso se liberan iones de hidrógeno (H^+) y aumenta la acidez del océano (esta última relacionada con el cambio climático) se puede tratar mediante métodos no convencionales de

potabilización (Ósmosis Inversa y Electrodiálisis). Esto con el fin de generar agua potable a partir de agua de mar, y paralelamente realizar la extracción de CO₂ del océano. Lo cual subsecuentemente, aumentaría el pH del agua de mar (más básico) y decrecería la acidificación oceánica creando un ciclo de equilibrio de pH en el agua de mar.

En Ecuador, la provincia de Santa Elena presenta una importante falta de acceso a agua potable. En las partes rurales, donde tiene competencia AGUAPEN, tienen cobertura de 60% de agua potable. De 70 comunas abastecen a 40 en la parte rural, pero hay parroquias que se abastecen localmente con juntas que captan agua de pozos someros (Youtopia, 2022). La parroquia Colonche registra 25 usuarios que acceden a este servicio, en donde el 40% se provisiona de agua para uso exclusivo de riego; 36% para consumo humano; 12% para uso industrial; 8% para actividades de acuicultura; y el 4% para abrevadero (Consul&Project S.A., 2019).

Dentro del contexto de la provincia de Santa Elena, para el presente proyecto existen tres limitaciones para la realización de este, entre ellos están las limitaciones económicas, tecnológicas y políticas. Los factores económicos incluyen el alto costo de la compra e importación de equipos que permitan la desalinización de agua. Por otro lado, la tecnología de este proceso de desalinización pertenece en su gran mayoría de países europeos, y el tiempo de espera para la llegada e instalación de los equipos puede durar meses e incluso años. En términos políticos, la limitante es la prioridad de este proyecto con respecto a otras necesidades donde la accesibilidad de realización es más factible en un corto periodo de tiempo.

Durante los últimos años, los diferentes estudios y proyectos realizados han combatido la necesidad de satisfacer de agua potable a una determinada población por medio de la desalinización de agua de mar. Sin embargo, en Ecuador aún existen parroquias y comunidades, las cuales poseen la ausencia o escasez del agua potable (Wingfield et al., 2021).

El Plan de desarrollo y ordenamiento territorial (PDOT) de la parroquia Colonche (2019-2023) indica que los rangos de déficit hídrico de agua oscilan entre 600 a 800 mm como el nivel alto de riesgo y el rango entre 800 y 900 mm como el nivel muy alto. Esto es debido a la poca precipitación (100 a 300 mm/año) que ocurre en la provincia, además de las altas temperaturas (> 25°C) sobre todo en el verano. Según el PDOT (2019-2023)

de la parroquia Colonche, el déficit hídrico ha generado la necesidad de construir reservorios de 3300 hectáreas, en los que se capta agua proveniente de lluvia. Estos reservorios ayudan la actividad agrícola de pequeña escala realizada en la provincia, pero no son aptas para el consumo humano.

Debido al gran déficit mencionado y solo cubrir de manera parcial la necesidad de las comunidades de la parroquia Colonche, los habitantes pueden utilizar esta agua que puede ser utilizada en la agricultura para consumo. Este acto conlleva a la generación de enfermedades intestinales, migración de la población y la mortalidad de la comunidad. Por ello, el presente estudio aborda una forma innovadora de desalinizar el agua de mar permitiendo obtener un agua de calidad apta para el consumo en términos de conductividad. Adicionalmente, calcular la energía específica que demanda el uso de membranas bipolares. Finalmente, contribuir al combate del cambio climático extrayendo el CO₂ del agua de mar.

Finalmente, con la necesidad de responder la necesidad del poblado de Playa Pacoa, parroquia Colonche para resolver el problema de una mejor calidad en el agua potable para sus habitantes, se ha realizado dos preguntas de investigación. La primera: ¿Es posible desalinizar el agua de mar en términos de conductividad y que esta pueda estar apta para el consumo humano?, la segunda: ¿Es posible extraer CO₂ del agua de mar mediante el proceso con membranas bipolares y cuál es la configuración que maximice la eficiencia energética del proceso de dichas membranas?

1.4 Justificación

Ecuador al ser un país en desarrollo con un alto grado de estrés hídrico sobre todo en zonas costeras, no cuentan con suficientes plantas potabilizadoras que garanticen el acceso a una fuente de agua de calidad para consumo que cumpla las normativas nacionales (Mendez-Ruiz et al., 2023). Actualmente, la mayoría de los poblados y comunidades de las zonas costeras en el Ecuador obtienen agua dulce mediante estructuras ancestrales como diques o albarradas (Carrión-Mero et al., 2021): y también la captación de aguas subterráneas.

Estas estructuras solucionan de forma parcial el requerimiento de la población de agua para las diferentes actividades que realizan. Sin embargo, presentan deficiencias en cuanto a su aplicabilidad ya que estos sistemas contribuyen a la contaminación de la fuente por retener sedimentos; por estar en contacto con nutrientes y productos químicos presentes en la atmósfera, producto de la agricultura en sus cercanías (Jara-Negrete et al., 2023).

Según Herrera et al. (2020) manifiesta que en la Provincia de Santa Elena existe gran contaminación de aguas en la región costanera debido a actividades agrícolas; industriales y mineras; explotación excesiva de aguas subterráneas; y demás actividades antropogénicas que afectan la calidad del agua. Por ello, Ecuador al estar geográficamente cerca del Océano Pacífico se puede permitir la obtención de agua de mar; ya que dicho recurso ayudaría a reducir el estrés hídrico en la mayor parte de las comunidades o poblados en zonas costeras del país.

Sin embargo, el agua de mar primero debe ser tratada antes del consumo humano. Es por ello por lo que se plantea el uso de membranas bipolares mediante el proceso de electrodiálisis para desalinizar el agua de mar con el objetivo de entregar un insumo apto para el consumo humano según las normas nacionales y estándares de calidad. De acuerdo con Khan y Jahan (2017), expresan que al existir fuentes contaminadas de agua para consumo humano representan una ruta de transmisión directa y agresiva de la ameba *Entamoeba histolytica*, parásito que genera síntomas desde diarrea leve hasta disentería grave.

Por lo tanto, el presente proyecto abarca el ODS 06 (Agua Limpia y Saneamiento) con la meta de abastecer de agua potable a las comunidades de manera sostenible para hacer frente a los procesos de escasez y sequía. Por otro lado, este tratamiento pretende cumplir con el ODS 13 (Acción por el Clima); ya que, al combatir el estrés hídrico, permite también reducir la acidificación que se produce en el océano mediante la captura de CO₂. Y también con el ODS 14 (Vida Submarina) para la disminución de la acidificación en los océanos. Esto ayuda a generar procesos para la reducción de emisiones de carbono, considerándolo como punto clave para ayudar a combatir el calentamiento global.

Por estos motivos, es necesario abordar el tratamiento de agua de mar con el uso de membranas bipolares con fines de pre-potabilización para poder brindar al sector la oportunidad de acceder a un servicio de agua potable de excelente calidad; así como la eficiencia energética que se realiza en el proceso y también, la cantidad de CO₂ que se captura en el proceso experimental con el fin de mitigar el cambio climático.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo General

1. Diseñar experimentalmente un sistema de pre-tratamiento de agua de mar mediante el uso de membranas bipolares para fines energéticos que a su vez contribuya a la disminución de la acidificación oceánica en Playa Pacoa, Provincia de Santa Elena.

1.5.2 Objetivos Específicos

1. Evaluar un esquema de membranas de intercambio iónico y bipolar mediante ensayos de laboratorio para la prevención de precipitación de sales.
2. Estimar los parámetros de voltaje, relación entre solución ácida y básica, y temperatura; mediante el esquema de intercambio iónico y bipolar para la obtención del mínimo consumo de energía específica en la desalinización y captura de CO₂.
3. Proponer un sistema de pre-potabilización en base a parámetros de SDT o Conductividad utilizando electrodiálisis asegurando una recuperación de energía en el proceso electroquímico.

CAPÍTULO 2

DESARROLLO DEL PROYECTO

2.1 Marco conceptual

2.1.1 Agua de mar

En la superficie de la tierra se estima que de los aproximadamente 1.385 mil millones de kilómetros cúbicos (km³) de agua que hay en la misma, el 97% es agua de mar (Aende et al., 2020). La composición del agua de mar varía según la ubicación en la que se encuentre la zona de interés. Sin embargo, en términos generales, el agua de mar posee 34.483 mg/L de Sólidos disueltos totales (Total Dissolved Solids); una concentración de sales de 34,5 g/L; y una conductividad de 55.000 µS/cm (Benjamin, 2002).

De acuerdo con Villacres y Villamar (2017) en su trabajo investigativo en la zona costera de Chipipe del cantón Salinas en la provincia de Santa Elena, expresan que el agua de mar en esta zona se encuentra conformada por salinidad que oscila entre 33.1 y 33.9 ppt; el pH se encuentra entre 6,5 y 8,3; la turbidez se encuentra menor a 0.64 NTU; la conductividad eléctrica supera los 10.000 µS/cm. El parámetro de oxígeno disuelto en promedio es de 5.1 mg/L. Además, se halla la presencia de fosfatos con una concentración menor a 1.7 mg/L; está compuesta también por sulfatos en concentraciones superiores a los 200 mg/L, pero bajo el límite permisible de 400 mg/L.

En el océano existen una concentración de amonio menor a 0.1 mg/L, factor importante a considerar ya que este valor determina el ciclo del nitrógeno. Se determinaron también un valor de coliformes totales inferior a 1.8 NMP/100 mL; y un valor de coliformes fecales entre 1.8 y 2400 NMP/ 100 mL. No obstante, y a pesar de la abundancia de dicha agua en la naturaleza, esta no está apta para su consumo sin antes proceder a una aplicación de tecnologías capaces de eliminar grandes cantidades de la salinidad y sólidos disueltos (Zhang et al., 2021b).

2.1.1 Desalinización de agua de mar

La desalinización de agua de mar es una valiosa fuente de agua limpia (Qasim et al., 2019). Este proceso consiste en reducir la cantidad de sales presentes en el agua de mar, convirtiéndolo en agua que pueda ser considerada apta para el consumo humano, específicamente para la producción de agua potable e industrial que ha cobrado un impulso significativo en las últimas dos décadas (Shenvi et al., 2015).

Además, este proceso actúa como una parte de la solución a la crisis de agua a nivel mundial y de sus contrastantes cantidades de oferta y demanda, agravadas por las consecuencias del calentamiento global (Voutchkov, 2018). En la actualidad, se conoce que el consumo energético del agua desalinizada ha ido disminuyendo a lo largo de los últimos 50 años desde aproximadamente 22 kWh/m³ en la década de los 70 a 3.3 kWh/m³ en el año 2003; y para el año 2010 se obtuvo un consumo energético de 2.9 kWh/m³ (García, 2014).

2.1.2 Métodos convencionales de potabilización

En procesos de tratamiento del agua, el agua dulce que yace en la superficie juega un papel primordial para conocer si un proceso de tratamiento es eficiente, con el fin de producir una buena calidad de agua apta para el consumo humano (Stankovic et al., 2020). En este contexto, existen dos tipos de tratamiento de agua, el tratamiento de agua convencional y no convencional (Murad, 2010). El tratamiento convencional utiliza una combinación de procesos y operaciones físicas, químicas y biológicas (Letterman & American Water Works Association., 1999). Dentro de este proceso existen cuatro etapas: Preliminar, principal, secundario y terciario (Pakharuddin et al., 2021).

La primera etapa en una planta de tratamiento de agua potable es la extracción de agua cruda de diversas fuentes de agua, que pueden ser aguas superficiales o subterráneas (Pooi & Ng, 2018). Posteriormente, la coagulación y la floculación son procesos fundamentales y convencionales que se utilizan ampliamente en las plantas de tratamiento de agua potable (Preethika & Arachchige, 2021). El objetivo de este proceso es mejorar el proceso de eliminación de materiales en suspensión y contaminantes durante la etapa de sedimentación mediante el uso de la gravedad (Chie & Wahab, 2020). Este procedimiento consiste en neutralizar la carga de materiales en suspensión, desestabilizarlos y aglomerarlos (Abed Naser et al., 2021).

La sedimentación es un simple tratamiento físico del agua que se produce antes del uso de otros tratamientos de purificación como la filtración y la desinfección (Taghizadeh, 2018). Bajo la influencia de la gravedad, elimina del agua pequeñas partículas suspendidas no deseadas (arena, limo, arcilla) y algunos contaminantes biológicos (Chow et al., 2019). La turbidez es una medida de las impurezas del agua provocadas por los cuerpos suspendidos en ella. La materia orgánica, el limo, las partículas de arcilla y los microorganismos pueden contribuir a la turbidez. Generalmente se mide en NTU (A. Al-Ni & B. Al-Obaidy, 2013).

Según la norma técnica ecuatoriana INEN 1108 6ta edición la turbidez mayor a 5 NTU en el agua potable es inaceptable (NTE INEN, 2018). Además, que el consumo del agua potable con niveles de turbidez que sobrepasen el límite permisible puede ser perjudicial para la salud (Vieira et al., 2008). A pesar de que estas plantas de tratamiento convencional de agua potable poseen múltiples procesos físico-químicos, estos no tienen la capacidad técnica ni operativa de eliminar iones del agua salada (Han et al., 2021).

2.1.3 Procesos desalinizadores

Los procesos de desalinización están divididos en cuatro grupos: los procesos de desalinización térmica o evaporación como la destilación flash multietapa - MSF, la destilación multiefecto (MED), el proceso mediante evaporación por compresión de vapor (VC). Los procesos de membrana, entre ellos se destacan la ósmosis inversa (OI), electrodiálisis (ED), destilación de membrana (MD) y finalmente congelación e intercambio iónico (Ayaz et al., 2022b; Zapata-Sierra et al., 2022b).

Los procesos de desalinización de agua de mar mediante membranas son una de las soluciones más efectivas para el suministro de agua dulce en zonas áridas y semiáridas (Misdan et al., 2012). Entre los procesos de membranas que actualmente utilizan la mayor parte de países europeos, medio oriente y africanos por el bajo costo energético para desalinizar el agua de mar son la: Ósmosis inversa y Electrodiálisis (Biesheuvel et al., 2022). La ósmosis inversa (OI) es una de las técnicas de desalinización de agua de mar y agua salobre que se ha utilizado como una fuente alternativa para producir agua dulce con el fin de minimizar los costos asociados a la desalinización (Park et al., 2012; Qasim et al., 2019).

El uso de membranas de ósmosis inversa para desalinización ha aumentado significativamente desde la década de 1950, tanto así que alrededor del 50% del agua desalinizada disponible a nivel mundial se produce utilizando OI (Goh et al., 2018). Este proceso consiste en un concepto basado denominado ósmosis (Kang & Cao, 2012), este término se define como un proceso natural en el que las moléculas de agua se mueven espontáneamente de una solución de baja concentración de soluto (baja presión osmótica) a una solución de alta concentración de soluto (alta presión osmótica) a través de una membrana semipermeable (Figura 2) (Cath et al., 2006).

El proceso de ósmosis continúa hasta que se alcanza un estado de equilibrio osmótico donde los potenciales químicos a través de la membrana se vuelven iguales (Altaee et al., 2014). Sin embargo, la eficiencia del proceso depende de los parámetros operativos y de las propiedades de la membrana y entrada de agua (Alsawafthah et al., 2021). Otro parámetro que limita la eficiencia de desalinización es el fouling, este factor es causada por la obstrucción de los poros o la adsorción de solutos en la superficie de la membrana (Malaeb & Ayoub, 2011).

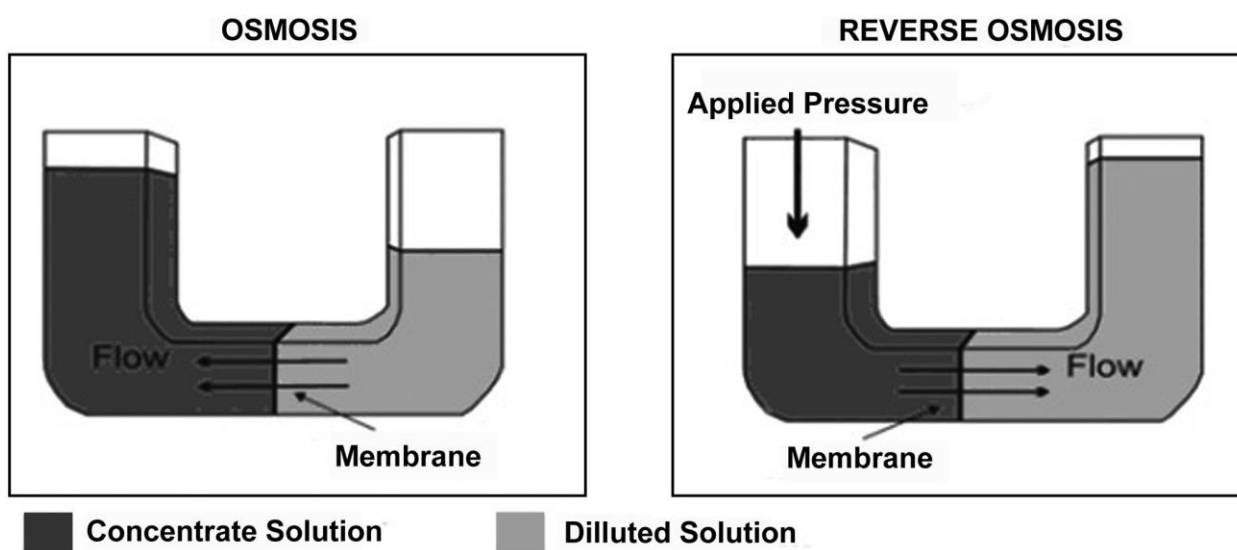


Figura 2. Proceso ilustrativo del funcionamiento de ósmosis y ósmosis inversa. Fuente: (Shatat & Riffat, 2014)

Por otro lado, la electrodiálisis se puede considerar el uso de estratificación en una tecnología alternativa de desalinización por membrana como la electrodiálisis (ED). A diferencia de la ósmosis inversa, la electrodiálisis (ED) aún no se utiliza ampliamente para la desalinización de agua de mar porque se considera que la ED consume demasiada energía (Lopez et al., 2017; Strathmann, 2010). Sin embargo, la electrodiálisis es un proceso de desalinización por membrana electroquímico basado en la separación selectiva de cationes y aniones por efecto de un campo eléctrico a través de una serie de membranas de intercambio iónico (IEM) (Figura 3) (Chehayeb et al., 2017).

En la actualidad, la ED se encuentra en boga por el uso a escala industrial para la eliminación selectiva de iones de soluciones acuosas y para la desalinización de agua salobre y agua de mar (Ahdab et al., 2020; Irfan et al., 2020). Además de estas aplicaciones convencionales, en la última década se han investigado ampliamente las tecnologías de ED y basadas en ED (como la electrodiálisis inversa (EDI) y la electrodiálisis bipolar, BMED) (Doornbusch et al., 2021). Lo que sugiere aplicaciones novedosas, así como el acoplamiento de procesos de membrana para aumentar el proceso general eficiencia, evitar el fouling, generar energía e incluso capturar CO₂ a partir de agua de mar utilizando electrodiálisis inversa híbrida EDI/ED (Wang et al., 2017) o configuraciones EDI/RO (Mei & Tang, 2017).

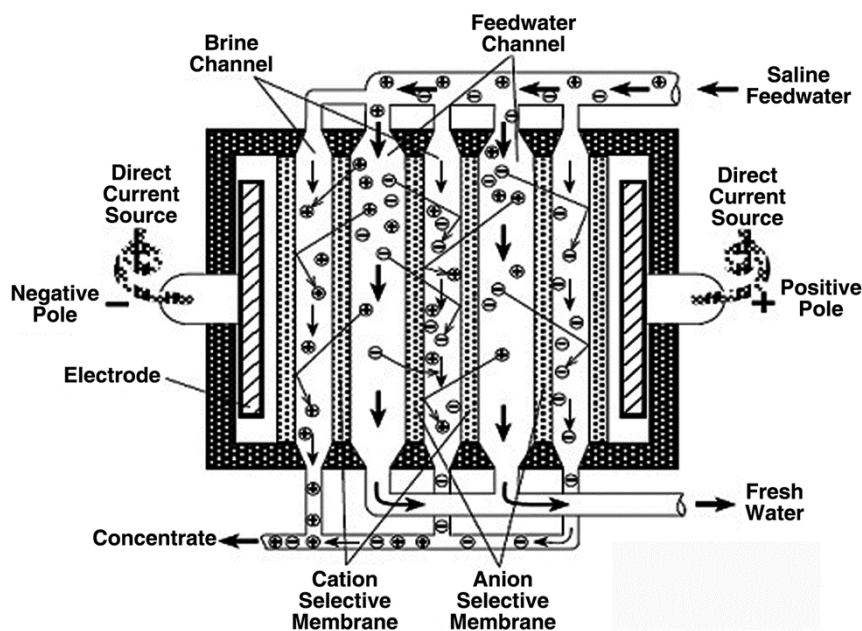


Figura 3. Movimiento de iones en el proceso ED. Fuente: (Shatat & Riffat, 2014)

2.1.4 Electrodiálisis por membranas bipolares (BMED) y captura de CO₂

La introducción de este concepto permitió la integración de la disociación del agua en la capa de interfaz y, por lo tanto, se fabricó BMED (Chen, Bi, Ji, et al., 2022). Cuando se aplica una cierta cantidad de corriente a las membranas bipolares (BPM), la corriente iónica de la membrana no se puede mantener en la solución, porque ni los cationes ni los aniones pueden pasar a través de las dos membranas del BPM (Pärnamäe et al., 2021).

Como resultado, los H^+ y OH^- disociados migran a través de la membrana de intercambio catiónico (CEM) y la membrana de intercambio aniónico (AEM) para mantener la corriente iónica en la interfaz de la membrana. Finalmente, los iones H^+ y OH^- producidos por BPM en una configuración de membrana BMED diseñada adecuadamente, podrían convertirse con éxito en ácidos y álcali (Chen, Bi, Ji, et al., 2022).

El método BMED ha sido desarrollado para generar productos alcalinos sin impurezas ni emisión de contaminantes, evitando la introducción adicional de productos químicos (Valluri & Kawatra, 2021). En un contexto ambiental, se conoce que la abundante cantidad de magnesio en el agua de mar tiene un gran potencial para utilizar y almacenar CO_2 mediante magnesio líquido durante un proceso BMED típico, el gas CO_2 ácido podría absorberse termodinámicamente en los dispositivos BMED y el carbonato generado podría sedimentar iones catiónicos precipitables como recursos sólidos (Figura 4) (Jiang et al., 2017).

En relación con la mencionado, cuando el carbonato y la base se utilizaban como reactivos durante la captura de CO_2 el consumo de energía fue mucho menor en comparación con los métodos convencionales de recuperación térmica presentando ventajas que incluyen seguridad ecológica, alta eficiencia, bajo costo y durabilidad (Cheng et al., 2019). Esto debido a que la tecnología de acidificación se utilizó como alternativa a un proceso de calor con uso intensivo de energía (Perathoner & Centi, 2014). El consumo de energía más bajo informado anteriormente utilizando BMED es de alrededor de 92,4 kJ/mol- CO_2 (Nagasawa et al., 2009).

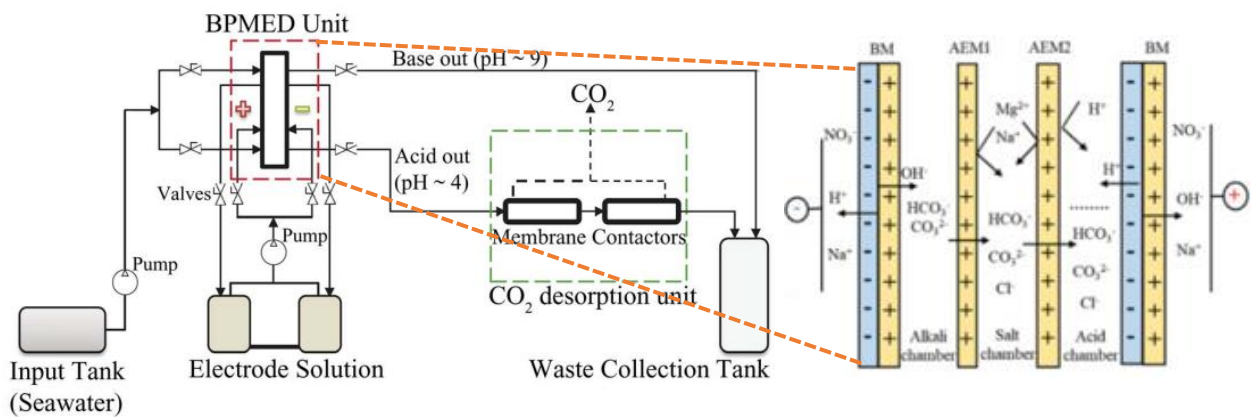


Figura 4. Esquema del montaje experimental de la unidad de BPMED. Fuente: (Chen, Bi, Zhao, et al., 2022; Eisaman et al., 2012)

2.1.5 Eficiencia Energética

El consumo específico de energía (SEC), en kWh por m³ de agua producida, es el parámetro más importante que se debe priorizar en el rendimiento de la desalinización (Qasim et al., 2019). El consumo energético en la desalinización es importante porque la producción de agua potable está directamente relacionada a la disponibilidad de agua salada y energía (Kaminski et al., 2018).

La cantidad de energía necesaria para un proceso de desalinización depende de la calidad del agua de alimentación, el nivel de tratamiento del agua, la tecnología de tratamiento utilizada por la instalación y la capacidad de la planta. El costo de la ED se ve afectado principalmente por la concentración de sal en el agua entrante al sistema. La capacidad global de desalinización de ED es solo del 3%, ya que la ampliación del proceso está limitada por el alto costo de los IEM en comparación con las membranas de ósmosis inversa.

2.1.6 Electrodialisis Inversa (EDI) para generación de energía

Hoy en día, el consumo de energía primaria crece de una manera abrumadora. Según Beshia et al. (2020), en el año 2018 se tuvo un porcentaje de crecimiento del 2.9%; valor que sobrepasó el promedio anual de 1.5% de 10 años atrás. Asocian además que este consumo energético viene dado por el uso de gas natural, el cual está asociado con las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

Por tal motivo, surge la necesidad de generar nuevas formas de obtención de energía primaria. Una de ellas es mediante el aprovechamiento de la energía del gradiente de salinidad (salinity gradient energy – SGE) en soluciones. Este SGE es considerado también como la “energía azul”; y se obtiene de la conversión del diferencial de potencial químico al mezclar dos soluciones salinas diferentes (Besha et al., 2020). De acuerdo con Tristán et al. (2020), la metodología de Electrodiálisis Inversa es un proceso electroquímico innovador que usa membranas de intercambio aniónico y catiónico para extraer energía eléctrica desde el flujo de iones y de la diferencia de potencial eléctrico de las membranas de intercambio iónico.

Una de las ventajas de utilizar este tipo de electrodiálisis para generar energía y tratar el agua de mar, es que transforma directamente el SGE en electricidad sin el uso de etapas intermedias de conversión de energía (Tristán et al., 2020). La energía del gradiente de salinidad es un tipo de energía renovable que aprovecha el poder producido por la diferencia de concentración de sal en dos cuerpos con distintas soluciones de agua.

Además, la EDI es menos propensa a padecer por problemas de fouling, brindando de esta manera rendimientos positivos en periodos de tiempo más largos (Tristán et al., 2020).

2.1.7 Especies de carbonatos en el agua de mar

El agua de mar se encuentra balanceada generalmente por iones de carbonato (CO_3), bicarbonato (HCO_3) y ácido carbónico (H_2CO_3). Por otra parte, estos iones se encuentran equilibrados por la absorción del CO_2 atmosférico en el océano. De acuerdo con Marcela et al. (2011) el agua de mar absorbe aproximadamente la mitad de CO_2 de las distintas actividades realizadas por los seres humanos; en equivalencia, cerca de 1 Ton de CO_2 producida por las actividades antropogénicas de una persona por año. Es decir, los océanos contienen 500 GTon de CO_2 que concierne a la mitad de las emisiones generadas por los seres humanos desde el año 1800. Por tal motivo, es necesario comprender este fenómeno de balance carbónico. Al momento de que el CO_2 atmosférico ingresa en proporciones bastante superiores al agua de mar, este se convierte en CO_2 disuelto; mismo que secuencialmente reacciona con el océano para

formar ácido carbónico (H_2CO_3); que, a su vez este ácido libera iones hidrogeno (H^+) al entorno.

Estos iones de hidrógeno reaccionan con los carbonatos (CO_3) y forman bicarbonatos (HCO_3), mismo que generan una pérdida considerable de minerales que son fundamentales para las especies carbonatadas. A este fenómeno se lo conoce como acidificación oceánica y se lo puede apreciar en la Figura 5.

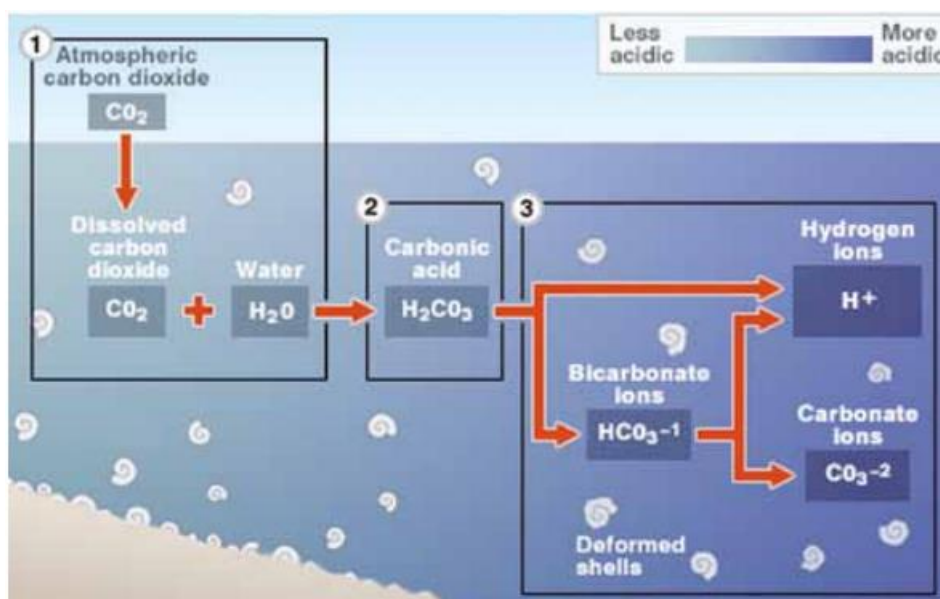


Figura 5. Reacción química del CO_2 en contacto con el agua de mar. Fuente: (Marcela et al., 2011)

2.2 Marco metodológico

El tipo de investigación es de tipo experimental, porque se enfoca realizar pruebas en el laboratorio de sanitaria en ESPOL, mientras que la metodología para la gestión de este proyecto es una metodología híbrida. Esta metodología estuvo compuesta de 4 fases de trabajo. La primera fase es titulada como búsqueda bibliográfica constó de la revisión literaria por medio de artículos científicos, tesis de grado y postgrados relacionada con experimentaciones de desalinización de agua de mar electrodiálisis utilizando membranas bipolares.

Posteriormente, en la segunda fase denominada trabajos de campo se realizó reconocimiento de campo, recolección de muestras de agua de mar y medición de parámetros físico-químicos in situ. La tercera fase denominada, fase experimental permitió utilizar el agua recolectada en Playa Pacoa para pruebas experimentales con

ratios de volumen de agua (ácida y básica) utilizando la electrodiálisis con membranas bipolares en el laboratorio de sanitaria en ESPOL.

En la cuarta fase denominada cálculo y análisis de los datos, permitió reescribir la información obtenida en la tercera fase, con el fin de calcular la energía específica óptima para potabilizar el agua de mar. Además, de proponer un sistema de recuperación de energía eficiente para la recuperación de energía del proceso electroquímico. Posteriormente, mediante la información obtenida se obtuvo cuanto CO_2 se produjo en el proceso de desalinización. Finalmente, se elaboró conclusiones en base a la interpretación de la información obtenida en la fase tres (Figura 6).

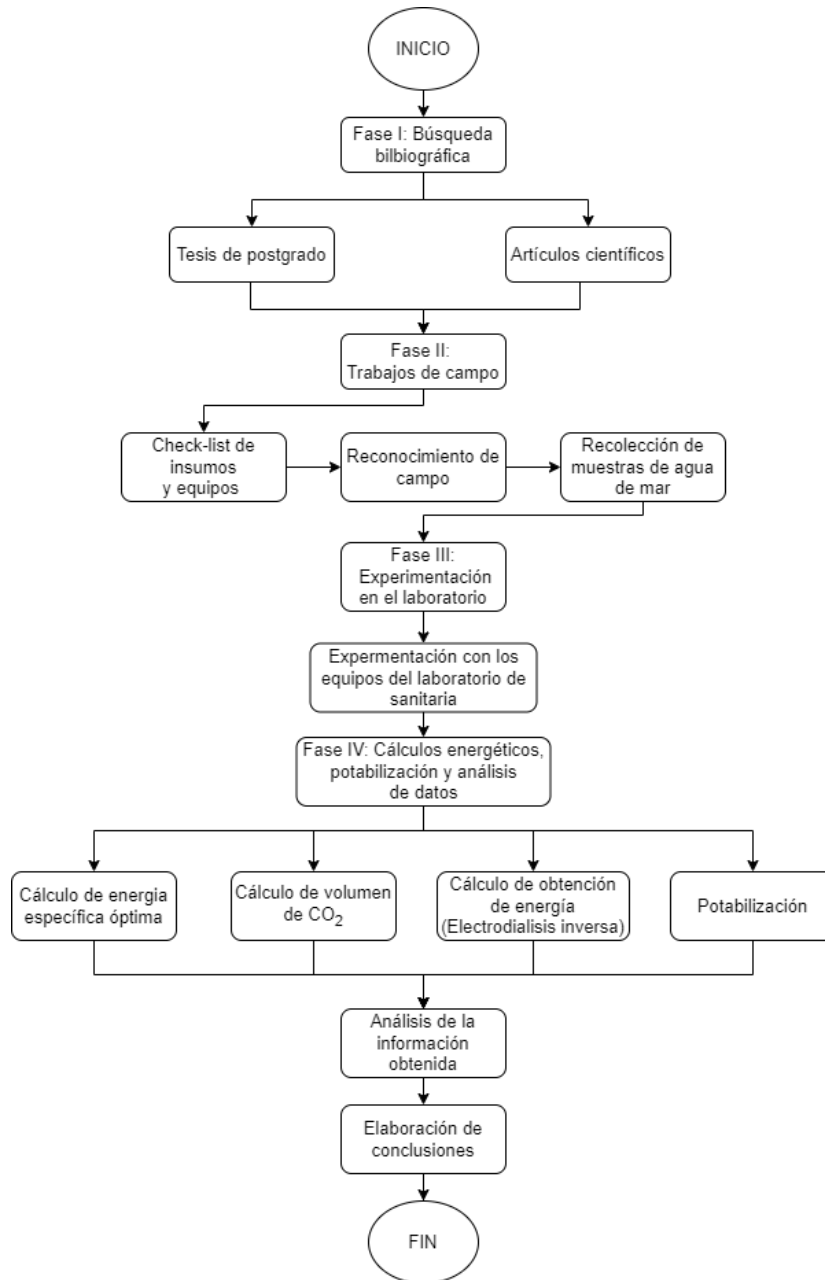


Figura 6. Esquema metodológico del proyecto. Fuente: Autores

2.2.1 Trabajo de campo

Previo al reconocimiento de campo se realizó el check-list de los equipos e insumos. Los equipos implementados para medir los parámetros físico-químicos del agua de mar fueron el turbidímetro y el multímetro, estos fueron calibrados en el laboratorio de sanitaria. Por otro lado, el buen estado de los insumos como hieleras, botellas plásticas, agua desionizada, marcadores, balde, sogas, entre otros fueron verificados indicando si están aptas para las actividades a cumplir (Tabla 7 dentro de la sección de PLANOS Y

ANEXOS). El check-list fue realizado por los ingenieros Christian Collahuazo e Israel Murillo.

Posteriormente, se inició el reconocimiento de campo arribando a la zona de estudio (a 1.31 km desde el borde costero de Playa Pacoa) para la recolección de 120 litros de muestras de agua de mar que fueron recolectadas en botellas de 1 litro. Previo a la toma de muestras se realizó la toma de parámetros físico-químico como turbidez, conductividad, salinidad, temperatura, pH, entre otros con el multímetro y el turbidímetro (Figura 7: A y B). Estos parámetros fueron importantes para verificar si el agua no estuviese contaminada por actividades humanas (desechos industriales y efluentes de aguas residuales).

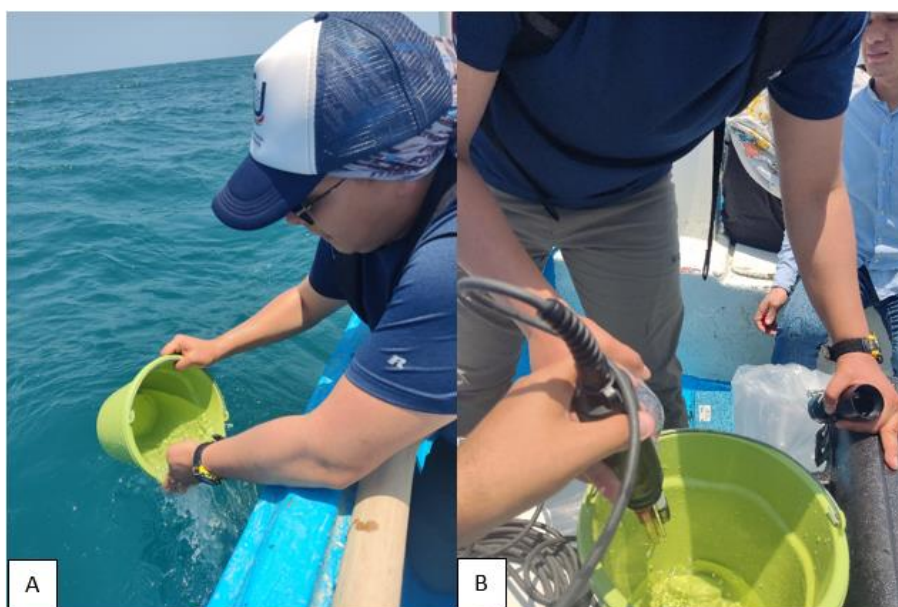


Figura 7. Medición de parámetros físico-químico. Fuente: Autores

Entre estos parámetros la turbidez es el más importante, porque este debe ser un valor menor a 3 NTU. Posterior a la verificación de este valor, se procedió a la recolección de agua dentro de las botellas de 1 litro. Antes de la recolección se enjuagó la botella 3 veces de manera rápida. Posteriormente, para evitar el intercambio carbónico una vez llena la botella con el agua de mar se tenía que cerrar de manera rápida (Figura 8). Finalmente, se colocaron todas las botellas en la hielera con hielo comprado en la misma zona, para proceder a mantener la temperatura en 5°C. Al regresar al laboratorio de sanitaria en ESPOL, se colocó las botellas en una refrigeradora (Figura 9).



Figura 8. Verificación de turbidez y embebedo de botellas con agua de mar. Fuente: Autores



Figura 9. Recolección y almacenado del agua de mar. Fuente: Autores

2.2.2 Trabajo de laboratorio o gabinete

Electrodiálisis mediante el uso de Membranas Bipolares

Con la finalidad de resolver la problemática de pre-potabilización y acidificación de agua de mar se realizó un proceso de electrodiálisis mediante el uso de membranas bipolares. Como se puede observar en la Figura 10, la configuración en laboratorio consistió en

ensamblar el stack de electrodiálisis con la configuración de cuatro pares de membranas; con el objetivo de obtener dos flujos de salida: agua de mar ácida y agua de mar básica. Conectado la ayuda de un potencióstato se lo coloca tanto en el ánodo como en el cátodo del stack con la finalidad de generar la corriente necesaria para que genere el proceso de disociación de los iones presentes en el agua de mar y poder obtener las soluciones deseadas en las salidas de cada flujo.

Además, se utilizó una bomba que permitió absorber los flujos de ingreso mediante la determinación del caudal de circulación para obtener agua de mar ácida y básica bajo el criterio de optimizar la energía específica consumida en cada experimento. Juntamente con la recirculación del electrodo necesario para que circule dentro de la unidad de electrodiálisis.

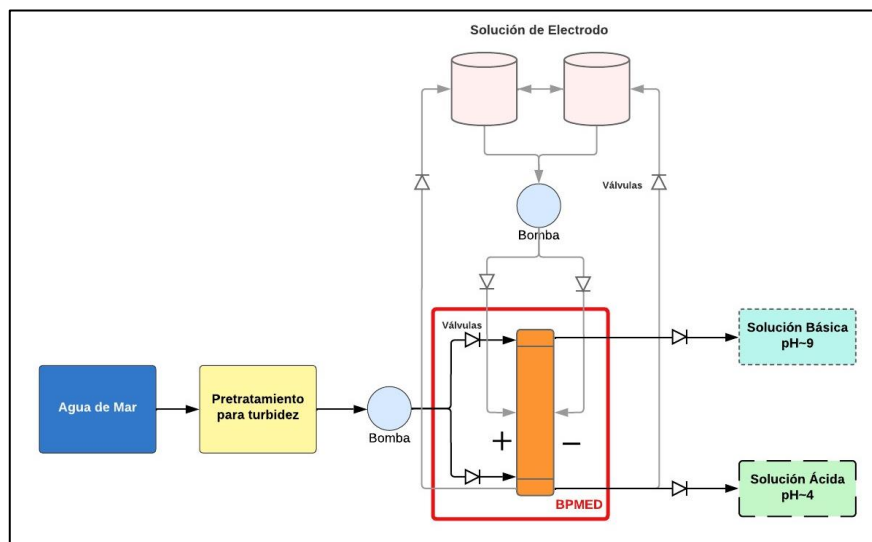


Figura 10. Esquema por considerar para ensamble en laboratorio. Fuente: Autores

En la Figura 11 se puede apreciar detalladamente el stack considerado para la experimentación. El mismo consta de compartimentos en pares de cuatro membranas bipolares; membranas de intercambio aniónico; y, membranas de intercambio catiónico en los extremos necesarias para separar los electrodos.

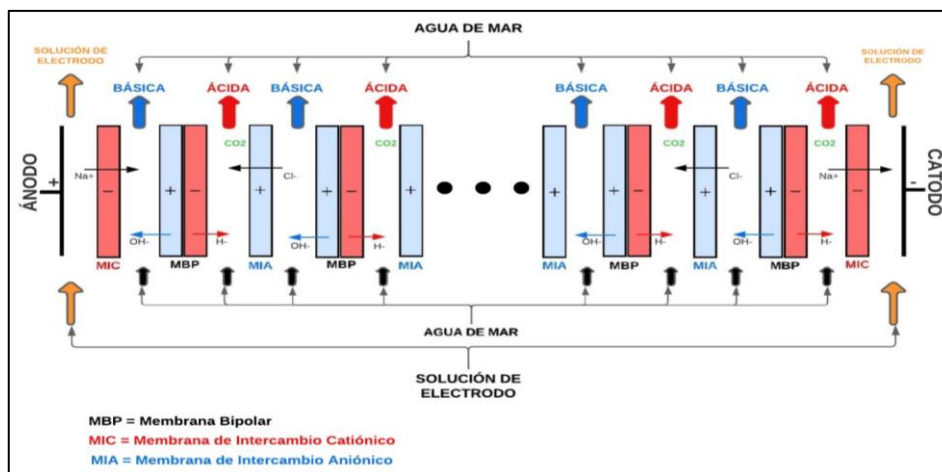


Figura 11. Diseño experimental de la BPMED (Bipolar Membrane Electrodesis – Electrodiálisis con Membrana Bipolar). Fuente: Autores

Una vez ensamblado el stack de electrodiálisis necesario para la experimentación, se procedió a determinar las relaciones de solución a considerar en cada proceso experimental.

Para el inicio de este proceso se determinó las distintas relaciones (ratios) a trabajar, mismas que fueron analizadas en base a su eficiencia en el proceso de electrodiálisis; es decir, fue necesario evaluar su eficiencia volumétrica ya que, de acuerdo con la concentración de iones, en la parte ácida existe una mayor presencia de estos; lo que favorece la eficiencia de electrodiálisis. Las relaciones trabajadas para esta fase fueron 1:5; 1:6; y, 1:7. Para todas estas relaciones la unidad es considerada como el volumen constante de la solución ácida, para cumplir con el criterio de eficiencia detallado anteriormente.

Posterior a ello, se determinó el voltaje a considerar como suministro para la unidad BPMED para cada relación; y, la cantidad de solución de electrolito que va a circular en el mismo. De acuerdo con Pärnamäe et al (2021), la forma más común y práctica para el estudio electroquímico de una membrana bipolar es la voltamperometría. Esta metodología consiste en el uso de la curva corriente-voltaje esquemática (CVC) para conocer la diferencia de potencial en el sistema de la membrana.

De acuerdo con la Figura 12 propuesta en el estudio por Pärnamäe et al, la curva CVC presenta distintas regiones en las cuales la aplicación de corriente efectiviza la disociación del agua. En la región 1 representa la resistencia óhmica para el sistema de

membranas. Esta región caracteriza la densidad de corriente transportada por co-iones, es decir, mientras mayor es la permeaselectividad de la membrana, menor es su valor en la curva. La región 2 representa el salto exponencial en el que comienza la generación de iones H^+ y OH^- . La región 3 representa la resistencia a la disociación del agua; es decir, demuestra la capacidad de la membrana bipolar para intensificar la disociación del agua.

Mediante el uso de la ecuación de Nerst (Pärnamäe et al., 2021) se determinó que para disociar agua mediante el uso de una membrana bipolar es necesario la intervención de 0.83 Volt. Por lo tanto, al tener 4 pares de membranas bipolares, era necesario considerar 3.32 Volt. Sin embargo, asumiendo que la cinética del experimento resultaría bastante tardada, se inició dicha fase con la aplicación de 4 Volt.

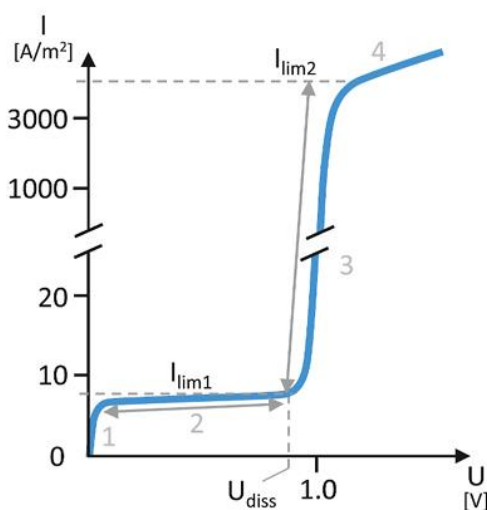


Figura 12. Curva esquemática de Corriente-Voltaje para una membrana bipolar.

Fuente: Pärnamäe et al, 2021

Por otro lado, es necesario tener en cuenta que los procesos de electrodiálisis con el uso de membranas bipolares en un sistema cerrado generan incrustaciones (scaling) en las paredes de las membranas que se encuentran dentro del stack generando así un obstáculo la aplicación de este sistema. Este fenómeno se produce por la precipitación de compuestos orgánicos e inorgánicos dentro del stack, lo que a su vez genera incrustaciones y suciedad en la superficie de las membranas. La causa principal de esta precipitación e incrustación es debido a que los cationes di o multivalentes precipitan en

soluciones neutras o alcalinas con contenido de iones como Ca^{2+} , Mg^{2+} , entre otros (Pärnamäe et al., 2021).

En la Figura 13 a) se puede apreciar las incrustaciones que se generan en las membranas cuando no existe un control adecuado de los parámetros para evita la precipitación de los distintos compuestos orgánicos e inorgánicos; en comparación con la Figura 13 b) la cual representa una membrana en óptimas condiciones de operación.

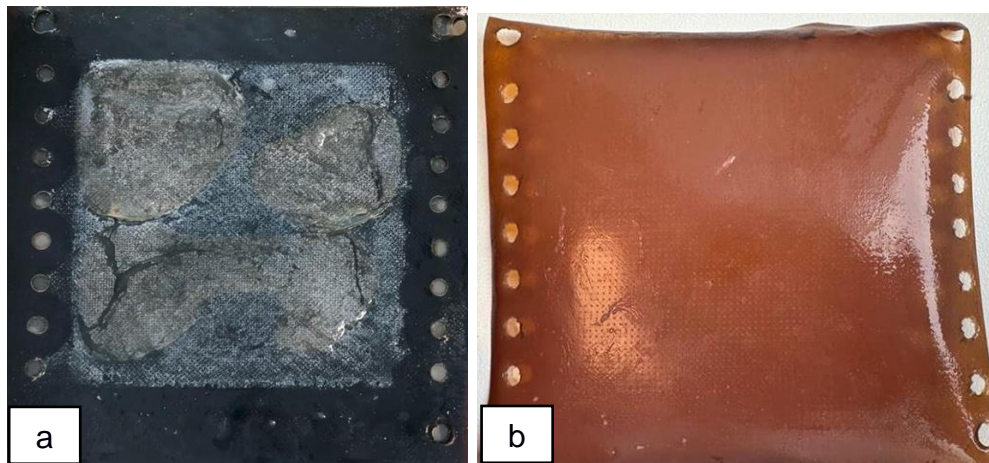


Figura 13. a) Incrustaciones (scaling) en membrana. b) Membrana en óptimas condiciones. Fuente: Autores

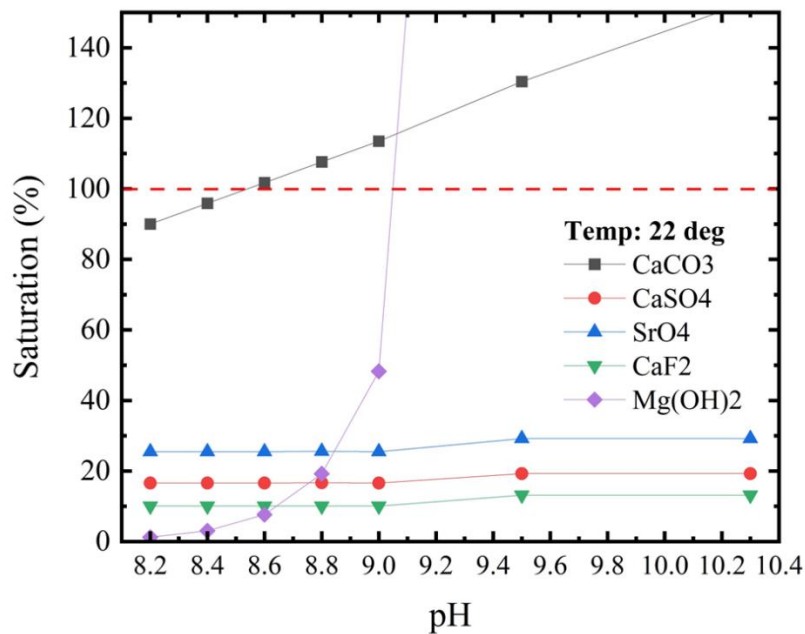


Figura 14. Porcentaje de saturación de los diferentes precipitados en procesos de electrodiálisis. Fuente: Autores

Con lo antes expuesto, la fase experimental se centró en no generar scaling en su proceso de electrodiálisis; ya que, al optimizar valores de ratios y corriente, se llegó a determinar que la solución alcalina no debe sobrepasar un pH igual a 8.7. Este valor se obtuvo del análisis de la Figura 14 en la cual se puede determinar que el Carbonato de Calcio (CaCO_3) es uno de los primeros precipitados en generar scaling bajo un entorno altamente alcalino. Por tal razón y con el objetivo de no generar scaling y disminuir la vida útil de la membrana; se tomaron las consideraciones descritas que eviten el aumento tanto de la resistencia como del consumo energético en el proceso.

Por tal motivo y en referencia a la Figura 15, se consideran los distintos parámetros antes mencionados que deben ser considerados antes de iniciar el proceso de electrodiálisis. Es decir, se debe verificar que la unidad de BPMED se encuentra ensamblada correctamente y que la misma no presente fugas; preparar las relaciones (ratios) con de las respectivas soluciones a experimentar; y verificar los distintos constituyentes para iniciar la fase experimental.

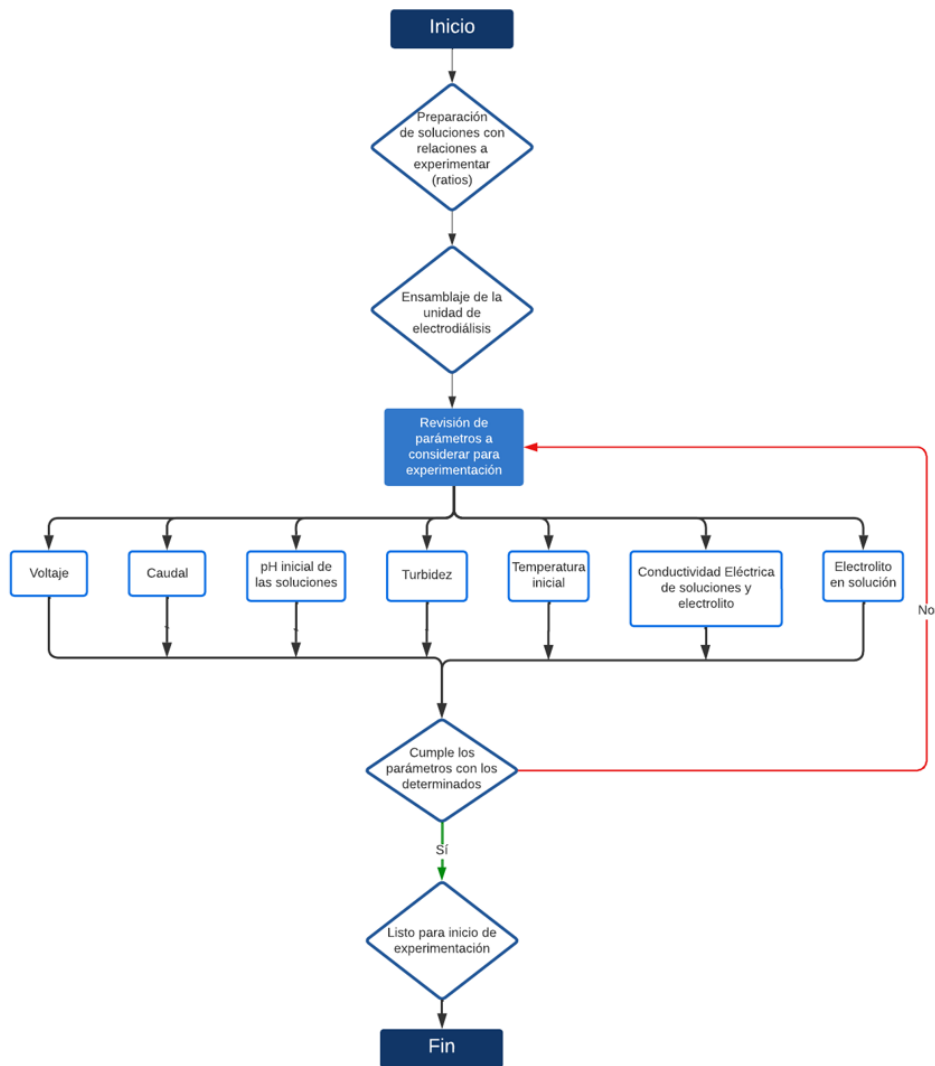


Figura 15. Fase I: Revisión de parámetros. Fuente: Autores

El proceso de recolección de datos se lo hizo de manera manual con intervalos de tiempo entre 20 y 30 segundos con la finalidad de saber en ese tiempo (Cinética) el pH tanto de las soluciones ácidas como básicas; la conductividad eléctrica de cada solución; y, la temperatura de estas; tal como como se observa en la Figura 16.

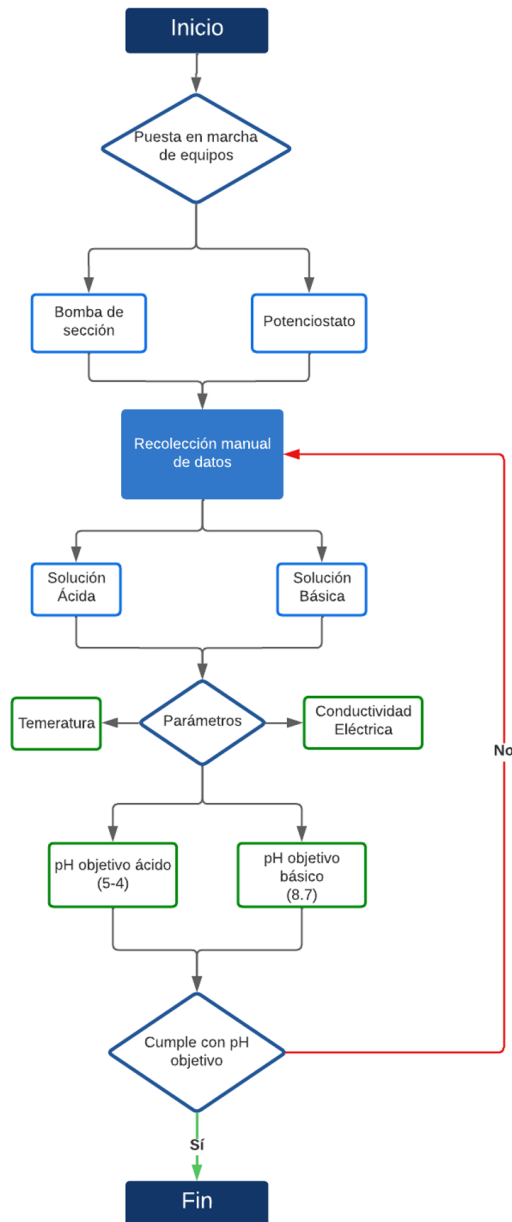


Figura 16. Fase II: Experimentación y recopilación de datos. Fuente: Autores

Electrodiálisis Inversa para generación de energía y pre-potabilización

Una vez resuelta la problemática de acidificación al dividir las corrientes de agua de mar en soluciones ácida y básica, se desarrolló un proceso de pre-potabilización bajo el criterio analizar el parámetro de conductividad al agua de mar. Para poder realizar este pre-tratamiento se aplicó la metodología de Electrodiálisis Inversa con el uso de membranas aniónicas y catiónicas.

Por tal motivo, para el análisis de esta etapa de experimentación, se procedió a usar agua de mar como la solución con una concentración elevada de sal (alta conductividad); y, agua de grifo para la concentración baja de sal (baja conductividad).

Como se puede apreciar en la Figura 17, se procedió a ensamblar el stack bajo el criterio de uso de 6 pares de membranas (aniónicas y catiónicas); considerándose además un flujo de a 100 mL/min para recirculación del agua de mar y agua de grifo en el stack. En esta experimentación se conectó tanto el cátodo, como el ánodo al potencióstato para que este registre cuanta energía genera el proceso electroquímico.

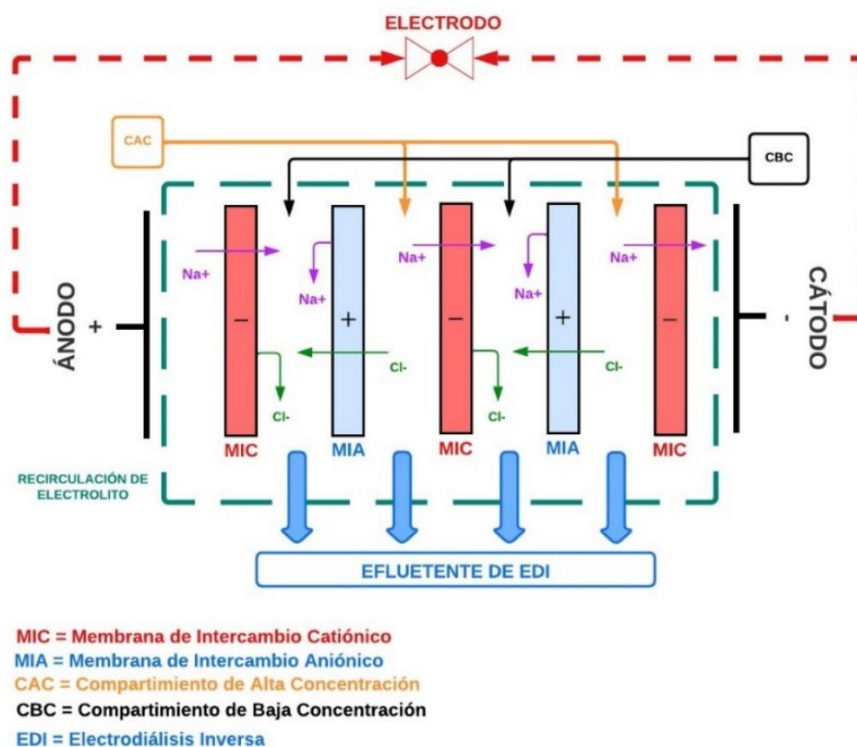


Figura 17. Diseño experimental de la EDI (Electrodialysis Reverse – Electrodiálisis Inversa) Fuente: Autores

Para las soluciones con distintos niveles de salinidad se utilizó agua de mar y agua de grifo. Bajo el criterio de experimentación batch (recirculación), se utilizó como ratio (relación) entre volumen de soluciones 1:1. Es decir, 1 litro de solución de agua de mar y 1 litro de solución de agua de grifo.

Las consideraciones de estas soluciones se presentan en la Tabla 1, utilizando también solución electrolítica que permitió el transporte de los iones entre los dos cuerpos de agua.

Tabla 1. Consideraciones iniciales para el proceso de EDI

Solución	Cond. Eléctrica	Temperatura
CE - AGUA DE MAR	54.36	25.15
CE - AGUA DE GRIFO	0.89	25.56
CE - ELECTROLITO	30.46	24.66

La migración selectiva de iones crea una acumulación de carga positiva en la solución de baja salinidad; mientras que, para la parte de alta salinidad se genera una carga negativa. Este proceso establece una diferencia de potencial. Por lo tanto, el potencial de circuito abierto (OCP – open circuit potential) representa el pico de esta diferencia de potencial antes de comenzar un flujo de corriente (Besha et al., 2020).

Para poder calcular el potencial de circuito abierto, es necesario aplicar la ecuación (1) formulada por Nerst que consiste en:

$$OCV = \frac{NRT}{F} \left[\frac{\alpha_{CEM}}{z} \ln \frac{\gamma_{CEM} \cdot C_c}{\gamma_{CEM} \cdot C_d} + \frac{\alpha_{AEM}}{z} \ln \frac{\gamma_{AEM} \cdot C_c}{\gamma_{AEM} \cdot C_d} \right] \quad (1)$$

Donde OCV (open circuit voltage – circuito abierto de voltaje) es el potencial (V) que deseamos conocer; R es la constante universal de los gases ($JK^{-1}mol^{-1}$); T es la temperatura (Kelvin); z es el número de electrones transferidos en la reacción; F es la constante de Faraday; α_{CEM} es el coeficiente de las membranas catiónicas; α_{AEM} es el coeficiente de las membranas aniónicas; γ_{CEM} y γ_{AEM} es el coeficiente de actividad de las soluciones concentradas y diluida; C_c es la concentración molar de la solución concentrada (agua de mar); y, C_d es la concentración molar de la solución diluida (agua dulce).

2.2.3 Tabulación de datos

Se realizó un análisis cuantitativo mediante el uso de la herramienta informática Excel, para determinar cuál de los experimentos ensayados generaba un consumo energético óptimo en la obtención de CO₂. Para ello se consideró el voltaje en cada experimento; la

intensidad de corriente necesaria; y se procedió con el cálculo de la energía acumulada de acuerdo con el tiempo registrado en el potenciostato.

Posteriormente, se procedió a calcular la energía específica para la obtención tanto de pH=5 y pH=4 en cada experimentación. Se consideró para la obtención de dicha energía la intensidad en el tiempo en que se logró obtener los distintos pH objetivos; la energía consumida en el tiempo en que la experimentación logro llegar a estos valores; y, el factor de molaridad de CO₂ que para el presente estudio se consideró 2.35 milimol (mMol).

Además de estos parámetros, de acuerdo con la Figura 18, se puede apreciar que bajo condiciones normales (línea azul) el pH del agua de mar se encuentra en un valor de 8.2 con un 100% de concentración de Bicarbonato (HCO₃). Sin embargo, para el proceso de electrodiálisis se consideró para la solución ácida una concentración de CO₂ acuoso para pH=5 igual al 96%; y para pH=4 igual al 100%.

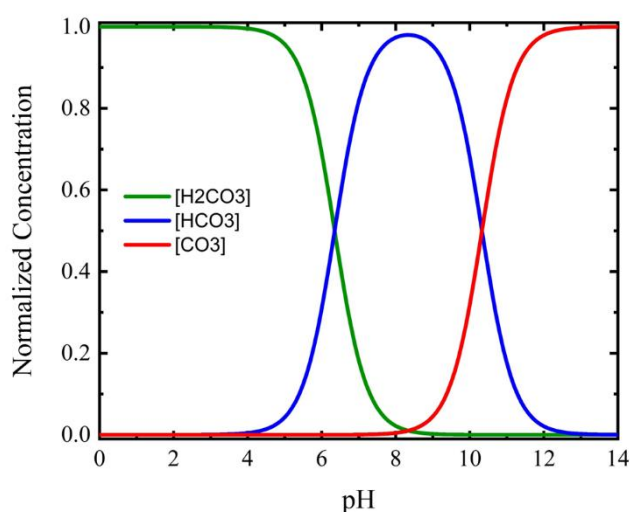


Figura 18. Concentración de Ácido Carbónico, Bicarbonato y Carbonato de acuerdo con el rango de pH. Fuente: (Rokitta & Wegener, 2012)

Con todas las directrices detalladas anteriormente, se procedió finalmente a obtener un cuadro resumen con los datos obtenidos para determinar cuál es la relación que permita tener un consumo energético óptimo y con una menor cinética para llegar a los pH objetivo.

En cuanto a obtención de energía y pretratamiento se procedió a tabular los datos obtenidos por el potencióstato, con la finalidad de saber cual es la energía para acumulada en el proceso electroquímico. Esta energía fue analizada de acuerdo con el consumo de kW (Kilovatio) por hora; medida en intervalos de 20 segundos entre cada lectura tomada.

2.2.4 Solución a diseñar

Mediante la aplicación de electrodiálisis con el uso de membranas bipolares se pretende dividir las moléculas de agua en iones de hidrógeno e hidróxido. La finalidad de esta separación es que los iones de hidrógeno se desplacen hacia el cátodo, mientras que los iones de hidróxido se desplacen hacia el ánodo; creando en el proceso de desplazamiento dos tipos de corrientes: una ácida y una básica.

La corriente ácida contendrá una alta concentración de iones de hidrógeno y CO_2 disuelto, mismo que puede convertirse en CO_2 gaseoso y mediante el respectivo proceso de catálisis puede ser aprovechado como Green Molecules (Moléculas Verdes). La corriente básica contendrá iones de hidróxido mismos que al reaccionar con los iones de calcio y magnesio pueden formar hidróxidos de calcio y magnesio que precipiten fuera de la solución.

Por lo tanto, el presente estudio plantea diseñar un sistema que permita, por un lado, pre-potabilizar el agua de mar; y por otro, dejar el agua de mar dividida en corrientes ácidas y básicas; es decir, en soluciones listas para pre-desalinización por medio de Electrodiálisis Inversa (EDI); y, CO_2 listo para su extracción, bajo el criterio de eficiencia energética.

Para el proceso de obtención de energía mediante EDI, se plantea seleccionar membranas aniónicas y catiónicas cuya permeabilidad sea de aproximadamente 96% con la finalidad de permitir la migración iones de las distintas soluciones. Con la ayuda de la presión osmótica podremos obtener este movimiento de iones de sodio (Na^+) y cloruro (Cl^-); y bajo una permeabilidad alta de las membranas, poder impedir el paso de agua de las distintas soluciones.

CAPÍTULO 3

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Resultados

3.1.1 Electrodiálisis mediante el uso de Membranas Bipolares

3.1.1.1 Consumo energético

Bajo los parámetros analizados y considerados con anterioridad previo al inicio experimental, se procedió a realizar la primera fase de análisis con el objetivo de lograr encontrar la relación (ratio) óptima para obtener un menor consumo energético, llegar al pH objetivo y poder hacer del experimento eficiente en cuanto a su cinética.

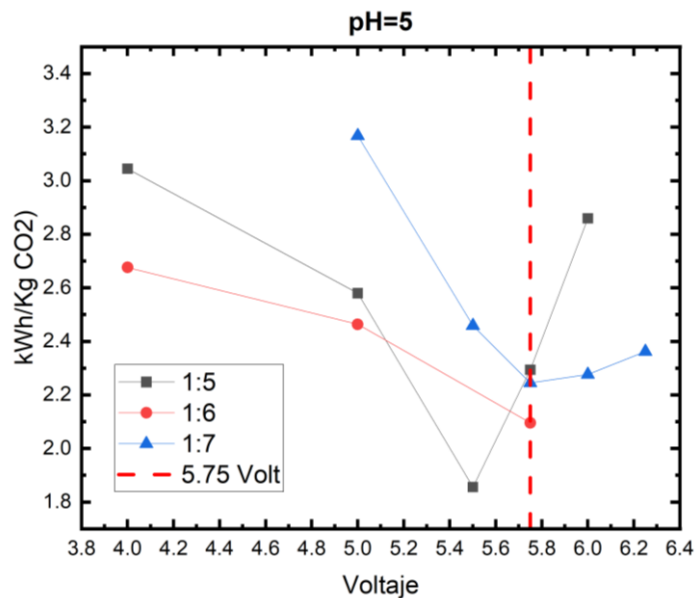


Figura 19. Energía específica generada para llegar a pH=5. Fuente: Autores

De acuerdo con la Figura 19, se puede apreciar que con la aplicación de la relación (ratio) 1:5 presenta mayor eficiencia en cuanto al factor de consumo energético ya que para un voltaje igual a 5.75 se tiene energía específica igual a 2.294 kW.h/kg CO₂.

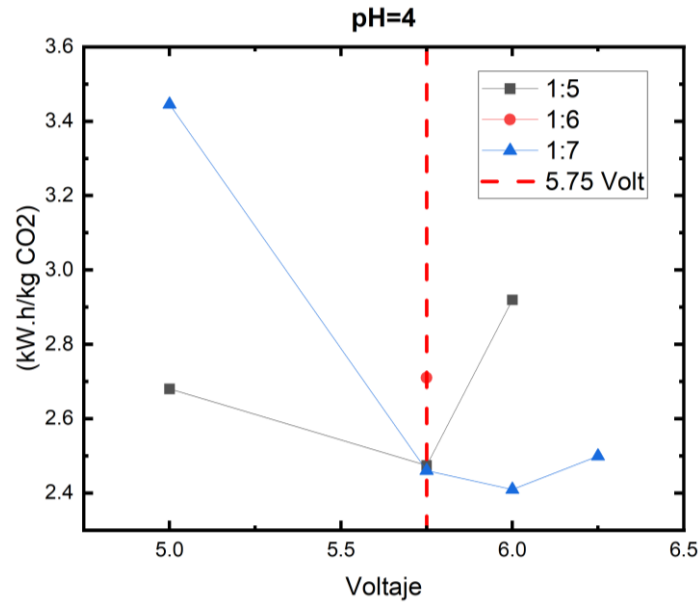


Figura 20. Energía específica generada para llegar a pH=4. Fuente: Autores

Como se puede apreciar en la Figura 20, para poder llegar a tener una solución ácida con pH igual a 4 tenemos dos relaciones que cumplen con el criterio de eficiencia de consumo energético ya que para la relación 1:5 se tiene un consumo de 2.474 kW.h/kg CO₂; mientras que para la relación 1:7 se obtiene un consumo de 2.460 kW.h/kg CO₂. Estos consumos energéticos óptimos se los obtiene a través de la aplicación de 5.75 Voltios (Volt).

3.1.1.2 Cinética de la experimentación

Como se puede apreciar en la Figura 21, se tiene que bajo la aplicación de las distintas relaciones para las soluciones ácido-base y de acuerdo con el voltaje suministrado al equipo de electrodiálisis, se observa que bajo la aplicación de 5.75 Volt tenemos una cinética menor a 20 minutos de experimentación para poder llegar al objetivo de pH=5 en la solución ácida.

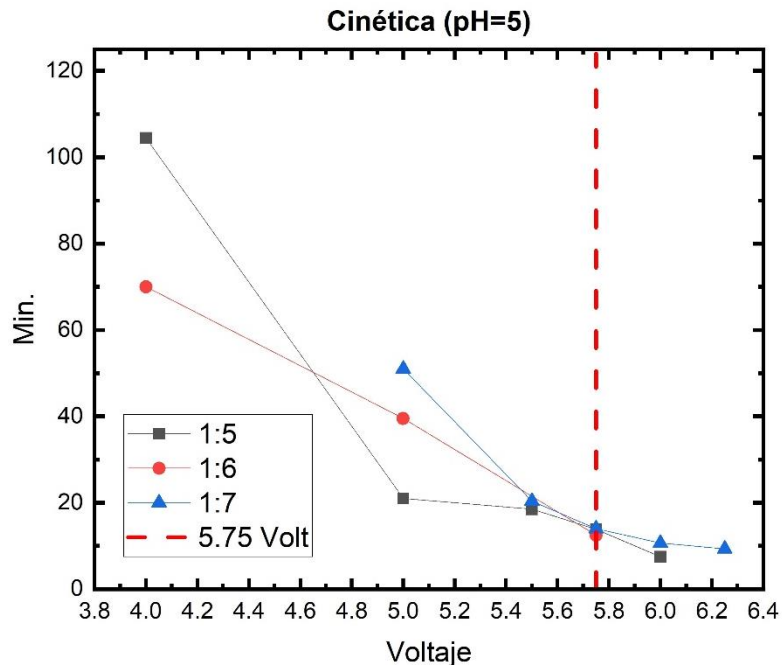


Figura 21. Cinética para lograr a pH=5. Fuente: Autores

De la misma manera, de acuerdo con la Figura 22 se tiene que bajo la aplicación de 5.75 Volt presenta una cinética inferior a los 20 minutos de trabajo de la unidad BPMED.

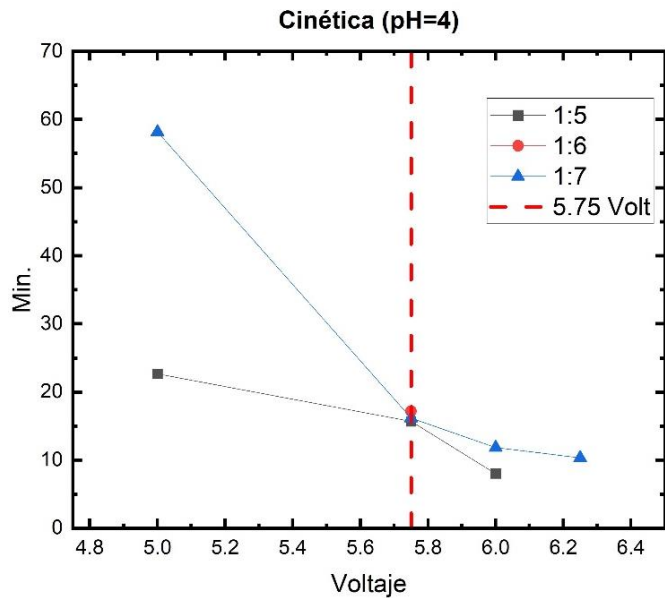


Figura 22. Cinética para lograr a pH=4. Fuente: Autores

3.1.2 Electrodiálisis Inversa (EDI) para generación de energía y pre-potabilización

3.1.2.1 Conductividad eléctrica

Luego de realizar el proceso electroquímico de Electrodiálisis Inversa mediante el criterio de recirculación se obtienen los siguientes valores finales que se presentan en la Tabla 2. En esta se puede apreciar como la conductividad eléctrica disminuye para la solución de agua de mar debido a una estabilización del SGE de las soluciones tomadas en consideración.

Tabla 2. Resultados del proceso de EDI

	Cond. Eléctrica	Temperatura
CE - AGUA DE MAR	32.65	28.73
CE - AGUA DE GRIFO	20.12	28.51 °C
CE - ELECTROLITO	31.62	30.06

Por otra parte, se tiene también un aforo final del volumen tanto de la solución de alta salinidad (agua de mar) como de la de baja salinidad (agua de grifo); como se puede apreciar en la Tabla 3. El volumen de agua de grifo disminuye y pasa a formar parte del volumen de la solución de agua de mar (salinidad alta).

Tabla 3. Volumen final de las soluciones producto del EDI

Relación	1:1	
Inicial	Agua de Mar	1000
	Agua de Grifo	1000
	Electrolito	3000
Final	Agua de Mar	1160
	Agua de Grifo	510
	Electrolito	2680
	Agua en stack	330
	Fugas	250

mL

3.1.2.1 Potencial obtenido (OCV)

Para calcular el OCV (open circuit voltage – circuito abierto de voltaje) se realizó el cálculo teórico del mismo usando la Ecuación 1. De acuerdo con la Tabla 4 se obtuvo un $OCV_{TEORICO}$ igual a 0.994 V.

Tabla 4. OCV teórico

VARIABLES	VALOR
N	6
R	8.314
T	296.15
F	96485
α CEM	0.96
α AEM	0.95
Z	1
Y	1
Cc SW (agua de mar)	0.51
Cd RW (agua dulce)	0.017
OCV_{TEORICO}	0.994

Con respecto a la Figura 23, al inicio de la experimentación se tiene un registro elevado de voltaje de 0.87 V para una cinética de 27.08 segundos o su equivalente a 0.007 horas. Este fenómeno se presenta debido a la diferencia de salinidad de las soluciones. Por otro lado, mientras aumenta la cinética experimental, el potencial empieza a estabilizarse como se puede apreciar en el decrecimiento de la curva registrada.

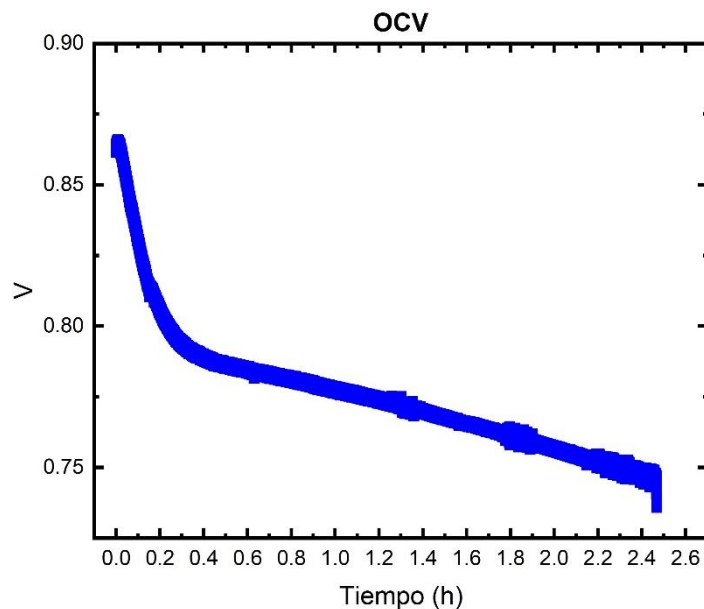


Figura 23. Potencial obtenido a partir de la cinética aplicada. Fuente: Autores

3.2 Análisis de resultados

Electrodiálisis mediante el uso de Membranas Bipolares

Al momento de realizar la fase experimental se logró obtener dos comportamientos similares que cumplen con el objetivo del estudio. Se procedió a analizar los Ratios 1:5 y 1:7 ya que son los que obtiene comportamientos similares.

Como se puede apreciar en la Figura 24, con la aplicación de 5.75 Volt para las dos ratios (1:5 y 1:7), al final del proceso experimental de la ratio 1:5 se obtuvo que para llegar a pH_{5-objetivo}, el pH alcalino fue de 8.48 y para llegar a pH_{4-objetivo}, el pH alcalino fue de 8.52. Por otra parte, para la ratio 1:7, al finalizar el proceso experimental, se obtuvo que para llegar a pH_{5-objetivo}, el pH alcalino fue de 8.57 y para llegar a pH_{4-objetivo}, el pH alcalino fue de 8.62. Estos resultados nos brindan la eficiencia en las membranas para no generar scaling.

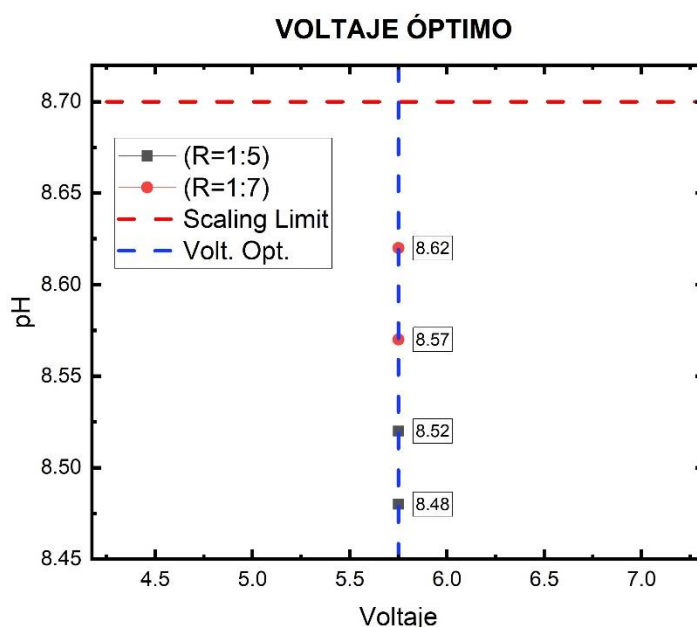


Figura 24. Resultados de pH básico en los ratios 1:5 y 1:7 bajo la aplicación de 5.75 Volt.

Fuente: Autores

De acuerdo con la Figura 25, se puede apreciar que bajo el criterio de eficiencia en el comportamiento de cinética experimental tenemos que en la configuración con ratio 1:5, para llegar a pH_{5-objetivo}, presenta una duración de 13.83 min, y para pH_{4-objetivo} se tiene una duración de 15.67 min.

En comparación con la configuración 1:7, esta presenta una cinética más tardía; ya que para el pH_{5-objetivo} se tiene una duración de 14 min; y para pH_{4-objetivo} se tiene una duración de 16.17 min.

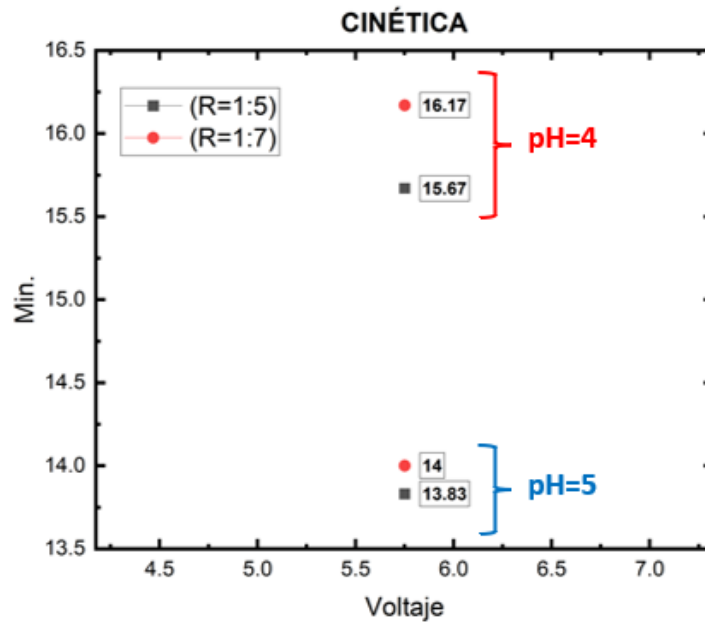


Figura 25. Resultados de cinética experimental en los ratios 1:5 y 1:7. Fuente: Autores

Por otro lado, al momento de analizar el consumo energético (Figura 26) de cada ratio, se tiene que con la ratio 1:5 para llegar a pH_{5-objetivo} existe un consumo de 2.294 kW.h/kg CO₂; y para llegar a pH_{4-objetivo} existe un consumo de 2.474 kW.h/kg CO₂. Sin embargo, para la ratio 1:7 se tiene que para llegar a pH_{5-objetivo} existe un consumo de 2.245 kW.h/kg CO₂; y para llegar a pH_{4-objetivo} existe un consumo de 2.46 kW.h/kg CO₂.

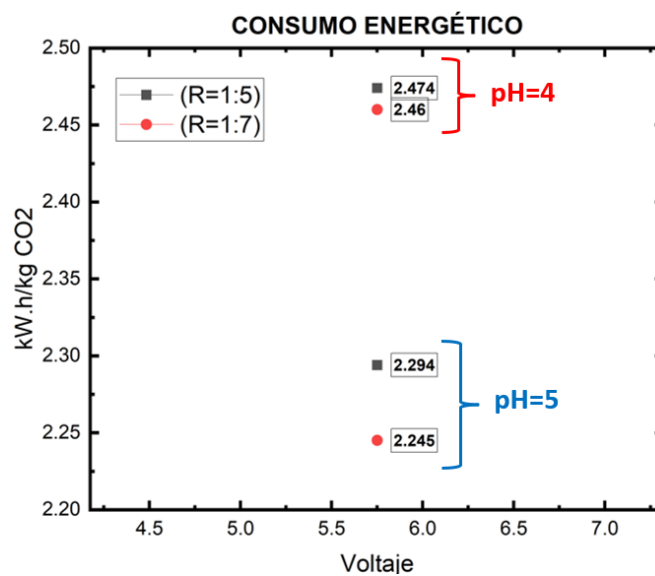


Figura 26. Resultados de energía específica en los ratios 1:5 y 1:7. Fuente: Autores

En la Tabla 5 se tiene un resumen de los valores finales de las dos configuraciones experimentales.

Tabla 5. Resultados obtenidos con ratios 1:5 y 1:7

RATIO	pH	Voltaje	Tiempo	ph Final	ph Final	E. Especifica
		V	min	ÁCIDO	BÁSICO	kW.h/kg CO ₂
1.5	5	5.75	13.833	5.030	8.48	2.294
	4	5.75	15.667	4.130	8.520	2.474
1.7	5	5.75	14.000	5.000	8.57	2.245
	4	5.75	16.167	3.960	8.620	2.460

Electrodiálisis Inversa (EDI) para generación de energía y pre-potabilización

Referente a generar un proceso de pre-tratamiento bajo el criterio de disminución de conductividad eléctrica (CE) presente en la solución de agua de mar; podemos observar en la Tabla 6, que luego de transcurridas 36 h aproximadamente de experimentación, la conductividad eléctrica disminuye considerablemente. Pasa de un estado inicial de 56.6 mS/cm bajo una temperatura de 25.15 °C, a una conductividad de 36.65 mS/cm a una temperatura de 28.73 °C.

Por otro lado, la conductividad eléctrica del agua de grifo aumenta en el proceso de EDI. Pasa de CE de 0.89 mS/cm bajo una temperatura de 25.56 °C, a una CE final de 20.12 mS/cm bajo una temperatura de 28.51 °C. De esta manera se cumple la etapa de inicio de estabilización del SGE en el proceso electroquímico.

Tabla 6. CE final del proceso de EDI

Solución	Parámetros	mS/cm	°C
Agua de Mar	Cond. El. Inicial	56.6	25.1
	Cond. El. Final	36.65	28.73
Agua de Grifo	Cond. El. Inicial	0.89	25.56
	Cond. El. Final	20.12	28.51

Debido a la presión osmótica que se genera en el proceso de EDI, la solución que presenta una salinidad baja (agua de grifo) tiende a migrar hacia la solución que tiene mayor salinidad (agua de mar). Por lo tanto, en este proceso existe una migración tanto de los iones de sodio (Na⁺) y cloruro (Cl⁻) como de la solución de baja salinidad; en este caso, agua de grifo. Por tal motivo, como se puede apreciar en la Tabla 3, el volumen de

agua de grifo disminuye y pasa a formar parte del volumen de la solución de agua de mar (salinidad alta).

Respecto al OCV (open circuit voltage – circuito abierto de voltaje), se tiene que el $OCV_{TEORICO}$ es de 0.994 V; y, experimentalmente se llegó a obtener un $OCV_{EXPERIMENTAL}$ igual a 0.87 V. Existiendo entre los dos valores una variación del 12.53% debido a pérdidas generadas en el proceso de EDI, además de la influencia de la permeaselectividad de las membranas. Además, como se puede apreciar en la Figura 27, el proceso de EDI puede generar una acumulación de energía mientras aumenta la cinética de este. Por esta razón, esta energía puede ser almacenada para ser utilizada en distintos procesos que requieran de energía.

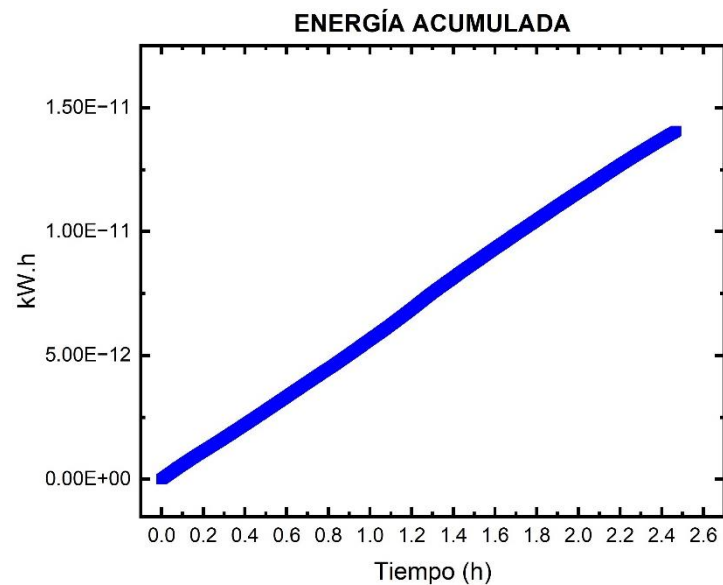


Figura 27. Energía acumulada del proceso de EDI. Fuente: Autores

CAPÍTULO 4

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

En cuanto a prevención de precipitación de sales y obtención del mínimo consumo de energía específica en la desalinización y captura de CO₂ podemos decir que existen bastante similitud en cuanto a los resultados obtenidos para los dos procesos bajo las configuraciones descritas anteriormente; sin embargo, es menester manifestar lo siguiente:

- En términos de pH final en la solución final alcalina, la ratio 1:7 produce un pH alcalino más alto que la ratio 1:5. Es decir, en grandes volúmenes de solución bajo la ratio 1:7, podría llegar a generar disminución de la vida útil de las membranas y generar scaling en las mismas.
- En términos de cinética experimental, la ratio 1:5 es menor a la ratio 1:7 para llegar a ambos pH objetivo.
- En términos de consumo energético se tiene que la ratio 1:7 para llegar a pH_{5-objetivo} genera un consumo de 2.245 kW.h/kg CO₂, inferior a la ratio 1:5 que para llegar a pH_{5-objetivo} consume una energía específica de 2.294 kW.h/kg CO₂ (diferencia de 0.049 kW.h/kg CO₂).

Sin embargo, para llegar a pH_{4-objetivo} la ratio 1:7 genera 2.46 kW.h/kg CO₂ y la ratio 1:5 genera 2.474 kW.h/kg CO₂.

Con lo antes detallado se puede concluir que la ratio 1:5 es la configuración más recomendable para continuar con el proceso experimental ya que en términos de eficiencia energética existe una diferencia muy pequeña para pH_{5-objetivo}; para pH_{4-objetivo} los consumos son bastante similares. Por otro lado, la cinética que presenta la ratio 1:5 es bastante inferior a la de la ratio 1:7, lo que en producción se traduce a que la ratio 1:5 puede generar mayores solución ácida y básica a menor tiempo.

Bajo el criterio de “Proof of principle” (Prueba de principio), se tiene que el proceso de electrodiálisis si genera potencia (energía) en su fase experimental. Como se explica anteriormente, al inicio del proceso y debido a la salinidad diferente de las distintas soluciones, tenemos un potencial diferencial que produce energía en fase experimental

igual a 0.87 V. Sin embargo, al estar influenciado por la cinética, el SGE empieza a estabilizarse hasta que llega a generar 0 V. Cuando el proceso de EDI no registra voltaje se obtienen soluciones equilibradas.

Al usar este tipo de energías limpias se puede llegar a reemplazar el uso de combustibles fósiles. Además, la energía obtenida del proceso de EDI es de carácter independiente; es decir, el SGE es constante al utilizar las soluciones tanto de agua de mar, como de grifo. En comparación con los procesos eólicos, ya que estos dependen del viento para generar energía; y muchas de las veces este flujo es intermitente y en algunas ocasiones nulo.

Con este tipo de tratamiento finalmente podemos ayudar a combatir en cierta manera la acidificación oceánica mediante el uso de BPMED. También generamos agua pretratada para poder usarlas en procesos electroquímicos de potabilización sencillos para disminuir la salinidad de la solución marina y poder dejarla apta para el consumo humano. Y finalmente, mediante la generación de energía, podemos utilizar la misma para solventar la escasez de esta en ciertos sectores de Playa Pacoa; así como también, alimentar a los stacks tanto de BPMED y EDI; haciendo de este proceso un ciclo sostenible.

Recomendaciones

Para Playa Pacoa este tipo de pretratamiento es de suma importancia para solventar los problemas de potabilización y escases de energía en ciertas zonas de esta comunidad. Por tal motivo, para obtener agua apta para el consumo humano es necesario continuar con un proceso electroquímico de potabilización. Y, por otro lado, gracias a la generación de energía del proceso de EDI, podemos utilizar este potencial para generar la electricidad suficiente para el funcionamiento del stack tanto para el proceso de BPMED y para EDI.

Consecuentemente, es necesario llevar este proceso a una escala industrial con la finalidad de poder determinar cuál es el porcentaje de generación de energía; tanto para abastecer a la planta de tratamiento como tal; y, para satisfacer la necesidad de energía en varias zonas de esta comunidad. Para cumplir con el criterio de sostenibilidad, es necesario optimizar el proceso de EDI mediante la circulación de tipo "1 Pass"; en este,

se va a generar siempre un pico al inicio de cada paso de flujo de la solución de alta salinidad; y con ello determinar la energía obtenida para ponerla al servicio de la comunidad.

Por otro lado, la desalinización del agua de mar no se concluyó de forma efectiva. Sin embargo, debido a los resultados del presente estudio se recomienda concluir la desalinización del agua de mar hasta llegar a valores permisibles que estén dentro de las normas nacionales vigentes. En el caso de que se desee replicar el experimento en otra zona costera del Ecuador, se tiene que repetir el proceso de ED con membranas bipolares, así mismo la EDI para la pre-desalinización y obtención de energía, teniendo presente las consideraciones de valores de pH menores a 8.4 en los stacks para evitar la carbonatación.

BIBLIOGRAFÍA

- A. Al-Ni, B., & B. Al-Obaidy, M. (2013). Turbidity and Removal Efficiency in the Main Water Purification Plants of Nineveh Province. *Rafidain Journal of Science*, 24(6), 39–53. <https://doi.org/10.33899/rjs.2013.74572>
- Abed Naser, M., Adel Abdulrazzaq, K., & Abd NASIER, M. (2021). *Design Engineering Conventional Water Treatment Plant, Principles, and Important Factors Influence on The Efficiency*. 16009–16027. <https://www.researchgate.net/publication/356568369>
- Abu Hasan, H., Muhammad, M. H., & Ismail, N. I. (2020). A review of biological drinking water treatment technologies for contaminants removal from polluted water resources. In *Journal of Water Process Engineering* (Vol. 33). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2019.101035>
- Aende, A., Gardy, J., & Hassanpour, A. (2020). Seawater desalination: A review of forward osmosis technique, its challenges, and future prospects. In *Processes* (Vol. 8, Issue 8). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/PR8080901>
- Ahdab, Y. D., Rehman, D., & Lienhard, J. H. (2020). Brackish water desalination for greenhouses: Improving groundwater quality for irrigation using monovalent selective electrodialysis reversal. *Journal of Membrane Science*, 610. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2020.118072>
- Alsawaftah, N., Abuwatfa, W., Darwish, N., & Hussein, G. (2021). A comprehensive review on membrane fouling: Mathematical modelling, prediction, diagnosis, and mitigation. In *Water (Switzerland)* (Vol. 13, Issue 9). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/w13091327>
- Altaee, A., Zaragoza, G., & van Tonningen, H. R. (2014). Comparison between Forward Osmosis-Reverse Osmosis and Reverse Osmosis processes for seawater desalination. *Desalination*, 336(1), 50–57. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2014.01.002>
- Amoroso, F., Hidalgo-León, R., Litardo, J., Granja, A., Calderón, J., Siguenza-Alvarado, D., & Soriano, G. (2021). Simulations of solar power systems to provide electricity to a model water desalination plant in Floreana Island, Ecuador. *Proceedings of the ASME 2021 15th International Conference on Energy Sustainability, ES 2021*. <https://doi.org/10.1115/ES2021-62841>
- Ayaz, M., Namazi, M. A., Din, M. A. ud, Ershath, M. I. M., Mansour, A., & Aggoune, el H. M. (2022a). Sustainable seawater desalination: Current status, environmental

- implications and future expectations. In *Desalination* (Vol. 540). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2022.116022>
- Ayaz, M., Namazi, M. A., Din, M. A. ud, Ershath, M. I. M., Mansour, A., & Aggoune, el H. M. (2022b). Sustainable seawater desalination: Current status, environmental implications and future expectations. In *Desalination* (Vol. 540). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2022.116022>
- Bain, R., Johnston, R., & Slaymaker, T. (2008). WHO. Guidelines for Drinking-Water Quality. In *Nature* (Vol. 452). <http://www.nature.com/>
- Benjamin, M. (2002). *Water Chemistry* (Second). Waveland.
- Besha, A. T., Tsehaye, M. T., Aili, D., Zhang, W., & Tufa, R. A. (2020). Design of monovalent ion selective membranes for reducing the impacts of multivalent ions in reverse electrodialysis. In *Membranes* (Vol. 10, Issue 1). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/membranes10010007>
- Biesheuvel, P. M., Porada, S., Elimelech, M., & Dykstra, J. E. (2022). Tutorial review of reverse osmosis and electrodialysis. In *Journal of Membrane Science* (Vol. 647). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2021.120221>
- Carrión-Mero, P., Morante-Carballo, F., Herrera-Franco, G., Jaya-Montalvo, M., Rodríguez, D., Loo-Flores de Valgas, C., & Berrezueta, E. (2021). Community-university partnership in water education and linkage process. Study case: Manglaralto, Santa Elena, Ecuador. *Water (Switzerland)*, 13(15). <https://doi.org/10.3390/w13151998>
- Cath, T. Y., Childress, A. E., & Elimelech, M. (2006). Forward osmosis: Principles, applications, and recent developments. In *Journal of Membrane Science* (Vol. 281, Issues 1–2, pp. 70–87). <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2006.05.048>
- Chehayeb, K. M., Farhat, D. M., Nayar, K. G., & Lienhard, J. H. (2017). Optimal design and operation of electrodialysis for brackish-water desalination and for high-salinity brine concentration. *Desalination*, 420, 167–182. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2017.07.003>
- Chen, T., Bi, J., Ji, Z., Yuan, J., & Zhao, Y. (2022). Application of bipolar membrane electrodialysis for simultaneous recovery of high-value acid/alkali from saline wastewater: An in-depth review. In *Water Research* (Vol. 226). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2022.119274>
- Chen, T., Bi, J., Zhao, Y., Du, Z., Guo, X., Yuan, J., Ji, Z., Liu, J., Wang, S., Li, F., & Wang, J. (2022). Carbon dioxide capture coupled with magnesium utilization from

- seawater by bipolar membrane electrodialysis. *Science of the Total Environment*, 820. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153272>
- Cheng, W., Fang, L., Cheng, H., Li, E., Zhang, C., & Cheng, F. (2019). Formation of $MgCO_3 \cdot 3H_2O$ in the CO_2 mineralization system using $Mg(OH)_2$ as an intermediate at 20 °C. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 76, 215–222. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2019.03.043>
- Chie, L. H., & Wahab, A. K. A. (2020). Derivation of engineering design criteria for flow field around intake structure: A numerical simulation study. *Journal of Marine Science and Engineering*, 8(10), 1–16. <https://doi.org/10.3390/jmse8100827>
- Chow, M. F., Ruzaiman, A. S., Rashid, F. A., & Chong, S. T. (2019). Evaluation of particle removal efficiency in sedimentation tank incorporating bottom grid structure. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 551(1), 012011. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/551/1/012011>
- Consul&Project S.A. (2019). *PDOT Colonche*.
- Curto, D., Franzitta, V., & Guercio, A. (2021). A review of the water desalination technologies. In *Applied Sciences (Switzerland)* (Vol. 11, Issue 2, pp. 1–36). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/app11020670>
- Dara, S., Lindstrom, M., English, J., Bonakdarpour, A., Wetton, B., & Wilkinson, D. P. (2017). Conversion of saline water and dissolved carbon dioxide into value-added chemicals by electrodialysis. *Journal of CO2 Utilization*, 19, 177–184. <https://doi.org/10.1016/j.jcou.2017.03.013>
- Doornbusch, G., van der Wal, M., Tedesco, M., Post, J., Nijmeijer, K., & Borneman, Z. (2021). Multistage electrodialysis for desalination of natural seawater. *Desalination*, 505. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2021.114973>
- Eisaman, M. D., Parajuly, K., Tuganov, A., Eldershaw, C., Chang, N., & Littau, K. A. (2012). CO_2 extraction from seawater using bipolar membrane electrodialysis. *Energy and Environmental Science*, 5(6), 7346–7352. <https://doi.org/10.1039/c2ee03393c>
- Freire C, & Albuja M. (2015). Diseño de un Desalinizador de Agua a Escala Piloto por Humidificación-Deshumidificación de Aire Empleando Columnas de Burbujeo. In *Revista Politécnica-Febrero* (Vol. 35, Issue 3).
- García, A. del V. (2014). El coste energético de la desalinización en el Programa A.G.U.A. *Investigaciones Geográficas*, 62(112), 101. <https://doi.org/10.14198/ingeo2014.62.07>

- Goh, P. S., Lau, W. J., Othman, M. H. D., & Ismail, A. F. (2018). Membrane fouling in desalination and its mitigation strategies. In *Desalination* (Vol. 425, pp. 130–155). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2017.10.018>
- Guo, H., Li, X., Yang, W., Yao, Z., Mei, Y., Peng, L. E., Yang, Z., Shao, S., & Tang, C. Y. (2022). Nanofiltration for drinking water treatment: a review. In *Frontiers of Chemical Science and Engineering* (Vol. 16, Issue 5, pp. 681–698). Higher Education Press Limited Company. <https://doi.org/10.1007/s11705-021-2103-5>
- Han, J., Liu, Y., Li, Y., Wang, W., & You, L. (2021). Water Supply: RO Desalination Versus Conventional Water Treatment. *E3S Web of Conferences*, 308. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202130801011>
- He, C., Liu, Z., Wu, J., Pan, X., Fang, Z., Li, J., & Bryan, B. A. (2021). Future global urban water scarcity and potential solutions. *Nature Communications*, 12(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-021-25026-3>
- Herrera-Franco, G., Carrión-Mero, P., & Briones-Bitar, J. (2020). Ancestral knowledge application via “albarradas” and “tapes” in water management in Santa Elena Province, Ecuador. *Boletín Geológico y Minero*, 131(1), 75–88. <https://doi.org/10.21701/BOLGEOMIN.131.1.005>
- Irfan, M., Wang, Y., & Xu, T. (2020). Novel electrodialysis membranes with hydrophobic alkyl spacers and zwitterion structure enable high monovalent/divalent cation selectivity. *Chemical Engineering Journal*, 383. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.123171>
- Jara-Negrete, E., Cipriani-Avila, I., Molinero, J., Pinos-Vélez, V., Acosta-López, S., Cabrera, M., Medina-Villamizar, E. J., Leiva-Andrade, D., Pozo, A., Martínez, O., & Mogollón, N. G. S. (2023). Pharmaceutical compounds in urban drinking waters of Ecuador. *Frontiers in Environmental Science*, 11. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1232405>
- Jiang, C., Zhang, Y., Feng, H., Wang, Q., Wang, Y., & Xu, T. (2017). Simultaneous CO₂ capture and amino acid production using bipolar membrane electrodialysis (BMED). *Journal of Membrane Science*, 542, 264–271. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2017.08.004>
- Kaminski, W., Marszałek, J., & Tomczak, E. (2018). Water desalination by pervaporation – Comparison of energy consumption. *Desalination*, 433, 89–93. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2018.01.014>

- Kang, G. dong, & Cao, Y. ming. (2012). Development of antifouling reverse osmosis membranes for water treatment: A review. In *Water Research* (Vol. 46, Issue 3, pp. 584–600). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2011.11.041>
- Khan, N. T., & Jahan, N. (2017). Prevalence of *E. histolytica* Associated Dysentery in Children in Satellite Town, Quetta. *Epidemiology: Open Access*, 07(01). <https://doi.org/10.4172/2161-1165.1000290>
- Kim, J., & Hong, S. (2023). Pilot study of emerging low-energy seawater reverse osmosis desalination technologies for high-salinity, high-temperature, and high-turbidity seawater. *Desalination*, 565. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2023.116871>
- Letterman, R. D., & American Water Works Association. (1999). *Water quality and treatment: a handbook of community water supplies*. McGraw-Hill.
- Lopes, R. H., Silva, C. R. D. V., Salvador, P. T. C. de O., Silva, Í. de S., Heller, L., & Uchôa, S. A. da C. (2022). Surveillance of Drinking Water Quality Worldwide: Scoping Review Protocol. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(15). <https://doi.org/10.3390/ijerph19158989>
- Lopez, A. M., Williams, M., Paiva, M., Demydov, D., Do, T. D., Fairey, J. L., Lin, Y. P. J., & Hestekin, J. A. (2017). Potential of electro dialytic techniques in brackish desalination and recovery of industrial process water for reuse. *Desalination*, 409, 108–114. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2017.01.010>
- Malaeb, L., & Ayoub, G. M. (2011). Reverse osmosis technology for water treatment: State of the art review. In *Desalination* (Vol. 267, Issue 1, pp. 1–8). <https://doi.org/10.1016/j.desal.2010.09.001>
- Marcela, L., Bendeck, G., & Pablo Ibáñez, J. (2011). *Carbón, clima, playas y peces el caso de la zona costera del Departamento del Magdalena*. www.utadeo.edu.co
- Mccutcheon, J. R., Mccinnis, R. L., & Elimelech, M. (2005). A novel ammonia-carbon dioxide forward (direct) osmosis desalination process. In *Desalination* (Vol. 174). www.elsevier.com/locate/desal
- Mei, Y., & Tang, C. Y. (2017). Co-locating reverse electro dialysis with reverse osmosis desalination: Synergies and implications. *Journal of Membrane Science*, 539, 305–312. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2017.06.014>
- Mendez-Ruiz, J. I., Barcia-Carreño, M. B., Mejía-Bustamante, L. J., Cornejo-Pozo, Á. K., Salas-Vázquez, C. A., & Valverde-Armas, P. E. (2023). Assessment of the Performance of a Water Treatment Plant in Ecuador: Hydraulic Resizing of the

- Treatment Units. *Sustainability* (Switzerland), 15(2).
<https://doi.org/10.3390/su15021235>
- Merchán-Sanmartín, B., Carrión-Mero, P., Suárez-Zamora, S., Morante-Carballo, F., Aguilar-Aguilar, M., Cruz-Cabrera, O., & Hidalgo-Calva, K. (2022). Drinking water master plan for the management of water resources on a university campus. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 258(2022), 27–38.
<https://doi.org/10.2495/SDP220031>
- Misdan, N., Lau, W. J., & Ismail, A. F. (2012). Seawater Reverse Osmosis (SWRO) desalination by thin-film composite membrane-Current development, challenges and future prospects. *Desalination*, 287, 228–237.
<https://doi.org/10.1016/j.desal.2011.11.001>
- Moreno Torres, W. R., & Tuza Pajunia, L. R. (2019). *Diseño del sistema de agua potable y saneamiento para el recinto los Guayabillos de la parroquia Bellavista del cantón Santa Cruz, provincia de Galápagos*. Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito.
- Munia, H., Guillaume, J. H. A., Mirumachi, N., Porkka, M., Wada, Y., & Kumm, M. (2016). Water stress in global transboundary river basins: Significance of upstream water use on downstream stress. *Environmental Research Letters*, 11(1).
<https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/1/014002>
- Murad, A. A. (2010). An Overview of Conventional and Non-Conventional Water Resources in Arid Region: Assessment and Constrains of the United Arab Emirates (UAE). *Journal of Water Resource and Protection*, 02(02), 181–190.
<https://doi.org/10.4236/jwarp.2010.22020>
- Nagasawa, H., Yamasaki, A., Iizuka, A., Kumagai, K., & Yanagisawa, Y. (2009). A new recovery process of carbon dioxide from alkaline carbonate solution via electrodialysis. *AIChE Journal*, 55(12), 3286–3293.
<https://doi.org/10.1002/aic.11907>
- NTE INEN. (2018). *Agua para consumo humano*.
- OMS. (2023). *Agua para consumo humano*. OMS. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
- Pakharuddin, N. H., Fazly, M. N., Ahmad Sukari, S. H., Tho, K., & Zamri, W. F. H. (2021). Water treatment process using conventional and advanced methods: A comparative study of Malaysia and selected countries. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 880(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/880/1/012017>

- Park, P. K., Lee, S., Cho, J. S., & Kim, J. H. (2012). Full-scale simulation of seawater reverse osmosis desalination processes for boron removal: Effect of membrane fouling. *Water Research*, 46(12), 3796–3804. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2012.04.021>
- Pärnamäe, R., Mareev, S., Nikonenko, V., Melnikov, S., Sheldeshov, N., Zabolotskii, V., Hamelers, H. V. M., & Tedesco, M. (2021a). Bipolar membranes: A review on principles, latest developments, and applications. *Journal of Membrane Science*, 617, 118538. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2020.118538>
- Pärnamäe, R., Mareev, S., Nikonenko, V., Melnikov, S., Sheldeshov, N., Zabolotskii, V., Hamelers, H. V. M., & Tedesco, M. (2021b). Bipolar membranes: A review on principles, latest developments, and applications. In *Journal of Membrane Science* (Vol. 617). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2020.118538>
- Perathoner, S., & Centi, G. (2014). CO₂ recycling: A key strategy to introduce green energy in the chemical production chain. *ChemSusChem*, 7(5), 1274–1282. <https://doi.org/10.1002/cssc.201300926>
- Pooi, C. K., & Ng, H. Y. (2018). Review of low-cost point-of-use water treatment systems for developing communities. *Npj Clean Water*, 1(1), 11. <https://doi.org/10.1038/s41545-018-0011-0>
- Preethika, D. D. P., & Arachchige, U. S. P. R. (2021). Drinking water treatment plant process optimization : A case study of Kalu river basin, Sri Lanka. In *J. Res. Technol. Eng* (Vol. 2, Issue 3).
- Qasim, M., Badrelzaman, M., Darwish, N. N., Darwish, N. A., & Hilal, N. (2019). Reverse osmosis desalination: A state-of-the-art review. In *Desalination* (Vol. 459, pp. 59–104). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2019.02.008>
- Rokitta, S. D., & Wegener, A. (2012). *Characterization of the life-cycle stages of the coccolithophore *Emiliana huxleyi* and their responses to Ocean Acidification*. <https://www.researchgate.net/publication/279401119>
- Salehi, M. (2022). Global water shortage and potable water safety; Today's concern and tomorrow's crisis. *Environment International*, 158. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106936>
- Shatat, M., & Riffat, S. B. (2014). Water desalination technologies utilizing conventional and renewable energy sources. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 9(1), 1–19. <https://doi.org/10.1093/ijlct/cts025>

- Shenvi, S. S., Isloor, A. M., & Ismail, A. F. (2015). A review on RO membrane technology: Developments and challenges. *Desalination*, 368, 10–26. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2014.12.042>
- Stankovic, M., Hasanbeigi, A., Neftenov, M. N., Basani, M., Núñez, A., & Ortiz, R. (2020). *Use of 4IR Technologies in Water and Sanitation in Latin America and the Caribbean*. <http://www.iadb.org>
- Strathmann, H. (2010). Electrodialysis, a mature technology with a multitude of new applications. *Desalination*, 264(3), 268–288. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2010.04.069>
- Taghizadeh, M. M. (2018). *Pre-sedimentation tank effects on water treatment unit operation*. <https://doi.org/10.6092/issn.2281-4485/7804>
- Tristán, C., Fallanza, M., Ibáñez, R., & Ortiz, I. (2020). Reverse electrodialysis: Potential reduction in energy and emissions of desalination. *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(20), 1–21. <https://doi.org/10.3390/app10207317>
- Valluri, S., & Kawatra, S. K. (2021). Reduced reagent regeneration energy for CO₂ capture with bipolar membrane electrodialysis. *Fuel Processing Technology*, 213. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2020.106691>
- Veolia. (2020, June 20). *Veolia Ecuador realiza su primera planta desalinizadora en la isla de Puná*. <https://www.veolia.com/latamib/es/noticias/veolia-ecuador-realiza-su-primera-planta-desalinizadora-isla-puna>
- Vieira, P., Alegre, H., Rosa, M. J., & Lucas, H. (2008). Drinking water treatment plant assessment through performance indicators. *Water Supply*, 8(3), 245–253. <https://doi.org/10.2166/ws.2008.068>
- Villacres, K., & Villamar, J. (2017). *EVALUACION AMBIENTAL A PARTIR DE PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS DE LA CALIDAD DE AGUA DE MAREN PLAYAS DE CHIPIPE, CANTON SALINAS PROVINCIA DE SANTA ELENA*. UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL.
- Villanueva, C. M., Evlampidou, I., Ibrahim, F., Donat-Vargas, C., Valentin, A., Tugulea, A. M., Echigo, S., Jovanovic, D., Lebedev, A. T., Lemus-Pérez, M., Rodriguez-Susa, M., Luzati, A., de Cássia dos Santos Nery, T., Pastén, P. A., Quiñones, M., Regli, S., Weisman, R., Dong, S., Ha, M., ... Kogevinas, M. (2023). Global assessment of chemical quality of drinking water: The case of trihalomethanes. *Water Research*, 230. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2023.119568>

- Voutchkov, N. (2018). Energy use for membrane seawater desalination – current status and trends. In *Desalination* (Vol. 431, pp. 2–14). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2017.10.033>
- Wang, Q., Gao, X., Zhang, Y., He, Z., Ji, Z., Wang, X., & Gao, C. (2017). Hybrid RED/ED system: Simultaneous osmotic energy recovery and desalination of high-salinity wastewater. *Desalination*, 405, 59–67. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2016.12.005>
- WHO, & UNICEF. (2019). *1 in 3 people globally do not have access to safe drinking water – UNICEF, WHO*. <https://www.who.int/news/item/18-06-2019-1-in-3-people-globally-do-not-have-access-to-safe-drinking-water-unicef-who>
- Wingfield, S., Martínez-MoscOSO, A., Quiroga, D., & Ochoa-Herrera, V. (2021). Challenges to water management in Ecuador: Legal authorization, quality parameters, and socio-political responses. *Water (Switzerland)*, 13(8). <https://doi.org/10.3390/w13081017>
- Youtopia. (2022). *El acceso al agua es un desafío en la ruralidad de Santa Elena*. <https://youtopiaecuador.com/nutricion-infantil/acceso-agua-desafio-ruralidad-santa-elena-desnutricion/>
- Yu, Y., Xie, X., & Tang, S. (2023). Molecular dynamics investigation on seawater desalination mechanism driven by external pressure through porous graphene membranes. *Journal of Molecular Liquids*, 387. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2023.122595>
- Yunda Ponce, G. O. (2014). *Estudio de factibilidad para la instalación de una planta desalinizadora de agua del mar para consumo humano y comercialización en la provincia de Santa Elena*. Universidad Estatal Península de Santa Elena.
- Zapata-Sierra, A., Cascajares, M., Alcayde, A., & Manzano-Agugliaro, F. (2022a). Worldwide research trends on desalination. In *Desalination* (Vol. 519). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2021.115305>
- Zapata-Sierra, A., Cascajares, M., Alcayde, A., & Manzano-Agugliaro, F. (2022b). Worldwide research trends on desalination. In *Desalination* (Vol. 519). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2021.115305>
- Zhang, X., Zhao, W., Zhang, Y., & Jegatheesan, V. (2021a). A review of resource recovery from seawater desalination brine. In *Reviews in Environmental Science and Biotechnology* (Vol. 20, Issue 2, pp. 333–361). Springer Science and Business Media B.V. <https://doi.org/10.1007/s11157-021-09570-4>

Zhang, X., Zhao, W., Zhang, Y., & Jegatheesan, V. (2021b). A review of resource recovery from seawater desalination brine. In *Reviews in Environmental Science and Biotechnology* (Vol. 20, Issue 2, pp. 333–361). Springer Science and Business Media B.V. <https://doi.org/10.1007/s11157-021-09570-4>

PLANOS Y ANEXOS

- ANEXO 1

Tabla 7. Check list de la salida de campo

ITEM	INSUMOS	CUMPLE	NO CUMPLE
1	RECIPIENTES DE 1 LITRO PARA TOMA DE MUESTRAS (120 UNIDADES)	X	
2	HIELERAS PARA RECIPIENTES	X	
3	TURBIDÍMETRO	X	
4	AGUA DESIONIZADA	X	
5	ETIQUETAS	X	
6	MARCADOR PERMANENTE	X	
7	CINTA ADHESIVA TRANSPARENTE	X	
8	HIELO	X	
9	FRANELAS/PAÑUELOS	X	
10	PICAHIELO	X	
11	BALDE	X	
12	SOGAS	X	
13	TERMOMETRO	X	
14	MULTÍMETRO	X	

- ANEXO 2

Tabla 8. pH - Ratio 1:5 (4 Volt)

Tiempo		pH	pH	Temperatura acidificado	Temperatura basificado
seg	min	ACIDO	BASICO	°C	°C
0	0	8.31	8.32	24.9	24.4
30	0.5	8.32	8.32	24.9	24.4
60	1	8.33	8.32	24.9	24.4
90	1.5	8.33	8.32	24.9	24.4
120	2	8.33	8.32	24.9	24.4
150	2.5	8.33	8.32	24.9	24.4
180	3	8.33	8.32	24.9	24.4
210	3.5	8.32	8.32	24.9	24.4
240	4	8.32	8.32	24.9	24.4
270	4.5	8.32	8.32	24.9	24.4
300	5	8.32	8.32	26	25.1
330	5.5	8.32	8.32	26	25.1
360	6	8.32	8.32	26	25.1
390	6.5	8.32	8.32	26	25.1
420	7	8.31	8.32	26	25.1
450	7.5	8.31	8.32	26	25.1
480	8	8.31	8.32	26	25.1
510	8.5	8.3	8.32	26	25.1
540	9	8.3	8.32	26	25.1
570	9.5	8.3	8.32	26	25.1
600	10	8.3	8.32	26.2	25.4
630	10.5	8.3	8.32	26.2	25.4
660	11	8.3	8.32	26.2	25.4
690	11.5	8.3	8.32	26.2	25.4
720	12	8.3	8.32	26.2	25.4
750	12.5	8.3	8.32	26.2	25.4

780	13	8.3	8.32	26.2	25.4
810	13.5	8.29	8.32	26.2	25.4
840	14	8.29	8.32	26.2	25.4
870	14.5	8.29	8.32	26.2	25.4
900	15	8.29	8.32	26.4	25.6
930	15.5	8.29	8.32	26.4	25.6
960	16	8.28	8.32	26.4	25.6
990	16.5	8.28	8.32	26.4	25.6
1020	17	8.28	8.32	26.4	25.6
1050	17.5	8.27	8.32	26.4	25.6
1080	18	8.27	8.32	26.4	25.6
1110	18.5	8.27	8.32	26.4	25.6
1140	19	8.26	8.32	26.4	25.6
1170	19.5	8.26	8.32	26.4	25.6
1200	20	8.24	8.33	26.6	25.8
1230	20.5	8.24	8.33	26.6	25.8
1260	21	8.24	8.33	26.6	25.8
1290	21.5	8.23	8.33	26.6	25.8
1320	22	8.23	8.33	26.6	25.8
1350	22.5	8.22	8.33	26.6	25.8
1380	23	8.21	8.33	26.6	25.8
1410	23.5	8.21	8.33	26.6	25.8
1440	24	8.19	8.33	26.6	25.8
1470	24.5	8.19	8.33	26.6	25.8
1500	25	8.18	8.33	26.7	26
1530	25.5	8.18	8.33	26.7	26
1560	26	8.17	8.33	26.7	26
1590	26.5	8.17	8.33	26.7	26
1620	27	8.17	8.33	26.7	26
1650	27.5	8.17	8.33	26.7	26
1680	28	8.17	8.33	26.7	26

1710	28.5	8.16	8.33	26.7	26
1740	29	8.15	8.33	26.7	26
1770	29.5	8.14	8.33	26.7	26
1800	30	8.13	8.33	26.9	26.1
1830	30.5	8.12	8.34	26.9	26.1
1860	31	8.11	8.34	26.9	26.1
1890	31.5	8.1	8.34	26.9	26.1
1920	32	8.1	8.34	26.9	26.1
1950	32.5	8.1	8.34	26.9	26.1
1980	33	8.1	8.34	26.9	26.1
2010	33.5	8.09	8.34	26.9	26.1
2040	34	8.08	8.34	26.9	26.1
2070	34.5	8.08	8.34	26.9	26.1
2100	35	8.06	8.34	27	26.4
2130	35.5	8.06	8.34	27	26.4
2160	36	8.06	8.34	27	26.4
2190	36.5	8.06	8.34	27	26.4
2220	37	8.05	8.34	27	26.4
2250	37.5	8.04	8.34	27	26.4
2280	38	8.04	8.34	27	26.4
2310	38.5	8.04	8.34	27	26.4
2340	39	8.02	8.34	27	26.4
2370	39.5	8.01	8.34	27	26.4
2400	40	8	8.34	27.1	26.5
2430	40.5	7.99	8.34	27.1	26.5
2460	41	7.99	8.34	27.1	26.5
2490	41.5	7.98	8.34	27.1	26.5
2520	42	7.97	8.34	27.1	26.5
2550	42.5	7.97	8.34	27.1	26.5
2580	43	7.96	8.34	27.1	26.5
2610	43.5	7.96	8.35	27.1	26.5

2640	44	7.95	8.35	27.1	26.5
2670	44.5	7.94	8.35	27.1	26.5
2700	45	7.93	8.35	27.3	26.6
2730	45.5	7.92	8.35	27.3	26.6
2760	46	7.91	8.35	27.3	26.6
2790	46.5	7.9	8.35	27.3	26.6
2820	47	7.9	8.35	27.3	26.6
2850	47.5	7.89	8.35	27.3	26.6
2880	48	7.89	8.35	27.3	26.6
2910	48.5	7.88	8.35	27.3	26.6
2940	49	7.88	8.35	27.3	26.6
2970	49.5	7.87	8.35	27.3	26.6
3000	50	7.84	8.36	27.4	26.8
3030	50.5	7.84	8.36	27.4	26.8
3060	51	7.83	8.36	27.4	26.8
3090	51.5	7.81	8.36	27.4	26.8
3120	52	7.81	8.36	27.4	26.8
3150	52.5	7.8	8.36	27.4	26.8
3180	53	7.78	8.36	27.4	26.8
3210	53.5	7.77	8.36	27.4	26.8
3240	54	7.75	8.36	27.4	26.8
3270	54.5	7.74	8.36	27.4	26.8
3300	55	7.74	8.36	27.5	26.9
3330	55.5	7.75	8.36	27.5	26.9
3360	56	7.75	8.36	27.5	26.9
3390	56.5	7.74	8.36	27.5	26.9
3420	57	7.72	8.36	27.5	26.9
3450	57.5	7.72	8.36	27.5	26.9
3480	58	7.72	8.36	27.5	26.9
3510	58.5	7.71	8.36	27.5	26.9
3540	59	7.7	8.36	27.5	26.9

3570	59.5	7.7	8.36	27.5	26.9
3600	60	7.69	8.36	27.6	27
3630	60.5	7.68	8.36	27.6	27
3660	61	7.67	8.37	27.6	27
3690	61.5	7.67	8.37	27.6	27
3720	62	7.65	8.37	27.6	27
3750	62.5	7.64	8.37	27.6	27
3780	63	7.64	8.37	27.6	27
3810	63.5	7.64	8.37	27.6	27
3840	64	7.63	8.37	27.6	27
3870	64.5	7.63	8.36	27.6	27
3900	65	7.63	8.36	27.6	27
3930	65.5	7.63	8.37	27.6	27
3960	66	7.62	8.37	27.6	27
3990	66.5	7.61	8.37	27.6	27
4020	67	7.59	8.37	27.6	27
4050	67.5	7.59	8.37	27.6	27
4080	68	7.58	8.37	27.6	27
4110	68.5	7.57	8.37	27.6	27
4140	69	7.57	8.37	27.6	27
4170	69.5	7.56	8.37	27.6	27
4200	70	7.55	8.37	27.7	27.1
4230	70.5	7.54	8.37	27.7	27.1
4260	71	7.53	8.37	27.7	27.1
4290	71.5	7.52	8.37	27.7	27.1
4320	72	7.51	8.37	27.7	27.1
4350	72.5	7.51	8.37	27.7	27.1
4380	73	7.5	8.37	27.7	27.1
4410	73.5	7.49	8.37	27.7	27.1
4440	74	7.48	8.37	27.7	27.1
4470	74.5	7.47	8.37	27.7	27.1

4500	75	7.47	8.37	27.8	27.2
4530	75.5	7.46	8.38	27.8	27.2
4560	76	7.45	8.38	27.8	27.2
4590	76.5	7.44	8.38	27.8	27.2
4620	77	7.44	8.38	27.8	27.2
4650	77.5	7.44	8.38	27.8	27.2
4680	78	7.44	8.38	27.8	27.2
4710	78.5	7.43	8.38	27.8	27.2
4740	79	7.43	8.38	27.8	27.2
4770	79.5	7.42	8.38	27.8	27.2
4800	80	7.42	8.38	27.9	27.4
4830	80.5	7.41	8.38	27.9	27.4
4860	81	7.41	8.38	27.9	27.4
4890	81.5	7.39	8.38	27.9	27.4
4920	82	7.39	8.38	27.9	27.4
4950	82.5	7.39	8.38	27.9	27.4
4980	83	7.39	8.38	27.9	27.4
5010	83.5	7.38	8.39	27.9	27.4
5040	84	7.37	8.39	27.9	27.4
5070	84.5	7.37	8.39	27.9	27.4
5100	85	7.36	8.39	27.9	27.4
5130	85.5	7.35	8.39	27.9	27.4
5160	86	7.35	8.39	27.9	27.4
5190	86.5	7.34	8.39	27.9	27.4
5220	87	7.33	8.39	27.9	27.4
5250	87.5	7.33	8.39	27.9	27.4
5280	88	7.33	8.39	27.9	27.4
5310	88.5	7.32	8.39	27.9	27.4
5340	89	7.32	8.39	27.9	27.4
5370	89.5	7.32	8.39	27.9	27.4
5400	90	7.31	8.4	28	27.5

5430	90.5	7.3	8.4	28	27.5
5460	91	7.29	8.4	28	27.5
5490	91.5	7.29	8.4	28	27.5
5520	92	7.28	8.39	28	27.5
5550	92.5	7.28	8.39	28	27.5
5580	93	7.28	8.39	28	27.5
5610	93.5	7.28	8.39	28	27.5
5640	94	7.27	8.39	28	27.5
5670	94.5	7.27	8.39	28	27.5
5700	95	7.26	8.39	28.1	27.5
5730	95.5	7.26	8.4	28.1	27.5
5760	96	7.26	8.4	28.1	27.5
5790	96.5	7.26	8.4	28.1	27.5
5820	97	7.25	8.4	28.1	27.5
5850	97.5	7.24	8.4	28.1	27.5
5880	98	7.24	8.4	28.1	27.5
5910	98.5	7.23	8.4	28.1	27.5
5940	99	7.23	8.4	28.1	27.5
5970	99.5	7.23	8.4	28.1	27.5
6000	100	7.21	8.4	28.1	27.6
6030	100.5	7.2	8.4	28.1	27.6
6060	101	7.2	8.4	28.1	27.6
6090	101.5	7.2	8.4	28.1	27.6
6120	102	7.19	8.4	28.1	27.6
6150	102.5	7.19	8.4	28.1	27.6
6180	103	7.19	8.4	28.1	27.6
6210	103.5	7.18	8.4	28.1	27.6
6240	104	7.18	8.41	28.1	27.6
6270	104.5	7.17	8.41	28.2	27.6

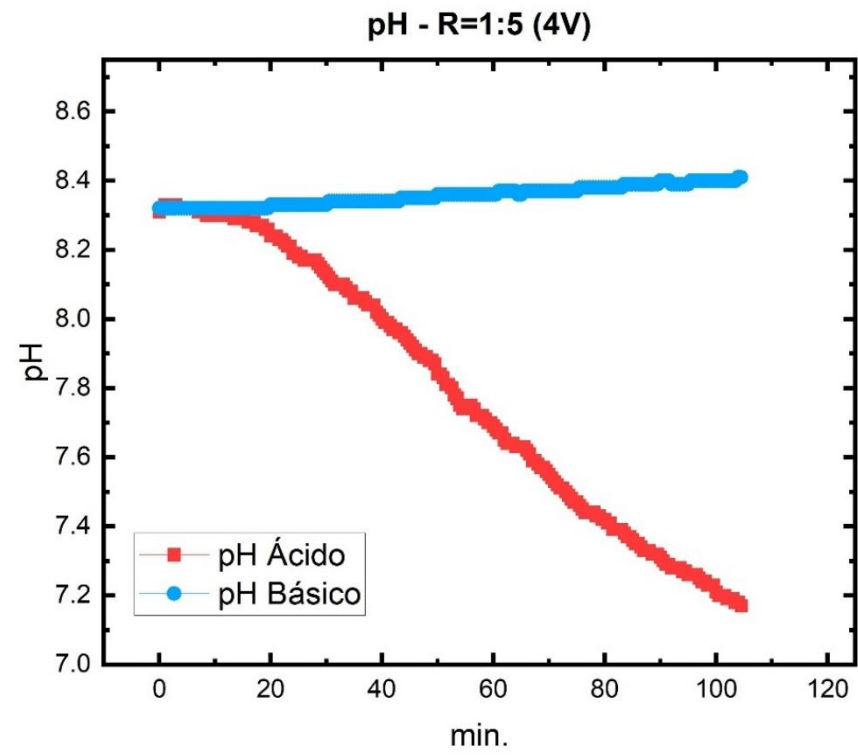


Figura 28. pH para R = 1:5 y 4V. Fuente: Autores.

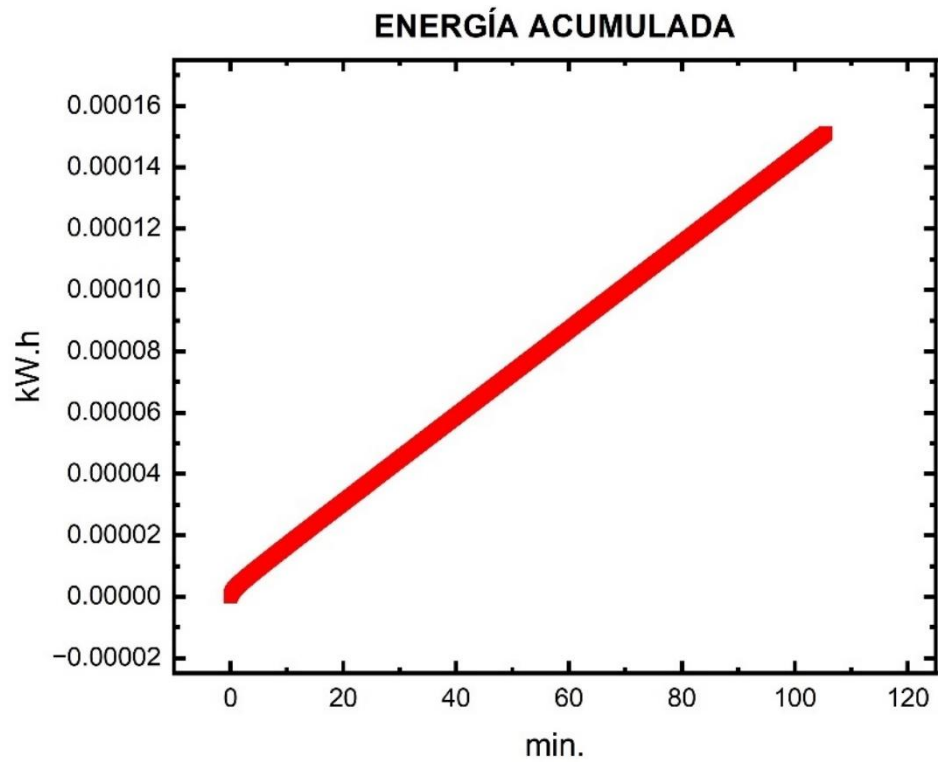
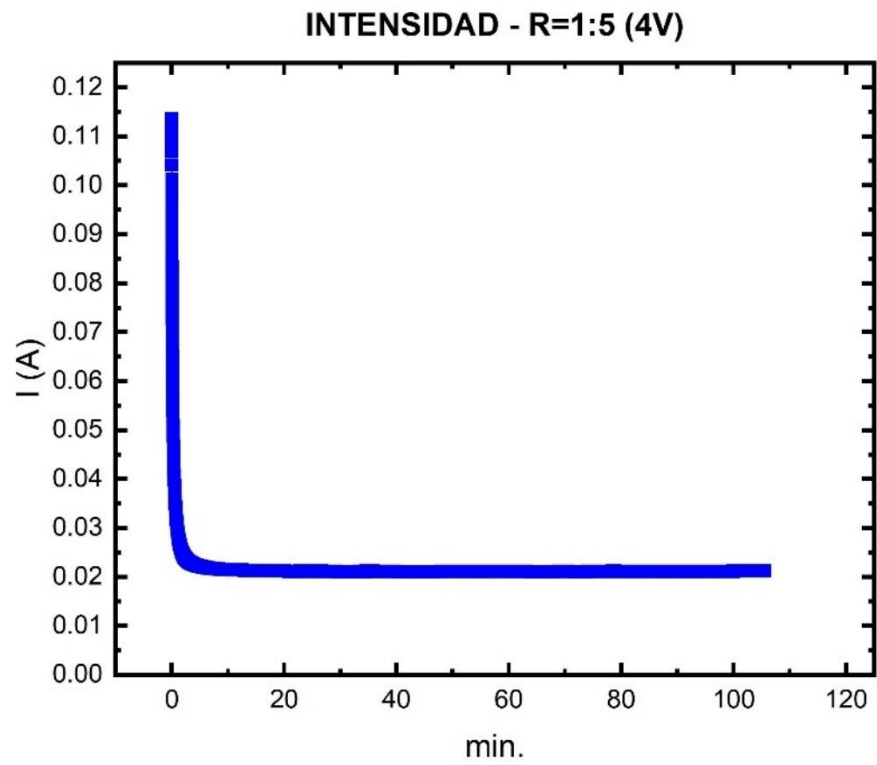


Figura 29. Curva de intensidad (azul) y energía acumulada (rojo) para $R = 1:5$ y $4V$. Fuente: Autores.

- ANEXO 3

Tabla 9. pH - Ratio 1:5 (5 Volt)

Tiempo		pH	pH	Temperatura acidificado	Temperatura basicado
Seg	min	ACIDO	BASICO	°C	°C
0	0	8.12	8.3	26.2	26
20	0.3333333	8.24	8.32	26.2	26
40	0.6666667	8.24	8.32	26.2	26
60	1	8.24	8.31	26.2	26
80	1.3333333	8.25	8.34	26.2	26
100	1.6666667	8.24	8.35	26.2	26
120	2	8.24	8.36	26.2	26
140	2.3333333	8.19	8.37	26.2	26
180	3	8.14	8.38	26.2	26
200	3.3333333	8.1	8.39	27.1	26.3
220	3.6666667	8.02	8.39	27.1	26.3
240	4	7.97	8.39	27.1	26.3
260	4.3333333	7.88	8.39	27.1	26.3
280	4.6666667	7.79	8.39	27.1	26.3
300	5	7.68	8.4	27.1	26.3
320	5.3333333	7.56	8.41	27.1	26.3
340	5.6666667	7.49	8.41	27.1	26.3
380	6.3333333	7.37	8.42	27.1	26.3
400	6.6666667	7.29	8.44	27.3	26.5
420	7	7.21	8.46	27.3	26.5
440	7.3333333	7.14	8.46	27.3	26.5
460	7.6666667	7.08	8.46	27.3	26.5
480	8	7.02	8.46	27.3	26.5
500	8.3333333	6.96	8.46	27.3	26.5
520	8.6666667	6.92	8.46	27.3	26.5
540	9	6.86	8.46	27.3	26.5

560	9.3333333	6.81	8.47	27.3	26.5
580	9.6666667	6.75	8.48	27.3	26.5
600	10	6.7	8.49	27.3	26.5
620	10.3333333	6.65	8.49	27.3	26.5
640	10.6666667	6.6	8.49	27.3	26.5
660	11	6.56	8.49	27.3	26.5
720	12	6.45	8.5	27.3	26.5
740	12.3333333	6.39	8.51	27.3	26.5
760	12.6666667	6.35	8.53	27.3	26.5
780	13	6.31	8.54	27.3	26.5
800	13.3333333	6.27	8.54	27.6	26.9
820	13.6666667	6.23	8.56	27.6	26.9
860	14.3333333	6.17	8.62	27.6	26.9
880	14.6666667	6.13	8.64	27.6	26.9
900	15	6.07	8.64	27.6	26.9
920	15.3333333	6.02	8.66	27.6	26.9
960	16	5.98	8.66	27.6	26.9
980	16.3333333	5.92	8.67	27.6	26.9
1000	16.6666667	5.89	8.67	27.8	26.9
1020	17	5.86	8.67	27.8	26.9
1040	17.3333333	5.81	8.67	27.8	26.9
1060	17.6666667	5.76	8.65	27.8	26.9
1080	18	5.72	8.68	27.8	26.9
1100	18.3333333	5.67	8.68	27.8	26.9
1120	18.6666667	5.61	8.68	27.8	26.9
1140	19	5.54	8.68	27.8	26.9
1160	19.3333333	5.5	8.69	27.8	26.9
1180	19.6666667	5.43	8.69	27.8	26.9
1200	20	5.33	8.7	27.8	26.9
1220	20.3333333	5.27	8.7	27.8	26.9
1240	20.6666667	5.19	8.7	27.8	26.9

1260	21	5.09	8.7	27.8	26.9
1280	21.333333	4.96	8.7	27.8	26.9
1300	21.666667	4.84	8.7	27.8	26.9
1320	22	4.7	8.7	27.8	26.9
1340	22.333333	4.56	8.7	27.8	26.9
1360	22.666667	4.4	8.71	28	27.2

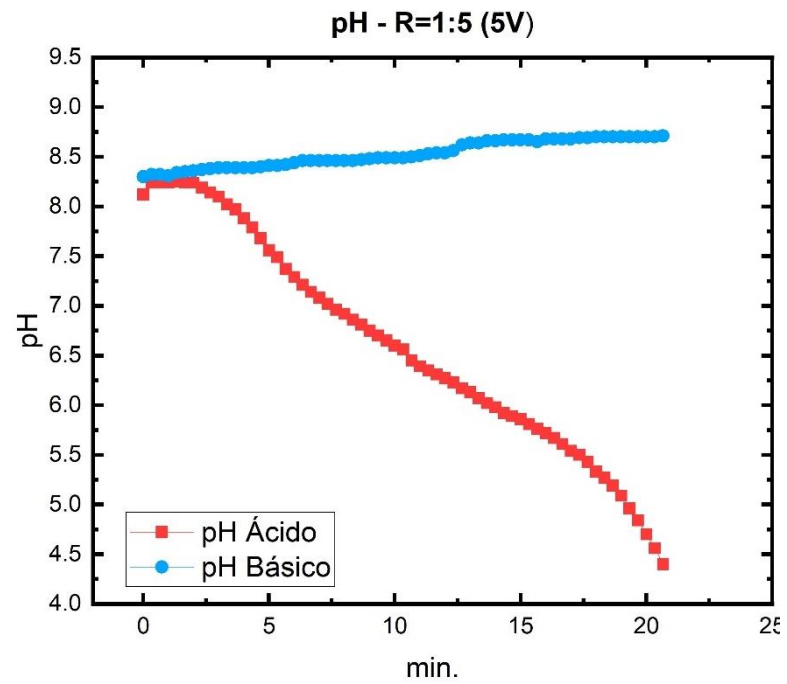


Figura 30. pH para R = 1:5 y 5V. Fuente: Autores.

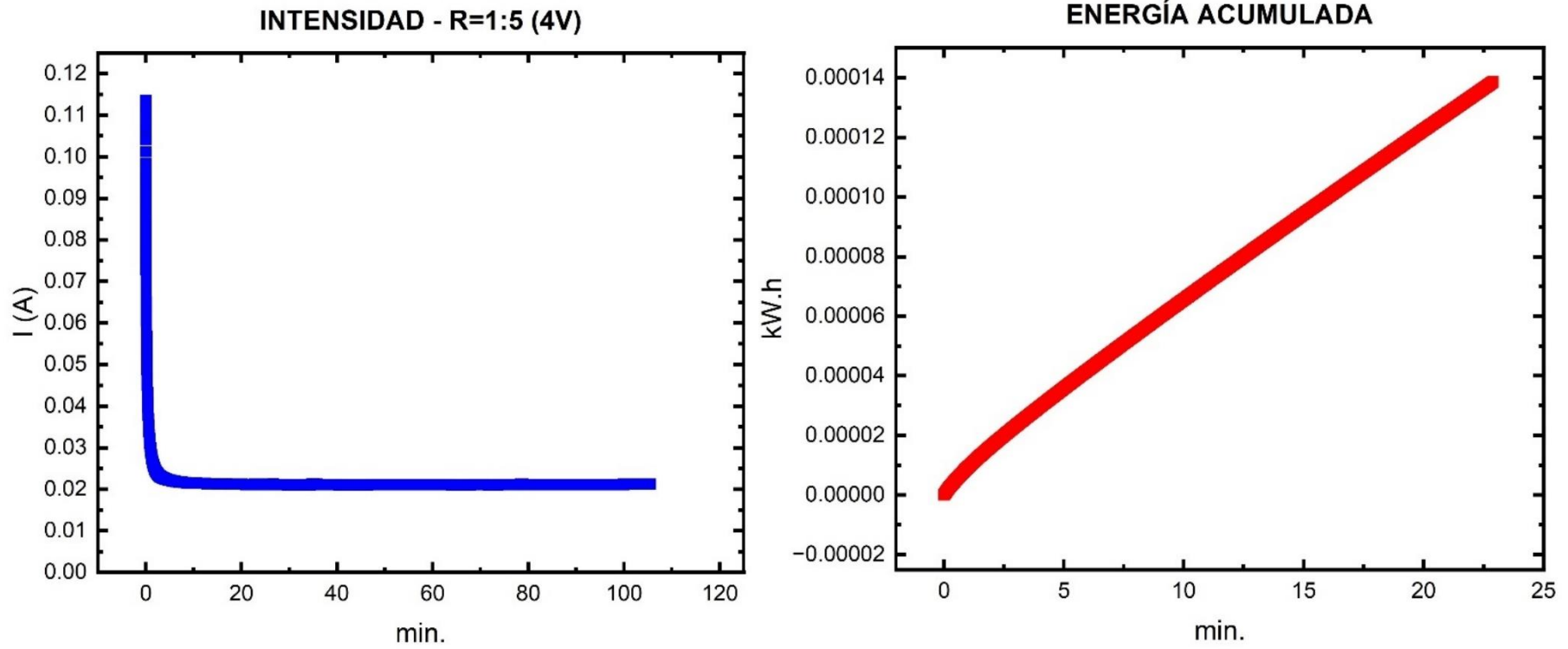


Figura 31. Curva de intensidad (azul) y energía acumulada (rojo) para $R = 1:5$ y 5V. Fuente: Autores.

- ANEXO 4

Tabla 10. pH - Ratio 1:5 (6 Volt)

Tiempo		pH	pH	Temperatura acidificado	Temperatura basificado
seg	min	ACIDO	BASICO	°C	°C
0	0	8.23	8.31	26.7	26.2
30	0.5	8.23	8.31	26.7	26.2
60	1	8.23	8.31	26.7	26.2
90	1.5	8.22	8.32	26.7	26.2
120	2	8.22	8.41	26.7	26.2
150	2.5	8.22	8.44	26.7	26.2
300	5	6.88	8.45	26.7	26.2
330	5.5	6.76	8.46	26.7	26.2
360	6	5.57	8.48	27.4	26.4
420	7	6.27	8.53	27.4	26.4
450	7.5	5.21	8.54	27.4	26.4
480	8	3.25	8.56	27.4	26.4

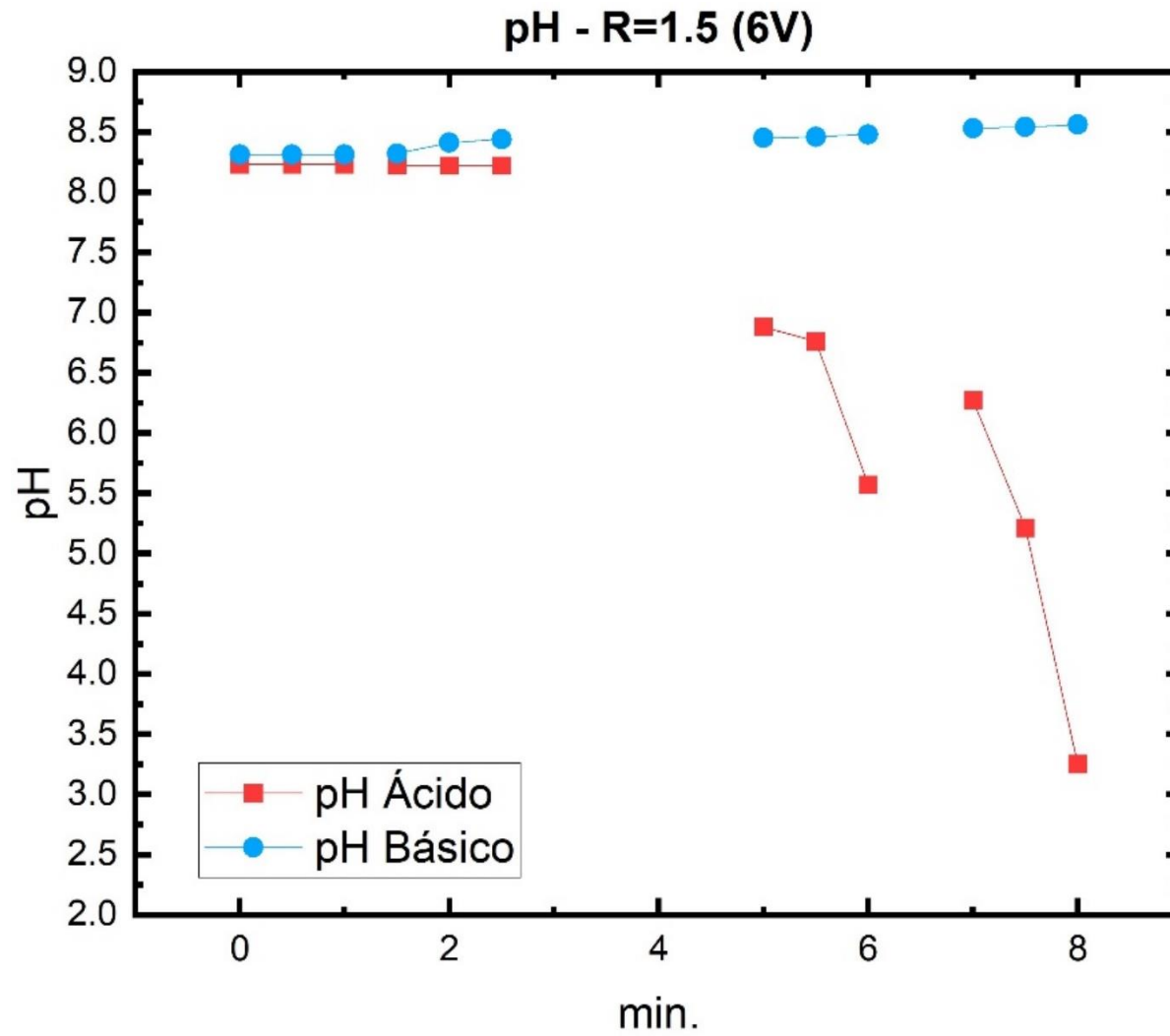


Figura 32. pH para R = 1:5 y 6V. Fuente: Autores.

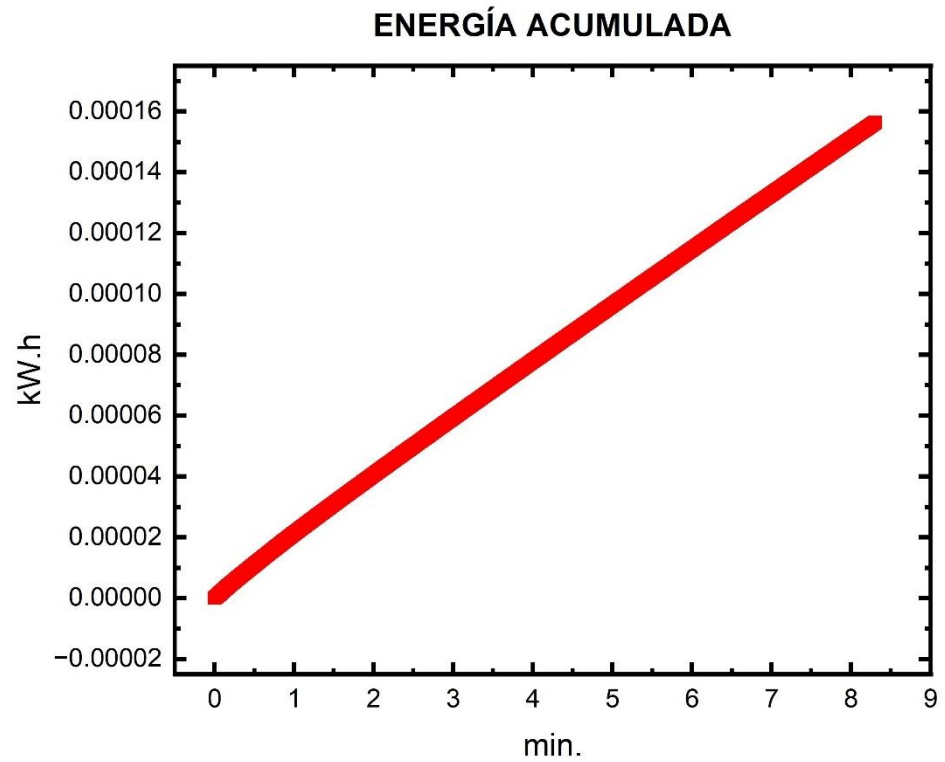
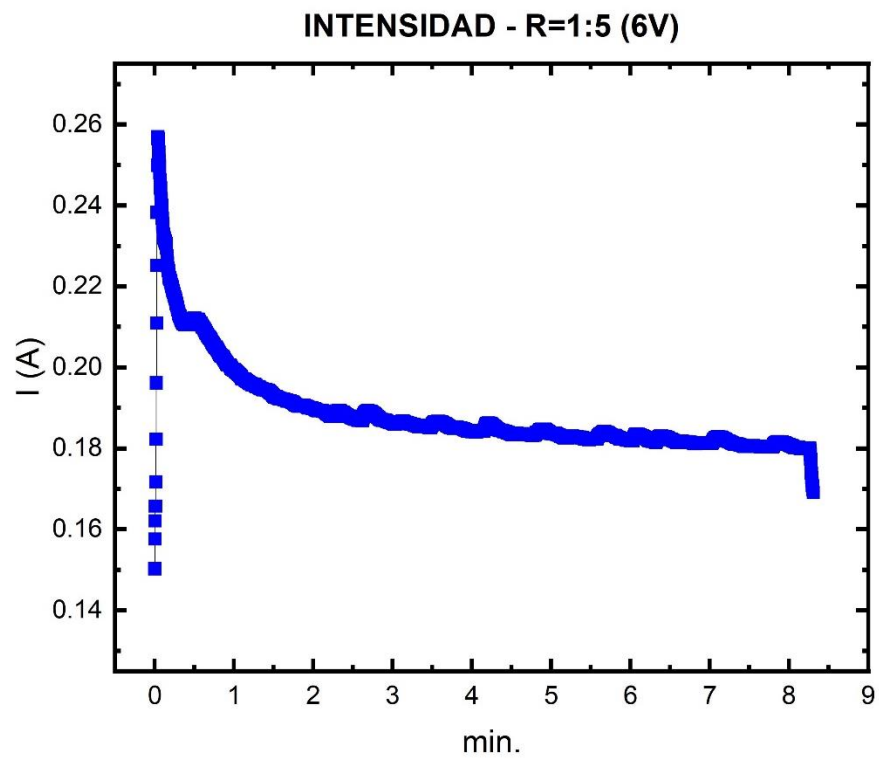


Figura 33. Curva de intensidad (azul) y energía acumulada (rojo) para R = 1:5 y 6V. Fuente: Autores.

- ANEXO 5

Tabla 11. pH - Ratio 1:6 (4 Volt)

Tiempo		pH	pH	Temperatura acidificado	Temperatura basificado
seg	min	ACIDO	BASICO	°C	°C
0	0	8.2	8.27	25	24.1
30	0.5	8.2	8.27	25	24.1
60	1	8.24	8.27	25	24.1
90	1.5	8.24	8.27	25	24.1
120	2	8.22	8.27	25	24.1
150	2.5	8.21	8.27	25	24.1
180	3	8.21	8.27	25	24.1
210	3.5	8.21	8.27	25	24.1
240	4	8.2	8.26	25	24.1
270	4.5	8.2	8.26	25	24.1
300	5	8.2	8.26	25.3	24.2
360	6	8.19	8.26	25.3	24.2
390	6.5	8.18	8.26	25.3	24.2
420	7	8.18	8.26	25.3	24.2
450	7.5	8.18	8.25	25.3	24.2
480	8	8.18	8.25	25.3	24.2
510	8.5	8.18	8.25	25.3	24.2
540	9	8.18	8.25	25.3	24.2
570	9.5	8.17	8.24	25.3	24.2
600	10	8.18	8.28	25.5	24.4
660	11	8.18	8.28	25.5	24.4
690	11.5	8.17	8.28	25.5	24.4
720	12	8.17	8.29	25.5	24.4
750	12.5	8.16	8.29	25.5	24.4
780	13	8.14	8.29	25.5	24.4

810	13.5	8.12	8.29	25.5	24.4
840	14	8.12	8.28	25.5	24.4
870	14.5	8.12	8.28	25.5	24.4
900	15	8.12	8.3	25.5	24.6
930	15.5	8.12	8.3	25.5	24.6
960	16	8.1	8.3	25.5	24.6
990	16.5	8.1	8.3	25.5	24.6
1020	17	8.09	8.3	25.5	24.6
1050	17.5	8.06	8.3	25.5	24.6
1080	18	8.06	8.3	25.5	24.6
1110	18.5	8.04	8.3	25.5	24.6
1170	19.5	8.03	8.3	25.5	24.6
1200	20	8.03	8.31	25.5	24.7
1230	20.5	8.03	8.31	25.5	24.7
1260	21	8.01	8.31	25.5	24.7
1290	21.5	8	8.31	25.5	24.7
1320	22	8	8.31	25.5	24.7
1350	22.5	8	8.31	25.5	24.7
1380	23	7.97	8.31	25.5	24.7
1410	23.5	7.96	8.32	25.5	24.7
1440	24	7.95	8.31	25.5	24.7
1470	24.5	7.93	8.32	25.5	24.7
1500	25	7.9	8.32	25.5	24.8
1530	25.5	7.9	8.32	25.5	24.8
1560	26	7.89	8.32	25.5	24.8
1590	26.5	7.89	8.32	25.5	24.8
1620	27	7.89	8.32	25.5	24.8
1650	27.5	7.85	8.32	25.5	24.8
1680	28	7.84	8.32	25.5	24.8
1710	28.5	7.84	8.32	25.5	24.8
1740	29	7.8	8.33	25.5	24.8

1770	29.5	7.8	8.33	25.5	24.8
1800	30	7.77	8.33	25.5	24.9
1830	30.5	7.77	8.33	25.5	24.9
1860	31	7.76	8.33	25.5	24.9
1890	31.5	7.75	8.33	25.5	24.9
1920	32	7.74	8.33	25.5	24.9
1950	32.5	7.7	8.33	25.5	24.9
1980	33	7.69	8.33	25.5	24.9
2010	33.5	7.69	8.33	25.5	24.9
2040	34	7.68	8.33	25.5	24.9
2070	34.5	7.64	8.34	25.5	24.9
2100	35	7.64	8.34	25.5	24.9
2130	35.5	7.63	8.34	25.5	24.9
2160	36	7.59	8.34	25.5	24.9
2190	36.5	7.59	8.34	25.5	24.9
2220	37	7.58	8.34	25.5	24.9
2280	38	7.54	8.34	25.5	24.9
2310	38.5	7.51	8.34	25.5	24.9
2340	39	7.5	8.34	25.5	24.9
2370	39.5	7.5	8.35	25.5	24.9
2400	40	7.48	8.35	25.5	25
2430	40.5	7.48	8.35	25.5	25
2460	41	7.45	8.35	25.5	25
2490	41.5	7.45	8.37	25.5	25
2520	42	7.45	8.38	25.5	25
2550	42.5	7.44	8.38	25.5	25
2580	43	7.41	8.38	25.5	25
2610	43.5	7.41	8.38	25.5	25
2640	44	7.39	8.39	25.5	25
2670	44.5	7.38	8.39	25.5	25
2700	45	7.36	8.39	25.5	25

2730	45.5	7.37	8.39	25.5	25
2760	46	7.35	8.39	25.5	25
2790	46.5	7.33	8.39	25.5	25
2820	47	7.33	8.39	25.5	25
2850	47.5	7.32	8.4	25.5	25
2880	48	7.3	8.4	25.5	25
2910	48.5	7.29	8.37	25.5	25
2940	49	7.29	8.37	25.5	25
2970	49.5	7.29	8.37	25.5	25
3000	50	7.29	8.37	25.5	25
3030	50.5	7.28	8.37	25.5	25
3090	51.5	7.26	8.37	25.5	25
3120	52	7.25	8.37	25.5	25
3150	52.5	7.23	8.38	25.5	25
3180	53	7.22	8.38	25.5	25
3210	53.5	7.22	8.38	25.5	25
3240	54	7.2	8.38	25.5	25
3270	54.5	7.2	8.38	25.5	25
3300	55	7.18	8.38	25.5	25
3330	55.5	7.18	8.38	25.5	25
3360	56	7.17	8.38	25.5	25
3390	56.5	7.16	8.38	25.5	25
3420	57	7.15	8.38	25.5	25
3450	57.5	7.15	8.38	25.5	25
3480	58	7.13	8.38	25.5	25
3510	58.5	7.13	8.38	25.5	25
3540	59	7.13	8.38	25.5	25
3570	59.5	7.11	8.38	25.5	25
3600	60	7.1	8.39	25.6	25
3630	60.5	7.1	8.39	25.6	25
3660	61	7.1	8.39	25.6	25

3690	61.5	7.09	8.39	25.6	25
3720	62	7.08	8.39	25.6	25
3750	62.5	7.08	8.39	25.6	25
3780	63	7.07	8.39	25.6	25
3810	63.5	7.07	8.39	25.6	25
3840	64	7.07	8.39	25.6	25
3870	64.5	7.06	8.4	25.6	25
3900	65	7.05	8.39	25.5	25
3930	65.5	7.05	8.4	25.5	25
3960	66	7.04	8.4	25.5	25
3990	66.5	7.03	8.39	25.5	25
4020	67	7.03	8.39	25.5	25
4080	68	7.03	8.39	25.5	25
4110	68.5	7.02	8.4	25.5	25
4140	69	7.01	8.4	25.5	25
4170	69.5	7.01	8.4	25.5	25
4200	70	7	8.41	25.5	25

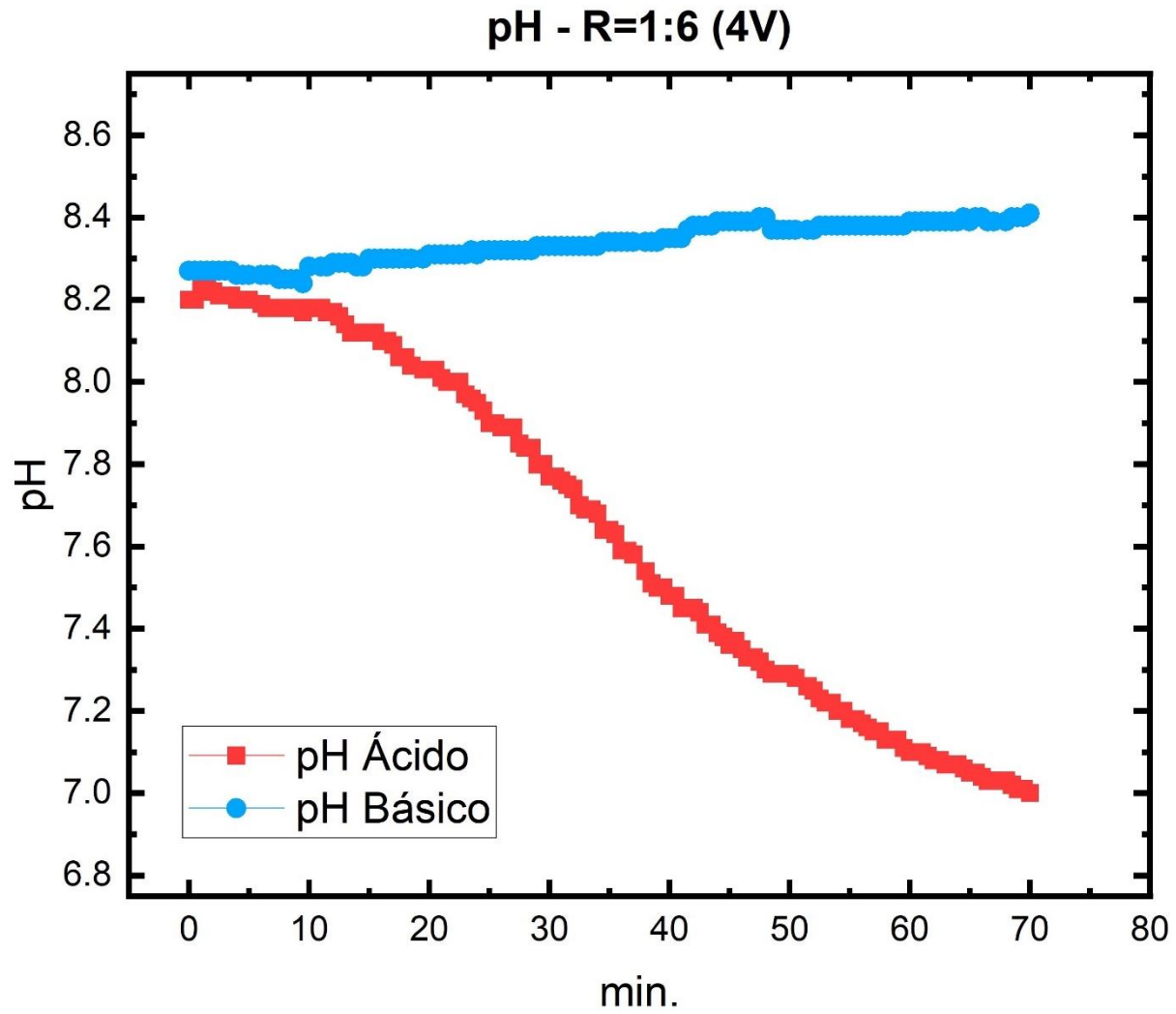


Figura 34. pH para R = 1:6 y 4V. Fuente: Autores.

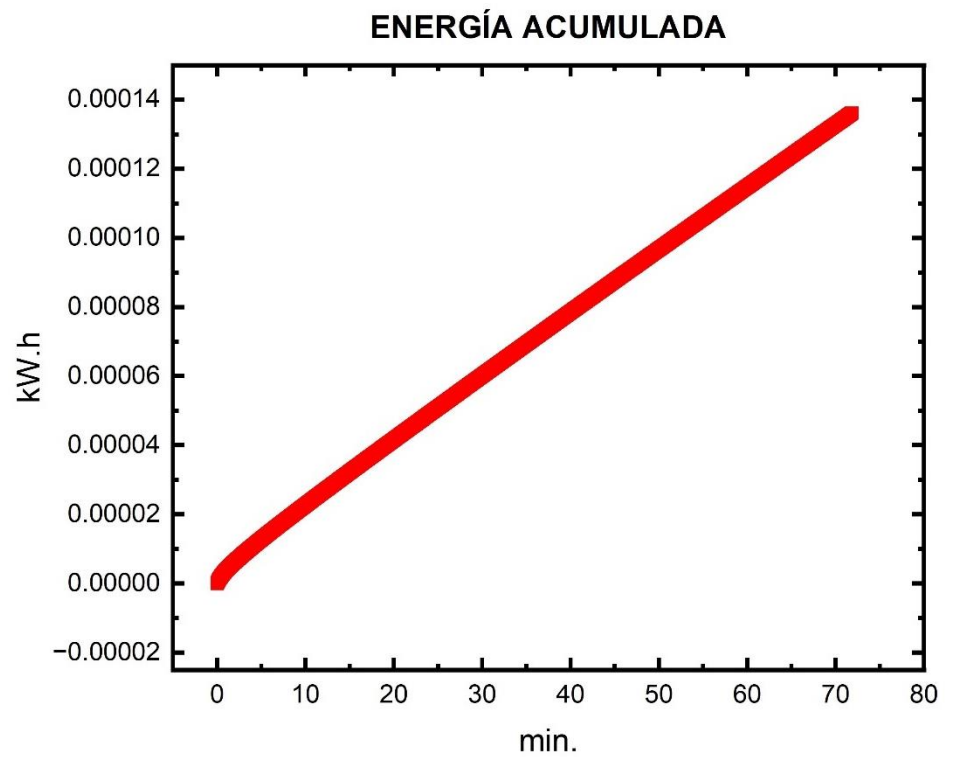
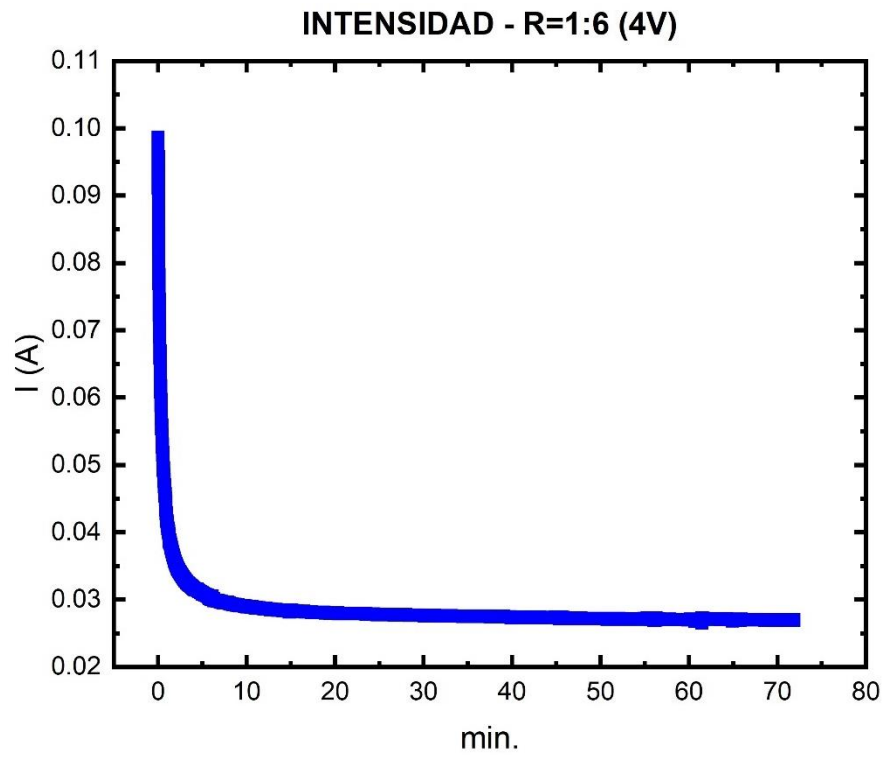


Figura 35. Curva de intensidad (azul) y energía acumulada (rojo) para R = 1:6 y 4V. Fuente: Autores.

- ANEXO 6

Tabla 12. pH - Ratio 1:6 (5 Volt)

Tiempo		pH	pH	Temperatura acidificado	Temperatura basificado
seg	min	ACIDO	BASICO	°C	°C
0	0	8.25	8.24	27.1	26.9
20	0.3333333	8.29	8.31	27.1	26.9
40	0.6666667	8.29	8.31	27.1	26.9
60	1	8.3	8.31	27.1	26.9
80	1.3333333	8.3	8.31	27.1	26.9
100	1.6666667	8.3	8.31	27.1	26.9
120	2	8.3	8.31	27.1	26.9
140	2.3333333	8.3	8.32	27.1	26.9
180	3	8.31	8.32	27.1	26.9
200	3.3333333	8.3	8.32	27.1	26.9
240	4	8.29	8.33	27.1	26.9
280	4.6666667	8.28	8.37	27.1	26.9
300	5	8.27	8.38	27.1	26.9
320	5.3333333	8.26	8.39	27.1	26.9
340	5.6666667	8.29	8.39	27.1	26.9
360	6	8.25	8.39	27.1	26.9
380	6.3333333	8.23	8.4	27.1	26.9
400	6.6666667	8.22	8.41	27.9	27.2
420	7	8.2	8.4	27.9	27.2
440	7.3333333	8.19	8.4	27.9	27.2
460	7.6666667	8.12	8.43	27.9	27.2
480	8	8.11	8.43	27.9	27.2
500	8.3333333	8.09	8.43	27.9	27.2
520	8.6666667	8.03	8.43	27.9	27.2
540	9	8.02	8.44	27.9	27.2

560	9.3333333	7.99	8.44	27.9	27.2
600	10	7.9	8.46	27.9	27.2
620	10.3333333	7.86	8.46	27.9	27.2
640	10.6666667	7.84	8.47	27.9	27.2
660	11	7.81	8.47	27.9	27.2
680	11.3333333	7.78	8.47	27.9	27.2
700	11.6666667	7.74	8.47	27.9	27.2
720	12	7.68	8.47	27.9	27.2
740	12.3333333	7.64	8.47	27.9	27.2
760	12.6666667	7.6	8.47	27.9	27.2
780	13	7.54	8.48	27.9	27.2
800	13.3333333	7.48	8.48	28	27.4
820	13.6666667	7.45	8.49	28	27.4
840	14	7.38	8.51	28	27.4
860	14.3333333	7.35	8.52	28	27.4
880	14.6666667	7.3	8.53	28	27.4
900	15	7.27	8.53	28	27.4
920	15.3333333	7.25	8.53	28	27.4
940	15.6666667	7.24	8.53	28	27.4
960	16	7.19	8.54	28	27.4
980	16.3333333	7.16	8.54	28	27.4
1000	16.6666667	7.14	8.54	28.1	27.4
1020	17	7.11	8.54	28.1	27.4
1040	17.3333333	7.08	8.55	28.1	27.4
1060	17.6666667	7.06	8.55	28.1	27.4
1080	18	7.04	8.55	28.1	27.4
1100	18.3333333	7.01	8.55	28.1	27.4
1120	18.6666667	6.98	8.56	28.1	27.4
1140	19	6.93	8.57	28.1	27.4
1160	19.3333333	6.91	8.57	28.1	27.4
1180	19.6666667	6.89	8.58	28.1	27.4

1200	20	6.87	8.58	28.1	27.5
1220	20.333333	6.84	8.58	28.1	27.5
1240	20.666667	6.82	8.58	28.1	27.5
1260	21	6.8	8.58	28.1	27.5
1280	21.333333	6.78	8.59	28.1	27.5
1300	21.666667	6.75	8.59	28.1	27.5
1340	22.333333	6.71	8.59	28.1	27.5
1360	22.666667	6.69	8.59	28.1	27.5
1400	23.333333	6.65	8.6	28.2	27.6
1420	23.666667	6.62	8.6	28.2	27.6
1440	24	6.59	8.61	28.2	27.6
1460	24.333333	6.57	8.61	28.2	27.6
1500	25	6.54	8.61	28.2	27.6
1520	25.333333	6.53	8.62	28.2	27.6
1560	26	6.51	8.63	28.2	27.6
1580	26.333333	6.49	8.63	28.2	27.6
1600	26.666667	6.47	8.63	28.3	27.7
1620	27	6.46	8.63	28.3	27.7
1640	27.333333	6.45	8.63	28.3	27.7
1660	27.666667	6.43	8.63	28.3	27.7
1680	28	6.42	8.65	28.3	27.7
1700	28.333333	6.39	8.66	28.3	27.7
1720	28.666667	6.38	8.66	28.3	27.7
1740	29	6.36	8.66	28.3	27.7
1760	29.333333	6.34	8.66	28.3	27.7
1800	30	6.32	8.66	28.4	27.8
1820	30.333333	6.31	8.67	28.4	27.8
1860	31	6.29	8.67	28.4	27.8
1880	31.333333	6.27	8.67	28.4	27.8
1900	31.666667	6.26	8.68	28.4	27.8
1920	32	6.23	8.68	28.4	27.8

1940	32.333333	6.22	8.68	28.4	27.8
1980	33	6.2	8.68	28.4	27.8
2000	33.333333	6.18	8.69	28.5	27.8
2040	34	6.15	8.69	28.5	27.8
2060	34.333333	6.14	8.7	28.5	27.8
2080	34.666667	6.12	8.7	28.5	27.8
2120	35.333333	6.1	8.7	28.5	27.8
2140	35.666667	6.08	8.71	28.5	27.8
2160	36	6.06	8.71	28.5	27.9

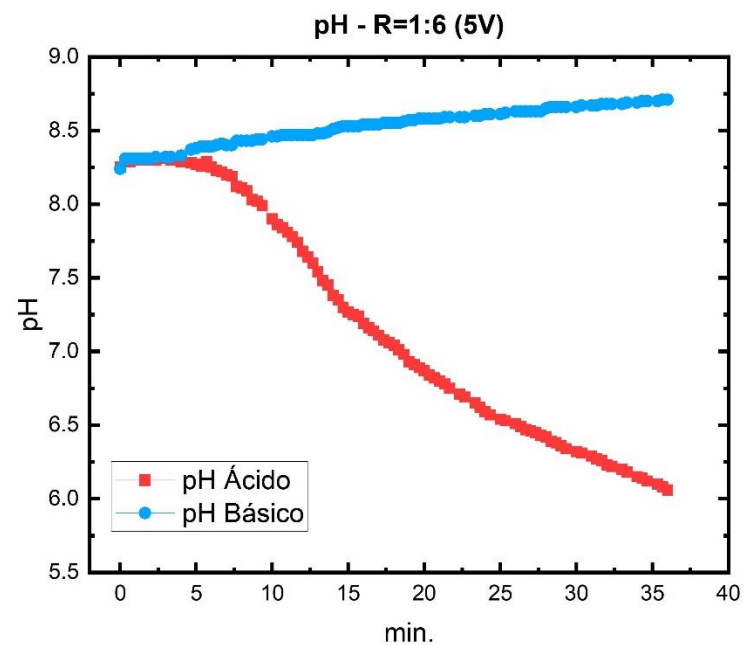


Figura 36. pH para R = 1:6 y 5V. Fuente: Autores.

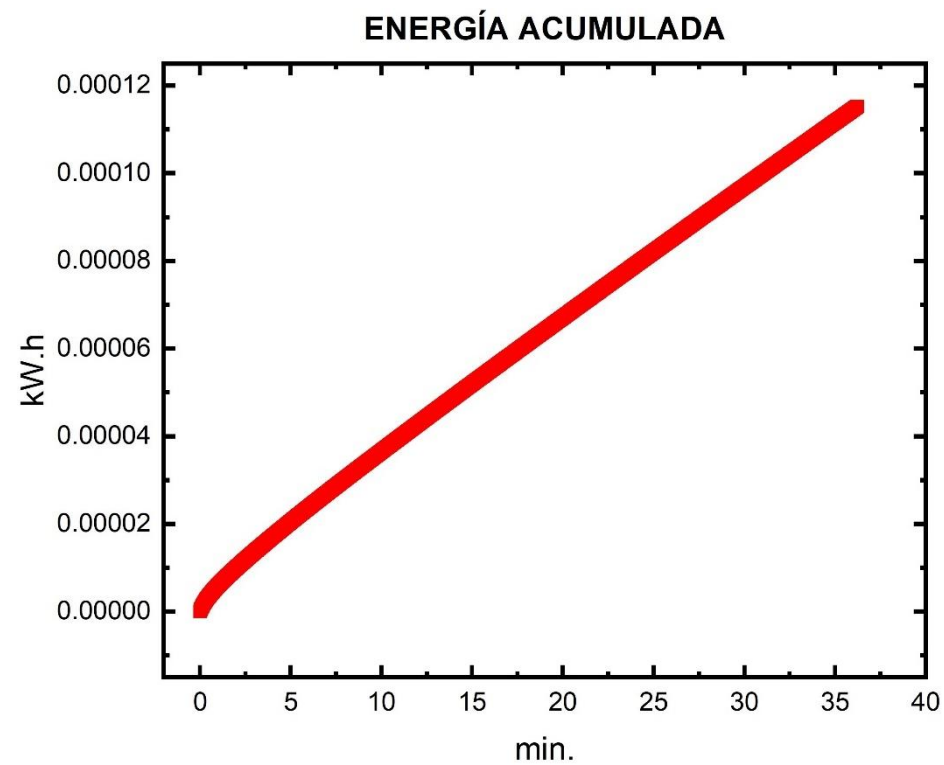
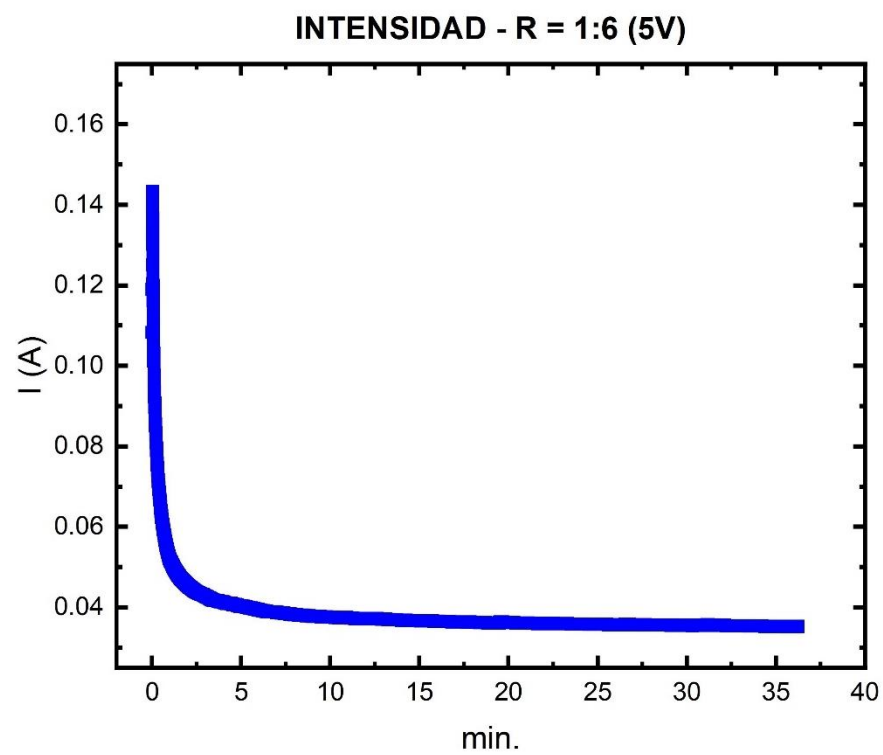


Figura 37. Curva de intensidad (azul) y energía acumulada (rojo) para R = 1:6 y 5V. Fuente: Autores.

- ANEXO 7

Tabla 13. pH - Ratio 1:6 (5 Volt) – 07/11

Tiempo		pH	pH	Temperatura acidificado	Temperatura basificado
Seg	min	ACIDO	BASICO	°C	°C
0	0	8.33	8.39	25.3	25.4
10	0.1666667	8.34	8.39	25.3	25.4
20	0.3333333	8.34	8.39	25.3	25.4
30	0.5	8.34	8.39	25.3	25.4
40	0.6666667	8.34	8.39	25.3	25.4
50	0.8333333	8.34	8.39	25.3	25.4
60	1	8.34	8.39	25.3	25.4
70	1.1666667	8.34	8.39	25.3	25.4
80	1.3333333	8.34	8.39	25.3	25.4
90	1.5	8.34	8.39	25.3	25.4
100	1.6666667	8.32	8.4	26.2	24.8
120	2	8.32	8.4	26.2	24.8
130	2.1666667	8.32	8.4	26.2	24.8
140	2.3333333	8.32	8.4	26.2	24.8
150	2.5	8.32	8.4	26.2	24.8
160	2.6666667	8.32	8.4	26.2	24.8
180	3	8.32	8.4	26.2	24.8
190	3.1666667	8.32	8.4	26.2	24.8
200	3.3333333	8.32	8.4	26.2	24.8
210	3.5	8.32	8.41	26.2	24.8
240	4	8.32	8.42	26.2	24.8
250	4.1666667	8.32	8.42	26.2	24.8
260	4.3333333	8.32	8.42	26.2	24.8
270	4.5	8.32	8.42	26.2	24.8
280	4.6666667	8.32	8.42	26.2	24.8
290	4.8333333	8.32	8.42	26.2	24.8

300	5	8.32	8.42	26.3	24.9
320	5.3333333	8.32	8.42	26.3	24.9
330	5.5	8.32	8.42	26.3	24.9
340	5.6666667	8.32	8.42	26.3	24.9
350	5.8333333	8.32	8.42	26.3	24.9
360	6	8.32	8.42	26.3	24.9
370	6.1666667	8.32	8.43	26.3	24.9
380	6.3333333	8.32	8.43	26.3	24.9
390	6.5	8.32	8.43	26.3	24.9
400	6.6666667	8.32	8.43	26.3	24.9
420	7	8.32	8.43	26.3	24.9
430	7.1666667	8.32	8.43	26.3	24.9
440	7.3333333	8.32	8.43	26.3	24.9
450	7.5	8.31	8.43	26.3	24.9
460	7.6666667	8.3	8.43	26.3	24.9
470	7.8333333	8.29	8.43	26.3	24.9
480	8	8.28	8.43	26.3	24.9
490	8.1666667	8.27	8.43	26.3	24.9
500	8.3333333	8.18	8.46	26.4	25.1
510	8.5	8.17	8.46	26.4	25.1
520	8.6666667	8.17	8.46	26.4	25.1
530	8.8333333	8.16	8.46	26.4	25.1
540	9	8.16	8.46	26.4	25.1
550	9.1666667	8.16	8.47	26.4	25.1
560	9.3333333	8.16	8.47	26.4	25.1
570	9.5	8.1	8.47	26.4	25.1
580	9.6666667	8.07	8.47	26.4	25.1
590	9.8333333	8.06	8.48	26.4	25.1
600	10	7.98	8.48	26.4	25.2
610	10.1666667	7.97	8.48	26.4	25.2
620	10.3333333	7.96	8.48	26.4	25.2

630	10.5	7.96	8.48	26.4	25.2
640	10.666667	7.9	8.49	26.4	25.2
650	10.8333333	7.89	8.49	26.4	25.2
660	11	7.88	8.49	26.4	25.2
670	11.166667	7.84	8.49	26.4	25.2
680	11.3333333	7.83	8.49	26.4	25.2
690	11.5	7.82	8.49	26.4	25.2
700	11.666667	7.82	8.49	26.5	25.3
710	11.8333333	7.81	8.49	26.5	25.3
720	12	7.8	8.49	26.5	25.3
730	12.166667	7.74	8.5	26.5	25.3
740	12.3333333	7.72	8.5	26.5	25.3
750	12.5	7.71	8.5	26.5	25.3
760	12.666667	7.7	8.5	26.5	25.3
770	12.8333333	7.69	8.5	26.5	25.3
780	13	7.62	8.51	26.5	25.3
790	13.166667	7.62	8.51	26.5	25.3
800	13.3333333	7.6	8.51	26.5	25.4
810	13.5	7.6	8.51	26.5	25.4
820	13.666667	7.6	8.51	26.5	25.4
830	13.8333333	7.58	8.51	26.5	25.4
840	14	7.57	8.52	26.5	25.4
850	14.166667	7.57	8.52	26.5	25.4
860	14.3333333	7.57	8.52	26.5	25.4
870	14.5	7.47	8.52	26.5	25.4
880	14.666667	7.44	8.52	26.5	25.4
890	14.8333333	7.42	8.52	26.5	25.4
900	15	7.41	8.52	26.6	25.4
920	15.3333333	7.39	8.53	26.6	25.4
930	15.5	7.38	8.53	26.6	25.4
940	15.666667	7.37	8.53	26.6	25.4

950	15.833333	7.36	8.53	26.6	25.4
960	16	7.36	8.53	26.6	25.4
970	16.166667	7.35	8.53	26.6	25.4
980	16.333333	7.34	8.53	26.6	25.4
990	16.5	7.34	8.53	26.6	25.4
1000	16.666667	7.34	8.53	26.6	25.5
1010	16.833333	7.27	8.54	26.6	25.5
1020	17	7.23	8.54	26.6	25.5
1030	17.166667	7.21	8.54	26.6	25.5
1040	17.333333	7.19	8.54	26.6	25.5
1050	17.5	7.19	8.54	26.6	25.5
1060	17.666667	7.18	8.54	26.6	25.5
1070	17.833333	7.17	8.54	26.6	25.5
1080	18	7.17	8.55	26.6	25.5
1090	18.166667	7.16	8.55	26.6	25.5
1100	18.333333	7.16	8.55	26.6	25.6
1110	18.5	7.12	8.56	26.6	25.6
1120	18.666667	7.09	8.56	26.6	25.6
1130	18.833333	7.07	8.56	26.6	25.6
1140	19	7.05	8.56	26.6	25.6
1150	19.166667	7.04	8.56	26.6	25.6
1160	19.333333	7.01	8.56	26.6	25.6
1170	19.5	6.99	8.57	26.6	25.6
1180	19.666667	6.98	8.57	26.6	25.6
1190	19.833333	6.97	8.57	26.6	25.6
1200	20	6.96	8.57	26.7	25.7
1210	20.166667	6.95	8.57	26.7	25.7
1220	20.333333	6.95	8.57	26.7	25.7
1230	20.5	6.94	8.57	26.7	25.7
1240	20.666667	6.94	8.57	26.7	25.7
1250	20.833333	6.92	8.58	26.7	25.7

1260	21	6.9	8.58	26.7	25.7
1270	21.166667	6.89	8.58	26.7	25.7
1280	21.333333	6.88	8.58	26.7	25.7
1290	21.5	6.87	8.58	26.7	25.7
1300	21.666667	6.86	8.58	26.8	25.7
1310	21.833333	6.85	8.58	26.8	25.7
1320	22	6.85	8.58	26.8	25.7
1330	22.166667	6.84	8.58	26.8	25.7
1340	22.333333	6.84	8.58	26.8	25.7
1350	22.5	6.82	8.59	26.8	25.7
1360	22.666667	6.79	8.59	26.8	25.7
1380	23	6.78	8.59	26.8	25.7
1390	23.166667	6.67	8.59	26.8	25.7
1400	23.333333	6.76	8.59	26.8	25.8
1410	23.5	6.75	8.6	26.8	25.8
1430	23.833333	6.74	8.6	26.8	25.8
1440	24	6.73	8.6	26.8	25.8
1450	24.166667	6.71	8.61	26.8	25.8
1460	24.333333	6.69	8.61	26.8	25.8
1470	24.5	6.67	8.61	26.8	25.8
1480	24.666667	6.66	8.61	26.8	25.8
1500	25	6.65	8.61	26.9	25.9
1510	25.166667	6.65	8.61	26.9	25.9
1520	25.333333	6.64	8.61	26.9	25.9
1540	25.666667	6.63	8.62	26.9	25.9
1560	26	6.61	8.62	26.9	25.9
1570	26.166667	6.59	8.62	26.9	25.9
1590	26.5	6.58	8.62	26.9	25.9
1600	26.666667	6.58	8.62	26.9	26
1610	26.833333	6.57	8.62	26.9	26
1630	27.166667	6.57	8.62	26.9	26

1640	27.333333	6.56	8.62	26.9	26
1650	27.5	6.54	8.63	26.9	26
1660	27.666667	6.52	8.63	26.9	26
1670	27.833333	6.5	8.63	26.9	26
1690	28.166667	6.49	8.63	26.9	26
1700	28.333333	6.48	8.63	27	26
1720	28.666667	6.48	8.63	27	26
1730	28.833333	6.47	8.64	27	26
1740	29	6.47	8.63	27	26
1750	29.166667	6.47	8.63	27	26
1760	29.333333	6.46	8.63	27	26
1780	29.666667	6.45	8.64	27	26
1790	29.833333	6.42	8.64	27	26
1800	30	6.41	8.64	27	26.1
1820	30.333333	6.4	8.65	27	26.1
1830	30.5	6.39	8.65	27	26.1
1850	30.833333	6.39	8.65	27	26.1
1860	31	6.39	8.65	27	26.1
1870	31.166667	6.37	8.66	27	26.1
1880	31.333333	6.35	8.65	27	26.1
1890	31.5	6.34	8.66	27	26.1
1900	31.666667	6.33	8.66	27.1	26.2
1910	31.833333	6.33	8.66	27.1	26.2
1920	32	6.32	8.66	27.1	26.2
1930	32.166667	6.32	8.66	27.1	26.2
1950	32.5	6.31	8.66	27.1	26.2
1960	32.666667	6.31	8.66	27.1	26.2
1970	32.833333	6.28	8.67	27.1	26.2
1980	33	6.27	8.67	27.1	26.2
1990	33.166667	6.26	8.67	27.1	26.2
2000	33.333333	6.26	8.67	27.1	26.2

2020	33.666667	6.25	8.67	27.1	26.2
2030	33.833333	6.25	8.67	27.1	26.2
2040	34	6.24	8.67	27.1	26.2
2050	34.166667	6.24	8.67	27.1	26.2
2070	34.5	6.24	8.67	27.1	26.2
2080	34.666667	6.24	8.67	27.1	26.2
2090	34.833333	6.24	8.67	27.1	26.2
2100	35	6.23	8.67	27.1	26.3
2120	35.333333	6.23	8.68	27.1	26.3
2130	35.5	6.23	8.68	27.1	26.3
2140	35.666667	6.18	8.68	27.1	26.3
2150	35.833333	6.16	8.69	27.1	26.3
2160	36	6.15	8.69	27.1	26.3
2170	36.166667	6.14	8.69	27.1	26.3
2190	36.5	6.13	8.69	27.1	26.3
2200	36.666667	6.12	8.69	27.2	26.3
2210	36.833333	6.12	8.69	27.2	26.3
2220	37	6.11	8.69	27.2	26.3
2230	37.166667	6.09	8.69	27.2	26.3
2240	37.333333	6.09	8.7	27.2	26.3
2250	37.5	6.08	8.7	27.2	26.3
2260	37.666667	6.08	8.69	27.2	26.3
2270	37.833333	6.07	8.69	27.2	26.3
2280	38	6.07	8.7	27.2	26.3
2290	38.166667	6.05	8.7	27.2	26.3
2300	38.333333	6.03	8.7	27.3	26.4
2320	38.666667	6.01	8.7	27.3	26.4
2330	38.833333	6.01	8.7	27.3	26.4
2340	39	6	8.7	27.3	26.4
2350	39.166667	5.98	8.71	27.3	26.4
2360	39.333333	5.97	8.71	27.3	26.4

2370	39.5	5.96	8.71	27.3	26.4
------	------	------	------	------	------

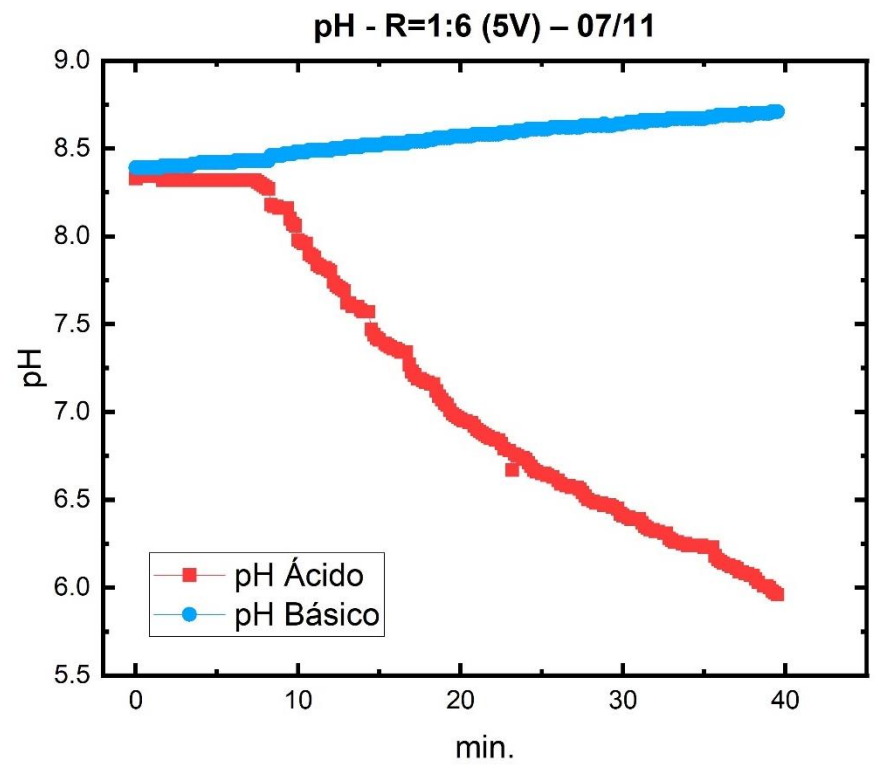


Figura 38. pH para R = 1:6 y 5V – 07/11. Fuente: Autores.

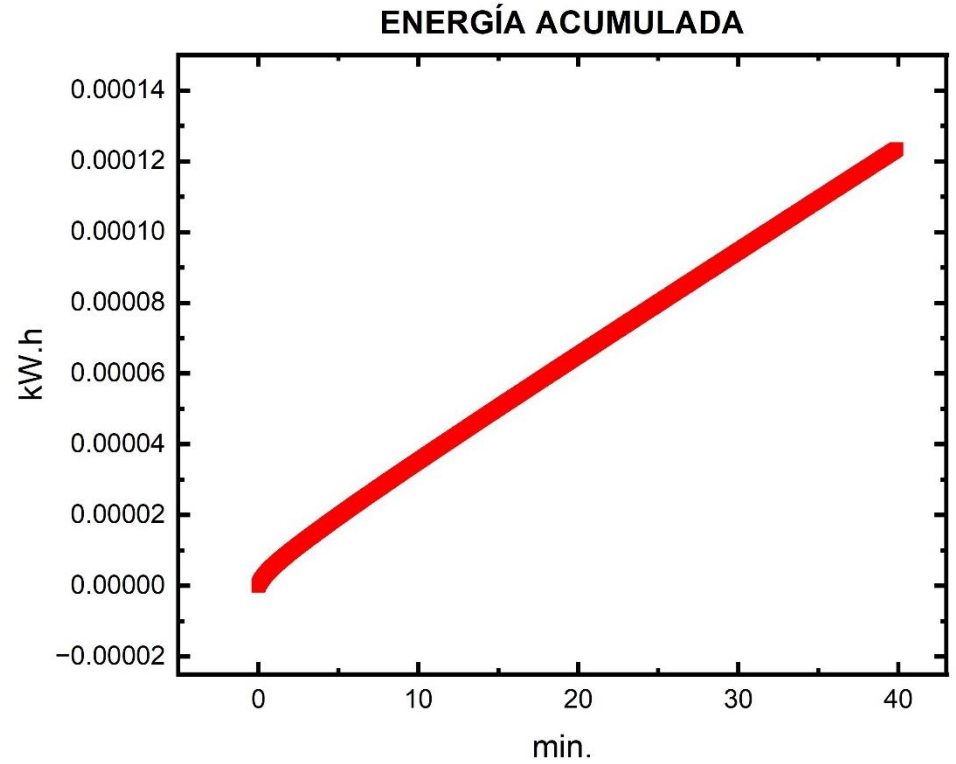
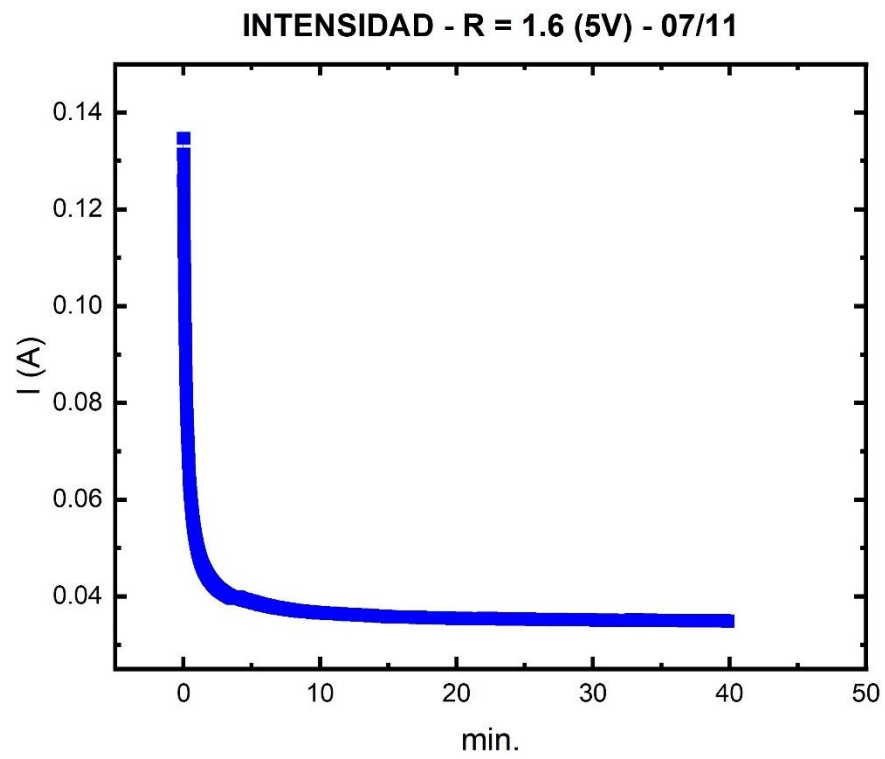


Figura 39. Curva de intensidad (azul) y energía acumulada (rojo) para R = 1:6 y 5V – 07/11. Fuente: Autores.

- ANEXO 8

Tabla 14. pH - Ratio 1:7 (4 Volt)

Tiempo		pH	pH	Temperatura acidificado	Temperatura basificado
seg	min	ACIDO	BASICO	°C	°C
0	0	8.27	8.28	24	23.7
30	0.5	8.27	8.28	24	23.7
60	1	8.27	8.28	24	23.7
90	1.5	8.27	8.28	24	23.7
120	2	8.27	8.29	24	23.7
150	2.5	8.26	8.32	24	23.7
180	3	8.25	8.35	24	23.7
210	3.5	8.24	8.36	24	23.7
240	4	8.24	8.36	24	23.7
270	4.5	8.24	8.37	24	23.7
300	5	8.24	8.33	24.1	23.7
330	5.5	8.24	8.33	24.1	23.7
360	6	8.23	8.33	24.1	23.7
390	6.5	8.23	8.33	24.1	23.7
420	7	8.23	8.33	24.1	23.7
450	7.5	8.23	8.33	24.1	23.7
480	8	8.23	8.33	24.1	23.7
510	8.5	8.23	8.33	24.1	23.7
540	9	8.23	8.36	24.1	23.7
570	9.5	8.22	8.38	24.1	23.7
630	10.5	8.21	8.34	24.2	23.8
660	11	8.21	8.35	24.2	23.8
690	11.5	8.21	8.35	24.2	23.8
750	12.5	8.19	8.35	24.2	23.8
780	13	8.19	8.35	24.2	23.8
810	13.5	8.19	8.35	24.2	23.8

840	14	8.18	8.35	24.2	23.8
870	14.5	8.18	8.36	24.2	23.8
900	15	8.17	8.36	24.2	23.9
960	16	8.17	8.36	24.2	23.9
990	16.5	8.17	8.36	24.2	23.9
1020	17	8.16	8.36	24.2	23.9
1050	17.5	8.14	8.36	24.2	23.9
1110	18.5	8.14	8.37	24.2	23.9
1140	19	8.13	8.37	24.2	23.9
1170	19.5	8.13	8.37	24.2	23.9
1200	20	8.13	8.37	24.3	23.9
1230	20.5	8.17	8.37	24.3	23.9
1290	21.5	8.12	8.37	24.3	23.9
1320	22	8.11	8.37	24.3	23.9
1350	22.5	8.1	8.37	24.3	23.9
1380	23	8.1	8.37	24.3	23.9
1410	23.5	8.06	8.37	24.3	23.9
1440	24	8.06	8.37	24.3	23.9
1500	25	8.05	8.37	24.4	24
1530	25.5	8.03	8.37	24.4	24
1560	26	8	8.37	24.4	24
1590	26.5	8	8.37	24.4	24
1620	27	7.99	8.37	24.4	24
1650	27.5	7.99	8.38	24.4	24
1710	28.5	7.97	8.38	24.4	24
1740	29	7.96	8.38	24.4	24
1770	29.5	7.96	8.38	24.4	24
1800	30	7.93	8.38	24.4	24
1860	31	7.92	8.38	24.4	24
1890	31.5	7.92	8.38	24.4	24
1920	32	7.92	8.38	24.4	24

1950	32.5	7.88	8.39	24.4	24
1980	33	7.88	8.39	24.4	24
2010	33.5	7.88	8.39	24.4	24
2040	34	7.85	8.39	24.4	24
2070	34.5	7.84	8.39	24.4	24
2100	35	7.82	8.39	24.5	24.1
2160	36	7.82	8.39	24.5	24.1
2220	37	7.8	8.39	24.5	24.1
2250	37.5	7.76	8.39	24.5	24.1
2280	38	7.76	8.39	24.5	24.1
2340	39	7.75	8.39	24.5	24.1
2370	39.5	7.71	8.39	24.5	24.1
2400	40	7.71	8.4	24.5	24.2
2430	40.5	7.71	8.4	24.5	24.2
2460	41	7.7	8.39	24.5	24.2
2520	42	7.66	8.39	24.5	24.2
2550	42.5	7.64	8.4	24.5	24.2
2610	43.5	7.63	8.4	24.5	24.2
2640	44	7.63	8.4	24.5	24.2
2670	44.5	7.59	8.4	24.5	24.2
2700	45	7.59	8.4	24.6	24.2
2730	45.5	7.58	8.4	24.6	24.2
2790	46.5	7.56	8.4	24.6	24.2
2850	47.5	7.52	8.4	24.6	24.2
2880	48	7.52	8.41	24.6	24.2
2940	49	7.49	8.41	24.6	24.2
2970	49.5	7.47	8.41	24.6	24.2

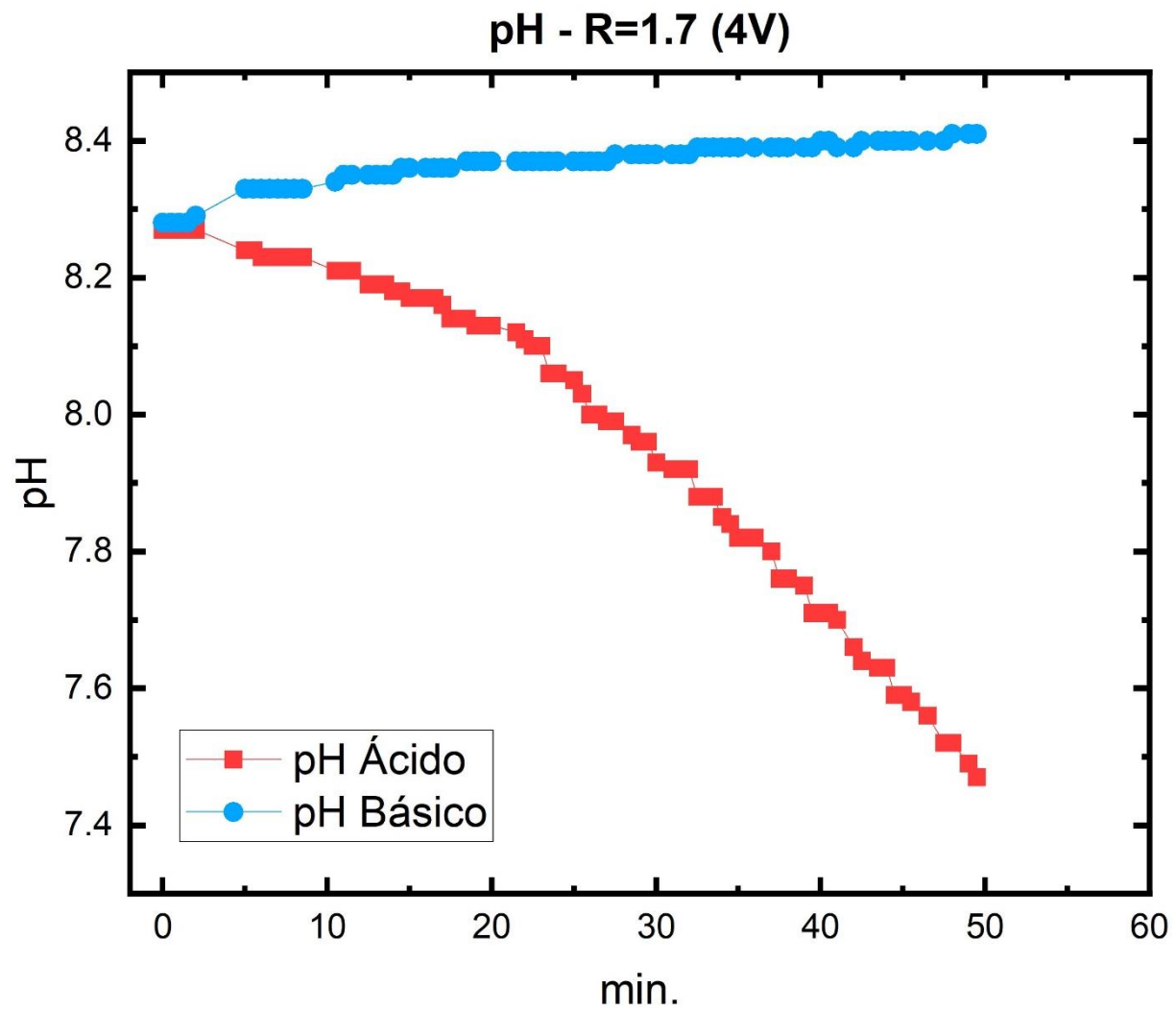


Figura 40. pH para R = 1:7 y 4V. Fuente: Autores.

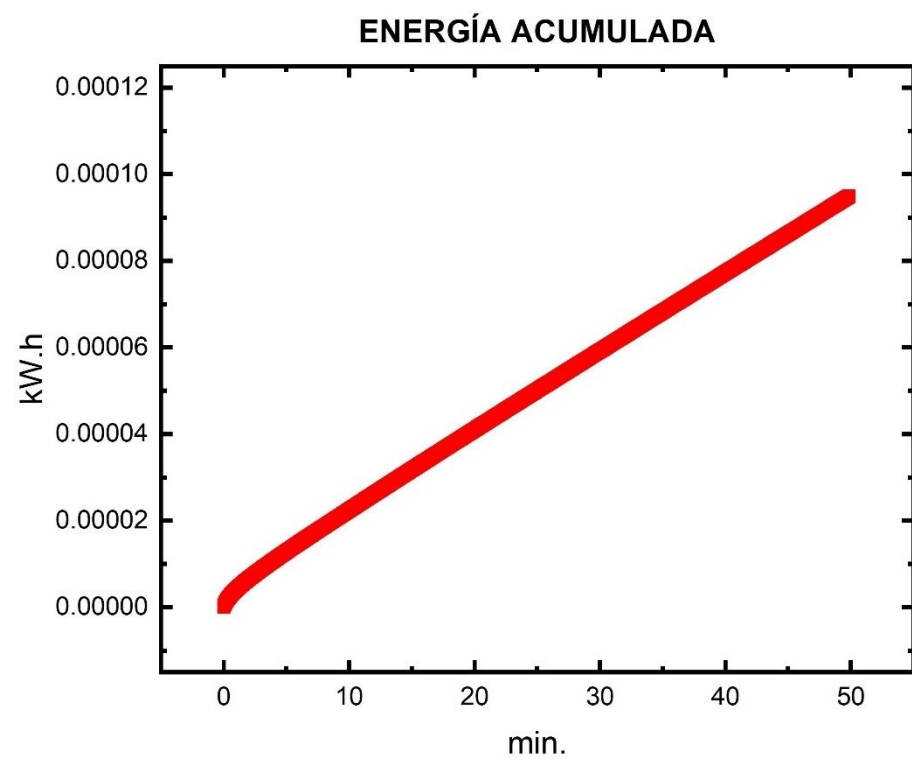
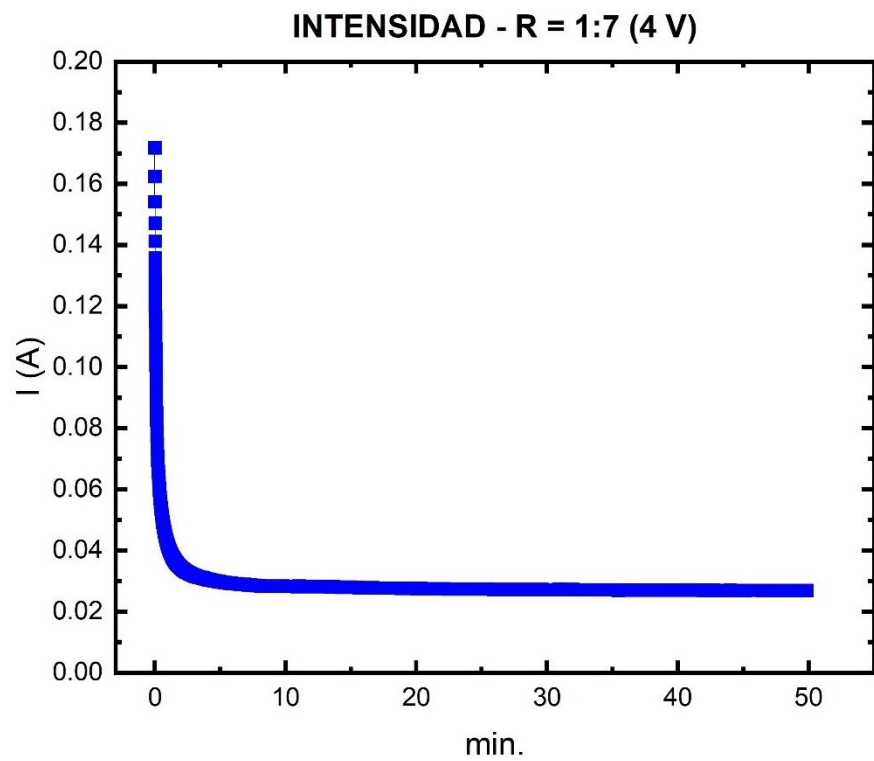


Figura 41. Curva de intensidad (azul) y energía acumulada (rojo) para R = 1:7 y 4V. Fuente: Autores.

- ANEXO 9

Tabla 15. pH - Ratio 1:7 (5 Volt)

Tiempo		pH	pH	Temperatura acidificado	Temperatura basificado
seg	min	ACIDO	BASICO	°C	°C
0	0	8.38	8.39	26.5	26.1
10	0.1666667	8.35	8.25	26.5	26.1
20	0.3333333	8.38	8.26	26.5	26.1
40	0.6666667	8.36	8.37	26.5	26.1
50	0.8333333	8.34	8.37	26.5	26.1
60	1	8.34	8.38	26.5	26.1
80	1.3333333	8.34	8.38	26.5	26.1
90	1.5	8.34	8.38	26.5	26.1
100	1.6666667	8.34	8.38	27.4	26.5
120	2	8.32	8.38	27.4	26.5
130	2.1666667	8.31	8.39	27.4	26.5
140	2.3333333	8.31	8.39	27.4	26.5
150	2.5	8.31	8.39	27.4	26.5
160	2.6666667	8.31	8.39	27.4	26.5
180	3	8.29	8.39	27.4	26.5
190	3.1666667	8.28	8.4	27.4	26.5
200	3.3333333	8.28	8.4	27.6	26.6
220	3.6666667	8.23	8.4	27.6	26.6
230	3.8333333	8.23	8.4	27.6	26.6
240	4	8.23	8.4	27.6	26.6
250	4.1666667	8.24	8.4	27.6	26.6
260	4.3333333	8.22	8.41	27.6	26.6
270	4.5	8.22	8.41	27.6	26.6
280	4.6666667	8.22	8.41	27.6	26.6
290	4.8333333	8.22	8.41	27.6	26.6
300	5	8.22	8.41	27.6	26.7

320	5.3333333	8.21	8.41	27.6	26.7
330	5.5	8.2	8.41	27.6	26.7
340	5.6666667	8.2	8.41	27.6	26.7
350	5.8333333	8.19	8.42	27.6	26.7
360	6	8.11	8.42	27.6	26.7
370	6.1666667	8.07	8.42	27.6	26.7
380	6.3333333	8.06	8.42	27.6	26.7
390	6.5	8.05	8.42	27.6	26.7
400	6.6666667	8.04	8.43	27.7	26.7
420	7	8.04	8.43	27.7	26.7
430	7.1666667	8.03	8.43	27.7	26.7
440	7.3333333	8.03	8.43	27.7	26.7
450	7.5	8.03	8.43	27.7	26.7
460	7.6666667	8.02	8.44	27.7	26.7
480	8	7.87	8.44	27.7	26.7
490	8.1666667	7.83	8.44	27.7	26.7
500	8.3333333	7.8	8.44	27.7	26.8
520	8.6666667	7.78	8.44	27.7	26.8
530	8.8333333	7.77	8.44	27.7	26.8
540	9	7.77	8.45	27.7	26.8
550	9.1666667	7.76	8.45	27.7	26.8
560	9.3333333	7.76	8.45	27.7	26.8
570	9.5	7.75	8.45	27.7	26.8
580	9.6666667	7.75	8.45	27.7	26.8
590	9.8333333	7.74	8.45	27.7	26.8
600	10	7.74	8.45	27.7	26.8
620	10.333333	7.74	8.46	27.7	26.8
630	10.5	7.73	8.46	27.7	26.8
640	10.666667	7.56	8.46	27.7	26.8
650	10.833333	7.5	8.46	27.7	26.8
660	11	7.46	8.46	27.7	26.8

670	11.166667	7.44	8.47	27.7	26.8
680	11.333333	7.43	8.47	27.7	26.8
690	11.5	7.42	8.46	27.7	26.8
700	11.666667	7.41	8.47	27.8	26.9
720	12	7.39	8.47	27.8	26.9
730	12.166667	7.39	8.47	27.8	26.9
740	12.333333	7.38	8.47	27.8	26.9
750	12.5	7.38	8.47	27.8	26.9
760	12.666667	7.37	8.47	27.8	26.9
770	12.833333	7.36	8.47	27.8	26.9
790	13.166667	7.36	8.47	27.8	26.9
800	13.333333	7.35	8.47	27.8	26.9
820	13.666667	7.35	8.47	27.8	26.9
840	14	7.34	8.47	27.8	26.9
850	14.166667	7.34	8.48	27.8	26.9
860	14.333333	7.33	8.48	27.8	26.9
870	14.5	7.33	8.48	27.8	26.9
880	14.666667	7.33	8.48	27.8	26.9
890	14.833333	7.32	8.48	27.8	26.9
900	15	7.23	8.5	27.9	27
920	15.333333	7.14	8.5	27.9	27
930	15.5	7.1	8.5	27.9	27
940	15.666667	7.06	8.5	27.9	27
960	16	7.04	8.5	27.9	27
970	16.166667	7.02	8.5	27.9	27
980	16.333333	7.01	8.51	27.9	27
1000	16.666667	6.99	8.51	27.9	27
1010	16.833333	6.99	8.51	27.9	27
1020	17	6.98	8.51	27.9	27
1030	17.166667	6.97	8.51	27.9	27
1040	17.333333	6.97	8.51	27.9	27

1050	17.5	6.96	8.51	27.9	27
1060	17.666667	6.95	8.51	27.9	27
1080	18	6.95	8.51	27.9	27
1090	18.166667	6.94	8.51	27.9	27
1100	18.333333	6.94	8.51	27.9	27
1110	18.5	6.93	8.51	27.9	27
1120	18.666667	6.93	8.51	27.9	27
1140	19	6.92	8.51	27.9	27
1150	19.166667	6.92	8.51	27.9	27
1160	19.333333	6.92	8.51	27.9	27
1170	19.5	6.89	8.53	27.9	27
1180	19.666667	6.83	8.53	27.9	27
1190	19.833333	6.79	8.53	27.9	27
1200	20	6.75	8.53	28	27.1
1220	20.333333	6.73	8.53	28	27.1
1230	20.5	6.73	8.53	28	27.1
1240	20.666667	6.71	8.53	28	27.1
1250	20.833333	6.7	8.54	28	27.1
1260	21	6.69	8.54	28	27.1
1270	21.166667	6.68	8.54	28	27.1
1280	21.333333	6.68	8.54	28	27.1
1290	21.5	6.67	8.54	28	27.1
1300	21.666667	6.67	8.54	28	27.1
1320	22	6.63	8.55	28	27.1
1330	22.166667	6.59	8.55	28	27.1
1340	22.333333	6.58	8.55	28	27.1
1350	22.5	6.57	8.55	28	27.1
1360	22.666667	6.56	8.55	28	27.1
1370	22.833333	6.56	8.55	28	27.1
1380	23	6.55	8.55	28	27.1
1390	23.166667	6.55	8.55	28	27.1

1420	23.666667	6.54	8.55	28.1	27.2
1430	23.833333	6.53	8.55	28.1	27.2
1440	24	6.53	8.55	28.1	27.2
1450	24.166667	6.52	8.55	28.1	27.2
1460	24.333333	6.51	8.55	28.1	27.2
1470	24.5	6.5	8.55	28.1	27.2
1480	24.666667	6.49	8.55	28.1	27.2
1500	25	6.49	8.56	28.1	27.2
1510	25.166667	6.48	8.56	28.1	27.2
1530	25.5	6.48	8.56	28.1	27.2
1540	25.666667	6.48	8.56	28.1	27.2
1550	25.833333	6.48	8.56	28.1	27.2
1560	26	6.47	8.56	28.1	27.2
1570	26.166667	6.44	8.57	28.1	27.2
1580	26.333333	6.4	8.57	28.1	27.2
1590	26.5	6.39	8.57	28.1	27.2
1600	26.666667	6.37	8.57	28.1	27.3
1620	27	6.36	8.57	28.1	27.3
1630	27.166667	6.35	8.58	28.1	27.3
1640	27.333333	6.35	8.58	28.1	27.3
1650	27.5	6.34	8.58	28.1	27.3
1660	27.666667	6.34	8.58	28.1	27.3
1680	28	6.34	8.58	28.1	27.3
1690	28.166667	6.33	8.58	28.1	27.3
1700	28.333333	6.33	8.58	28.1	27.3
1710	28.5	6.33	8.58	28.1	27.3
1720	28.666667	6.32	8.58	28.1	27.3
1730	28.833333	6.32	8.58	28.1	27.3
1750	29.166667	6.32	8.58	28.1	27.3
1760	29.333333	6.31	8.58	28.1	27.3
1770	29.5	6.31	8.58	28.1	27.3

1780	29.666667	6.31	8.58	28.1	27.3
1800	30	6.31	8.59	28.2	27.4
1810	30.166667	6.31	8.59	28.2	27.4
1820	30.333333	6.31	8.59	28.2	27.4
1830	30.5	6.3	8.59	28.2	27.4
1840	30.666667	6.27	8.6	28.2	27.4
1850	30.833333	6.23	8.6	28.2	27.4
1860	31	6.2	8.6	28.2	27.4
1870	31.166667	6.29	8.6	28.2	27.4
1880	31.333333	6.18	8.6	28.2	27.4
1890	31.5	6.17	8.6	28.2	27.4
1900	31.666667	6.17	8.6	28.2	27.4
1920	32	6.16	8.61	28.2	27.4
1930	32.166667	6.15	8.61	28.2	27.4
1940	32.333333	6.15	8.61	28.2	27.4
1950	32.5	6.15	8.61	28.2	27.4
1960	32.666667	6.14	8.61	28.2	27.4
1970	32.833333	6.14	8.61	28.2	27.4
1990	33.166667	6.1	8.62	28.2	27.4
2000	33.333333	6.06	8.62	28.3	27.5
2010	33.5	6.04	8.62	28.3	27.5
2020	33.666667	6.04	8.62	28.3	27.5
2040	34	6.03	8.62	28.3	27.5
2050	34.166667	6.03	8.62	28.3	27.5
2060	34.333333	6.02	8.62	28.3	27.5
2070	34.5	6.02	8.62	28.3	27.5
2080	34.666667	6.02	8.62	28.3	27.5
2100	35	6.02	8.62	28.3	27.5
2120	35.333333	6.01	8.62	28.3	27.5
2130	35.5	6.01	8.62	28.3	27.5
2140	35.666667	6.01	8.63	28.3	27.5

2150	35.833333	5.95	8.64	28.3	27.5
2160	36	5.92	8.63	28.3	27.5
2170	36.166667	5.9	8.63	28.3	27.5
2180	36.333333	5.9	8.63	28.3	27.5
2190	36.5	5.89	8.64	28.3	27.5
2200	36.666667	5.89	8.64	28.4	27.6
2230	37.166667	5.89	8.64	28.4	27.6
2240	37.333333	5.88	8.64	28.4	27.6
2250	37.5	5.88	8.64	28.4	27.6
2260	37.666667	5.88	8.64	28.4	27.6
2280	38	5.88	8.64	28.4	27.6
2290	38.166667	5.88	8.64	28.4	27.6
2300	38.333333	5.88	8.64	28.4	27.6
2310	38.5	5.87	8.64	28.4	27.6
2320	38.666667	5.87	8.64	28.4	27.6
2340	39	5.87	8.64	28.4	27.6
2350	39.166667	5.87	8.64	28.4	27.6
2360	39.333333	5.87	8.65	28.4	27.6
2370	39.5	5.87	8.65	28.4	27.6
2380	39.666667	5.87	8.65	28.4	27.6
2400	40	5.86	8.65	28.4	27.6
2410	40.166667	5.86	8.65	28.4	27.6
2430	40.5	5.85	8.65	28.4	27.6
2440	40.666667	5.7	8.66	28.4	27.6
2450	40.833333	5.66	8.66	28.4	27.6
2460	41	5.65	8.66	28.4	27.6
2470	41.166667	5.64	8.66	28.4	27.6
2480	41.333333	5.63	8.66	28.4	27.6
2490	41.5	5.63	8.66	28.4	27.6
2500	41.666667	5.63	8.66	28.4	27.7
2520	42	5.63	8.67	28.4	27.7

2530	42.166667	5.62	8.67	28.4	27.7
2540	42.333333	5.62	8.66	28.4	27.7
2550	42.5	5.62	8.67	28.4	27.7
2560	42.666667	5.62	8.66	28.4	27.7
2570	42.833333	5.62	8.66	28.4	27.7
2580	43	5.62	8.66	28.4	27.7
2590	43.166667	5.61	8.67	28.4	27.7
2600	43.333333	5.61	8.67	28.4	27.7
2620	43.666667	5.6	8.67	28.4	27.7
2630	43.833333	5.6	8.67	28.4	27.7
2640	44	5.59	8.67	28.4	27.7
2650	44.166667	5.59	8.67	28.4	27.7
2670	44.5	5.58	8.67	28.4	27.7
2680	44.666667	5.57	8.67	28.4	27.7
2690	44.833333	5.56	8.67	28.4	27.7
2700	45	5.54	8.68	28.5	27.7
2720	45.333333	5.52	8.68	28.5	27.7
2730	45.5	5.51	8.68	28.5	27.7
2740	45.666667	5.5	8.68	28.5	27.7
2760	46	5.23	8.69	28.5	27.7
2770	46.166667	5.19	8.69	28.5	27.7
2780	46.333333	5.16	8.69	28.5	27.7
2790	46.5	5.16	8.69	28.5	27.7
2810	46.833333	5.15	8.69	28.5	27.8
2820	47	5.14	8.69	28.5	27.8
2840	47.333333	5.14	8.69	28.5	27.8
2850	47.5	5.14	8.69	28.5	27.8
2860	47.666667	4.9	8.69	28.5	27.8
2870	47.833333	4.91	8.69	28.5	27.8
2880	48	4.93	8.7	28.5	27.8
2900	48.333333	4.95	8.7	28.5	27.8

2910	48.5	4.96	8.7	28.5	27.8
2920	48.666667	4.95	8.7	28.5	27.8
2930	48.833333	4.94	8.7	28.5	27.8
2940	49	4.92	8.7	28.5	27.8
2950	49.166667	4.91	8.7	28.5	27.8
2960	49.333333	4.91	8.7	28.5	27.8
2970	49.5	4.91	8.7	28.5	27.8
2980	49.666667	4.92	8.7	28.5	27.8
2990	49.833333	4.92	8.7	28.5	27.8
3000	50	4.92	8.7	28.5	27.8
3010	50.166667	4.92	8.7	28.5	27.8
3020	50.333333	4.91	8.7	28.5	27.8
3030	50.5	4.89	8.7	28.5	27.8
3040	50.666667	4.88	8.7	28.5	27.8
3050	50.833333	4.86	8.7	28.5	27.8
3060	51	4.85	8.7	28.5	27.8
3070	51.166667	4.83	8.7	28.5	27.8
3080	51.333333	4.82	8.7	28.5	27.8
3090	51.5	4.81	8.71	28.5	27.8
3100	51.666667	4.8	8.71	28.5	27.8
3110	51.833333	4.78	8.71	28.5	27.8

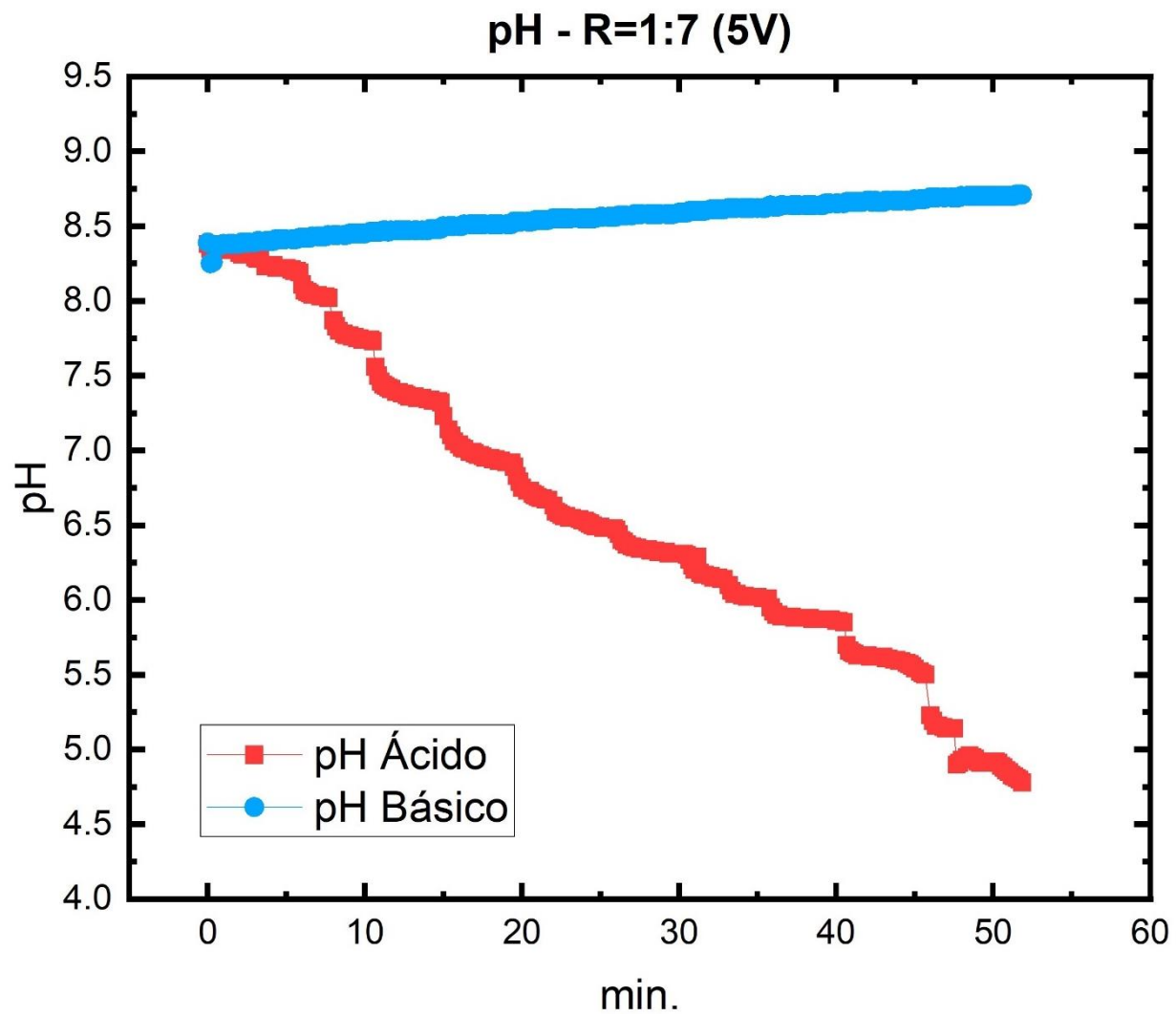


Figura 42. pH para R = 1:7 y 5V. Fuente: Autores.

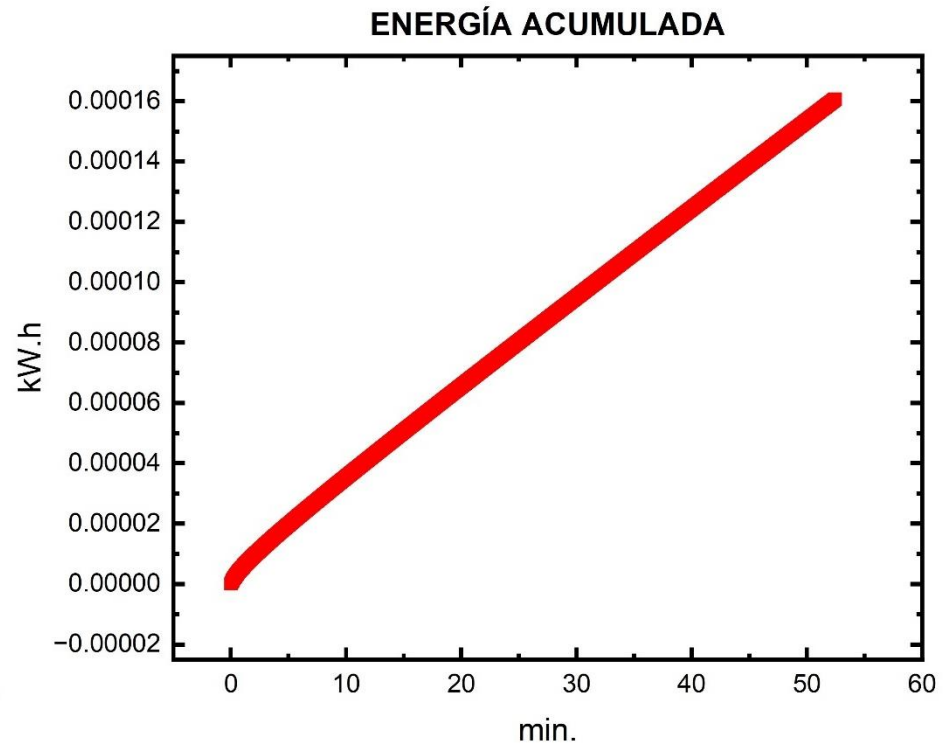
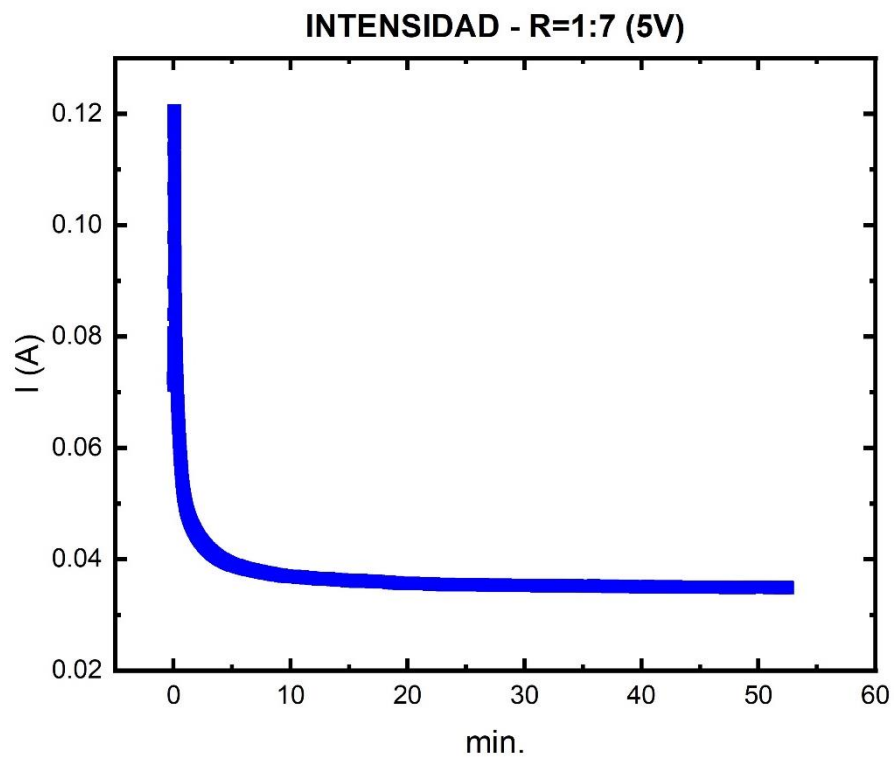


Figura 43. Curva de intensidad (azul) y energía acumulada (rojo) para $R = 1:7$ y 5V. Fuente: Autores.

- ANEXO 10

Tabla 16. pH - Ratio 1:7 (4.5 Volt)

Tiempo		pH	pH	Temperatura acidificado	Temperatura basificado
seg	min	ACIDO	BASICO	°C	°C
0	0.00	8.31	8.25	27.1	26.9
20	0.33	8.31	8.25	27.1	26.9
40	0.67	8.31	8.25	27.1	26.9
60	1.00	8.31	8.25	27.1	26.9
80	1.33	8.3	8.25	27.1	26.9
100	1.67	8.29	8.25	27.1	26.9
120	2.00	8.29	8.25	27.1	26.9
140	2.33	8.29	8.25	27.1	26.9
160	2.67	8.29	8.25	27.1	26.9
180	3.00	8.28	8.25	27.4	26.9
200	3.33	8.28	8.26	27.4	26.9
220	3.67	8.28	8.26	27.4	26.9
240	4.00	8.28	8.26	27.4	26.9
260	4.33	8.28	8.26	27.4	26.9
280	4.67	8.28	8.26	27.4	26.9
300	5.00	8.28	8.26	27.4	26.9
320	5.33	8.28	8.27	27.4	26.9
340	5.67	8.28	8.26	27.4	26.9
360	6.00	8.28	8.26	27.4	27
380	6.33	8.27	8.26	27.4	27
400	6.67	8.27	8.26	27.4	27
420	7.00	8.27	8.27	27.4	27
440	7.33	8.26	8.27	27.4	27
460	7.67	8.26	8.27	27.4	27
480	8.00	8.26	8.27	27.4	27
500	8.33	8.26	8.27	27.4	27

520	8.67	8.26	8.28	27.4	27
540	9.00	8.26	8.28	27.4	27
560	9.33	8.26	8.28	27.4	27
580	9.67	8.25	8.28	27.4	27
600	10.00	8.24	8.28	27.4	27
620	10.33	8.24	8.28	27.4	27
640	10.67	8.24	8.28	27.4	27
660	11.00	8.24	8.28	27.4	27
680	11.33	8.24	8.28	27.4	27
700	11.67	8.23	8.29	27.4	27
720	12.00	8.22	8.29	27.4	27.1
740	12.33	8.22	8.29	27.4	27.1
760	12.67	8.22	8.29	27.4	27.1
780	13.00	8.22	8.29	27.4	27.1
800	13.33	8.21	8.29	27.4	27.1
820	13.67	8.21	8.3	27.4	27.1
840	14.00	8.2	8.3	27.4	27.1
860	14.33	8.2	8.3	27.4	27.1
880	14.67	8.2	8.3	27.4	27.1
900	15.00	8.2	8.3	27.5	27.1
920	15.33	8.2	8.3	27.5	27.1
940	15.67	8.2	8.3	27.5	27.1
960	16.00	8.19	8.3	27.5	27.1
980	16.33	8.19	8.3	27.5	27.1
1000	16.67	8.19	8.31	27.5	27.1
1020	17.00	8.19	8.31	27.5	27.1
1040	17.33	8.19	8.31	27.5	27.1
1060	17.67	8.18	8.31	27.5	27.1
1080	18.00	8.17	8.31	27.5	27.1
1100	18.33	8.17	8.31	27.5	27.1
1120	18.67	8.17	8.32	27.5	27.1

1140	19.00	8.16	8.32	27.5	27.1
1160	19.33	8.15	8.32	27.5	27.1
1180	19.67	8.15	8.32	27.5	27.1
1200	20.00	8.14	8.32	27.5	27.1
1220	20.33	8.14	8.32	27.5	27.1
1240	20.67	8.13	8.32	27.5	27.1
1260	21.00	8.12	8.32	27.6	27.1
1280	21.33	8.12	8.32	27.6	27.1
1300	21.67	8.11	8.32	27.6	27.1
1320	22.00	8.1	8.32	27.6	27.1
1340	22.33	8.09	8.33	27.6	27.1
1360	22.67	8.08	8.33	27.6	27.1
1380	23.00	8.06	8.33	27.6	27.1
1400	23.33	8.04	8.33	27.6	27.1
1420	23.67	8.02	8.33	27.6	27.1
1440	24.00	7.99	8.34	27.5	27.1
1460	24.33	7.99	8.34	27.5	27.1
1480	24.67	7.96	8.34	27.5	27.1
1500	25.00	7.95	8.34	27.5	27.1
1520	25.33	7.93	8.34	27.5	27.1
1540	25.67	7.91	8.34	27.5	27.1
1560	26.00	7.9	8.34	27.5	27.1
1580	26.33	7.88	8.34	27.5	27.1
1600	26.67	7.87	8.34	27.5	27.1
1620	27.00	7.85	8.35	27.5	27.1
1640	27.33	7.83	8.35	27.5	27.1
1660	27.67	7.82	8.35	27.5	27.1
1680	28.00	7.8	8.35	27.5	27.1
1700	28.33	7.79	8.35	27.5	27.1
1720	28.67	7.78	8.35	27.5	27.1
1740	29.00	7.76	8.36	27.5	27.1

1760	29.33	7.74	8.36	27.5	27.1
1780	29.67	7.72	8.36	27.5	27.1
1800	30.00	7.71	8.36	27.5	27.1
1820	30.33	7.69	8.36	27.5	27.1
1840	30.67	7.68	8.36	27.5	27.1
1860	31.00	7.66	8.36	27.5	27.1
1880	31.33	7.64	8.36	27.5	27.1
1900	31.67	7.61	8.36	27.5	27.1
1920	32.00	7.59	8.36	27.5	27.1
1940	32.33	7.57	8.36	27.5	27.1
1960	32.67	7.56	8.37	27.5	27.1
1980	33.00	7.54	8.37	27.4	27.1
2000	33.33	7.54	8.37	27.4	27.1
2020	33.67	7.52	8.37	27.4	27.1
2040	34.00	7.49	8.37	27.4	27.1
2060	34.33	7.48	8.37	27.4	27.1
2080	34.67	7.46	8.37	27.4	27.1
2100	35.00	7.45	8.37	27.4	27.1
2120	35.33	7.43	8.37	27.4	27.1
2140	35.67	7.42	8.38	27.4	27.1
2160	36.00	7.4	8.38	27.4	27.1
2180	36.33	7.39	8.38	27.4	27.1
2200	36.67	7.37	8.38	27.4	27.1
2220	37.00	7.36	8.38	27.4	27.1
2240	37.33	7.34	8.38	27.4	27.1
2260	37.67	7.33	8.38	27.4	27.1
2280	38.00	7.31	8.39	27.4	27.1
2300	38.33	7.3	8.39	27.4	27.1
2320	38.67	7.29	8.39	27.4	27.1
2340	39.00	7.28	8.39	27.3	27
2360	39.33	7.26	8.39	27.3	27

2380	39.67	7.24	8.39	27.3	27
2400	40.00	7.23	8.39	27.3	27
2420	40.33	7.22	8.39	27.3	27
2440	40.67	7.21	8.39	27.3	27
2460	41.00	7.2	8.39	27.3	27
2480	41.33	7.19	8.39	27.3	27
2500	41.67	7.18	8.39	27.3	27
2520	42.00	7.16	8.4	27.3	27
2540	42.33	7.15	8.4	27.3	27
2560	42.67	7.14	8.4	27.3	27
2580	43.00	7.13	8.4	27.3	27
2600	43.33	7.12	8.4	27.3	27
2620	43.67	7.11	8.4	27.3	27
2640	44.00	7.1	8.4	27.3	27
2660	44.33	7.09	8.4	27.3	27
2680	44.67	7.08	8.4	27.3	27
2700	45.00	7.07	8.4	27.2	27
2720	45.33	7.06	8.4	27.2	27
2740	45.67	7.01	8.41	27.2	27
2760	46.00	7.03	8.41	27.2	27
2780	46.33	7.03	8.41	27.2	27
2800	46.67	7.02	8.41	27.2	27
2820	47.00	7.01	8.42	27.2	27
2840	47.33	7	8.42	27.2	27
2860	47.67	7	8.42	27.2	27
2880	48.00	6.99	8.42	27.2	26.9
2900	48.33	6.98	8.42	27.2	26.9
2920	48.67	6.97	8.42	27.2	26.9
2940	49.00	6.96	8.42	27.2	26.9
2960	49.33	6.95	8.42	27.2	26.9
2980	49.67	6.95	8.42	27.2	26.9

3000	50.00	6.94	8.42	27.2	26.9
3020	50.33	6.93	8.43	27.2	26.9
3040	50.67	6.92	8.43	27.2	26.9
3060	51.00	6.92	8.43	27.2	26.9
3080	51.33	6.91	8.43	27.2	26.9
3100	51.67	6.91	8.43	27.2	26.9
3120	52.00	6.9	8.43	27.2	26.9
3140	52.33	6.89	8.43	27.2	26.9
3160	52.67	6.88	8.43	27.2	26.9
3180	53.00	6.88	8.43	27.2	26.9
3200	53.33	6.87	8.43	27.2	26.9
3220	53.67	6.87	8.43	27.2	26.9
3240	54.00	6.86	8.43	27.1	26.9
3260	54.33	6.85	8.43	27.1	26.9
3280	54.67	6.84	8.43	27.1	26.9
3300	55.00	6.83	8.43	27.1	26.9
3320	55.33	6.82	8.44	27.1	26.9
3340	55.67	6.82	8.44	27.1	26.9
3360	56.00	6.81	8.44	27.1	26.9
3380	56.33	6.8	8.44	27.1	26.9
3400	56.67	6.8	8.44	27.1	26.9
3420	57.00	6.79	8.44	27.2	26.8
3440	57.33	6.79	8.44	27.2	26.8
3460	57.67	6.78	8.44	27.2	26.8
3480	58.00	6.78	8.44	27.2	26.8
3500	58.33	6.77	8.44	27.2	26.8
3520	58.67	6.77	8.44	27.2	26.8
3540	59.00	6.76	8.44	27.2	26.8
3560	59.33	6.75	8.44	27.2	26.8
3580	59.67	6.74	8.45	27.2	26.8
3600	60.00	6.73	8.45	27.2	26.9

3620	60.33	6.73	8.45	27.2	26.9
3640	60.67	6.72	8.45	27.2	26.9
3660	61.00	6.72	8.45	27.2	26.9
3680	61.33	6.72	8.45	27.2	26.9
3700	61.67	6.74	8.45	27.2	26.9
3720	62.00	6.73	8.45	27.2	26.9
3740	62.33	6.72	8.45	27.2	26.9
3760	62.67	6.71	8.45	27.2	26.9
3780	63.00	6.71	8.45	27.3	26.9
3800	63.33	6.7	8.45	27.3	26.9
3820	63.67	6.69	8.46	27.3	26.9
3840	64.00	6.69	8.46	27.3	26.9
3860	64.33	6.68	8.46	27.3	26.9
3880	64.67	6.66	8.46	27.3	26.9
3900	65.00	6.66	8.46	27.3	26.9
3920	65.33	6.66	8.46	27.3	26.9
3940	65.67	6.65	8.46	27.3	26.9
3960	66.00	6.64	8.46	27.3	26.9
3980	66.33	6.64	8.46	27.3	26.9
4000	66.67	6.63	8.46	27.3	26.9
4020	67.00	6.63	8.46	27.3	26.9
4040	67.33	6.62	8.46	27.3	26.9
4060	67.67	6.61	8.47	27.3	26.9
4080	68.00	6.61	8.47	27.3	26.9
4100	68.33	6.6	8.47	27.3	26.9
4120	68.67	6.6	8.47	27.3	26.9
4140	69.00	6.59	8.47	27.4	26.9
4160	69.33	6.59	8.47	27.4	26.9
4180	69.67	6.58	8.47	27.4	26.9
4200	70.00	6.58	8.47	27.4	26.9
4220	70.33	6.57	8.47	27.4	26.9

4240	70.67	6.57	8.47	27.4	26.9
4260	71.00	6.56	8.47	27.4	26.9
4280	71.33	6.56	8.47	27.4	26.9
4300	71.67	6.55	8.47	27.4	26.9
4320	72.00	6.55	8.47	27.4	27
4340	72.33	6.54	8.48	27.4	27
4360	72.67	6.53	8.48	27.4	27
4380	73.00	6.53	8.48	27.4	27
4400	73.33	6.52	8.48	27.4	27
4420	73.67	6.52	8.48	27.4	27
4440	74.00	6.51	8.48	27.4	27
4460	74.33	6.51	8.48	27.4	27
4480	74.67	6.5	8.48	27.4	27
4500	75.00	6.49	8.48	27.5	27
4520	75.33	6.49	8.48	27.5	27
4540	75.67	6.49	8.48	27.5	27
4560	76.00	6.48	8.48	27.5	27
4580	76.33	6.48	8.48	27.5	27
4600	76.67	6.47	8.48	27.5	27
4620	77.00	6.47	8.48	27.5	27
4640	77.33	6.47	8.48	27.5	27
4660	77.67	6.46	8.48	27.6	27
4680	78.00	6.46	8.48	27.6	27
4700	78.33	6.45	8.48	27.6	27
4720	78.67	6.45	8.48	27.6	27
4740	79.00	6.44	8.49	27.6	27
4760	79.33	6.44	8.49	27.6	27
4780	79.67	6.43	8.49	27.6	27
4800	80.00	6.43	8.49	27.6	27
4820	80.33	6.42	8.49	27.6	27
4840	80.67	6.42	8.49	27.6	27

4860	81.00	6.41	8.49	27.6	27
4880	81.33	6.41	8.49	27.6	27
4900	81.67	6.41	8.49	27.6	27
4920	82.00	6.4	8.49	27.6	27
4940	82.33	6.4	8.49	27.6	27
4960	82.67	6.39	8.49	27.6	27
4980	83.00	6.39	8.49	27.6	27.1
5000	83.33	6.38	8.49	27.6	27.1
5020	83.67	6.38	8.5	27.6	27.1
5040	84.00	6.37	8.5	27.6	27.1
5060	84.33	6.37	8.5	27.6	27.1
5080	84.67	6.37	8.5	27.6	27.1
5100	85.00	6.36	8.5	27.6	27.1
5120	85.33	6.36	8.5	27.6	27.1
5140	85.67	6.36	8.5	27.6	27.1
5160	86.00	6.35	8.5	27.6	27.1
5180	86.33	6.35	8.5	27.6	27.1
5200	86.67	6.34	8.5	27.6	27.1
5220	87.00	6.33	8.5	27.6	27.1
5240	87.33	6.33	8.5	27.6	27.1
5260	87.67	6.33	8.5	27.6	27.1
5280	88.00	6.33	8.5	27.7	27.2
5300	88.33	6.32	8.5	27.7	27.2
5320	88.67	6.32	8.5	27.7	27.2
5340	89.00	6.31	8.5	27.7	27.2
5360	89.33	6.31	8.5	27.7	27.2
5380	89.67	6.31	8.5	27.7	27.2
5400	90.00	6.3	8.51	27.7	27.2
5420	90.33	6.3	8.51	27.7	27.2
5440	90.67	6.29	8.51	27.7	27.2
5460	91.00	6.29	8.51	27.7	27.2

5480	91.33	6.29	8.51	27.7	27.2
5500	91.67	6.28	8.51	27.7	27.2
5520	92.00	6.28	8.51	27.7	27.2
5540	92.33	6.27	8.51	27.7	27.2
5560	92.67	6.27	8.51	27.7	27.2
5580	93.00	6.26	8.51	27.7	27.2
5600	93.33	6.25	8.52	27.7	27.2
5620	93.67	6.25	8.52	27.7	27.2
5640	94.00	6.25	8.52	27.7	27.2
5660	94.33	6.24	8.52	27.7	27.2
5680	94.67	6.24	8.52	27.7	27.2
5700	95.00	6.24	8.52	27.7	27.2
5720	95.33	6.22	8.52	27.7	27.2
5740	95.67	6.22	8.52	27.7	27.2
5760	96.00	6.22	8.52	27.7	27.2
5780	96.33	6.22	8.52	27.7	27.2
5800	96.67	6.21	8.52	27.7	27.2
5820	97.00	6.21	8.52	27.7	27.2
5840	97.33	6.2	8.52	27.7	27.2
5860	97.67	6.19	8.52	27.7	27.2
5880	98.00	6.19	8.52	27.7	27.2
5900	98.33	6.19	8.52	27.9	27.3
5920	98.67	6.18	8.52	27.9	27.3
5940	99.00	6.18	8.52	27.9	27.3
5960	99.33	6.17	8.52	27.9	27.3
5980	99.67	6.17	8.52	27.9	27.3
6000	100.00	6.16	8.52	27.9	27.3
6020	100.33	6.16	8.52	27.9	27.3
6040	100.67	6.16	8.53	27.9	27.3
6060	101.00	6.15	8.53	27.9	27.3
6080	101.33	6.15	8.53	27.9	27.3

6100	101.67	6.14	8.53	27.9	27.3
6120	102.00	6.13	8.53	27.9	27.3
6140	102.33	6.13	8.53	27.9	27.3
6160	102.67	6.12	8.53	27.9	27.3
6180	103.00	6.12	8.53	27.9	27.3
6200	103.33	6.11	8.53	27.9	27.3
6220	103.67	6.11	8.53	27.9	27.3
6240	104.00	6.1	8.53	27.9	27.4
6260	104.33	6.1	8.53	27.9	27.4
6280	104.67	6.09	8.53	27.9	27.4
6300	105.00	6.09	8.53	27.9	27.4
6320	105.33	6.08	8.53	27.9	27.4
6340	105.67	6.08	8.53	27.9	27.4
6360	106.00	6.08	8.54	27.9	27.4
6380	106.33	6.07	8.54	27.9	27.4
6400	106.67	6.06	8.54	27.9	27.4
6420	107.00	6.06	8.54	27.9	27.4
6440	107.33	6.06	8.54	27.9	27.4
6460	107.67	6.06	8.54	27.9	27.4
6480	108.00	6.05	8.54	27.9	27.4
6500	108.33	6.05	8.54	27.9	27.4
6520	108.67	6.03	8.54	27.9	27.4
6540	109.00	6.03	8.54	27.9	27.4
6560	109.33	6.02	8.54	27.9	27.4
6580	109.67	6.02	8.54	27.9	27.4
6600	110.00	6.02	8.54	27.9	27.4
6620	110.33	6.01	8.54	27.9	27.4
6640	110.67	6	8.54	27.9	27.4
6660	111.00	6	8.55	27.9	27.4
6680	111.33	5.99	8.55	27.9	27.4
6700	111.67	5.99	8.55	27.9	27.4

6720	112.00	5.98	8.55	27.9	27.4
6740	112.33	5.98	8.55	27.9	27.4
6760	112.67	5.97	8.55	27.9	27.4
6780	113.00	5.97	8.55	27.9	27.4
6800	113.33	5.96	8.55	27.9	27.4
6820	113.67	5.96	8.55	27.9	27.4
6840	114.00	5.95	8.55	27.9	27.4
6860	114.33	5.95	8.55	27.9	27.4
6880	114.67	5.95	8.55	27.9	27.4
6900	115.00	5.93	8.55	27.9	27.4
6920	115.33	5.91	8.55	27.9	27.4
6940	115.67	5.91	8.55	27.9	27.4
6960	116.00	5.9	8.55	27.9	27.4
6980	116.33	5.9	8.56	27.9	27.4
7000	116.67	5.9	8.56	27.9	27.4
7020	117.00	5.89	8.56	27.9	27.4
7040	117.33	5.89	8.56	27.9	27.4
7060	117.67	5.88	8.56	27.9	27.4
7080	118.00	5.86	8.56	27.9	27.4
7100	118.33	5.86	8.56	27.9	27.4
7120	118.67	5.86	8.56	27.9	27.4
7140	119.00	5.86	8.56	27.9	27.4
7160	119.33	5.86	8.56	27.9	27.4
7180	119.67	5.86	8.56	27.9	27.4
7200	120.00	5.85	8.56	27.9	27.4
7220	120.33	5.85	8.56	27.9	27.4
7240	120.67	5.85	8.56	27.9	27.4
7260	121.00	5.84	8.56	27.9	27.4
7280	121.33	5.83	8.56	27.9	27.4
7300	121.67	5.82	8.57	27.9	27.4
7320	122.00	5.82	8.57	27.9	27.4

7340	122.33	5.81	8.57	27.9	27.4
7360	122.67	5.81	8.57	27.9	27.4
7380	123.00	5.8	8.57	27.9	27.4
7400	123.33	5.8	8.57	27.9	27.4
7420	123.67	5.79	8.57	27.9	27.4
7440	124.00	5.79	8.57	27.9	27.4
7460	124.33	5.78	8.57	27.9	27.4
7480	124.67	5.76	8.57	27.9	27.4
7500	125.00	5.76	8.57	27.9	27.4
7520	125.33	5.75	8.57	27.9	27.4
7540	125.67	5.75	8.57	27.9	27.4
7560	126.00	5.74	8.57	27.9	27.4
7580	126.33	5.73	8.58	27.9	27.4
7600	126.67	5.72	8.58	27.9	27.4
7620	127.00	5.7	8.58	27.9	27.4
7640	127.33	5.7	8.58	27.9	27.4
7660	127.67	5.69	8.58	27.9	27.4
7680	128.00	5.69	8.58	27.9	27.4
7700	128.33	5.67	8.58	27.9	27.4
7720	128.67	5.67	8.58	27.9	27.4
7740	129.00	5.65	8.58	27.9	27.4
7760	129.33	5.65	8.58	27.9	27.4
7780	129.67	5.63	8.58	27.9	27.4
7800	130.00	5.6	8.58	27.9	27.4
7820	130.33	5.6	8.58	27.9	27.4
7840	130.67	5.6	8.58	27.9	27.4
7860	131.00	5.59	8.59	27.9	27.4
7880	131.33	5.58	8.59	27.9	27.4
7900	131.67	5.57	8.59	27.9	27.4
7920	132.00	5.57	8.59	27.9	27.4
7940	132.33	5.56	8.59	27.9	27.4

7960	132.67	5.54	8.59	27.9	27.4
7980	133.00	5.54	8.59	27.9	27.4
8000	133.33	5.53	8.59	27.9	27.4
8020	133.67	5.52	8.59	27.9	27.4
8040	134.00	5.51	8.59	27.9	27.4
8060	134.33	5.51	8.59	27.9	27.4
8080	134.67	5.5	8.59	27.9	27.4
8100	135.00	5.5	8.59	27.9	27.4
8120	135.33	5.5	8.59	28.4	27.8
8140	135.67	5.49	8.59	28.4	27.8
8160	136.00	5.48	8.59	28.4	27.8
8180	136.33	5.45	8.59	28.4	27.8
8200	136.67	5.43	8.59	28.4	27.8
8220	137.00	5.43	8.6	28.4	27.9
8240	137.33	5.4	8.6	28.4	27.9
8260	137.67	5.38	8.6	28.4	27.9
8280	138.00	5.37	8.6	28.4	27.9
8300	138.33	5.35	8.6	28.4	27.9
8320	138.67	5.34	8.6	28.4	27.9
8340	139.00	5.33	8.6	28.4	27.9
8360	139.33	5.32	8.6	28.4	27.9
8380	139.67	5.31	8.6	28.4	27.9
8400	140.00	5.3	8.6	28.4	27.9
8420	140.33	5.29	8.6	28.4	27.9
8440	140.67	5.27	8.6	28.4	27.9
8460	141.00	5.25	8.6	28.4	27.9
8480	141.33	5.22	8.6	28.4	27.9
8500	141.67	5.2	8.6	28.4	27.9
8520	142.00	5.2	8.6	28.4	27.9
8540	142.33	5.18	8.6	28.4	27.9
8560	142.67	5.15	8.6	28.4	27.9

8580	143.00	5.15	8.6	28.4	27.9
8600	143.33	5.14	8.6	28.4	27.9
8620	143.67	5.14	8.6	28.4	27.9
8640	144.00	5.1	8.6	28.4	27.9
8660	144.33	5.08	8.6	28.4	27.9
8680	144.67	5.05	8.6	28.4	27.9
8700	145.00	5.05	8.61	28.4	27.9
8720	145.33	5.04	8.61	28.5	28

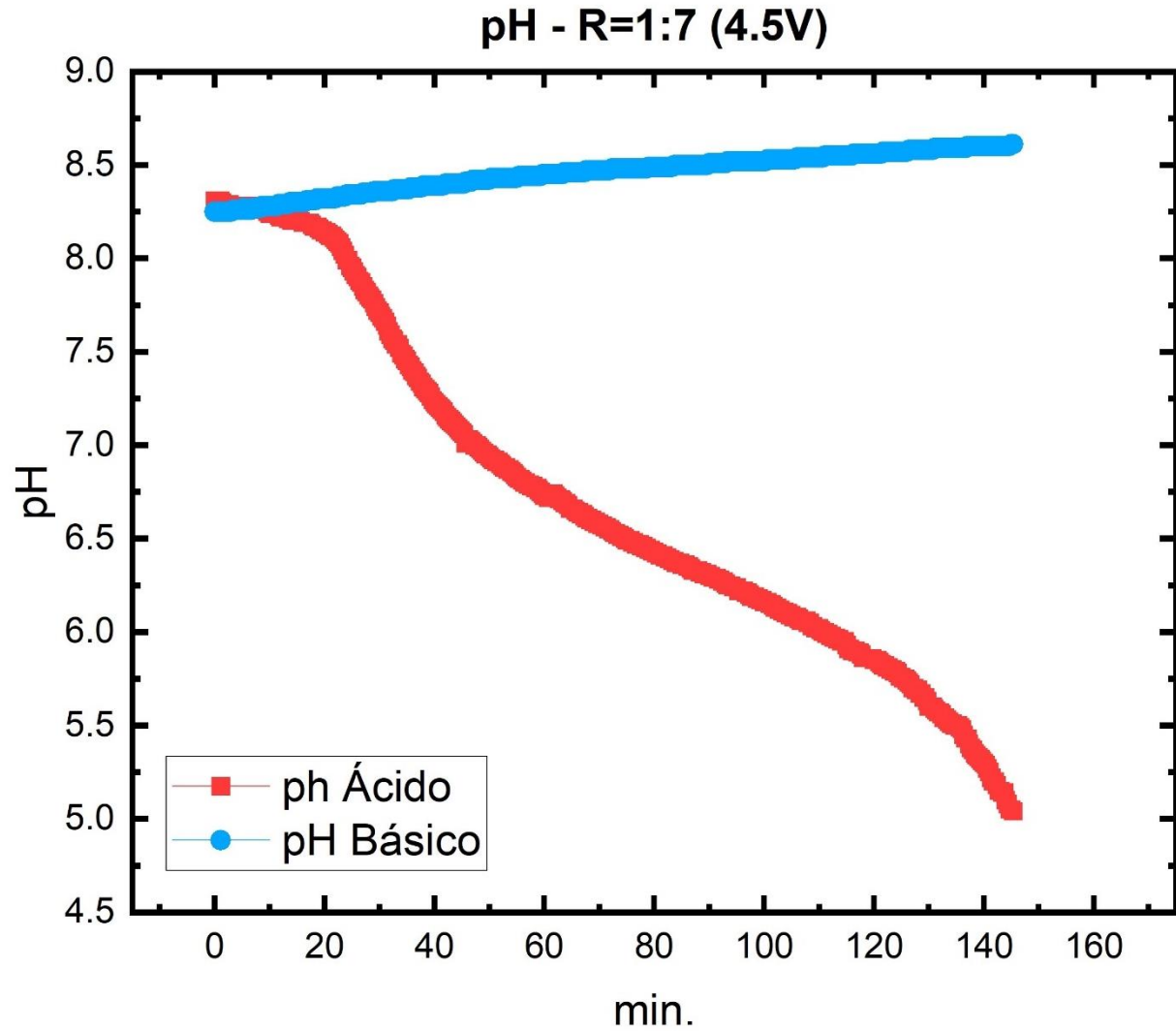


Figura 44. pH para R = 1:7 y 4.5V. Fuente: Autores.

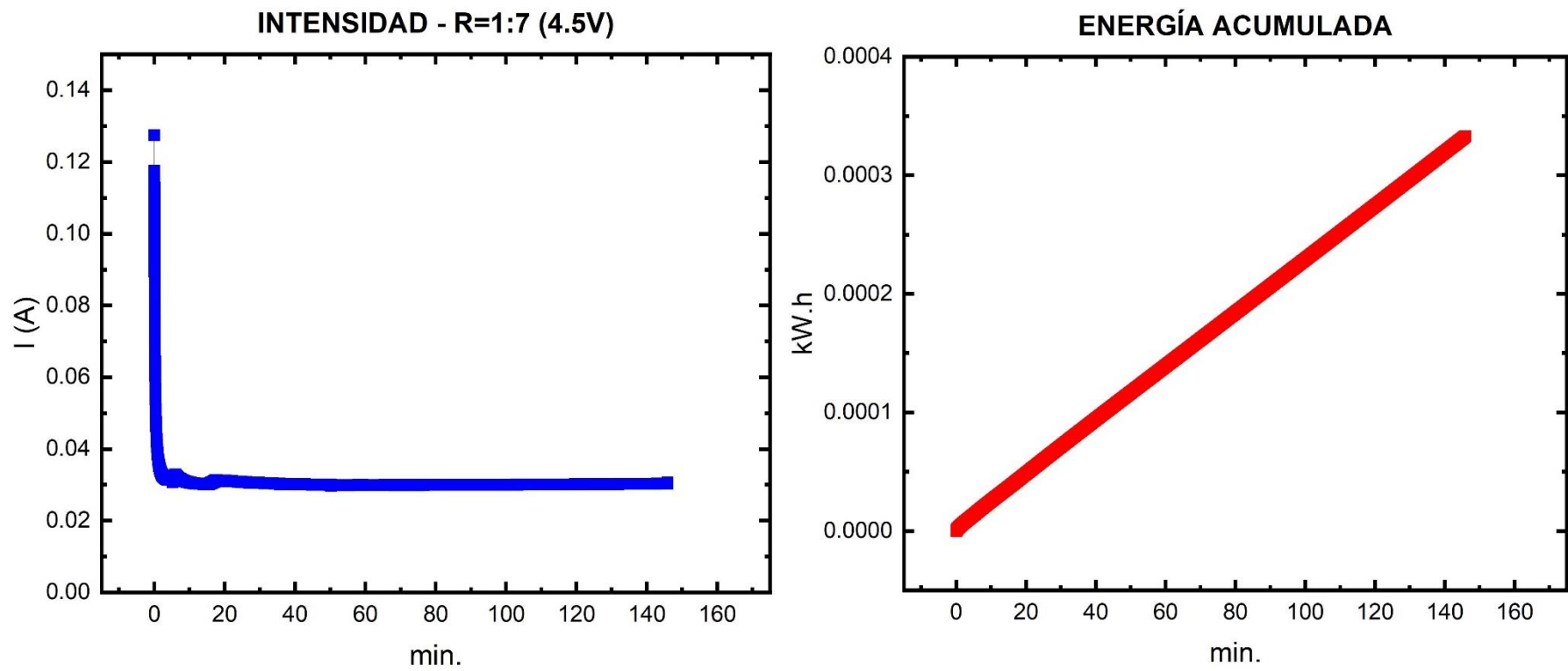


Figura 45. Curva de intensidad (azul) y energía acumulada (rojo) para R = 1:7 y 4.5V. Fuente: Autores.

- ANEXO 11

Tabla 17. pH - Ratio 1:7 (5.5 Volt)

Tiempo		pH	pH	Temperatura acidificado	Temperatura basificado
seg	min	ACIDO	BASICO	°C	°C
0	0.00	8.29	8.22	27.2	27.1
20	0.33	8.36	8.24	27.2	27.1
40	0.67	8.37	8.24	27.2	27.1
60	1.00	8.36	8.23	27.2	27.1
80	1.33	8.36	8.23	27.2	27.1
100	1.67	8.35	8.24	27.2	27.1
120	2.00	8.34	8.25	27.2	27.1
140	2.33	8.34	8.25	27.2	27.1
160	2.67	8.34	8.25	27.2	27.1
180	3.00	8.33	8.29	27.2	27.1
200	3.33	8.33	8.3	27.2	27.1
220	3.67	8.33	8.31	27.2	27.1
240	4.00	8.33	8.32	27.8	27.3
260	4.33	8.33	8.33	27.8	27.3
280	4.67	8.33	8.35	27.8	27.3
300	5.00	8.32	8.35	27.8	27.3
320	5.33	8.31	8.37	27.8	27.3
340	5.67	8.3	8.38	27.8	27.3
360	6.00	8.29	8.38	27.8	27.3
380	6.33	8.27	8.39	27.8	27.3
400	6.67	8.2	8.4	27.8	27.3
420	7.00	8.12	8.4	27.8	27.3
440	7.33	7.98	8.41	27.8	27.3
450	7.50	7.87	8.42	27.8	27.3
460	7.67	7.77	8.43	27.8	27.3
470	7.83	7.63	8.43	27.8	27.3

480	8.00	7.54	8.43	27.8	27.3
490	8.17	7.47	8.43	27.8	27.3
500	8.33	7.42	8.43	27.9	27.4
510	8.50	7.34	8.44	27.9	27.4
520	8.67	7.04	8.44	27.9	27.4
540	9.00	6.82	8.45	27.9	27.4
550	9.17	6.71	8.46	27.9	27.4
560	9.33	6.65	8.46	27.9	27.4
570	9.50	6.59	8.46	27.9	27.4
580	9.67	6.56	8.46	27.9	27.4
590	9.83	6.51	8.49	27.9	27.4
600	10.00	6.44	8.49	27.9	27.4
610	10.17	6.37	8.5	27.9	27.4
620	10.33	6.31	8.5	27.9	27.4
640	10.67	6.3	8.5	27.9	27.4
650	10.83	6.28	8.5	27.9	27.4
660	11.00	6.25	8.5	27.9	27.4
670	11.17	6.2	8.51	27.9	27.4
680	11.33	6.16	8.52	27.9	27.4
700	11.67	6.12	8.52	27.9	27.4
710	11.83	6.05	8.53	27.9	27.4
720	12.00	5.98	8.53	27.9	27.4
730	12.17	5.95	8.53	27.9	27.4
740	12.33	5.9	8.54	27.9	27.4
750	12.50	5.82	8.54	27.9	27.4
760	12.67	5.6	8.54	27.9	27.4
770	12.83	5.35	8.55	27.9	27.4
780	13.00	5.35	8.55	27.9	27.4
790	13.17	5.35	8.56	27.9	27.4
800	13.33	5.3	8.56	27.9	27.4
810	13.50	5.3	8.56	27.9	27.4

820	13.67	5.3	8.56	27.9	27.4
840	14.00	6.19	8.57	27.9	27.4
860	14.33	6.19	8.57	27.9	27.4
880	14.67	6.19	8.57	27.9	27.4
900	15.00	6.18	8.58	27.9	27.4
920	15.33	6.08	8.59	27.9	27.4
930	15.50	6.04	8.6	27.9	27.4
940	15.67	6.03	8.6	27.9	27.4
960	16.00	6.03	8.62	27.9	27.4
980	16.33	5.93	8.63	27.9	27.4
1000	16.67	5.83	8.64	27.9	27.4
1020	17.00	5.83	8.65	27.9	27.4
1040	17.33	5.82	8.65	27.9	27.4
1050	17.50	5.56	8.66	27.9	27.4
1060	17.67	5.74	8.66	27.9	27.4
1080	18.00	5.6	8.67	27.9	27.4
1100	18.33	5.55	8.67	27.9	27.4
1110	18.50	5.59	8.67	27.9	27.4
1120	18.67	5.59	8.67	27.9	27.4
1140	19.00	5.48	8.68	27.9	27.4
1150	19.17	5.48	8.69	27.9	27.4
1160	19.33	5.48	8.69	27.9	27.4
1180	19.67	5.36	8.7	27.9	27.4
1190	19.83	5.369	8.7	27.9	27.4
1200	20.00	5.35	8.71	27.9	27.4
1210	20.17	5.34	8.71	27.9	27.4
1220	20.33	5.33	8.71	27.9	27.4

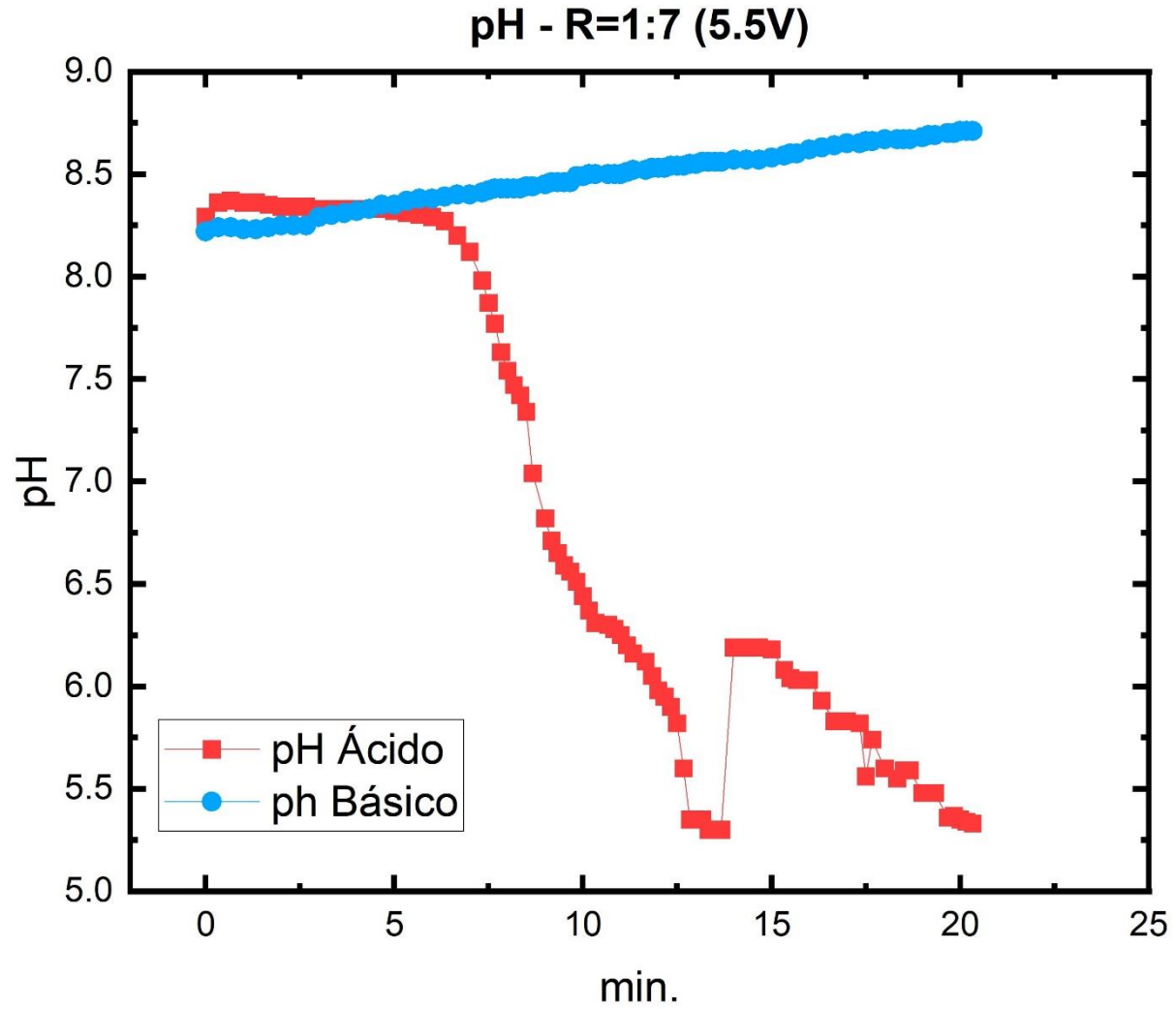


Figura 46. pH para R = 1:7 y 5.5V. Fuente: Autores.

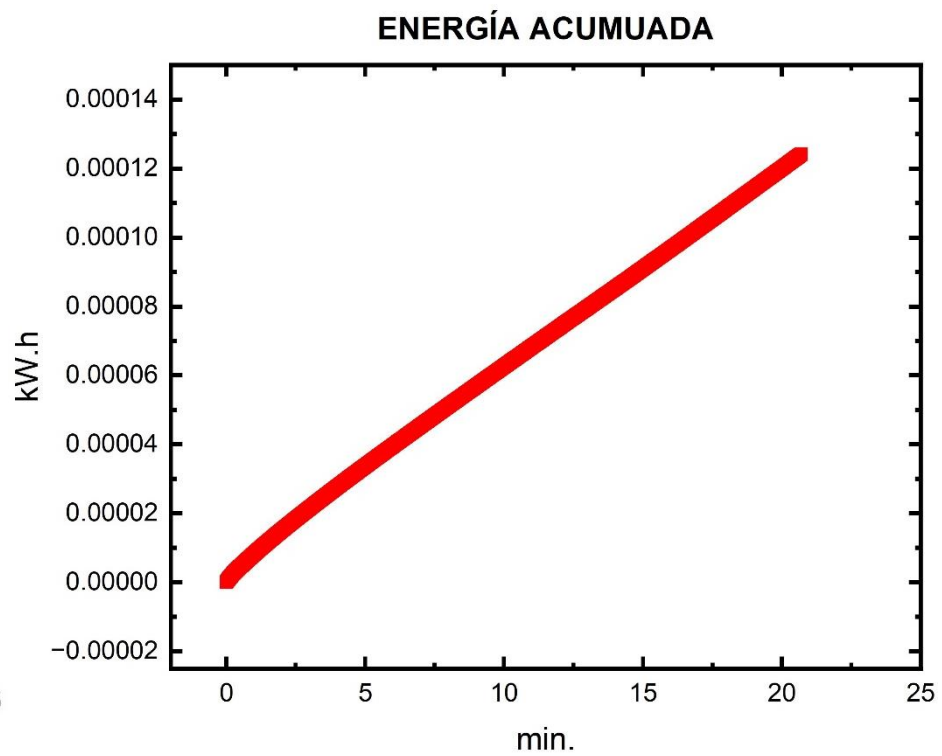
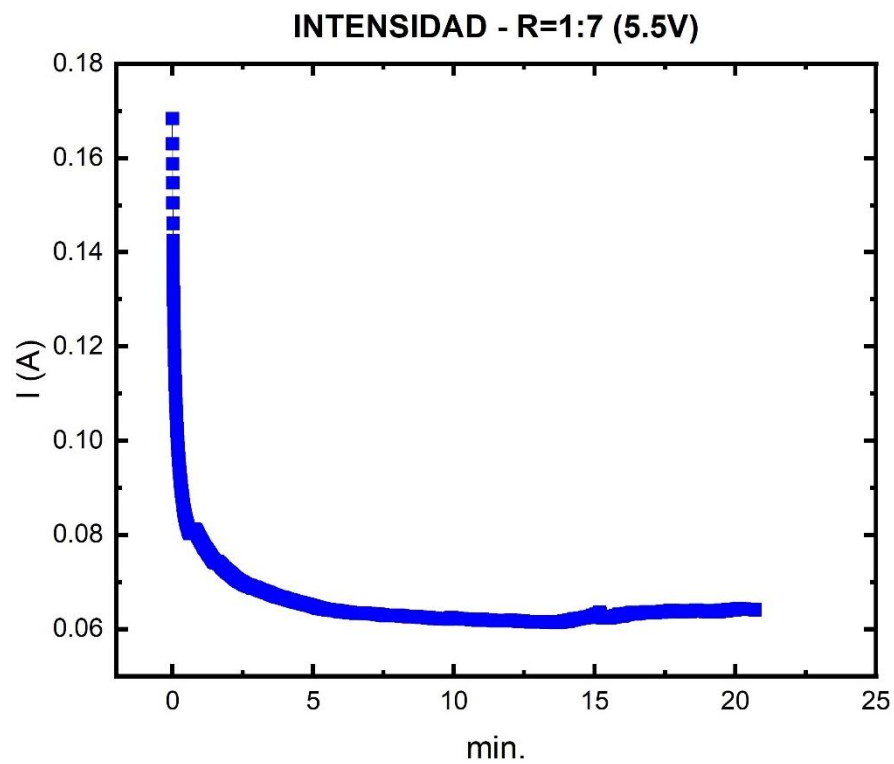


Figura 47. Curva de intensidad (azul) y energía acumulada (rojo) para $R = 1:7$ y 5.5V. Fuente: Autores.

- ANEXO 12

Tabla 18. pH - Ratio 1:7 (5.75 Volt)

Tiempo		pH	pH	Temperatura acidificado	Temperatura basificado
seg	min	ACIDO	BASICO	°C	°C
0	0.00	8.28	8.24	26.5	26.4
10	0.17	8.28	8.24	26.5	26.4
20	0.33	8.28	8.25	26.5	26.4
30	0.50	8.28	8.25	26.5	26.4
40	0.67	8.28	8.25	26.5	26.4
50	0.83	8.28	8.25	26.5	26.4
60	1.00	8.28	8.26	26.5	26.4
70	1.17	8.28	8.26	26.5	26.4
80	1.33	8.28	8.26	26.5	26.4
90	1.50	8.28	8.26	26.5	26.4
100	1.67	8.27	8.26	26.9	26.6
110	1.83	8.27	8.27	26.9	26.6
120	2.00	8.23	8.28	26.9	26.6
130	2.17	8.23	8.28	26.9	26.6
140	2.33	8.22	8.28	26.9	26.6
150	2.50	8.2	8.28	26.9	26.6
160	2.67	8.19	8.29	26.9	26.6
170	2.83	8	8.3	26.9	26.6
180	3.00	7.96	8.3	26.9	26.6
190	3.17	7.96	8.3	26.9	26.6
200	3.33	7.95	8.3	26.9	26.6
210	3.50	7.94	8.3	26.9	26.6
220	3.67	7.94	8.3	26.9	26.6
230	3.83	7.94	8.33	26.9	26.6
240	4.00	7.9	8.33	26.9	26.6
250	4.17	7.9	8.33	26.9	26.6

260	4.33	7.87	8.34	26.9	26.6
270	4.50	7.87	8.34	26.9	26.6
280	4.67	7.5	8.34	26.9	26.6
290	4.83	7.25	8.34	26.9	26.6
300	5.00	7.1	8.34	26.9	26.6
310	5.17	7.07	8.36	26.9	26.6
320	5.33	6.95	8.36	26.9	26.6
330	5.50	6.92	8.36	26.9	26.6
340	5.67	6.92	8.37	26.9	26.6
350	5.83	6.88	8.39	26.9	26.6
360	6.00	6.69	8.39	26.9	26.6
370	6.17	6.65	8.39	26.9	26.6
380	6.33	6.65	8.39	26.9	26.6
390	6.50	6.63	8.39	26.9	26.6
400	6.67	6.66	8.4	26.9	26.6
410	6.83	6.59	8.4	26.9	26.6
420	7.00	6.54	8.4	26.9	26.6
430	7.17	6.54	8.4	27.3	26.7
440	7.33	6.54	8.4	27.3	26.7
450	7.50	6.54	8.4	27.3	26.7
460	7.67	6.52	8.4	27.3	26.7
470	7.83	6.33	8.44	27.3	26.7
480	8.00	6.28	8.44	27.3	26.7
490	8.17	6.25	8.44	27.3	26.7
500	8.33	6.26	8.44	27.3	26.7
510	8.50	6.26	8.44	27.3	26.7
520	8.67	6.26	8.45	27.3	26.7
530	8.83	6.26	8.45	27.3	26.7
540	9.00	6.26	8.46	27.3	26.7
550	9.17	6.09	8.46	27.4	26.8
560	9.33	6.05	8.47	27.4	26.8

570	9.50	6.05	8.47	27.4	26.8
580	9.67	6.05	8.47	27.4	26.8
590	9.83	6.05	8.47	27.4	26.8
600	10.00	5.96	8.48	27.4	26.8
610	10.17	5.94	8.48	27.4	26.8
620	10.33	5.93	8.49	27.4	26.8
630	10.50	5.92	8.5	27.4	26.8
640	10.67	5.8	8.5	27.4	26.8
650	10.83	5.8	8.5	27.4	26.8
660	11.00	5.79	8.51	27.4	26.8
670	11.17	5.79	8.51	27.4	26.8
680	11.33	5.77	8.51	27.4	26.8
690	11.50	5.76	8.52	27.4	26.8
700	11.67	5.7	8.52	27.4	26.8
710	11.83	5.47	8.52	27.4	26.8
720	12.00	5.56	8.53	27.4	26.8
730	12.17	5.56	8.52	27.4	26.8
740	12.33	5.56	8.53	27.4	26.8
750	12.50	5.52	8.54	27.5	26.8
760	12.67	5.52	8.54	27.5	26.8
770	12.83	5.48	8.55	27.5	26.8
780	13.00	5.47	8.55	27.5	26.8
790	13.17	5.47	8.56	27.5	26.8
800	13.33	5.47	8.56	27.5	26.8
810	13.50	5.46	8.57	27.5	26.8
820	13.67	5.46	8.57	27.5	26.8
830	13.83	5.02	8.57	27.6	26.9
840	14.00	5	8.57	27.6	26.9
850	14.17	4.96	8.57	27.6	26.9
860	14.33	4.9	8.57	27.6	26.9
870	14.50	4.92	8.59	27.6	26.9

880	14.67	4.92	8.59	27.6	26.9
890	14.83	4.79	8.59	27.6	26.9
900	15.00	4.79	8.59	27.6	26.9
910	15.17	4.79	8.59	27.6	26.9
920	15.33	4.71	8.6	27.6	26.9
930	15.50	4.69	8.6	27.6	26.9
940	15.67	4.69	8.6	27.6	26.9
950	15.83	4.66	8.61	27.6	26.9
960	16.00	4.36	8.61	27.6	26.9
970	16.17	3.96	8.62	27.6	26.9
980	16.33	3.63	8.62	27.6	26.9
990	16.50	3.61	8.62	27.6	26.9

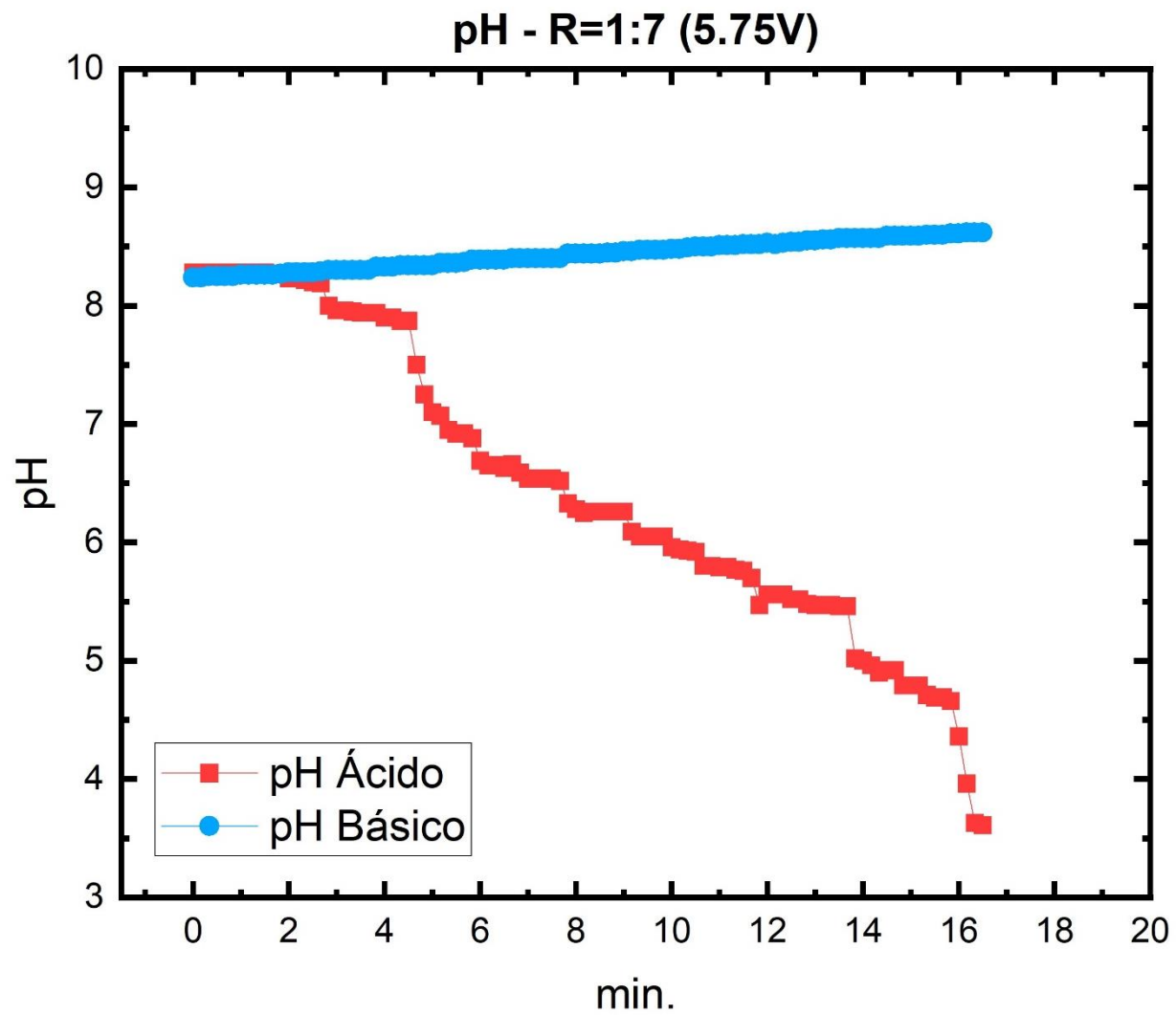


Figura 48. pH para R = 1:7 y 5.75V. Fuente: Autores.

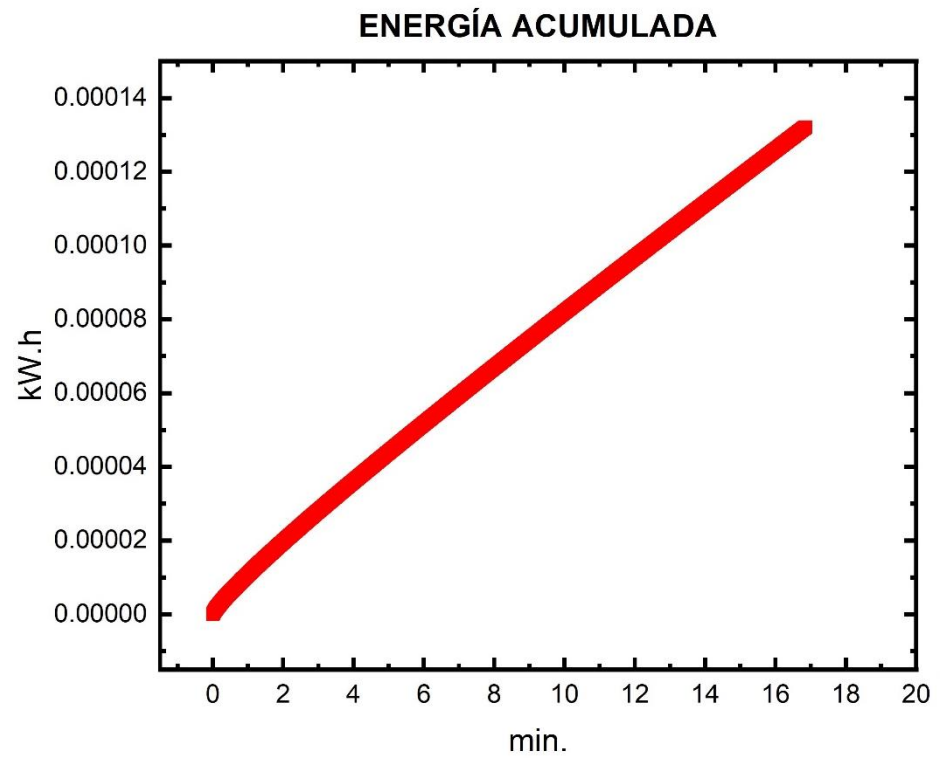
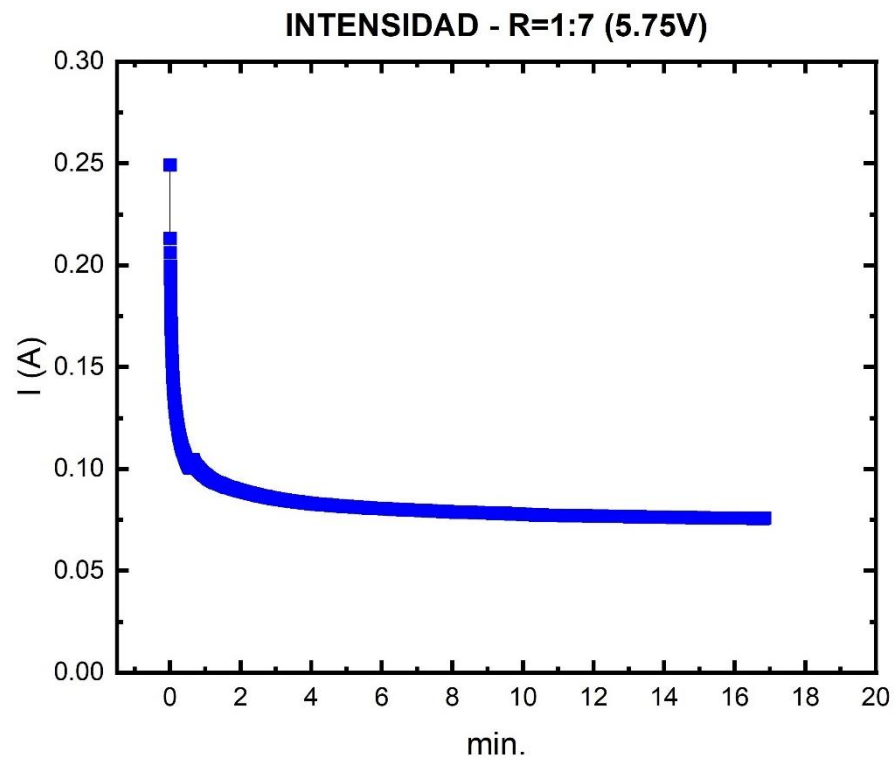


Figura 49. Curva de intensidad (azul) y energía acumulada (rojo) para R = 1:7 y 5.75V. Fuente: Autores.

- ANEXO 13

Tabla 19. pH - Ratio 1:7 (6 Volt)

Tiempo		pH	pH	Temperatura acidificado	Temperatura basificado
seg	min	ACIDO	BASICO	°C	°C
0	0.00	8.36	8.21	27.2	27
10	0.17	8.36	8.21	27.2	27
20	0.33	8.36	8.21	27.2	27
30	0.50	8.36	8.22	27.2	27
40	0.67	8.36	8.23	27.2	27
50	0.83	8.36	8.23	27.2	27
60	1.00	8.36	8.23	27.2	27
70	1.17	8.32	8.23	27.5	27
80	1.33	8.32	8.23	27.5	27
90	1.50	8.3	8.24	27.5	27
100	1.67	8.3	8.24	27.5	27
110	1.83	8.23	8.24	27.5	27
120	2.00	8.22	8.25	27.5	27
130	2.17	8.22	8.25	27.5	27
140	2.33	8.1	8.25	27.6	27.1
150	2.50	8.1	8.25	27.6	27.1
160	2.67	7.9	8.26	27.6	27.1
170	2.83	7.82	8.26	27.6	27.1
180	3.00	7.8	8.26	27.6	27.1
190	3.17	7.78	8.28	27.6	27.1
200	3.33	7.8	8.28	27.6	27.1
210	3.50	7.81	8.28	27.6	27.1
220	3.67	7.81	8.29	27.6	27.1
230	3.83	7.81	8.29	27.6	27.1
240	4.00	7.64	8.3	27.6	27.1
250	4.17	7.55	8.3	27.6	27.1

260	4.33	7.49	8.3	27.6	27.1
270	4.50	7.43	8.3	27.7	27.1
280	4.67	7.43	8.3	27.7	27.1
290	4.83	7.4	8.31	27.7	27.1
300	5.00	7.37	8.31	27.7	27.1
310	5.17	7.35	8.32	27.7	27.1
320	5.33	7.34	8.33	27.7	27.1
330	5.50	7.33	8.33	27.7	27.1
340	5.67	6.57	8.35	27.7	27.1
350	5.83	6.51	8.35	27.7	27.1
360	6.00	6.41	8.35	27.7	27.1
370	6.17	6.4	8.36	27.7	27.1
380	6.33	6.4	8.36	27.7	27.1
390	6.50	6.32	8.36	27.7	27.1
400	6.67	6.3	8.37	27.7	27.1
410	6.83	6.27	8.37	27.7	27.1
420	7.00	6.24	8.37	27.8	27.2
430	7.17	6.24	8.37	27.8	27.2
440	7.33	6.24	8.38	27.8	27.2
450	7.50	6.09	8.39	27.8	27.2
460	7.67	6.05	8.39	27.8	27.2
470	7.83	6.05	8.39	27.8	27.2
480	8.00	5.93	8.4	27.8	27.2
490	8.17	5.91	8.41	27.8	27.2
500	8.33	5.89	8.41	27.8	27.2
510	8.50	5.88	8.41	27.8	27.2
520	8.67	5.73	8.42	27.8	27.2
530	8.83	5.73	8.42	27.8	27.2
540	9.00	5.68	8.42	27.8	27.2
550	9.17	5.67	8.43	27.8	27.2
560	9.33	5.51	8.44	27.8	27.2

570	9.50	5.44	8.44	27.8	27.2
580	9.67	5.34	8.44	27.8	27.2
590	9.83	5.34	8.45	27.8	27.2
600	10.00	5.34	8.45	27.8	27.2
610	10.17	5.13	8.45	27.8	27.2
620	10.33	5.13	8.45	27.8	27.2
630	10.50	5.11	8.46	27.8	27.2
640	10.67	5.11	8.46	27.8	27.2
650	10.83	4.62	8.47	27.8	27.2
660	11.00	4.41	8.47	27.8	27.2
670	11.17	4.41	8.48	27.8	27.2
680	11.33	4.38	8.48	27.8	27.2
690	11.50	4.32	8.49	27.8	27.2
700	11.67	4.32	8.49	27.8	27.2
710	11.83	3.77	8.49	27.8	27.2
720	12.00	3.69	8.49	27.8	27.2
730	12.17	3.69	8.5	27.8	27.2

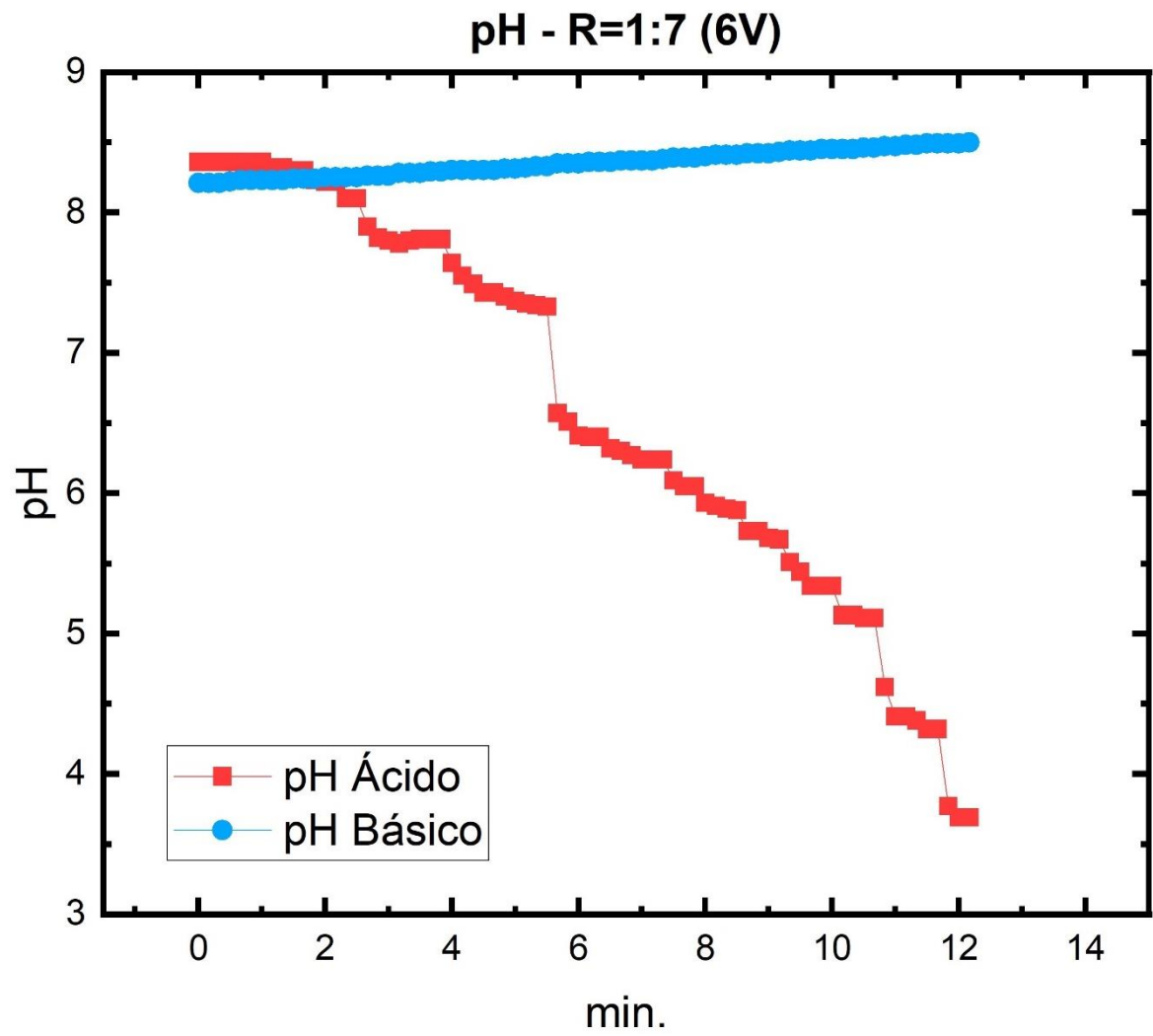


Figura 50. pH para R = 1:7 y 6V. Fuente: Autores.

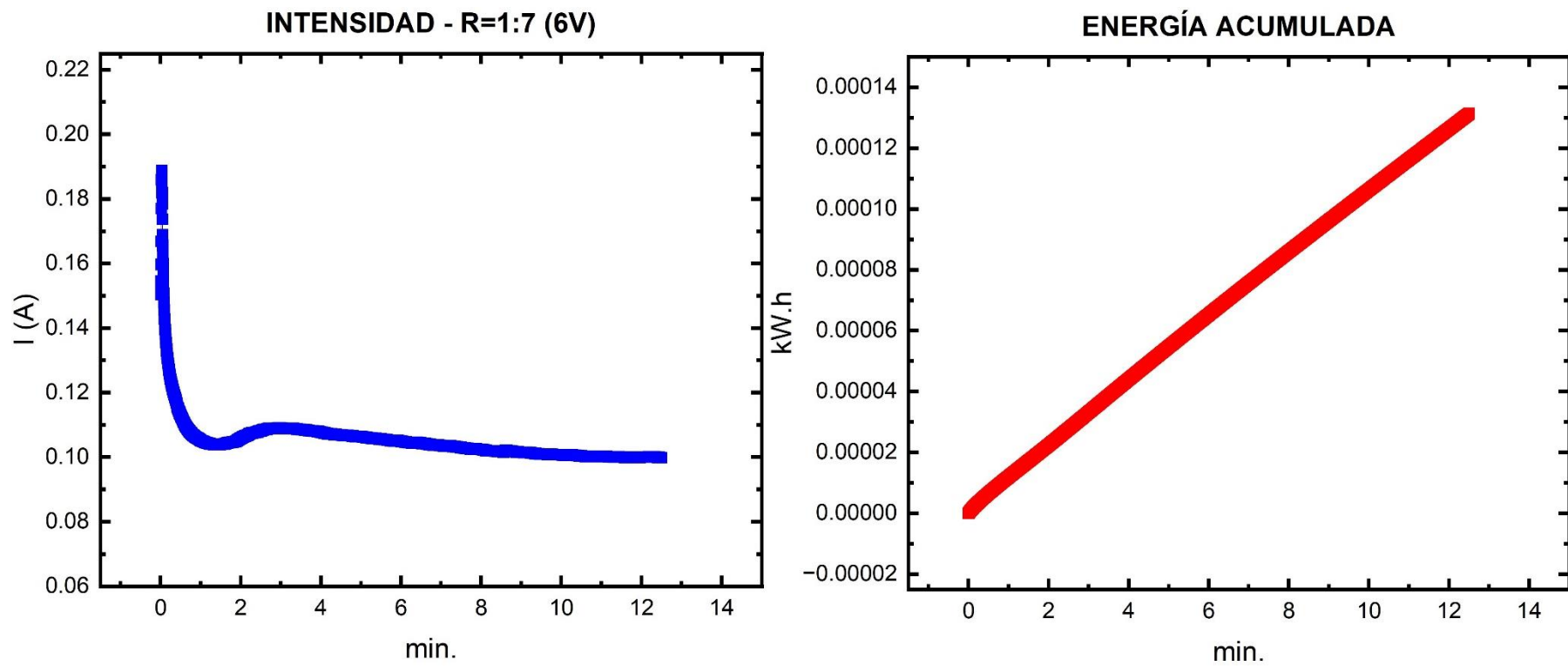


Figura 51. Curva de intensidad (azul) y energía acumulada (rojo) para R = 1:7 y 6V. Fuente: Autores.

- ANEXO 14

Tabla 20. pH - Ratio 1:6 (5.75 Volt)

Tiempo		pH	pH	Temperatura acidificado	Temperatura basificado
seg	min	ACIDO	BASICO	°C	°C
0	0.00	8.24	8.17	27.2	27.1
10	0.17	8.25	8.21	27.2	27.1
20	0.33	8.26	8.2	27.2	27.1
30	0.50	8.26	8.2	27.2	27.1
40	0.67	8.27	8.22	27.2	27.1
50	0.83	8.24	8.22	27.2	27.1
60	1.00	8.24	8.22	27.2	27.1
70	1.17	8.22	8.22	27.2	27.1
80	1.33	8.21	8.23	27.2	27.1
90	1.50	8.21	8.23	27.2	27.1
100	1.67	8.21	8.23	27.2	27.1
110	1.83	8.21	8.23	27.2	27.1
120	2.00	8.1	8.24	27.2	27.1
130	2.17	8.09	8.24	27.2	27.1
140	2.33	8.09	8.24	27.2	27.1
150	2.50	8.09	8.24	27.2	27.1
160	2.67	7.99	8.25	27.2	27.1
170	2.83	7.95	8.26	27.2	27.1
180	3.00	7.95	8.26	27.2	27.1
190	3.17	7.78	8.27	27.2	27.1
200	3.33	7.68	8.27	27.2	27.1
210	3.50	7.44	8.28	27.2	27.1
220	3.67	7.44	8.28	27.2	27.1
230	3.83	7.32	8.29	27.2	27.1
240	4.00	7.31	8.29	27.9	27.3
250	4.17	7.4	8.3	27.9	27.3

260	4.33	7.23	8.3	27.9	27.3
270	4.50	7.23	8.3	27.9	27.3
280	4.67	7.19	8.3	27.9	27.3
290	4.83	6.97	8.31	27.9	27.3
300	5.00	6.97	8.32	27.9	27.3
310	5.17	6.97	8.32	27.9	27.3
320	5.33	6.97	8.32	27.9	27.3
330	5.50	6.9	8.33	27.9	27.3
340	5.67	6.64	8.34	27.9	27.3
350	5.83	6.64	8.34	27.9	27.3
360	6.00	6.6	8.34	27.9	27.3
370	6.17	6.54	8.34	27.9	27.3
380	6.33	6.54	8.34	27.9	27.3
390	6.50	6.57	8.35	27.9	27.3
400	6.67	6.6	8.36	27.9	27.3
410	6.83	6.37	8.36	27.9	27.3
420	7.00	6.37	8.37	27.9	27.3
430	7.17	6.28	8.37	27.9	27.3
440	7.33	6.28	8.37	27.9	27.3
450	7.50	6.31	8.37	27.9	27.3
460	7.67	6.34	8.38	27.9	27.3
470	7.83	6.17	8.38	27.9	27.3
480	8.00	6.06	8.39	27.9	27.3
490	8.17	6.06	8.39	27.9	27.3
500	8.33	6.03	8.4	27.9	27.3
510	8.50	6.03	8.4	27.9	27.3
520	8.67	6.09	8.4	27.9	27.3
530	8.83	6.04	8.4	27.9	27.3
540	9.00	6.04	8.41	27.9	27.3
550	9.17	6.04	8.41	27.9	27.3
560	9.33	5.98	8.42	27.9	27.3

570	9.50	5.98	8.42	27.9	27.3
580	9.67	5.98	8.42	27.9	27.3
590	9.83	6.01	8.43	27.9	27.3
600	10.00	5.84	8.43	27.9	27.3
610	10.17	5.78	8.44	27.9	27.3
620	10.33	5.78	8.44	27.9	27.3
630	10.50	5.77	8.45	27.9	27.3
640	10.67	5.65	8.45	27.9	27.3
650	10.83	5.46	8.46	27.9	27.3
660	11.00	5.51	8.46	28.1	27.5
670	11.17	5.51	8.46	28.1	27.5
680	11.33	5.47	8.46	28.1	27.5
690	11.50	5.44	8.46	28.1	27.5
700	11.67	5.44	8.46	28.1	27.5
710	11.83	5.44	8.47	28.1	27.5
720	12.00	5.36	8.47	28.1	27.5
730	12.17	5.08	8.47	28.1	27.5
740	12.33	5.08	8.47	28.1	27.5
750	12.50	5.08	8.47	28.1	27.5
760	12.67	4.89	8.47	28.1	27.5
770	12.83	4.89	8.47	28.1	27.5
780	13.00	4.38	8.5	28.1	27.5
790	13.17	4.46	8.51	28.1	27.5
800	13.33	4.46	8.51	28.1	27.5
810	13.50	4.46	8.51	28.1	27.5
820	13.67	4.59	8.51	28.1	27.5
830	13.83	4.59	8.51	28.1	27.5
840	14.00	4.73	8.51	28.1	27.5
850	14.17	4.79	8.51	28.1	27.5
860	14.33	4.79	8.51	28.1	27.5
870	14.50	4.83	8.51	28.1	27.5

880	14.67	4.81	8.51	28.1	27.5
890	14.83	4.81	8.51	28.1	27.5
900	15.00	4.74	8.52	28.1	27.5
910	15.17	4.65	8.52	28.1	27.5
920	15.33	4.65	8.52	28.1	27.5
930	15.50	4.58	8.52	28.1	27.5
940	15.67	4.58	8.52	28.1	27.5
950	15.83	4.56	8.56	28.1	27.5
960	16.00	4.52	8.56	28.1	27.5
970	16.17	4.44	8.57	28.1	27.5
980	16.33	4.41	8.57	28.1	27.5
990	16.50	4.36	8.57	28.1	27.5
1000	16.67	4.24	8.58	28.1	27.5
1010	16.83	4.24	8.58	28.1	27.5
1020	17.00	4.13	8.59	28.1	27.5
1030	17.17	4.04	8.58	28.1	27.5
1040	17.33	3.96	8.59	28.1	27.5
1050	17.50	3.88	8.59	28.1	27.5
1060	17.67	3.78	8.6	28.2	27.6

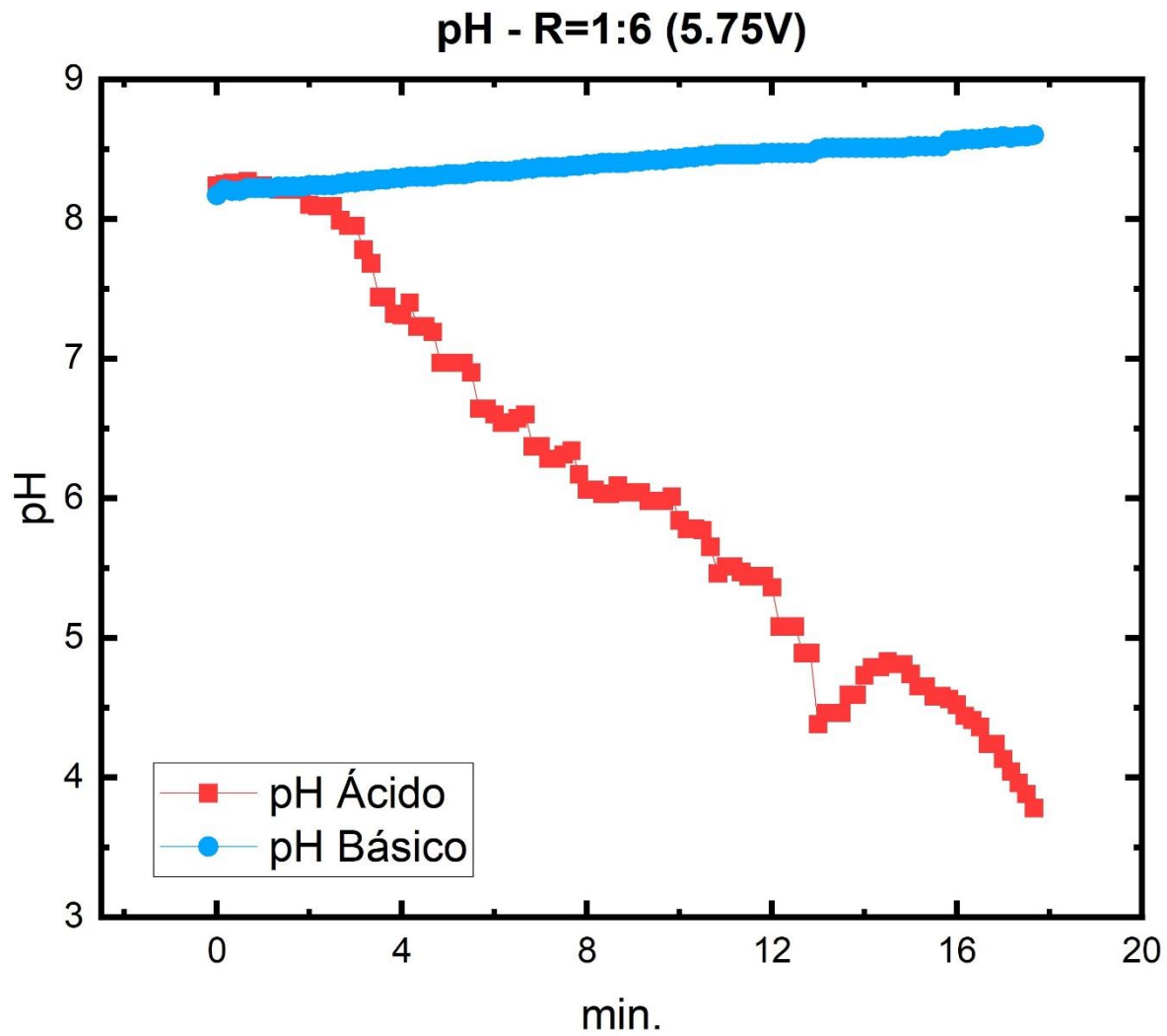


Figura 52. pH para R = 1:6 y 5.75V. Fuente: Autores.

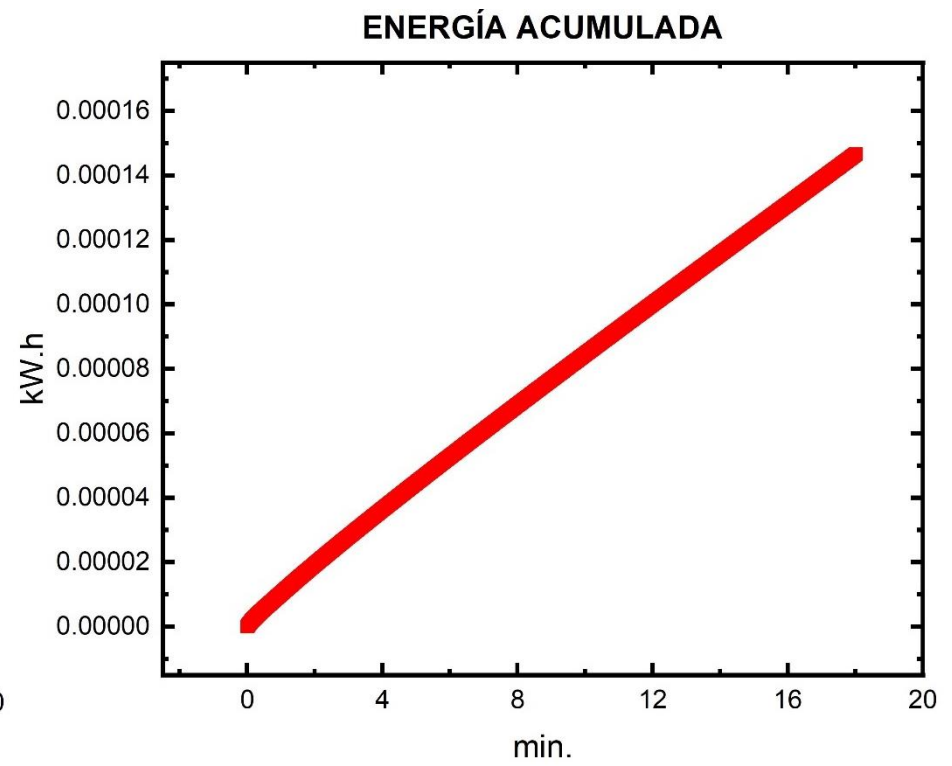
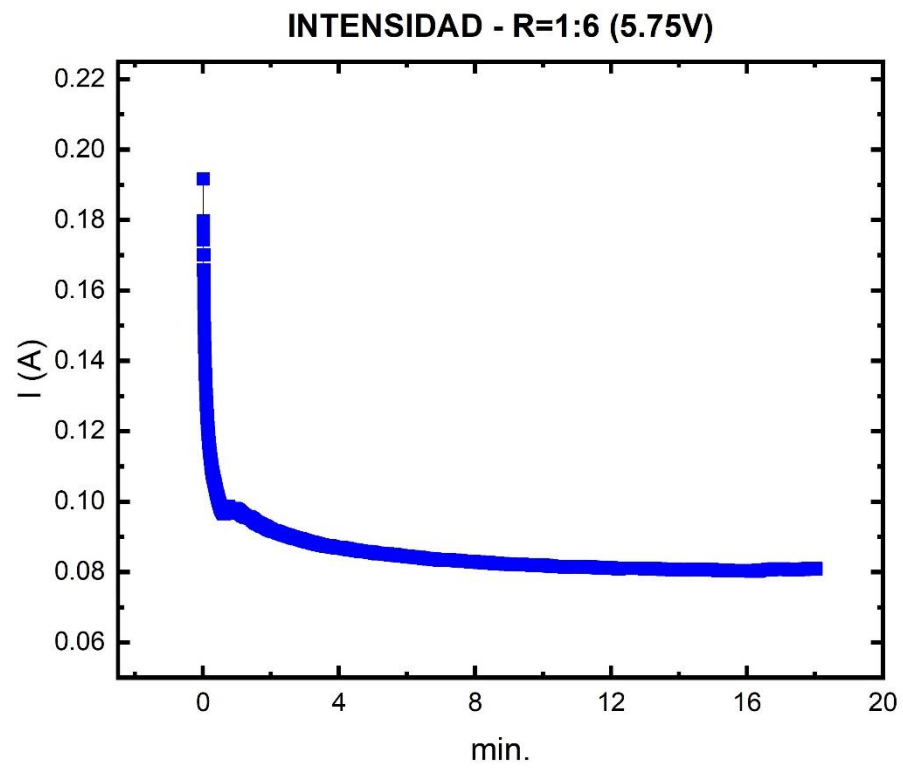


Figura 53. Curva de intensidad (azul) y energía acumulada (rojo) para R = 1:6 y 5.75V. Fuente: Autores.

- ANEXO 15

Tabla 21. pH - Ratio 1:5 (5.75 Volt)

Tiempo		pH	pH	Temperatura acidificado	Temperatura basificado
seg	min	ACIDO	BASICO	°C	°C
0	0.00	8.21	8.11	28.3	27.3
10	0.17	8.25	8.14	28.3	27.3
20	0.33	8.25	8.14	28.3	27.3
30	0.50	8.26	8.16	28.3	27.3
40	0.67	8.27	8.16	28.3	27.3
50	0.83	8.27	8.16	28.3	27.3
60	1.00	8.27	8.17	28.3	27.3
70	1.17	8.26	8.17	28.3	27.3
80	1.33	8.25	8.18	28.3	27.3
90	1.50	8.24	8.18	28.3	27.3
100	1.67	8.23	8.18	28.3	27.3
110	1.83	8.22	8.18	28.3	27.3
120	2.00	8.2	8.18	28.3	27.3
130	2.17	8.19	8.18	28.3	27.3
140	2.33	8.17	8.19	28.3	27.3
150	2.50	8.16	8.2	28.3	27.3
160	2.67	8.12	8.2	28.3	27.3
170	2.83	8.1	8.2	28.3	27.3
180	3.00	8.09	8.2	28.3	27.3
190	3.17	8.06	8.2	28.3	27.3
200	3.33	8.02	8.2	28.3	27.3
210	3.50	7.99	8.2	28.3	27.3
220	3.67	7.92	8.22	28.3	27.3
230	3.83	7.85	8.22	28.3	27.3
240	4.00	7.79	8.22	28.3	27.3
250	4.17	7.74	8.22	28.3	27.3

260	4.33	7.65	8.23	28.3	27.3
270	4.50	7.58	8.25	28.3	27.3
280	4.67	7.51	8.25	28.3	27.3
290	4.83	7.43	8.26	28.3	27.3
300	5.00	7.34	8.26	28.3	27.3
310	5.17	7.34	8.26	28.3	27.3
320	5.33	7.22	8.26	28.3	27.3
330	5.50	7.13	8.27	28.3	27.3
340	5.67	7.05	8.27	28.3	27.3
350	5.83	6.99	8.28	28.3	27.3
360	6.00	6.94	8.29	28.3	27.3
370	6.17	6.87	8.29	28.3	27.3
380	6.33	6.81	8.29	28.3	27.3
390	6.50	6.8	8.3	28.3	27.3
400	6.67	6.77	8.3	28.3	27.3
410	6.83	6.72	8.31	28.3	27.3
420	7.00	6.66	8.31	28.3	27.3
430	7.17	6.61	8.32	28.3	27.3
440	7.33	6.57	8.32	28.3	27.3
450	7.50	6.53	8.32	28.3	27.3
460	7.67	6.49	8.33	28.3	27.3
470	7.83	6.46	8.34	28.3	27.3
480	8.00	6.43	8.34	28.3	27.3
490	8.17	6.4	8.34	28.3	27.3
500	8.33	6.35	8.34	28.3	27.3
510	8.50	6.32	8.35	28.3	27.3
520	8.67	6.29	8.35	28.3	27.3
530	8.83	6.26	8.35	28.3	27.3
540	9.00	6.24	8.37	28.3	27.3
550	9.17	6.2	8.37	28.3	27.3
560	9.33	6.18	8.36	28.3	27.3

570	9.50	6.12	8.38	28.3	27.3
580	9.67	6.09	8.38	28.3	27.3
590	9.83	6.07	8.39	28.3	27.3
600	10.00	6.05	8.39	28.3	27.3
610	10.17	6.02	8.39	28.3	27.3
620	10.33	5.98	8.4	28.3	27.3
630	10.50	5.87	8.4	28.3	27.3
640	10.67	5.87	8.4	28.3	27.3
650	10.83	5.84	8.41	28.3	27.3
660	11.00	5.83	8.41	28.5	27.5
670	11.17	5.82	8.42	28.5	27.5
680	11.33	5.8	8.41	28.5	27.5
690	11.50	5.76	8.42	28.5	27.5
700	11.67	5.75	8.42	28.5	27.5
710	11.83	5.72	8.42	28.5	27.5
720	12.00	5.68	8.44	28.5	27.5
730	12.17	5.64	8.45	28.5	27.5
740	12.33	5.59	8.45	28.5	27.5
750	12.50	5.55	8.45	28.5	27.5
760	12.67	5.49	8.45	28.5	27.5
770	12.83	5.45	8.45	28.5	27.5
780	13.00	5.39	8.47	28.5	27.5
790	13.17	5.34	8.47	28.5	27.5
800	13.33	5.23	8.48	28.5	27.5
810	13.50	5.23	8.48	28.5	27.5
820	13.67	5.14	8.48	28.5	27.5
830	13.83	5.03	8.48	28.5	27.5
840	14.00	4.95	8.48	28.5	27.6
850	14.17	4.95	8.48	28.5	27.6
860	14.33	4.82	8.48	28.5	27.6
870	14.50	4.69	8.48	28.5	27.6

880	14.67	4.52	8.5	28.5	27.6
890	14.83	4.48	8.5	28.5	27.6
900	15.00	4.42	8.51	28.5	27.6
910	15.17	4.3	8.52	28.5	27.6
920	15.33	4.21	8.52	28.5	27.6
930	15.50	4.13	8.52	28.5	27.6
940	15.67	4.13	8.52	28.5	27.6
950	15.83	3.8	8.52	28.5	27.6
960	16.00	3.77	8.52	28.6	27.6

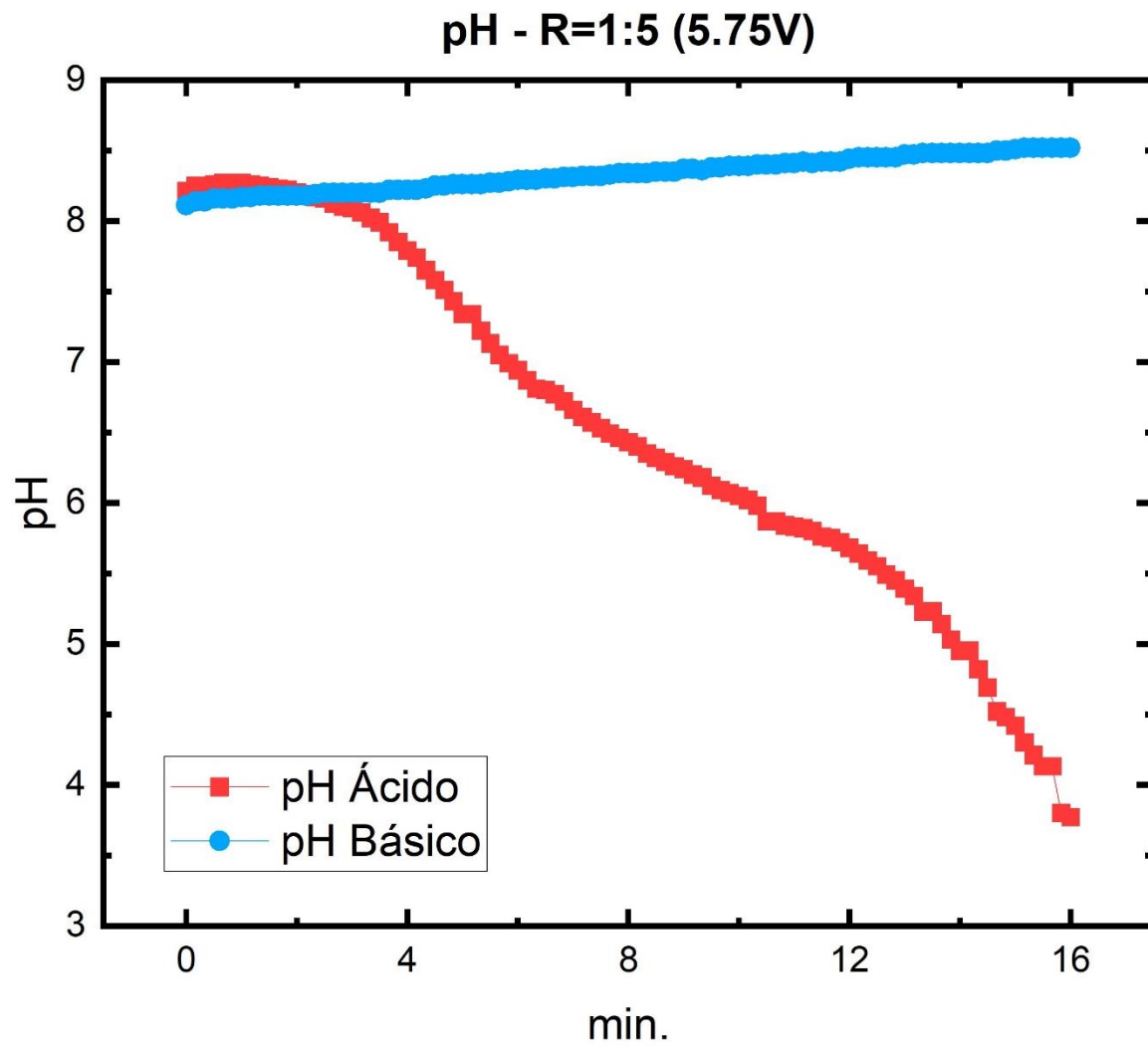


Figura 54. pH para R = 1:5 y 5.75V. Fuente: Autores.

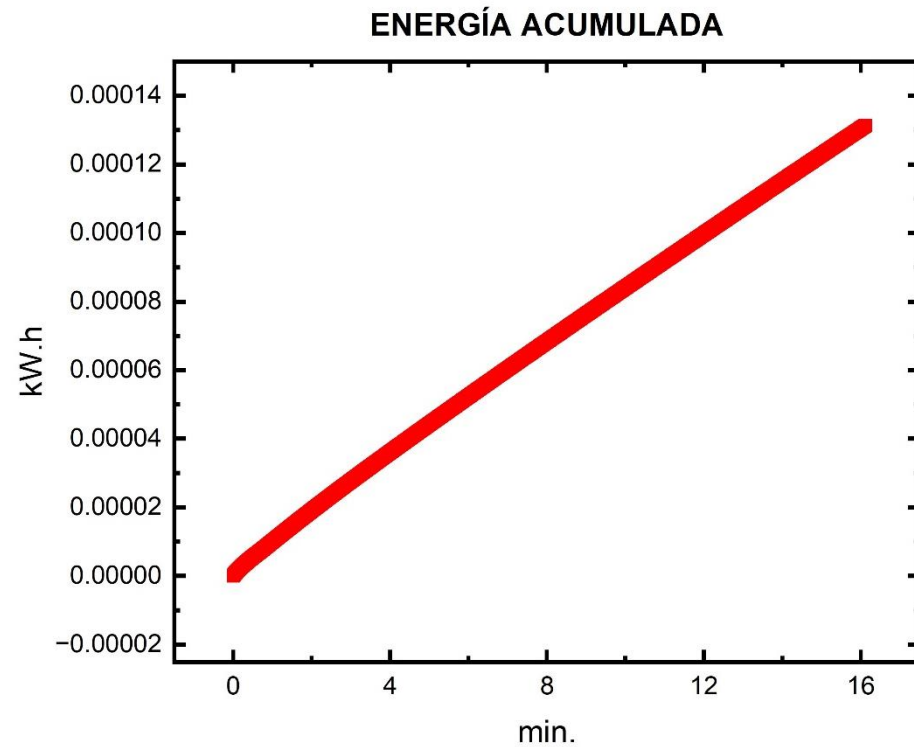
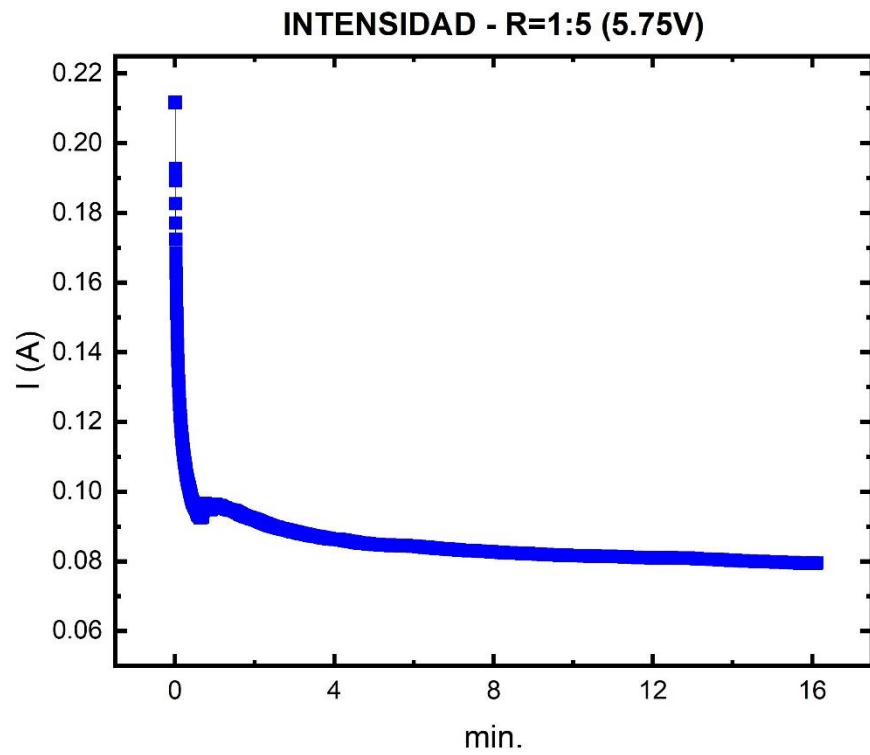


Figura 55. Curva de intensidad (azul) y energía acumulada (rojo) para R = 1:5 y 5.75V. Fuente: Autores.

- ANEXO 16

Tabla 22. pH - Ratio 1:5 (5.5 Volt)

Tiempo		pH	pH	Temperatura acidificado	Temperatura basificado
seg	min	ACIDO	BASICO	°C	°C
0	0.00	8.46	8.28	25.4	25.1
60	1.00	8.5	8.28	25.7	25.1
70	1.17	8.52	8.28	25.7	25.1
80	1.33	8.53	8.28	25.7	25.1
90	1.50	8.54	8.32	25.7	25.1
110	1.83	8.56	8.32	25.7	25.1
120	2.00	8.57	8.33	25.7	25.1
130	2.17	8.57	8.33	25.7	25.1
150	2.50	8.58	8.34	25.7	25.1
160	2.67	8.58	8.33	25.7	25.1
170	2.83	8.58	8.33	25.7	25.1
180	3.00	8.57	8.34	25.7	25.1
190	3.17	8.58	8.34	25.7	25.1
200	3.33	8.58	8.34	25.7	25.1
210	3.50	8.56	8.39	25.7	25.1
220	3.67	8.56	8.39	25.7	25.1
230	3.83	8.56	8.39	25.7	25.1
240	4.00	8.53	8.39	25.7	25.1
250	4.17	8.53	8.4	25.7	25.1
260	4.33	8.53	8.41	25.7	25.1
270	4.50	8.53	8.42	25.7	25.1
280	4.67	8.53	8.42	25.7	25.1
290	4.83	8.44	8.42	25.7	25.1
300	5.00	8.42	8.42	25.7	25.1
310	5.17	8.42	8.42	25.7	25.1
320	5.33	8.42	8.43	25.7	25.1

330	5.50	8.33	8.44	25.7	25.1
340	5.67	8.28	8.45	25.6	25.2
360	6.00	8.26	8.45	25.6	25.2
370	6.17	8.2	8.47	25.6	25.2
380	6.33	8.18	8.47	25.6	25.2
390	6.50	8.09	8.47	25.6	25.2
400	6.67	8.05	8.47	25.6	25.2
410	6.83	7.95	8.47	25.6	25.2
420	7.00	7.92	8.47	25.6	25.2
430	7.17	7.92	8.48	25.6	25.2
440	7.33	7.77	8.48	25.6	25.2
450	7.50	7.59	8.48	25.6	25.2
460	7.67	7.49	8.48	25.6	25.2
470	7.83	7.45	8.48	25.6	25.2
480	8.00	7.45	8.48	25.6	25.2
490	8.17	7.56	8.49	25.6	25.2
500	8.33	7.51	8.49	25.6	25.2
510	8.50	7.37	8.51	25.6	25.2
520	8.67	7.35	8.52	25.6	25.2
530	8.83	7.35	8.52	25.6	25.2
540	9.00	7.3	8.52	25.6	25.2
550	9.17	7.3	8.52	25.6	25.2
560	9.33	7.21	8.52	25.6	25.2
570	9.50	7.2	8.52	25.6	25.2
580	9.67	7.19	8.52	25.6	25.3
590	9.83	7.17	8.55	25.6	25.3
600	10.00	7.13	8.55	25.6	25.3
610	10.17	7.08	8.56	25.6	25.3
620	10.33	6.99	8.56	25.6	25.3
630	10.50	6.95	8.56	25.6	25.3
640	10.67	6.95	8.56	25.6	25.3

650	10.83	6.95	8.57	25.6	25.3
660	11.00	6.9	8.58	25.6	25.3
670	11.17	6.85	8.58	25.6	25.3
680	11.33	6.81	8.58	25.6	25.3
690	11.50	6.82	8.58	25.6	25.3
700	11.67	6.83	8.58	25.6	25.3
710	11.83	6.77	8.6	25.6	25.3
720	12.00	6.74	8.6	25.6	25.3
730	12.17	6.74	8.6	25.6	25.3
740	12.33	6.72	8.6	25.6	25.3
750	12.50	6.72	8.6	25.6	25.3
760	12.67	6.69	8.61	25.6	25.3
770	12.83	6.69	8.62	25.6	25.3
780	13.00	6.69	8.62	25.6	25.3
790	13.17	6.62	8.62	25.6	25.3
800	13.33	6.62	8.62	25.6	25.3
810	13.50	6.6	8.62	25.6	25.3
820	13.67	6.6	8.62	25.6	25.3
830	13.83	6.6	8.62	25.6	25.3
840	14.00	6.6	8.64	25.6	25.3
850	14.17	6.53	8.64	25.6	25.3
860	14.33	6.53	8.64	25.6	25.3
870	14.50	6.5	8.64	25.6	25.3
880	14.67	6.5	8.65	25.6	25.3
890	14.83	6.49	8.66	25.7	25.4
900	15.00	6.44	8.66	25.7	25.4
910	15.17	6.43	8.66	25.7	25.4
920	15.33	6.43	8.66	25.7	25.4
930	15.50	6.43	8.66	25.7	25.4
940	15.67	6.38	8.66	25.7	25.4
950	15.83	6.38	8.67	25.7	25.4

960	16.00	6.35	8.68	25.7	25.4
970	16.17	6.29	8.68	25.7	25.4
980	16.33	6.29	8.68	25.7	25.4
990	16.50	6.22	8.68	25.7	25.4
1000	16.67	6.22	8.68	25.7	25.4
1010	16.83	6.22	8.68	25.7	25.4
1020	17.00	6.22	8.68	25.7	25.4
1030	17.17	6.22	8.68	25.7	25.4
1040	17.33	6.19	8.69	25.7	25.4
1050	17.50	6.18	8.7	25.7	25.4
1060	17.67	6.18	8.7	25.7	25.4
1070	17.83	6.17	8.7	25.7	25.4
1080	18.00	6.17	8.7	25.7	25.4
1090	18.17	6.09	8.7	25.7	25.4
1100	18.33	6.07	8.71	25.7	25.4
1110	18.50	6.07	8.72	25.8	25.4

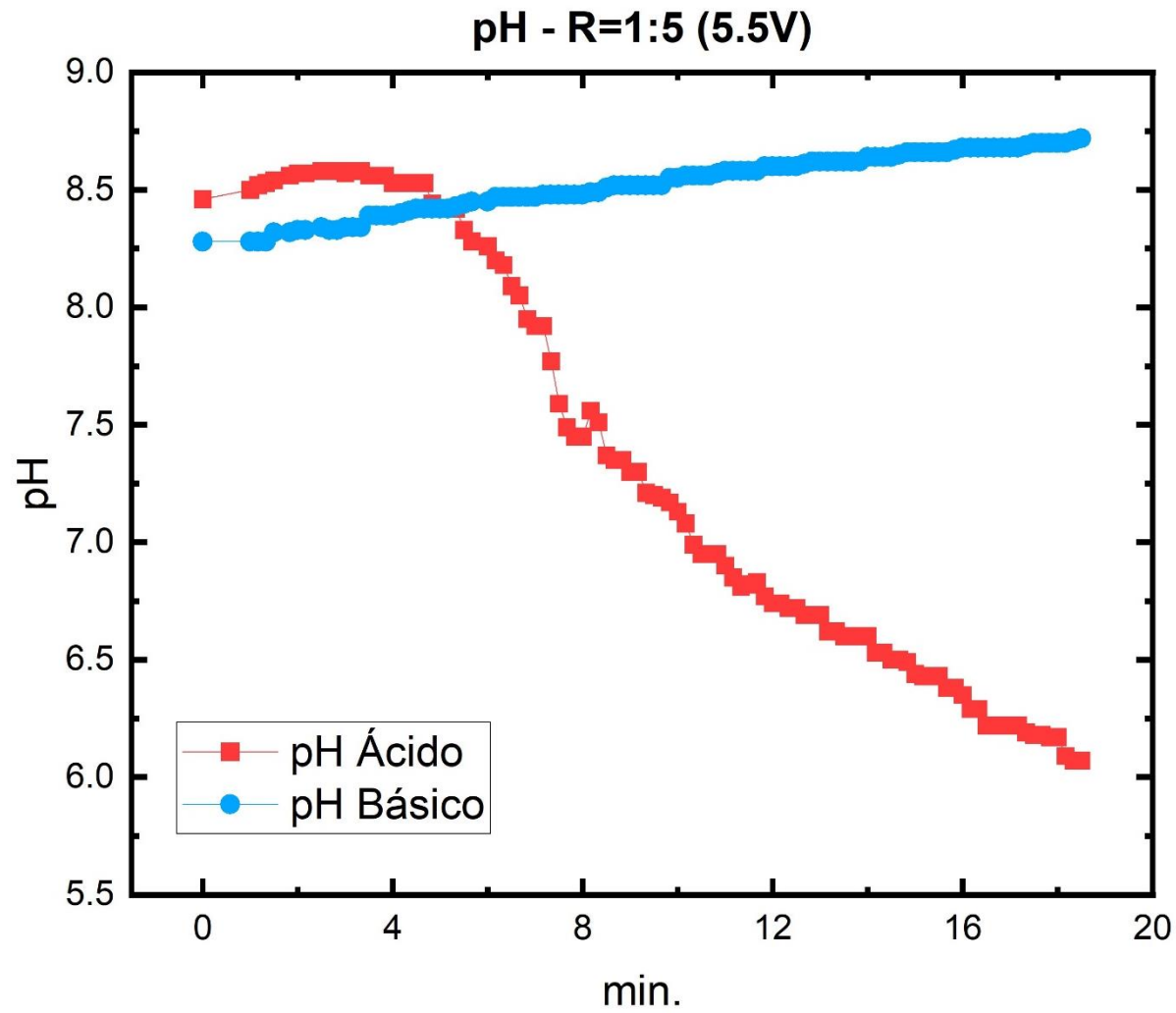


Figura 56. pH para R = 1:5 y 5.5V. Fuente: Autores.

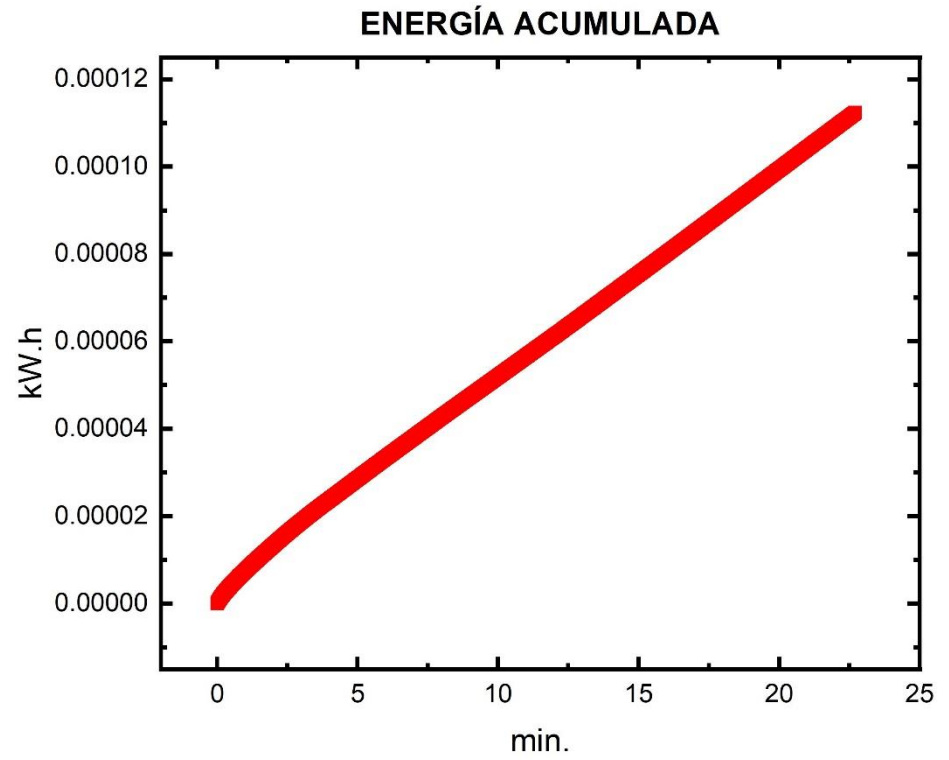
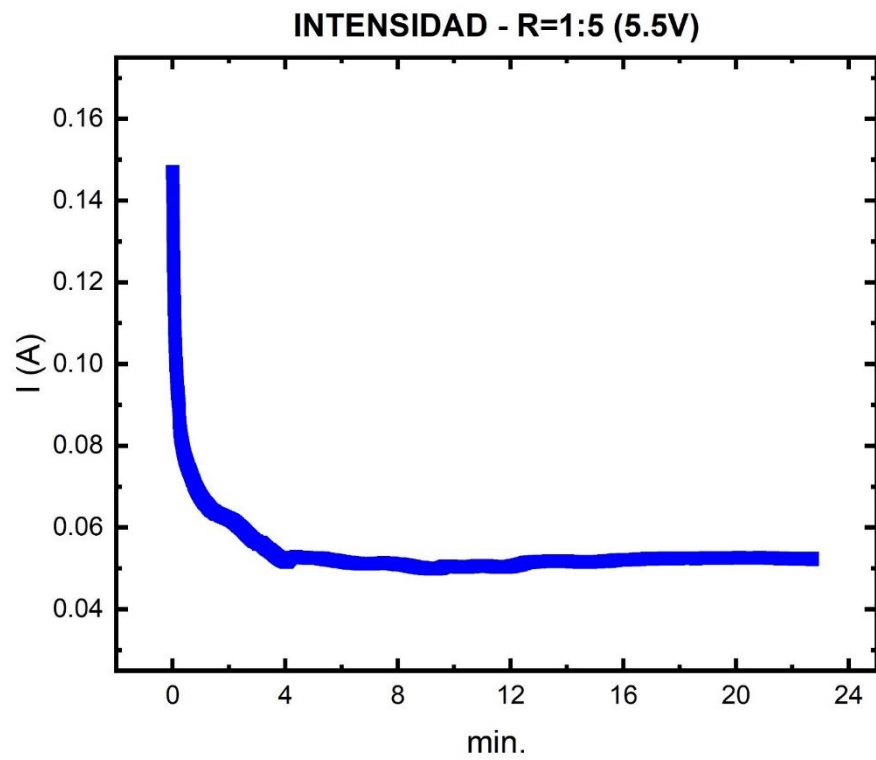


Figura 57. Curva de intensidad (azul) y energía acumulada (rojo) para R = 1:5 y 5.5V. Fuente: Autores.