

Estudio de la eficiencia de un sistema de captación de agua aplicando una fuente
electrostática

Andrés Felipe Guerra Ricaurte
Anderson Camilo Rosero Realpe

Universidad CESMAG
Facultad de Ingeniería
Programa de Ingeniería Electrónica
San Juan de Pasto
2024

Estudio de la eficiencia de un sistema de captación de agua aplicando una fuente
electrostática

Andrés Felipe Guerra Ricaurte
Anderson Camilo Rosero Realpe

Asesor
Edgar Alberto Unigarro Calpa

Proyecto de Trabajo de Grado presentado al Comité Curricular del Programa de Ingeniería
Electrónica en la modalidad de Investigación

Universidad CESMAG
Facultad de Ingeniería
Programa de Ingeniería Electrónica
San Juan de Pasto
2024

Nota de Aceptación

Aprobado por el Comité Curricular en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Universidad CESMAG para optar al título de Ingeniero Electrónico

Edgar Alberto Unigarro Calpa

Asesor

Carlos Andrés Criollo Paredes

Jurado

José Camilo Eraso Guerrero

Jurado

Página de nota de exclusión de responsabilidad intelectual

“El pensamiento que se expresa en esta obra es exclusivamente responsabilidad de su autor y no compromete la ideología de la Universidad CESMAG”

Dedicatoria

A mis pilares, a quienes han sido mi constante inspiración y apoyo a lo largo de esta travesía académica y profesional. A Dios, quien con su amor infinito y sabiduría guía cada paso de mi camino, brindándome fuerza y esperanza en los momentos de dificultad. A mi hijo, quien con su sonrisa y amor incondicional ilumina cada uno de mis días, recordándome siempre el verdadero propósito de mis esfuerzos. A mi esposa, cuyo amor, paciencia y comprensión han sido el sostén inquebrantable en los momentos de desafío y alegría. A mi madre, fuente inagotable de sabiduría, cuyo ejemplo de sacrificio y dedicación me impulsa a alcanzar mis sueños más ambiciosos. A mi hermana, cuyo cariño y complicidad han sido un bálsamo en los momentos difíciles, recordándome que nunca estoy solo en este camino. A mi compañero, cuyo apoyo y colaboración han enriquecido cada etapa de este viaje, convirtiendo los desafíos en oportunidades de crecimiento. A mi padre, cuya guía y ejemplo han marcado el rumbo de mi vida, recordándome siempre la importancia de la integridad y el respeto. Y a mi asesor de tesis, cuya orientación experta y dedicación han sido fundamentales para el desarrollo de este trabajo.

A cada uno de ustedes, y a mi familia, les dedico este logro. Su amor, su confianza y su presencia han sido el combustible que me ha impulsado a alcanzar este hito en mi carrera profesional. Que esta tesis sea un modesto tributo a su influencia en mi vida y un testimonio de mi profundo agradecimiento por todo lo que han hecho por mí. Hoy celebro este logro con ustedes, sabiendo que su amor y apoyo, junto con la gracia divina, son el verdadero motor que impulsa mis sueños.

Andrés Felipe Guerra Ricaurte

Dedicatoria

Con profunda gratitud, elevo mi más sincero agradecimiento a Dios, fuente de toda sabiduría y amor infinito, cuya gracia ha guiado cada paso de mi camino. En Su inmensa bondad, he encontrado fortaleza en los momentos de debilidad, esperanza en la adversidad y luz en la oscuridad. Que este logro sea un reflejo de Su misericordia y un recordatorio constante de Su presencia amorosa en mi vida.

A mis padres, quienes han sido mi ancla en las tormentas y mi faro en la oscuridad, les dedico este logro con profundo amor y admiración. Su sacrificio y ejemplo inquebrantable han sido el cimiento sobre el cual he construido mis sueños. Que su amor y orientación continúen iluminando mi camino hacia un futuro lleno de logros y realizaciones.

A mis hermanos, compañeros de aventuras y confidentes de mis sueños, les agradezco por su apoyo incondicional y su inquebrantable fe en mí. Juntos hemos compartido risas y lágrimas, celebraciones y desafíos, creando recuerdos que atesoraré por siempre. Que nuestra unión siga siendo un faro de fortaleza y alegría en los días venideros.

A mi asesor, guía sabio y mentor dedicado, le debo un profundo reconocimiento por su invaluable orientación y apoyo durante este viaje académico. Sus consejos expertos y su paciencia infinita han sido fundamentales para mi crecimiento personal y profesional. Que su sabiduría continúe inspirándome a alcanzar nuevas alturas y a ser siempre el mejor de mí mismo.

A mi compañero de tesis y demás amigos, quienes han sido mi familia elegida y mis cómplices en las travesuras de la vida, les agradezco por su amistad sincera y su inquebrantable lealtad. Juntos hemos compartido alegrías y penas, sueños y desafíos, creando lazos que perdurarán más allá del tiempo y la distancia. Que nuestra amistad siga siendo un faro de esperanza y alegría en cada paso del camino.

Anderson Camilo Rosero Realpe

Contenido

Nota de Aceptación	3
Lista de figuras	12
Listado de Tabla	13
Introducción.....	14
1. El Problema de Investigación	15
1.1 Objeto de Investigación	15
1.2 Línea de Investigación	15
1.3 Sub línea.....	15
1.4 Planteamiento o Descripción del Problema	15
1.5 Formulación del Problema	16
1.6 Objetivos	16
1.6.1 Objetivo General.....	16
1.7 Justificación	17
1.8 Viabilidad.....	18
1.9 Delimitación.....	18
2. Tópicos del Marco Teórico	20
2.1 Antecedentes	20
2.1.1 Electrostatically driven fog collection using space charge injection.....	20
2.1.2 Recolección de niebla con materiales hidrofóbicos	23
2.1.3 Particle separation by dielectrophoresis	24
2.1.4 Enhanced water capture induced with electrowetting-on-dielectric (EWOD) approach	25
2.1.5 Electrostatic fog Water Collection	26
2.1.6 Fog Droplet Collection by Corona Discharge in a Needle–Cylinder Electrostatic Precipitator with a Water-Cooling System	27

2.2	Enunciados de los supuestos teóricos	30
2.2.1	Fenómeno de la neblina.....	30
2.2.2	Fuente electrostática	31
2.3	Definición de conceptos.....	33
2.3.1	Definición nominal de conceptos	33
2.4	Hipótesis	33
2.4.1	Hipótesis de investigación.....	33
2.4.2	Hipótesis nula	34
2.4.3	Hipótesis alternativa	34
3.	Metodología	35
3.1	Enfoque.....	35
3.2	Paradigma	35
3.3	Método	35
3.4	Tipo de investigación.....	35
3.5	Diseño de investigación	36
3.6	Universo.....	36
3.7	Muestra	36
3.8	Técnicas de recolección de la información.....	37
3.8.1	Variables de Entrada:.....	37
3.8.2	Variable de Salida:.....	37
3.8.3	Precisión de la Jeringa:	37
3.8.4	Consistencia en las Medidas:.....	37
3.8.5	Registro de Datos Detallado:.....	37
3.8.6	Validez de la técnica.....	38
3.8.7	Confiabilidad de la técnica	38

3.9	Instrumentos de recolección de la información	38
4.	Resultados	39
4.1	Diseño del prototipo de recolección de agua	39
4.1.1	Diseño de la malla realizado en tinkercad	39
4.1.2	Diseño de fuente electrostática	40
4.2	Construcción de prototipo	41
4.2.1	Construcción de la malla	41
4.3	Implementación de un humificador de agua	43
4.3.1	Construcción de la fuente electrostática	45
4.4	Pruebas de funcionamiento de la fuente.	47
4.5	Obtención de datos por la malla sin campo eléctrico y con campo eléctrico	48
4.1	Implementación operativa del sistema de captación de agua en un entorno real ...	49
5.	Análisis y Discusión de resultados	51
5.1	Comportamiento de las moléculas de agua en un campo eléctrico generado	51
5.1.1	Ionización de moléculas de agua:	51
5.1.2	Interacción con el Campo Eléctrico:	51
5.1.3	Atracción de moléculas:	52
5.2	Datos obtenidos por las mallas en horario matutino	52
5.2.1	Datos obtenidos por la malla sin campo eléctrico en horario matutino	53
5.2.2	Datos obtenidos por la malla con campo eléctrico en horario matutino	54
5.3	Datos obtenidos por las mallas en horario nocturno	55
5.3.1	Datos obtenidos por la malla sin campo eléctrico en horario nocturno	55
5.3.2	Datos obtenidos por la malla con campo eléctrico en horario nocturno	56
5.4	Resultados de la malla convencional y con fuente electrostática	58

5.4.1	Resultados de la malla convencional y con fuente electrostática en horario matutino	58
5.4.2	Resultados de la malla convencional y con fuente electrostática en horario nocturno	59
5.5	Análisis comparativo de las pruebas con y sin campo eléctrico	60
5.6	Comparación cuantitativa de la eficiencia de recolección de agua	62
5.6.1	Eficiencia del sistema convencional:	63
5.6.2	Eficiencia del sistema con fuente electrostática:	63
5.6.3	Interpretación de los resultados	64
5.6.4	Análisis estadístico de estadístico de los resultados	64
5.7	Resumen de resultados promedio	66
5.7.1	Sistema convencional (sin campo eléctrico)	66
5.7.2	Sistema con fuente electrostática	66
5.8	Regresión lineal de análisis de datos con variación de tamaño	67
5.8.1	Datos recolectados por las mallas	68
5.8.2	Promedio de datos recolectados	69
5.8.3	Análisis de la regresión lineal	71
5.8.4	Proyección de medida de las mallas en la recolección de agua con fuente electrostática	74
5.9	Regresión lineal de análisis de datos con variación de voltaje	77
5.9.1	Datos recolectados por las mallas	77
5.9.2	Análisis de resultados obtenidos con variación de voltaje	78
5.9.3	Análisis de tendencia potencial y exponencial	80
5.9.4	Proyección de la recolección de agua con fuente electrostática con respecto al tiempo	81

5.10	Comparación directa con la investigación (Electrostatically driven fog collection using space charge injection).....	82
5.10.1	Intensidad del Campo Eléctrico.....	84
5.10.2	Condiciones Experimentales	84
5.11	Datos obtenidos por el sistema de captación de agua en un ambiente real.....	84
5.11.1	Datos obtenidos por el sistema de captación de agua sin fuente electrostática en un ambiente real	85
5.11.2	Datos obtenidos por el sistema de captación de agua con fuente electrostática en un ambiente real	85
5.12	Análisis comparativo de las pruebas con y sin campo eléctrico en un ambiente real	86
5.13	Comparación cuantitativa de la eficiencia de recolección de agua en un ambiente real	87
5.13.1	Eficiencia del sistema convencional en un ambiente real:	87
5.13.2	Eficiencia del sistema con fuente electrostática:	87
5.13.3	Interpretación de los resultados	88
	Conclusiones	89
	Recomendaciones	91
	Trabajos futuros.....	92
	Referencias	93

Lista de figuras

Figura 1. Trayectorias de gotas de niebla alrededor de un cilindro con y sin aplicación de descarga de corona.....	22
Figura 2. Curvas características voltamperométrías de la descarga de corona en aire húmedo.....	27
Figura 3. Diseño de la malla en Tinkercad.....	39
Figura 4. Esquema de fuente electrostática.....	40
Figura 5. Conexión de las mallas.	41
Figura 6. Estructura de madera	42
Figura 7. Diseño de dos mallas de recolección de agua.....	43
Figura 8. Humidificador de agua.....	44
Figura 9. Fuente Electrostática.....	45
Figura 10. Diseño de flyback en proteus.....	46
Figura 11. Elevador flyback DC-AC.....	46
Figura 12. Diseño de Multiplicador de voltaje.....	47
Figura 13. Descarga eléctrica de la fuente	48
Figura 14. Prueba de funcionamiento en campo cerrado.....	49
Figura 15. Instalación de prototipo en ambiente real	50
Figura 16. Gráfico de datos en horario matutino	59
Figura 17. Gráfico de datos en horario matutino	60
Figura 18. Grafica de resultados con y sin campo eléctrico.....	62
Figura 19. Grafica de datos promedio	67
Figura 20. Regresión lineal con respecto a la diferencia de agua recolectada.	73
Figura 21. Regresión lineal con respecto a agua obtenida con campo eléctrico	75
Figura 22. Grafica de tendencia Potencial	79
Figura 23. Grafica de tendencia exponencial	80
Figura 24. Gráfico de resultados promedio en la comparación con antecedente	83

Listado de Tabla

Tabla 1. Comparación de tecnologías de antecedentes y de nuestro prototipo	29
Tabla 2. Resultados de la malla sin campo eléctrico en horario matutino	53
Tabla 3. Resultados de la malla con campo eléctrico en horario matutino	54
Tabla 4. Resultados de la malla sin campo eléctrico en horario nocturno	55
Tabla 5. Resultados de la malla con campo eléctrico en horario nocturno	57
Tabla 6. Comparación de resultados con fuente y sin fuente en horario matutino	58
Tabla 7. Comparación de resultados con fuente y sin fuente en horario nocturno	59
Tabla 8. Análisis de resultados con y sin campo eléctrico	61
Tabla 9. Datos promedio de captación de agua matutinos y nocturnos	66
Tabla 10. Promedio de recolección de agua con distintos tamaños de agua	68
Tabla 11. Comportamiento de recolección de agua	71
Tabla 12. Diferencia de agua recolectada con y sin campo.....	73
Tabla 13. Recolección de agua de la malla electrostática.	74
Tabla 14. Datos recolectados con variación de voltaje	77
Tabla 15. Proyección de recolección de un litro con variación de voltaje.	82
Tabla 16. Comparación de resultados obtenidos con un antecedente	83
Tabla 17. Variables medidas en campo real	84
Tabla 18. Dato obtenido en campo real por malla sin fuente	85
Tabla 19. Dato obtenido en campo real por la malla con campo eléctrico.....	85
Tabla 20. Análisis comparativos entre las dos mallas	86

Introducción

El aumento de consumo de agua dulce ha generado preocupación en diversas regiones del mundo, debido al agotamiento de este recurso y a la posibilidad de una escasez extrema en un futuro no muy lejano (Triana-Madrid et al., 2021). Las poblaciones que enfrentan una mayor escasez de este recurso han logrado desarrollar estrategias para hacer frente a este desafío. Uno de los más accesibles y utilizados es el colector de agua caseros por medio de tubos capilares (Pinzón, 2018), donde en zonas con difícil acceso a agua, pero con presencia de neblina, han logrado obtener este valioso recurso para su uso cotidiano. Sin embargo, este sistema se ve limitado por su baja eficiencia en la captación de agua, lo que ha llevado a un creciente interés global en la implementación de componentes electrónicos en tales sistemas de recolección de agua, en lo cual, con la ayuda de un campo eléctrico las partículas de la neblina sean atraídas en mayor cantidad (Fu et al., 2022).

Dicho lo anterior, es importante resaltar que, en Colombia existen varias regiones donde el acceso al agua es limitado, donde la dependencia de este recurso natural es de amplia importancia en todos los campos posibles, este fenómeno y la falta en el acceso de agua a toda la población es un problema que parece a futuro no mejorar, por eso es importante investigar e implementar prototipos capaces de captar agua, se espera que con un sistema de captación de agua aplicando una fuente electrostática, la eficiencia al momento de obtener agua sea alto y que se demuestre como la aplicación de un campo eléctrico en verdad ayuda a atraer las partículas del aire.

En el contexto de esta investigación, se desarrollará un sistema de captación de agua utilizando una fuente electrostática, con el objetivo de mejorar la eficiencia en la recolección de agua. Es importante resaltar que este proceso se llevará a cabo de manera ambientalmente limpia.

El proceso se llevará en un entorno con variables específicas. Con el fin de comprender de manera completa el funcionamiento y comportamiento de las partículas del aire en la malla con campo eléctrico, se emplearán valores de flujo, intervalos de tiempo, humedad y temperatura. Se comparará un sistema con fuente electrostática con un sistema de captación de agua convencionales, ambos operando en condiciones y ambiente similares.

1. El Problema de Investigación

1.1 Objeto de Investigación

Estudio de un sistema de captación de agua aplicando una fuente electrostática.

1.2 Línea de Investigación

Automatización y control: El área de sistemas de automatización y control de la Institución Universitaria CESMAG desarrolla procesos investigativos orientados al modelamiento, simulación, diseño, desarrollo y evaluación de algoritmos de control, sistemas de control, sistemas inteligentes, control de procesos industriales, sistemas embebidos, acondicionamiento y procesamiento de señales, robótica, domótica e inteligencia artificial.

1.3 Sub línea

Control de procesos: Estudia el diseño e implementación de controladores que permitan regular las variables de un sistema o proceso con el fin de lograr un funcionamiento deseado, buscando mejorar la productividad y la eficiencia de los procesos, como también la reducción de costos de implementación y el impacto ambiental del mismo. Entre las temáticas que aborda la línea se encuentran el control en procesos industriales, sistemas inteligentes y control visual.

1.4 Planteamiento o Descripción del Problema

El agua es un recurso vital fundamental para la supervivencia de los seres vivos y desempeña un papel crucial en múltiples aspectos de la vida humana y del ecosistema. Además de ser esencial para la agricultura, la industria y la higiene, donde su importancia es innegable, el agua también cumple una serie de funciones indispensables para el bienestar general. Entre estas funciones se incluyen el mantenimiento de los ecosistemas acuáticos, el apoyo a la biodiversidad, la regulación del clima local y global, y la provisión de recreación. Es crucial reconocer la amplia gama de beneficios que el agua aporta a la sociedad y al medio ambiente, y cómo su gestión adecuada es esencial para garantizar un futuro sostenible para las generaciones venideras. Sin embargo, el gran aumento del consumo de agua dulce ha provocado que la escasez de agua sea un problema cada vez más grave que enfrenta la humanidad. Tanto que se ha

convertido en un objetivo de desarrollo sostenible estipulado en la (ODS 6), el cual tiene como objetivo garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible de agua (Naciones Unidas, 2019).

En el departamento de Nariño, la población rural enfrenta graves desafíos debido a las sequías climáticas y a la falta de inversión en infraestructuras hídricas. Estas condiciones han tenido un impacto significativo en la producción agrícola y en la población ganadera, quienes dependen del agua para sus cultivos, la cría de ganado y el mantenimiento de su salud (Triana-Madrid et al., 2021). A pesar de estas adversidades, Nariño ostenta uno de los niveles más altos de producción agrícola a nivel nacional (Minagricultura, 2017), lo que subraya aún más la importancia crítica del agua en este contexto agrícola.

En este proyecto, se desarrolla un sistema de condensación de agua adaptado a una fuente electrostática, que utiliza la carga eléctrica para atraer las partículas de agua presentes en la atmósfera y permitir su recolección. La fuente electrostática está compuesta por un generador de alta tensión, que produce una corriente eléctrica que se aplica a un electrodo en forma de alambre o de placa. La corriente eléctrica ioniza el aire que rodea el electrodo, creando una zona de carga positiva cerca del electrodo y una zona de carga negativa en el aire circundante.

Sin embargo, se desconoce la eficiencia de la aplicación de la fuente electrostática en la malla condensadora. Para ello, es necesario tomar muestras, implementar la fuente en el sistema y medir su eficiencia en comparación con los valores de un condensador casero. De esta manera, se podrá evaluar la eficiencia de la fuente electrostática en un sistema de condensación de agua y su potencial para combatir la escasez hídrica en zonas afectadas por sequías.

1.5 Formulación del Problema

¿Cuál es la eficiencia que brinda una fuente electrostática en un sistema de captación de agua?

1.6 Objetivos

1.6.1 Objetivo General

Determinar la eficiencia de un sistema de captación de agua con una fuente electrostática, mediante el diseño, implementación y análisis comparativo de un prototipo, para optimizar la recolección en condiciones controladas y demostrar su mejora frente a sistemas tradicionales.

Objetivos específicos

- Diseñar un prototipo de recolección de agua por captación utilizando una malla metálica y una fuente electrostática.
- Implementar el prototipo en un lugar bajo las mismas condiciones de humedad y temperatura.
- Medir y analizar la cantidad de agua recolectada por el prototipo y compararla con la de un sistema casero.

1.7 Justificación

La cantidad de agua en nuestro planeta es limitada, y la crisis hídrica se está intensificando rápidamente. Con el crecimiento acelerado de la población mundial, el uso del agua aumenta a un ritmo aún mayor. Actualmente, un tercio de la población mundial vive en países que sufren de escasez de agua, y se espera que para el año 2025, esta cifra aumente a dos tercios, exacerbando la crisis hídrica global (Kirby, 2004)

En este contexto, la necesidad de encontrar soluciones innovadoras y sostenibles para la captación y aprovechamiento del agua se vuelve crucial. La tecnología propuesta en este proyecto aprovecha la humedad presente en el aire para producir agua. Este proceso es particularmente beneficioso en regiones costeras o tropicales, donde la humedad relativa es alta, y representa un método sostenible para obtener este recurso vital.

La recolección de agua por captación puede convertirse en una solución accesible y económica para comunidades tanto rurales como urbanas alrededor del mundo. Con la adopción de tecnologías apropiadas y la capacitación adecuada, este método puede proveer una fuente segura y confiable de agua para millones de personas.

El uso de una fuente electrostática en la recolección de agua tiene el potencial de aumentar significativamente la disponibilidad de este recurso. Esta tecnología permitiría a las comunidades ser más flexibles frente a eventos climáticos extremos como sequías y otros desastres naturales relacionados con el clima. Además, la implementación de este sistema ayudaría a reducir la dependencia de las fuentes convencionales de agua, proporcionando acceso a agua en lugares donde estas fuentes son limitadas o inexistentes.

El mecanismo propuesto en este trabajo es innovador, utilizando una fuente electrostática que genera un campo eléctrico capaz de ionizar las moléculas de agua presentes en el aire. Este campo eléctrico atrae y concentra las moléculas de agua de la neblina, mejorando la eficiencia del sistema de captación de agua. De esta manera, se ofrece una solución tecnológica avanzada que puede hacer frente a uno de los mayores desafíos globales de nuestra era: la escasez de agua.

1.8 Viabilidad

El experimento se llevará a cabo en un ambiente cerrado, teniendo en cuenta varios factores adicionales para evaluar su viabilidad. El espacio disponible será el laboratorio de física de la Universidad Cesmag, que ofrece un entorno controlado. La ventilación se mantendrá adecuada, con ventanas cerradas y sin variaciones en el flujo de aire, para asegurar condiciones constantes. Además, se utilizará un generador de voltaje proporcionado por la universidad, y se medirán la temperatura y la humedad con dispositivos específicos de la Universidad Cesmag. Estos factores son cruciales, ya que pueden influir en la eficiencia del sistema de captación de agua.

1.9 Delimitación

En esta investigación, en el contexto de métodos de captación de agua disponibles, se ha tomado la decisión de abordar la investigación de manera sofisticada y avanzada. En la cual se ha optado por la aplicación de una fuente electrostática al método convencional de recolección de agua.

En este proyecto, se plantea la implementación de un enfoque casero de captación utilizando una malla artesanal y un dispositivo humidificador, simulando las condiciones de una neblina. Esta estrategia se considerará como un punto de partida fundamental para evaluar la viabilidad de esta investigación.

Posteriormente, se llevará a cabo la implementación de una malla metálica la cual debe tener como características principales ser un material metálico con resistencia a la corrosión, la cual se le adaptara el diseño de una fuente electrostática que mediante pruebas a distintas cargas tiene como objetivo potenciar su eficiencia en la atracción y retención de partículas de agua. La manera en que funciona sobre la malla es a través de la generación de un campo eléctrico. Esta implementación permitirá una evaluación comparativa precisa y detallada de la eficiencia de dicho sistema, Estableciendo como criterio fundamental la cantidad de agua condensada en

militros (ml) por unidad de tiempo en horas (hrs). Este enfoque medirá y cuantificará de manera rigurosa el rendimiento de cada variante del sistema de captación propuesto.

2. Tópicos del Marco Teórico

2.1 Antecedentes

2.1.1 *Electrostatically driven fog collection using space charge injection.*

En este artículo realizado por Damak y Varanasi (2017), se presenta una nueva técnica basada en la inyección de carga espacial para mejorar la eficiencia de la recolección de niebla mediante colectores electrostáticos. El dispositivo de recolección de niebla electrostática consta de dos placas recolectoras, una de las cuales está conectada a un generador de alta tensión. La aplicación de una carga eléctrica a la placa conectada al generador de alta tensión genera un campo eléctrico en el espacio entre las dos placas recolectoras. Este campo eléctrico ioniza las partículas de agua cargadas en la niebla y las atrae hacia la placa conectada al generador de alta tensión, donde se recolectan en forma de agua líquida. Además, se presenta un modelo matemático que permite simular y analizar la recolección de niebla mediante colectores electrostáticos con inyección de carga espacial. En el modelo matemático, los autores describen la dinámica de las partículas de agua cargadas en la niebla y cómo se ven afectadas por la aplicación de un campo eléctrico. El modelo también tiene en cuenta los efectos de la fuerza gravitacional, la viscosidad del aire y las propiedades de la superficie de recolección.

Los autores utilizaron simulaciones numéricas basadas en este modelo matemático para predecir el rendimiento del dispositivo de recolección de niebla electrostática. También realizaron pruebas experimentales para verificar la precisión del modelo y la eficacia del dispositivo.

El modelo matemático en términos de las ecuaciones utilizadas por los autores:

La densidad de carga en una superficie dada se puede expresar de acuerdo a la ecuación 1:

$$\rho = \epsilon_0 \epsilon_r E \quad (1)$$

Donde ρ es la densidad de carga, ϵ_0 es la constante dieléctrica del vacío, ϵ_r es la constante dieléctrica del medio, y E es la intensidad del campo eléctrico.

La fuerza neta que actúa sobre una partícula de niebla se puede expresar como en la ecuación 2:

$$F = F_c + F_d + F_e \quad (2)$$

Donde:

F_c : la fuerza de Coulomb.

F_d : es la fuerza de arrastre.

F_e : es la fuerza electrostática.

La fuerza de Coulomb se puede expresar como en la ecuación 3:

$$F_c = kq \frac{q_1}{r^2} \quad (3)$$

Donde k es la constante de Coulomb, q y q_1 son las cargas en las partículas de niebla y en la superficie recolectora, respectivamente, y r es la distancia entre las partículas de niebla y la superficie recolectora.

La fuerza de arrastre se puede expresar como en la ecuación 4:

$$F_d = 6\pi\mu r v \quad (4)$$

Donde μ es la viscosidad del aire, r es el radio de la partícula de niebla, y v es la velocidad del aire.

La fuerza electrostática se puede expresar como en la ecuación 5:

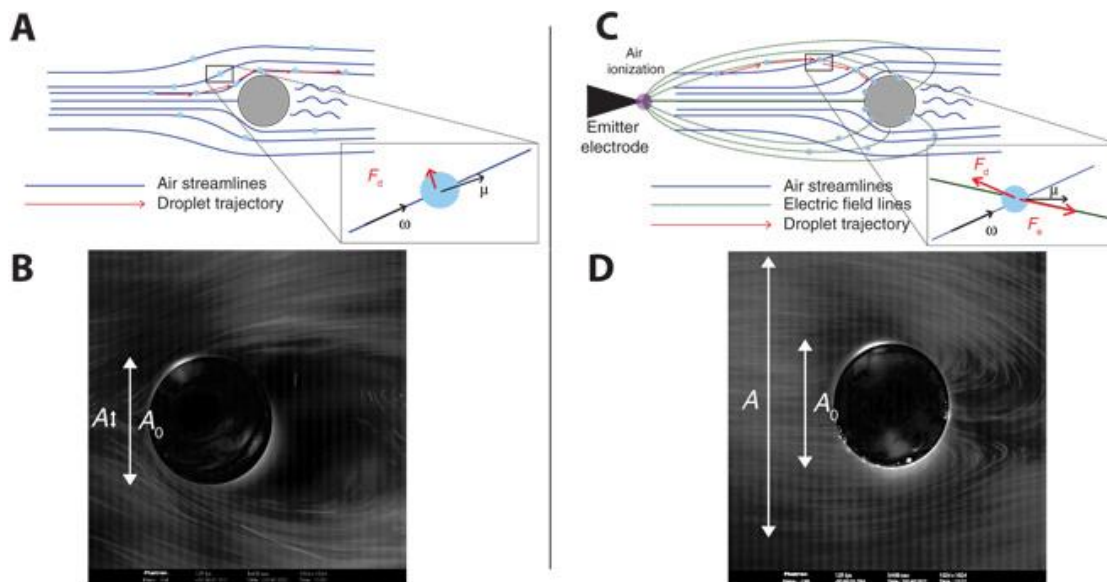
$$F_e = qE \quad (5)$$

Donde q es la carga en la partícula de niebla.

Para el análisis utilizaron estas ecuaciones para desarrollar un modelo matemático que describe cómo las partículas de niebla interactúan con la superficie recolectora bajo la influencia de un campo eléctrico. Luego utilizaron este modelo para predecir la eficiencia de recolección del dispositivo de recolección de niebla electrostática en diferentes condiciones.

Figura 1.

Trayectorias de gotas de niebla alrededor de un cilindro con y sin aplicación de descarga de corona.



Fuente: Maher Damak & Kripa K, 2017.

Los investigadores involucrados en la figura 1 muestran el comportamiento de las partículas en el aire y presentan los resultados para evaluar la eficiencia del método de recolección de niebla electrostático en diferentes condiciones de humedad relativa y velocidad del viento.

Para evaluar el rendimiento del dispositivo de recolección de niebla electrostática los autores presentaron algunos de los resultados cuantitativos más relevantes:

El dispositivo de recolección de niebla electrostática demostró una eficiencia de recolección del 26% en condiciones de densidad de niebla baja ($0,05 \text{ g/m}^3$) y una velocidad del viento de $1,5 \text{ m/s}$, en comparación, un recolector de niebla convencional basado en la recolección por impacto tuvo una eficiencia de recolección del 2% en las mismas condiciones.

El dispositivo de recolección de niebla electrostática pudo recolectar hasta 13 veces más agua que el recolector de niebla convencional en condiciones de densidad de niebla baja.

Los responsables del estudio realizaron simulaciones numéricas para estudiar cómo la intensidad del campo eléctrico y la distancia entre las placas recolectoras afectan el rendimiento del dispositivo. Los resultados mostraron que la eficiencia de recolección aumenta con una mayor intensidad del campo eléctrico y una menor distancia entre las placas recolectoras.

El equipo de investigación también evaluó cómo la velocidad del viento y el tamaño de las partículas de agua afectan el rendimiento del dispositivo. En general, encontraron que el rendimiento del dispositivo disminuye con una mayor velocidad del viento y un tamaño de partícula de agua más pequeño.

En los experimentos realizados, los autores recolectaron hasta 0,5 litros de agua por hora utilizando el dispositivo de recolección de niebla electrostática en condiciones de niebla densa (1,1 g/m³) y una velocidad del viento de 3 m/s.

Estos son solo algunos de los resultados cuantitativos presentados en el estudio, pero dan una idea de cómo el dispositivo de recolección de niebla electrostática puede ser eficaz para recolectar agua de la niebla en condiciones adecuadas.

2.1.2 Recolección de niebla con materiales hidrofóbicos

En este artículo realizado por Knapczyk-Korczak et al (2020), se realizó un experimento en el cual se centró en la modificación de mallas Raschel, las cuales son ampliamente utilizadas debido a su disponibilidad y costo relativamente bajo. Las nanofibras hidrofílicas fueron seleccionadas específicamente por su capacidad para atraer y retener moléculas de agua. Este material se aplicó a las mallas utilizando técnicas de electrospinning, un proceso que permite la fabricación de fibras extremadamente finas con una alta superficie específica.

Las mallas modificadas fueron sometidas a pruebas en un entorno controlado de niebla, utilizando una cámara de niebla que simulaba condiciones de alta humedad. Se midió la cantidad de agua recolectada en intervalos regulares para evaluar la eficiencia de las mallas tratadas en comparación con las no tratadas.

Los resultados mostraron que con la malla convencional se recolectaron 10 ml de agua, mientras que con las mallas de nanofibras hidrofílicas se recolectaron 30 ml de agua. Esto demuestra una mejora significativa en la eficiencia de recolección gracias a la incorporación de nanofibras.

La investigación destaca cómo la incorporación de materiales avanzados, como las nanofibras hidrofílicas, puede mejorar significativamente la eficiencia de los sistemas de recolección de niebla. Las nanofibras aumentan la superficie específica de las mallas, lo que permite una mayor interacción con las partículas de agua en la niebla. Esta mayor interacción facilita la coalescencia de las gotas, aumentando la eficiencia de recolección.

Además, el estudio sugiere que la estructura y el material de las nanofibras juegan un papel crucial en la eficiencia de recolección. Las fibras hidrofílicas atraen y retienen las gotas de agua, facilitando su crecimiento y eventual deslizamiento hacia los colectores. Esto es especialmente relevante en condiciones de baja humedad, donde la recolección de agua puede ser más desafiante.

2.1.3 Particle separation by dielectrophoresis

En este Artículo realizado por Gascoyne y Vykoukal (2002), se describe la técnica de separación de partículas por dielectroforesis (DEP), que es un método de separación de partículas que aprovecha las fuerzas eléctricas en presencia de gradientes de campo eléctrico no uniformes. La DEP se utiliza comúnmente para separar partículas biológicas, pero también se ha utilizado en aplicaciones industriales para la separación de partículas.

Los autores del estudio describen los principios físicos detrás de la DEP y las diferentes formas en que se puede implementar en sistemas de separación de partículas. También presentan ejemplos de aplicaciones de la DEP, como la separación de células biológicas y la purificación de partículas en la industria.

La dielectroforesis es un fenómeno en el que las partículas neutras en un campo eléctrico no uniforme se polarizan y se mueven hacia las regiones de mayor intensidad del campo eléctrico. La fuerza de dielectroforesis depende de la polarizabilidad de la partícula y de la intensidad y gradiente del campo eléctrico.

En este artículo, los autores utilizaron un dispositivo microfluídico para separar partículas basándose en su tamaño y polarizabilidad. El dispositivo consistía en dos electrodos paralelos, uno en la parte superior y otro en la parte inferior, y un canal microfluídico entre ellos.

Cuando se aplicaba un campo eléctrico a través de los electrodos, las partículas cargadas en el canal microfluídico se movían hacia la región de mayor intensidad del campo eléctrico. Debido a que la fuerza de dielectroforesis depende del tamaño y polarizabilidad de la partícula, las partículas se separaron en función de su tamaño y polarizabilidad.

Los autores demostraron que el dispositivo microfluídico podía separar partículas con una precisión de hasta el 90% en función de su tamaño y polarizabilidad. Además, el dispositivo también fue capaz de separar partículas de diferentes materiales y formas.

En general, este artículo demuestra el potencial de la dielectroforesis como una técnica de separación de partículas y su capacidad para separar partículas con alta precisión en función de su tamaño y polarizabilidad.

El artículo describe el fenómeno de dielectroforesis, que es un proceso importante en la captación de partículas en sistemas electrostáticos. Entender cómo funciona la dielectroforesis nos ayudara a comprender mejor los mecanismos detrás de la captación de agua utilizando una fuente electrostática.

2.1.4 Enhanced water capture induced with electrowetting-on-dielectric (EWOD) approach

El artículo realizado por Yan et al (2018), puede mejorar significativamente la captura de agua. Esta técnica implica el uso de dispositivos que alteran la mojabilidad de las superficies de hidrofóbicas a hidrofílicas cuando se aplica un campo eléctrico, facilitando así la recolección y condensación de gotas de agua.

El dispositivo EWOD utilizado en el estudio es una estructura plana fabricada con materiales dieléctricos. Al aplicar un campo eléctrico a ciertas áreas del dispositivo, la superficie cambia su mojabilidad, pasando de ser hidrofóbica (repelente al agua) a hidrofílica (atrayente al agua). Este cambio de propiedades superficiales permite que las gotas de agua se adhieran y se acumulen más fácilmente en las áreas tratadas.

Para probar la efectividad del dispositivo, los investigadores lo colocaron en un entorno de alta humedad bajo flujo de niebla. La capacidad de captura de agua se midió comparando la cantidad de agua recolectada con y sin la aplicación del campo eléctrico.

Este enfoque tiene un gran potencial para aplicaciones en áreas con alta humedad y escasez de agua, donde la recolección eficiente de agua es crucial. La tecnología EWOD puede integrarse en sistemas de captación de agua para aumentar su eficiencia, ofreciendo una solución innovadora para mejorar la disponibilidad de agua en regiones desérticas y costeras.

La capacidad del dispositivo para cambiar dinámicamente sus propiedades superficiales mediante la aplicación de un campo eléctrico lo convierte en una herramienta adaptable y eficiente para diversas condiciones ambientales. Esto lo hace particularmente útil en la recolección de agua de la niebla y otros métodos de captación de agua atmosférica.

Los resultados del estudio mostraron que el dispositivo EWOD mejoró significativamente la captura de agua en comparación con métodos tradicionales. En condiciones de prueba, el dispositivo EWOD recolectó una cantidad de agua notablemente mayor. Específicamente, se

observó que la aplicación del campo eléctrico aumentaba la eficiencia de recolección de agua en más del 50% en comparación con las superficies sin tratamiento.

En detalle, con la superficie sin EWOD se recolectaron 10 ml de agua, mientras que con la aplicación de EWOD se recolectaron 15 ml de agua. Este incremento destaca la efectividad del dispositivo EWOD en la mejora de la eficiencia de recolección de agua, subrayando su potencial para ser una solución efectiva en la captación de agua en condiciones desafiantes.

2.1.5 Electrostatic fog Water Collection

En este Artículo realizado por Cruzat y Jerez-Hanckes (2018), presenta una técnica novedosa para recolectar agua de la niebla utilizando la carga electrostática. La idea es atraer las partículas de agua hacia una superficie cargada eléctricamente y recolectarlas allí.

Este enfoque se basa en la propiedad de las partículas cargadas eléctricamente de moverse en un campo eléctrico. En este caso, la carga electrostática es utilizada para atraer las partículas de agua de la niebla hacia una superficie cargada eléctricamente.

El artículo describe el diseño de un colector electrostático de niebla, y presenta resultados experimentales que muestran la eficiencia de recolección de agua utilizando este enfoque. El diseño del sistema consistía en una malla de alambre de acero inoxidable de alta resistencia que se colocó en un soporte de marco rectangular. La malla de alambre estaba conectada a un generador de alta tensión que proporcionaba una carga electrostática a la malla.

El sistema también incluía un dispositivo de medición de flujo de agua que permitía medir la cantidad de agua recogida durante los experimentos. La malla de alambre se colocó a una altura de aproximadamente un metro sobre el dispositivo de medición de flujo de agua.

Los experimentos se realizaron en una cámara de prueba que simulaba las condiciones de niebla. La cámara de prueba estaba diseñada para controlar la humedad relativa del aire, la temperatura y la velocidad del viento.

Los resultados que obtuvieron que la eficiencia de recolección de agua de la niebla aumentó significativamente con la carga electrostática aplicada a la malla de alambre. Cuando se aplicó una carga electrostática de 20 kV a la malla de alambre, la eficiencia de recolección de agua aumentó de 0,6% (para una malla sin carga electrostática) a más del 50%.

Los autores también midieron la tasa de recolección de agua en diferentes condiciones experimentales. En general, encontraron que la tasa de recolección de agua aumentó con la humedad relativa del aire y disminuyó con la velocidad del viento. Por ejemplo, cuando la

humedad relativa del aire era del 100% y la velocidad del viento era de 1 m/s, la tasa de recolección de agua fue de 1,25 L/h/m².

Además, los autores midieron la cantidad de agua recogida durante los experimentos. En condiciones óptimas (es decir, con una carga electrostática de 20 kV, una humedad relativa del aire del 100% y una velocidad del viento de 1 m/s), la cantidad de agua recogida fue de aproximadamente 0,4 L/h/m².

Estos resultados cuantitativos demuestran el potencial de la carga electrostática para mejorar la eficiencia de recolección de agua de la niebla en sistemas de recolección de agua.

2.1.6 Fog Droplet Collection by Corona Discharge in a Needle–Cylinder Electrostatic Precipitator with a Water-Cooling System

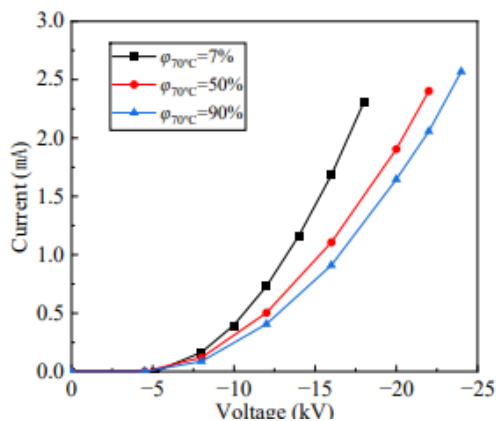
En este Artículo realizado por Fu et al. (2022), presenta un estudio sobre un sistema de recolección de gotas de neblina utilizando un precipitador electrostático de aguja-cilindro con un sistema de enfriamiento de agua.

El objetivo del estudio fue evaluar la eficacia de este sistema como una alternativa para la recolección de agua en áreas con escasez de agua o donde la calidad del agua es baja.

Además, se realizaron pruebas para comparar la eficacia de la recolección de gotas de neblina entre el precipitador electrostático con y sin enfriamiento de agua. Los resultados mostraron que la eficiencia de recolección de gotas de neblina fue mayor en el precipitador electrostático con enfriamiento de agua, lo que sugiere que el enfriamiento de agua puede mejorar la eficacia de recolección, uno de los resultados obtenidos se explica con la Figura 2.

Figura 2.

Curvas características voltamperométrías de la descarga de corona en aire húmedo



Fuente: Fu et al.

La figura 2 muestra la curva característica voltamétrica de la descarga corona en un tubo de intercambio de calor bajo diferentes niveles de humedad del aire. Se mantuvo la temperatura de entrada del aire húmedo a 70°C y la velocidad del flujo de aire a 0.72 m/s. Los resultados mostraron que a medida que aumentaba la humedad relativa del aire, la corriente disminuía y la tensión de ruptura aumentaba notablemente. Esto se debe a que las moléculas de agua en el aire son fácilmente adsorbidas, reduciendo el número de cargas libres y la corriente de descarga, mientras que aumenta la tensión de corona.

El experimento también reveló que la tensión de corona en el entorno de aire húmedo fue aproximadamente 0.7 kV más baja que en el entorno de aire seco. Esto se atribuye a la disminución gradual de la densidad del aire húmedo con el aumento de la humedad, lo que resulta en un aumento del camino libre molecular y una mayor energía cinética para la aceleración de electrones. Además, las gotas de agua que se adhieren a la superficie del electrodo de corona y se distorsionan bajo el campo eléctrico aumentan el campo eléctrico local. Las gotas en la superficie de los electrodos de metal también reducen la barrera de superficie, debilitando el obstáculo para los electrones libres. Estos factores contribuyen a la disminución de la tensión de inicio de la corona en aire húmedo.

Además, se evaluó la calidad del agua recolectada a través de pruebas físicas y químicas, y se determinó que era adecuada para su uso como agua potable u otros usos domésticos.

En resumen, estos hallazgos sugieren que el uso de un precipitador electrostático de aguja-cilindro con un sistema de enfriamiento de agua para la recolección de gotas de neblina podría ser una alternativa sostenible y viable en áreas donde la disponibilidad o calidad del agua es limitada.

A continuación, en la Tabla 1. Se presenta una comparativa entre las tecnologías presentadas por los antecedentes y nuestra contribución.

Tabla 1.*Comparación de tecnologías de antecedentes y de nuestro prototipo*

Tecnología en Antecedentes	Descripción	Tecnología en nuestro proyecto	Descripción
Inyección de carga espacial para recolección de niebla	Utiliza un generador de alta tensión para crear un campo eléctrico que ioniza las partículas de agua en la niebla, atrayéndolas hacia placas colectoras donde se condensan en agua líquida.		
Recolección de niebla con materiales hidrofóbicos	Aplica nano fibras hidrofílicas sobre mallas Raschel para incrementar la superficie específica y mejorar la recolección de agua al facilitar la coalescencia de gotas.		
Separación de partículas por di electroforesis	Utiliza un campo eléctrico no uniforme para mover y separar partículas polarizadas, basándose en su tamaño y propiedades eléctricas, lo que puede ser adaptado para la captación selectiva de partículas de agua.	Uso de una fuente electrostática con malla metálica	Genera un campo eléctrico mediante un generador de alta tensión aplicado a una malla metálica, lo que aumenta la eficiencia de captación de partículas de agua de la niebla, optimizando la recolección de agua en condiciones ambientales controladas.
Captura de agua inducida con EWOD	Altera la mojabilidad de las superficies mediante la aplicación de un campo eléctrico para cambiarlas de hidrofóbicas a hidrofílicas, facilitando la adhesión y acumulación de gotas de agua.		

2.2 Enunciados de los supuestos teóricos

2.2.1 Fenómeno de la neblina

La neblina se produce por un proceso llamado "condensación", que ocurre cuando el vapor de agua en el aire se enfría y se vuelve líquido en forma de pequeñas gotas suspendidas en el aire con diámetros de aproximadamente (menores a 0.1 mm) que se forman por un proceso llamado condensación de vapor de agua (Morera, Solis, Brenes, Hernandez y Gonzales, 2012), Del mismo modo, la niebla es "hidrometeoro formada por un conjunto de gotas de agua no visibles (o cristales de hielo), lo suficientemente pequeño como para permanecer suspendido en la atmósfera cerca de la superficie de la tierra (Mahecha, 2011).

El contenido del vapor de agua en el aire se conoce como la evaporación de la niebla, y el que se forma cuando la temperatura se reduce al punto de pulverización se llama niebla por enfriamiento (Pramonos, 2015).

2.2.1.1 Tipos de niebla

De acuerdo a Pramonos (2015), La niebla se puede Clasificar de acuerdo al proceso por el cual se forma, ya sea por evaporización o por enfriamiento.

2.2.1.1.1 Niebla por evaporización

La evaporación de la niebla ocurre cuando el agua se evapora en el aire frío. Este cambio en la situación ocurre aumentando el contenido de vapor. Por ejemplo, cuando el flujo de aire frío y seco fluye o permanece en silencio en la superficie del agua, se produce la niebla conocida como niebla de vapor. Cuando llueve, El agua que el sedimento tiene una mayor temperatura del aire circundante, la lluvia cae y el aire tiende a estar saturado, formando una niebla conocida como el frente.

2.2.1.1.2 Niebla por enfriamiento

La niebla de enfriamiento se debe a la aceptación de la capacidad del aire para mantener el vapor de agua cuando la temperatura cae. Para facilitar la condensación del agua presente en una masa de aire, se requiere la presencia de núcleos de condensación (polvo u otras partículas) y la pérdida de temperatura, este descenso ocurre cuando una masa del aire húmedo y cálido penetra en contacto con aire frío.

2.2.2 Fuente electrostática

La implementación de la fuente electrostática es de vital importancia siendo una rama de la Física que estudia las interacciones entre cuerpos cargados eléctricamente y principalmente se utiliza para generar una carga eléctrica estática en un objeto o superficie (Inform et al., 2010). La carga eléctrica generada por la fuente electrostática puede utilizarse para atraer las partículas de agua presentes en el aire. Además, es necesario dar a conocer aspectos importantes como.

2.2.2.1 Generación de la carga electrostática

La carga electrostática se genera a partir de la acumulación de electrones o iones en un objeto o superficie. Esto puede lograrse mediante la transferencia de cargas eléctricas de un material a otro o mediante la ionización del aire.

2.2.2.2 Generación de la carga eléctrica

Se utiliza una fuente de energía eléctrica para generar una carga electrostática en la malla. Esto se puede lograr mediante diferentes métodos, como la ionización del aire o la aplicación de una corriente eléctrica directa, esta se mide en Coulomb (Leskow, 2021).

2.2.2.3 Ley de coulomb

Siendo una de las principales leyes que rigen la electrostática, donde define la fuerza ejercida por un campo eléctrico sobre una carga eléctrica y establece que la fuerza eléctrica de atracción o repulsión entre dos cargas es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa entre ellas (Colorado, 2011), y se expresa matemáticamente de la siguiente manera como en la ecuación 6.

$$F = K_c \frac{|q_1||q_2|}{r^2} \quad (6)$$

Donde:

F: es la fuerza de Coulomb expresada en Newtons (N).

q_1 : es la primera carga puntual expresada en Coulombs (C).

q_2 : es la segunda carga puntual (C).

r: es la distancia entre dos cargas puntuales expresada en metros (m).

K_c : es una constante electrostática cuyo valor es aproximadamente $8,988 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2\cdot\text{C}^{-2}$

2.2.2.4 *Campo eléctrico*

Un campo eléctrico es una región del espacio alrededor de una carga eléctrica en la que otra carga eléctrica experimenta una fuerza. Esta fuerza puede ser de atracción o repulsión dependiendo de la naturaleza de las cargas involucradas ya sean positivas o negativas.

Un campo eléctrico está presente en una región si una carga eléctrica situada en cualquier punto de esa área siente una fuerza. Esta fuerza es causada por otras cargas en la misma región. La magnitud de la fuerza es proporcional al valor de la carga, y la constante de proporcionalidad depende únicamente del punto específico dentro del campo eléctrico, no del valor de la carga. Esta constante caracteriza cada punto del campo, definiéndose como la intensidad del campo eléctrico, una cantidad vectorial que describe el efecto sobre una carga de prueba. (Inform et al., 2010).

La intensidad del campo eléctrico en un punto se define como la fuerza por unidad de carga que una carga de prueba positiva experimentaría en ese punto. Matemáticamente, se expresa como:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} \quad (7)$$

Donde:

\vec{E} = Campo eléctrico.

F = Fuerza eléctrica.

Q = Carga de prueba.

2.2.2.5 *Atracción de las partículas de agua*

Al generar la carga electrostática en la malla, se crea un campo eléctrico que atrae las partículas de agua presentes en el aire. Esto se debe a que las partículas de agua aparte de ser dipolos tienen una polaridad opuesta a la de la malla cargada (Damak & Varanasi, 2017)

2.2.2.6 *Captación de las partículas de agua*

Una vez que las partículas de agua se acercan a la malla, se adhieren a su superficie y se condensan en forma de gotas de agua. Estas gotas se acumulan en la superficie de la malla y puede ser recolectada.

2.3 Definición de conceptos

2.3.1 Definición nominal de conceptos

La variable por medir es la eficiencia (η) de un estudio de condensación de agua con adaptación de una fuente electrostática, con respecto a un sistema de condensación convencional de agua. Este valor se puede obtener de la evaluación entre estos dos sistemas y la cantidad de agua condensada (ml) por unidad de tiempo transcurrido (horas).

Definición operativa de conceptos.

$$\eta_c = L/T \quad (8)$$

Donde:

η_c : eficiencia a calcular.

L: cantidad de agua producida.

T: tiempo.

2.4 Hipótesis

2.4.1 Hipótesis de investigación

La hipótesis de investigación de este estudio postula que la eficiencia del sistema de condensación de agua equipado con una fuente electrostática es significativamente mayor que la de los sistemas de recolección de agua convencionales. Específicamente, se espera que la eficiencia del sistema electrostático supere en un 25% la eficiencia de los colectores tradicionales. Esta hipótesis se basa en la premisa de que la fuente electrostática generará un campo eléctrico que atraerá y condensará las partículas de agua del aire con mayor eficiencia.

El campo electrostático tiene la capacidad de inducir una polarización en las moléculas de agua presentes en la niebla, aumentando su coalescencia en la superficie de la malla recolectora. Este fenómeno no solo facilita la adhesión de las partículas de agua, sino que también acelera el proceso de formación de gotas más grandes, las cuales son más fáciles de recolectar y transportar. La tecnología de la fuente electrostática, por lo tanto, se espera que mejore la eficiencia global del sistema de captación de agua, reduciendo las pérdidas y optimizando la recolección en ambientes con alta humedad.

2.4.2 Hipótesis nula

La eficiencia del sistema de condensación de agua adaptándole una fuente electrostática no supera en más del 25% la eficiencia de los colectores convencionales. Esta hipótesis se formula para proporcionar un punto de referencia contra el cual se pueda evaluar la efectividad del sistema electrostático. En otras palabras, se asume que cualquier mejora en la recolección de agua utilizando la fuente electrostática no será significativa o estadísticamente relevante cuando se compara con los métodos tradicionales de captación de agua. Este planteamiento servirá para verificar si las diferencias observadas en la eficiencia de recolección son atribuibles al efecto de la fuente electrostática o si podrían ser el resultado de variaciones aleatorias o factores externos no controlados.

2.4.3 Hipótesis alternativa

la eficiencia del sistema de condensación de agua con una fuente electrostática está entre el 28% y el 40% que la eficiencia dada por los colectores convencionales. Esta hipótesis sugiere que la implementación de la tecnología electrostática no solo es efectiva, sino que proporciona una mejora considerable en la recolección de agua comparada con los métodos tradicionales.

3. Metodología

3.1 Enfoque

El enfoque de esta investigación es cuantitativo, De tal forma que la variable asociada al objeto de investigación se comprobara numéricamente, por ende, los resultados obtenidos permitirán determinar la eficiencia del sistema colector de agua, y se presentara porcentualmente.

3.2 Paradigma

Esta investigación es neopositivista, ya que su finalidad es determinar, predecir o controlar fenómenos. Dentro de este contexto, se busca determinar la eficiencia de un sistema de colección de agua. alcanzando un máximo aprovechamiento de la neblina, mediante un sistema de mallas y una fuente electrostática.

3.3 Método

Como es una investigación cuantitativa, se utilizará un método científico para comprobar esta solución, ya que busca encontrar la eficiencia de un sistema de captación de agua aplicando una fuente electrostática, con el fin de validar el estudio y resolver el problema de investigación definido.

3.4 Tipo de investigación

La investigación es de tipo descriptivo, puesto que la finalidad es determinar la eficiencia del colector de agua y el rendimiento de la fuente electrostática en relación a la cantidad de agua condensada. Mencionado lo anterior es necesario establecer parámetros para la captación de agua teniendo en cuenta el tiempo en el cual funcionara, la humedad del lugar, flujo de aire y el tamaño de las mallas, ya que estos afectan directamente a la capacidad de captar agua en la malla con fuente electrostática, todo esto para alcanzar el punto máximo de cantidad de agua captada por el sistema según las condiciones en la que se encuentre el sistema, de esta manera obtener una relación entre la agua captada estimada del sistema con fuente electrostática y la agua

captada con sistema de captación casero, con el fin de determinar la variable del objetivo de investigación, que es la eficiencia.

3.5 Diseño de investigación

El diseño de esta investigación (RG, X, O), se define como experimento puro, ya que se comparará la eficiencia de un sistema de captación de agua con una fuente electrostática y un sistema de captación de agua casero

RG1	X1	O1
RG2	-	O2

Donde:

RG1: Sistema de captación de agua

RG2: Sistema de captación de agua

X1: Fuente electrostática

-: Sistema casero sin adaptación de fuente electrostática

O1: Eficiencia del sistema con una fuente electrostática

O2: Eficiencia del sistema de forma casera sin ningún tipo de fuente electrostática

3.6 Universo

El universo de este proyecto se limita al espacio del laboratorio donde se llevarán a cabo las pruebas del sistema de captación de agua utilizando la fuente electrostática. El universo estará definido por las condiciones ambientales específicas del laboratorio, incluyendo la temperatura, la humedad y flujo de aire del dispositivo, así como por la disponibilidad de los materiales y equipos necesarios para construir y probar el sistema de captación de agua.

3.7 Muestra

La muestra de este proyecto consistirá en un conjunto de dos sistemas de captación de agua con diferentes diseños y características, que se someterán a pruebas en el laboratorio. La selección de la muestra se basará en criterios específicos para evaluar el rendimiento del sistema de captación de agua utilizando la fuente electrostática y sistema de captación de agua

convencional. Con el fin de obtener un conjunto diverso de resultados y comparar la eficacia del sistema de captación de agua con la fuente electrostática.

3.8 Técnicas de recolección de la información

Observación Directa: La información necesaria se obtendrá a partir de la medición del agua recolectada utilizando una jeringa de 10 mililitros por centímetros cúbicos en el entorno del sistema de captación de agua con una fuente electrostática.

El sistema de captación de agua se adaptará para funcionar con una fuente electrostática, y se observarán y registrarán las siguientes variables:

3.8.1 Variables de Entrada:

- Tamaño y diseño del sistema de captación.
- Intensidad del campo eléctrico aplicado.

3.8.2 Variable de Salida:

Caudal de agua recolectada, que determinará la eficiencia del sistema de captación.

3.8.3 Precisión de la Jeringa:

La jeringa de 10 mililitros por centímetro cúbico tiene una precisión de ± 0.1 ml, lo que permite medir pequeños volúmenes de agua con exactitud. Esta precisión sirve para detectar variaciones en la cantidad de agua captada y asegurar datos para el análisis.

3.8.4 Consistencia en las Medidas:

- Para minimizar errores y asegurar consistencia, cada medición se repetirá al menos 10 veces. Esto ayudará a obtener un promedio que refleje con mayor precisión la cantidad de agua captada.
- Las mediciones se realizarán bajo condiciones controladas y constantes para evitar variaciones externas que puedan afectar los resultados.

3.8.5 Registro de Datos Detallado:

Los datos se registrarán en una hoja de cálculo, que incluye cantidad de agua captada, humedad ambiental, temperatura ambiental, neblina expulsada, intensidad del campo eléctrico

aplicado y condiciones ambientales (como temperatura y humedad). Este registro detallado facilitará el análisis y la interpretación de los resultados.

3.8.6 *Validez de la técnica*

Se espera que la técnica de recolección de información sea válida, ya que el sistema estará funcionando en un ambiente donde se recolectaran datos, esperando que estos puedan ser comparados donde influirán algunos fenómenos involucrados en el ambiente.

3.8.7 *Confiabilidad de la técnica*

Se espera que la técnica empleada sea confiable, dado que los datos recolectados mediante el sistema de captación adaptado con una fuente electrostática serán comparados con los obtenidos de un sistema de captación casero bajo condiciones controladas. Ambos sistemas operarán con los mismos parámetros, tales como intervalos de tiempo idénticos y un flujo de agua determinado. Además, se utilizarán varias jeringas para cada medición, lo que garantizará que el agua recolectada en cada prueba no quede acumulada en las jeringas, evitando así cualquier alteración en las mediciones subsecuentes.

3.9 Instrumentos de recolección de la información

Se adaptará una fuente electrostática sobre el sistema de captación de agua, con los datos de tamaño y diseño del sistema de captación e intensidad del campo eléctrico obtendremos la cantidad de caudal a partir de la medición con una jeringa de 10 mililitros sobre centímetros cúbicos y los datos dados por la captadora realizada se guardarán en EXCEL con los datos recolectados con un sistema de captación de agua casero, lo que permitirá determinar cuál es su eficiencia.

4. Resultados

4.1 Diseño del prototipo de recolección de agua

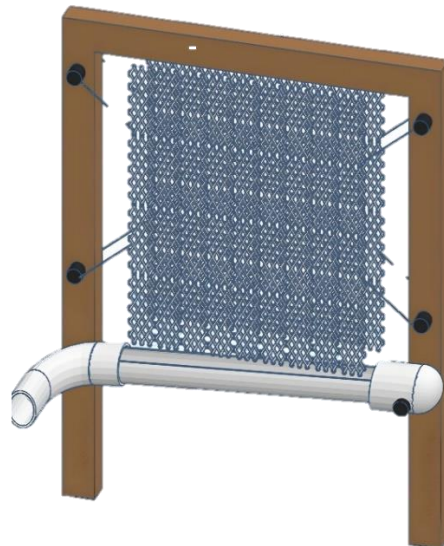
Para llevar a cabo este proceso, se diseñaron inicialmente los planos detallados de la malla utilizando el software Tinkercad. Posteriormente, se procedió a la implementación de estos diseños, lo que implicó considerar aspectos cruciales como la selección de materiales, su cantidad y las medidas necesarias para la construcción, el proceso se describe a continuación.

4.1.1 Diseño de la malla realizado en tinkercad

El diseño de la malla recolectora de agua mostrada en la figura 3 contribuirá en un aspecto fundamental en el desarrollo del proyecto de recolección de agua por captación. Para llevar a cabo este proceso, se utilizó la plataforma de modelado 3D Tinkercad debido a su accesibilidad y facilidad de uso. Como se muestra en la Figura 3. El diseño consta de la parte de la malla, el marco y el tubo por el cual se deslizará el agua.

Figura 3.

Diseño de la malla en Tinkercad

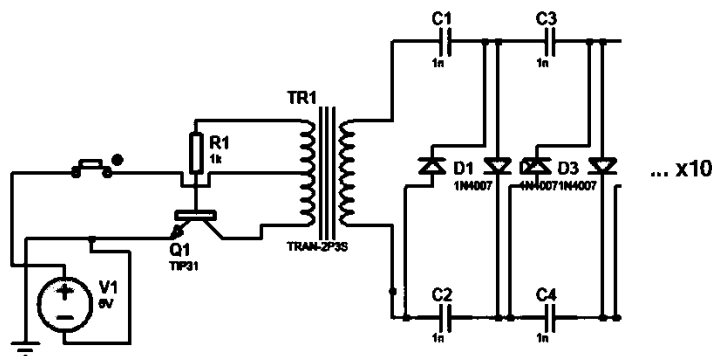


4.1.2 Diseño de fuente electrostática

El diseño de la fuente electrostática mostrado en la figura 4 es un circuito encargado de generar un alto voltaje necesario para la operación efectiva del sistema de captación de agua mediante la creación de un campo electrostático. Este circuito utiliza componentes específicos para amplificar la tensión de entrada y producir un alto voltaje en la salida, que es esencial para la ionización de las partículas de agua en la neblina, facilitando así su captación.

Figura 4.

Esquema de fuente electrostática



El diseño mostrado en la figura 4 se realizó en proteus el cual tiene componentes como:

V1: Una fuente de alimentación de bajo voltaje (3V, 4.5V, 6V, 7.5V) que proporciona la energía inicial para el circuito.

Q1 (TIP31): Un transistor de potencia que actúa como un interruptor o amplificador para controlar la energía que fluye a través del transformador.

R1 (1k Ω): Una resistencia que limita la corriente al transistor para protegerlo de recibir una corriente excesiva que podría dañarlo.

TR1: Un transformador que eleva la tensión de baja a alta. En este diseño, la relación de vueltas del transformador está diseñada para aumentar significativamente el voltaje de salida.

D1, D3 (1N4007): Diodos utilizados para rectificar la corriente, asegurando que solo fluya en una dirección y así aumentar la eficiencia del circuito al convertir la corriente alterna (AC) en corriente continua (DC).

C1, C2, C3, C4 (1nF): Capacitores que ayudan a suavizar la salida del voltaje, estabilizando la corriente generada y proporcionando un voltaje de salida más uniforme.

Este circuito es crucial porque genera un campo eléctrico que puede ionizar y atraer las partículas de agua en la atmósfera, aumentando la eficacia de la captación de agua del sistema. El diseño está pensado para ser replicado varias veces (como se indica por el "x10" en el diagrama), lo que significa que el voltaje de salida del transformador se multiplica por 12, como el voltaje de salida del transformador es de (1500v, 2250v, 3000v y 3750v) al multiplicarlo por las doce etapas del multiplicador realizado da un total de (18000v, 27000v, 36000v y 45000v respectivamente) que serán conectados a la malla.

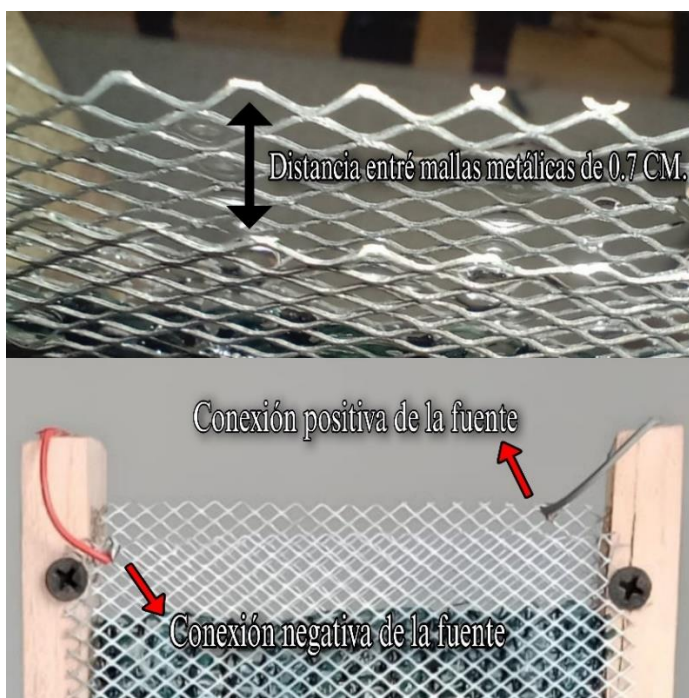
4.2 Construcción de prototipo

4.2.1 Construcción de la malla

El sistema de captación de agua se diseñó y fabricó utilizando dos mallas metálicas dispuestas de manera que no tienen contacto directo entre sí, como se ilustra en la figura 5. Cada malla metálica está conectada individualmente mediante cables, permitiendo la conexión adecuada a la fuente electrostática. Entre estas mallas metálicas, se insertó una malla adicional fabricada con poli-sombra, el mismo material utilizado en los sistemas de recolección de agua caseros.

Figura 5.

Conexión de las mallas.



La malla metálica está hecha por acero inoxidable, este es un metal conductor y permitió la conducción del voltaje generado por la fuente electrostática, esta incluye dimensiones específicas de 5x5 centímetros, 10x10 centímetros y 15x15 centímetros, lo que permite una configuración compacta y eficiente para la captación de agua.

La estructura de soporte como se muestra en la Figura 6. Se construyó con madera, proporcionando una base robusta para la instalación. Para la conducción del agua recolectada, se empleó un canal de PVC, que facilita la recolección eficiente del líquido. Las diferentes partes del sistema se fijaron utilizando silicona caliente y tornillos DRIWALL, asegurando una construcción estable y duradera.

Figura 6.

Estructura de madera

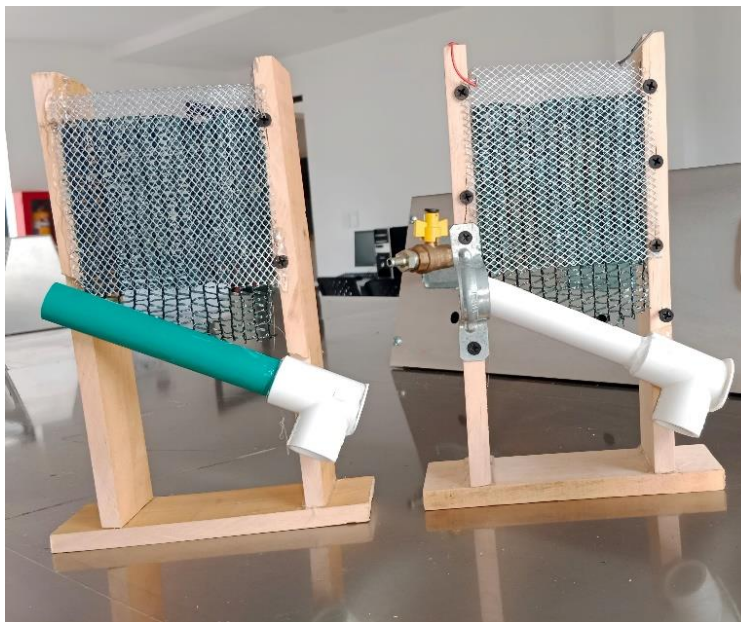


Este sistema está diseñado para operar tanto con la fuente electrostática conectada como sin ella, por lo cual se fabricó otra con las mismas dimensiones y características como se muestra en la Figura 7. Dado que incorpora todos los materiales y componentes necesarios para funcionar como un sistema de captación de agua casero convencional.

De esta manera, se puede evaluar de manera precisa y comparativa el rendimiento del sistema de captación de agua equipado con la fuente electrostática frente a un sistema tradicional sin dicha tecnología, destacando las mejoras y eficiencias introducidas por el campo eléctrico.

Figura 7.

Diseño de dos mallas de recolección de agua



4.3 Implementación de un humidificador de agua

Para llevar a cabo las pruebas, se empleó un humidificador convencional el cual se muestra en la Figura 8. Utilizado para simular neblina en un entorno cerrado. Este dispositivo tiene una capacidad de 330 mililitros por centímetro cúbico de agua en cada prueba, liberando esta agua en forma de neblina durante un intervalo de 3 horas. Toda esta neblina interactuará con el sistema de captación de agua, tanto con fuente electrostática como sin ella, asegurando que cada prueba esté expuesta al mismo volumen de neblina y durante el mismo período de tiempo.

La neblina producida por un humidificador y la neblina natural exhiben similitudes en diversas propiedades físicas, como su naturaleza vaporosa y la presencia de pequeñas partículas de agua suspendidas en el aire. Ambas pueden afectar la visibilidad y generar una sensación de humedad en el ambiente circundante. Sin embargo, es importante destacar que la neblina generada por un humidificador tiende a ser más uniforme y controlada en comparación con la

neblina natural, la cual puede variar en densidad y tamaño de partículas dependiendo de las condiciones ambientales, como la temperatura y la humedad.

Ahora bien, al considerar el efecto del campo eléctrico en la captación de estas neblinas, es fundamental tener en cuenta los principios de la electrostática y su interacción con las cargas eléctricas presentes en las gotas de agua. Cuando se aplica un campo eléctrico a la neblina, las partículas de agua pueden adquirir una carga eléctrica debido a la ionización del aire o a procesos de carga por fricción. Esta carga eléctrica en las gotas de neblina puede influir significativamente en su comportamiento y movimiento dentro del campo.

En el contexto de la captación de neblina, el campo eléctrico puede ejercer una fuerza sobre las gotas cargadas, atrayéndolas o repeliéndolas hacia o desde el sistema de captación. Esta interacción electrostática puede modificar la trayectoria de las partículas de neblina y, en consecuencia, cambiar los resultados en el momento de capturarla.

Además, es importante destacar que el campo eléctrico puede influir en la dispersión de las gotas de neblina, lo que puede tener un impacto directo en la forma en que estas son capturadas por el sistema de captación.

Figura 8.

Humidificador de agua



4.3.1 Construcción de la fuente electrostática

Para llevar a cabo este proyecto se buscó la manera de generar alto voltaje estático es así que se recurrió al diseño y/o implementación de un circuito que genera alto voltaje, para lo cual se definió los siguientes materiales.

- Transformador.
- Transistor.
- Resistencia.
- Interruptor.
- Diodos de alta tensión.
- Condensadores.
- Herramientas: soldador, alicates, destornilladores.
- Cables y conectores.

Figura 9.

Fuente Electroestática



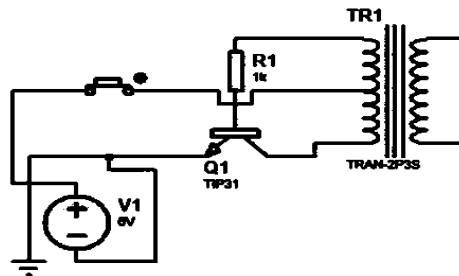
Como se mostró en la figura 9 el circuito de la fuente electrostática fue construido de la siguiente manera.

4.3.1.1 Construcción del circuito elevador flyback de voltaje DC-AC

Diseño de circuito elevador flyback de voltaje DC-AC

Figura 10.

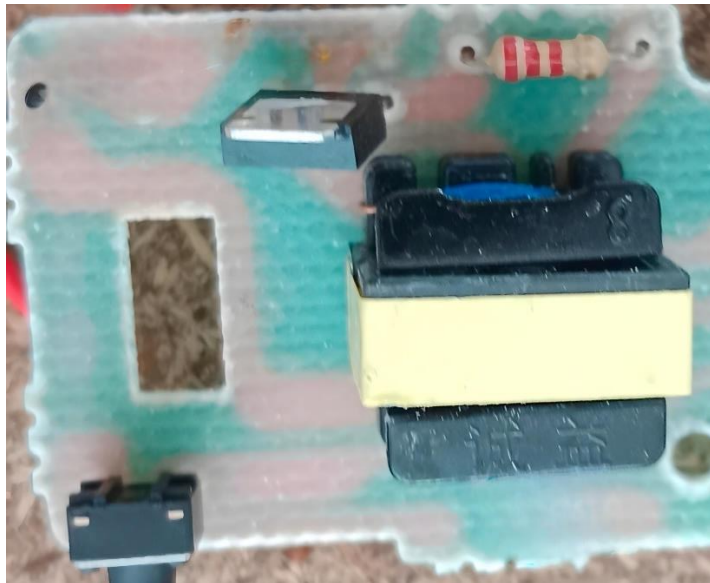
Diseño de flyback en proteus.



Implementación circuito elevador flyback

Figura 11.

Elevador flyback DC-AC



- El convertidor flyback se basa en un transformador que almacena energía en su núcleo magnético cuando un interruptor (generalmente un transistor) está encendido y la libera cuando el interruptor está apagado.
- La corriente continua de entrada se conecta al primario del transformador flyback, a través del interruptor controlado.
- Identifiqué los puntos de salida de alto voltaje.

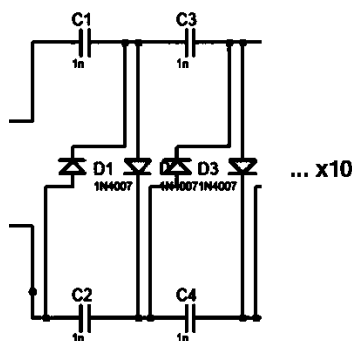
El elevador flyback de voltaje DC-AC es un convertidor que transforma corriente continua (DC) en corriente alterna (AC) usando una topología de tipo flyback. Este tipo de convertidor es común en aplicaciones que requieren un aislamiento galvánico entre la entrada y la salida, además de una alta relación de elevación de voltaje.

4.3.1.2 Construcción del Multiplicador de Voltaje:

Diseño del multiplicador de voltaje.

Figura 12.

Diseño de Multiplicador de voltaje



- Utilizamos diodos y condensadores para construir un multiplicador de voltaje.

Una vez hecho la implementación de las dos partes de la fuente se unió ambos circuitos para que al final lográramos la construcción de la fuente electrostática.

4.4 Pruebas de funcionamiento de la fuente.

El elevador flyback representado en la Figura 11. Se alimenta con un voltaje de 6.2V y cuenta con una salida del transformador conectada a un multiplicador de voltaje. Este multiplicador se encarga de aumentar significativamente el voltaje de salida. El diseño de la fuente electrostática se realizó para generar 36kV con el fin de lograr un campo eléctrico mucho mayor. Para lograr una conexión adecuada hacia la malla colectora, se llevó a cabo un proceso de observación directa, determinando así la dirección de la descarga eléctrica.

Durante la observación, se identificó que la conexión a la salida negativa del transformador es la salida negativa para la fuente y la última etapa del multiplicador de voltaje es la salida

positiva de la fuente. Esta disposición asegura que la corriente de alta tensión fluya correctamente, estableciendo un campo eléctrico efectivo.

En la Figura 13 se puede observar la generación de una chispa, la cual indica la presencia de una carga estática. Esta chispa resulta de la ionización del aire circundante, un fenómeno crucial para el funcionamiento del sistema electrostático de captación de agua. La chispa no solo confirma la formación del campo eléctrico, sino que también facilita la atracción de partículas de agua hacia la malla colectora, mejorando así la eficiencia del sistema de captación.

Es importante destacar que la generación de esta chispa no representa un peligro directo para las personas, ya que maneja una corriente despreciable. Sin embargo, se debe actuar con precaución al interactuar con el sistema, para asegurar la seguridad de todos los involucrados. Esta configuración ha demostrado ser efectiva en la creación y mantenimiento de un campo eléctrico estable, optimizando el proceso de recolección de agua.

Figura 13.

Descarga eléctrica de la fuente



4.5 Obtención de datos por la malla sin campo eléctrico y con campo eléctrico

Las pruebas del sistema de captación de agua, tanto sin campo eléctrico como con campo eléctrico, se llevaron a cabo en un entorno controlado, como se muestra en la Figura 14. Este entorno cerrado fue construido utilizando materiales de plástico y una estructura de PVC. La

razón principal para este diseño fue evitar que factores ambientales externos, como las corrientes de viento, alteraran los resultados obtenidos en cada prueba. Las corrientes de viento pueden dispersar la neblina en el ambiente, lo que resulta en un flujo inconsistente de neblina hacia las mallas captadoras, afectando la precisión y la reproducibilidad de los resultados experimentales.

Cada prueba se llevó a cabo en un intervalo de tiempo idéntico, aprovechando las condiciones controladas del sistema cerrado. El humidificador utilizado en las pruebas expulsó un volumen constante de 330 mililitros por centímetro cúbico durante un periodo de 3 horas. Este intervalo de tiempo fue suficiente para permitir una recolección significativa de agua en ambos escenarios, con y sin campo eléctrico.

Para medir con precisión la cantidad de agua recolectada, se utilizaron envases plásticos como receptores. Posteriormente, el agua acumulada en estos envases fue transferida y medida con jeringas de 10 mililitros por centímetro cúbico. Este método permitió obtener una medida exacta de la cantidad de agua captada por el sistema, asegurando la precisión y confiabilidad de los resultados sin la interferencia de la fuente electrostática.

Figura 14.

Prueba de funcionamiento en campo cerrado



4.1 Implementación operativa del sistema de captación de agua en un entorno real

Para llevar a cabo esta implementación, se utilizaron los dos sistemas de mallas de captación de agua como se muestra en la Figura 15. Una configuración sin campo eléctrico y otra

con campo eléctrico. Ambas configuraciones fueron expuestas a condiciones reales, específicamente sometidas a la influencia de neblina real, en el entorno natural de la Reserva Natural del Encano en Nariño. Esta selección de ubicación se hizo con el propósito de replicar condiciones auténticas de captación de agua y así evaluar los resultados obtenidos por cada configuración de malla en un contexto ambientalmente significativo y práctico. Durante este proceso, se registraron y analizaron detalladamente los datos de agua obtenidos por cada tipo de malla, permitiendo una comparación de su desempeño en términos de eficiencia y rendimiento en la captación de agua en condiciones reales.

Figura 15.

Instalación de prototipo en ambiente real



5. Análisis y Discusión de resultados

5.1 Comportamiento de las moléculas de agua en un campo eléctrico generado

5.1.1 Ionización de moléculas de agua:

En presencia de un campo eléctrico fuerte, las moléculas de agua pueden ionizarse, es decir, pueden perder o ganar electrones, convirtiéndose en iones con cargas positivas o negativas.

Las moléculas de agua también tienen un momento dipolar natural debido a la distribución asimétrica de sus cargas, con una ligera carga positiva en los átomos de hidrógeno y una ligera carga negativa en el átomo de oxígeno.

Las moléculas de agua, debido a su naturaleza dipolar, se orientan en el campo eléctrico. La fuerza de un campo eléctrico sobre un dipolo es:

$$F = pE \quad (9)$$

Donde:

P : Momento dipolar de la molécula de agua.

E . Campo eléctrico entre las mallas.

5.1.2 Interacción con el Campo Eléctrico:

Según la ley de Coulomb, los iones generados (o las moléculas polares de agua) en un campo eléctrico experimentan una fuerza debido a la interacción con el campo.

Si la fuente electrostática crea un campo eléctrico E , la fuerza sobre una molécula de agua con carga q (o un dipolo en caso de moléculas polares) es:

$$F = qE \quad (10)$$

En el caso de un dipolo, la fuerza y el torque inducidos por el campo eléctrico alinearían las moléculas de agua en la dirección del campo, aumentando la probabilidad de coalescencia y formación de gotas más grandes.

Por otra parte, el campo eléctrico E , creado entre dos mallas planas y paralelas con una diferencia de potencial V y separación d se puede calcular usando la relación:

$$E = \frac{V}{d} \quad (11)$$

5.1.3 Atracción de moléculas:

Las moléculas ionizadas y los dipolos de agua en el campo eléctrico se sentirán atraídos hacia la región de mayor intensidad del campo eléctrico en las mallas, debido a la fuerza F descrita por la ley de Coulomb.

$$F = K_c \frac{|q_1||q_2|}{r^2} \quad (12)$$

Donde:

k_c : Constante de Coulomb ($8.9875 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$).

q_1 : Carga de la molécula de agua.

q_2 : Carga superficial en la malla.

r : Distancia entre la molécula de agua y la malla.

Entonces si una molécula de agua se ioniza y adquiere una carga q , la fuerza F sobre esta molécula debido al campo eléctrico E es:

$$F = qE = q \frac{E}{d} \quad (13)$$

Esta atracción concentra las moléculas de agua en la región del colector de agua, mejorando la eficiencia de recolección.

5.2 Datos obtenidos por las mallas en horario matutino

Durante el período matutino, se llevaron a cabo pruebas de captación de agua utilizando una malla de 10x10 centímetros, tanto sin campo eléctrico como con campo eléctrico. Estas evaluaciones se realizaron con el objetivo de analizar y medir los efectos del campo eléctrico en el proceso de captación de agua. La inclusión del campo eléctrico se consideró como una variable importante, ya que podría influir significativamente en la eficiencia y el rendimiento de la malla en la captación de agua.

5.2.1 Datos obtenidos por la malla sin campo eléctrico en horario matutino

El primer paso de la investigación consistió en obtener datos utilizando la malla sin campo eléctrico en horas de la mañana como punto de referencia. Se llevaron a cabo tres pruebas denominadas A, B, C, D, E, F, G y H cada una con una duración de 3 horas y utilizando una neblina generada artificialmente con una densidad de 330 mililitros por centímetro cubico. Durante estas pruebas, se midió la cantidad de agua con jeringa la cantidad recolectada en el recipiente adjunta al sistema de recolección. Los resultados obtenidos para cada prueba fueron los siguientes:

Tabla 2.

Resultados de la malla sin campo eléctrico en horario matutino

Resultados obtenidos por la malla sin campo eléctrico en horario matutino

Prueba	Humedad promedio (%)	Temperatura promedio (C°)	Tiempo(horas)	Neblina expulsada (ml/cc)	Agua recolectada (ml/cc)
A	67	21.9	3	330	2.4
B	64.6	22.36	3	330	2.5
C	76.33	18.76	3	330	2.9
D	82.3	20.9	3	330	3.1
E	87.3	17.6	3	330	3.1
F	81.4	19.3	3	330	2.8
G	72.3	20.4	3	330	2.4
H	79.3	20.03	3	330	2.6

Prueba A: 2.4 mililitros por centímetro cubico de agua recolectada.

Prueba B: 2.5 mililitros por centímetro cubico de agua recolectada.

Prueba C: 2.9 mililitros por centímetro cubico de agua recolectada.

Prueba D: 3.1 mililitros por centímetro cubico de agua recolectada.

Prueba E: 3.1 mililitros por centímetro cubico de agua recolectada.

Prueba F: 2.8 mililitros por centímetro cubico de agua recolectada.

Prueba G: 2.4 mililitros por centímetro cubico de agua recolectada.

Prueba H: 2.6 mililitros por centímetro cubico de agua recolectada.

Estos resultados proporcionan una línea base para comparar la eficiencia del sistema de recolección con la malla sin campo eléctrico en horario matutino en los siguientes experimentos.

5.2.2 *Datos obtenidos por la malla con campo eléctrico en horario matutino*

En el siguiente paso de la investigación, se procedió a recopilar datos utilizando la malla con la activación del campo eléctrico. Esta etapa del estudio consistió en la realización de tres pruebas distintas, denominadas A, B, C, D, E, F, G y H respectivamente, cada una de ellas con una duración de tres horas continuas. Durante la ejecución de estas pruebas, se mantuvo una densidad de neblina constante, generada artificialmente a razón de 330 mililitros por centímetro cúbico.

El objetivo principal de estas pruebas fue evaluar el rendimiento del sistema de recolección de agua al activar el campo eléctrico en la malla. Para ello, se midió con jeringa la cantidad de agua recolectada en un recipiente adyacente al sistema, en cada una de las pruebas realizadas.

Tabla 3.

Resultados de la malla con campo eléctrico en horario matutino

Resultados obtenidos por la malla con campo eléctrico en horario matutino

Prueba	Humedad promedio (%)	Temperatura promedio (C°)	Tiempo(horas)	Neblina expulsada (ml/cc)	Agua recolectada (ml/cc)
A	64.6	22.36	3	330	4.2
B	76.33	18.76	3	330	4.4
C	67	21.9	3	330	4.1
D	82.3	20.9	3	330	4.7
E	87.3	17.6	3	330	4.8
F	81.4	19.3	3	330	4.6
G	72.3	20.4	3	330	4.4
H	79.3	20.03	3	330	4.5

Prueba A: 4.2 mililitros por centímetro cubico de agua recolectada.

Prueba B: 4.4 mililitros por centímetro cubico de agua recolectada.

Prueba C: 4.1 mililitros por centímetro cubico de agua recolectada.

Prueba D: 4.7 mililitros por centímetro cubico de agua recolectada.

Prueba E: 4.8 mililitros por centímetro cubico de agua recolectada.

Prueba F: 4.6 mililitros por centímetro cubico de agua recolectada.

Prueba G: 4.4 mililitros por centímetro cubico de agua recolectada.

Prueba H: 4.5 mililitros por centímetro cubico de agua recolectada.

5.3 Datos obtenidos por las mallas en horario nocturno

Durante la noche, se llevaron a cabo pruebas de captación de agua utilizando malla recolectora de 10x10 centímetros, tanto con y sin campo eléctrico. El propósito de estas evaluaciones fue analizar y cuantificar los efectos del campo eléctrico en el proceso de captación de agua. La inclusión del campo eléctrico se consideró una variable crucial, dado que podría tener un impacto significativo en la eficiencia y el rendimiento de la malla en la captación de agua.

5.3.1 Datos obtenidos por la malla sin campo eléctrico en horario nocturno

El primer paso de la investigación consistió en obtener datos utilizando la malla sin campo eléctrico en horas de la mañana como punto de referencia. Se llevaron a cabo tres pruebas denominadas I, J, K, L, M, N, Ñ y O cada una con una duración de 3 horas y utilizando una neblina generada artificialmente con una densidad de 330 mililitros por centímetro cubico. Durante estas pruebas, se midió la cantidad de agua recolectada en el recipiente con una jeringa adjunta al sistema de recolección. Los resultados obtenidos para cada prueba fueron los siguientes:

Tabla 4.

Resultados de la malla sin campo eléctrico en horario nocturno

Resultados obtenidos por la malla sin campo eléctrico en horario nocturno

Prueba	Humedad promedio	Temperatura promedio	Tiempo(horas)	Neblina expulsada (ml/cc)	Agua recolectada (ml/cc)
--------	------------------	----------------------	---------------	---------------------------	--------------------------

	(%)	(C°)			
I	87.7	17.06	3	330	3.3
J	89.6	15.1	3	330	3.9
K	89.6	16.4	3	330	3.6
L	90.3	16.3	3	330	4.1
M	96	16.7	3	330	4.5
N	95	15.8	3	330	4.4
Ñ	94.3	16.3	3	330	4.4
O	93.41	16.7	3	330	4.0

Prueba I: 3.3 mililitros por centímetro cubico de agua recolectada.

Prueba J: 3.9 mililitros por centímetro cubico de agua recolectada.

Prueba K: 3.6 mililitros por centímetro cubico de agua recolectada.

Prueba L: 4.1 mililitros por centímetro cubico de agua recolectada.

Prueba M: 4.5 mililitros por centímetro cubico de agua recolectada.

Prueba N: 4.4 mililitros por centímetro cubico de agua recolectada.

Prueba Ñ: 4.4 mililitros por centímetro cubico de agua recolectada.

Prueba O: 4.0 mililitros por centímetro cubico de agua recolectada.

Estos resultados proporcionan una línea base para comparar la eficiencia del sistema de recolección con la malla sin campo eléctrico en horario matutino en los siguientes experimentos.

5.3.2 Datos obtenidos por la malla con campo eléctrico en horario nocturno

En el siguiente paso de la investigación, se procedió a recopilar datos utilizando la malla con la activación del campo eléctrico. Esta etapa del estudio consistió en la realización de tres pruebas distintas, denominadas I, J, K, L, M, N, Ñ y O respectivamente, cada una de ellas con una duración de tres horas continuas. Durante la ejecución de estas pruebas, se mantuvo una densidad de neblina constante, generada artificialmente a razón de 330 mililitros por centímetro cúbico.

El objetivo principal de estas pruebas fue evaluar el rendimiento del sistema de recolección de agua al activar el campo eléctrico en la malla. Para ello, se midió con jeringa la cantidad de agua recolectada en un recipiente adyacente al sistema, en cada una de las pruebas realizadas.

Tabla 5.

Resultados de la malla con campo eléctrico en horario nocturno

Resultados obtenidos por la malla con campo eléctrico en horario nocturno

Prueba	Humedad promedio (%)	Temperatura promedio (C°)	Tiempo(horas)	Neblina expulsada (ml/cc)	Agua recolectada (ml/cc)
I	89.6	16.4	3	330	5.8
J	89.6	15.1	3	330	6.2
K	87.7	17.06	3	330	5.4
L	90.3	16.3	3	330	6.4
M	96	16.7	3	330	7.1
N	95	15.8	3	330	6.8
Ñ	94.3	16.3	3	330	6.9
O	93.41	16.7	3	330	6.8

Prueba I: 5.8 mililitros por centímetro cubico de agua recolectada.

Prueba J: 6.2 mililitros por centímetro cubico de agua recolectada.

Prueba K: 5.4 mililitros por centímetro cubico de agua recolectada.

Prueba L: 6.4 mililitros por centímetro cubico de agua recolectada.

Prueba M: 7.1 mililitros por centímetro cubico de agua recolectada.

Prueba N: 6.8 mililitros por centímetro cubico de agua recolectada.

Prueba Ñ: 6.9 mililitros por centímetro cubico de agua recolectada.

Prueba O: 6.8 mililitros por centímetro cubico de agua recolectada.

5.4 Resultados de la malla convencional y con fuente electrostática

Los hallazgos derivados del sistema de captación de agua, abordando tanto la configuración con campo eléctrico como su contraparte sin este, revelaron información significativa tanto en el horario diurno como en el nocturno. Este análisis permitió evidenciar de manera concluyente discrepancias notables en los resultados obtenidos durante el proceso de captación de agua. Este fenómeno, proporcionando así un entendimiento más profundo en la captación de agua en condiciones específicas de campo eléctrico.

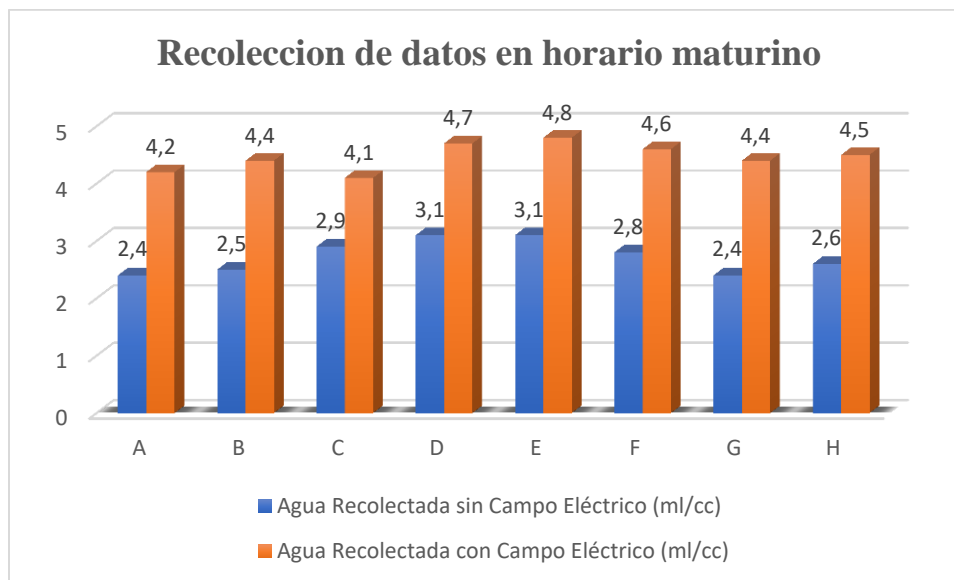
5.4.1 Resultados de la malla convencional y con fuente electrostática en horario matutino

Tabla 6.

Comparación de resultados con fuente y sin fuente en horario matutino

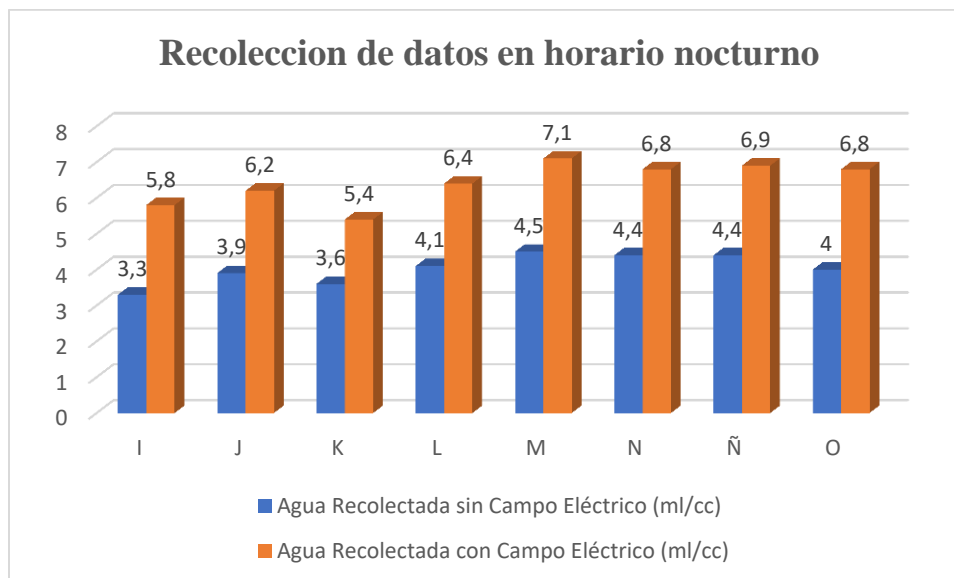
Resultados de la Malla Convencional y con Fuente Electrostática en horario matutino

Prueba	Tiempo(horas)	Neblina expulsada (ml/cc)	Agua Recolectada sin Campo Eléctrico (ml/cc)	Agua Recolectada con Campo Eléctrico (ml/cc)
A	3	330	2.4	4.2
B	3	330	2.5	4.4
C	3	330	2.9	4.1
D	3	330	3.1	4.7
E	3	330	3.1	4.8
F	3	330	2.8	4.6
G	3	330	2.4	4.4
H	3	330	2.6	4.5

Figura 16.*Gráfico de datos en horario matutino***5.4.2 Resultados de la malla convencional y con fuente electrostática en horario nocturno****Tabla 7.***Comparación de resultados con fuente y sin fuente en horario nocturno*

Resultados de la Malla Convencional y con Fuente Electrostática en horario nocturno

Prueba	Tiempo(horas)	Neblina expulsada (ml/cc)	Agua Recolectada sin Campo Eléctrico (ml/cc)	Agua Recolectada con Campo Eléctrico (ml/cc)
I	3	330	3.3	5.8
J	3	330	3.9	6.2
K	3	330	3.6	5.4
L	3	330	4.1	6.4
M	3	330	4.5	7.1
N	3	330	4.4	6.8
Ñ	3	330	4.4	6.9
O	3	330	4.0	6.8

Figura 17.*Gráfico de datos en horario matutino*

5.5 Análisis comparativo de las pruebas con y sin campo eléctrico

Para este análisis comparativo, se realizó un examen detallado de los resultados obtenidos en las pruebas llevadas a cabo tanto con la activación del campo eléctrico en la malla de captación de agua como sin ella, en horarios matutino y nocturno, con el objetivo de considerar los datos en su totalidad. Este enfoque integral permitirá una comprensión de los patrones observados en diferentes momentos del día.

En las pruebas se destacarán los procedimientos seguidos, subrayando las diferencias entre las condiciones con y sin la activación del campo eléctrico. Además, se realizará una evaluación detallada de la eficiencia de cada sistema en términos de la cantidad y calidad del agua recolectada, con el fin de identificar cualquier ventaja o limitación asociada con la activación del campo eléctrico en el proceso de captación de agua.

Es importante señalar que los resultados se presentan para pruebas realizadas en diferentes momentos del día (matutino y nocturno). Sin embargo, se considera crucial discutir las posibles variaciones debidas a factores ambientales que puedan influir en la eficiencia de recolección, como cambios en la temperatura y la humedad. Durante las horas nocturnas, la menor temperatura puede reducir la tasa de evaporación, permitiendo una mayor retención de agua en la

ma. La mayor humedad relativa durante la noche también podría contribuir a una mayor condensación y, por ende, a una mayor captación de agua.

En contraste, durante las horas diurnas, las temperaturas más altas pueden aumentar la evaporación del agua recolectada, disminuyendo el volumen retenido. Además, la menor humedad relativa durante el día puede limitar la eficiencia del sistema al reducir la condensación.

Este análisis de las variaciones ambientales permitirá una comprensión más profunda de los factores que afectan la eficiencia del sistema de captación de agua, proporcionando una evaluación más completa y precisa de su rendimiento en diferentes condiciones. Así, se identifican no solo las ventajas o limitaciones inherentes a la activación del campo eléctrico, sino también el impacto de las condiciones ambientales en la recolección de agua.

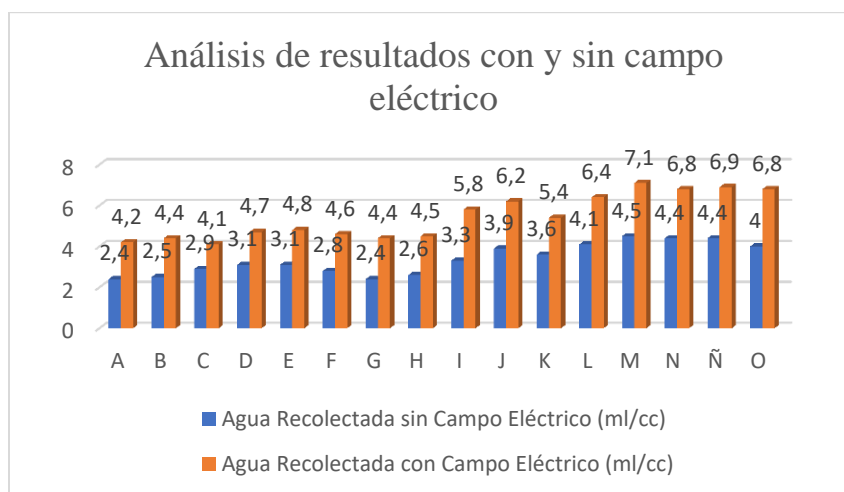
Tabla 8.

Análisis de resultados con y sin campo eléctrico

Agua Recolectada sin Campo Eléctrico (ml/cc)	Agua Recolectada con Campo Eléctrico (ml/cc)
2.4	4.2
2.5	4.4
2.9	4.1
3.1	4.7
3.1	4.8
2.8	4.6
2.4	4.4
2.6	4.5
3.3	5.8
3.9	6.2
3.6	5.4
4.1	6.4
4.5	7.1
4.4	6.8
4.4	6.9

Figura 18.

Grafica de resultados con y sin campo eléctrico



Observando los resultados de ambas pruebas, se puede notar una diferencia significativa en la cantidad de agua recolectada entre el sistema convencional y el sistema con fuente electrostática. En todas las pruebas (A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N, Ñ y O), la activación del campo eléctrico en la malla condujo a un aumento notable en la eficiencia del sistema de captación de agua. Esto sugiere que la tecnología de la fuente electrostática mejora significativamente la capacidad de recolección de agua en comparación con los métodos convencionales.

5.6 Comparación cuantitativa de la eficiencia de recolección de agua

En este estudio, se llevó a cabo una comparación detallada de la eficiencia de recolección de agua entre el sistema convencional (sin campo eléctrico) y el sistema equipado con una fuente electrostática. Se analiza los datos obtenidos durante las pruebas para evaluar el rendimiento de cada sistema en términos de la cantidad de agua recolectada por unidad de tiempo y porcentaje de eficiencia.

5.6.1 Eficiencia del sistema convencional:

Para calcular el promedio del agua recolectada en el sistema de captación de agua sin fuente electrostática se suman todos sus resultados y se dividen entre la cantidad de datos obtenidos (16 datos).

$$Pr = \frac{2.4+2.5+2.9+3.1+3.1+2.8+2.4+2.6+3.3+3.9+3.6+4.1+4.5+4.4+4.4+4.0}{16} = 3.375 \quad (14)$$

Dónde:

Pr: promedio a calcular.

En las pruebas sin campo eléctrico, la cantidad promedio de agua recolectada fue de aproximadamente 3.375 mililitros por prueba.

La eficiencia del sistema convencional se calcula como el promedio de la cantidad de agua recolectada dividida por la duración de la prueba (3 horas).

$$n_c = \frac{3.375}{3} = 1.125ml/h \quad (15)$$

Dónde:

n_c : Eficiencia a calcular.

- Eficiencia promedio del sistema convencional: 1.125 mililitros por hora.

5.6.2 Eficiencia del sistema con fuente electrostática:

Para calcular el promedio del agua recolectada en el sistema de captación de agua con fuente electrostática se suman todos sus resultados y se dividen entre la cantidad de datos obtenidos (16 datos).

$$Pr = \frac{4.2+4.4+4.1+4.7+4.8+4.6+4.4+4.5+5.8+6.2+5.4+6.4+7.1+6.8+6.9+6.8}{16} = 5.443 \quad (16)$$

Dónde:

Pr: promedio a calcular.

En las pruebas con la activación del campo eléctrico, la cantidad promedio de agua recolectada fue de aproximadamente 5.443 mililitros por prueba.

La eficiencia del sistema con fuente electrostática se calcula de manera similar al sistema convencional.

$$n_c = \frac{5.443}{3} = 1.814ml/h \quad (17)$$

Dónde:

n_c : Eficiencia a calcular.

Eficiencia promedio del sistema con fuente electrostática: 1.814 mililitros por hora.

5.6.3 Interpretación de los resultados

La comparación cuantitativa revela que el sistema con fuente electrostática logró recolectar un promedio de 1.67 mililitros más de agua por hora en comparación con el sistema convencional.

La eficiencia del sistema con fuente electrostática se calculó tomando el valor promedio del sistema con campo eléctrico y sin él campo eléctrico, teniendo en cuenta el valor menor que es el dato promedio obtenido por la malla sin fuente electrostática el cual se tomó como referencia para observar en que porcentaje aumenta el dato promedio obtenido por la malla con fuente electrostática.

$$n_c \% = \frac{5.443-3.375}{3.375*100} = 61\% \quad (18)$$

n_c %: Porcentaje de eficiencia a calcular.

Esto representa un aumento significativo del 61% en la eficiencia de recolección de agua al activar el campo eléctrico en la malla recolectora.

Los resultados sugieren que la tecnología de la fuente electrostática tiene un impacto positivo en la mejora del rendimiento del sistema de captación de agua, lo que respalda la hipótesis de investigación planteada.

5.6.4 Análisis estadístico de estadístico de los resultados

Para el análisis estadístico de los datos de agua recolectada, hemos calculado la desviación estándar, que nos indica cuánto varían los valores respecto a la media. Los resultados son los siguientes:

5.6.4.1 Agua recolectada sin campo eléctrico

Para el cálculo de la desviación estándar se calcula la media de la siguiente manera.

$$Media = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (19)$$

Donde:

X_i = valores recolectados.

n = número total de valores.

$$Media = \frac{2.4+2.5+2.9+3.1+3.1+2.8+2.4+2.6+3.3+3.9+3.6+4.1+4.5+4.4+4.4+4.0}{16} \quad (20)$$

$$Media = 3.375ml \quad (21)$$

Una vez obtenida la media se procede a calcular la varianza de la siguiente manera.

$$Varianza = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - Media)^2}{n-1} \quad (22)$$

$$Varianza = \frac{(2.4-3.375)^2+(2.5-3.375)^2+\dots+(4.4-3.375)^2+(4.0-3.375)^2}{16-1} \quad (23)$$

$$Varianza = 0.573 \quad (24)$$

Cálculo de la desviación estándar.

$$Desviacion\ Estandar = \sqrt{Varianza} \quad (25)$$

$$Desviacion\ Estandar = \sqrt{0.573} = 0.757 \quad (26)$$

5.6.4.2 Agua recolectada con campo eléctrico

Para el cálculo de la desviación estándar se calcula la media de la siguiente manera.

$$Media = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (27)$$

Donde:

X_i = valores recolectados.

n = número total de valores.

$$Media = \frac{4.2+4.4+4.1+4.7+4.8+4.6+4.4+4.5+5.8+6.2+5.4+6.4+7.1+6.8+6.9+6.8}{16} \quad (28)$$

$$Media = 5.444ml \quad (29)$$

Una vez obtenida la media se procede a calcular la varianza de la siguiente manera.

$$Varianza = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - Media)^2}{n-1} \quad (30)$$

$$Varianza = \frac{(4.2-5.444)^2+(4.4-5.444)^2+\dots+(6.9-3.375)^2+(6.8-3.375)^2}{16-1} \quad (31)$$

$$Varianza = 1.217 \quad (32)$$

Cálculo de la desviación estándar.

$$Desviacion\ Estandar = \sqrt{Varianza} \quad (33)$$

$$Desviacion\ Estandar = \sqrt{1.217} = 1.103 \quad (34)$$

5.7 Resumen de resultados promedio

Durante el desarrollo de esta investigación, se llevaron a cabo pruebas experimentales para comparar la eficiencia de recolección de agua entre un sistema convencional de captación y un sistema equipado con una fuente electrostática. Estos experimentos se llevaron a cabo con el objetivo de evaluar el potencial de la tecnología electrostática para mejorar el rendimiento de los sistemas de captación de agua atmosférica. A continuación, se presenta un resumen detallado de los resultados promedio obtenidos:

5.7.1 Sistema convencional (*sin campo eléctrico*)

Las pruebas realizadas sin la activación de la fuente electrostática demostraron una eficiencia promedio de recolección de agua de aproximadamente 1.125 mililitros por hora. Durante las 16 pruebas realizadas, la cantidad promedio de agua recolectada fue de 3.375 mililitros en un período de tres horas.

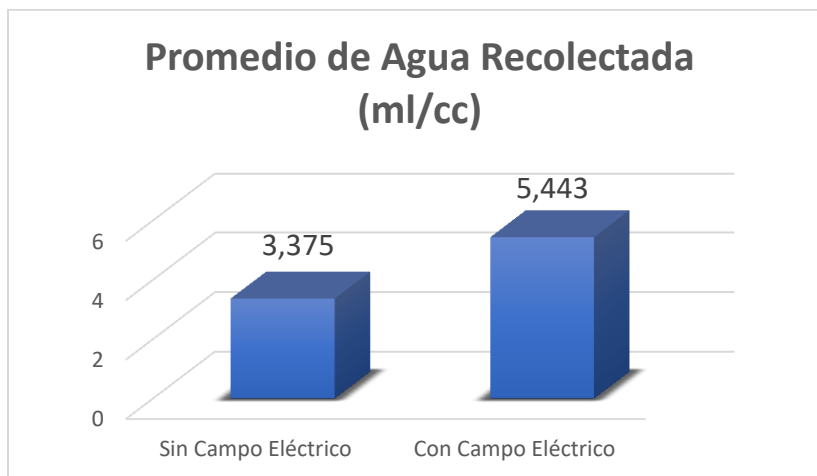
5.7.2 Sistema con fuente electrostática

Por otro lado, al activar el campo electrostático en el sistema de recolección de agua, se observó un aumento significativo en la eficiencia de recolección. Las pruebas realizadas con la fuente electrostática alcanzaron una eficiencia promedio de aproximadamente 1.814 mililitros por hora. Durante las 16 pruebas realizadas, la cantidad promedio de agua recolectada fue de 5.443 mililitros en un período de tres horas.

Tabla 9.

Datos promedio de captación de agua matutinos y nocturnos

Sistema	Promedio de Agua Recolectada (ml/cc)
Sin Campo Eléctrico	3.375
Con Campo Eléctrico	5.443

Figura 19.*Grafica de datos promedio*

La comparación cuantitativa de los resultados reveló que el sistema con fuente electrostática logró recolectar un promedio de 5.443 mililitros sobre centímetros cúbicos en comparación con el sistema convencional. Esto representa un aumento significativo del 61% en la eficiencia de recolección de agua al activar el campo electrostático en la malla recolectora.

Estos resultados promedio respaldan la hipótesis de investigación planteada, que postulaba que el sistema de captación de agua equipado con una fuente electrostática superaría significativamente al sistema convencional con un porcentaje mayor al 25% en términos de eficiencia de recolección. Además, sugieren un potencial prometedor para la aplicación práctica de la tecnología de la fuente electrostática en la captación de agua atmosférica.

5.8 Regresión lineal de análisis de datos con variación de tamaño

En este punto de la investigación, se modificaron los tamaños de las mallas metálicas utilizadas para la recolección de agua con el fin de evaluar el impacto del tamaño de las mallas en la eficiencia de recolección. Se realizaron pruebas con tres tamaños diferentes de mallas: 25 centímetros cuadrados, 100 centímetros cuadrados y 225 centímetros cuadrados. En el caso de las mallas de 100 centímetros cuadrados, los datos ya fueron recolectados y promediados en pruebas anteriores, sirviendo como referencia para esta fase del estudio.

Para asegurar la consistencia en las condiciones experimentales y obtener resultados comparables, todas las mallas fueron alimentadas con un voltaje constante de 36 kV. Esta

configuración experimental permitió analizar cómo el tamaño de las mallas afecta la capacidad de recolección de agua bajo un voltaje específico, proporcionando información valiosa sobre la optimización del diseño de las mallas para maximizar la eficiencia en diversas condiciones.

5.8.1 Datos recolectados por las mallas

Se llevo a cabo cinco pruebas denominadas A, B, C, D y E como se muestra en la Tabla 10, en las cuales se obtuvo la recolección de agua con las tres mallas metálicas, en cada prueba se alimentó con el mismo voltaje (36.000v) y se realizó como en las anteriores pruebas en un campo cerrado y un humidificador que simula una neblina constante de 330 mililitros por centímetro cubico en un periodo de tres horas, los datos obtenidos fueron obtenidos por jeringas de 10 ml/cc en los cuales se obtuvo los siguientes:

Tabla 10.

Promedio de recolección de agua con distintos tamaños de agua

Promedio de recolección de agua con distintos tamaños de malla

Prueba	Temperatura promedio (°C)	Humedad promedio (%)	Neblina expulsada (ml/cc)	Tamaño (cm²)	Agua recolectada sin campo eléctrico	Agua recolectada con campo eléctrico
A	14.3	84	330	25	1.0	2.3
B	12.1	89	330	25	1.2	2.2
C	-	-	330	100	3.37	5.44
D	14.4	81	330	225	5.2	8.4
E	12.7	82	330	225	5.8	9.2

Prueba A: En un área de 25 cm² se obtuvo 1.0 mililitros por centímetro cubico sin campo eléctrico y 2.3 mililitros por centímetro cubico con campo eléctrico de agua recolectada.

Prueba B: En un área de 25 cm² se obtuvo 1.2 mililitros por centímetro cubico sin campo eléctrico y 2.2 mililitros por centímetro cubico con campo eléctrico de agua recolectada.

Prueba C: En un área de 100 cm² se obtuvo 3.37 mililitros por centímetro cubico sin campo eléctrico y 5.44 mililitros por centímetro cubico con campo eléctrico de agua recolectada,

cabe resaltar que este valor es el promedio obtenido en las pruebas anteriores, en las cuales se usó este tamaño de área.

Prueba D: En un área de 225 cm² se obtuvo 5.2 mililitros por centímetro cubico sin campo eléctrico y 8.4 mililitros por centímetro cubico con campo eléctrico de agua recolectada.

Prueba E: En un área de 225 cm² se obtuvo 5.8 mililitros por centímetro cubico sin campo eléctrico y 9.2 mililitros por centímetro cubico con campo eléctrico de agua recolectada.

5.8.2 Promedio de datos recolectados

5.8.2.1 Promedio de resultados en mallas con área de 25 centímetros cuadrados

Se promediaron los datos obtenidos en las pruebas tanto sin la aplicación de un campo eléctrico como con la aplicación de un campo eléctrico. Todas las pruebas se realizaron en un área constante de 25 cm. Los valores promediados incluyen todas las mediciones realizadas en esta área específica

Promedio de agua captada sin campo eléctrico:

$$Pr = \frac{1.0+1.2}{2} = 1.1 \quad (35)$$

Dónde:

Pr: promedio a calcular.

- El promedio de agua recolectada sin campo eléctrico fue de 1.1 mililitros por centímetro cubico.

Promedio de agua captada sin campo eléctrico:

$$Pr = \frac{2.3+2.2}{2} = 2.25 \quad (36)$$

Dónde:

Pr: promedio a calcular.

- El promedio de agua recolectada con campo eléctrico fue de 2.25 mililitros por centímetro cubico.

5.8.2.2 Promedio de resultados en mallas con área de 100 centímetros cuadrados

Se promediaron los datos obtenidos en las pruebas tanto sin la aplicación de un campo eléctrico como con la aplicación de un campo eléctrico. Todas las pruebas se realizaron en un

área constante de 100 cm. Los valores promediados incluyen todas las mediciones realizadas en esta área específica

Promedio de agua captada sin campo eléctrico:

$$Pr = 3.37 \quad (37)$$

Dónde:

Pr: promedio a calcular.

- El promedio de agua recolectada sin campo eléctrico fue de 3.37 mililitros por centímetro cubico.

Promedio de agua captada sin campo eléctrico:

$$Pr = 5.44 \quad (38)$$

Dónde:

Pr: promedio a calcular.

- El promedio de agua recolectada con campo eléctrico fue de 5.44 mililitros por centímetro cubico.

5.8.2.3 Promedio de resultados en mallas con área de 225 centímetros cuadrados

Se promediaron los datos obtenidos en las pruebas tanto sin la aplicación de un campo eléctrico como con la aplicación de un campo eléctrico. Todas las pruebas se realizaron en un área constante de 225 cm. Los valores promediados incluyen todas las mediciones realizadas en esta área específica

Promedio de agua captada sin campo eléctrico:

$$Pr = \frac{5.2+5.8}{2} = 5.5 \quad (39)$$

Dónde:

Pr: promedio a calcular.

- El promedio de agua recolectada sin campo eléctrico fue de 5.5 mililitros por centímetro cubico.

Promedio de agua captada sin campo eléctrico:

$$Pr = \frac{8.4+9.2}{2} = 8.8 \quad (40)$$

Dónde:

Pr: promedio a calcular.

- El promedio de agua recolectada con campo eléctrico fue de 8.8 mililitros por centímetro cubico.

5.8.3 *Análisis de la regresión lineal*

Dado que las condiciones experimentales pueden variar significativamente debido la variación de humedad y temperatura exterior, es crucial implementar un método que permita observar el comportamiento sobre la recolección de agua. Para ello, se toman mediciones de la cantidad de agua recolectada tanto sin aplicar voltaje como aplicando un voltaje a la malla, asegurándose de que estas mediciones se realicen en el mismo momento para minimizar la influencia de factores externos.

Tabla 11.

Comportamiento de recolección de agua

Tamaño de la malla (cm ²)	Promedio de agua captada sin campo eléctrico (ml)	Promedio de agua captada con campo eléctrico (ml)
25	1.1	2.25
100	3.37	5.44
225	5.5	8.8

Al comparar estas mediciones tomadas en condiciones idénticas, se calcula la diferencia entre la cantidad de agua recolectada con y sin voltaje. Esta diferencia representa el efecto neto del campo electrostático, eliminando así las variaciones debidas a cambios ambientales. Al realizar esta resta para cada par de mediciones, se obtiene un conjunto de datos que refleja de manera más precisa el impacto del campo eléctrico.

Diferencia de los datos obtenidos en un área de 25 cm²

$$Diferencia1 = 2.25 - 1.1 = 1.15 \text{ ml} \quad (41)$$

Donde:

Diferencia1: es el resultado obtenido en la resta de los datos obtenidos en un área de 25 cm².

- La diferencia de agua recolectada en un área de 25 centímetros al cuadrado es de 1.15 mililitros de agua.

Diferencia de los datos obtenidos en un área de 100 cm²

$$Diferencia2 = 5.44 - 3.37 = 2.07 \text{ ml} \quad (42)$$

Donde:

Diferencia2: es el resultado obtenido en la resta de los datos obtenidos en un área de 100 cm².

- La diferencia de agua recolectada en un área de 100 centímetros al cuadrado es de 2.07 mililitros de agua.

Diferencia de los datos obtenidos en un área de 225 cm²

$$Diferencia3 = 8.8 - 5.5 = 3.3 \text{ ml} \quad (43)$$

Donde:

Diferencia3: es el resultado obtenido en la resta de los datos obtenidos en un área de 225 cm².

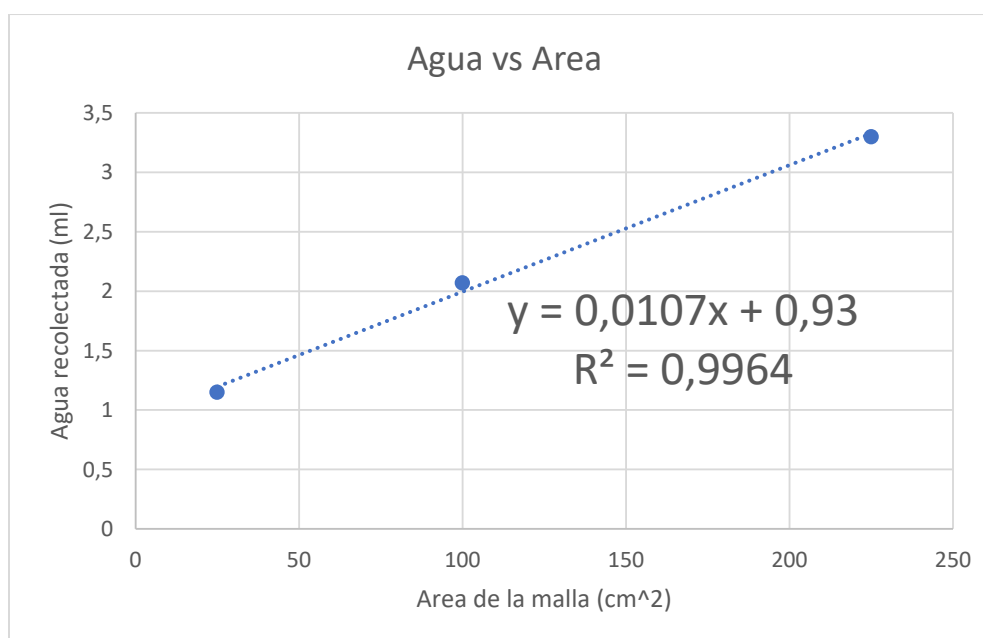
- La diferencia de agua recolectada en un área de 255 centímetros al cuadrado es de 3.3 mililitros de agua.

Este método de cálculo y promediado permite depurar los datos, eliminando las fluctuaciones causadas por la humedad y temperatura externas. Nuestro objetivo principal es analizar cómo el cambio en el tamaño de las mallas afecta la recolección de agua. Para ello, se han realizado pruebas con mallas de diferentes tamaños (5 cm x 5 cm, 10 cm x 10 cm y 15 cm x 15 cm), todas sometidas a un voltaje constante de 36 kV.

Utilizando los datos recolectados, se realiza una regresión lineal para determinar la relación entre el tamaño de las mallas y la cantidad de agua recolectada. Este análisis estadístico nos permitirá identificar y cuantificar cómo el tamaño de las mallas influye en la eficiencia de recolección bajo la aplicación de un campo eléctrico.

Tabla 12.*Diferencia de agua recolectada con y sin campo*

Área (cm ²)	Agua Electrostática (ml)
25	1,15
100	2,07
225	3,3

Figura 20.*Regresión lineal con respecto a la diferencia de agua recolectada.*

En el contexto de la regresión lineal mostrado en la Figura 20, el coeficiente de determinación R^2 es una medida estadística que indica la proporción de la variabilidad en la variable dependiente que puede ser explicada por la variable independiente. En nuestro análisis, obtuvimos un valor de $R^2 = 0.9964$, lo que sugiere que el modelo de regresión lineal explica el 99.64% de la variabilidad en la cantidad de agua recolectada en función del tamaño de las mallas metálicas.

Este valor de R^2 indica un ajuste del modelo a los datos experimentales. En términos prácticos, significa que la línea de regresión se ajusta de buena manera a los puntos de datos

observados, dejando solo un 0.36% de la variabilidad sin explicar por el modelo. Este grado de ajuste proporciona confianza en la fiabilidad y precisión del modelo predictivo, validando su uso para entender y optimizar la relación entre el tamaño de las mallas y la eficiencia de recolección de agua bajo las condiciones experimentales establecidas.

Este nivel de precisión en el ajuste del modelo es particularmente significativo, ya que indica que las variaciones en la cantidad de agua recolectada pueden ser explicadas casi en su totalidad por las variaciones en el tamaño de las mallas, cuando se aplica un voltaje constante de 36 kV. Por lo tanto, el modelo desarrollado es una herramienta para predecir el rendimiento de diferentes tamaños de mallas en aplicaciones prácticas de recolección de agua.

5.8.4 Proyección de medida de las mallas en la recolección de agua con fuente electrostática

Mediante la recopilación de datos provenientes de sistemas de captación de agua con distintas dimensiones, hemos obtenido un conjunto de datos que nos ha permitido realizar un análisis los cuales se muestran en la Tabla 13. Hemos calculado un promedio de estos datos, que sirve como base para llevar a cabo un análisis de regresión lineal. Esta técnica estadística nos ofrece una herramienta para comprender la relación entre el tamaño de las mallas de captación y la cantidad de agua recolectada. Además, nos permite no solo determinar el tamaño óptimo de las mallas para una captación eficiente, sino también prever el rendimiento esperado para diferentes condiciones y valores de captación de agua.

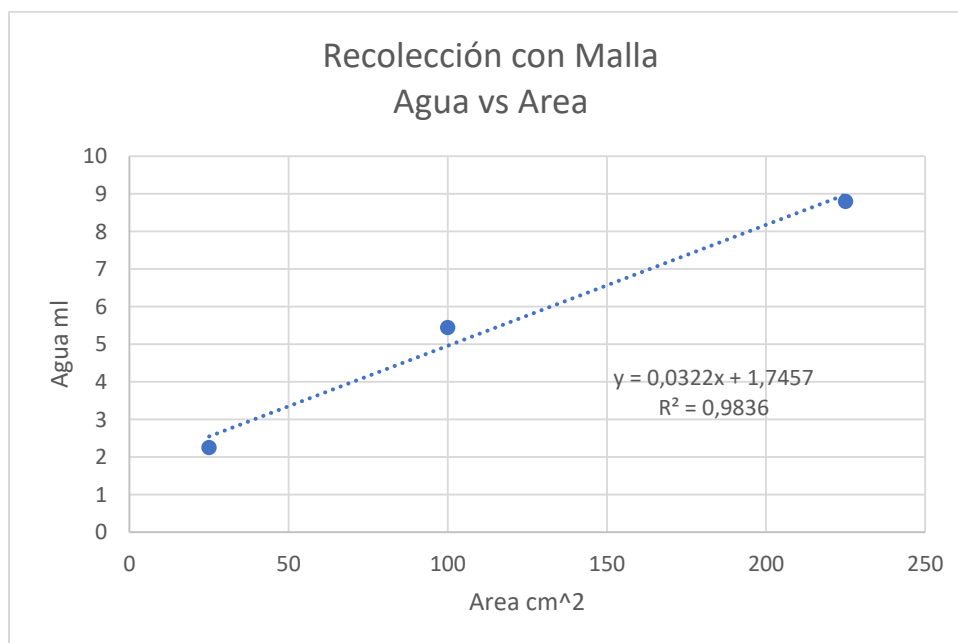
Tabla 13.

Recolección de agua de la malla electrostática.

Área de la malla (cm²)	promedio agua recolectada con campo eléctrico (ml)
25	2,25
100	5,44
225	8,8

Figura 21.

Regresión lineal con respecto a agua obtenida con campo eléctrico



Con los datos obtenidos en la regresión lineal mostrados en la Figura 21, lo que obtuvimos fue un valor de proyección el cual nos brindara apoyo en el momento de predecir el tamaño de la malla para determinada cantidad de agua.

Proyección para la estimación de medida para la captación de 1000 mililitros de agua

$$Proyección = \frac{1000 - 1,7457}{0,0322} = 31001,68634 \text{ cm}^2 \quad (44)$$

Donde:

Proyección: es el valor de medida para la malla con la condición de recolectar 1000 mililitros de agua.

- La proyección tiene un valor de 31001.68634 centímetros cuadrados.

Consiguiente convertimos este valor en metros para tener una estimación más comprensible en cuanto a la medida que buscamos aplicar cuando se quiere recolectar 1000 mililitros

$$1m^2 = 10.000 \text{ cm}^2 \quad (45)$$

$$Mm = \frac{31001.68634}{10.000} = 3.1m^2 \quad (46)$$

Donde:

Mm: es la medida de la malla en metros

- La medida en metros de la malla captadora de agua para obtener 1000 mililitros de este, es igual a 3.1 metros cuadrados.

De esta manera si se proyecta las dimensiones de las mallas a $2m^2$, despejando la cantidad de agua en la ecuación (44), se puede calcular una aproximación de la cantidad de agua que se lograría recolectar.

$$\text{Proyección} = \frac{x-1.7457}{0.0322} = 20.000 \text{ cm}^2 \quad (47)$$

$$x = 20.000 \text{ cm}^2 + 17457(0.0322) = 700 \text{ ml} \quad (48)$$

Donde:

x= agua recolectada por cada malla

- En $2m^2$ se logra captar aproximadamente 700 mililitros de agua.

Si nos vamos a una escala de recolección de agua de 100 litros por día, tomando como referencia que la malla tenga una medida de $2m^2$, solo tenemos que evaluar la cantidad de mallas recolectoras para lograr obtener tal cantidad de agua. Dado que las pruebas se hicieron cada 3 horas y se espera recolectar el agua en un día, entonces la cantidad de veces que se realizaría es 8.

$$Nm = \frac{100.000}{700*8} = 17.8 \text{ mallas} \quad (49)$$

Donde:

Nm: número de mallas de recolección

- Para recolectar 100.000 con mallas de 2 metros cuadrados, se necesita aproximadamente 18 montajes.

Esta implementación puede realizarse en un área de 2 metros cúbicos, donde se instalarían 18 mallas con una separación de 11 centímetros entre ellas. Esta disposición optimiza el uso del espacio, permitiendo recolectar una cantidad significativa de agua en un área reducida.

5.9 Regresión lineal de análisis de datos con variación de voltaje

En este punto de la investigación, se modificaron el voltaje aplicado en las mallas metálicas utilizadas para la recolección de agua con el fin de evaluar el impacto del voltaje de las mallas en la eficiencia de recolección. Se realizaron pruebas con cuatro alimentaciones diferentes: 18kV, 27kV, 36 kV y 45kV, En el caso de las mallas alimentadas con 36kV, los datos ya fueron recolectados y promediados en pruebas anteriores, sirviendo como referencia para esta fase del estudio.

Para asegurar la consistencia en las condiciones experimentales y obtener resultados comparables, todas las mallas tienen un tamaño de 10x10 centímetros. Esta configuración experimental permitió analizar cómo el voltaje aplicado en las mallas afecta la capacidad de recolección de agua bajo un tamaño específico, proporcionando información valiosa sobre la optimización del diseño de las mallas para maximizar la eficiencia en diversas condiciones.

5.9.1 Datos recolectados por las mallas

Se llevo a cabo cuatro pruebas denominadas A, B, C y D en las cuales se obtuvo la recolección de agua con los tres voltajes distintos, en cada prueba se manejó el tamaño de malla de 10 x 10 centímetros y se realizó como en las anteriores pruebas en un campo cerrado y un humidificador que simula una neblina constante de 330 mililitros por centímetro cubico en un periodo de tres horas, los datos obtenidos fueron obtenidos por jeringas de 10 ml/cc en los cuales se muestran en la siguiente Tabla 14:

Tabla 14.

Datos recolectados con variación de voltaje

Prueba	Temperatura promedio	Humedad promedio	Neblina expulsada	Voltaje aplicado	Agua recolectada
---------------	-----------------------------	-------------------------	--------------------------	-------------------------	-------------------------

	(°C)	(%)	(ml/cc)	(kV)	con campo eléctrico (ml)
A	19.9	67	330	18	1.7
B	15.7	71	330	27	2.8
C	16.2	70	330	36	4.2
D	19	77	330	45	6.4

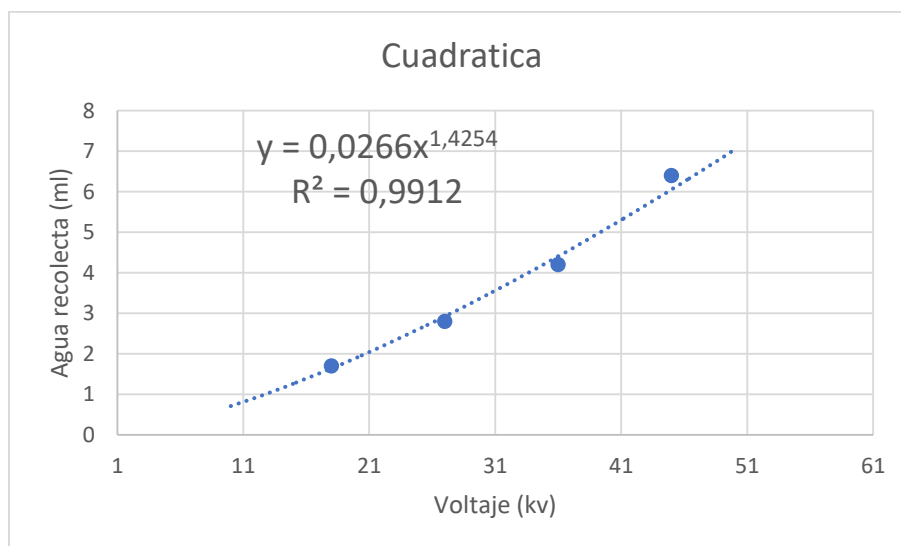
5.9.2 *Análisis de resultados obtenidos con variación de voltaje*

Con los datos obtenidos, nuestro objetivo principal es analizar cómo el cambio de voltaje aplicado a las mallas afecta la recolección de agua. Para ello, se han realizado pruebas con voltajes distintos (18kV, 27kV, 36kV, 45kV), todas sometidas a una malla de captación de agua de 10x10 centímetros.

Utilizando los datos recolectados, se realiza una tendencia potencial y exponencial para determinar la relación entre el voltaje de las mallas y la cantidad de agua recolectada. Este análisis nos permitirá identificar y cuantificar cómo el voltaje aplicado en las mallas influye en la eficiencia de recolección de agua.

5.9.2.1 *Tendencia potencial*

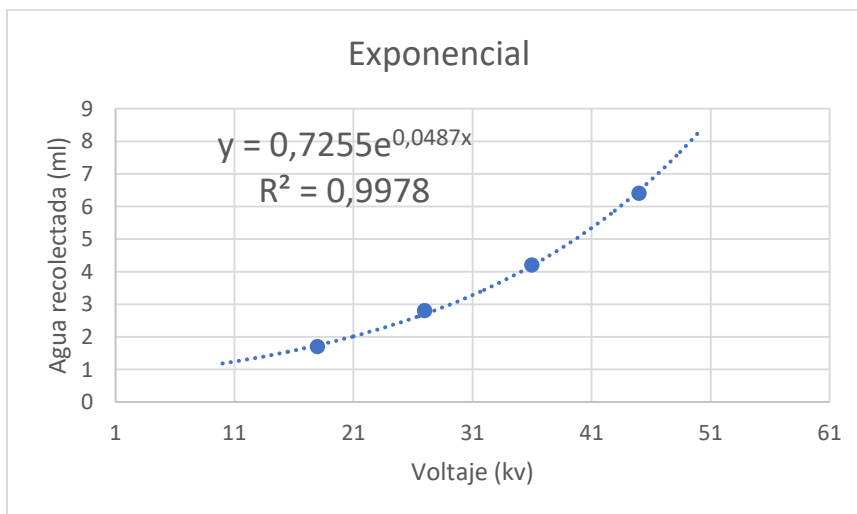
En este punto se realizó una gráfica de tendencia potencial como se muestra en la Figura 22. Para la representación visual de la relación entre dos variables: la cantidad de agua recolectada y el voltaje aplicado, siguiendo una relación potencial o una función de potencia. En otras palabras, en lugar de una relación lineal (como en una regresión lineal).

Figura 22.*Grafica de tendencia Potencial*

Este proceso se lleva a cabo para determinar si los datos obtenidos se ajustan adecuadamente a una gráfica de tendencia cuadrática. Un buen ajuste a una gráfica cuadrática indicaría que la cantidad de agua recolectada está directamente relacionada con la fuerza del campo eléctrico aplicado. Esta relación cuadrática sugiere que el aumento en la cantidad de agua recolectada no es lineal, sino que se incrementa a un ritmo más acelerado a medida que se incrementa la fuerza del campo eléctrico.

5.9.2.2 *Tendencia exponencial*

En este punto se realizó una gráfica de tendencia exponencial como se muestra en la Figura 23. Para la representación visual de la relación entre dos variables: la cantidad de agua recolectada y el voltaje aplicado, dado que con el análisis anterior se evidencia que la recolección no es completamente lineal se hizo una relación exponencial.

Figura 23.*Grafica de tendencia exponencial*

Este proceso se realizó para evaluar si los datos obtenidos se ajustan adecuadamente a la gráfica de tendencia exponencial. Un buen ajuste a una gráfica exponencial indicaría que la cantidad de agua recolectada está directamente relacionada con la ionización de las moléculas de agua presentes en el aire. Esta relación exponencial sugiere que a medida que aumenta el campo eléctrico, la eficiencia en la recolección de agua se incrementa de manera significativa debido a la mayor ionización de las moléculas de agua.

5.9.3 Análisis de tendencia potencial y exponencial

Como se observa en la Figura 23, los datos obtenidos siguen una tendencia exponencial, lo cual indica que la eficiencia de recolección de agua está inducida por la ionización de las moléculas de agua presentes en el aire. En contraste, la gráfica de tendencia potencial no muestra una relación lineal potencial entre los datos.

En una relación exponencial, la cantidad de agua recolectada aumenta a una tasa exponencial con el voltaje aplicado. Esto significa que, al incrementar el voltaje de manera constante, la cantidad de agua capturada aumenta en una proporción cada vez mayor. Esta relación puede explicarse por el hecho de que el campo eléctrico generado en la malla no solo atrae las moléculas de agua del aire, sino que también las ioniza. Las moléculas de agua ionizadas son aún más atraídas por el campo eléctrico, lo que resulta en un aumento exponencial de la cantidad de agua capturada, como se ilustra en la Figura 23.

5.9.4 *Proyección de la recolección de agua con fuente electrostática con respecto al tiempo*

Mediante la recopilación de datos provenientes de sistemas de captación de agua con distintas alimentaciones de voltaje, hemos obtenido un conjunto de datos que nos ha permitido realizar un análisis, el cual nos permite no solo determinar el voltaje aplicado en las mallas para una captación eficiente, sino también prever el rendimiento esperado para diferentes condiciones y valores de captación de agua.

En este caso vamos a proyectar la cantidad de tiempo que se necesita para recolectar una cantidad de agua determinada, resaltando que la malla tiene un tamaño de 10 x 10 centímetros. Teniendo en cuenta cada voltaje aplicado y el agua recolectada en cada prueba, con un tiempo de tres horas cada una, se realizan los siguientes cálculos:

Determinamos la cantidad de tiempo (días) que se necesita para recolectar 1000ml de agua, con un voltaje aplicado de 18 kV y una malla de recolección de 10x10 centímetros.

$$\#Veces = \frac{24}{3} = 8 \text{ veces al día} \quad (50)$$

$$AguaDía = 1,7 * 8 = 13,6 \text{ ml} \quad (51)$$

$$Tiempo = \frac{1000}{13,6} = 73.53 \text{ días} \quad (52)$$

Donde:

#Veces: es la cantidad de muestras que se logran realizar en un día.

AguaDía: es la cantidad de agua recolectada en un día.

Tiempo: es la cantidad de días que demora en recolectar 1000 ml de agua.

- Para recolectar 1000 ml de agua, con un voltaje de 18kV y un tamaño de malla de 10x10 centímetros, se requiere un intervalo de tiempo de 74 días

Siguiendo el mismo proceso anterior, los cálculos del tiempo para cada valor de voltaje nos dan las siguientes aproximaciones.

- Para recolectar 1000 ml de agua, con un voltaje de 27kV y un tamaño de malla de 10x10 centímetros, se requiere un intervalo de tiempo de 45 días.
- Para recolectar 1000 ml de agua, con un voltaje de 36kV y un tamaño de malla de 10x10 centímetros, se requiere un intervalo de tiempo de 30 días.

- Para recolectar 1000 ml de agua, con un voltaje de 45kV y un tamaño de malla de 10x10 centímetros, se requiere un intervalo de tiempo de 20 días.

Tabla 15.

Proyección de recolección de un litro con variación de voltaje.

Voltaje aplicado (kV)	Proyección de agua recolectada (ml)	Proyección de tiempo de recolección (Días)
18	1000	74
27	1000	45
36	1000	30
45	1000	20

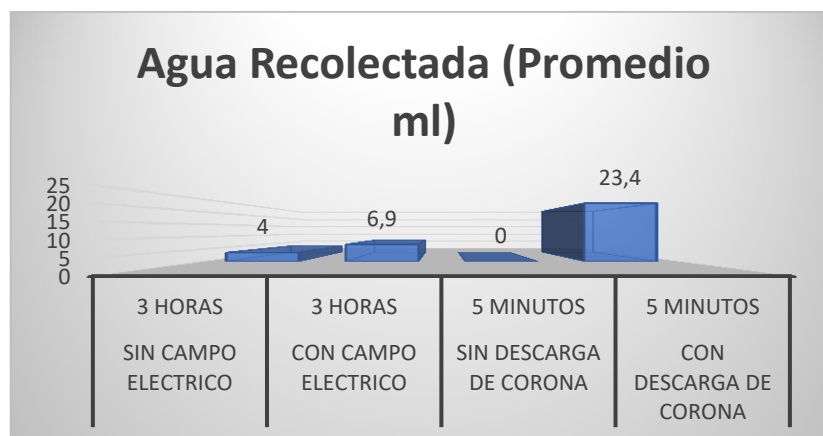
Aunque la eficiencia de recolección de agua como se muestra en la Tabla 15, aumenta de manera exponencial con el incremento del voltaje aplicado, es importante reconocer que un voltaje extremadamente alto puede afectar negativamente este proceso debido al efecto de descarga del campo eléctrico. Al superar el umbral de voltaje de ruptura del aire, se produce una ionización excesiva que resulta en la formación de plasma y una descarga eléctrica, lo cual no solo interrumpe la recolección de agua, sino que también puede dañar el equipo y comprometer la seguridad del sistema. Por lo tanto, es esencial encontrar un equilibrio óptimo en el voltaje aplicado para maximizar la eficiencia de recolección sin incurrir en efectos adversos de descarga eléctrica (Krile et al., 2004).

5.10 Comparación directa con la investigación (Electrostatically driven fog collection using space charge injection).

La evaluación comparativa de los resultados obtenidos en los experimentos de recolección de niebla, tanto con descarga de voltaje como sin él, revela diferencias significativas que son cruciales para el diseño y optimización de sistemas de recolección de agua atmosférica. Para una comparación clara, se presenta la Tabla 16 con los resultados promedio de recolección en ambos casos:

Tabla 16.*Comparación de resultados obtenidos con un antecedente*

Método de Recolecta	Duración	Agua Recolectada (Promedio ml)
Sin campo eléctrico	3 horas	3.375
Con campo eléctrico	3 horas	5.443
Sin descarga de corona	5 minutos	0 (todos los casos)
Con descarga de corona	5 minutos	23.4 (promedio de Malla)

Figura 24.*Gráfico de resultados promedio en la comparación con antecedente*

En ambos conjuntos de datos, los experimentos sin descarga de voltaje muestran resultados significativamente bajos o nulos. Esto indica que la tecnología tradicional sin asistencia eléctrica es menos eficiente en la captura de agua de niebla.

Con la aplicación de la descarga de voltaje, la cantidad de agua recolectada mejora en todos los casos. Por ejemplo, en los experimentos de 5 minutos en el antecedente, la recolección va desde 15 ml hasta 30 ml, dependiendo de la malla. Los datos recolectados en nuestro experimento de 3 horas, el promedio de recolección con campo eléctrico es también significativamente mayor que sin él, además de que, en comparación entre nuestro experimento y el antecedente, es crucial considerar varios factores que influyen directamente en la eficiencia de la recolección de agua de niebla. Las diferencias en los resultados pueden atribuirse principalmente a las diferencias en la configuración experimental, incluyendo el tipo de mallas

utilizadas, la intensidad del campo eléctrico aplicado y las condiciones bajo las cuales se llevó a cabo la recolección de niebla.

5.10.1 Intensidad del Campo Eléctrico

El experimento del antecedente aplicó un campo eléctrico de mayor intensidad (50.000 voltios) comparado con nuestro estudio (36.000 voltios). Un campo eléctrico más intenso puede mejorar la eficacia de la captura de gotas mediante la ionización más efectiva del aire y las gotas de agua, lo que resulta en una atracción más fuerte hacia las superficies colectoras. En nuestro experimento, aunque se utilizó un campo eléctrico, la intensidad pudo haber sido baja para maximizar la captura de gotas de niebla en comparación con el estudio previo.

5.10.2 Condiciones Experimentales

Otro factor crucial es el entorno en el que se realizaron los experimentos. En el estudio de antecedente, el flujo de niebla pasaba directamente a través de la malla, asegurando que todas las gotas presentes en el aire tuvieran la oportunidad de ser capturadas. En contraste, nuestro experimento se llevó a cabo en un ambiente cerrado donde la niebla estaba contenida y no forzada a través de las mallas. Esta diferencia en la dinámica del flujo de niebla podría resultar en una menor eficiencia de recolección, ya que las gotas no estaban continuamente en contacto con las superficies colectoras.

5.11 Datos obtenidos por el sistema de captación de agua en un ambiente real

En este estudio se detalla los resultados recopilados del sistema de captación de agua de 10x10 centímetros implementado en un entorno natural. Se analizan los datos obtenidos por el sistema, incluyendo las mediciones realizadas en condiciones reales de neblina en la Reserva Natural del Encano, Nariño. Se destacan las diferencias entre los resultados obtenidos por las mallas de captación de agua con y sin campo eléctrico, ofreciendo una visión completa del rendimiento del sistema en un contexto práctico y ambientalmente relevante.

Tabla 17.

Variables medidas en campo real

Variabes ambientales	Resultado
-----------------------------	------------------

Temperatura	7-10°C
Humedad	86%
Altura	2680 ms.n.m.
Ubicación	1°06'00"N 77°09'07"O
Horas	5 horas

5.11.1 Datos obtenidos por el sistema de captación de agua sin fuente electrostática en un ambiente real

En este estudio presenta el resultado específico del sistema de captación de agua sin la aplicación de una fuente electrostática, recopilado en un entorno natural. Se examinan la medición realizada durante la exposición a la neblina en la Reserva Natural del Encano, Nariño. Se proporciona un análisis detallado del dato obtenido por esta configuración de malla de captación de agua, destacando su desempeño y efectividad en condiciones reales, los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 18.

Tabla 18.

Dato obtenido en campo real por malla sin fuente

Sistema	Promedio de Agua Recolectada (ml/cc)
Sin Campo Eléctrico	2.6

5.11.2 Datos obtenidos por el sistema de captación de agua con fuente electrostática en un ambiente real

Este estudio detalla los resultados específicos del sistema de captación de agua mostrados en la Tabla 19, donde se aplicó una fuente electrostática, obtenidos en un entorno natural. Se analizan las mediciones realizadas durante la exposición a la neblina en la Reserva Natural del Encano, Nariño. Se ofrece un análisis exhaustivo de los datos obtenidos por esta configuración de malla de captación de agua, resaltando su rendimiento y eficacia en condiciones reales.

Tabla 19.

Dato obtenido en campo real por la malla con campo eléctrico.

Sistema	Promedio de Agua Recolectada (ml/cc)
Sin Campo Eléctrico	7.9

5.12 Análisis comparativo de las pruebas con y sin campo eléctrico en un ambiente real

Para este análisis comparativo, se llevó a cabo una evaluación exhaustiva de los resultados obtenidos en las pruebas realizadas tanto con la activación como sin ella del campo eléctrico en la malla de captación de agua, con el objetivo de abordar integralmente los datos recopilados. Este enfoque integral proporciona una comprensión profunda de los patrones observados en un entorno real. Se enfatizan los procedimientos seguidos para cada prueba, resaltando las diferencias entre las condiciones con y sin activación del campo eléctrico. Además, se realiza una evaluación detallada de la eficiencia de cada sistema en términos de la cantidad de agua recolectada, con el propósito de identificar cualquier ventaja o limitación asociada con la activación del campo eléctrico en el proceso de captación de agua.

Tabla 20.

Análisis comparativos entre las dos mallas

Agua Recolectada sin Campo Eléctrico (ml/cc)	Agua Recolectada con Campo Eléctrico (ml/cc)
2.6	7.9

Observando los resultados de ambas pruebas mostrados en la Tabla 20, se evidencia una marcada disparidad en la cantidad de agua recolectada entre el sistema convencional y el sistema con fuente electrostática. La activación del campo eléctrico en la malla generó un aumento sustancial en la eficiencia del sistema de captación de agua. Esto indica que la tecnología de la fuente electrostática mejora considerablemente la capacidad de recolección de agua en comparación con los métodos convencionales en un ambiente real.

5.13 Comparación cuantitativa de la eficiencia de recolección de agua en un ambiente real

En este estudio, se realizó una comparación exhaustiva de la eficiencia en la recolección de agua entre el sistema convencional (sin campo eléctrico) y el sistema con la aplicación de una fuente electrostática. Se examinaron minuciosamente los datos obtenidos para evaluar el desempeño de cada sistema en cuanto a la cantidad de agua recolectada por unidad de tiempo y el porcentaje de eficiencia.

5.13.1 Eficiencia del sistema convencional en un ambiente real:

En las pruebas sin campo eléctrico, la cantidad obtenida de agua recolectada fue de 2.6 mililitros por centímetro cúbico.

La eficiencia del sistema convencional se calcula como el promedio de la cantidad de agua recolectada dividida por la duración de la prueba (3 horas).

$$n_c = \frac{2.6}{5} = 0.52ml/h \quad (53)$$

Dónde:

n_c : Eficiencia a calcular.

Eficiencia promedio del sistema convencional: 0.52 mililitros por hora.

5.13.2 Eficiencia del sistema con fuente electrostática:

En las pruebas con la activación del campo eléctrico, la cantidad de agua recolectada fue de 7.9 mililitros por centímetros cúbicos.

La eficiencia del sistema con fuente electrostática se calcula de manera similar al sistema convencional.

$$n_c = \frac{7.9}{5} = 1.58ml/h \quad (54)$$

Dónde:

n_c : Eficiencia a calcular.

Eficiencia promedio del sistema con fuente electrostática: 1.58 mililitros por hora.

5.13.3 Interpretación de los resultados

La comparación cuantitativa revela que el sistema con fuente electrostática logró recolectar un promedio de 1.58 mililitros más de agua por hora en comparación con el sistema convencional.

La eficiencia del sistema con fuente electrostática se calculó tomando el valor promedio del sistema con campo eléctrico y sin él campo eléctrico, teniendo en cuenta el valor menor que es el dato promedio obtenido por la malla sin fuente electrostática el cual se tomó como referencia para observar en que porcentaje aumenta el dato promedio obtenido por la malla con fuente electrostática.

$$n_c \% = \frac{7.9-2.6}{2.6*100} = 203.8\% \quad (55)$$

n_c %: Porcentaje de eficiencia a calcular.

Este resultado indica un aumento significativo del 203.8% en la eficiencia de recolección de agua al activar el campo eléctrico en la malla recolectora.

Los resultados apuntan hacia el impacto positivo de la tecnología de la fuente electrostática en la mejora del rendimiento del sistema de captación de agua, lo cual confirma la hipótesis de investigación planteada.

Conclusiones

La activación del campo eléctrico en la malla demuestra una mejora en la eficiencia del sistema de captación de agua. Los resultados experimentales muestran un incremento notable en la cantidad de agua recolectada cuando se aplica un campo eléctrico, lo que confirma la hipótesis de que la tecnología electrostática puede aumentar la eficiencia de la recolección de agua atmosférica.

La tecnología de fuente electrostática ofrece un método prometedor para mejorar la recolección de agua atmosférica en entornos controlados. Los resultados experimentales indican que la aplicación de un campo eléctrico no solo mejora la captación de agua, sino que también puede ser optimizada para diferentes condiciones ambientales y de operación.

Los resultados obtenidos respaldan la validez de la hipótesis de investigación planteada inicialmente, que postulaba que la eficiencia del sistema de captación de agua equipado con una fuente electrostática sería significativamente mayor que la de los sistemas convencionales. Este estudio sugiere un potencial significativo para la aplicación práctica de esta tecnología en la captación de agua.

La implementación de esta tecnología en sistemas de captación de agua podría representar una solución innovadora y eficiente para abordar problemas de escasez de agua en diversas regiones, especialmente en aquellas con alta humedad, pero baja disponibilidad de agua potable.

Se logró diseñar y construir ambos sistemas de captación de agua. Los sistemas se probaron en un entorno controlado, asegurando condiciones uniformes para la evaluación comparativa. El sistema con la fuente electrostática mostró una mayor eficiencia en la recolección de agua, confirmando la efectividad del diseño.

Las pruebas experimentales se llevaron a cabo con éxito, siguiendo un protocolo estándar y en un ambiente controlado para evitar influencias externas. Los resultados mostraron que el sistema con campo eléctrico recolectó más agua en comparación con el sistema convencional en cada una de las pruebas realizadas.

El análisis de datos reveló que el sistema con la fuente electrostática superó al sistema convencional en términos de eficiencia de recolección de agua. La comparación cuantitativa mostró incrementos significativos en la cantidad de agua recolectada, lo que respalda la hipótesis de que la tecnología electrostática mejora la eficiencia del sistema de captación de agua.

El análisis de regresión lineal demuestra que existe una relación directa y significativa entre el tamaño de las mallas metálicas y la eficiencia de recolección de agua bajo la aplicación de un campo eléctrico. Los resultados muestran que el incremento en el área de las mallas mejora la cantidad de agua recolectada, evidenciado por el aumento de la diferencia de agua recolectada con y sin campo eléctrico. Por ejemplo, las mallas de 225 cm² recolectaron 3.3 ml de agua y las mallas de 25 cm² 1.15 ml. Este hallazgo sugiere que, al optimizar el tamaño de las mallas, se puede maximizar la eficiencia de los sistemas de recolección de agua, lo cual es crucial para el diseño y desarrollo de dispositivos más efectivos en la captura de agua de neblina.

El análisis de los datos recolectados muestra una relación exponencial entre el voltaje aplicado en las mallas metálicas y la cantidad de agua recolectada. A medida que se incrementa el voltaje, la cantidad de agua capturada aumenta de manera significativa. Por ejemplo, al aplicar 45 kV, la cantidad de agua recolectada fue de 6.4 ml, mientras que con 18 kV solo se recolectaron 1.7 ml. Este comportamiento sugiere que el aumento del voltaje incrementa la ionización de las moléculas de agua en el aire, lo que a su vez mejora la eficiencia de recolección de agua. Este hallazgo es crucial para optimizar los sistemas de captación de agua, indicando que se puede mejorar significativamente su rendimiento ajustando adecuadamente el voltaje aplicado.

Recomendaciones

Para evaluar la robustez y adaptabilidad del sistema de captación de agua con fuente electrostática, es esencial realizar pruebas adicionales bajo diversas condiciones ambientales. Estas pruebas deberían incluir variaciones en temperatura, humedad relativa, y velocidad del viento, para obtener una comprensión más completa de cómo se desempeña el sistema en diferentes entornos.

Explorar posibles mejoras en el diseño y la implementación de la tecnología electrostática es crucial para optimizar aún más la eficiencia del sistema de captación de agua. Esto podría incluir ajustes en la configuración de la malla, la intensidad del campo eléctrico, y la disposición de los componentes del sistema para maximizar la recolección de agua.

Desarrollar prototipos basados en los hallazgos de este estudio y probarlos en escenarios prácticos puede proporcionar datos valiosos sobre la eficiencia y la durabilidad del sistema. Además, colaborar con comunidades locales y organismos gubernamentales podría facilitar la implementación a gran escala de esta tecnología, contribuyendo así a soluciones sostenibles para la recolección de agua.

Aunque el incremento del voltaje aplicado a las mallas mejora de manera notable la eficiencia en la recolección de agua, existe un límite práctico debido al fenómeno de descarga del campo eléctrico.

Trabajos futuros

Realizar estudios adicionales en diferentes condiciones ambientales (varias humedades relativas, temperaturas y velocidades del viento) para evaluar la adaptabilidad y robustez del sistema electrostático en diversos entornos.

Explorar mejoras en el diseño del sistema, incluyendo la configuración de la malla y la intensidad del campo eléctrico, para maximizar la eficiencia de recolección de agua.

Desarrollar y probar prototipos del sistema en escenarios reales fuera del laboratorio para evaluar su viabilidad y rendimiento a gran escala. Esto incluiría estudios piloto en diferentes regiones con condiciones climáticas variadas.

Investigar el uso de diferentes materiales para la malla y otros componentes del sistema para mejorar la durabilidad y eficiencia de la captación de agua.

Realizar un análisis económico detallado para evaluar la viabilidad financiera de implementar esta tecnología a gran escala. Además, estudiar el impacto ambiental del sistema para asegurar que su uso sea sostenible y ecológicamente beneficioso.

Investigar posibles aplicaciones alternativas de la tecnología electrostática en otros campos, como la purificación de aire o la recolección de otros tipos de partículas atmosféricas, ampliando así el alcance de esta tecnología innovadora.

Explorar un nuevo material de soporte es fundamental, dado que la madera, a largo plazo, tiende a deteriorarse por la humedad presente. Además, la madera mojada puede llegar a conducir electricidad, lo que aumenta el riesgo de combustión al estar expuesta a neblina constante y a campos electrostáticos.

Referencias

- Colorado. (2011). *Coulomb's Law*. 155–155. https://doi.org/10.1007/978-90-481-3585-1_576
- Cruzat, D., & Jerez-Hanckes, C. (2018). Electrostatic fog water collection. *Journal of Electrostatics*, 96, 128–133. <https://doi.org/10.1016/j.elstat.2018.10.009>
- Damak, M., & Varanasi, K. K. (2017). *Recolección de niebla impulsada electrostáticamente mediante inyección de carga espacial*. 15.
- Fu, H., Xu, W., Liu, Z., & Yan, K. (2022). Fog Droplet Collection by Corona Discharge in a Needle–Cylinder Electrostatic Precipitator with a Water Cooling System. *Separations*, 9(7). <https://doi.org/10.3390/separations9070169>
- Gascoyne PR, V. J. (2002). *Particle separation by dielectrophoresis*. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2726256/>
- Inform, G. D. E. L. A., Tema, T., & Iglesias, P. (2010). *Fundamentos físicos y tecnológicos de la informática*.
- Kirby, A. (2004). Escasez de agua: ¿se avecina una crisis? *BBC Mundo| Ciencia|*, 1–5. http://news.bbc.co.uk/hi/spanish/science/newsid_4052000/4052657.stm
- Knapczyk-Korczak, J., Szewczyk, P. K., Ura, D. P., Berent, K., & Stachewicz, U. (2020). Hydrophilic nanofibers in fog collectors for increased water harvesting efficiency. *RSC Advances*, 10(38), 22335–22342. <https://doi.org/10.1039/d0ra03939j>
- Krile, J. T., Neuber, A. A., Dickens, J. C., & Krompholz, H. G. (2004). DC flashover of a dielectric surface in atmospheric conditions. *IEEE Transactions on Plasma Science*, 32(5 I), 1828–1834. <https://doi.org/10.1109/TPS.2004.835483>
- Mahecha, C. (2011). Análisis de los componentes físicos y ambientales para la captación de agua niebla como complemento de abastecimiento para zonas rurales del departamento de Cundinamarca. *Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical*, 44(8), 1–13. <https://doi.org/10.1088/1751-8113/44/8/085201>
- Minagricultura, M. de A. (2017). Principales Cultivos por Área Sembrada, Nariño. *Evaluaciones*

- Agropecuarias Municipales*, 1. https://www.agronet.gov.co/Documents/NARIÑO_2017.pdf
- Morera, T., Solís, R., Brenes, J., Hernández, G., & González, J. (2012). Composición química del agua de lluvia y de niebla recolectada en la reserva biológica Monteverde. *Uniciencia*, 26, 51–64. <http://www.revistas.una.ac.cr/index.php/uniciencia/article/view/3862>
- Naciones Unidas. (2019). Cumbre sobre los Objetivos de Desarrollo Sostenible. *Foro Político de Alto Nivel Sobre El Desarrollo Sostenible*, 7. <https://documents-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/LTD/N19/273/44/PDF/N1927344.pdf?OpenElement>
- Pinzón, J. (2018). *Prototipo generador de agua a partir de condensación del aire*.
- Pramonos, S. (2015). Niebla como fuente alternativa para suministro de agua. *Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito*, 13. <http://catalogo.escuelaing.edu.co/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=17709>
- Triana-Madrid, J. C., Ocampo-Marulanda, C., & Carvajal-Escobar, Y. (2021). Evaluación de la sequía en el departamento de Nariño mediante el índice estandarizado de precipitación y evapotranspiración (SPEI) utilizando inteligencia artificial. *Retrieved From*, 1–93. <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/handle/10893/21520/Evaluacion-Sequia-Departamento-Triana-Juan-Camilo-3754-2021.pdf?sequence=1>
- Yan, R., McClure, T. S., Jasim, I. H., Koppula, A. K. R., Wang, S., Almasri, M., & Chen, C. L. (2018). Enhanced water capture induced with electrowetting-on-dielectric (EWOD) approach. *Applied Physics Letters*, 113(20), 1–6. <https://doi.org/10.1063/1.5053703>
- Colorado. (2011). *Coulomb's Law*. 155–155. https://doi.org/10.1007/978-90-481-3585-1_576
- Cruzat, D., & Jerez-Hanckes, C. (2018). Electrostatic fog water collection. *Journal of Electrostatics*, 96, 128–133. <https://doi.org/10.1016/j.elstat.2018.10.009>
- Damak, M., & Varanasi, K. K. (2017). *Recolección de niebla impulsada electrostáticamente mediante inyección de carga espacial*. 15.
- Fu, H., Xu, W., Liu, Z., & Yan, K. (2022). Fog Droplet Collection by Corona Discharge in a Needle–Cylinder Electrostatic Precipitator with a Water Cooling System. *Separations*, 9(7). <https://doi.org/10.3390/separations9070169>
- Gascoyne PR, V. J. (2002). *Particle separation by dielectrophoresis*. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2726256/>
- Inform, G. D. E. L. A., Tema, T., & Iglesias, P. (2010). *Fundamentos físicos y tecnológicos de la informática*.

- Kirby, A. (2004). Escasez de agua: ¿se avecina una crisis? *BBC Mundo/ Ciencia*, 1–5.
http://news.bbc.co.uk/hi/spanish/science/newsid_4052000/4052657.stm
- Knapczyk-Korczak, J., Szewczyk, P. K., Ura, D. P., Berent, K., & Stachewicz, U. (2020). Hydrophilic nanofibers in fog collectors for increased water harvesting efficiency. *RSC Advances*, 10(38), 22335–22342. <https://doi.org/10.1039/d0ra03939j>
- Krile, J. T., Neuber, A. A., Dickens, J. C., & Krompholz, H. G. (2004). DC flashover of a dielectric surface in atmospheric conditions. *IEEE Transactions on Plasma Science*, 32(5 I), 1828–1834. <https://doi.org/10.1109/TPS.2004.835483>
- Mahecha, C. (2011). Análisis de los componentes físicos y ambientales para la captación de agua niebla como complemento de abastecimiento para zonas rurales del departamento de Cundinamarca. *Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical*, 44(8), 1–13.
<https://doi.org/10.1088/1751-8113/44/8/085201>
- Minagricultura, M. de A. (2017). Principales Cultivos por Área Sembrada, Nariño. *Evaluaciones Agropecuarias Municipales*, 1. https://www.agronet.gov.co/Documents/NARIÑO_2017.pdf
- Morera, T., Solís, R., Brenes, J., Hernández, G., & González, J. (2012). Composición química del agua de lluvia y de niebla recolectada en la reserva biológica Monteverde. *Uniciencia*, 26, 51–64. <http://www.revistas.una.ac.cr/index.php/uniciencia/article/view/3862>
- Naciones Unidas. (2019). Cumbre sobre los Objetivos de Desarrollo Sostenible. *Foro Político de Alto Nivel Sobre El Desarrollo Sostenible*, 7. <https://documents-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/LTD/N19/273/44/PDF/N1927344.pdf?OpenElement>
- Pinzón, J. (2018). *Prototipo generador de agua a partir de condensación del aire*.
- Pramonos, S. (2015). Niebla como fuente alternativa para suministro de agua. *Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito*, 13. <http://catalogo.escuelaing.edu.co/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=17709>
- Triana-Madrid, J. C., Ocampo-Marulanda, C., & Carvajal-Escobar, Y. (2021). Evaluación de la sequía en el departamento de Nariño mediante el índice estandarizado de precipitación y evapotranspiración (SPEI) utilizando inteligencia artificial. *Retrieved From*, 1–93.
<https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/handle/10893/21520/Evaluacion-Sequia-Departamento-Triana-Juan-Camilo-3754-2021.pdf?sequence=1>
- Yan, R., McClure, T. S., Jasim, I. H., Koppula, A. K. R., Wang, S., Almasri, M., & Chen, C. L. (2018). Enhanced water capture induced with electrowetting-on-dielectric (EWOD)

approach. *Applied Physics Letters*, 113(20), 1–6. <https://doi.org/10.1063/1.5053703>

 <p>UNIVERSIDAD CESMAG NIT: 800.109.387-7 VIGILADA MINEDUCACIÓN</p>	CARTA DE ENTREGA TRABAJO DE GRADO O TRABAJO DE APLICACIÓN – ASESOR(A)	CÓDIGO: AAC-BL-FR-032
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 09/JUN/2022

San Juan de Pasto, 3 de septiembre de 2024

Biblioteca
REMIGIO FIORE FORTEZZA OFM. CAP.
Universidad CESMAG
Pasto


Saludo de paz y bien.

Por medio de la presente se hace entrega del Trabajo de Grado / Trabajo de Aplicación denominado Estudio de la eficiencia de un sistema de captación de agua aplicando una fuente electrostática, presentado por el (los) autor(es) Andrés Felipe Guerra Ricaurte y Anderson Camilo Rosero Realpe del Programa Académico Ingeniería Electrónica al correo electrónico biblioteca.trabajosdegrado@unicesmag.edu.co. Manifiesto como asesor(a), que su contenido, resumen, anexos y formato PDF cumple con las especificaciones de calidad, guía de presentación de Trabajos de Grado o de Aplicación, establecidos por la Universidad CESMAG, por lo tanto, se solicita el paz y salvo respectivo.

Atentamente,


(Firma del Asesor)


Edgar Alberto Unigarro Calpa
C.C. 1085266351
Ingeniera Electrónica
Cel. 3182969880
C. E. eaunigarro@unicesmag.edu.co

 UNIVERSIDAD CESMAG <small>NIT: 800.109.387-7 VIGILADA Mineducación</small>	AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN DE TRABAJOS DE GRADO O TRABAJOS DE APLICACIÓN EN REPOSITORIO INSTITUCIONAL	CÓDIGO: AAC-BL-FR-031
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 09/JUN/2022

INFORMACIÓN DEL (LOS) AUTOR(ES)	
Nombres y apellidos del autor: Andrés Felipe Guerra Ricaurte	Documento de identidad: 1233194511
Correo electrónico: andyptee311@gmail.com	Número de contacto: 318 7779126
Nombres y apellidos del autor: Anderson Camilo Rosero Realpe	Documento de identidad: 1004695224
Correo electrónico: anderson15rosero@gmail.com	Número de contacto: 321 3629333
Nombres y apellidos del autor:	Documento de identidad:
Correo electrónico:	Número de contacto:
Nombres y apellidos del asesor: Edgar Alberto Unigarro Calpa	Documento de identidad: 1085266351
Correo electrónico: eaunigarro@unicesmag.edu.co	Número de contacto: 3182969880
Título del trabajo de grado: Estudio de la eficiencia de un sistema de captación de agua aplicando una fuente electrostática	
Facultad y Programa Académico: Facultad de ingeniería, ingeniería electrónica.	

En mi (nuestra) calidad de autor(es) y/o titular (es) del derecho de autor del Trabajo de Grado o de Aplicación señalado en el encabezado, confiero (conferimos) a la Universidad CESMAG una licencia no exclusiva, limitada y gratuita, para la inclusión del trabajo de grado en el repositorio institucional. Por consiguiente, el alcance de la licencia que se otorga a través del presente documento, abarca las siguientes características:

- a) La autorización se otorga desde la fecha de suscripción del presente documento y durante todo el termino en el que el (los) firmante(s) del presente documento conserve(mos) la titularidad de los derechos patrimoniales de autor. En el evento en el que deje(mos) de tener la titularidad de los derechos patrimoniales sobre el Trabajo de Grado o de Aplicación, me (nos) comprometo (comprometemos) a informar de manera inmediata sobre dicha situación a la Universidad CESMAG. Por consiguiente, hasta que no exista comunicación escrita de mi(nuestra) parte informando sobre dicha situación, la Universidad CESMAG se encontrará debidamente habilitada para continuar con la publicación del Trabajo de Grado o de Aplicación dentro del repositorio institucional. Conozco(conocemos) que esta autorización podrá revocarse en cualquier momento, siempre y cuando se eleve la solicitud por escrito para dicho fin ante la Universidad CESMAG. En estos eventos, la Universidad CESMAG cuenta con el plazo de un mes después de recibida la petición, para desmarcar la visualización del Trabajo de Grado o de Aplicación del repositorio institucional.
- b) Se autoriza a la Universidad CESMAG para publicar el Trabajo de Grado o de Aplicación en formato digital y teniendo en cuenta que uno de los medios de publicación del repositorio institucional es el internet, acepto(amos) que el Trabajo de Grado o de Aplicación circulará con un alcance mundial.
- c) Acepto (aceptamos) que la autorización que se otorga a través del presente documento se realiza a título gratuito, por lo tanto, renuncio(amos) a recibir emolumento alguno por la publicación, distribución, comunicación pública y/o cualquier otro uso que se haga en los términos de la

 <p>UNIVERSIDAD CESMAG NIT: 800.109.387-7 VIGILADA Mineducación</p>	AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN DE TRABAJOS DE GRADO O TRABAJOS DE APLICACIÓN EN REPOSITORIO INSTITUCIONAL	CÓDIGO: AAC-BL-FR-031
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 09/JUN/2022

presente autorización y de la licencia o programa a través del cual sea publicado el Trabajo de grado o de Aplicación.

- d) Manifiesto (manifestamos) que el Trabajo de Grado o de Aplicación es original realizado sin violar o usurpar derechos de autor de terceros y que ostento(amos) los derechos patrimoniales de autor sobre la misma. Por consiguiente, asumo(asumimos) toda la responsabilidad sobre su contenido ante la Universidad CESMAG y frente a terceros, manteniéndola indemne de cualquier reclamación que surja en virtud de la misma. En todo caso, la Universidad CESMAG se compromete a indicar siempre la autoría del escrito incluyendo nombre de(los) autor(es) y la fecha de publicación.
- e) Autorizo(autorizamos) a la Universidad CESMAG para incluir el Trabajo de Grado o de Aplicación en los índices y buscadores que se estimen necesarios para promover su difusión. Así mismo autorizo (autorizamos) a la Universidad CESMAG para que pueda convertir el documento a cualquier medio o formato para propósitos de preservación digital.

NOTA: En los eventos en los que el trabajo de grado o de aplicación haya sido trabajado con el apoyo o patrocinio de una agencia, organización o cualquier otra entidad diferente a la Universidad CESMAG. Como autor(es) garantizo(amos) que he(hemos) cumplido con los derechos y obligaciones asumidos con dicha entidad y como consecuencia de ello dejo(dejamos) constancia que la autorización que se concede a través del presente escrito no interfiere ni transgrede derechos de terceros.

Como consecuencia de lo anterior, autorizo(autorizamos) la publicación, difusión, consulta y uso del Trabajo de Grado o de Aplicación por parte de la Universidad CESMAG y sus usuarios así:

- Permiso(permitimos) que mi(nuestro) Trabajo de Grado o de Aplicación haga parte del catálogo de colección del repositorio digital de la Universidad CESMAG por lo tanto, su contenido será de acceso abierto donde podrá ser consultado, descargado y compartido con otras personas, siempre que se reconozca su autoría o reconocimiento con fines no comerciales.

En señal de conformidad, se suscribe este documento en San Juan de Pasto a los 5 días del mes de septiembre del año 2024

 Firma del autor	 Firma del autor
Nombre del autor: Andrés Felipe Guerra Ricaurte	Nombre del autor: Anderson Camilo Rosero Realpe
Firma del autor	Firma del autor
Nombre del autor:	Nombre del autor:
 Nombre del asesor: Edgar Alberto Unigarro Calpa	