

**DISEÑO DE UNA FUENTE DE ALIMENTACIÓN DC CON MEDIDOR DE
HUMEDAD PARA EL SUELO Y UNA CELDA ELECTROLITICA PARA SU
APLICACIÓN EN LA TECNICA DE ELECTORREMEDIACIÓN DE SUELOS**

**FERNAN MAURICIO OLIVEROS ROA
BRAHIAN QUINO FERREIRA**



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
BUCARAMANGA
2018**

**DISEÑO DE UNA FUENTE DE ALIMENTACIÓN DC CON MEDIDOR DE
HUMEDAD PARA EL SUELO Y UNA CELDA ELECTROLITICA PARA SU
APLICACIÓN EN LA TECNICA DE ELECTORREMEDIACIÓN DE SUELOS**

**INTEGRANTES:
FERNAN MAURICIO OLIVEROS ROA
BRAHIAN QUINO FERREIRA**

PROYECTO DE GRADO

**DIRECTOR:
ALEX ALBERTO MONCLOU SALCEDO**



**UNIVERSIDAD PONTIFICA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
BUCARAMANGA
2018**

Nota de aceptación

Firma del presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Bucaramanga, septiembre de 2018

AGRADECIMIENTOS

INDICE

1. INTRODUCCIÓN	2
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
2.1. Descripción del problema	3
2.2. Objetivos	4
2.2.1. Objetivo General	4
2.2.2. Objetivos Específicos	4
2.3. Justificación del problema	5
3. MARCO TEORICO	6
3.1. Fundamentos Teóricos.....	6
3.1.1. Nanotecnología.....	6
3.1.2. Electroodos	6
3.1.3. Nanopartículas de plata. AgNPs	7
3.1.3.1. Propiedades químicas del suelo	7
3.1.3.2. Potencial de hidrogeno del suelo. pH.....	7
3.1.3.3. Técnicas de caracterización de nanopartículas metálicas	8
3.1.3.3.1. Espectrofotometría Ultravioleta-visible. Equipo UV-vis	8
3.1.3.3.2. Destilador. Equipo Buchi destillation unit k-355	9
3.1.3.3.3. Sistema de digestión por microondas. Equipo Multiwave GO – microwave digestion system	10
3.1.3.3.4. Absorción Atómica. Equipo Perkin Elmer HGA 900.....	11
3.1.3.4. Conductividad Eléctrica. CE	11
3.1.4. Electrorremediación de suelos	12
3.1.4.1. Mecanismos de remoción	12
3.1.4.2. Metales utilizados como electrodos	13
3.1.5. Sustancias utilizadas como electrolitos	13
3.1.6. Celda electrolítica	13
3.1.6.1. Electrólisis	14
3.1.6.2. Oxido-Reducción.....	14
3.1.7. Fuentes DC	14
3.1.7.1. Clasificación	14
3.1.7.2. Fuentes de alimentación lineales.....	15

3.1.7.3.	Fuentes de alimentación conmutadas.....	15
3.1.7.4.	Diferencias entre fuentes conmutadas y lineales	15
3.1.7.5.	Protecciones	15
3.1.7.5.1.	Limitación de corriente por Fold-Back	16
3.1.7.5.2.	Limitación de corriente constante.....	16
3.1.7.5.3.	Limitación de corriente Shutdown	16
3.1.8.	Relación de la conductividad del suelo y la humedad.....	16
3.1.9.	Sensor de humedad. YL-69	17
4.	METODOLOGÍA	18
4.1.	Diseño de la fuente de alimentación.....	19
4.1.1.	Etapas de la fuente de alimentación	20
4.1.1.1.	Etapas de transformación	21
4.1.1.2.	Etapas de Rectificación	24
4.1.1.2.1.	Onda completa.....	25
4.1.1.3.	Etapas de filtrado	26
4.1.1.4.	Etapas de regulación.....	28
4.1.1.5.	Sensor de humedad YL-69 y Arduino.....	29
5.	ANÁLISIS DE DATOS	36
6.	PRESUPUESTO	43
7.	CONCLUSIONES	45
8.	TRABAJOS A FUTURO	46
9.	BIBLIOGRAFÍA.....	47

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. ESPECTRÓMETRO ULTRAVIOLETA-VISIBLE	8
FIGURA 2. DESTILADOR BUCHI DESTILATION UNIT K-355.....	9
FIGURA 3. MULTIWAVE GO.....	10
FIGURA 4. PERKIN ELMER HGA 900.....	11
FIGURA 5. PROCESO DE ELECTORREMEDIACIÓN [2].....	12
FIGURA 6. MODELO DE ETAPAS DE UNA FUENTE DC.....	18
FIGURA 7. CELDA ELECTROLÍTICA.....	19
FIGURA 8. DIAGRAMA EN BLOQUE DE LA FUENTE DC.....	19
FIGURA 9. DIAGRAMA EN BLOQUES DE LAS ETAPAS DE LA FUENTE DC.....	20
FIGURA 10. DISEÑO DE LA FUENTE DC REALIZADO EN EL SOFTWARE EAGLE	21
FIGURA 11. REPRESENTACIÓN TRANSFORMADOR EN SISTEMA AMERICANO	22
FIGURA 12. DIAGRAMA EN BLOQUES DE LA ETAPA DE RECTIFICACIÓN	24
FIGURA 13. A) SEMICICLO POSITIVO. B) SEMICICLO NEGATIVO.	25
FIGURA 14. EFECTO DEL FILTRO EN LA SEÑAL RECTIFICADA DE ONDA COMPLETA [48].	27
FIGURA 15. ESQUEMÁTICO DEL MÓDULO LM2596 DC-DC STEP DOWN (REDUCTORA).....	29
FIGURA 16. MODULO LM2596 DC-DC STEP DOWN	29
FIGURA 17. DIAGRAMA EN BLOQUES CONEXIÓN ARDUINO Y SENSOR YL-69	30
FIGURA 18. PESAJE DEL SUELO.....	31
FIGURA 19. SUELO DENTRO DE LA CAJA DE LA CELDA.....	31
FIGURA 20. AGUA DESTILADA CON NANOPARTÍCULAS	31
FIGURA 21. SUELO ROCIADO CON EL SPRAY	32
FIGURA 22. ELECTRODOS INSERTADOS EN EL SUELO	32
FIGURA 23. BOMBA PERISTÁLTICA.....	33
FIGURA 24. CONEXIÓN DE LA BOMBA A LA CELDA.....	33
FIGURA 25. GRAFICA DE LAS CONCENTRACIONES DE NANOPARTÍCULAS DE PLATA	40
FIGURA 26. PRUEBA DE CORRIENTE FUENTE DE ALIMENTACIÓN DC.....	41
FIGURA 27. CONEXIÓN DE LA FUENTE DE ALIMENTACIÓN A LA CELDA ELECTROLÍTICA.	42

LISTA DE TABLAS

TABLA 1. CALIBRE A.W.G [43]	24
TABLA 2. EXPERIMENTO DE PRUEBAS.....	34
TABLA 3. RESULTADOS DE ABSORCIÓN ATÓMICA	36
TABLA 4. RESULTADOS FINALES TÉCNICA ELECTORREMEDIACIÓN	39
TABLA 5. PRESUPUESTO DE ELEMENTOS UTILIZADOS EN LA FUENTE DC.	43

ANEXOS

ANEXO 1. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL EQUIPO DE ESPECTROFOTOMETRÍA HACH DR 5000.....	52
ANEXO 2. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL EQUIPO DE DESTILACIÓN BUCHI DESTILATION UNIT K-355.....	53
ANEXO 3. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL EQUIPO DE DIGESTIÓN MULTIWAVE GO	54
ANEXO 4. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL EQUIPO DE ABSORCIÓN ATÓMICA PERKIN ELMER HGA 900	55
ANEXO 5. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL PUENTE RECTIFICADOR KBL005	56
ANEXO 6. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL MÓDULO STEP-DOWN LM2596	58
ANEXO 7. DIAGRAMA DE CONEXIÓN ENTRE ARDUINO UNO Y SENSOR HIGRÓMETRO YL-69.....	59
ANEXO 8. CÓDIGO EN ARDUINO PARA LA CONEXIÓN DEL SENSOR Y EL DISPLAY LCD 16X2.....	60
ANEXO 9. INSTRUCTIVO DE USO Y REPARACIÓN DE LA FUENTE DE ALIMENTACIÓN DC	61

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: Diseño de una fuente de alimentación DC con medidor de humedad para suelo y una celda electrolítica para su aplicación en la técnica de Electrorremediación de suelos.

AUTOR(ES): Fernan Mauricio Oliveros Roa.
Brahian Quino Ferreira.

PROGRAMA: Facultad de Ingeniería Electrónica

DIRECTOR(A): Alex Alberto Monclou Salcedo

RESUMEN

En el proyecto de grado se realizó el diseño e implementación de una fuente D.C junto con una celda electrolítica para desarrollar la técnica electrorremediación de suelos en la remoción de nanopartículas de plata, las cuales se aplicaron a suelos contaminados con el hongo *Phytophthora palmivora*. Para el diseño de la fuente se tomó en cuenta entregar una corriente máxima de 3A y el voltaje se varió hasta un límite alrededor de los 80 voltios. En cuanto al diseño de la celda electrolítica se realizaron pruebas con los electrodos conductores de hierro y bronce. Integrando los conocimientos de Ingeniería Ambiental e Ingeniería Electrónica se logró una aplicación de la técnica de electrorremediación.

PALABRAS CLAVE:

Electrorremediación, Celda electrolítica, Fuente DC, Electrodo, nanopartículas.

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: Design of a DC power supply with moisture meter for soil and an electrolytic cell for application in the technique of soil electroremediation.

AUTHOR(S): Fernan Mauricio Oliveros Roa.
Brahian Quino Ferreira.

FACULTY: Facultad de Ingeniería Electrónica

DIRECTOR: Alex Alberto Monclou Salcedo

ABSTRACT

In the degree project, the design and implementation of a D.C source was carried out together with an electrolytic cell to develop the soil electroremediation technique in the removal of silver nanoparticles, which were applied to soils contaminated with the fungus *Phytophthora palmivora*. For the design of the source it was taken into account to deliver a maximum current of 3A and the voltage was varied up to a limit around 80 volts. As for the design of the electrolytic cell, tests were carried out with the iron and bronze conductive electrodes. Integrating the knowledge of Environmental Engineering and Electronic Engineering, an application of the electroremediation technique was achieved.

KEYWORDS:

Electroremediation, Electrolytic cell, DC source, Electrode, nanoparticles.

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

1. INTRODUCCIÓN

El crecimiento poblacional ha generado un deterioro contante a los diversos recursos naturales, uno de los más afectados es el suelo. Esto es debido a los desechos generados por los productos de las industrias las cuales entregan al medio una variedad de contaminantes y metales pesados [1]. Actualmente se utilizan diferentes técnicas para remover esos contaminantes del suelo, entre estas técnicas una de las más importantes es la técnica de Electrorremediación y su aplicación principal se da en suelos contaminados con metales. A niveles de estudio en laboratorio la electrorremediación ha alcanzado altos valores en la remoción de contaminantes. En pruebas de campo se presentan otros valores debido a que se depende de otras variables como el tipo de suelo, pH, conductividad, tipo de contaminante [2]. En el proceso de remoción de partículas contaminantes se requiere una celda electrolítica, puesto que dicha remoción se realiza mediante energía eléctrica.

Para la remoción de las nanopartículas de plata aplicadas a un suelo contaminado, en el proyecto de grado se diseñó y construyó la celda electrolítica y la fuente de poder que alimentó dicha celda. Con este trabajo conjunto entre las ingenierías electrónica y ambiental se busca una futura aplicación en campo que permita obtener soluciones al deterioro ambiental que se genera en los suelos.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1. Descripción del problema

Actualmente se presenta contaminación de los recursos naturales debido al mal uso de estos, siendo el suelo uno de los más afectados. Se han trabajado técnicas en el laboratorio para estudiar dicha contaminación y en los documentos consultados se observó que la técnica más utilizada es la electrorremediación, la cual permite la remoción de contaminantes mediante una celda electrolítica. Esto ayuda a mejorar la producción de las cosechas y la calidad de vida vegetal y humana [2].

En pruebas de laboratorio en ingeniería ambiental se tomaron en cuenta las observaciones y recomendaciones respecto a las pruebas del proyecto *Evaluación de la técnica electrorremediación en el potencial de remoción de nanopartículas de plata aplicadas a suelos contaminados del sector palmicultor*, y se hicieron cambios en parámetros tales como forma de los electrodos, voltaje y tiempo de aplicación y tipos de electrolitos utilizados.

Teniendo en cuenta el planteamiento del problema surge la siguiente hipótesis:

¿Si se modifican los parámetros en la construcción de la celda electrolítica, cambiaría el porcentaje de remoción de nanopartículas por encima de un 38%?

2.2. Objetivos

2.2.1. Objetivo General

Diseñar e implementar la fuente de alimentación DC con medidor de humedad del suelo y la celda electrolítica que permitirá la aplicación de la técnica de Electrorremediación de suelos.

2.2.2. Objetivos Específicos

- Diseñar una celda electrolítica y una fuente de alimentación DC, teniendo en cuenta los parámetros eléctricos más apropiados para la remoción de nanopartículas de plata.
- Remover las nanopartículas utilizando la fuente DC y la celda electrolítica diseñada.

2.3. Justificación del problema

Dado el impacto ambiental que se ha generado en la contaminación de los recursos naturales, principalmente los suelos, los cuales se ven afectados por diversos contaminantes como pesticidas, metales pesados e hidrocarburos. En la búsqueda de reducir la contaminación de los suelos especialmente para los cultivos se hace necesario implementar una técnica apropiada para esto tal que permita una mejor calidad de vida vegetal y soluciones viables a diversos problemas que presentan para la fauna y la flora en relación con los contaminantes encontrados en los diversos tipos de suelos. [3]

De lo planteado, los impactos esperados al ejecutar el proyecto son:

- Proponer una solución a los problemas ambientales relacionados con la contaminación de suelos lo cual involucra un deterioro ambiental de la fauna y la flora.
- Fortalecer conocimientos y competencias académicas que permitan contribuir al mejoramiento de la calidad de vida.

3. MARCO TEORICO

3.1. Fundamentos Teóricos

3.1.1. Nanotecnología

Esta ciencia en las últimas décadas ha llevado a cabo una profundización en cuanto se refiere a la fabricación de estructuras atómicas y materiales a escalas nanométricas ($1\text{nm}=10^{-9}\text{m}$), lo que se conoce como Nanotecnología [4]. La nanotecnología concede gran variedad de productos con nuevas propiedades fisicoquímicas diferentes a las de las moléculas individuales o sólidos de la misma composición [5].

La alteración en cuanto al tamaño produce en las nanoestructuras nuevos comportamientos y propiedades. Un ejemplo específico se da cuando una partícula de tamaño nanométrico suministra una área específica superficial mayor para la colisión molecular y por tanto incrementa su velocidad de reacción [6]. Esto ocurre debido al cambio de algunas propiedades físicas y químicas que se relacionan con el tamaño de las partículas nanométricas [7].

Una alternativa que se está manejando ante la necesidad de disminuir los impactos negativos que produce la síntesis de nanomateriales con productos químicos [8], es la de una química verde, que se basa en la utilización de biomasa vegetal, microorganismos, enzimas y extractos de plantas en la producción de nanomateriales [9]. Esta nueva forma de síntesis no causa ningún daño en el medio ambiente y reduce costos en cuanto a su fabricación y elimina procesos durante su síntesis [10].

3.1.2. Electrodo

Son conductores eléctricos que se aplica en procesos para hacer contacto entre partes no metálicas de un circuito. La actividad eléctrica está limitada por el área del electrodo que hace contacto con el material inmerso en el proceso [11].

Para la electrorremediación es importante que la estructura de los electrodos sea porosa tal que se genere un buen contacto con los electrolitos dentro de los elementos que producen la electrólisis. La forma, tamaño, arreglo de los

electrodos y las distancias entre ellos afectan la tasa de remoción de contaminantes [12]

3.1.3. Nanopartículas de plata. AgNPs

La plata (Ag) se ha utilizado en temas como la fotografía, joyería y herramientas diversas [13]. En la antigüedad Los griegos usaban la plata en ciertas actividades domésticas, en el saneamiento del agua y dada sus cualidades antimicrobianas se aprovechaba en la medicina tradicional [14].

Las nanopartículas de plata manifiestan un mejor impacto antibacteriano y por su tamaño pequeño ocupan más área superficial en relación al volumen [15].

Algunos de los métodos para producir nanopartículas se basan en la reducción de nitrato de plata por citrato de sodio o borohidruro de sodio. Otros procedimientos incorporan el uso de electrólisis, microondas, fotoreducción de iones de plata y microemulsión [16].

3.1.3.1. Propiedades químicas del suelo

La ciencia que estudia la parte química de los suelos, sus propiedades y los componentes orgánicos e inorgánicos se denomina química de los suelos. [17] Algunas propiedades químicas del suelo son:

3.1.3.2. Potencial de hidrogeno del suelo. pH

Esta es una de las características más importantes del suelo. Su reacción al pH ha sido reconocida debido a que los microorganismos y plantas superiores responden notablemente tanto a un medio químico como a la reacción del suelo y los factores asociados con ella. Existen tres condiciones que son: acidez, neutralidad, y alcalinidad [18].

La acidez en el suelo se presenta en las regiones en donde la precipitación es alta, lo que ocasiona la lixiviación de grandes cantidades de bases intercambiables de los niveles superficiales de los suelos; la solución del suelo contiene más iones hidrógeno (H⁺) que oxidrilos (OH⁻). Por otro lado, los suelos alcalinos son de las regiones áridas y semiáridas y la alcalinidad se evidencia cuando existe un alto grado de saturación de bases.

Existen dos grupos de factores que provocan cambios en el pH del suelo:

- Los que resultan del aumento del hidrógeno absorbido
- Los que aumentan el contenido de bases absorbidas

Uno de los factores que provocan la acidez en el suelo es la descomposición de la materia orgánica ya que se forman ácidos tanto orgánicos como inorgánicos; el ácido orgánico que se encuentra con mayor frecuencia es el ácido carbónico

(CO₃H₂). Este ácido remueve grandes cantidades de bases por disolución o lixiviación. Los ácidos inorgánicos, tales como ácido sulfúrico (H₂SO₄) y el ácido nítrico (HNO₃) son reservorios importantes de iones H⁺ en el suelo [19].

3.1.3.3. Técnicas de caracterización de nanopartículas metálicas

3.1.3.3.1. Espectrofotometría Ultravioleta-visible. Equipo UV-vis

Técnica que utiliza la luz en los rangos visibles y adyacentes (Ultravioleta cercano y el infrarrojo cercano), región del espectro electromagnético en donde las moléculas son sometidas a transiciones electrónicas [20]. Se utiliza un equipo llamado espectrofotómetro que emplea la técnica analítica UV-vis, que puede determinar la concentración de un compuesto en solución técnica que consiste en la absorción de radiación electromagnética por parte de moléculas, las cuales dependen de forma lineal de la concentración. Este tipo de medidas se puede realizar estableciendo la longitud de onda de la luz que pasa por la solución y medir la cantidad de luz absorbida por la misma.



Figura 1. Espectrómetro Ultravioleta-Visible

3.1.3.3.2. Destilador. Equipo Buchi destillation unit k-355



Figura 2. Destilador Buchi Destillation unit k-355

El equipo Buchi destillation unit k-355 es aplicado en destilaciones a vapor y en el análisis de nitrógeno y proteína en todo tipo de industrias. Así mismo para aplicaciones que requieren regulación de vapor y adición de ácidos. Los pasos de la técnica de destilación son los siguientes:

- Se digieren las proteínas y otros componentes orgánicos de los alimentos en una mezcla con ácido sulfúrico en presencia de catalizadores.
- El nitrógeno orgánico total se convierte mediante esta digestión en sulfato de amonio.
- La mezcla digerida se neutraliza con una base y se destila posteriormente.
- El destilado se recoge en una solución de ácido bórico.
- Los aniones del borato así formado se titulan con **HCl** (o **H₂SO₄**) estandarizado para determinar el nitrógeno contenido en la muestra.

El resultado del análisis es una buena aproximación del contenido de proteína cruda del alimento ya que el nitrógeno también proviene de componentes no proteicos [21].

3.1.3.3.3. Sistema de digestión por microondas. Equipo Multiwave GO – microwave digestion system

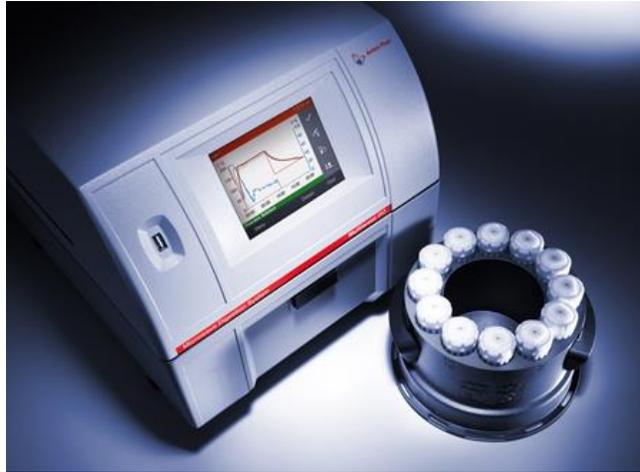


Figura 3. Multiwave Go

En el Sistema de digestión de microondas multiwave GO las microondas se dirigen a la muestra proporcionando un calentamiento eficiente. Es una máquina de preparación de muestras en donde el parámetro más importante en la digestión es la temperatura requerida puesto que cuanto más alta sea la temperatura mejor será la digestión. Esta máquina sube hasta 250 grados y funciona en un modo de temperatura controlada y se pueden preparar 12 muestras de manera simultánea y el proceso facilita la liberación de los componentes de la muestra que serán analizados [22].

Las ventajas que presenta este método:

- Reducción de los tiempos necesarios para llevar a cabo una reacción.
- Eliminación de contaminantes.
- Menor necesidad de uso de reactivos.
- Aumento de los niveles de productividad de los laboratorios.
- Bajos costos de operación y servicio.
- Altos niveles de seguridad en la manipulación de muestras.
- Optimización de la transferencia de calor.

3.1.3.3.4. Absorción Atómica. Equipo Perkin Elmer HGA 900



Figura 4. Perkin Elmer HGA 900

El espectrómetro de absorción atómica se utiliza para determinar la concentración de un elemento metálico en una muestra. Se basa en la ley de Beer- Lambert, donde los electrones de los átomos en el atomizador pueden ser promovidos a orbitales más altos por un instante mediante la absorción de una cantidad de energía (Luz de una determinada longitud de onda). Se refiere a una transición de electrones en un elemento particular, cada longitud de onda corresponde a un solo elemento [23].

3.1.3.4. Conductividad Eléctrica. CE

Es la capacidad que tiene un medio para transportar energía eléctrica. Se expresa en mohms/cm o en mSiemens/m. La determinación de la conductividad eléctrica es una forma indirecta de medir la salinidad del agua o extractos de suelo. Los iones generalmente asociados con salinidad son Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^{+1} , Na^{+1} , H^{+1} (cationes) o NO_3^- , SO_4^- , Cl^- , HCO_3^- , OH^- (aniones). Los valores de la CE entre 0 y 0,8 dS/m son apropiados para el crecimiento de la mayoría de las plantas [24].

3.1.4. Electrorremediación de suelos

Se basa en la descontaminación principalmente de metales pesados, de suelos o lodos que proceden de tratamientos previos. Se fundamenta teóricamente en la aplicación de un campo eléctrico continuo entre dos electrodos sumergidos en el suelo durante un tiempo para magnetizar las partículas del contaminante [25].

Los electrodos sumergidos se humectan con electrolitos para mejorar la conducción del campo eléctrico permitiendo una migración dirigida y así evitar que el contaminante se disperse fuera de la zona [26].

Se desarrolló para el tratamiento de suelos contaminados con metales pesados, se ha demostrado que la técnica puede ser utilizada para la eliminación de compuestos orgánicos y que puede complementarse con otras técnicas [3].

La corriente aplicada se dirige desde el electrodo denominado ánodo (polo positivo) hacia el electrodo denominado cátodo (polo negativo) y por acción del campo eléctrico los iones positivos presentes en electrolito se dirigen hacia el cátodo y los iones negativos hacia el ánodo como se observa en la figura [26].

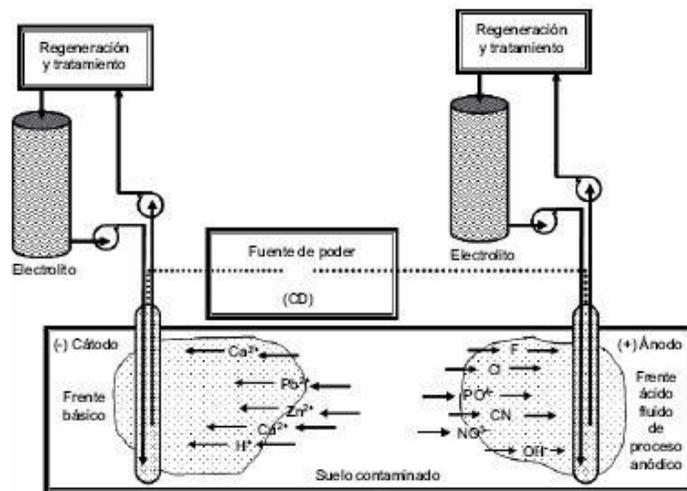


Figura 5. Proceso de electroremediación [2]

3.1.4.1. Mecanismos de remoción

Los campos eléctricos que conducen los contaminantes hacia los electrodos son: electromigración, electroósmosis y electroforesis.

- **Electromigración**

Los iones en solución y los coloides con carga eléctrica se mueven a través de un campo eléctrico a una velocidad proporcional al producto de la fuerza del campo eléctrico y la movilidad del ion o partícula [27].

- **Electroósmosis**

Fenómeno de transporte en el cual el líquido saturante junto con las sustancias que se suspenden en él (coloides con y sin carga eléctrica), fluyen hacia uno de los electrodos (normalmente hacia el cátodo) [27].

- **Electroforesis**

Se encuentra presente cuando hay partículas con carga eléctrica, el cual facilita el transporte del material por el campo eléctrico generando un rápido transporte a causa de la electromigración, sucede con metales y es más efectivo que la electroósmosis [2].

3.1.4.2. Metales utilizados como electrodos

Los metales poseen características entre las cuales se destaca que son buenos conductores de electricidad. Esto se debe a que sus electrones de valencia se desplazan con gran facilidad cuando el metal es sometido a energía eléctrica [28].

En la técnica Electrorremediación se pueden utilizar diferentes metales como hierro, cobre y bronce. Estos metales funcionan como electrodos por su eficiencia en los procesos de óxido-reducción [29].

3.1.5. Sustancias utilizadas como electrolitos

Los electrolitos son sustancias con iones libres que cumplen la función de conductor eléctrico. Son llamados soluciones iónicas, aunque se pueden encontrar de forma fundida o sólidas. Son capaces de modificar y controlar las propiedades de la superficie de los electrodos. [30]

Dependiendo del signo de sus cargas, los iones tienden a migrar hacia los electrodos que los atrae, de allí que reciban los nombres de iones positivos (cationes) e iones negativos (aniones) [2].

3.1.6. Celda electroquímica

Celda electroquímica no espontánea en la cual una corriente eléctrica generada por una fuente de poder externa produce una reacción química óxido-reducción [31].

Cuenta con dos barras metálicas llamadas electrodos, sustancias electrolíticas (ácidos o bases) y una fuente de alimentación externa. En la celda la energía eléctrica de la fuente externa produce un cambio químico [32]. Su aplicación se ve en el proceso de electrolisis y en la descomposición del agua en hidrogeno y oxígeno.

3.1.6.1. Electrólisis

Proceso químico donde el paso de corriente eléctrica descompone los elementos de un compuesto a través de un electrolito y el resultado es una reacción oxidación – reducción (Redox) [33].

Se denomina un proceso redox no espontaneo ya que se necesita una fuente externa que genere la corriente eléctrica. El proceso cuenta con dos electrodos (ánodo y cátodo) donde se darán las reacciones redox. Al aplicar una corriente eléctrica, los cationes que se definen como iones positivos se dirigen hacia el cátodo captando los electrones (reducción) y los aniones que se definen como los iones negativos se dirigen hacia el ánodo cediendo los electrones (oxidación) [34].

3.1.6.2. Oxido-Reducción

La oxidación es el proceso químico en el cual la molécula o ion pierde electrones haciéndose más positivo, mientras que la reducción es el proceso químico en el cual la molécula o ion gana electrones [34]. La unión de estos dos procesos genera el proceso redox basándose en la transferencia de electrones entre los reactivos y generando un cambio en sus estados de oxidación [35].

3.1.7. Fuentes DC

Tienen como objetivo la conversión de energía eléctrica alterna a energía eléctrica continúa permitiendo la alimentación de los diferentes dispositivos electrónicos. Se componen por diferentes etapas: Transformación, rectificación, filtrado y regulación [36].

3.1.7.1. Clasificación

Se clasifican en dos tipos: fuentes de alimentación lineales y fuentes de alimentación conmutadas. Las fuentes lineales son de un diseño sencillo que puede llegar a ser más complejo cuanto mayor es la corriente de suministro,

aunque su regulación de tensión es poco eficiente. Las fuentes conmutadas son más eficientes y más complejas, pero más susceptibles a daños [36].

3.1.7.2. Fuentes de alimentación lineales

Siguen el esquema de: transformador, rectificador, filtro y regulador [36].

- El transformador adapta los niveles de tensión y proporciona aislamiento galvánico.
- El rectificador convierte la corriente alterna en corriente continua.
- El filtro de condensador disminuye el rizado y suaviza la señal.
- El regulador de tensión se encarga de mantener la salida en un valor propuesto por el diseñador de la fuente

3.1.7.3. Fuentes de alimentación conmutadas

Transforman la energía eléctrica mediante transistores en conmutación. Teniendo en cuenta que un regulador de tensión utiliza transistores polarizados en su región activa de amplificación, las fuentes conmutadas utilizan los mismos transistores, pero conmutándolos activamente a altas frecuencias (20-100 Kilociclos normalmente) entre corte(abierto) y saturación(cerrados). El resultado es una onda cuadrada, la cual es trabajada con transformadores con núcleo de ferrita, de esta forma se obtienen uno o varios voltajes de salida de corriente alterna que son rectificadas con diodos rápidos y filtrados por inductores y condensadores hasta obtener los voltajes de salida en corriente continua [36].

3.1.7.4. Diferencias entre fuentes conmutadas y lineales

Las fuentes de alimentación conmutadas son más eficientes, más complejas de realizar, generan ruido eléctrico de alta frecuencia que debe ser minimizado para no causar interferencia con otros equipos. Su regulación se obtiene con el conmutador, generalmente un circuito PWM que cambia el ciclo de trabajo.

Las fuentes lineales tienen una mejor etapa de regulación, velocidad y mejores características electromagnéticas [36].

3.1.7.5. Protecciones

Las fuentes de alimentación por lo general soportan sobrecargas, pero en contraposición su vida útil disminuye por el aumento de la temperatura provocando así daños en los condensadores electrolíticos. El término sobrecarga significa que la intensidad que consumen las cargas se excede de la tensión nominal de salida de la fuente de alimentación. Un ejemplo de

sobrecarga es un cortocircuito, en donde los conductores de salida de la fuente están conectados entre sí con una resistividad muy baja, por lo cual la intensidad de salida alcanza su valor máximo.

Para evitar estos daños en las fuentes, se implementan circuitos limitadores de corriente internos protegiéndose a sí mismo y a la carga conectada [37].

3.1.7.5.1. Limitación de corriente por Fold-Back

Protección contra sobrecarga con la propiedad de reducir la corriente de salida en un cortocircuito. Por esta característica se considera la más apropiada como protección contra cortocircuito.

En condiciones de sobrecarga la tensión de salida cae, disipando más potencia de regulación [38].

3.1.7.5.2. Limitación de corriente constante

Protección que en caso de sobrecarga mantiene la corriente de salida en su límite y el voltaje de salida cae a cero de forma lineal. La tensión de salida vuelve a su estado natural apenas la sobrecarga no esté presente [39].

3.1.7.5.3. Limitación de corriente Shutdown

La protección mantiene una corriente límite constante en caso de sobrecarga. Si la salida llega a un voltaje establecido por el diseñador, la fuente se apaga [39].

3.1.8. Relación de la conductividad del suelo y la humedad

La aplicación de procesos en los suelos depende de muchos factores como las propiedades fisicoquímicas de los suelos.

El proceso de electrorremediación emplea una corriente eléctrica y es necesario conocer el estado del suelo para definir su conductividad eléctrica, la cual depende de propiedades como la textura del suelo, el contenido de materia orgánica, humedad, capacidad del intercambio, etc.

La conducción de la electricidad en los suelos se realiza a través de macro y microporos continuos y llenos de agua entre partículas del suelo generando un contacto partícula a partícula, por lo tanto, se retiene agua con mayor fuerza y por más tiempo conducen mejor la electricidad que los suelos secos [40].

3.1.9. Sensor de humedad. YL-69

El sensor de humedad de suelo (higrómetro) también conocido como modulo YL-69 es un sensor empleado en sistemas de riego automático. Permite medir la conductividad del suelo, si el suelo está muy húmedo mayor será la conductividad y si el suelo está muy seco la conductividad será menor.

El sensor YL-69 es una sonda que viene acompañado de un módulo que entrega la medición del sensor de forma análoga o digital. Este módulo trae un circuito comparador LM393 y un potenciómetro [41]

El módulo entrega valores análogos entre 0 y 1023 (10 bits), siendo 0 el estado máximo de humedad y 1023 el estado mínimo de humedad [42].

4. METODOLOGÍA

El proyecto es una fusión de dos campos de la ingeniería aplicada, la ambiental y la electrónica. A nivel macro este proyecto consta de cinco fases, en las cuales a la ingeniería electrónica le correspondieron dos fases a nivel de laboratorio.

- **Fase I.** Consistió en el diseño eléctrico y electrónico de una fuente DC. En esta fase se diseñó la fuente de alimentación con un voltaje de salida máximo de 80 V, desarrollada con las características de una fuente lineal las cuales son: transformador, rectificador, filtrado y regulación con los cálculos apropiados para lograr los valores propuestos máximos de 80v y 3A. Esta fuente se utilizó para alimentar la celda electrolítica en el proceso de electroremediación. También se implementó el medidor de humedad de suelo por medio de un Arduino UNO y un sensor higrómetro de referencia YL-69 con el fin de obtener la conductividad de este y así poder opcionalmente conocer un parámetro del suelo para aplicar el voltaje adecuado al proceso según la teoría.

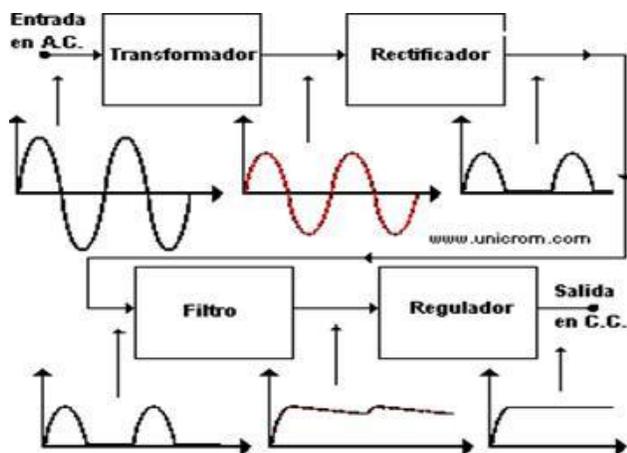


Figura 6. Modelo de etapas de una fuente DC.

- **Fase II.** En esta fase se construyó la celda electrolítica, la cual permitió remover las nanopartículas de plata del suelo contaminado y posteriormente se analizó el porcentaje de remoción de las mismas. Para la implementación de la celda electrolítica la cual se compone por la fuente de alimentación DC, electrodos y electrolitos ácidos y básicos como ácido acético y agua destilada respectivamente, se

evaluaron las características de los electrodos como su forma, tamaño y distancia entre ellos.

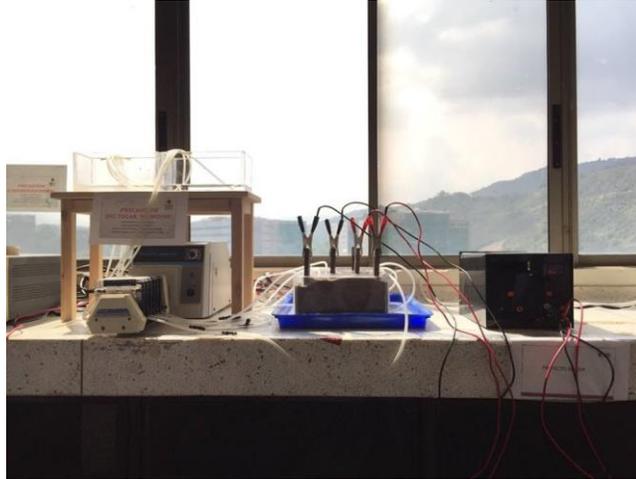


Figura 7. Celda electrolítica

El desarrollo de este proyecto se realizó a nivel de laboratorio con las diferentes muestras de suelo traídas de los cultivos de palma africana de puerto Wilches. Se aplicaron nanopartículas de plata las cuales actuaron en el suelo de los cultivos de palmas como antimicótico eliminando el hongo que causa los diferentes contaminantes orgánicos e inorgánicos.

4.1. Diseño de la fuente de alimentación

La fase I se inició con la estructuración de la fuente de alimentación DC entre 25 y 80 voltios de salida y una corriente máxima de 3A. Según el estado del arte consultado y teniendo en cuenta los diferentes proyectos de electrorremediación realizados en la UPB Bucaramanga, se llegó a la conclusión de que se manejaba una corriente constante con un voltaje variable.

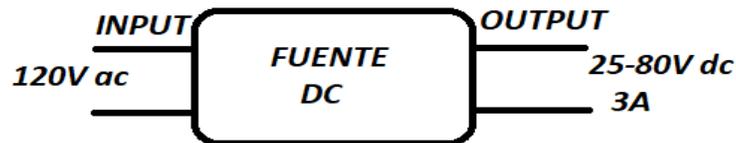


Figura 8. Diagrama en bloque de la fuente DC.

El diseño planteado fue en base a los conocimientos obtenidos durante la carrera y teniendo en cuenta que el voltaje mínimo trabajado en la técnica de electrorremediación es de 50-60V. Se realizó el diseño para un voltaje mínimo de 25V y máximo de 80V, donde un switch de dos posiciones reversible selecciona el voltaje que se requiera, cuando el switch está en una posición genera a la salida 80Vmax donde 30V son variable y 50V son fijos. Cuando el switch está en la otra posición genera a la salida 55Vmax donde 30V son variables y 25V son fijos. De esta forma se aseguró un voltaje mínimo de 25V y uno máximo de 80V, con el fin de poder utilizar la fuente en el laboratorio de ambiental, específicamente en el tratamiento de suelos.

4.1.1. Etapas de la fuente de alimentación

En la figura 9 se observa el diagrama en bloques de la fuente de alimentación y en la figura 10 se observa el diseño de la fuente hecho en el software Eagle.

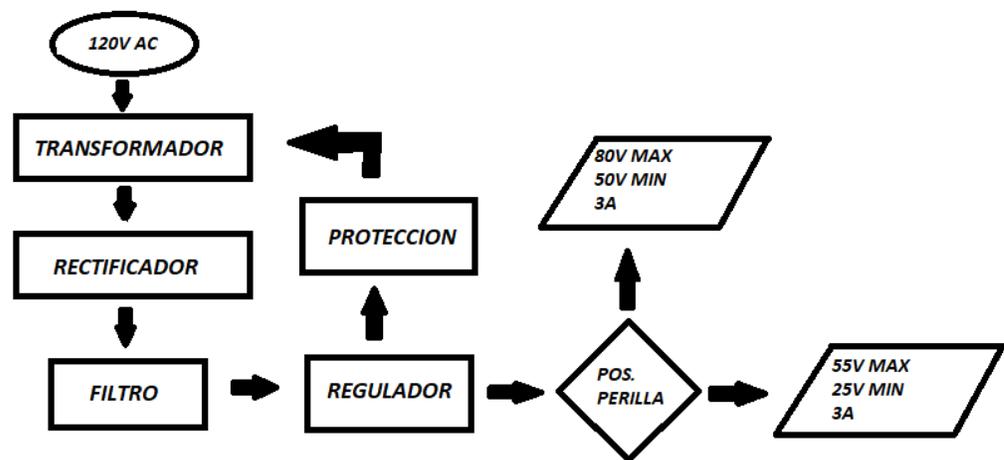


Figura 9. Diagrama en bloques de las etapas de la fuente DC

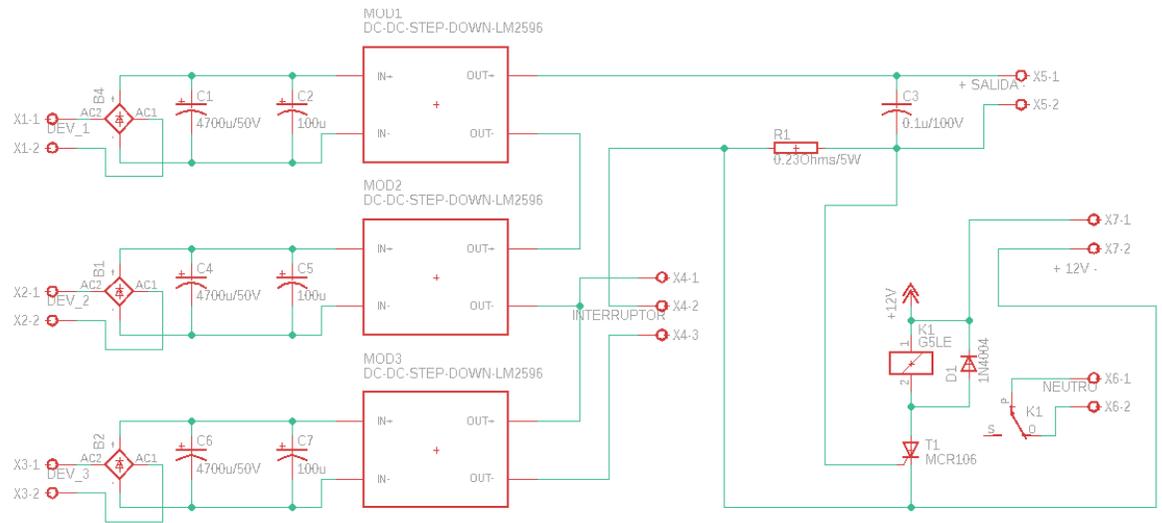


Figura 10. Diseño de la fuente DC realizado en el software Eagle

Para esta fuente orientada a trabajos de ingeniería ambiental no es necesario el uso de varias protecciones, en este caso como la carga no es grande, se utilizó una protección de sobre corriente que funciona con un SCR, un relé de 12V sencillo con interruptor normalmente abierto y una resistencia de potencia que actúa como un sensor de corriente el cual dispara el tiristor y conmuta el relevo desenergizando el primario del transformador, de esta forma la fuente se apaga y habrá que esperar unos segundos para volver a encenderla.

4.1.1.1. Etapa de transformación

En la etapa de transformación se redujeron los 120V de la red a 80V. Se diseñó el transformador con un devanado primario y tres devanados secundarios. Dos de ellos de 25V y uno de 28V, sumando en total un voltaje de 78V.

Si la potencia secundaria del transformador está entre 100 y 500 vatios, las pérdidas son del 15% y por lo tanto su eficiencia es del 85% [43]. Se calcula la potencia del secundario para conocer la eficiencia con la siguiente formula:

$$p_2 = E_2 * I_2$$

$$p_2 = 78v * 3A = 234 \text{ Voltamperios}$$

El transformador presenta una eficiencia teórica de 85%.

Los cálculos realizados para el diseño del transformador fueron los siguientes:

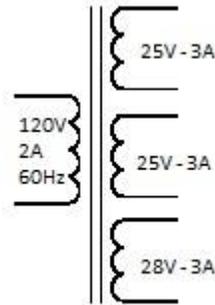


Figura 11. Representación transformador en sistema americano

Se utilizó un núcleo de material ferroso de hierro y silicio con láminas en forma de E, con un área de $3,2\text{cm} \times 5\text{cm} = 16\text{cm}^2$. Los cálculos teóricos realizados para saber el área del núcleo y la formaleta comercial fueron los siguientes [43]:

$$\text{Sección núcleo [cm}^2\text{]} = \text{Parametro de calidad del material} * \sqrt{\text{Potencia}}$$

$$\text{Sección núcleo [cm}^2\text{]} = 0.9 * \sqrt{80\text{V} * 3\text{A}} = 13.94\text{cm}^2$$

El área de la sección del núcleo teóricamente dio 13.94 cm^2 , por ende, el núcleo y formaleta comercial que más se adecua a los cálculos es la de 16 cm^2 . El parámetro de calidad del material utilizado es 0.9 y se relaciona con la potencia que suministrará el transformador. [44]

Teniendo el área del núcleo y la formaleta donde irá el alambre de cobre, se calculó el número de vueltas del devanado primario y de los tres devanados secundarios [43]:

$$N = \frac{V}{F * S_n * B * 4.44 * 10^{-8}}$$

Donde:

V= voltaje de red

F= frecuencia de la red

S_n= Sección del núcleo (área en cm^2)

B= inducción magnética del núcleo (generalmente 9000-10000 gauss)

El 4.44 es el factor de forma de una onda senoidal y el 10^{-8} es una constante utilizada para convertir todos los términos a el sistema MKS (metro-kilogramo-segundo)

$$N = \frac{120}{60\text{Hz} * 16\text{cm}^2 * 9000 \text{ Gauss} * 4.44 * 10^{-8}}$$

$$N = \frac{120}{0.3068928} = 312 \text{ vueltas}$$

Naproxprimario = 320 vueltas en el primario

Teniendo en cuenta el número de vueltas del devanado primario, se hizo una regla de tres para los tres devanados secundarios de la siguiente forma:

#vueltas primer y segundo dev = 120V para 320vueltas , 25V para Xvueltas

$$\#Vueltas primer y segundo dev = \frac{320vueltas * 25V}{120} = 67 \text{ vueltas}$$

Para el tercer devanado secundario se realizó la misma regla de tres, pero en este caso para 28V de la siguiente manera:

$$\#Vueltas para el tercer dev = \frac{320vueltas * 28V}{120V} = 75 \text{ vueltas}$$

Se calculó el calibre del cable mediante una tabla estándar que relaciona el calibre del cable con la corriente máxima que puede circular por él, en este caso circula una corriente de 3Amp y según la tabla 2 el calibre del cable debe ser #18 [43]

Tabla 1. Calibre A.W.G [43]

CALIBRE A. W. G.	Sección		Resistencia por Km. a 20° C	Máxima corriente (AMPS)
	Circular Mils	MM ²		
0000	211,600	107,20	0,164	215,00
000	167,800	85,00	0,203	195,00
00	133,100	67,42	0,256	185,00
0	105,500	53,48	0,322	170,00
1	83,694	42,40	0,407	152,50
2	66,370	33,62	0,512	134,48
3	52,630	26,66	0,646	106,64
4	41,740	21,15	0,814	84,60
5	33,100	16,57	1,029	66,28
6	26,250	13,29	1,296	53,16
7	20,820	10,51	1,634	42,04
8	16,510	8,32	2,060	33,38
9	13,090	6,64	2,598	26,56
10	10,380	5,29	3,274	21,20
11	8,230	4,19	4,134	16,60
12	6,530	3,29	5,209	13,30
13	5,170	2,63	6,572	10,50
14	4,107	2,08	8,284	8,30
15	3,257	1,68	10,446	6,60
16	2,583	1,29	13,176	5,20
17	2,048	1,03	16,614	4,10
18	1,624	0,85	20,948	3,20
19	1,288	0,65	26,414	2,60
20	1,022	0,52	33,201	2,00
21	810,1	0,41	42,00	1,62
22	642,4	0,33	52,95	1,28
23	509,5	0,26	66,80	1,00
24	404,0	0,20	84,22	0,80
25	320,4	0,16	106,20	0,64
26	254,1	0,13	133,89	0,50
27	201,5	0,10	168,87	0,40
28	159,8	0,08	212,93	0,32
29	126,7	0,06	268,47	0,26
30	100,5	0,05	338,59	0,20
31	79,70	0,04	426,80	0,16
32	63,21	0,03	583,40	0,12
33	50,13	0,03	687,80	0,10
34	39,75	0,02	856,00	0,08
35	31,52	0,02	1,079,4	0,06
36	25,00	0,01	1,716	0,042

4.1.1.2. Etapa de Rectificación

En esta etapa se utilizó un elemento que permitió la conversión de la corriente alterna en corriente continua. Este elemento rectificador es un circuito realizado con diodos que cambian la forma de la onda de la señal que reciben en su entrada [45]. Se utilizó la rectificación de onda completa para aprovechar toda la corriente ya que funciona en ambos ciclos tanto negativo como positivo.

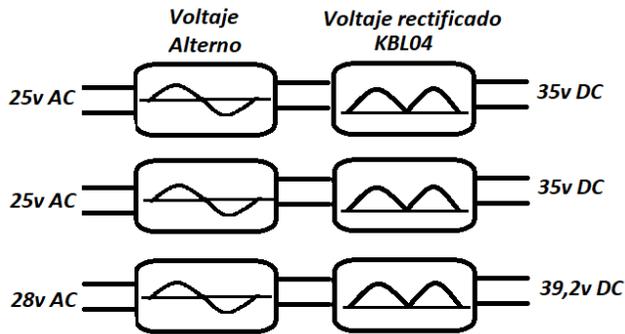


Figura 12. Diagrama en bloques de la etapa de rectificación

4.1.1.2.1. Onda completa

La rectificación de onda completa es un circuito electrónico que convierte la totalidad de la forma de onda de entrada a una polaridad constante, ya sea positiva o negativa. Los semiciclos positivos se combinan con las inversas de los semiciclos negativos para poder producir una onda parcialmente positiva [45].

La rectificación se puede aplicar por medio de dos diodos o con un puente rectificador que lo componen 4 diodos y una sola salida. Al usar cuatro diodos en puente se quita la necesidad de la conexión intermedia del secundario del transformador, dando como ventaja que la tensión en la carga rectificada es el doble que la que se obtiene con la otra alternativa nombrada. Durante el semiciclo positivo de la tensión de red los diodos 1 y 3 conducen dando lugar a un semiciclo positivo en la carga como se observa en la figura 13.A, mientras que los diodos 2 y 4 conducen en el semiciclo negativo dando lugar a un semiciclo positivo como se observa en la figura 13.B [46]

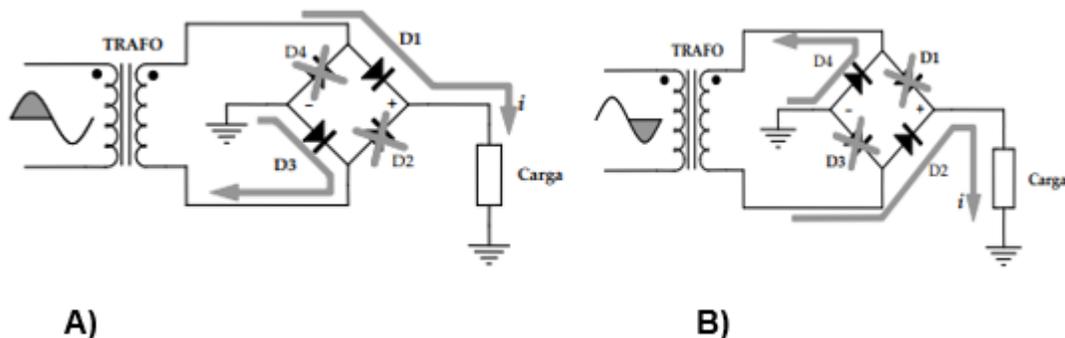


Figura 13. A) Semiciclo positivo. B) Semiciclo negativo.

Para el diseño de la fuente de alimentación DC se utilizó un circuito de onda completa con 4 diodos en puente, el cual está encapsulado en el puente rectificador KBL04. El rectificador de onda completa depende de varios factores como calidad de la señal de salida (factor de forma y factor de rizado). El factor de forma y de rizado son magnitudes adimensionales, siendo ideales con valor del factor de forma 1 y el valor del factor de rizado es 0 [46].

$$\text{Valor eficaz} \quad V_{ef} = \frac{V_{max}}{\sqrt{2}} \quad \text{Ec. 1}$$

$$\text{Valor medio} \quad V_{cc} = \frac{2V_{max}}{\pi} \quad \text{Ec. 2}$$

$$\text{Factor de forma} \quad F_F = \frac{V_{ef}}{V_{cc}} \quad \text{Ec. 3}$$

$$\text{Factor de rizado} \quad F_R = \sqrt{f_f^2 - 1} \quad \text{Ec. 4}$$

$$V_{ef} = \frac{V_{max}}{\sqrt{2}} = \frac{28}{\sqrt{2}} = 19.7989V$$

$$V_{cc} = \frac{2V_{max}}{\pi} = \frac{2 * 28}{3.1415} = 17.8258V$$

$$F_F = \frac{V_{ef}}{V_{cc}} = \frac{19.7989}{17.8258} = 1.1106$$

$$F_R = \sqrt{f_f^2 - 1} = 0.4833$$

4.1.1.3. Etapa de filtrado

Elimina la componente de tensión alterna que proviene de la etapa de rectificación, lo que se conoce como rizado. En esta etapa se utilizan capacitores que se cargan al valor máximo de voltaje entregado por el rectificador y se descargan lentamente cuando la señal pulsante desaparece permitiendo un nivel de tensión lo más continua posible. Los condensadores almacenan la energía durante instantes donde la tensión continua pulsante es mayor que la media para ceder dicha energía el resto de tiempo, manteniendo así la tensión entre unos valores determinados. En la figura 14 se observa el efecto del filtro sobre la onda de tensión rectificadas, donde inicialmente el condensador está descargado, pero cuando alguna de las dos parejas de diodos conduce, el condensador se va cargando a la tensión de salida del puente rectificador y cuando la forma de onda a la entrada alcanza su valor máximo el condensador tiende a descargarse lentamente hasta que la otra pareja de

diodos del rectificador entre en conducción y nuevamente cargue el condensador [47].

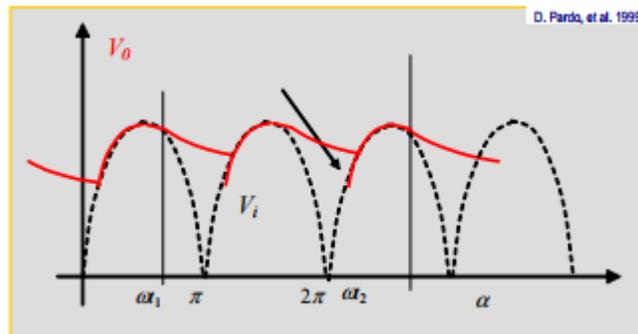


Figura 14. Efecto del filtro en la señal rectificada de onda completa [48].

Hay dos tipos de filtrados, uno es para una rectificación de media onda y otro es para una rectificación de onda completa. El primero es deficiente como tensión continua para alimentar circuitos electrónicos debido a que habrá mayor rizado, en cambio, el otro tipo de rectificación (onda completa) asegura una señal más continua y con menor rizado, así mismo menos pérdidas de potencia.

Para calcular el condensador que se utilizó como filtro se aplica la siguiente formula:

Se debe partir de seleccionar un voltaje de rizado adecuado para el cálculo del condensador, un voltaje de rizado sugerido es el 10% de $(V_p - 1.4)$. $(V_p - 1.4)$ es el voltaje hasta donde se carga el condensador [49].

$$V_{ppr} = 10\%(V_p - 1.4)$$

Se tiene que el valor de V_{ppr} es

$$V_{ppr} = \frac{I}{2 * F * C}$$

Igualando

$$\frac{I}{2 * F * C} = 10\%(V_p - 1.4)$$

Despejando el Condensador

$$C = \frac{10 * I}{2 * F * (V_p - 1.4)}$$

$$C = \frac{10 * 3A}{120Hz * ((28V * \sqrt{2}) - 1.4V)}$$

$$C = 6544.8\mu F$$

Con un voltaje de rizado pico a pico de

$$V_{ppr} = 3.81V$$

Para estos casos, el capacitor comercial más cercano al valor y que resista los 3 amperios de corriente, es de $C = 6800\mu F$

4.1.1.4. Etapa de regulación

Las fuentes de alimentación reguladas lineales se construyen mediante circuitos integrados que permiten la autorregulación, logrando contrarrestar cualquier fenómeno que se presente en el circuito, esto quiere decir, una elevación de la tensión de entrada, cambio en el consumo de la carga, cortocircuito de salida, subidas de temperatura, etc. Pero cabe resaltar que no resisten una circulación de corriente en inversa a través del circuito.

La etapa de regulación permite tomar la señal filtrada y la convierte en una señal totalmente DC, así mismo el regulador permite obtener un valor de salida deseado en base a la entrada.

Teniendo a disposición los avances electrónicos de la industria, se utilizaron convertidores DC-DC, llamados módulos step-down que contienen un regulador de voltaje de referencia LM2596, el cual es un circuito integrado monolítico utilizado en fuentes de conmutación tipo Buck, es capaz de conducir una corriente de hasta 3Amp manejando una carga con excelente regulación de línea y bajo voltaje de rizado. Maneja un voltaje de salida ajustable de 1.5Vdc a 35Vdc, reduciendo al mínimo el uso de componentes externos para simplificar el diseño de fuentes de alimentación. El módulo convertidor LM2596 es una fuente de alimentación conmutada, su eficiencia es significativamente mayor en comparación con los populares reguladores lineales de tres terminales [50].

El convertidor Buck convierte la potencia obteniendo a su salida un voltaje continuo menor que a su entrada. Es una fuente conmutada con dos dispositivos semiconductores (transistor y diodo), un inductor L y opcionalmente un condensador C a la salida. Un convertidor Buck puede tener una alta eficiencia (superior al 95% con circuitos integrados) y autorregulación [51].

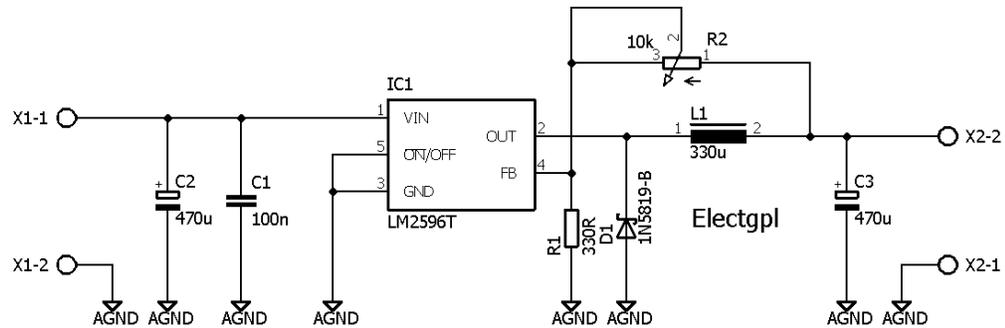


Figura 15. Esquemático del módulo LM2596 DC-DC Step down (reductora)



Figura 16. Modulo LM2596 DC-DC Step down

4.1.1.5. Sensor de humedad YL-69 y Arduino.

La humedad del suelo es una variable para tener en cuenta cuando se trabaja con energía eléctrica ya que son inversamente proporcionales. A mayor humedad en el suelo se necesita un menor voltaje ya que es menos resistivo y más conductor, mientras que cuando no se encuentra tan húmedo se necesita un voltaje mayor [40].

Se implementó mediante un Arduino UNO y un sensor higrómetro de referencia YL-69 compatible con Arduino, en la figura 17 se observa el diagrama de bloques.

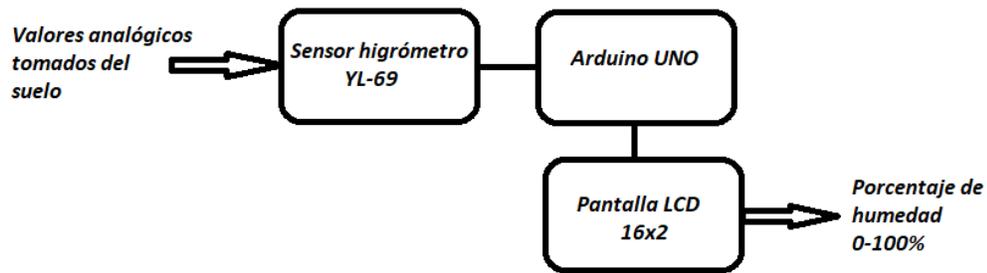


Figura 17. Diagrama en bloques conexión Arduino y sensor YL-69

El sensor toma valores analógicos entre 0 y 1023 (10 bits), el sensor de fabrica tiene rangos de caracterización para medir la humedad del suelo, los rangos son [42]:

- 0 para el sensor sumergido en agua
- 1023 para el sensor en el aire o un suelo seco
- 300-700 para el sensor en un suelo húmedo
- 700-900 para el sensor en un suelo seco

Se realizó una regla de tres para determinar una formula general que convierte los datos en porcentajes, teniendo en cuenta que un valor de 1 es un suelo totalmente húmedo (100%).

$$1023 \rightarrow 100\%$$

$$Lectura \rightarrow x\%$$

$$x = 100 - \left(\frac{Lectura * 100\%}{1023} \right)$$

Para generar la ecuación se tomó 1023 como un 100% de humedad (teóricamente el 100% es el valor 0) y se hace la resta entre 100 con la regla de tres para volver a los valores teóricos, esto quiere decir que, si el sensor toma un valor de 1023, el porcentaje va a ser cero y si el sensor toma una lectura de 0 el porcentaje de humedad será 100%.

4.2. Preparación del suelo

Para preparar las muestras de suelo con nanopartículas de plata se siguieron los siguientes pasos:

1. Se pesó 1kg de suelo y se introdujo en la caja de la celda como se observa en la figura 18 y 19.



Figura 18. Pesaje del suelo



Figura 19. Suelo dentro de la caja de la celda

2. Se pesó 1kg más de suelo y se roció con un spray que contiene 25ml de agua destilada con 0.0025g de nanopartículas de plata. Seguido a esto se añadió el suelo con las nanopartículas sobre el suelo que ya estaba dentro de la caja acrílica.



Figura 20. Agua destilada con nanopartículas



Figura 21. suelo rociado con el spray

3. Se insertaron los electrodos de hierro y bronce dentro del suelo, separados a unas distancias experimentales. El ánodo es de hierro y el cátodo de bronce, esto debido a que el hierro es más conductor que el bronce, obteniendo como resultado el montaje mostrado en la figura 22.



Figura 22. Electroodos insertados en el suelo

4. Mediante una bomba peristáltica Masterflex modelo L/S (figura 23) se añadieron los electrolitos (agua destilada y ácido acético) al suelo como se observa en la figura 24. Las mangueras de la bomba se dejan dentro del suelo durante 20 minutos



Figura 23. Bomba peristáltica

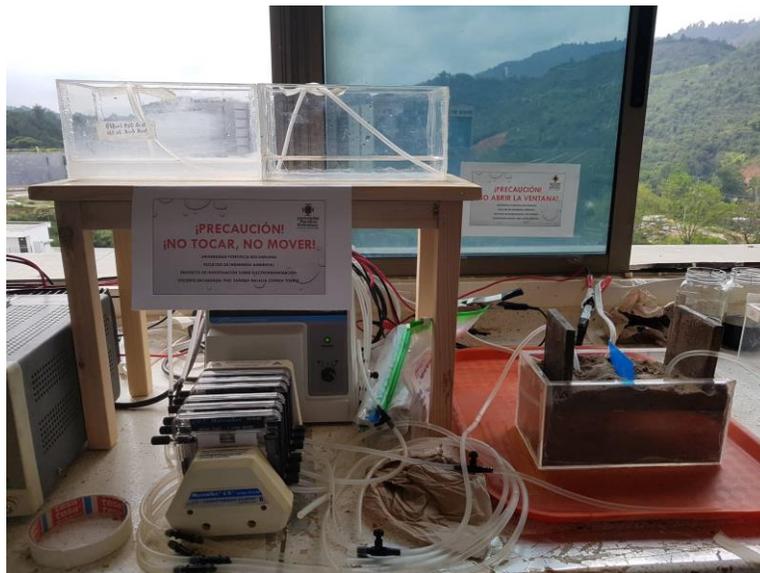


Figura 24. Conexión de la bomba a la celda

Se hicieron diferentes montajes variando las distancias entre los electrodos y los voltajes aplicados a los electrodos, utilizando una sola combinación de electrodos (Bronce y hierro) y una sola concentración de nanopartículas (100ppm). Según el estado del arte y la anterior tesis trabajada sobre electrorremediación en la UPB Bucaramanga se observó mejores resultados de remoción con la combinación de electrodos hierro y bronce.

Tabla 2. Experimento de pruebas

Experimento	Distancia	Voltaje	Concentración	Tiempo de exposición	Electrodos
1	5cm	80v	100ppm	8 horas	Hierro-bronce
	15cm	80v	100ppm	8 horas	Hierro-bronce
2	5cm	70v	100ppm	8 horas	Hierro-bronce
	15cm	70v	100ppm	8 horas	Hierro-bronce

El proceso se realizó en un tiempo de exposición de 8 Horas y luego se obtuvieron las muestras del suelo raspando los electrodos y se sacó parte del suelo alrededor del electrodo. Finalmente se procesaron las muestras por digestión acida del suelo para mediante absorción atómica conocer el porcentaje de remoción de nanopartículas de plata.

5. Digestión acida en suelo

Consiste en un método que utiliza la preparación de varias muestras, para ser analizadas de forma líquida mediante técnicas como la espectrometría de absorción atómica. Para el análisis de iones de Plata (Ag^+) en espectrómetro de absorción atómica se utiliza la vía húmeda, que se basa en la descomposición de la materia orgánica de la muestra por analizar, utilizando diferentes ácidos y/o agentes oxidantes/reductores [52].

El espectrómetro de absorción atómica utiliza la descomposición de muestras por “llama de aire-acetileno por aspiración directa” usando un quemador recomendado de acuerdo con las características del equipo, y así determinar el nivel de absorbancia para el metal estudiado en cuestión [53].

Para la preparación de la muestra se inició la digestión basada en el método orgánico EPA 3015-A [54]:

- Tomar 0,26g de suelo junto a 5ml de ácido nítrico (HNO_3) y 2ml de peróxido de hidrogeno (H_2O_2) en un envase de teflón que soporta altas temperaturas.
- Se ingresan los envases al sistema de digestión asistida por microondas *Multiwave Go*.
- Las muestras obtenidas se dejan enfriar a temperatura ambiente para luego ser filtradas al vacío.

- El líquido resultante se afora a 25ml con agua destilada en un balón de aforado.

Después de la digestión se procedió con la preparación del espectrómetro de absorción atómica [53]:

- Verificación de la lampara HcL adecuada para la lectura de Ag, la cual emite un haz de luz que permite la identificación de los átomos.
 - Verificar la sensibilidad del equipo antes de comenzar con una sustancia patrón de cobre (Cu) a una concentración de 1,0 ppm, el cual posee un rango de absorbancia de 0,176.
- Preparar las curvas de calibración, tomando como mínimo 3 puntos de un patrón de 1000 ppm, que se lleva respectivamente a los valores de 0.03, 0.05, 0.1, 0.3 y 0.5 ppm.
- Se determina la curva de calibración por el software del equipo y las muestras son puestas en los lugares correspondientes para iniciar el proceso de lectura y determinación de átomos de Ag.

5. ANALISIS DE DATOS

5.1. Resultados de Absorción Atómica

Los resultados obtenidos de absorción atómica fueron los siguientes:

Tabla 3. Resultados de absorción atómica

CONDICIONES INICIALES	DISTANCIA (cm)	CÓDIGO DE MUESTRA	ABSORCIÓN ATÓMICA (mg/L)
Electrodos: Bronce- Fe Voltaje: 70 V []i:100 ppm Suelo: 2000 g Muestra de suelo tomada: 0,26 g		BLANCO	BLANCO
	5	1A5	0,0078
			0,0081
			0,0079
		1M5	0,0150
			0,0148
			0,0152
		1P5	0,0113
			0,0109
			0,0116
		BLANCO	BLANCO
	15	1A15	0,0127
			0,0132
			0,0130
		1M15	0,0137
0,0140			
0,0140			
1P15		0,0132	
		0,0136	
		0,0132	
Electrodos: Bronce- Fe Voltaje: 80 V []i:100 ppm Suelo: 2000 g Muestra de suelo tomada: 0,26 g		BLANCO	BLANCO
	5	E1.5.80	0,0052
			0,0056
			0,0052
		BLANCO	BLANCO
	15	E1.15.80	0,0092
			0,0095
0,0096			

En la tabla 3 se observan los resultados obtenidos en el proceso de absorción atómica. Se realizaron experimentos con voltajes de 70V y 80V a distancias de 5cm y 15cm (Distancia mínima y distancia máxima). En las condiciones iniciales con 70V se tomaron muestras por triplicado en ambas distancias con el fin de tener mejores resultados y en condiciones iniciales a 80V no se tomaron muestras por triplicado.

El blanco representa un punto de referencia que indica una muestra de suelo sin nanopartículas, se utiliza para evitar un error en exceso permitiendo calcular el verdadero porcentaje de remoción de nanopartículas. El proceso de análisis de estos datos fue el siguiente:

1. Se realizó un promedio de absorción atómica en cada distancia. Teniendo en cuenta que en condiciones de 70V las muestras son por triplicado se calculó otro promedio para tener un resultado de absorción atómica general.
2. La concentración de nanopartículas de plata se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$[NPs Ag] = \frac{(\text{gramos suelo totales reactor} * \text{promedio Abs. Atómica})}{\text{muestra de suelo tomada para digestión ácida}} \text{ (ppm)}$$

Donde:

- Gramos suelo totales reactor = 2000g
- Muestra de suelo tomada para digestión = 0.26g
- Promedio Abs. Atómica = Promedio general en cada distancia

3. El porcentaje de retención se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$\%Ret = \frac{(\text{Total concentración aplicada NPs Ag en suelo del reactor} - [NPs Ag])}{\text{Total concentración aplicada NPs Ag En suelo del reactor}} * 100$$

Donde:

- Concentración de NPsAg aplicadas en el reactor= 100ppm
- [NPsAg]= concentración de nanopartículas de plata calculada

4. El porcentaje de remoción de nanopartículas de plata se calculó mediante la siguiente formula:

$$\%Remo = 100\% - \%Ret$$

Donde:

- $\%Ret$ = Porcentaje de retención calculado

5. El porcentaje de error se calculó con la siguiente formula:

$$\%E = \left| \frac{[NPs Ag] - [NPs Ag Blanco]}{[NPs Ag]} \right| * 100$$

- $[NPsAg]$ = concentración de nanopartículas de plata calculada

- $[NPsAg Blanco]$ = concentración de nanopartículas de plata en la muestra Blanco obtenida en absorción atómica

6. Teniendo el porcentaje de error al implementar el blanco se corrigen los porcentajes de retención y remoción mediante las siguientes formulas:

$$\%Ret.C = \%Ret + \%E$$

Donde:

$\%Ret$ = porcentaje de retención calculado

$\%E$ = porcentaje de error implementado el blanco

$$\%Remo.C = \%Remo - \%E$$

Donde:

$\%Remo$ = porcentaje de remoción calculado

$\%E$ = porcentaje de error implementado el blanco

En la tabla 4 se observan los resultados finales:

Tabla 4. Resultados finales técnica electroremediación

Distancia (Cm) y Voltaje (V)	Abs. Atómica (mg/L)	Promedio Abs. Atómica (mg/L)	Prom por distancia	[NPsAg] (ppm)	Retención (%)	Remoción (%)	Error (%)	Retención corregido (%)	Remoción corregido (%)
5 (70V)	BLANCO	0,0048	0,0048	36,92					
	0,0078	0,0079	0,0114	87,69	12,3077	87,6923	58	70,2024	29,7976
	0,0081								
	0,0079								
	0,0150	0,0150							
	0,0148								
	0,0152	0,0113							
	0,0113								
0,0109									
0,0116									
15 (70V)	BLANCO	0,0053	0,0053	40,77					
	0,0127	0,0130	0,0134	103,333	-3,3333	103,333	61	57,2126	42,7874
	0,0132								
	0,0130								
	0,0137	0,0139							
	0,0140								
	0,0140	0,0134							
	0,0132								
0,0136									
0,0132									
5 (80V)	BLANCO	0,0047	0,0047	36,15					
	0,0052	0,0054	41,54	58,4615	41,5385	13	71,4245	28,5755	
	0,0056								
	0,0052								
0,0052									
15 (80V)	BLANCO	0,0046	0,0046	35,38					
	0,0092	0,0094	72,31	27,6923	72,3077	51	78,7561	21,2439	
	0,0095								
	0,0096								
0,0096									

Teniendo en cuenta los datos de la tabla 4, el porcentaje de error representa errores de procedimiento, errores de los equipos, el espacio de trabajo, entre otros factores que pueden afectar la medición. Partiendo de los datos obtenidos en la tabla 4 es fiable decir que entre más distancia hay mejor remoción porque hay más suelo con nanopartículas entre los electrodos.

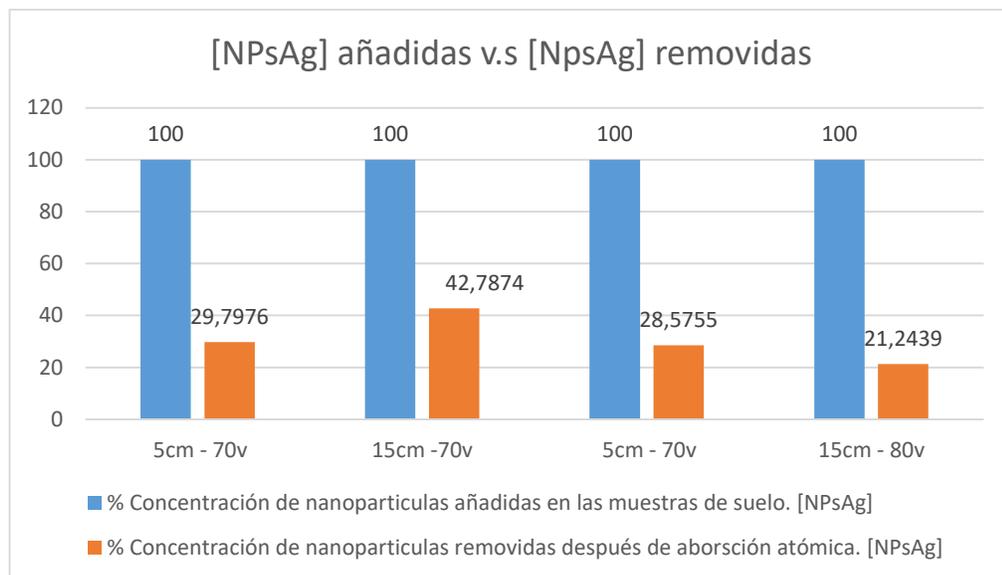


Figura 25. Gráfica de las concentraciones de nanopartículas de plata

Al hacer los cálculos para determinar el porcentaje de remoción se debe restar el error, el cual se calcula teniendo en cuenta el punto de referencia del suelo (Blanco). El blanco es importante hacerlo porque determina el estado del suelo y si ese suelo ya tenía algún metal en específico.

De los resultados obtenidos se puede inferir que el mejor voltaje fue el de 70V a una distancia de 15cm, removiendo un 42,7874% de nanopartículas de plata, utilizando electrodos en forma de placa de hierro y bronce.

5.2. Fuente de alimentación DC

El diseño de la fuente de alimentación se realizó para implementarse a la técnica de Electrorremediación, teniendo como parámetros un voltaje variable entre 25V 80V con una corriente máxima de 3 Amperios. Teniendo en cuenta que la técnica de electrorremediación utiliza voltajes mínimos de 60V-70V las pruebas que se realizaron para comprobar los parámetros establecidos fueron:

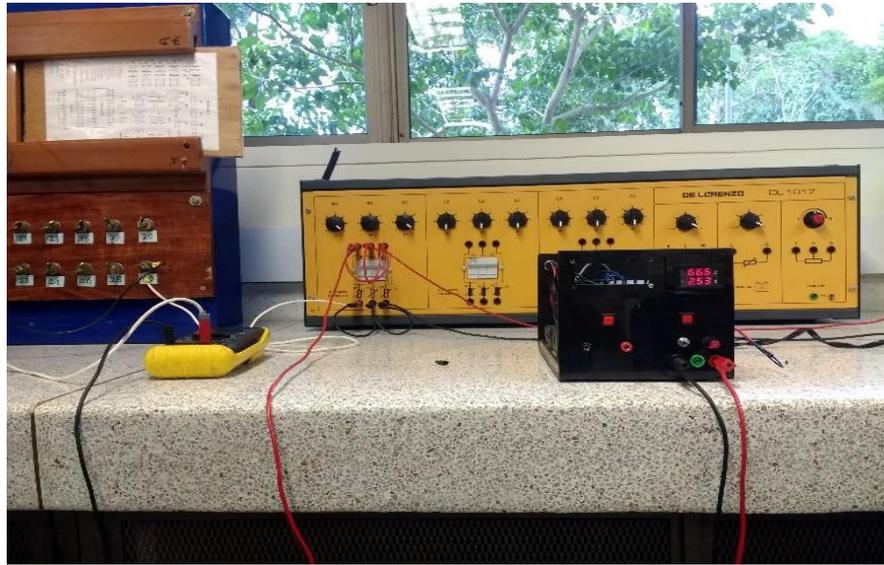


Figura 26. Prueba de corriente fuente de alimentación DC

Los cálculos teóricamente se realizaron para que la fuente suministrara un máximo de 3 amperios a 80v, pero al realizar las pruebas se observó que mientras la etapa de transformación mantiene el voltaje en los secundarios aplicándole una carga de 3 amperios, los módulos de regulación no soportan la carga.

A lo largo de la investigación se observó que la técnica electroremediación trabaja con cargas pequeñas que consumen 0,1 amperios aproximadamente, de esta forma se decidió trabajar la fuente a una corriente máxima de 1,5 amperios que es adecuada para la técnica y así los módulos de regulación trabajan de manera eficiente.

Con resistencias de potencia en el laboratorio de máquinas eléctricas de la universidad pontificia bolivariana se probó nuevamente la fuente con cargas que piden 1.5 amperios y se observó una regulación de voltaje eficiente. Esta prueba de corriente se observa en la figura 26.

En la figura 27 se observa la conexión de la fuente de alimentación a la celda electrolítica a un voltaje de 80V, el valor del voltímetro de la fuente registra un voltaje mayor, esto porque no se ha ajustado la resistencia del voltímetro la cual me permite ajustar el voltaje hasta el real.

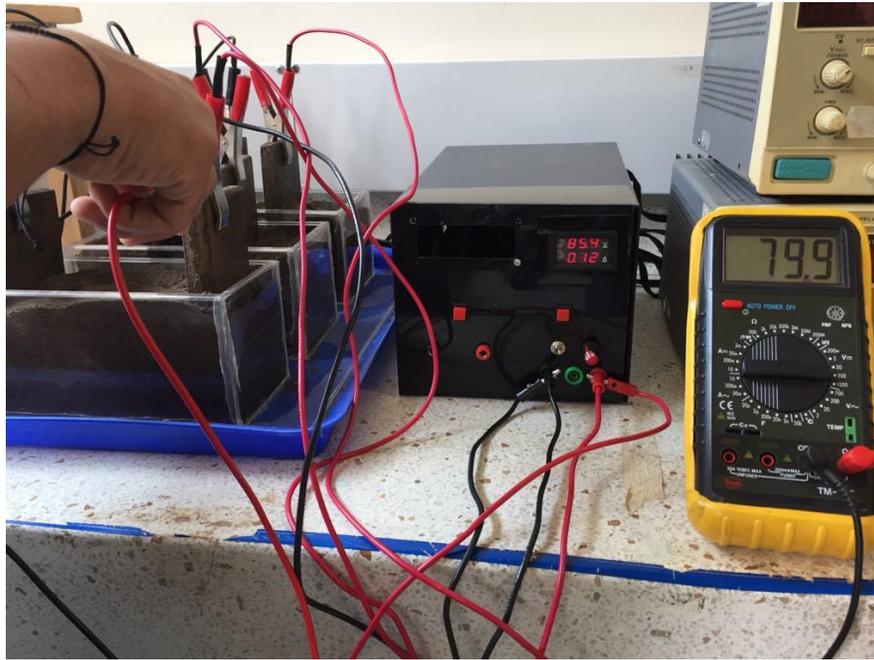


Figura 27. Conexión de la fuente de alimentación a la celda electrolítica.

La ejecución de la técnica de Electroremediación se realizó con la fuente de alimentación DC diseñada y se obtuvieron los resultados observados en la tabla 4. logrando cumplir los objetivos propuestos a lo largo del proyecto.

6. PRESUPUESTO

Tabla 5. Presupuesto de elementos utilizados en la fuente DC.

Producto	Detalles	Cantidad	Precio
Caja fuente DC	Carcasa de la fuente de alimentación	1	\$30.000
Cable de alimentación		1	\$3000
Bornera para cable de alimentación		1	\$1500
Fusible	110V-3A	1	\$300
Porta fusible		1	\$800
Interruptor con piloto	110Vac	1	\$2000
Transformador	80Vac-3A	1	\$70000
Tarjeta de circuitos impresos	Alta calidad	1	\$50000
Borneras pequeñas	6 de dos entradas 1 de tres entradas	7	\$1500
Puentes rectificadores	4A	3	\$4800
Condensadores	4700uF	3	\$8000
Condensadores	100uF	3	\$900
Módulos convertidores DC-DC	Step down reductores	3	\$15000
Switch de codillo	Dos posiciones	1	\$1500
Relevo	Reversible	1	\$1500
Resistencia	0.20hm 5W	1	\$200
SCR	C106D	1	\$800
Condensador	0.1uF a 100V	1	\$300
Potenciómetro	10KOhm	1	\$500
Volti-amperimetro	Digital 0-100V 10A	1	\$20000

Interruptores	Normalmente abiertos	2	\$2000
Borneras	Input tipo banana	3	\$3000
Display	16x2 para Arduino	1	\$10000
Borneras	Input tipo banana	2	\$1500
Sensor Higrómetro	YL-69 sensor de humedad	1	\$5000
Arduino	Arduino UNO	1	\$15000
Adaptador	5Vdc	1	\$3000
Adaptador	12Vdc	1	\$3000
Cable termo encogible	Por metro	2	\$800
Soldadura de estaño	Por metro	2	\$1000
Cable	Calibre #22 por metro	5	\$2500
Tornillos	Para caja de la fuente	12	\$700
Pegante		1	\$1500
Perilla potenciómetro	Perilla protectora para potenciómetro	1	\$500
TOTAL			\$262.100

7. CONCLUSIONES

- Mediante la investigación del estado del arte se logró diseñar e implementar la fuente de alimentación planteada con los parámetros de voltaje y corriente, teniendo como resultado el suministro de energía para el funcionamiento de la celda electrolítica logrando ejecutar la técnica de electrorremediación del suelo durante el tiempo de 8 horas con voltajes de 70V y 80V.
- Durante el proceso experimental se observó que cuando el suelo está muy húmedo y se retiran los electrodos, no hay suelo adherido afectando las muestras tomadas, por ende, la implementación del sensor de humedad para el suelo YL-69 fue una herramienta muy útil que permitió estimar el porcentaje de humedad del suelo al aplicarse los electrolitos, logrando realizar el proceso de una manera más óptima sin exceder el límite de saturación del suelo.
- A través de la investigación y ejecución de las pruebas realizadas, se observó que las celdas consumen 0,1 amperios, por lo tanto no es necesario tener 3 amperios en el diseño ya que es sobredimensionar la fuente para el proceso y requiere más presupuesto. Por esta razón al tener alcance de 1,5 amperios en la fuente, se permitió alimentar 3 celdas electrolíticas y optimizar el proceso de investigación.
- Teniendo como referencia el anterior proyecto de electrorremediación de suelos realizado en la Universidad Pontificia Bolivariana, se modificaron factores de diseño de la celda electrolítica como la forma de los electrodos y tiempo de exposición. Obteniendo un 42,7874 % de remoción de nanopartículas de plata con las condiciones de 70v, 15cm entre electrodos, 8 horas de exposición y la combinación de electrodos Hierro-bronce. Se analizó que la distancia entre los electrodos de 15cm abarca una mayor cantidad de suelo con nanopartículas de plata.

8. TRABAJOS A FUTURO

- Implementar otros tipos de electrodos en cuanto a forma, tamaño, material y otros electrolitos como el ácido nítrico el cual reduce el consumo de electricidad, así mismo la distancia entre electrodos y tiempos de exposición.
- Si se desea implementar la fuente de alimentación a otras técnicas diferentes a la electrorremediación se deben añadir más protecciones a la fuente, las cuales garanticen el óptimo desempeño en la ingeniera ambiental. Esto porque la fuente se diseñó específicamente para la técnica electrorremediación de suelos.
- Diseñar un sistema de control para la celda electrolítica, optimizando factores como el consumo de energía, tiempo de vida de la fuente, entre otros.
- Implementar diferentes sensores en la fuente de alimentación con el fin de conocer más propiedades el suelo como el pH, conductividad, entre otras propiedades físico-químicas. De esta forma lograr llevar el proceso a nivel de campo.

9. BIBLIOGRAFÍA

- [1] M. S. a. P. L. J. Virkutyte, «Electrokinetic soil remediation,» *Science of the Total Environment*, vol. 289, nº 1-3, pp. 97-121, 2002.
- [2] M. M. T. a. M. E. R. D. A. De la rosa, «Electrorremediación de suelos contaminados, una revisión técnica para su aplicación en campo,» *Revista internacional de contaminación ambiental*, vol. 23, nº 3, 2007.
- [3] T. V. Sepulveda, Suelos contaminados por metales y metaloides: muestreo y alternativas para su remediación, Mexico: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2005.
- [4] L. M. a. O. N. Rodriguez-Martinez, Emerging Nanotechnologies in Rechargeable Energy Storage Systems., España: Elsevier, 2017, pp. 1046-1054.
- [5] C. a. S.-M. M. a. R. A. a. C. O. a. R. M. Medina, «Nanoparticles: pharmacological and toxicological significance,» *British journal of pharmacology*, vol. 150, nº 5, pp. 552-558, 2007.
- [6] G. a. C. G. R. a. M. H. J. Chavez, «Nanoparticulas para el control del biodeterioro en monumentos historicos,» *Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria en Nanociencia y Nanotecnologia*, vol. 6, nº 10, 2011.
- [7] C. P. a. O. F. J. Poole, Introducción a la nanotecnología, Barcelona: Reverté S.A, 2007.
- [8] J. Y. a. K. B. S. Song, «Rapid biological synthesis of silver nanoparticles using plant leaf extracts,» *Bioprocess and biosystems engineering*, vol. 32, nº 1, p. 79, 2009.
- [9] Y. a. H. X. a. W. K. a. Z. X. a. T. W. Wang, «Barbated Skullcup herb extract-mediated biosynthesis of gold nanoparticles and its primary application in electrochemistry,» *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, vol. 73, nº 1, pp. 75-79, 2009.
- [10] S. a. L. P. a. K. J. a. P. S. a. P. V. a. S. S. Maensiri, «Indium oxide (In₂O₃) nanoparticles using Aloe vera plant extract: Synthesis and optical properties,» *Optoelectronics and Advanced Materials*, vol. 10, nº 3, pp. 161-165, 2008.
- [11] R. G. y. I. A. J. Ehl, «leyes electroquímicas de Faraday y la determinación de pesos equivalentes,» *Journal of Chemical Education*, vol. 31, nº 5, p. 226, 1954.

- [12] J. Granada-Laso, «Evaluación de la técnica de electroremediación de suelos contaminados por metales pesados.» *Universidad Técnica Particular de Loja, La Universidad Católica de Loja*, pp. 25-26, 2011.
- [13] X. a. S. H. J. Chen, «Nanosilver: a nanoparticle in medical application,» *Toxicology letters*, vol. 176, nº 1, pp. 1-12, 2008.
- [14] S. a. D. A. Behera, «Biomedical applications of silver nanoparticles,» *Asian Scientific Research*, vol. 1, nº 1, pp. 27-56, 2011.
- [15] A. H. A. M. D. y. M. P. Ávalos, «Nanopartículas de plata: Aplicaciones y riesgos tóxico para la salud humana y el medio ambiente,» *Revista complutense de ciencias Veterinarias*, vol. 7, nº 2, pp. 1-23, 2013.
- [16] J. a. M. J. a. Q. M. a. E. W. Morales, «Síntesis y caracterización de nanopartículas de plata por la ruta sol-gel a partir de nitrato de plata,» *Revista de la Sociedad Química del Perú*, vol. 75, nº 2, pp. 177-184, 2009.
- [17] J. Blanco Sandoval, *Propiedades químicas del suelo.*, Cucuta - Colombia: Corpoica, 1994.
- [18] N. C. B. a. H. O. Buckman, *The nature and properties of soil*, New York: Macmillan Company NY, 1969.
- [19] R. D. Zapata Hernández, *Química de la acidez del suelo*, 2004.
- [20] C. a. M. A. Brunatti, «Introducción a la espectroscopía de absorción molecular ultravioleta, visible e infrarrojo cercano,» Buenos Aires, 2010.
- [21] B. L. S. d. R. d. C.V., «BÜCHI,» BÜCHI, [En línea]. Available: <https://www.buchi.com/es-es/products/kjeldahl-dumas/unidad-de-destilaci%C3%B3n-k-350-k-355>. [Último acceso: 16 01 2019].
- [22] A. Paar, «Anton Paar,» Anton Paar, [En línea]. Available: <https://www.anton-paar.com/my-en/products/details/microwave-digestion-system-multiwave-go/>. [Último acceso: 16 01 2019].
- [23] P. Elmer, «Perkin Elmer,» Perkin Elmer, [En línea]. Available: http://www.perkinelmer.com/CMSResources/Images/46-74676PRD_HGA900GraphiteFurnace.pdf. [Último acceso: 16 01 2019].
- [24] L. C. Fernández Linares, *Manual de técnicas de análisis de suelos aplicadas a la remediación de sitios contaminados*, 2006.
- [25] C. S. a. R. K., «Oxidation and Mobility of Trivalent Chromium in Manganese-Enriched Clays during Electrokinetic Remediation,» *Soil Contamination*, vol. 8, nº 2, pp. 197-216, 1999.

- [26] S. M. a. C. C. Pazos M, «Improvement in electrokinetic remediation of heavy metal spiked kaolin with the polarity exchange technique,» *Chemosphere*, vol. 62, nº 5, pp. 817-822, 2006.
- [27] Y. A. T. a. G. Y. Y., *Chelating Agents for Land Decontamination Technologies*, 2012.
- [28] E. G. a. R.-B. A. J. Huertos, «Contaminacion de suelos por metales pesados,» *Macla: revista de la Sociedad Española de Mineralogía*, nº 10, pp. 48-60, 2008.
- [29] M. a. G. d. D. G. H. a. F. D. N. Forrellat Barrios, «Metabolismo del hierro,» *Revista Cubana de hematología, inmunología y hemoterapia*, vol. 16, nº 3, pp. 149-160, 2000.
- [30] M.-G. S., *Valoracion de soluciones humectantes para electrorremediacion de un suelo intemperizado con alto contenido de carbonatos*, Torreón, Coahuila, 2012.
- [31] M. S., *Fundamentos y Aplicaciones de Electroquímica*, Mérida: Universidad de los Andes, consejo de publicaciones, 2004, pp. 113-156.
- [32] R. a. M. H. Tambutti, *Fisica II*, México: Editorial Limusa, 2002.
- [33] R. M. a. Y. M. J. R. Álvarez, *Química: un proyecto de la American Chemical Society*, Barcelona: Reverté, 2005.
- [34] C. R. a. C. W., *Química*, México D. F: McGraw-Hill, 2002.
- [35] F. L. C. S. A. J. J. M. F. Burriel Martí, *Quimica Analitica Cualitativa*, Editorial Paraninfo, 2007.
- [36] G. S. Gilberto, *Electrónica Básica y sus aplicaciones*, Editorial Pueblo y Educacion, 2002.
- [37] A. S.-k. GmbH, *Manual de apliación. Fuentes de alimentación*, Heidelberg: ABB, 2006.
- [38] L. A., *Fuentes de corriente continua reguladas*, La plata, 2016.
- [39] Contaval, «Protecciones en fuentes de alimentación,» España, 2016.
- [40] M. a. P. N. a. C. J. L. Simon, «Relación entre la conductividad electrica aparente con propiedades del suelo y nutrientes,» *Ciencia del suelo*, vol. 31, nº 1, 2013.
- [41] B. M. V. P., *Evaluación de un sistema “vbm384” para la aplicación práctica de internet de las cosas iot, en el monitoreo automático de la humedad y temperatura del suelo.*, Cuenca, 2017.
- [42] E. Freaks, *Octopus Soil Moisture Sensor Brick*.
- [43] V. R. R., *Teoria y practica de transformadores*, Medellin: Grafico, 1990.

- [44] V. H. Yáñez Salazar, *Elaborar un manual de procedimientos para el diseño y construcción de transformadores*, Quito, 2010.
- [45] T. D. C. a. G. C. Rubio, «Rectificadores y filtros,» de *Electronica Aplicada*, McGraw-hill, 2010, pp. 143-162.
- [46] P. D. Hernández, *Fuentes de alimentación reguladas*, Cartagena, España. , 2007.
- [47] M. C. T. Saguay, «Fuente de alimentación regulada o estabilizada,» Riobamba.
- [48] P. C. D. a. B. V. L. A, *Elementos de Electrónica*, Secretariado de Publicaciones e Intercambio, 1999.
- [49] Elberni, «MrElberni,» [En línea]. Available: <http://mrelbernitutoriales.com/filtro-blog/>. [Último acceso: 17 01 2019].
- [50] N. Mechatronics, «Naylamp Mechatronics,» [En línea]. Available: <https://naylampmechatronics.com/conversores-dc-dc/196-convertidor-voltaje-dc-dc-step-down-3a-lm2596.html>. [Último acceso: 17 01 2019].
- [51] J. S. C. Ortega, *Fuente conmutada tipología buck con fines pedagógicos*, Bogota D.C, 2013.
- [52] M. P. L. M. A. L. a. R. V. Mendoza B, «EVALUACIÓN DE DOS MÉTODOS DE DIGESTIÓN ÁCIDA EN EL ANÁLISIS DE TEJIDO FOLIAR DE CAÑA (*Saccharum officinarum* L.),» *Ciencia y tecnología*, vol. 7, nº 2, pp. 9-20, 2014.
- [53] Z. E. a. S. A., *Protocolo de métodos de análisis para suelos y lodos*, Chillán, 2007.

ANEXO 1

Especificaciones técnicas del equipo de espectrofotometría HACH DR 5000

Especificaciones de funcionamiento	
Modo operativo	Transmitancia (%), absorbancia y concentración
Fuente de luz	Lámpara de tungsteno en atmósfera gaseosa (visible) y lámpara de deuterio (UV)
Rango de longitud de onda	190–1100 nm
Precisión de longitud de onda	± 1 nm en el rango de longitud de onda 200–900 nm
Reproducibilidad de longitud de onda	< 0.5 nm
Resolución de longitud de onda	0.1 nm
Calibración de longitud de onda	Automática
Selección de longitud de onda	Automática, mediante selección de un método
Velocidad de escaneado	900 nm/min en intervalos de 1 nm 1 escaneado completo/1min
Ancho de banda espectral	2 nm
Rango fotométrico	± 3.0 Abs en el rango de longitud de onda 200–900 nm
Precisión fotométrica	5 mAbs a 0.0–0.5 Abs 1% a 0.50–2.0 Abs
Linealidad fotométrica	< 0.5% a 2 Abs < = 1% a > 2 Abs
Luz difusa	Solución de yoduro de potasio a 220 nm > 3.3 Abs / < 0.05%
Especificaciones físicas y ambientales	
Anchura	450 mm (17.7 pulgadas)
Altura	200 mm (7.9 pulgadas)
Profundidad	500 mm (19.7 pulgadas)
Peso	15.5 kg (34.2 lb)
Condiciones de funcionamiento	10 a 40°C (50 a 104°F), 80% humedad relativa máxima (sin condensación)
Condiciones de almacenamiento	-25 a 60°C (-13 a 140°F), 80% humedad relativa máxima (sin condensación)
Requisitos de alimentación	
Conexión de alimentación	100–120 V; 200–240 V; 50/60 Hz; conmutación automática
Interfaces	1 x USB para PC solamente 2 x USB 1.1 para impresora, dispositivo de lectura USB para tarjetas de memoria y teclado
Clasificación de la caja	IP 31
Categoría de instalación (después de conectar la alimentación)	II

Anexo 1. Especificaciones técnicas del equipo de espectrofotometría HACH DR 5000

ANEXO 2

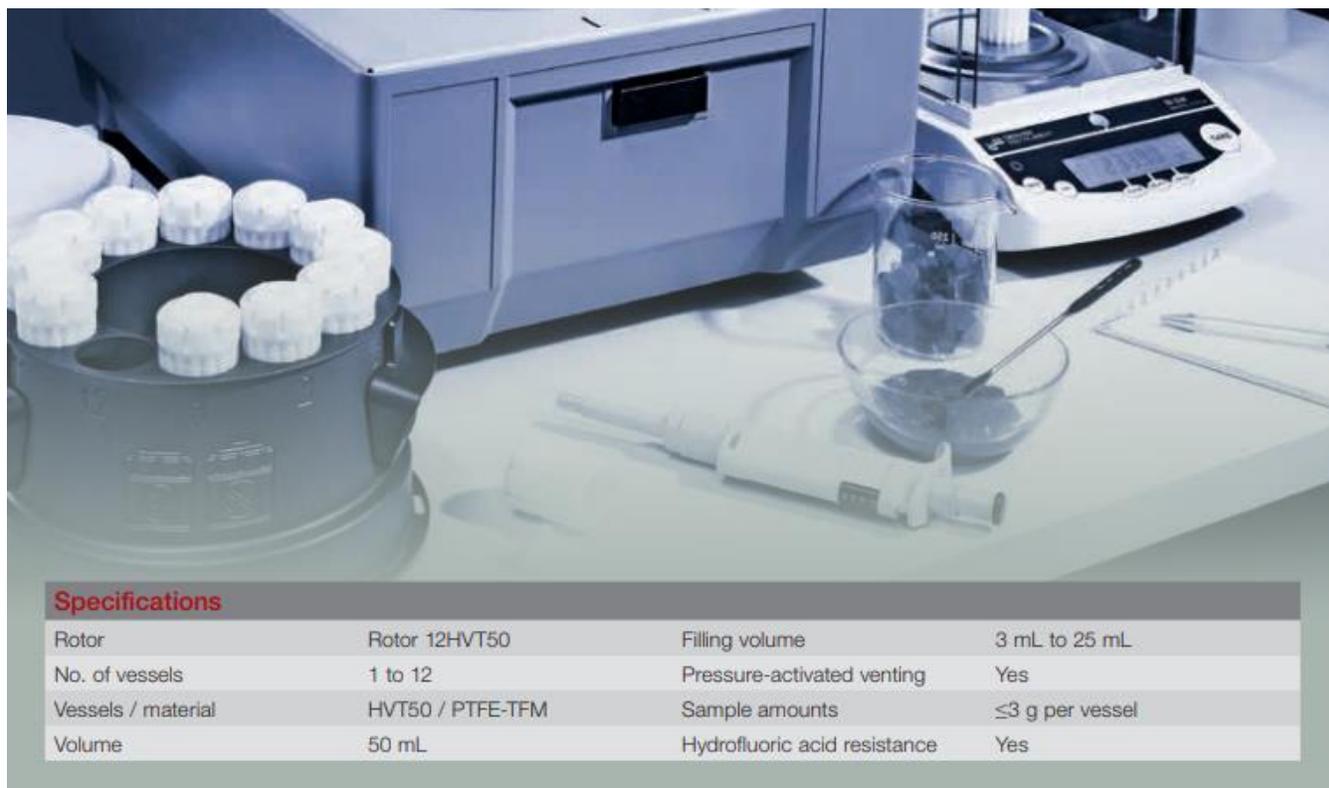
Especificaciones técnicas del equipo de destilación Buchi destillation unit k-355

	Unidad de destilación K-355
Consumo de energía	máx. 2,2 kW
Tensión de conexión	230 V \pm 10% / 200 V \pm 10%
Frecuencia	50/60 Hz
Consumo de corriente (230 V)	8.5A
Conexión a red	tripolar (P, N, T) vía cable de conexión a la red
Tasa de recuperación	\geq 99,5%
Reproducibilidad (RSD)	\leq 1 %
Límite de detección	\geq 0,1 mg de nitrógeno
Condiciones ambientales	para uso exclusivo en interiores
Temperatura	5 - 35° C
Altitud	hasta 2000 m
Humedad	humedad relativa máxima del 80% para temperaturas hasta 31° C decreciendo linealmente hasta un 67% de humedad relativa a 35° C
Categoría de resistencia	II
Nivel de contaminación	2
Dimensiones (A x Al x P)	400 x 660 x 360 mm
Peso	17 kg

Anexo 2. Especificaciones técnicas del equipo de destilación Buchi destillation unit k-355

ANEXO 3

Especificaciones técnicas del equipo de digestión Multiwave GO



Anexo 3. Especificaciones técnicas del equipo de digestión Multiwave GO

ANEXO 4

Especificaciones técnicas del equipo de absorción atómica Perkin Elmer HGA 900

Furnace program	Up to 12 independent steps. Parameters – holding time: 0-99 s, in steps of 1 s; temperature: 20-2700 °C in steps of 10 °C; heating rate: programmable, time-dependent or maximum power; internal gas flow; read delay; read time.
Safety features	The HGA 900 offers a complete array of safety features, including automatic circuit-breaker protection, a safety interlock to prevent operation with low gas pressure or with a broken tube or when the furnace is open, and thermal protection against overheating of the furnace. The HGA 900 continuously monitors its status and informs the user of any problems.
Power requirements	230 V (±10%) single-phase alternating current, 50/60 Hz, 3600 VA; 3-pole CEEKON outlet 230 V, 16 A (fuse 16 A slow blow) or NEMA® L6-20R twistlock outlet 250 V/60 Hz, 20 A (fuse 20 A slow blow). The mains-line house wiring must have a minimum wire cross-section of 4 mm ² (10 gauge) or 6 mm ² (8 gauge) for distances > 10 m.
Electrical protection	As defined in EN 61010-1 (IEC 61010-1); insulation class 1; installation category II; pollution degree 2.
Technical standards	The instrument is designed and tested to be in compliance with safety requirements: EN 61010-1, EN 61010-2-061, CAN/CSA-C22.2 No. 61010.1, CAN/CSA-C22.2 No. 61010.2.061, and the ElectroMagnetic Compatibility requirements EN 55011 for emissions and EN 61326 for immunity. The instrument bears the „CSA _{us} “ mark (CSA/Canada and NTRL/USA) and the CE mark (Europe). The instrument is developed and produced in compliance with ISO 9001.
Environment	Ambient temperature: 15 °C to 35 °C; 20-80% relative humidity, non-condensing; 0-2000 m.
Dimensions	Power unit alone: 32 cm wide x 47 cm high x 63 cm deep. Power unit with furnace in the standby position: 32 cm wide x 47 cm high x 97 cm deep.
Mass (weight)	43 kg.

Anexo 4. Especificaciones técnicas del equipo de absorción atómica Perkin Elmer HGA 900

ANEXO 5

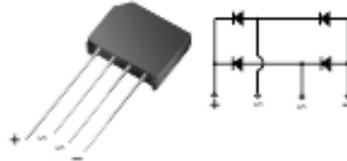
Especificaciones técnicas del puente rectificador KBL005



KBL005 thru KBL10

Vishay General Semiconductor

Single-Phase Bridge Rectifier



Case Style KBL

FEATURES

- UL recognition file number E54214
- Ideal for printed circuit boards
- High surge current capability
- High case dielectric strength of 1500 V_{RMS}
- Solder dip 260 °C, 40 s
- Component in accordance to RoHS 2002/95/EC and WEEE 2002/96/EC



RoHS
compliant

TYPICAL APPLICATIONS

General purpose use in ac-to-dc bridge full wave rectification for monitor, TV, printer, SMPS, adapter, audio equipment, and home appliances applications.

MECHANICAL DATA

Case: KBL

Epoxy meets UL 94V-0 flammability rating

Terminals: Silver plated leads, solderable per J-STD-002 and JESD22-B102

E4 suffix for consumer grade

Polarity: As marked on body

Mounting Torque: 10 cm·kg (8.8 inches·lbs) max.

Recommended Torque: 5.7 cm·kg (5 inches·lbs)

PRIMARY CHARACTERISTICS	
$I_{(AV)}$	4 A
V_{RRM}	50 V to 1000 V
I_{FSM}	200 A
I_{RI}	5 μ A
V_F	1.1 V
T_J max.	150 °C

MAXIMUM RATINGS ($T_A = 25$ °C unless otherwise noted)									
PARAMETER	SYMBOL	KBL005	KBL01	KBL02	KBL04	KBL06	KBL08	KBL10	UNIT
Maximum repetitive peak reverse voltage	V_{RRM}	50	100	200	400	600	800	1000	V
Maximum RMS voltage	V_{RMS}	35	70	140	280	420	560	700	V
Maximum DC blocking voltage	V_{DC}	50	100	200	400	600	800	1000	V
Maximum average forward current at $T_A = 50$ °C	$I_{(AV)}$	4.0							A
Peak forward surge current single sine-wave superimposed on rated load	I_{FSM}	200							A
Operating junction and storage temperature range	T_A, T_{STG}	-50 to +150							°C

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_A = 25$ °C unless otherwise noted)										
PARAMETER	TEST CONDITIONS	SYMBOL	KBL005	KBL01	KBL02	KBL04	KBL06	KBL08	KBL10	UNIT
Maximum instantaneous forward drop per diode	4.0 A	V_F	1.1							V
Maximum DC reverse current at rated DC blocking voltage per diode	$T_A = 25$ °C $T_A = 125$ °C	I_{RI}	5.0 1.0							μ A mA

Document Number: 88655
Revision: 15-Apr-08

For technical questions within your region, please contact one of the following:
PDD.Americas@vishay.com; PDD.Asia@vishay.com; PDD.Europe@vishay.com

www.vishay.com
1

Anexo 5. Especificaciones técnicas del puente rectificador KBL005

ANEXO 6

Especificaciones técnicas del módulo step-down LM2596

Rating	Symbol	Value	Unit
Maximum Supply Voltage	V_{in}	45	V
ON/OFF Pin Input Voltage	-	$-0.3\text{ V} \leq V \leq +V_{in}$	V
Output Voltage to Ground (Steady-State)	-	-1.0	V
Power Dissipation			
Case 314B and 314D (TO-220, 5-Lead)	P_D	Internally Limited	W
Thermal Resistance, Junction-to-Ambient	$R_{\theta JA}$	65	$^{\circ}\text{C/W}$
Thermal Resistance, Junction-to-Case	$R_{\theta JC}$	5.0	$^{\circ}\text{C/W}$
Case 936A (D ² PAK)	P_D	Internally Limited	W
Thermal Resistance, Junction-to-Ambient	$R_{\theta JA}$	70	$^{\circ}\text{C/W}$
Thermal Resistance, Junction-to-Case	$R_{\theta JC}$	5.0	$^{\circ}\text{C/W}$
Storage Temperature Range	T_{stg}	-65 to +150	$^{\circ}\text{C}$
Minimum ESD Rating (Human Body Model: C = 100 pF, R = 1.5 k Ω)	-	2.0	kV
Lead Temperature (Soldering, 10 seconds)	-	260	$^{\circ}\text{C}$
Maximum Junction Temperature	T_J	150	$^{\circ}\text{C}$

PIN FUNCTION DESCRIPTION

Pin	Symbol	Description (Refer to Figure 1)
1	V_{in}	This pin is the positive input supply for the LM2596 step-down switching regulator. In order to minimize voltage transients and to supply the switching currents needed by the regulator, a suitable input bypass capacitor must be present (C_{in} in Figure 1).
2	Output	This is the emitter of the internal switch. The saturation voltage V_{sat} of this output switch is typically 1.5 V. It should be kept in mind that the PCB area connected to this pin should be kept to a minimum in order to minimize coupling to sensitive circuitry.
3	GND	Circuit ground pin. See the information about the printed circuit board layout.
4	Feedback	This pin is the direct input of the error amplifier and the resistor network R2, R1 is connected externally to allow programming of the output voltage.
5	ON/OFF	It allows the switching regulator circuit to be shut down using logic level signals, thus dropping the total input supply current to approximately 80 μA . The threshold voltage is typically 1.6 V. Applying a voltage above this value (up to $+V_{in}$) shuts the regulator off. If the voltage applied to this pin is lower than 1.6 V or if this pin is left open, the regulator will be in the "on" condition.

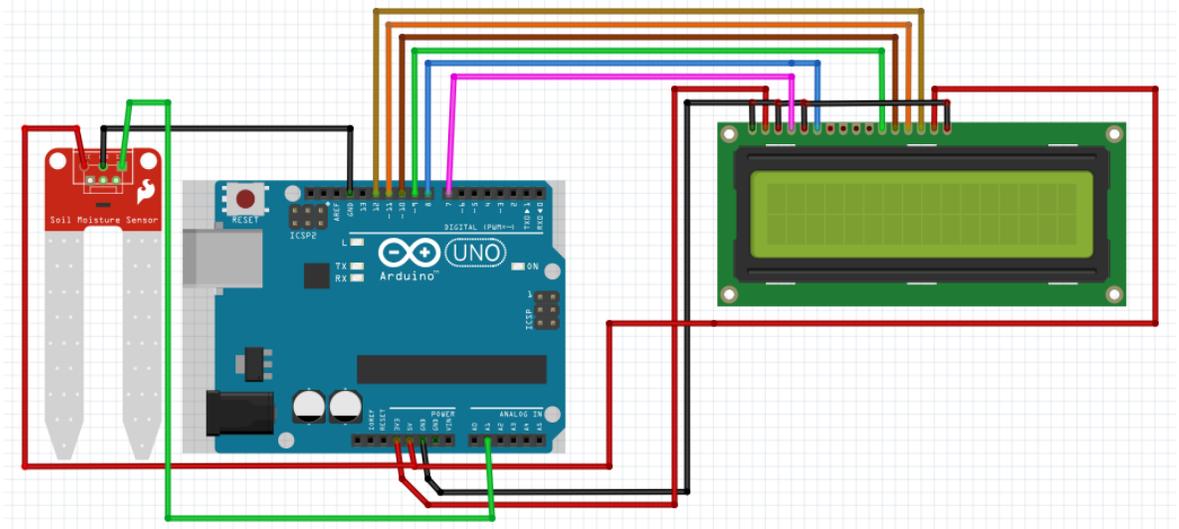
ELECTRICAL CHARACTERISTICS Specifications with standard type face are for $T_J = 25^\circ\text{C}$, and those with boldface type apply over full Operating Temperature Range -40°C to $+125^\circ\text{C}$

Characteristics	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
LM2596 (Note 1, Test Circuit Figure 15)					
Feedback Voltage ($V_{in} = 12\text{ V}$, $I_{Load} = 0.5\text{ A}$, $V_{out} = 5.0\text{ V}$)	V_{FB_nom}		1.23		V
Feedback Voltage ($8.5\text{ V} \leq V_{in} \leq 40\text{ V}$, $0.5\text{ A} \leq I_{Load} \leq 3.0\text{ A}$, $V_{out} = 5.0\text{ V}$)	V_{FB}	1.193 1.18		1.267 1.28	V
Efficiency ($V_{in} = 12\text{ V}$, $I_{Load} = 3.0\text{ A}$, $V_{out} = 5.0\text{ V}$)	η	–	73	–	%
Characteristics					
Symbol					
Min					
Typ					
Max					
Unit					
Feedback Bias Current ($V_{out} = 5.0\text{ V}$)	I_b		25	100 200	nA
Oscillator Frequency (Note 2)	f_{osc}	135 120	150	165 180	kHz
Saturation Voltage ($I_{out} = 3.0\text{ A}$, Notes 3 and 4)	V_{sat}		1.5	1.8 2.0	V
Max Duty Cycle "ON" (Note 4)	DC		95		%
Current Limit (Peak Current, Notes 2 and 3)	I_{CL}	4.2 3.5	5.6	6.9 7.5	A
Output Leakage Current (Notes 5 and 6) Output = 0 V Output = -1.0 V	I_L		0.5 6.0	2.0 20	mA
Quiescent Current (Note 5)	I_Q		5.0	10	mA
Standby Quiescent Current ($\overline{\text{ON}}/\text{OFF Pin} = 5.0\text{ V}$ ("OFF")) (Note 6)	I_{stby}		80	200 250	μA
$\overline{\text{ON}}/\text{OFF PIN LOGIC INPUT}$					
Threshold Voltage			1.6		V
$V_{out} = 0\text{ V}$ (Regulator OFF)	V_{IH}	2.2 2.4			V
$V_{out} = \text{Nominal Output Voltage}$ (Regulator ON)	V_{IL}			1.0 0.8	V
$\overline{\text{ON}}/\text{OFF Pin Input Current}$					
$\overline{\text{ON}}/\text{OFF Pin} = 5.0\text{ V}$ (Regulator OFF)	I_{IH}	–	15	30	μA
$\overline{\text{ON}}/\text{OFF Pin} = 0\text{ V}$ (regulator ON)	I_{IL}	–	0.01	5.0	μA

Anexo 6. Especificaciones técnicas del módulo step-down LM2596

ANEXO 7

Diagrama de conexión entre Arduino UNO y sensor higrómetro YL-69



Anexo 7. Diagrama de conexión entre Arduino UNO y sensor higrómetro YL-69

ANEXO 8

Código en Arduino para la conexión del sensor y el display LCD 16x2

```
#include <LiquidCrystal.h>
//          (RS,EN,d4,d5, d6, d7)
LiquidCrystal lcd(7,8, 9, 10, 11, 12);//pines conectados del lcd al Arduino
void setup() {
  lcd.begin(16, 2);//Filas y columnas del LCD
  Serial.begin(115200);
}
void loop() {
  int lectura= analogRead(A1);
  Serial.println(lectura);
  if(lectura>= 1000)
  {
    int porcentaje= (lectura*(10))/1023;
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("%Hume= ");
    lcd.print(100-(porcentaje*10));
    lcd.print("%");

  }
  else if(lectura<1000 && lectura>=600)
  {
    lcd.setCursor(0, 0);
    int porcentaje= (lectura*10)/(1023);
    lcd.print("%Hume= ");
    lcd.print(100-(porcentaje*10));
    lcd.print("%");

  }
  else if(lectura <600 && lectura>=420)
  {
    lcd.setCursor(0, 0);
    int porcentaje= (lectura*10)/(1023);
    lcd.print("%Hume= ");
    lcd.print(100-(porcentaje*10));
    lcd.print("%");

  }
  else if(lectura<420)
  {
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("%Hume= 100%");

  }
  delay(1000);
  lcd.clear();
}
```

Anexo 8. Código en Arduino para la conexión del sensor y el display LCD 16x2

ANEXO 9

Manual Fuente de alimentación DC



INSTRUCTIVO DE USO Y REPARACIÓN

Anexo 9. Instructivo de uso y reparación de la fuente de alimentación DC