

**Categoría de equivalencia para la enseñanza de la estequiometría
desde una visión fenomenológica**

Trabajo de grado para optar al título de Magister en Docencia de la Química

**Leydy Paola Jiménez Vásquez
Yeimi Consuelo Preciado Pérez**

Universidad Pedagógica Nacional
Departamento de Química
Maestría en Docencia de la Química
Bogotá, D.C., 2017

**Categoría de equivalencia para la enseñanza de la estequiometría
desde una visión fenomenológica**

Trabajo de grado para optar al título de Magister en Docencia de la Química

**Leydy Paola Jiménez Vásquez
Yeimi Consuelo Preciado Pérez**

**Sandra Sandoval Osorio
José Francisco Malagón Sánchez**

Directores

Grupo de Investigación Física y Cultura

Línea de investigación: Enseñanza de las ciencias desde una perspectiva cultural

Universidad Pedagógica Nacional
Departamento de Química
Maestría en Docencia de la Química
Bogotá, D.C., 2016

AGRADECIMIENTOS

A Dios

A los profesores Sandra y Francisco por su invaluable acompañamiento y orientación.

A mi compañera Leydy por su actitud positiva, ideas y paciencia durante el arduo trabajo realizado

A Camilo por su comprensión, apoyo y palabras de ánimo en todo momento

A mi familia por su constante interés y preocupación

Mil gracias,

Yeimi Consuelo Preciado

Agradezco infinitamente

A los asesores de nuestra investigación, los profesores Sandra y Francisco por su colaboración, apoyo, paciencia y orientación para cumplir nuestra meta

A mi compañera y amiga Yeimi por su interés, apoyo y responsabilidad durante los momentos de trabajo


A mi Hijo, Anderson por su sonrisa y abrazos de fortaleza

A Alejandro por sus palabras de aliento cada vez que los necesitaba para seguir

A mis padres, Rosa y Gerardo, por inculcarme el valor de la educación


A mi familia

Leydy Jiménez

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <small>Escuela Superior de Pedagogía</small>	FORMATO	
	RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE	
Código: FOR020GIB	Versión: 01	
Fecha de Aprobación: 10-10-2012	Página 4 de 109	

1. Información General	
Tipo de documento	Trabajo de grado en maestría de investigación
Acceso al documento	Universidad Pedagógica Nacional. Biblioteca Central
Título del documento	Categoría de equivalencia para la enseñanza de la estequiometría desde una visión fenomenológica.
Autor(es)	Jiménez Vásquez, Leydy Paola; Preciado Pérez, Yeimi Consuelo.
Director	Malagón Sánchez, José Francisco; Sandoval Osorio, Sandra.
Publicación	Bogotá, Universidad Pedagógica Nacional, 2017. 98 pág.
Unidad Patrocinante	Universidad Pedagógica Nacional.
Palabras Claves	Construcción de la categoría de equivalencia, estequiometría química, actividad experimental, equivalentes químicos, equivalentes electroquímicos.

2. Descripción
<p>En este documento se presenta el proceso investigativo que se llevó a cabo para llegar a la elaboración de la categoría de equivalencia, desde la perspectiva fenomenológica de las reacciones de electrodescomposición, tomando como base el análisis de fuentes primarias y la actividad experimental.</p>

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <small>Escuela Superior de Pedagogía</small>	FORMATO	
	RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE	
Código: FOR020GIB	Versión: 01	
Fecha de Aprobación: 10-10-2012	Página 5 de 109	

El análisis de las fuentes primarias brinda elementos conceptuales y procedimentales que derivan en la formulación de actividades experimentales encaminadas a la elaboración de la categoría de equivalencia, como un forma alterna de comprender el campo problémico de la estequiometría, a partir de las mediciones de masa, volúmenes y cantidad de electricidad con el fin de establecer relaciones y proporciones.

Esta investigación se desarrolla en el contexto del programa de Maestría en Docencia de la Química de la Universidad Pedagógica Nacional y se encuentra inscrito en la línea de investigación Enseñanza de las ciencias desde una perspectiva cultural, del grupo de Física y Cultura.

La investigación se origina de la reflexión pedagógica y la búsqueda de elementos que permitan partir de la actividad experimental para comprender el comportamiento discreto de la materia con el objetivo de lograr el aprendizaje del campo problemático de la estequiometría.

3. Fuentes

Las fuentes bibliográficas centrales en las que se sustenta este trabajo son:

Avogadro, A. (1811). Essay on a manner of determining the relative masses of the elementary molecules of bodies, and proportions in which they enter into these. Journal de Physique, 73, 58-76.

Bermudez, D. D. (2012). Las prácticas de laboratorio en Didáctica de las ciencias experimentales, un lugar para la convivencia de los diferentes estilos de aprendizaje. Estilos de aprendizaje: investigaciones y experiencias.



UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA
NACIONAL

FORMATO

RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE

Código: FOR020GIB

Versión: 01

Fecha de Aprobación: 10-10-2012

Página 6 de 109

Dalton, J. (21 de Octubre de 1805). On the Absorption of gases by water and other liquids. *Memoirs of the Literary and Philosophical Society of Manchester, Second Series* (1), 271-278.

Faraday, M. (1834). Experimental researches in electricity. *Seventh Series. Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 124, 77-122.

Gay-Lussac, J. (1809). Memoir on the Combination of gaseous substances with each other. *Mémoires de la Société d'Arcueil*, 1(2), 207.


Malagón, F. J., Sandoval, S., & Ayala, M. M. (2013). La actividad experimental: construcción de fenomenologías y procesos de formalización. *Praxis Filosófica*, 36, 119-138.

Malagón, F., Ayala, M., & Sandoval, S. (2011). El experimento en el aula: comprensión de las fenomenologías y procesos de formalización. *Praxis Filosòfica*, 36, 119-138.

Pozo, I., & Gómez, M. (1998). El aprendizaje de la química. En I. Pozo, & M. Gómez, *Aprender y Enseñar Ciencia. Del conocimiento cotidiano al conocimiento científico* (págs. 149 - 204). Madrid, España: Ediciones Morata.


Rincón, L., & Rodríguez, C. (2014). Construcción de la fenomenología de la interacción y la equivalencia de la actividad química de las sustancias (Tesis de Maestría). Bogotá (Bogotá): Universidad Pedagógica Nacional.

Sandoval, S. (2008). La comprensión y construcción fenomenológica: una perspectiva desde la formación de maestros de ciencias (Tesis de maestría). Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <small>Escuela Superior de Pedagogía</small>	FORMATO	
	RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE	
Código: FOR020GIB	Versión: 01	
Fecha de Aprobación: 10-10-2012	Página 7 de 109	

4. Contenidos

Esta tesis está conformada por siete capítulos en los que se presenta el proceso de la investigación realizada, en el **Capítulo I**: Problemática de estudio, se presenta el problema de estudio, las proyecciones metodológicas y los objetivos propuestos. En el **Capítulo II**: Diseño metodológico se encuentra la fundamentación de cada uno de los aspectos generales tenidos en cuenta para realizar la investigación y cada una de las fases en las que se divide la propuesta a implementar. En el **Capítulo III**: Sobre la categoría de equivalencia se profundiza en el análisis realizado a los escritos de Dalton, Gay-Lussac y Faraday, con el propósito de abstraer elementos conceptuales y procedimentales que permitan proponer una serie de actividades experimentales que lleven a la comprensión del comportamiento discreto de la materia y a la elaboración de la categoría de equivalencia a partir de la actividad experimental desde la perspectiva fenomenológica, que se centra principalmente en los trabajos sobre electrólisis realizados por Faraday que lo llevaron a establecer la ley electrolítica y los equivalentes electroquímicos. En el **Capítulo IV**: Sobre la visión fenomenológica de la actividad experimental en ciencias se argumenta la importancia y necesidad de incluir la actividad experimental desde la perspectiva fenomenológica en la enseñanza de las ciencias. En el **Capítulo V**: Indagación sobre el fenómeno de estudio: reacciones de electrólisis se desarrolla las actividades experimentales por parte de las autoras a partir de los aspectos metodológicos y procedimentales obtenidos del análisis de las fuentes primarias cuyo propósito final es plantear las actividades en el aula con los estudiantes. **Capítulo VI**: Disertaciones sobre las actividades experimentales en el aula: en este capítulo se encuentran los resultados y análisis de cada una de las actividades experimentales realizadas con los estudiantes y que fueron planteadas para llegar a la elaboración de la categoría de equivalencia. Finalmente en el **Capítulo VII**: Conclusiones y disposiciones finales se encuentran las conclusiones a las que se llegó en cada uno de los aspectos que constituían la

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <small>Formación de Profesores</small>	FORMATO	
	RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE	
Código: FOR020GIB	Versión: 01	
Fecha de Aprobación: 10-10-2012	Página 8 de 109	

investigación. Se encuentra además una sección de anexos conformada por las guías que siguieron con los estudiantes.

5. Metodología

La presente investigación se sustenta en el análisis de fuentes primarias que permite conseguir aspectos procedimentales y metodologías para plantear una serie de actividades experimentales orientadas al estudio de las reacciones electrolíticas desde una perspectiva fenomenológica, que tienen el propósito de llevar a la comprensión de la naturaleza discreta de la materia y que permiten evidenciar la importancia de la actividad

Para la construcción de la categoría de equivalencia desde la actividad experimental, se diseña una serie de actividades organizadas en 4 fases: las dos primeras orientadas a la actividad experimental: Indagación sobre las relaciones y proporciones en una reacción química y Relación entre las cantidades de sustancias obtenidas en diferentes reacciones químicas, donde los procesos de cualificación y medición son fundamentales para establecer relaciones y proporciones. En las dos últimas fases: Elaboración de la categoría de equivalencia y Socialización, se encuentran actividades que llevan a los estudiantes a realizar procesos de análisis y comparación de los resultados obtenidos y así establecer relaciones de equivalencia entre procesos y magnitudes.

Esta serie de actividades es implementada con 54 estudiantes de grado undécimo de la Institución Técnica Educativa San Ignacio de Umbita (Boyacá).

6. Conclusiones

Los mayores logros alcanzados con el desarrollo de este trabajo de grado son:



UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA
NACIONAL

— Educación de Calidad —

FORMATO

RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE

Código: FOR020GIB

Versión: 01

Fecha de Aprobación: 10-10-2012


Página 9 de 109

El análisis de fuentes primarias es fundamental para el entendimiento de los trabajos realizados por los científicos, pues permiten extraer de ellos las apreciaciones que se creen son convenientes para el desarrollo de la conceptualización de la ciencia, y en especial de la categoría de la equivalencia, facilita la creación de las bases que permiten enriquecer la práctica docente, lo que lleva a concebir diferentes formas de interactuar y comprender el comportamiento de las sustancias y de esta forma hacer de la química una ciencia más comprensible, en especial del campo problemático de la estequiometría.

Las actividades experimentales constituyen un gran apoyo para la enseñanza y aprendizaje de las ciencias, más aún cuando son orientadas desde la perspectiva fenomenológica a través de la asociación de observaciones y la estructuración de hipótesis; de forma específica los fenómenos de las reacciones por electrolisis evidencian que los sujetos aunque no posean fundamentos teóricos especializados en la construcción de este tipo de representaciones, son capaces de describir lo que perciben.

En la implementación de actividades experimentales el estudiante debe ser el actor principal del proceso, lo que se alcanza cuando éste puede interactuar con el fenómeno facilitando su comprensión y acercándolo a la ciencia, por tanto se alcanzan mejores aprendizajes.

En cuanto a la elaboración de la categoría de equivalencia, la cuantificación de las características de las sustancias: volumen, masa y cantidad de electricidad, en los procesos de electro descomposición, se pueden establecer relaciones de proporcionalidad entre éstas y construir equivalencias en cuanto a la actividad química. Se considera que para llegar a la elaboración de estas relaciones es necesario desarrollar ciertos procesos: comparación, relación, categorización y formalización que mejoran la interpretación de problemas estequiométricos

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <small>Escuela Superior de Pedagogía</small>	FORMATO	
	RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE	
Código: FOR020GIB	Versión: 01	
Fecha de Aprobación: 10-10-2012	Página 10 de 109	

El desarrollo de este trabajo de investigación consolida el aprovechamiento de las actividades experimentales en aula, con el fin de orientar y proponer la categoría de equivalencia en la comprensión del campo de la estequiometría, ya que con los procesos de cuantificación, indispensables para entablar relaciones entre magnitudes o cualidades, y poder predecir el comportamiento de una determinada sustancia dentro de un proceso químico. Al poner en juego el estudio de varias reacciones químicas se pueden establecer dichas relaciones y a la vez equivalencias, lo que conlleva a la interpretación de otros procesos químicos similares en actividad química.

La elaboración de equivalencias, permite a los estudiantes construir sus propios esquemas apartándose de aquellos que son básicos, para suscitar la elaboración de constructos que van más allá del pensamiento lineal que posee el estudiante que muchas veces es influenciado por su contexto llevándolo a buscar la respuesta más fácil siendo éste el camino equivocado para comprender la naturaleza interactiva de las reacciones; es por ello que al llegar a la equivalencia se brinda un medio para acceder a la elaboración de pensamientos más estructurados en cuanto a la cuantificación de los procesos químicos.

Elaborado por:	Jiménez Vásquez, Leydy Paola; Preciado Pérez, Yeimi Consuelo.
Revisado por:	Malagón Sánchez, José Francisco; Sandoval Osorio, Sandra.

Fecha de elaboración del Resumen:	17	02	2017
--	----	----	------

"Para todos los efectos, declaramos que el presente trabajo es original y de nuestra total autoría; en aquellos casos en los cuales hemos requerido del trabajo de otros autores o investigadores, hemos dado los respectivos créditos"

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	16
PREÁMBULO.....	18
PROBLEMÁTICA DE ESTUDIO	20
Revisión de antecedentes	20
Problema	25
Proyecciones Metodológicas.....	26
Objetivos	27
Objetivo General	28
Objetivos específicos	28
DISEÑO METODOLÓGICO.....	29
Análisis de las fuentes primarias como base para la categoría de equivalencia	29
Elaboración de la categoría de equivalencia a través de la actividad experimental.....	31
Implementación, recolección y sistematización de registros	32
Análisis de resultados.....	35
Conclusiones	35
SOBRE LA CATEGORÍA DE EQUIVALENCIA	36
Una mirada a las experiencias de Dalton, Gay-Lussac y Avogadro hacia la comprensión del comportamiento discreto de la materia.	36
Procesos electroquímicos realizados por Faraday: fundamento de la equivalencia electroquímica.....	40
La actividad equivalente en los fenómenos químicos.....	45
SOBRE LA VISIÓN FENOMENOLÓGICA DE LA ACTIVIDAD EXPERIMENTAL EN CIENCIAS	47

INDAGACIÓN SOBRE EL FENÓMENO DE ESTUDIO: REACCIONES DE ELECTRÓLISIS	52
Descomposición del agua por electrólisis	52
Descomposición del Cloruro de Estaño	54
Electrodeposición cobre – zinc	58
DISERTACIONES SOBRE LAS ACTIVIDADES EXPERIMENTALES EN EL AULA ...	63
Resultados fase 1. Indagación sobre las relaciones y proporciones en una reacción química	65
Electrólisis del agua	65
Análisis fase 1. Indagación sobre las relaciones y proporciones en una reacción química .	68
Conclusiones fase 1. Indagaciones sobre las relaciones y proporciones en una reacción química.....	69
Resultados fase 2. Relación entre las masas de la sustancia obtenidas en diferentes reacciones químicas	72
Electrodescomposición del cloruro de estaño	72
Reacción de cobre y zinc en sulfato de cobre	76
Análisis fase 2. Relación entre las masas de la sustancia obtenidas en diferentes reacciones químicas	78
Conclusiones fase 2. Relación entre las masas de sustancia obtenidas en diferentes reacciones químicas	84
Resultados fase 3. Elaboración de la categoría de equivalencia	84
Comparación de procesos: diagrama de Venn	84
Análisis fase 3. Elaboración de la categoría de equivalencia.....	86
Conclusiones generales a partir de las series de actividades experimentales	87
CONCLUSIONES Y COMENTARIOS FINALES	90
Análisis de Fuentes Primarias	90

Actividad Experimental	92
Categoría de equivalencia y su relación con el campo de la estequiometría	93
REFERENCIAS	95
Anexo 1. Indagación sobre las relaciones y proporciones en una reacción química	100
Anexo 2. Relación entre las cantidades de sustancia obtenidas en diferentes reacciones químicas	103
.....	
Anexo 3. Elaboración de la categoría de equivalencia	108

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Etapas de la investigación	29
<i>Figura 2.</i> Aparatos diseñados para los procesos de electrólisis por Michael Faraday (Faraday, 1834, pág. 55).	42
<i>Figura 3.</i> Electrodo utilizados para la descomposición: a. Electrodo de grafito; b. Electrodo de cobre; c. Electrodo de aluminio	54
<i>Figura 4.</i> Descomposición del SnCl_2 en el voltámetro de Hoffman.....	55
<i>Figura 5.</i> Gas formado, electrolisis del SnCl_2	55
<i>Figura 6.</i> Obtención del Estaño: a. Filtración; b. Estaño obtenido.....	56
<i>Figura 7.</i> Gráficas elaboradas por los estudiantes de la electrodescomposición del agua.....	71
<i>Figura 8.</i> Electrodescomposición del cloruro de estaño	79
<i>Figura 9.</i> Reacción Cu-Zn, electrolito Cu_2SO_4	80
<i>Figura 10.</i> Gráficas elaboradas por los estudiantes de la obtención de estaño	82
<i>Figura 11.</i> Gráficas de la obtención de cobre elaboradas por los estudiantes	83
<i>Figura 12.</i> Diagramas de Venn elaborados por los estudiantes	86

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Electrodescomposición del cloruro de estaño	56
Tabla 2. Reacción Cu-Zn en solución de ácido sulfúrico	58
Tabla 3. Reacción Cu -Zn en solución de Sulfato de cobre	58
Tabla 4. Equivalentes hallados en las experiencias.....	60
Tabla 5. Descripciones cualitativas de la electrodescomposición del agua y elementos de análisis.....	65
Tabla 6. Conclusiones de los estudiantes para la electrodescomposición del agua	67
Tabla 7. Descripciones cualitativas de la electrodescomposición del SnCl ₂	72
Tabla 8. Conclusiones de la electrodescomposición del SnCl ₂	74
Tabla 9. Descripciones cualitativas de la reacción cobre -zinc	76
Tabla 10. Conclusiones elaboradas en Cu-Zn.....	77
Tabla 11. Elementos comunes dados por los estudiantes en las tres experiencias.....	84
Tabla 12. Elementos comunes: electrodescomposición del agua - electrodescomposición del cloruro de estaño	85
Tabla 13. Aspectos comunes: electrodescomposición del agua - Reacción Cu-Zn	85
Tabla 14. Aspectos comunes: electrodescomposición del cloruro de estaño - Reacción Cu-Zn	85

RESUMEN

La introducción de las relaciones cuantitativas en las reacciones químicas supone una amplia comprensión de diversos fenómenos para lograr un aprendizaje significativo, esto conlleva a enfrentar una gran problemática durante su enseñanza: la dificultad de abstraer y relacionar las magnitudes empleadas con el proceso químico estudiado, lo que incurre en el uso inadecuado del lenguaje químico y los símbolos utilizados. Al abordar los contenidos curriculares de la enseñanza de la química, esta relación pasa solamente a ser una explicación teórica, a la solución de problemas matemáticos que generalmente suponen la matematización de la química, así el problema de la estequiometría se reduce a simples factores de conversión, formando estudiantes hábiles en la resolución de problemas de lápiz y papel, donde el conocimiento se adquiere de manera repetitiva y no representa un mayor cambio en la estructura cognoscitiva del estudiante, aunque si bien es una forma de abordarla, no les permite comprender realmente las implicaciones en el estudio de las reacciones químicas, como lo son el carácter discreto de las sustancias y la equivalencia entre el comportamiento químico de las sustancias.

Para conseguir una comprensión profunda del campo de estudio de la estequiometría, se emplea la categoría de equivalencia, construida a partir de la observación y cuantificación de cualidades de las reacciones de electrodescomposición como una de las formas posibles de comprenderlo, basándose en la elaboración y análisis de relaciones entre las mediciones hechas fundamentadas en la implementación de estrategias potencialmente significativas, como lo es la actividad experimental con un enfoque fenomenológico, asociados a una serie de actividades aplicadas en el aula, donde se tuvieron en cuenta, como lo recomienda Duit (2006), los antecedentes cognitivos, afectivos y sociales del que aprende, logrando conceptualizar, argumentar y explicar el tema, desde el punto de vista de la química.

Al plantear esta propuesta, los estudiantes de grado undécimo del Colegio San Ignacio de Umbita son los actores fundamentales del proceso de aprendizaje, mediante el estudio de las reacciones de electrólisis, se logra una mejor comprensión de los fenómenos químicos, pues se observan las relaciones de proporcionalidad entre volúmenes, sustancias que participan en el proceso y cantidad de electricidad. Esta comprensión conlleva a establecer, a partir del análisis de los resultados obtenidos en cada actividad experimental, la categoría de equivalencia, que es

fundamental para el aprendizaje de varios campos, entre ellos la estequiometría, ya que se pueden elaborar hipótesis de las cantidades de sustancias producidas en otros procesos electroquímicos.

Palabras Clave: construcción de la categoría de equivalencia, estequiometría química, actividad experimental, equivalentes químicos, equivalentes electroquímicos.

PREÁMBULO

Mediante la enseñanza y el aprendizaje de la química se puede lograr la formación integral de los estudiantes, en tanto que permite el desarrollo de procesos de razonamiento, comparación, categorización, resolución de problemas y de comunicación, por mencionar solo algunos, en torno al mundo actual y su problemática; este conocimiento además lo conduce a tomar decisiones adecuadas ante diferentes situaciones que pueden afectar su entorno y por tanto a su comunidad. Llegar a lo mencionado anteriormente depende en muchas oportunidades de las estrategias empleadas durante el proceso educativo.

Dentro de las diversas estrategias de la enseñanza científica, las actividades experimentales constituyen un elemento fundamental en la enseñanza de las ciencias. El laboratorio, se entiende como un espacio privilegiado para la construcción del conocimiento científico en un amplio sentido (Reverdito & Lorenzo , 2007), porque de allí se puede extender la apropiación del conocimiento por parte de los estudiantes y el desarrollo de destrezas y la producción de actitudes positivas hacia la ciencia (Vásquez & Manassero, 1997). La actividad experimental es poco relevante cuando se la reduce a la verificación de relaciones conceptuales construidas en el campo de la ciencia, especialmente si se tiene en cuenta su contribución a la búsqueda de posibilidades de comprensión de los estudiantes (Malagón, Sandoval, & Ayala, 2013).

Diversos estudios han destacado la importancia de la implementación de las actividades experimentales para la enseñanza y el aprendizaje de las Ciencias (Barberá & Valdés, 1996); (Domin, 1999); (Reigosa & Jiménez, 2000); (Seré, 2002). Sin embargo, los estudios sobre la cultura escolar muestran que las actividades experimentales son infrecuentes, presentan un diseño tipo recetas o se limitan a presentar algo, generalmente son impartidas por el profesor con el fin de encontrar la superación de una enseñanza libresco y a la vez la solución a la falta de interés por el aprendizaje de las ciencias, llevándolo a la concepción empírico inductiva y otras visiones deformadas de la ciencia (Carrascosa, Gil, Vilches, & Valdès, 2006). Esta distorsión del trabajo práctico desaprovecha su potencialidad (De Jong, 1998) y restringe el aprendizaje de los alumnos.

Por tanto, la importancia de enfocar la actividad experimental desde una perspectiva fenomenológica, deriva en el soporte para una mejor comprensión de la relación existente entre

las propiedades cualitativas y cuantitativas en los procesos químicos, desde esta perspectiva el estudiante es consciente de su proceso de aprendizaje y es quien direcciona su forma de interactuar con el fenómeno de acuerdo con sus propias experiencias y expectativas; a través de la implementación de las actividades experimentales se reduce la brecha que existe entre la observación de fenómenos y la medición de sus propiedades, encaminado a establecer las relaciones de equivalencia entre diferentes cualidades y a predecir el comportamiento discreto de las sustancias; desde allí el trabajo de laboratorio vuelve a tomar un lugar importante en el entendimiento de los conceptos y no en un lugar donde simplemente se validan los tópicos vistos en el aula.

PROBLEMÁTICA DE ESTUDIO

Revisión de antecedentes

Se revisaron las siguientes investigaciones que tienen como foco los aspectos más relevantes de esta propuesta, dentro de las cuales se encontró que existe una gran preocupación por la didáctica de las ciencias, en especial lo que tiene que ver con la práctica del docente y en la forma como el estudiante percibe.

Malagón, et al. (2013), en: *La Actividad experimental: Construcción de Fenomenologías y Procesos de Formalización en la Universidad Pedagógica Nacional*, presentan la importancia que tiene la reflexión epistemológica en la orientación del quehacer pedagógico en la educación en ciencias, mediante una visión fenomenológica de la práctica experimental; este estudio aporta bases fundamentales en la caracterización de las construcciones fenomenológicas dado que expone al fenómeno de forma coexistente con la conciencia, es decir, no puede aparecer el fenómeno sin que haya conciencia y de forma inversa; la caracterización y la organización de las cualidades del fenómeno posibilitan la comprensión de la naturaleza del fenómeno y es imprescindible considerar que este cambia en sintonía a cómo cambia la conciencia; involucra la actividad experimental como un vínculo fundamental para la construcción de magnitudes y la organización de las cualidades en la construcción del fenómeno. Posteriormente se realiza estudio de caso, que muestra la perspectiva para la actividad experimental con el proceso de construcción de la magnitud pH, los autores llegan, entre otras, a la conclusión de que el recorrido pone en evidencia relaciones y comprensiones que son susceptibles de ser extendidas a otros diferentes ámbitos del comportamiento químico de las sustancias.

De la revisión de este trabajo, se extrae la importancia que dan a la implementación de las actividades experimentales con el propósito de construir o transformar la experiencia que se tiene frente a un fenómeno a través de las elaboraciones que se pueden hacer de él (palabras, signos, procedimientos, dibujos, etc.) permitiendo ampliar el campo fenomenológico y con ello la elaboración de magnitudes a partir de la organización de las cualidades como base en la organización del fenómeno.

Flores, et al. (2009), realizaron la revisión documental: El Laboratorio en la enseñanza de las Ciencias: Una visión integral de este complejo ambiente de Aprendizaje, una revisión documental que fue compilada, analizada, integrada y organizada, orientada por 6 preguntas: (a) ¿Cómo se ha enseñado la Química en el laboratorio hasta nuestros días?, (b) ¿Qué resultados ha brindado la enseñanza tradicional del laboratorio de ciencias?, (c) ¿Cuáles son los objetivos del laboratorio?, (d) ¿Qué estilos o enfoques didácticos del laboratorio favorecen un aprendizaje significativo de la ciencia?, (e) ¿Cómo contribuye la enseñanza del laboratorio a comprender la naturaleza de la ciencia? y (f) ¿Cómo abordar la enseñanza del laboratorio con una visión constructivista del aprendizaje?

Este trabajo presenta una visión de la historia del trabajo experimental y la importancia de retomarlo desde un modelo de aprendizaje significativo apartándose de la idea de la simple comprobación, lo que es muy pertinente con la propuesta que se presenta en este proyecto. Llegan a la conclusión de que es necesario cuestionar la práctica tradicional sobre el abordaje del laboratorio de ciencias, particularmente el de química, en virtud de que su potencial didáctico es muy limitado y conduce a una tergiversación de la naturaleza de la ciencia. La actividad experimental que va más allá del laboratorio, generalmente visto como un aula, brinda una oportunidad para integrar aspectos conceptuales, procedimentales y epistemológicos dentro de enfoques alternativos, que pueden permitir el aprendizaje de los estudiantes con una visión constructivista a través de métodos que implican la resolución de problemas, los cuales le brindan la experiencia de involucrarse con los procesos de la ciencia y alejarse progresivamente de la concepción errónea del mal denominado y concebido “método científico” (Flores, Caballero, & Moreira, 2009).

Luego de realizar la lectura de este artículo se sustenta aún más el interés de las autoras del presente trabajo por encontrar la mejor manera de incluir e implementar la actividad experimental en la enseñanza de las ciencias, pues históricamente se han presentado diferentes formas de realizar dichas prácticas, pero desafortunadamente los objetivos que se han esperado alcanzar desde diferentes enfoques, no redundan en el mejor aprendizaje de la química; por tanto esta lectura es fundamental para orientar la investigación en un camino diferente al seguido a inicios del siglo XX, por eso, en esta propuesta, se trabaja la actividad experimental desde un enfoque fenomenológico.

También se revisó la investigación de Bermúdez (2012): Las prácticas de laboratorio en didáctica de las ciencias experimentales, un lugar idóneo para la convivencia de los diferentes estilos de aprendizaje. Facultad de Educación, Universidad de Cantabria, en la cual se recalca la importancia de las prácticas de laboratorio en el aprendizaje de las Ciencias, haciendo énfasis que es un escenario propicio para la contextualización de los diferentes estilos de aprendizaje, llegando a la conclusión que el uso adecuado y variado de los laboratorios, mediante el desarrollo de prácticas, lo más diversas posibles pueden fomentar el interés de los estudiantes por la asignatura, logrando un mayor aprendizaje. Las prácticas de laboratorio no tienen por qué responder a un mismo patrón o estructura, de tal forma se mejora la percepción e interacción en los diferentes ambientes de aprendizaje.

Del trabajo realizado por Bermúdez, se extrae la importancia que se le da a las prácticas de laboratorio como un conjunto de actividades donde se apliquen diferentes metodologías, en las cuales se evite la separación que siempre se ha realizado entre: práctica y teoría, sin que estas incurran en sólo ser novedosas para el estudiante sino que se convierta en un espacio de reflexión, entendimiento e interiorización de lo que se está desarrollando de tal forma que se renueve el pensamiento crítico y la capacidad de observación de la naturaleza.

Hofstein (2004). The laboratory in chemistry education: Thirty years of the experience with developments, implementation and research, en el cual se realizó un análisis del impacto de las prácticas de laboratorio durante treinta años, donde se concluye que las actividades de laboratorio de la escuela tienen un potencial especial como medio para la enseñanza que pueda promover importantes resultados de aprendizaje en los estudiantes; los maestros necesitan conocimientos, habilidades y recursos que les permitan enseñar con eficacia en entornos prácticos. Tienen que ser capaces de permitir a los estudiantes interactuar tanto intelectual como físicamente, con la participación práctica en la investigación y la reflexión; las percepciones y comportamientos de los estudiantes en el laboratorio de ciencias están muy influenciadas por las expectativas del profesor, las prácticas de evaluación, la orientación de la guía asociada al laboratorio, hojas de trabajo y los medios electrónicos; los maestros necesitan maneras de averiguar lo que sus estudiantes están pensando y como alcanzar el conocimiento en el laboratorio de ciencias y en el aula.

El artículo anterior reafirma lo pensado por las autoras al iniciar la investigación, es muy valioso y motivador para los estudiantes realizar actividad experimental, pues entre muchas otras razones, cambia la monotonía que se vivencia en el aula y fomenta la cooperación y la comunicación. Además es muy valiosa la reflexión que realiza en torno a la forma como los docentes evalúan la actividad experimental, lo que lleva a repensar cómo realizar ese proceso. Al presentar diferentes métodos de evaluación, llama la atención aquel en el que se afirma que para evaluar la fase de rendimiento no es necesario realizar la actividad, sino que basta con que los estudiantes observen el experimento en una filmación, de tal forma se fragmenta la intención de incluir la actividad experimental para lograr el aprendizaje integral de los estudiantes, es decir, tanto el desarrollo cognitivo como el procedimental. Las autoras se inclinan hacia la evaluación continua, por ser un método más completo en esta fase del proceso.

En cuanto al contenido curricular central de este proyecto, el campo de la estequiometría, se tuvo en cuenta las investigaciones de Aldana, Mikan, & Mejia (2010). Implementación de la Estrategia “Aprendizaje por investigación” mediante un problema experimental de Estequiometría, en la Universidad Nacional de Colombia, Maestría en la Enseñanza de las Ciencias exactas y naturales, que mediante un enfoque cuantitativo analizan el trabajo experimental en torno a la determinación de la cantidad de bicarbonato de sodio en una pastilla de Alka-seltzer. Y Moreno, Herreño, Giraldo, Fuentes, & Casas (2009), ¡Estequiometría Visible!, en la Universidad Pedagógica Nacional Maestría en Docencia de la Química, El artículo presenta una práctica de laboratorio en la que a partir de reacciones donde se producen precipitados, se puede determinar el reactivo límite, con el propósito de hacer de la enseñanza de la estequiometría algo agradable y cercano a los estudiantes en razón a la gran capacidad de asombro que poseen. Estos artículos demuestran la importancia de replantear la forma como se aborda este tema foco en la escuela, es posible desarrollar trabajo experimental para alcanzar mayor comprensión del fenómeno. En torno a la dificultad que presentan los estudiantes al abordar este tópico también ha trabajado el investigador Álvarez (2011) de la Universidad Nacional de Colombia.

Tres investigaciones realizadas en el grupo de Física y Cultura de la Universidad Pedagógica Nacional permiten comprender la categoría de equivalencia, desde la visión de diferentes fenómenos:

- Construcción de la fenomenología de la interacción y la equivalencia de la actividad química de las sustancias (Rincón & Rodríguez, 2014). Hace énfasis en la importancia de la comprensión de relaciones de proporcionalidad para entender diferentes temáticas de la química. Se parte del análisis histórico crítico y del proceder fenomenológico para comprender mejor los cálculos y las teorías que forman parte de la química, enfocándose en el estudio fenomenológico de la discretización de la materia para establecer las relaciones de interacción y equivalencia que se dan en su comportamiento y llegar a la determinación y utilización de constantes químicas. Concluyen que el tomar a la fenomenología como una alternativa eficaz permite hacer y aprender ciencia, la importancia de que en la actividad experimental el estudiante sea el protagonista de actividades intencionadas y como la construcción de la fenomenología de la interacción y la equivalencia de la actividad química de las sustancias, favorece la comprensión del comportamiento discreto de las sustancias.
- La convertibilidad como una categoría epistemológica para el estudio de los fenómenos físicos (Cárdenas & Alfonso, 2015). Parten del análisis histórico y epistemológico del estudio del cambio en fenómenos mecánicos y térmicos, posteriormente llegan a establecer invariantes entre dichos procesos mediante la actividad experimental, estas invariantes son fundamentales para hablar de tres aspectos: de cambio, de conservación y de un fenómeno a partir de otro. Al estudiar la conversión de los fenómenos mecánicos y térmicos, la misma causa puede llegar a diferentes efectos, entonces una causa es equivalente a un efecto. Es allí donde se puede hablar de la convertibilidad como una categoría que permite el análisis de fenómenos físicos y llegar a hablar de la identidad del cambio.
- La organización de la experiencia y la elaboración de conceptos: Fase inicial de la constitución de los conceptos átomo e ion (Reyes, 2014). Realiza una elaboración de la concepción de la materia a partir de las significaciones de átomo e ion que surge de la organización de las experiencias relacionadas como lo son la combinación de sustancias y gases y la conductividad electrolítica y gaseosa. El autor basa sus argumentaciones en los escritos elaborados por Max Planck "*Treatise of Thermodynamics*" y Robert Millikan "*The electron*", los cuales considera de gran importancia porque son los que se desarrollan cuando la teoría atómica y electrónica está en auge. Recalca la importancia de considerar y entender las condiciones en las que estos elaboran y constituyen los conceptos, posibilitando

la significación a partir de las experiencias desarrolladas en torno a su estructuración y a la percepción de la ciencia con una naturaleza dinámica.

Problema

Durante el proceso de enseñanza y aprendizaje de la química, se evidencia que la gran cantidad de contenidos temáticos que comprende el currículo de esta asignatura, continúan siendo enseñados, la mayoría de las veces, mediante un modelo tradicional, en el que los conceptos se “transmiten”, sin la implementación de un modelo adecuado que permita aprendizajes que conlleven a una transformación en la forma como el estudiante percibe su entorno, y por tanto puedan modificarlo mediante lo aprendido. Al trasladar el conocimiento científico al aula, sin tener en cuenta que los estudiantes no poseen la mayoría de las veces una estructura cognoscitiva, que les permita comprender lo que se intenta enseñar, la respuesta natural del estudiante es memorizar el concepto, lo que podría significar aprendizaje a corto plazo, pero esta clase de aprendizaje no es útil en tanto que no se acerca al conocimiento disciplinar que debería poseer, ese conocimiento que le permitiría afrontar diversas problemáticas y llegar a soluciones que den respuesta a las hipótesis planteadas.

Por otra parte, el gran movimiento de saberes que ocurre en el esfuerzo de transformar todos los conocimientos científicos en conocimientos escolares supone un proceso muy complejo, el pasar de un concepto a otro, con el propósito de abarcar todo el currículo de la asignatura, sin establecer alguna clase de relación entre estos, aumenta el desconcierto de los estudiantes, bloqueando su proceso de aprendizaje y generando una actitud negativa hacia la comprensión de la naturaleza de la química. Además, en este afán de avanzar, se ha dejado de lado una importante herramienta en la enseñanza de las ciencias, el trabajo en el laboratorio, buscando variados argumentos, desde la falta de tiempo, hasta las malas instalaciones o falta de materiales y reactivos; de esta forma se remite el proceso de enseñanza únicamente al aula, desmotivando a estudiantes que anhelan llegar a los grados superiores para ir al laboratorio a “hacer experimentos”.

En la enseñanza del campo problemático de la estequiometría, este paso acelerado de un tema a otro: reacciones químicas, balanceo, mol, reactivo límite, solo por nombrar algunos, acarrea un

aprendizaje superficial donde el único interés es aprobar aunque no se logre la comprensión, llegando a un listado de datos desconectados (Biggs, 2006), lo cual no puede ser el fin último de la enseñanza de la química. Pero cuando el estudiante está motivado a aprender, porque reconoce que el proceso se da de manera positiva y ordenada, es decir que se generan aprendizajes que se pueden relacionar entre sí, empieza un ciclo de enseñanza y aprendizaje, que conlleva al acercamiento a la ciencia. Lograr esos procesos de aprendizaje dependen directamente de los procesos de enseñanza, según Pozo J, Gómez, Limón, & Sanz, (1991), comprender el comportamiento discreto de la materia, es fundamental para realizar una adecuada interpretación de los cambios químicos (reacciones químicas), es decir, para entender cómo a partir de una sustancia se obtienen otras totalmente diferentes, también cabe anotar que las mediciones se ven simplificadas cuando se realizan a través del número de partículas de una sustancia (número de Avogadro y mol); entonces la pregunta es: ¿Es posible lograr la comprensión y por tanto el aprendizaje de las relaciones estequiométricas en las reacciones químicas fundamentado su enseñanza en la categoría de la equivalencia?

La implementación de estrategias basadas en la fenomenología de la categoría de equivalencia, a partir de actividades experimentales, garantizan la práctica de habilidades descriptivas y analíticas por parte de los estudiantes para mejorar la comprensión del campo de la estequiometría, donde el principal problema radica en que su explicación habitualmente se fundamenta a partir de la teoría atómica y la cuantificación se realiza según el número de partículas o átomos y es allí donde según Pozo J. et al. (1991) los cálculos se ven muy simplificados y por tal razón se debe recurrir a la interpretación corpuscular de la materia; de esta forma el estudiante pasa a ser el agente activo de su proceso de aprendizaje y el docente un guía y no un transmisor dentro del mismo.

Proyecciones Metodológicas

Estudios en educación de las ciencias muestran que los estudiantes de educación media y universitaria tienen dificultades para la comprensión de la estequiometría. (Augung & Schwartz, 2007); (BuoJaoude & Barakat, 2003); (Dasah & Coll, 2008); (Gabel & Bunce, 1994); (Niaz & Montes, 2012). Además de otros factores, la estequiometría no se puede ver como un concepto, sino como un campo que requiere la comprensión de varios conocimientos como mol, naturaleza

de la materia, número de Avogadro, conservación de la materia, estructuración y balanceo de ecuaciones, ley de las proporciones definidas y múltiples. Sin embargo muchos profesores y libros de texto solo hacen énfasis en la resolución de problemas (Niaz & Montes, 2012), que requieren de técnicas matemáticas dejando a un lado el desarrollo histórico y epistemológico que conllevó a la formación del campo problemático de la estequiometría, en aspectos como la formulación de hipótesis, la presentación de resultados, las dificultades presentadas para el desarrollo de teorías y postulados, las diferentes visiones y enfoques de la naturaleza de la química en la determinación de los pesos relativos, las leyes ponderales, la cuantificación de las sustancias y los factores que intervienen en las reacciones químicas.

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores se trabaja en torno al siguiente cuestionamiento:

¿Es posible lograr la comprensión y por tanto el aprendizaje de las relaciones estequiométricas en las reacciones químicas fundamentado su enseñanza en la categoría de la equivalencia?

Para dar respuesta al planteamiento de este trabajo, se desarrolla bajo un enfoque cualitativo, gracias a la flexibilidad en los procesos, su carácter subjetivo, y a la meta que persigue: describir, comprender e interpretar los fenómenos a través de las percepciones, (Hernández, Fernández, & Baptista, 2010). Se abordan aspectos principales como la importancia del análisis histórico de fuentes primarias en la elaboración de la categoría de equivalencia, el papel fundamental de la actividad experimental para la comprensión y aprendizaje de esta categoría a través de procesos de observación, organización y formalización del fenómeno; se enmarca dentro de la visión fenomenológica donde se realiza una reflexión epistemológica en torno a cómo desde el estudio del fenómeno se pueden llegar a procesos de formalización, por medio de una serie de actividades experimentales orientadas al estudio de las reacciones electrolíticas

Objetivos

Objetivo General

Fundamentar la comprensión de la estequiometría desde la categoría de equivalencia, a través de la construcción de una propuesta de enseñanza basada en el abordaje experimental de las reacciones de electrólisis desde una perspectiva fenomenológica.

Objetivos específicos

- Realizar el análisis de fuentes primarias escritas por Dalton, Avogadro, Gay-Lussac y Faraday, que permitan comprender el proceso de construcción de las relaciones de proporcionalidad y equivalencia para la comprensión de las reacciones químicas.
- Diseñar e implementar una serie de actividades experimentales desde una perspectiva fenomenológica que incluyan los aportes de las fuentes primarias
- Realizar el análisis de los registros obtenidos durante las experiencias que permitan establecer las relaciones que lleven a la comprensión de la categoría de equivalencia.

DISEÑO METODOLÓGICO

En el desarrollo de este trabajo se busca crear un espacio para la reflexión en torno al problema ya planteado y la formulación de una alternativa para la enseñanza del campo de la estequiometría desde la categoría de la equivalencia, es así que se proponen las etapas para cumplir con los objetivos propuestos (Figura 1).

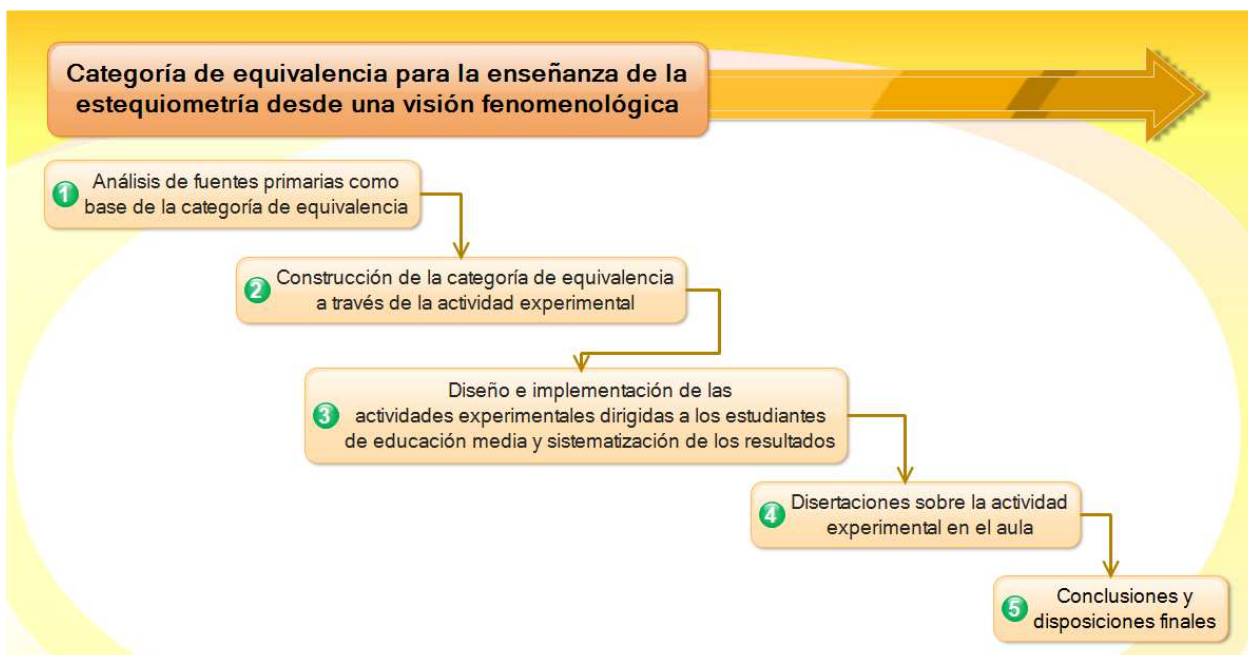


Figura 1. Etapas de la investigación

Análisis de las fuentes primarias como base para la categoría de equivalencia

Actualmente, es usual que los docentes empleen libros de texto como base para la enseñanza de las ciencias, en éstos aparece la historia de las ciencias en cuatro formas: referencias al año o al siglo de un descubrimiento o de un científico, breves biografías, textos auténticos escritos por una persona de ciencias e historias de forma anecdótica de algún personaje científico de importancia o para ilustrar algún concepto (Méndez & Sliskob, 2014), que aparecen como datos aislados sin que presten mayor aporte para la enseñanza de la ciencia, no se conecta entonces la historia con el desarrollo del conocimiento de forma clara; para disminuir la brecha que existe entre el desarrollo

de las ciencias y su enseñanza es importante acudir a fuentes primarias con el objetivo de interactuar directamente con los escritos de los científicos, por tal razón para dar inicio a esta investigación se realiza una lectura analítica de los escritos de Dalton, Gay Lussac, Avogadro y Faraday sin acudir a interpretaciones de terceros que de una forma u otra podrían no ser lo que el autor quería expresar; al ser así, se establece una conversación con éste, en la que se puede obtener una visión propia de la manera en que interpreta el fenómeno, en la medida en que se presenta de manera específica el quehacer del científico durante su proceso de investigación, de esta forma podemos realizar nuestra propia concepción extrayendo respuestas a preguntas cómo, por qué, dónde, qué sucedió, qué enunciados contiene, cuál es la o las hipótesis planteadas, qué es lo que nos quiere decir, inclusive si el análisis hecho es significativo, podemos deducir que es lo que el autor dio por hecho. La interpretación de dichos escritos y la extracción de elementos fundamentales nos permitirán presentar una visión completa de cómo diferentes investigadores, a través de la historia han colaborado con sus trabajos y replantear la enseñanza del campo de estudio del presente trabajo.

Para lograr una comprensión histórica profunda de la elaboración de la categoría de la equivalencia y su importancia en el campo problemático de la estequiometría, se analiza el artículo *On the Absorption of Gases by Water and Other Liquids* (Dalton, 1805), quien luego de experimentar con sustancias en estado gaseoso, centró su interés en determinar los pesos relativos de los elementos, llegando a proponer las leyes ponderales de la materia. Otro científico que realizó valiosos aportes a este campo es Gay - Lussac (1809), con sus actividades experimentales sobre la composición de sustancias, determina la relación en la que se combinan las sustancias en estado gaseoso para formar compuestos. Igualmente, se trabaja en torno al artículo de Amadeo Avogadro (1811), *Essay on a manner of determining the relative masses of the elementary molecules of bodies and the proportions in which they enter into these compounds*, por la importancia de sus afirmaciones en cuanto a la organización de las sustancias en moléculas al reaccionar y la determinación de las masas relativas. Y finalmente como eje central en esta investigación se estudian los trabajos de Faraday (1834), *Experimental Researches in Electricity Seventh series*, en torno a la Electrodescomposición de sustancias, en tanto que estableció de manera experimental el concepto de equivalente electroquímico. Se evidencia en todos los artículos escogidos la trascendencia que se da a la actividad experimental para la formulación de conceptos y leyes fundamentales para la química, reafirmando y cimentando su carácter de ciencia.

Elaboración de la categoría de equivalencia a través de la actividad experimental

Uno de los objetivos en la realización de actividades experimentales es favorecer la enseñanza de las ciencias y las características de la actividad científica (Furió, Payá, & Valdés, 2005), por tal razón es fundamental planear actividades que permitan la aproximación del estudiante al objeto de estudio, lo cual se puede lograr al realizarlas empleando una perspectiva fenomenológica, que se centra en la interacción que se establece entre el individuo y el fenómeno, permitiéndole identificar las cualidades que lo describen, así el estudiante deja de ser un simple verificador de enunciados, que solo se concentra en demostrar que es cierto o falso, por tanto con la experimentación bajo la mirada de la fenomenología se facilita la simbiosis entre la experimentación y la teorización (Sandoval, 2008).

Teniendo en cuenta lo anterior, es esencial para el presente trabajo realizar actividades experimentales que permitan a los estudiantes comprender aspectos fundamentales en el campo de la estequiometría, como son las equivalencias, la composición de la materia y los cambios químicos. Desde el punto de vista de lo fenomenológico, es necesario conocer qué clase de fenómenos le llaman la atención al estudiante para que al desarrollar las actividades sean cercanas e interesantes para él, por ejemplo reacciones donde se observe desplazamiento de líquidos como consecuencia de la acción de sustancias gaseosas obtenidas durante un cambio químico y la formación de sólidos productos de la misma clase de transformaciones, y poder enmarcarlas dentro del proceso de medición de magnitudes que le permitan establecer relaciones que describan un comportamiento equivalente.

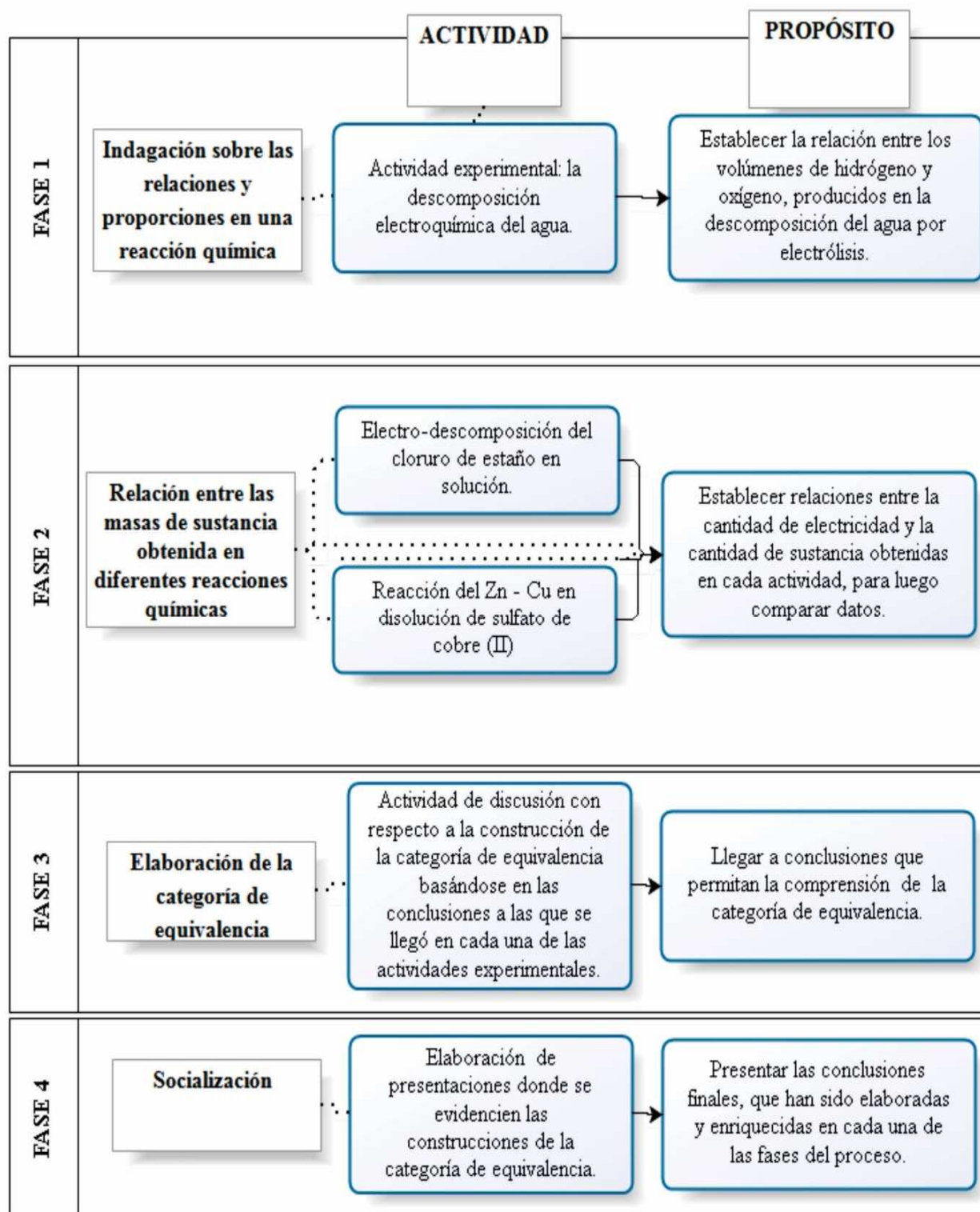
Las reacciones electrolíticas permiten observar los comportamientos mencionados anteriormente, por eso la actividad experimental en este trabajo se enfoca hacia esta clase de procesos electroquímicos, ya sea de descomposición o deposición, pues comprenden un gran número de características que emergen ante los sentidos de una forma fácil y clara, así pues, el estudiante puede interactuar para construir el fenómeno de estudio. En estos procesos electroquímicos se pueden realizar observaciones cualitativas (color, formación de precipitados, desplazamiento de líquidos) y cuantitativas, mediante procesos de medición (volumen, masa, cantidad de electricidad). Se espera que según Sandoval (2008), los sujetos, estudiantes, organicen

su experiencia y construyan concepciones que le permitan hablar de ellos y orientar sus acciones, es decir, que después de cada actividad experimental los estudiantes sean más conscientes de qué deben hacer para entender el fenómeno, lo que se percibe cuando llegan a hablar con propiedad sobre este. Durante el proceso de experimentación se busca que los estudiantes propongan relaciones entre las magnitudes observadas y a partir de éstas planteen equivalencias desde la actividad química; para alcanzar el propósito anterior se plantea el desarrollo de actividades experimentales teniendo en cuenta cuatro fases (Esquema 1).

En el (Esquema 2) se presenta con más detalle en qué consiste cada una de las fases que se implementarán en el aula con los estudiantes.

Implementación, recolección y sistematización de registros

En esta etapa se recogen y se organizan las observaciones, análisis y conclusiones de las diferentes actividades experimentales desarrolladas por 55 estudiantes de grado undécimo de la Institución Educativa Técnica San Ignacio del municipio de Umbita (Boyacá), teniendo en cuenta que cada grupo llegue a establecer conclusiones, a partir de las observaciones cualitativas y cuantitativas, que lo conducen a comprender el comportamiento discreto de la materia en los cambios químicos y las relaciones de equivalencia química que se presentan entre diferentes fenómenos.



Esquema 1. Fases para la elaboración de la categoría de equivalencia

FASES

Fase 1

Indagación sobre las relaciones y proporciones en una reacción química

Fase 2

Relación entre las cantidades de sustancia obtenidas en diferentes reacciones químicas

Fase 3

Elaboración de la categoría de equivalencia

Fase 4

Socialización

ACTIVIDAD EXPERIMENTAL

La descomposición electroquímica del agua.

Los estudiantes realizarán la electrólisis, variando el tiempo durante el cual se realiza el proceso, anotarán los volúmenes de los gases obtenidos en cada caso y la intensidad de la corriente. Aplicarán pruebas simples para determinar qué sustancias se obtuvieron (Anexo 1)

Electro-descomposición del cloruro de estaño en solución

Por una solución de cloruro de estaño, se deja pasar corriente eléctrica, empleando electrodos de grafito conectados a una fuente. Los estudiantes cuantificarán la cantidad de estaño obtenida, cuando el sistema es atravesado por la misma cantidad de electricidad en diferentes tiempos (Anexo 2).

Reacción del Zn en Cu_2SO_4 en solución

En una solución sulfato de cobre diluido se introducirán una lámina de Zinc y otra de Cobre, a las que previamente se les ha determinado la masa, conectadas a un multímetro, luego de determinada cantidad de tiempo se medirá la masa de la lámina de Zn y del cobre precipitado, se anotará la intensidad de la electricidad. Se determinará la relación entre la cantidad de masa perdida y ganada en cada lámina y la cantidad de corriente. (Anexo 2).

Propondrán gráficas que muestren el comportamiento observado en cada una de las actividades experimentales que conforman la fase 1 y 2.

Actividad de discusión con respecto a la construcción de la categoría de equivalencia basándose en las conclusiones a las que se llegó en cada una de las actividades experimentales.

Elaboración de diagramas de Venn y párrafos donde se evidencien las construcciones de la categoría de equivalencia.

Esquema 2. Descripción de las actividades de cada fase experimental

Análisis de resultados

De acuerdo con los propósitos planteados en cada una de las actividades experimentales se busca que los estudiantes a partir de la observación y estudio del fenómeno lleguen a la formalización del comportamiento discreto de la materia, cambio químico, relaciones de proporcionalidad y equivalencia; por tanto se realiza un análisis cualitativo de los resultados obtenidos durante la actividad experimental implementada por los estudiantes, teniendo en cuenta los siguientes criterios:

- Observaciones del fenómeno durante la actividad experimental
- Organización de las cualidades (masa, volumen y cantidad de electricidad)
- Elaboración de tablas y gráficas que permitan describir el fenómeno
- Uso de un lenguaje claro y propio para la descripción y comunicación de resultados
- Relaciones establecidas entre las diferentes actividades experimentales plasmadas en diagramas de Venn.

Conclusiones

En esta fase se elaboran las consideraciones finales en torno a los aportes que brinda el análisis de las fuentes primarias y la actividad experimental desde la visión fenomenológica en la enseñanza de la química, para conseguir cambios conceptuales y actitudinales en los estudiantes hacia el aprendizaje de la química, específicamente de la categoría de equivalencia en los procesos químicos.

SOBRE LA CATEGORÍA DE EQUIVALENCIA

En el desarrollo de la química como actividad científica juega un papel primordial el planteamiento de preguntas adecuadas, hechas por diferentes personas con el fin de describir un fenómeno; en las reacciones químicas, estas preguntas giran en torno a la relación que se puede establecer entre los elementos que conforman un compuesto y los principios que influyen en su comportamiento. Para dar respuesta a estos interrogantes se utiliza el experimento o actividad experimental, convirtiéndose así en el motor primordial para el desarrollo de esta ciencia. Uno de los grandes cuestionamientos presentes en el siglo XIX, era determinar las relaciones cuantitativas que rigen la formación de los compuestos, en búsqueda de la respuesta a esta pregunta varios de los científicos de esa época desarrollaron diversas actividades experimentales, donde realizaron mediciones de propiedades, como los pesos relativos, el volumen o densidades, que les permitieron establecer relaciones y llegar a plantear que la materia se comporta de manera discreta

Una mirada a las experiencias de Dalton, Gay-Lussac y Avogadro hacia la comprensión del comportamiento discreto de la materia.

Una primera respuesta a esta pregunta, fue dada por John Dalton (1803), quien al realizar experimentos “*Sobre la absorción de los gases por el agua y otros líquidos*” notó que no todas las sustancias gaseosas se disuelven igual, lo que en primera instancia llevó a pensar que no todos los gases cumplen con las mismas leyes, y posteriormente a pensar “estoy casi persuadido de que la circunstancia depende del peso y número de las partículas últimas de los diferentes gases: son menos absorbibles aquellas cuyas partículas son simples y más livianas y las otras son tanto más a medida que aumentan en peso y complejidad” (Dalton, 1805), surgiendo así su interés en la determinación de las masas relativas de las sustancias. En 1808, partió de los datos obtenidos en los análisis elementales de los compuestos desarrollados en la época, planteando como hipótesis un conjunto de reglas que denominó: “reglas de máxima simplicidad”. Además, determina los pesos relativos de los elementos utilizando el del hidrógeno como patrón, por ser el elemento más liviano, establece el valor de 1 para el átomo de hidrógeno, al que compara con otras sustancias

más pesadas, entonces el peso atómico del oxígeno corresponderá aproximadamente a 7, por tanto la relación de los pesos de estos elementos en el agua es 1:7. También propone que el amoníaco y el óxido nítrico, estaban formados por un átomo de cada uno de los elementos que lo conforman, así las composiciones para los compuestos mencionados serían NH y NO respectivamente.

Dalton considera que el comportamiento entre las sustancias de un compuesto se debe a la relación entre sus pesos y no a otra propiedad de los elementos, hecho que lo lleva a que sus apreciaciones no sean del todo consistentes, dado que su rigurosidad matemática lo conduce a afirmar que si se puede establecer la relación entre dos elementos, el compuesto tiene posibilidades de formarse, así no se pueda obtener mediante procesos químicos. Claro está cabe destacar su visión sobre la naturaleza discreta de la materia, al afirmar que los elementos dentro de un compuesto se combinan en valores enteros, que es fundamental para el estudio y comprensión de las relaciones en las que se encuentran los elementos dentro de un compuesto.

Las inconsistencias en cuanto a la conformación de sustancias compuestas, empiezan a responderse hacia 1809, con los trabajos de Louis Joseph Gay-Lussac, quien en sus "*Mémoires de la Société d'Arcueil, tomo II*" abordó también la relación que existía entre moléculas compuestas en estado gaseoso, mediante la obtención y estudio de la relación de los volúmenes de cada una de las moléculas elementales que la conformaban, establece para entonces relaciones simples entre los volúmenes que constituían dichas moléculas. "los gases [...] en cualesquiera que sean las proporciones en las que se pueden combinar, dan siempre lugar a compuestos cuyos elementos, medidos en volumen, son siempre múltiplos uno de otro». En los casos investigados por Gay-Lussac, estas proporciones habían sido «1 a 1, 1 a 2, o 1 a 3».

El trabajo que Gay – Lussac presentó en sus memorias incluye importantes conclusiones basadas en sus observaciones, una de ellas es que «las combinaciones de los gases tienen lugar siempre según relaciones muy simples en volumen» haciendo necesario admitir la existencia de «relaciones muy simples entre los volúmenes de las sustancias gaseosas y el número de moléculas simples o compuestas que los forman», estas dos afirmaciones influyen en el trabajo de Amadeo Avogadro, lo que se evidencia en su ensayo «*Un modo de determinar las masas relativas de las moléculas elementales de los cuerpos*», estableciendo «La hipótesis que se presenta como la primera en este sentido y que parece además la única admisible, es suponer que el número de moléculas integrantes en unos gases cualesquiera es siempre la misma en un volumen igual o es

siempre proporcional a los volúmenes», es decir, si se tienen volúmenes iguales de los gases hidrógeno y oxígeno, en estos habrá el mismo número de moléculas de cada uno de los gases, aun cuando posean diferentes masas relativas.

Otro de los problemas a resolver por Avogadro era el de confirmar o rectificar los resultados referentes a las masas determinadas por Dalton, porque cuando éste las determinó empleó ciertas relaciones en los compuestos binarios que no eran del todo correctas, como en el caso del agua, en el que según él la relación entre hidrógeno y oxígeno era 1:1. Por ello Avogadro (1811) plantea que “si se conoce la masa de volúmenes iguales de diferentes sustancias y sus densidades, se puede determinar la masa relativa de cada una de las sustancias”. Por ejemplo “dado que los números 1,10359 y 0,07321 expresan las densidades de los gases oxígeno e hidrógeno comparados con la densidad del aire atmosférico que se toma como unidad, y la proporción de los dos números representa, por consiguiente, la relación entre las masas de volúmenes iguales de estos dos gases, también representará, en nuestra hipótesis, la proporción de las masas de sus moléculas. Así la masa de la molécula de oxígeno es aproximadamente 15 veces el de la molécula de hidrógeno, o más exactamente, como 15.074 a 1” (Avogadro, 1811). Estos trabajos son un importante ejemplo de cómo la actividad experimental es constitutiva de relaciones que se establecen entre diferentes sustancias, elaborando mediciones y estableciendo después de su análisis patrones, pues lleva a comprender cuántas veces es equivalente la masa de una molécula de cualquier elemento a la masa de una mol de hidrógeno, que sería el elemento patrón.

También explicó la relación que se establece entre volúmenes de moléculas compuestas y moléculas iniciales en estado gaseoso después de un cambio químico, reemplazando la hipótesis de Berzelius, según la cual después de combinarse n átomos de un compuesto inicial con n átomos de otro compuesto inicial, se obtendrían $2n$ átomos del compuesto, donde habría $\frac{1}{2}$ átomo de cada una de las sustancias iniciales, lo que no cumplía con los postulados de Dalton, en cuanto a la indestructibilidad del átomo y la simplicidad de combinación.

Las experiencias realizadas por Avogadro, proporcionan un elemento primordial para las bases de la estequiometría, ya que a partir de sus observaciones y su parecer establece que la formación de compuestos ocurre entre paquetes de sustancia llamados “moléculas” que se originan de la unión de sustancias diferentes: «por otro lado, como se sabe que la relación de los volúmenes de hidrógeno y oxígeno en la formación de agua es de 2 a 1, se deduce que el agua resulta de la unión

de cada molécula de oxígeno con dos moléculas de hidrógeno. Igualmente, de acuerdo con las proporciones en volumen establecidas por Gay-Lussac para los elementos del amoníaco, del gas óxido de nitrógeno, del gas nitroso y del ácido nítrico, el amoníaco resulta de la unión de una molécula de nitrógeno con tres de hidrógeno, el gas óxido de nitrógeno de una molécula de oxígeno con dos de nitrógeno, el gas nitroso de una molécula de nitrógeno con una de oxígeno, y el ácido nítrico de una de nitrógeno con dos de oxígeno. Dicha explicación radica en la posibilidad de que las moléculas constituyentes no sean unitarias, sino que cierto número de moléculas unitarias¹ se atraen para formar una sola, en el momento en que se atraen moléculas de sustancias diferentes, por ejemplo moléculas unitarias de nitrógeno y oxígeno, para formar óxido nítrico, formarían una molécula intermedia N_2O_2 , que posteriormente se dividirá en 2 moléculas integrales² compuestas de NO, esta hipótesis evidencia nuevamente que las reacciones químicas no se llevan a cabo entre átomos individuales, sino entre paquetes de átomos.

Las conclusiones expuestas anteriormente por Dalton, Gay Lussac y Avogadro, llegaron a constituirse luego de la observación detallada de las experiencias realizadas con gases, en los cuales el análisis de los fenómenos que se les presentaban, permitieron dar explicaciones del comportamiento discreto de la materia desde una mirada macroscópica de las relaciones que se pueden establecer en las reacciones químicas. Debido a ello, se hace principal referencia a las relaciones que se observan entre las cantidades de reactivos y productos que intervienen durante las reacciones químicas. Estos estudios están relacionados con las regularidades que se pueden obtener en las reacciones químicas, tales como la relación existente entre la composición de los reactivos y productos, su composición porcentual y las relaciones entre masa y volúmenes que al ser analizadas permiten establecer equivalencias.

¹ Moléculas unitarias: definidas así por Avogadro para referirse a elementos conformados por un sólo átomo. Ejemplo: hidrógeno (H); nitrógeno (N). Por tanto un paquete de moléculas unitarias de hidrógeno podría ser H_2

² Molécula integral: se obtiene al realizar la división en dos de una molécula obtenida por la unión de dos paquetes de moléculas unitarias. Ejemplo: la unión de un paquete de moléculas unitarias de nitrógeno (N_2) con tres paquetes de moléculas unitarias de hidrógeno (H_2), formaría una molécula intermedia N_2H_6 , que al dividirse en dos formarían dos moléculas integrales de NH_3

Procesos electroquímicos realizados por Faraday: fundamento de la equivalencia electroquímica

Michael Faraday fue un experimentador destacado de su época, pues basado en las observaciones obtenidas a partir de la actividad experimental, establece las bases y lenguaje de la electroquímica y determina los equivalentes electroquímicos para diferentes sustancias. Sus escritos, aportan por tanto a varios aspectos fundamentales de esta investigación enfocados desde una visión fenomenológica: el proponer vocabulario que le permite hablar del fenómeno, con un lenguaje entendible y propio y el uso de la actividad experimental como método importante para la elaboración de sus concepciones, que permiten la comprensión del análisis realizado para llegar a establecer equivalencias electroquímicas.

En sus experimentos sobre electricidad “*Experimental Researches in Electricity, Seventh series*” publicados en “*Philosophical transactions*” en el año de 1834, se detiene a analizar el lenguaje utilizado hasta el momento considerando que era limitado para el fenómeno que quería describir, pues así con el uso del término “polo” se hacía referencia a la superficie responsable de generar la fuerza de atracción sobre las sustancias de carga opuesta propiciando la separación de los componentes de los cuerpos, idea con la que no estaba de acuerdo, pues según su visión “la fuerza determinante no es en los polos sino dentro del cuerpo que se descompone” (Faraday, 1834, pág. 77), por tanto propuso el uso del término “electrodo”, proveniente de las voces griegas, (elektron y hodos), para referirse a las superficies que sirven para delimitar la descomposición del cuerpo en sentido de la corriente eléctrica y abolir así el término “polo”; adicionalmente sugirió el uso de los términos ánodo, cátodo, electrolito, electrolizar, ion, catión y anión. Las propuestas hechas por Faraday en torno al lenguaje utilizado en procesos electrolíticos, muestran su interés en especificar términos que hagan referencia a lo que ocurre en el fenómeno, lo que ejemplifica la importancia del uso de lenguaje particular para la comprensión y entendimiento del mismo (Faraday, 1834).

Claro está que el foco central de este escrito, son los estudios orientados a determinar la acción de la electricidad en la descomposición de diferentes sustancias, para ello propuso actividades experimentales durante las que diseña aparatos e instrumentos de medida; construye de esta forma un aparato que le permitía medir la cantidad de corriente necesaria en la descomposición

electroquímica, al que llamó voltaelectrómetro posteriormente llamado voltámetro, que le llevó a obtener observaciones y mediciones necesarias para confirmar su hipótesis sobre la descomposición electroquímica: “*la acción de la descomposición química de una corriente es constante para una cantidad de electricidad constante*” (Faraday, 1834, pág. 85).

Inicialmente realizó experiencias sobre la ley electrolítica en el agua, bajo determinadas condiciones (variación del tamaño de los electrodos, intensidad de corriente y concentración del ácido sulfúrico usado), determinando que ninguna de estas condiciones afectaba la magnitud de la acción química cuando la cantidad de electricidad permanecía constante, establece así una de sus conclusiones finales: “... *cuando era sometida a la influencia de la corriente eléctrica, una cantidad de ella (agua) era descompuesta, exactamente en proporción a la cantidad de electricidad que había pasado...*” (Faraday, 1834, pág. 91), establece que en la electrólisis del agua hay una relación entre la cantidad de corriente y la descomposición del agua en sus elementos. Después de observar este comportamiento decide utilizar los valores obtenidos para el agua como medida de comparación en los siguientes procesos de electro descomposición que realiza, ya que es un buen conductor cuando se adicionan ácidos o sales, se descompone con facilidad y los gases generados pueden ser recogidos con facilidad.

Cabe nombrar que el principal objetivo de los instrumentos diseñados por Faraday, era evitar que los gases producidos se combinarán nuevamente y que los alambres estuvieran aislados de la sustancia, para ello utilizó una serie de tubos de vidrio graduados donde se recogía el gas, el primer tipo de instrumentos consiste en dos tubos rectos, dentro de los cuales se encontraban los electrodos, los cuales se sumergían en ácido sulfúrico y se ubicaban muy próximos (5) ; en el segundo tipo de instrumentos se utilizó un tubo doblado por la mitad (8) y el tercer tipo de instrumento consistió en un solo tubo donde se encontraba dentro los dos electrodos (9). Diseñó más instrumentos con el objetivo de ser más riguroso en sus mediciones (Figura 2).

A medida que Faraday iba variando la estructura de los aparatos, observa algunas diferencias en la forma en que evolucionaba el proceso de electrólisis, por ejemplo: la descomposición es más rápida cuando los electrodos están en el mismo tubo que cuando están separados y al emplear electrodos en forma de alambre se producían burbujas más rápido, como consecuencia recolectaba mayor cantidad de gas que al usar electrodos con mayor superficie. Por tanto, el realizar diferentes modificaciones le permitió llegar a identificar las características indispensables con las que debía

contar el instrumento para obtener los datos necesarios que permitieran establecer una explicación en torno a la acción de la cantidad de electricidad al atravesar una sustancia.

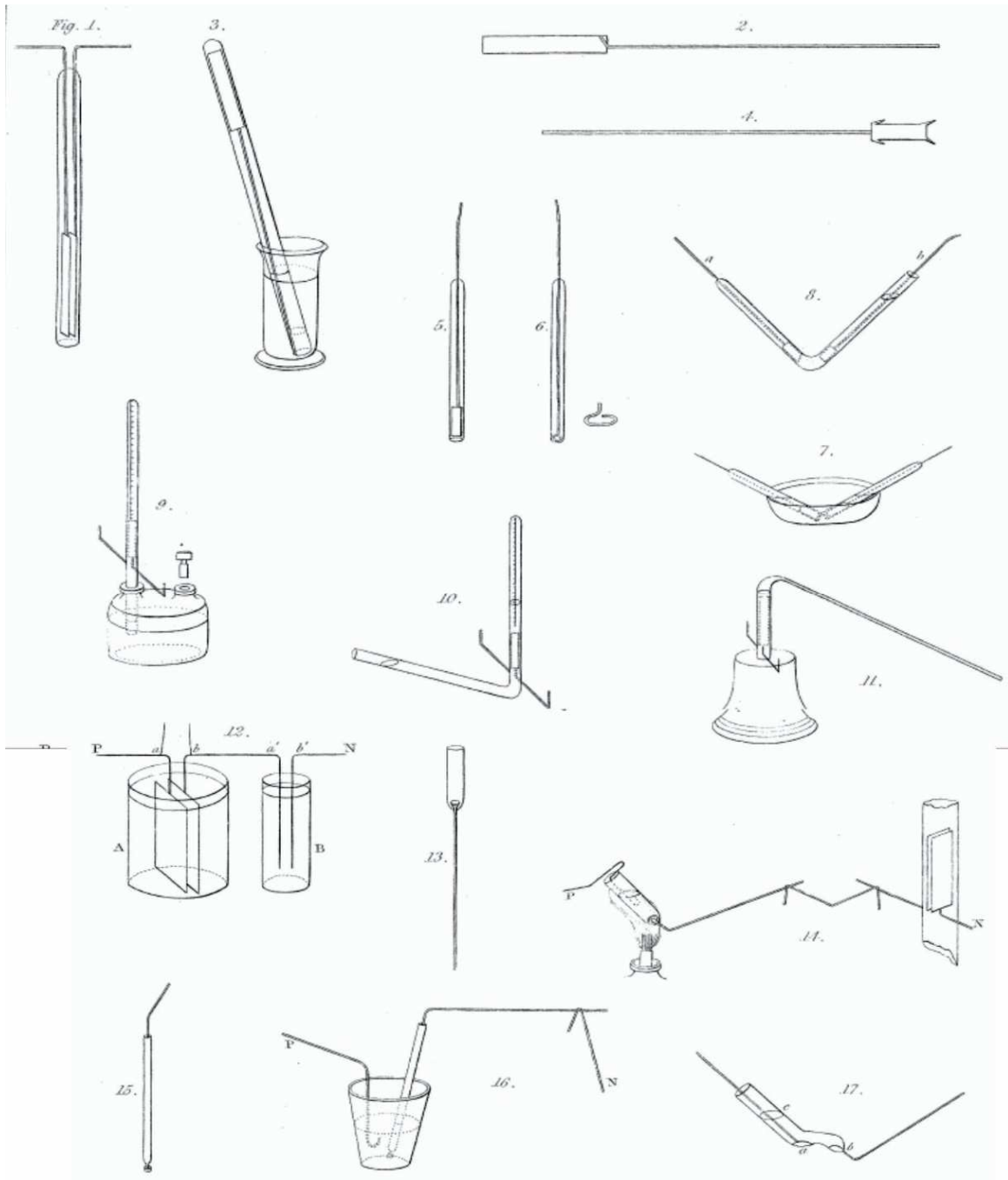
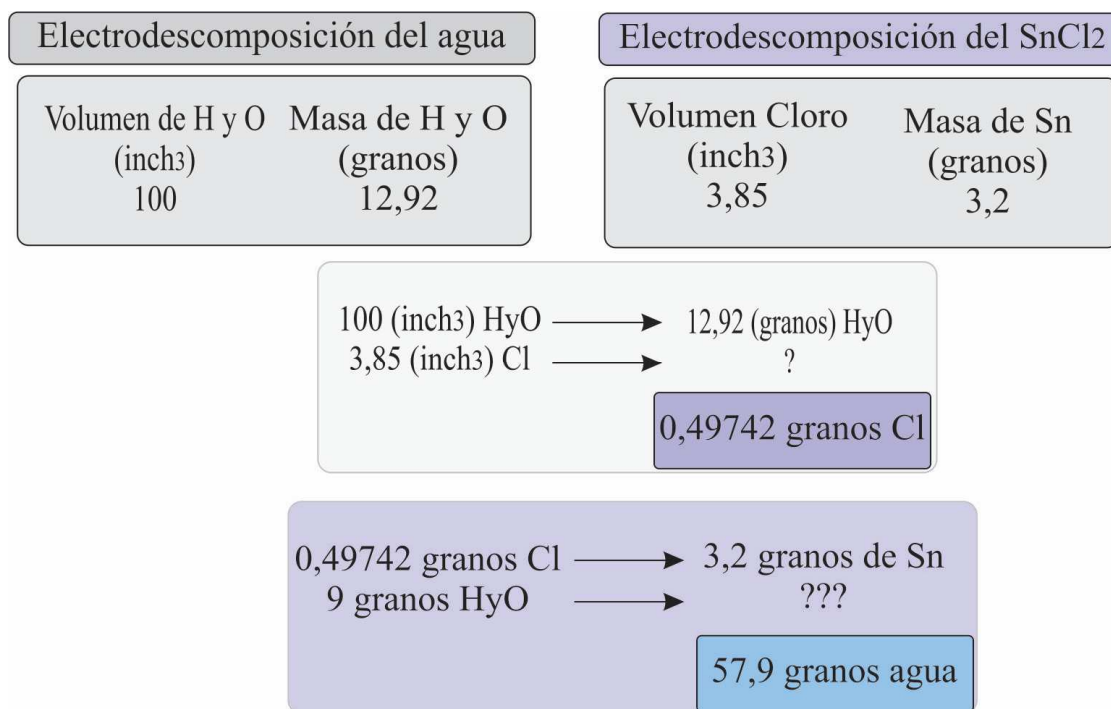


Figura 2. Aparatos diseñados para los procesos de electrólisis por Michael Faraday (Faraday, 1834, pág. 55).

Faraday realiza estudios del mismo tipo con otras sustancias, una de ellas y que describió de forma detallada fue la descomposición del protocloruro de estaño (SnCl_2)³, en este proceso determina que la cantidad de sustancia, estaño, depositada en el electrodo negativo (cátodo) es de 3,2 granos⁴ y el volumen del gas, cloro en forma de bicloruro de estaño SnCl_4 , depositado en el tubo del electrodo positivo (ánodo) del volta-electrómetro es de 3,85 pulgadas cúbicas; al establecer que el volumen obtenido de 100 pulgadas cúbicas de los gases de hidrógeno y oxígeno para la formación del agua pesaban 12,92 granos y relacionándolos con los valores obtenidos de la descomposición del protocloruro de estaño consideró que las 3,85 pulgadas cúbicas obtenidas pesarían 0,49742 de un grano, por lo tanto, la corriente eléctrica que descompone esa masa de agua es la misma capaz de descomponer tal masa de protocloruro de estaño para obtener los 3.2 granos de estaño, ahora al relacionar el peso del gas obtenido (0.49742) con el peso del estaño obtenido (3.2) y el del agua (9) se obtiene el equivalente del agua 57,9, que por lo tanto debe ser el equivalente al del estaño. Al realizar varias veces el mismo proceso encontró que el volumen de gas era de 2.05 a 10.29 pulgadas cúbicas y el equivalente electroquímico promedio fue 58.53, como se puede observar en el esquema 3. También realizó estudios con otras sustancias como el cloruro de plomo, en el cual los resultados fueron aproximados al equivalente químico.

³ Faraday descompuso el cloruro de estaño (SnCl_2) a través de la siguiente experiencia: ubico un alambre de platino cuidadosamente pesado en un extremo de un tubo de vidrio el cual selló herméticamente, (Ilustración 14, Figura 2). Este tubo fue suspendido para ser calentado por medio de un mechero de alcohol. Dentro de este se introduce una cantidad suficiente de cloruro de estaño recién fundido de tal forma que ocupe la mitad de tubo; el alambre de este tubo se conecta al volta-electrómetro y este al extremo negativo de la pila voltaica; a la vez se conecta otro alambre de platino al extremo positivo de la pila con el cloruro de estaño fundido, evitando el movimiento del montaje (Ilustración 14, Figura 1).

⁴ Un grano es la mínima unidad de masa en el sistema inglés de medidas. Se considera con el mismo valor en cualquier país anglosajón. Un grano equivale a 0,06479891 gramos (64,79891 miligramos).



Esquema 3. Obtención de resultados según Faraday, M (1834)

Las actividades experimentales que Faraday realizó en torno a la descomposición electroquímica, donde empleó la pila voltaica y sustancias como el protocloruro de estaño, protioduro de estaño, ácido arsénico y ácido nitroso, le permitieron realizar varias observaciones, que lo llevaron a proponer las siguientes conclusiones: en primer instancia, para que ocurra la descomposición de una sustancia, es un requisito indispensable que haya conductividad. Además, la mayor o menor facilidad con la que se descompone una sustancia depende de la afinidad que hay entre los elementos que la conforman, tal descomposición se verifica determinando la masa de las sustancias que se encuentran en el cátodo al finalizar el proceso; cree que debe establecerse una ley de descomposición de acuerdo a la relación de equivalencia entre elementos. Finalmente, no tan convencido de la teoría atomista, y centrado en el estudio del efecto de la electricidad en las sustancias, determina que los equivalentes electroquímicos, al ser comparados con los pesos atómicos relativos poseen valores muy cercanos, como en el caso de los equivalentes electroquímicos de los iones cloro (35,5), yodo (126), bromo (78,3), flúor (18,7), calcio (20,5), potasio (39,2), estroncio (43,8), magnesio (12,7), manganeso (27,7) (Faraday, 1834, pág. 113). Basado en estos resultados, llega a la conclusión que los equivalentes químicos y electroquímicos son idénticos.

Las conclusiones a las que llegó Faraday, son fundamentales en el campo problemático de la estequiometría, y aunque él no perseguía este objetivo, el concepto de equivalencia sí es eje principal de este campo, que permite llegar a pensar que en un cambio químico, se deben establecer relaciones de dicha clase entre las sustancias que reaccionan y las que se producen. En un proceso de descomposición electroquímica, la cantidad de sustancia que se obtiene en el cátodo es equivalente a la cantidad de electricidad a la que es sometida la sustancia, si aumenta la cantidad de electricidad aumentará la masa de sustancia adherida al cátodo. De la misma manera, podemos ampliar la forma de relacionar este acontecimiento frente a cualquier reacción química: es decir que en cualquier reacción de electrodescomposición la masa obtenida va a ser proporcional a la cantidad de electricidad que se aplique y este comportamiento se mantendrá en la misma relación.

Los trabajos desarrollados por Faraday, permiten establecer relaciones entre la cantidad de electricidad y la cantidad (masa o volumen) de las sustancias que se obtienen luego de una descomposición electroquímica. Al observar este fenómeno de descomposición, con producción de gases o precipitados, se puede empezar a comprender mejor el campo problemático de la estequiometría, ya que se parte de observaciones concretas y mediciones directas, para establecer relaciones de equivalencia; y no de descripciones abstractas de reacciones químicas y datos matemáticos sin sentido, como las que aparecen formando parte de los enunciados en problemas estequiométricos en los libros de texto, que conllevan a la obtención de más datos matemáticos, alejándose de la comprensión del fenómeno químico del que se está haciendo referencia.

La actividad equivalente en los fenómenos químicos

Comprender el comportamiento de las sustancias es fundamental en el estudio de la química, para alcanzar esta meta se puede partir de la observación del proceder y de las propiedades de los compuestos cuando entran en contacto con otras sustancias o se encuentran bajo la influencia de agentes externos, aunque al cuantificar dichas propiedades se obtengan valores o juicios diferentes para cada sustancia, generalmente después de un proceso de análisis, puede encontrarse un punto en el que estas propiedades son comunes; empleando este punto en común se pueden establecer relaciones de equivalencia entre las sustancias analizadas. Por ejemplo, si se habla de equivalentes

químicos, Richter los establece al relacionar la masas de un ácido que neutraliza ciertas masas de diferentes bases, determina que $980 \text{ gramos de H}_2\text{SO}_4 = 800 \text{ gramos de NaOH} = 1120 \text{ gramos de KOH}$, “es decir, por un lado establecemos equivalencias en masa entre bases diferentes al compararlas con una determinada cantidad en masa de una referencia, en este caso un ácido. Por otro lado, y [en base al] mismo fundamento, establecemos equivalencias entre ácidos diferentes al compararlos con una cantidad determinada de una referencia, en este caso una base” (Salgado, Navarrete, Bustos, Sánchez, & Ugarte, 2007, pág. 223), de esta forma se llega a comprender el proceso que se lleva a cabo en las reacciones de neutralización y se puede afirmar que las masas de los ácidos son equivalentes, pues se neutralizan con la misma masa de base.

Partiendo del hecho anterior, se puede afirmar que al comparar dos sustancias o procesos diferentes bajo una misma cualidad se pueden establecer equivalencias, como en el caso de los equivalentes químicos, donde las sustancias poseen características diferentes, pero que confluyen en algo en común; siguiendo con la misma lógica se posibilita la elaboración de otros tipos de equivalencia, como lo es el caso de los equivalentes electroquímicos propuestos por el británico Michael Faraday en sus escritos⁵. A través del estudio de las reacciones de electrólisis de varias sales, compara las masas de las sustancias electrodepositadas empleando como punto en común la cantidad de electricidad utilizada, de esta forma, son equivalentes las masas de las sustancias que se obtienen cuando la cantidad de electricidad es igual. En muchas oportunidades realiza el proceso de descomposición simultáneamente en varias sustancias por la misma corriente eléctrica: protocloruro de estaño, cloruro de plomo y agua, todos los procesos se dan a la vez, por tanto los resultados son comparables, entonces el estaño, plomo, cloro, oxígeno e hidrógeno producidos son equivalentes en cantidad y actividad electroquímica entre ellos (Faraday, 1834, pág. 107). Por otro lado nota que si una sustancia A es separada de una sustancia B, el equivalente electroquímico de A se mantiene si se separa de una sustancia C, así el oxígeno es 8 cuando se separa del estaño, del plomo o del hidrógeno (Faraday, 1834, pág. 113). Vale la pena aclarar, que al establecer estas equivalencias, no se quiere decir que las masas obtenidas son iguales, las masas cambian, mientras la cantidad de electricidad se mantiene.

⁵ Faraday, M. (1834). Experimental Researches in Electricity Sixth and Seventh series. *Phylosophical Transactions of the Royal Society of London*.

Observar estos procesos electrolíticos, en los que se pueden cuantificar cualidades como el volumen, la masa y la intensidad de la corriente, permiten establecer relaciones, identificar qué se mantiene durante cada uno de los procesos y qué cambia, encontrar similitudes y diferencias entre procesos, para así poder hablar de estos, que aunque pueden ser diferentes, poseen una cualidad que los hace equivalentes, ya no se entenderá cada reacción aislada, sino que se podrá hablar de unas reacciones en función de otras.

Por tanto, al llegar al proceso de formalización de la equivalencia, valiéndose de la actividad experimental, se parte de un detallado análisis del fenómeno, donde es primordial establecer magnitudes que desembocan en la comprensión de las relaciones cuantitativas entre la sustancia o sustancias que intervienen en la reacción. El establecer este tipo de relaciones entre propiedades, desde la misma invariante, cantidad de corriente, a través de magnitudes como la masa, el volumen conllevan a realizar presunciones e hipótesis que idealicen que estas manifestaciones obedecen a comportamientos equivalentes..

SOBRE LA VISIÓN FENOMENOLÓGICA DE LA ACTIVIDAD EXPERIMENTAL EN CIENCIAS

En la preocupación de solucionar dificultades en el aprendizaje de las ciencias, en la década de los 60 y 70, se recurre a la aplicación desmesurada de trabajos prácticos, enfocándose en el “aprendizaje por descubrimiento”, donde la solución de problemas se puede realizar a partir de datos empíricos y del razonamiento inductivo, incurriendo en visiones simplistas alejadas de la forma en que se elabora el conocimiento científico, alejándose del objetivo inicial, según Ausbel: “Como los términos laboratorio y método científico se volvieron sacrosantos en las preparatorias y universidades norteamericanas, los estudiantes fueron obligados a remedar los aspectos exteriormente conspicuos e inherentemente triviales del método científico (...). En realidad con este procedimiento aprendieron poco de la materia y menos aún del método científico”, citado por Solbes (2009, pág. 7). Igualmente se incurrió en creer que la solución de problemas de lápiz y papel, hacía parte de la formación de aptitudes científicas, por el contrario, solo se lograba un aprendizaje por repetición de procedimientos aplicados por el docente de forma lineal (Gil, 1933). Es por esto, que tanto las prácticas de laboratorio, como la solución de problemas, se han convertido en un punto fundamental de estudio de la didáctica de las ciencias (Yager & Kahle, 1982).

Dado que una de las metas de esta propuesta es cambiar la perspectiva desde la que se acude al experimento en el ámbito escolar, se trabaja desde la perspectiva fenomenológica, según la cual el fenómeno requiere alguien ante quien aparecer, pero no oculta un ser verdadero de carácter absoluto, es lo que aparece frente a una conciencia (persona, estudiante o profesor), tiene carácter exhibitivo y constructivo, no oculta nada y es dinámico. En la construcción de fenomenologías, juega un papel fundamental la actividad experimental, pues a partir de la organización de las experiencias, se realizan procesos de formalización. Estos procesos se caracterizan por la elaboración de palabras, signos y procedimientos, entre otros, que permiten hablar del fenómeno. (Malagón, Ayala, & Sandoval, 2011).

En la actividad experimental desde la perspectiva fenomenológica hay tres momentos: organización de cualidades, construcción de unidades de medida y aparatos de medida, y teorización del fenómeno. Después de estos tres momentos se logran superar las dicotomías de lo cualitativo y cuantitativo; de lo teórico y lo experimental, y finalmente la del mundo sensible y el mundo de las ideas, pues el estudiante consigue establecer una relación dinámica con el fenómeno,

donde no se percibe la diferencia entre los aspectos nombrados anteriormente porque percibe el fenómeno de estudio como un todo.

Al observar un fenómeno, éste se presenta tal cual es, por tanto el grupo organizado de las cualidades es el fenómeno, no se puede apartar el fenómeno de sus cualidades. En el momento de definir las y percibir las, se hace necesario precisar la forma de clasificar, medir o relacionarlas con el fin de organizar la concepción del fenómeno, se debe tener en cuenta que al realizar este tipo de consideraciones donde se pueden especificar las escalas de medida, se requiere de un instrumento o aparato que permita involucrar de forma adecuada la medida. Es importante considerar que las mediciones realizadas con los instrumentos apropiados, permiten la comprensión del fenómeno, a través de construcciones mentales (gráficas, generalizaciones verbales y escritas, diagramas, ilustraciones) que conllevan a una generalización de las relaciones establecidas entre las mediciones (Malagón et. al, 2013).

Inicialmente el estudio de las interacciones químicas se basó en la observación de cualidades del fenómeno, los químicos centraron su interés en los cambios de las propiedades que experimentaba una sustancia cuando reaccionaba con otra, obteniéndose sustancias completamente diferentes a las iniciales, no prestaban mayor atención a las cantidades de sustancias que participan en el cambio; a partir del uso de instrumentos de medida, surge la necesidad de contemplar la química no sólo desde la perspectiva cualitativa, sino también la cuantitativa. Cuando a través de la actividad experimental se han organizado las cualidades percibidas, como la relación de pesos para Dalton, el comportamiento de combinación de los gases para Gay-Lussac y Avogadro; o en los trabajos de Faraday masas, volúmenes y cantidad de electricidad, haciendo uso de mediciones que permiten una mejor descripción y entendimiento del fenómeno, se puede hablar de éste con claridad o establecer, si es necesario, un nuevo lenguaje, llegando así al proceso de formalización, que posibilita plantear otras relaciones y comparaciones, de esta forma se logra la coexistencia de lo cualitativo y lo cuantitativo y de la práctica y la teoría, entre otras dicotomías mencionadas anteriormente. Cabe recalcar que la formalización del fenómeno no solo se da en el momento que se llega a las generalizaciones, sino que este ocurre desde el instante en que se habla del fenómeno y se logra ver las cualidades que lo permiten describir, por eso se puede afirmar también que el proceso no es estático, cambia ante la conciencia que lo observa a medida que el fenómeno se comprende.

Realizar actividades experimentales dentro del proceso de aprendizaje permite que el estudiante contemple la posibilidad de adquirir o modificar su conocimiento a través de la observación e interpretación del fenómeno, donde se pueden vivenciar e ilustrar las relaciones entre variables significativas llegando a la formalización del fenómeno. Sin embargo, las prácticas experimentales son poco consideradas en el momento de abordarlas para potencializar el aprendizaje de las ciencias, debido a factores externos como el alto costo que se le atribuye a algunas actividades, o el esfuerzo que demanda por parte del docente en el momento de plantearlas y aplicarlas (Caamaño, 2003). La actividad experimental en el aula, sólo tiene sentido cuando hay una reflexión sobre los objetivos de la enseñanza de las ciencias y las características básicas de la actividad científica, los docentes que han tomado los trabajos de laboratorio como simples manipulaciones pueden transmitir por acción u omisión una visión distorsionada de la ciencia, sobre todo cuando se enfocan a mediciones que no se orientan a la construcción de conocimientos científicos tales como la discusión de la relevancia del trabajo a realizar y el esclarecimiento de la problemática en que se inserta, la participación de los estudiantes en el planteamiento de hipótesis y el diseño de los experimentos, el análisis de los resultados obtenidos, etc. (Carrascosa, Gil, Vilches, & Valdès, 2006).

De acuerdo con lo anterior podemos afirmar que los puntos fuertes en el momento de implementar la serie de actividades experimentales, en torno a los procesos de electrólisis, para lograr construir la categoría de equivalencia son:

- i. La observación del fenómeno de estudio: donde el estudiante tiene la posibilidad de interactuar con las reacciones de electrólisis para realizar sus propias descripciones e ilustraciones en torno a las cualidades que éstas exhiben como: la formación de sustancias sólidas y gaseosas, el cambio de coloración de las disoluciones.
- ii. Al realizar las actividades experimentales el estudiante puede plantear hipótesis que le permitan dilucidar una mejor comprensión de las razones del por qué se produce el fenómeno desde su perspectiva, ya que el fenómeno es particular al individuo que lo observa.
- iii. Permite organizar las ideas adquiridas a partir de la observación e interpretación del fenómeno, por medio del uso de lenguaje apropiado para describirlo al emplear

terminología como: descomposición, formación de sustancias, relaciones entre, proporcionalidad, cantidad de electricidad.

- iv. Al llevar a cabo procesos de medición de las cualidades de las materia: masa, volumen y cantidad de electricidad, con el fin de establecer relaciones que permitan comprender y predecir el comportamiento discreto de la materia, que es uno de los pilares para la comprensión del campo problemático de la estequiometría, ya que se puede inferir que la discretización se desarrolla a partir de la idealización de que en los procesos químicos la relación que se guarda entre las sustancias es simple y fija.

INDAGACIÓN SOBRE EL FENÓMENO DE ESTUDIO: REACCIONES DE ELECTRÓLISIS

Al realizar el análisis y la comprensión de los trabajos experimentales realizados por Dalton, Avogadro, Gay-Lussac y Faraday, en torno a la composición de las sustancias, se considera que las actividades experimentales realizadas por Faraday son las más adecuadas para plantear cada una de las fases que harán parte de la serie de actividades experimentales, en tanto que permiten establecer relaciones de equivalencia entre las masas y volúmenes de los productos obtenidos, sólidos y gaseosos, fundamentadas en la cantidad de electricidad que participa en el proceso. Por esta razón, empleando como referente conceptual las experiencias planteadas por Faraday (1834) en *Experimental researches in electricity, Seventh Series*, las autoras de esta tesis desarrollan la siguiente serie de actividades experimentales: electrólisis del agua, electrodescomposición del cloruro de estaño, reacciones de electrolisis del Cu-Zn en disolución de ácido sulfúrico y sulfato de cobre; encaminadas a su indagación disciplinar con fines pedagógicos en búsqueda de elementos claves para la realización de las actividades experimentales en el aula.

A continuación se presentan los procesos realizados, las cualidades estudiadas y las conclusiones a las que llegan las autoras.

Descomposición del agua por electrólisis

El comportamiento discreto de la materia, supone primordialmente procesos de abstracción por parte de los estudiantes, donde es fundamental que realicen constructos acerca de la composición de las sustancias compuestas por medio de la combinación de sustancias simples, lograda a partir de relaciones siempre en la misma proporción. En la electrólisis del agua, se obtienen resultados que pueden llevar a los estudiantes a establecer la relación entre los volúmenes de hidrógeno y oxígeno que conforman la molécula, por ello se realiza dicha actividad experimental, con el fin de identificar y proponer las mejores condiciones para su posterior realización con los estudiantes.

En la descomposición del agua por electrólisis, de acuerdo a las experiencias realizadas por Faraday en torno al efecto de la concentración de la solución utilizada para el proceso, llega a la

conclusión que en *“Cuando un ácido.... los resultados fueron los más uniformes, y el oxígeno e hidrógeno los más constantes en la proporción correcta uno al otro”* (Faraday, 1834, pág. 91); para esto utilizó ácido sulfúrico de tal forma que no excediera una gravedad específica⁶ de 1,495, ya que al usar una solución concentrada (2:1 ácido sulfúrico: agua) obtenía una relación de *“42 volúmenes de hidrógeno pero solamente 12 volúmenes de oxígeno”*. Por tanto durante la indagación, el proceso se realiza empleando una solución diluida de ácido sulfúrico y se prueban tres tipos de electrodos con el fin de determinar con cual se realiza mejor la experiencia, es decir, que se observe la relación entre los gases producidos; inicialmente se utilizan electrodos de grafito, en esta experiencia se observa que la descomposición transcurre muy lentamente (Figura 3a) ; posteriormente se emplean electrodos de cobre, sin que haya descomposición alguna (Figura 3b). El tercer tipo de electrodos fueron de aluminio, con éstos la descomposición del agua fue muy rápida, se puede observar la formación de los gases que la componen, hidrógeno y oxígeno y la posible relación de volúmenes entre los mismos (Figura 3c). Por consiguiente, al realizar la selección de los electrodos que se van a emplear para realizar procesos de electrólisis, es fundamental buscar aquellos que estén hechos de elementos que no presenten interacción alguna con el electrolito; de esta forma se evita que se presenten resultados secundarios, que implican la presencia de reacciones y compuestos no esperados.

Al finalizar el proceso se observa que en el tubo conectado al cátodo se desplazó el doble de volumen de agua que en el ánodo, y la razón es que en el cátodo se recoge el hidrógeno (catión) y en el ánodo oxígeno (anión), y que en el caso de la descomposición del agua tienen una relación de volúmenes de 2:1 (Figura 3c).

⁶ La gravedad específica es la propiedad que compara la densidad de una sustancia con la densidad de otra sustancia tomada como referencia o como patrón. Se realiza mediante una división, por lo que al expresar las dos densidades con las mismas unidades, el resultado es un número adimensional (sin unidades).

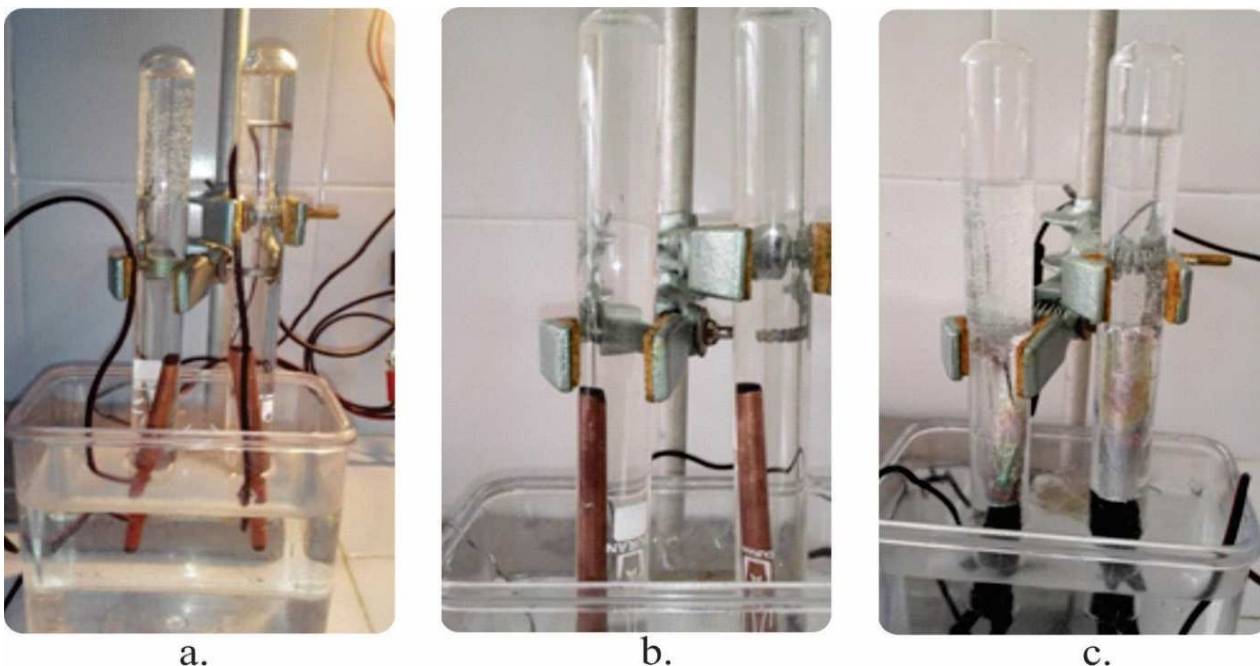


Figura 3. Electrodo utilizados para la descomposición: a. Electrodo de grafito; b. Electrodo de cobre; c. Electrodo de aluminio

Descomposición del Cloruro de Estaño

Las reacciones de electrólisis, son cambios químicos que permiten establecer relaciones entre la cantidad de corriente que atraviesa el sistema y la cantidad de sustancia electro-depositada. Por tanto al observar esta clase de reacciones los estudiantes podrán establecer patrones que los conducirán a proponer equivalencias entre los productos de diferentes reacciones y la cantidad de electricidad, además estarán en la capacidad de predecir la cantidad de sustancia que se puede obtener si la cantidad de electricidad cambia.

La descomposición del cloruro de estaño se realizó en un voltámetro de Hofmann (Figura 4), con electrodos de grafito recubiertos de cobre, se empleó como electrolito una solución saturada, con el propósito de evitar la precipitación del soluto durante el proceso, Además se conectó un amperímetro, con el que se midió la intensidad de la corriente que circulaba durante el experimento.

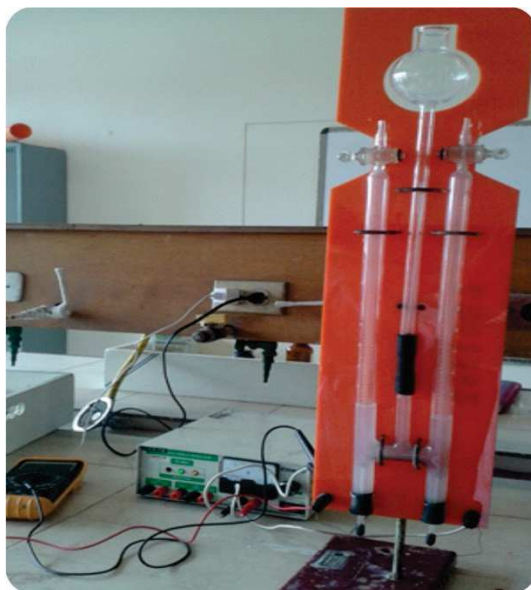


Figura 4. Descomposición del SnCl_2 en el voltámetro de Hoffman

El proceso de descomposición, se evidencia cuando alrededor del electrodo negativo (cátodo) se empieza a formar una sustancia oscura, estaño. En el electrodo positivo (ánodo) se observa la formación de un gas. Se supone que dicho gas es cloro, aunque no se realizaron las pruebas correspondientes para identificarlo debido a la dificultad para recolectar el gas, sería conveniente, realizar nuevamente esta actividad experimental empleando un montaje que permita obtener y cuantificar este gas con el fin de establecer equivalencias entre la masa de estaño y volumen de cloro. (Figura 5).

Se esperaba, de acuerdo con las actividades realizadas por Faraday, que en la descomposición del cloruro de estaño, el estaño se adhiriera al cátodo para posteriormente determinar la masa producida, fenómeno que no ocurrió. Por tanto para determinar la cantidad de estaño producida, se filtró la mezcla empleando un embudo Buchner (Figura 6a), conectado a una bomba de vacío. Después de filtrar la solución, en el papel filtro se recoge el estaño (Figura 6b).



Figura 5. Gas formado, electrolisis del SnCl_2

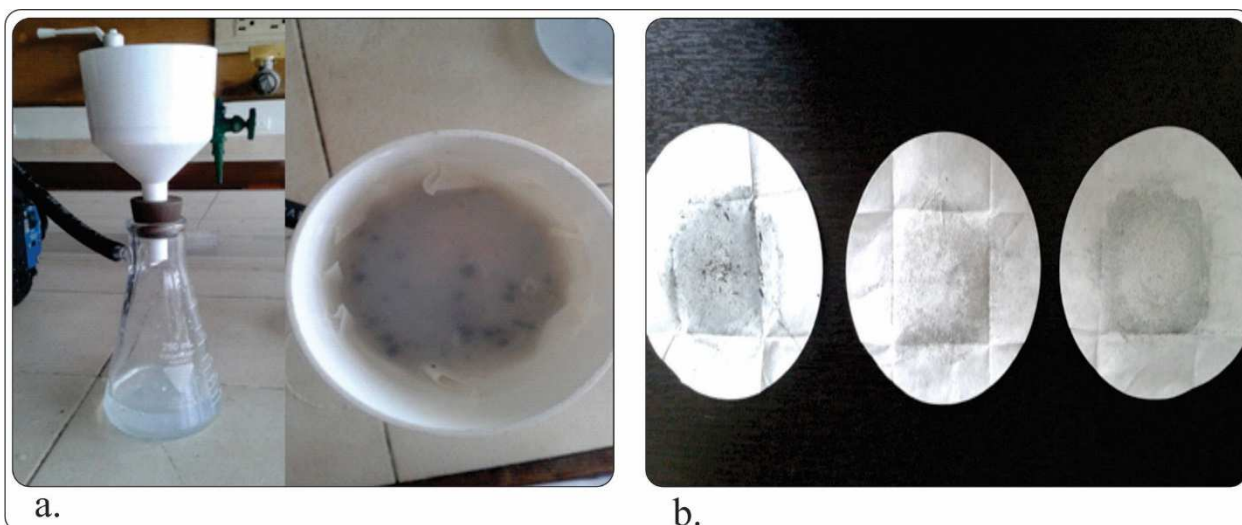


Figura 6. Obtención del Estaño: a. Filtración; b. Estaño obtenido

Después de 20 experiencias, se determinaron las mejores condiciones para realizar la electrolisis, como el material del electrodo y el montaje adecuado. Finalmente, se realizaron 5 electrodescomposiciones del cloruro de estaño, en cada una se modificó el tiempo durante el cual transcurrió el proceso, obteniendo los resultados consignados en la **Tabla 1**; se utiliza un multímetro se mide la intensidad de la corriente en cada una de las electrodescomposiciones, conociendo este valor se determina la cantidad de electricidad que atraviesa el sistema.

Tabla 1. Electrodescomposición del cloruro de estaño

Tiempo (s)	Intensidad de la corriente (A)	Cantidad de electricidad (C)	Estaño (g)
300	0,0272	8,16	0,087
600	0,0291	17,46	0,103
900	0,0313	28,17	0,124
1200	0,0343	41,16	0,132
1500	0,0372	55,8	0,158

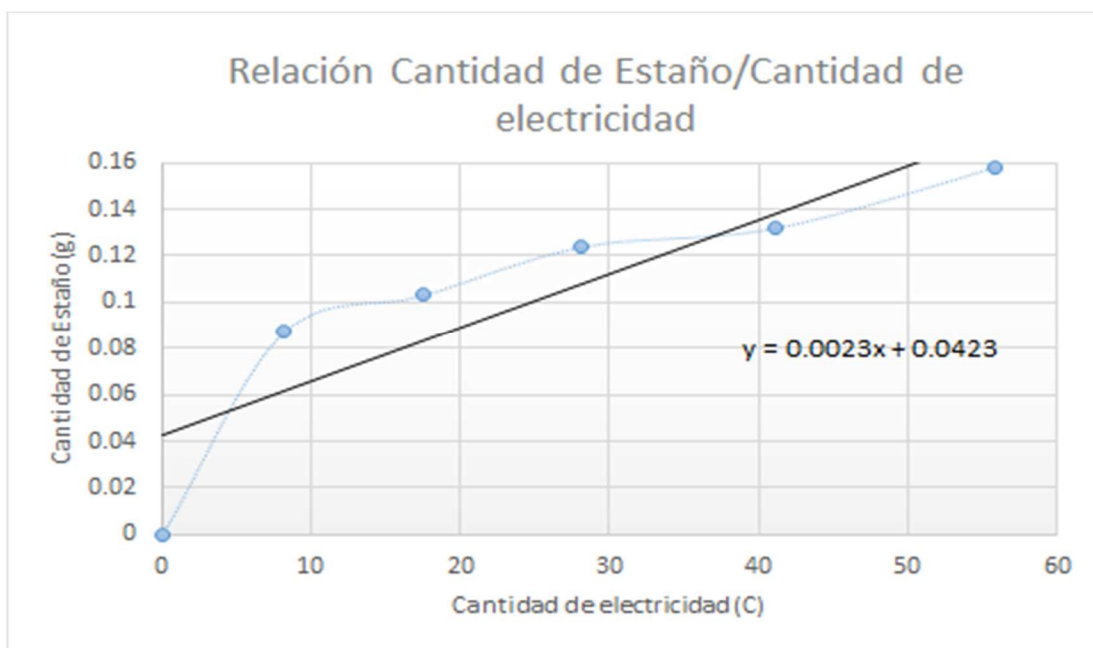
Nota: s = segundos; A = Amperios; C = Coulomb; g = gramos

Graficar los resultados obtenidos de la cantidad de electricidad que atravesó el sistema y la masa de estaño obtenida luego de la electrodescomposición, permite determinar la pendiente de la recta, el valor obtenido establece la relación entre estas dos magnitudes, así se llega a la

conclusión de que cuando 1 coulomb atraviesa el sistema se obtiene 0,0014 gramos de estaño (Gráfica 1).

Se observa que la cantidad de estaño obtenida, es directamente proporcional a la cantidad de electricidad que pasa por el sistema, tal como lo sugiere Faraday a partir de los resultados de sus actividades experimentales y que constituye la primera ley de la electroquímica:

“La masa de una sustancia liberada en una electrólisis es directamente proporcional a la cantidad de electricidad que ha pasado” (Faraday, 1834, pág. 91).



Gráfica 1. Electrodescomposición del SnCl_2

Al analizar los resultados obtenidos en la electrodescomposición del cloruro de estaño, se puede establecer una relación de proporcionalidad entre la cantidad de electricidad que se le suministra al sistema y la masa de estaño obtenida, esto conducirá a comprender y establecer relaciones de equivalencia, desde la actividad experimental, a partir de la comparación de las masas obtenidas de diferentes elementos producto de reacciones de electrodescomposición al emplear la misma cantidad de electricidad (1 Coulomb).

Electrodeposición cobre – zinc

En las actividades experimentales del zinc y del cobre, tanto en ácido sulfúrico como en sulfato de cobre, se produce una reacción electroquímica, los electrodos serían el cobre (cátodo) y el zinc (ánodo), el electrolito, en cada uno de los casos sería el ácido sulfúrico y el sulfato de cobre. En estas reacciones se produce energía eléctrica, generada por la diferencia de potencial que se establece entre los electrodos y el electrolito.

Empleando el amperímetro se midió la intensidad de la corriente producida; cuando se deja transcurrir por mayor tiempo la reacción, la lámina de zinc (Zn) pierde mayor cantidad de masa, en tanto que el cobre (Cu) mantiene su masa. Es claro que a medida que aumenta la cantidad de electricidad que atraviesa el sistema, es mayor la pérdida de masa del electrodo de zinc, cuando el electrolito es el ácido sulfúrico, como se muestra en la **Tabla 2**; mientras que cuando el electrolito es el sulfato de cobre, aumenta la cantidad de cobre que se deposita en el ánodo de Zn, dicho cobre proviene de la descomposición del sulfato de cobre, de acuerdo a los datos registrados en la **Tabla 3**.

Tabla 2. Reacción Cu-Zn en solución de ácido sulfúrico

Tiempo (min)-(s)	Zn (g)			Cu (g)			Intensidad de la corriente (mA)	Intensidad de la corriente (A)	Cantidad de electricidad (C)
	Masa inicial	Masa final	$m_i - m_f$	Masa inicial	Masa final	$m_i - m_f$			
5 -300	2,712	2,666	0,046	2,459	2,459	0	0,01	0,00001	0,003
5 -300	2,666	2,620	0,046	2,459	2,459	0	0,01	0,00001	0,003
10 -600	2,620	2,544	0,076	2,459	2,459	0	0,02	0,00002	0,012
10 -600	2,544	2,451	0,093	2,459	2,459	0	0,02	0,00002	0,012

Nota: min = minutos; s = segundos; m_i = masa inicial; m_f = masa final; g = gramos; mA = miliamperios; A = amperios; C = Coulomb

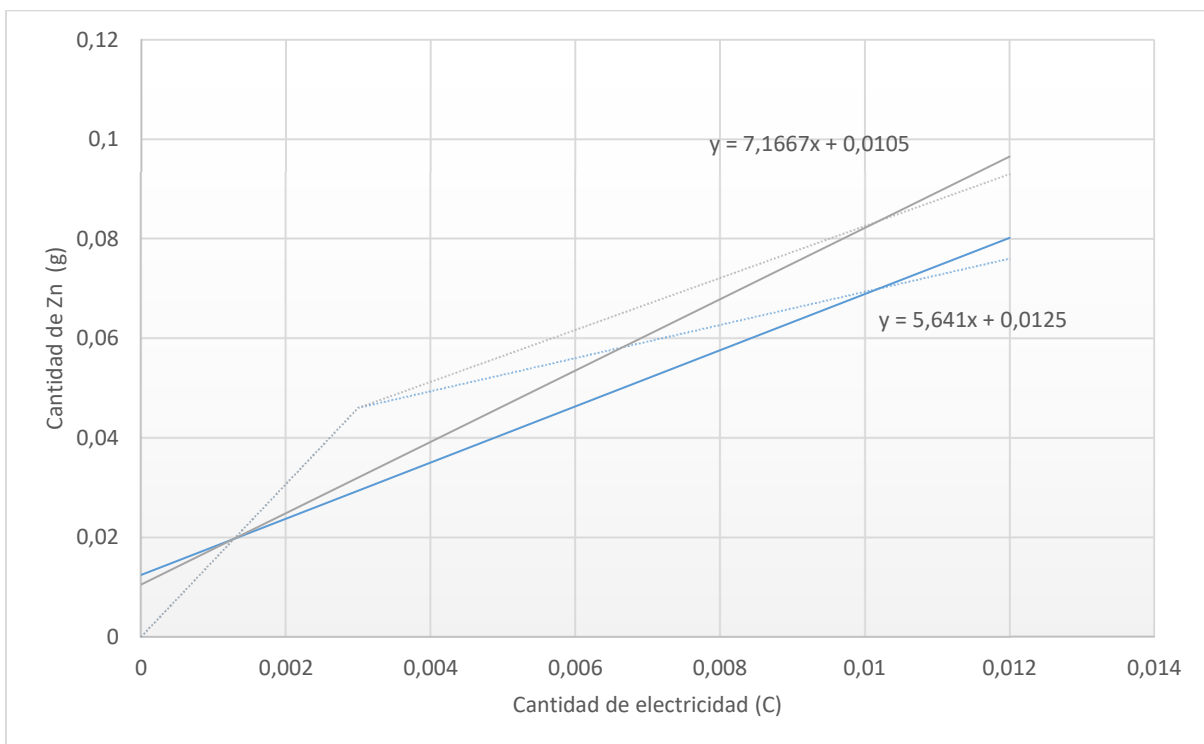
Tabla 3. Reacción Cu -Zn en solución de Sulfato de cobre

Tiempo (min -seg)	Cu (g)	Intensidad de la corriente (mA)	Intensidad de la corriente (A)	Cantidad de electricidad (C)
5 -300	0,503	0,02	0,00002	0,006
10-600	0,762	0,02	0,00002	0,012
15-900	1,039	0,02	0,00002	0,018

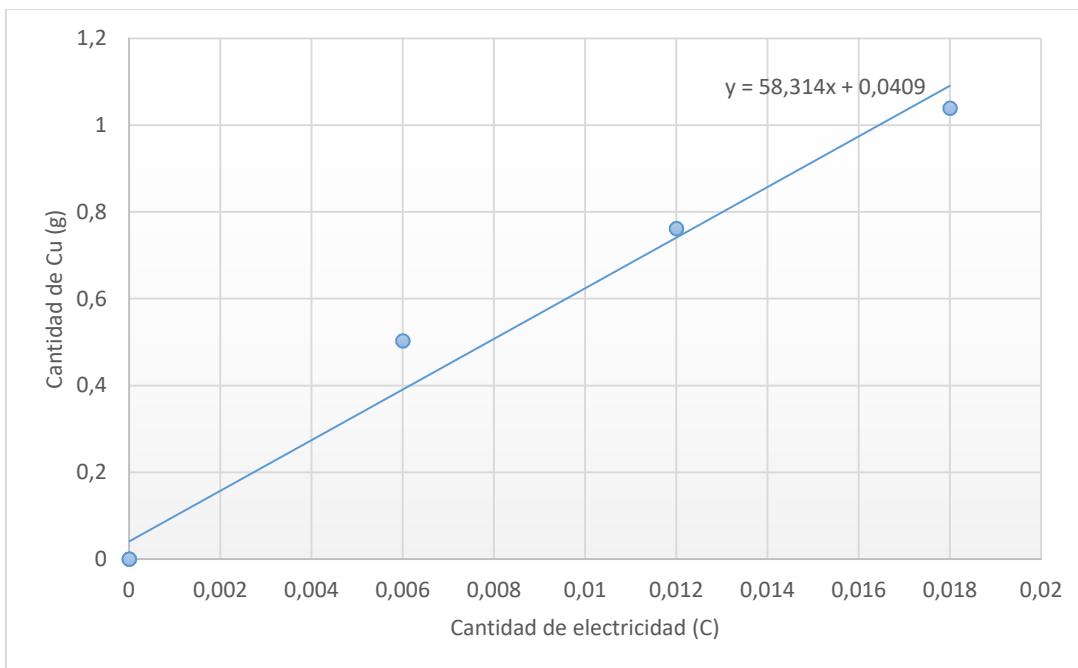
Nota: min = minutos; s = segundos; g = gramos; mA = miliamperios; A = amperios; C = Coulomb

De igual manera se grafica los resultados obtenidos en cada una de las experiencias, con el fin de determinar la relación matemática que se puede establecer entre la cantidad de zinc obtenida y

la cantidad de electricidad para cuando se emplea como electrolito el ácido sulfúrico (Gráfica 2); con el mismo propósito se elabora la gráfica entre la cantidad de cobre y cantidad de electricidad para cuando se emplea como electrolito el sulfato de cobre (Gráfica 3).



Gráfica 2. Reacción Cu-Zn en H₂SO₄



Gráfica 3. Reacción Cu-Zn en Cu_2SO_4

Al emplear la pendiente de la recta de las tres actividades experimentales, se puede establecer la relación de equivalencia entre la masa de cada una de las sustancias obtenidas cuando el sistema es atravesado por un coulomb, según la **Tabla 4**.

Tabla 4. Equivalentes hallados en las experiencias

Reacción	Gramos producidos por 1 C
Descomposición de SnCl_2	0.0023 Sn
Zn y Cu en H_2SO_4	5,64 y 7,16 Zn
Zn y Cu en CuSO_4	58,3 Cu

Se puede afirmar a partir de los resultados de la actividad experimental que 0.0014 g de Sn son equivalentes a 3,33 y 5.22 g de Zn y a 56.267 g de Cu. De igual forma las masas de zinc y cobre serían equivalentes.

Se puede afirmar a partir de los resultados de la actividad experimental que 0.0014 g de Sn son equivalentes a 3,33 y 5.22 g de Zn y a 56.267 g de Cu. De igual forma las masas de Zn y Cu serían

equivalentes. Al realizar la comparación de las masas de las sustancias obtenidas en cada una de las reacciones de electrólisis se puede fundamentar que estas son equivalentes entre sí, ya que cada una se produce por la acción de 1 Coulomb, es decir, que 0,0014 g de Sn son equivalentes a 3,33 g de Zn debido a que fueron obtenidas bajo la misma invariante “la misma cantidad de electricidad”; de la misma forma podemos establecer equivalencia entre la cantidad de gramos de Cu obtenidos y la cantidad de gramos de Sn.

Partir del análisis de las observaciones obtenidas en las actividades experimentales realizadas, brinda elementos que permiten establecer relaciones entre las diferentes reacciones químicas y las cualidades o propiedades que en cada una se cuantifican, cantidad de electricidad, masa y volumen, de esta manera se consigue establecer una relación de proporcionalidad entre la cantidad de electricidad y la masa de sustancia obtenida, en cada reacción de electrólisis se llega a concluir que al aumentar la cantidad de electricidad se obtiene mayor cantidad de sustancia; además se pueden comparar las masas de las sustancias producidas en diferentes reacciones de electrólisis desde la cantidad de electricidad empleada, es decir, aunque las masas en valor numérico no sean iguales, se determina que son equivalentes entre sí, pues guardan en común la relación de proporcionalidad que se establece al ser obtenidas bajo un mismo factor “la cantidad de electricidad”. Así se comienza a construir en primera instancia, desde la actividad experimental la categoría de equivalencia, que al ser empleada para la enseñanza de las relaciones estequiométricas, facilita establecer relaciones entre los factores que influyen en un proceso químico y las cantidades de las sustancias obtenidas, lo que conlleva al análisis del proceso y a la predicción de posibles sucesos en torno a la modificación de dichos factores.

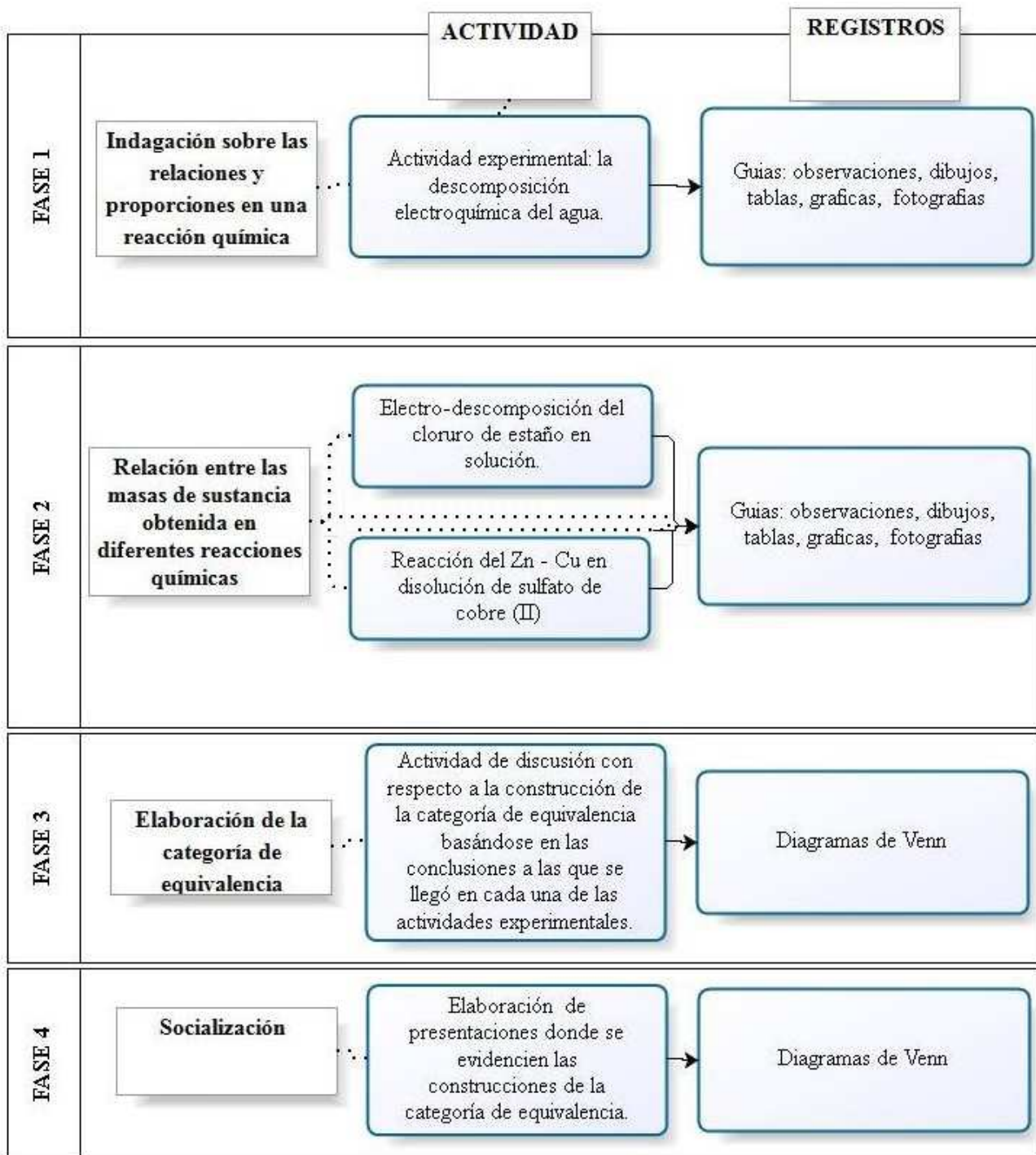
Luego de realizar las actividades experimentales citadas anteriormente, se puede afirmar que permitieron a las autoras contar con elementos fundamentales como: la concentración de la solución del ácido empleado en la electro-descomposición del agua y la concentración de la solución de cloruro de estaño, el diseño de los montajes de electrólisis, el proceder que deben seguir los estudiantes, la elaboración de planteamientos y formulación de preguntas que los orienten a la discusión de las observaciones hechas y desde allí llegar a proponer las actividades orientadas hacia los estudiantes.

DISERTACIONES SOBRE LAS ACTIVIDADES EXPERIMENTALES EN EL AULA

En este capítulo se presentan los registros cualitativos y cuantitativos realizados por los estudiantes durante el desarrollo de la serie de actividades experimentales propuestas y las conclusiones a las que llegan a partir de éstas; las autoras realizan los análisis basadas en los registros hechos por los estudiantes, enfocándose en elementos como: los procesos de observación, medición, elaboración e interpretación de gráficas, lenguaje y relaciones entre magnitudes y procesos. Los análisis elaborados se presentan después de las conclusiones realizadas por los estudiantes en cada una de las fases.

Para el desarrollo de la propuesta aplicada en el aula se proponen tres actividades experimentales y una actividad de socialización encaminadas a la comprensión fenomenológica de la categoría de equivalencia como base del campo de la estequiometría; cada una de las actividades experimentales planteadas se desarrolla en sesiones de dos horas, en un primer momento los estudiantes realizan la lectura presentada en cada uno de los documentos guía diseñados para la orientación de la actividad experimental con el fin de introducir la temática a abordar, lo que permite que se hagan una visión del trabajo a realizar; posteriormente se inicia el acercamiento al fenómeno abordando aspectos cualitativos y cuantitativos, centrándose en la medición de volúmenes, masas e intensidad de la corriente, para proceder a organizar las cualidades observadas haciendo uso de diferentes representaciones (gráficas, tablas, imágenes) lo que permite que logren establecer las relaciones que se presentan entre las diferentes cualidades de las sustancias en una reacción química.

En la fase de socialización, cada grupo reúne las conclusiones a las que llega en las tres actividades experimentales y las compara por medio de un diagrama de Venn con el fin de obtener criterios que le permitan llegar a establecer equivalencias a través de las relaciones establecidas en las tres reacciones de electrodescomposición (Esquema 3) .



Esquema 4. Fases de las actividades en el aula

Resultados fase 1. Indagación sobre las relaciones y proporciones en una reacción química

Electrólisis del agua

El fenómeno de electrólisis del agua fue realizado y observado por 11 grupos de estudiantes de acuerdo a las actividades y orientaciones dadas en el aula (Anexo 1), en la **Tabla 5** se presentan las descripciones cualitativas realizadas por cada uno de los grupos dando respuesta a los interrogantes planteados en la electrodescomposición del agua además de los elementos que se plantearon para su análisis. A continuación, en la **Tabla 6** se registran las conclusiones a las que llegan algunos de los grupos.

Tabla 5. Descripciones cualitativas de la electrodescomposición del agua y elementos de análisis

Electrolisis del agua	Registro	Elementos para el Análisis
Condiciones iniciales del sistema	<p>G1:“el agua tiene que ser pura”</p> <p>G2:“<u>el volumen en los tubos de ensayo es el mismo</u>”</p> <p>G4:“buretas llenas con agua sumergidas un poco en agua con ácido sulfúrico, conectadas a la pila de 9V, con alambre de cobre”</p>	<p>Describen cada uno de los factores que participan en el proceso: volúmenes de agua en las probetas, propiedades físicas de las sustancias y el montaje eléctrico.</p>
¿Qué le pasó al volumen de agua en los tubos de ensayo?	<p>G1:“El volumen del agua de uno de los tubos, disminuyó más respecto al otro”</p> <p>G2: “el volumen del agua en los tubos de ensayo disminuye a medida que pasa el tiempo”</p> <p>G3:“después de un cierto tiempo disminuye”</p> <p>G4:“El volumen del agua en los tubos de ensayo disminuyó en función del tiempo”.</p> <p>G5:disminuyó uno más rápido que el otro y formaron gas”</p>	<p>Observan las relaciones entre los volúmenes de los gases producidos considerando que el volumen del agua desplazada corresponde al volumen de gas formado. Pero aún no establecen proporciones entre los volúmenes desplazados.</p>

Considera que el agua se puede transformar en otras sustancias durante la electrólisis, ¿por qué?

G2: “Si ya que en eso consiste el laboratorio, en descomponer el agua a partir de la electrólisis y separar sus dos gases, oxígeno e hidrógeno”

G3: “Si, porque el agua deja de ser agua y se descompone en 2 gases: hidrógeno y oxígeno”

G4: “Si, ya que precisamente el proceso de la electrólisis consiste en separar los elementos de un compuesto, el agua en este caso”

Consideran que el agua se puede descomponer en sustancias más simples por medio de factores externos, pero no identifican cuáles son estos factores.

Proponga cuáles pueden ser las sustancias que desplazan al agua en cada uno de los tubos.

G2: “En un tubo se ubica el oxígeno en el otro el hidrógeno”

G3: “En 1 de los tubos se puede desplazar el oxígeno y en el otro el hidrógeno”

G4: “Las sustancias que desplazan al agua en cada uno de los tubos son los elementos que la componen, es decir, hidrógeno y oxígeno”

Tienen en cuenta las sustancias que iniciaron en el proceso para llegar a concluir que los gases obtenidos son hidrógeno y oxígeno, provenientes de la descomposición del agua.

¿Qué pasa cuando se acerca la astilla de madera en ignición a cada tubo? ¿Qué indica tal comportamiento?

G1: “hace que fluya más la energía”

G3: “en un tubo (el que almacena oxígeno) combustiona la llama y en el otro se apaga”

G4: “al acercar la astilla en ignición a los tubos, en el tubo 1 no sucede nada, mientras en el tubo 2 la llama se avivó. Esto indica que el tubo donde la llama crece es el que almacenó oxígeno.”

G7: “el cobre del cable del tubo No.1 se oxidó por la presencia de oxígeno,”

Identifican que las sustancias gaseosas que desplazan el agua en cada bureta son diferentes, a través de las observaciones que realiza.

	<u>mientras que el tubo No.2 no se oxido por la presencia de hidrógeno”</u>	
En todas las oportunidades que realizó la actividad, ¿observó el mismo comportamiento de las sustancias?	<p>G4:“Si, la sustancia reaccionaba de la misma manera, variando ligeramente en el tiempo que el agua era desplazada por las otras sustancias”</p> <p>G5:“Si, siempre se veía que salían burbujas y subían muy lento y la otra hacia burbujas más rápidas”</p>	Determinan que el agua se descompone, sin importar la variación de factores externos.

Tabla 6. Conclusiones de los estudiantes para la electrodescomposición del agua

GRUPO	CONCLUSIONES
1	<p>“Se concluyó que el lado positivo (+) disminuía el agua con más rapidez”</p> <p>“En la electrodescomposición los electrodos de grafito siguen igual, y no se descomponen”</p>
2	<p>“Mientras no agregamos ácido sulfúrico no hay ninguna reacción”</p>
3	<p>“La pipeta 2 tubo un mayor volumen de gas”</p> <p><u>“En la gráfica podemos observar que a mayor tiempo obtenemos mayor volumen, el hidrógeno ocupa mayor volumen comparado con el oxígeno”</u></p> <p>“Desprende el agua porque por que el lado positivo es como un imán y atrae la carga negativa de las moléculas y el lado negativo atrae las cargas positivas de las moléculas”</p> <p><u>“Gracias a este proceso se separan los átomos haciendo que en el lado positivo quede el oxígeno y en el lado negativo quede el hidrógeno”</u></p> <p>“Podemos identificar el oxígeno porque en el lado positivo llegó un punto en el que se nos oxidó el cable haciendo que el experimento dejará de funcionar”</p> <p>ECUACIÓN QUÍMICA: $2 \text{H}_2\text{O} (\text{l}) \longrightarrow 2 \text{H}_2 (\text{g}) + \text{O}_2 (\text{g})$</p>
4	<p>“Podemos concluir que el hidrógeno es menos denso ya que ocupa un mayor volumen que el hidrógeno”</p> <p>“El desprendimiento de burbujas es mayor en el lado negativo de las minas de grafito por lo tanto el hidrógeno es mayor”</p>

Análisis fase 1. Indagación sobre las relaciones y proporciones en una reacción química

Durante el proceso de descomposición del agua por electrólisis, los estudiantes observaron el fenómeno, en esta fase es importante identificar que ocurre una reacción química, donde a partir del agua en estado líquido se pueden obtener sus componentes en estado gaseoso, debido al paso de corriente en el sistema; y establecer que la relación entre los volúmenes de las sustancias obtenidas va a permanecer igual aun cuando se modifique la cantidad de agua o el tiempo durante el que transcurre la electrólisis.

Es importante la relación que hacen entre el volumen de agua desplazada y el tiempo en el que transcurre la reacción, en la mayoría de las observaciones notan que hay mayor desplazamiento de agua en las buretas, si el tiempo es mayor. Aunque en la mayoría de los casos no anotan que el desplazamiento en una de las buretas fue mayor que en la otra. Pero al observar las tablas y gráficas que realizan, empleando los volúmenes desplazados en cada bureta, si lo registran, lo que demuestra que aunque los estudiantes realizan observaciones y toman datos que emplean para realizar gráficas, no los relacionan en el transcurso de la actividad experimental, simplemente van realizando la actividad, sin plantearse ni cuestionarse el objetivo de la misma. Este comportamiento es normal pues es la primera incursión en la actividad experimental que el grupo realiza, se espera que los estudiantes a través de las diferentes actividades planteadas, desarrollen su capacidad para formular preguntas como parte del proceso que llevará a la comprensión del fenómeno.

También se nota mediante las siguientes observaciones escritas: *“Si, ya que precisamente el proceso de la electrólisis consiste en separar los elementos de un compuesto, el agua”* y *“Las sustancias que desplazan al agua en cada uno de los tubos son los elementos que la componen, es decir, hidrógeno y oxígeno”*, que la gran mayoría de los estudiantes comprenden que a través del proceso de la electrólisis, se van a obtener sustancias simples como el hidrógeno y el oxígeno, que son los elementos que constituyen el compuesto agua y que estas sustancias son las responsables del desplazamiento del agua en las buretas. Cuando escriben, *“el agua deja de ser agua”* tienen la noción de la existencia de un cambio químico, la mayoría reconoce que hay una descomposición, aunque no emplean el lenguaje especializado en “reacciones de descomposición”.

Solo un grupo llegó a concluir en cuál de las buretas el oxígeno desplazó el agua, empleando la prueba de la astilla en ignición, sin embargo unos grupos se basaron en otras cualidades para identificarlos como lo es formación de óxido o teniendo en cuenta la densidad de los gases, escriben “*el cobre del cable del tubo No.1 se oxidó por la presencia de oxígeno, mientras que el tubo No.2 no se oxido por la presencia de hidrógeno*”; otros no pudieron verificar en cual bureta se encontraba cada gas, lo que afecta que lleguen a establecer la relación entre oxígeno e hidrógeno producido durante el proceso.

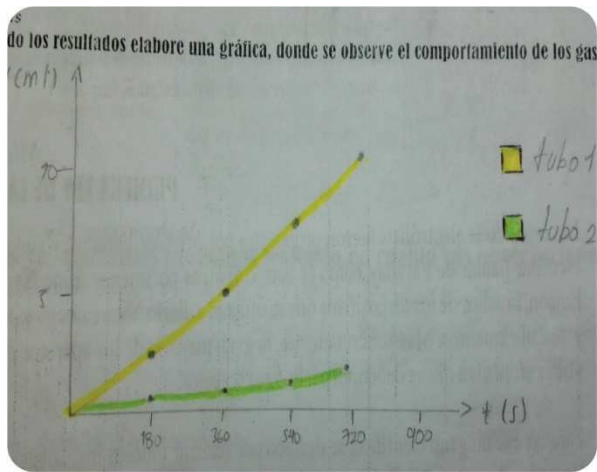
A partir de las gráficas (Figura 7) elaboradas por los estudiantes, se puede observar que el volumen de agua desplazado en uno de los tubos fue mayor con respecto al otro, aunque no se puede establecer una relación clara entre los volúmenes o cómo varían estos volúmenes con respecto al tiempo. A través de la gráficas elaboradas por cada uno de los grupos, se puede discernir que uno de ellos llega a establecer una relación 2:1 entre los volúmenes de los gases hidrógeno y oxígeno. En otras gráficas no se logra establecer con precisión esta relación ya que no permiten evidenciar claramente este comportamiento de proporcionalidad, aunque posibilitan concluir fácilmente que el volumen de agua desplazado es mayor en una de las dos buretas.

Conclusiones fase 1. Indagaciones sobre las relaciones y proporciones en una reacción química

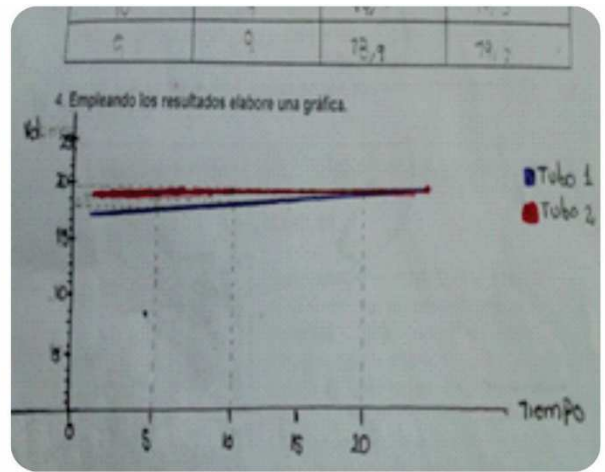
Dentro de la caracterización cuantitativa de las sustancias es indispensable que se logre interpretar el comportamiento discreto o discontinuo que presenta la materia, para ello el desarrollo de la electrodescomposición del agua brinda una forma de interpretar este comportamiento en el momento en que se obtienen los diferentes volúmenes de los gases de las sustancias que constituyen el agua: hidrogeno y oxígeno, al tener en cuenta que esta relación se mantiene independientemente del tiempo durante el que se realice la electrodescomposición

Las proporciones que se establecen entre los volúmenes de las sustancias gaseosas que constituyen el agua, se pueden establecer de manera cuantitativa a través de la observación y comparación de las relaciones que se presentan entre estos, con lo que se puede evidenciar de una

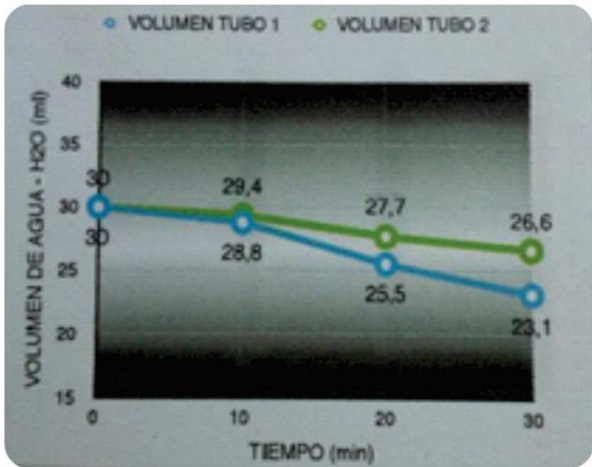
forma la discretización de la materia sin que se llegue al uso de ningún cálculo numérico, favoreciendo así su comprensión.



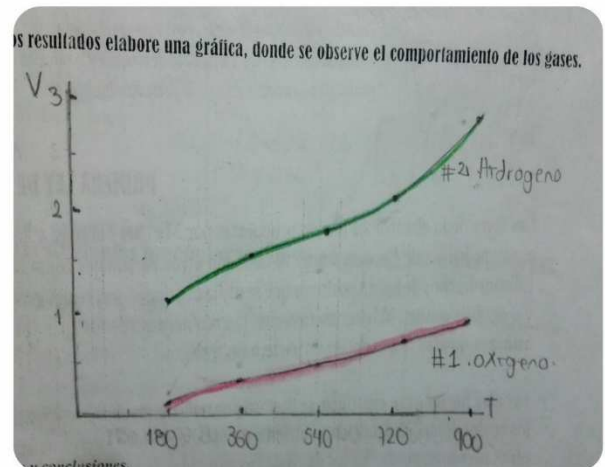
a. Grupo 3



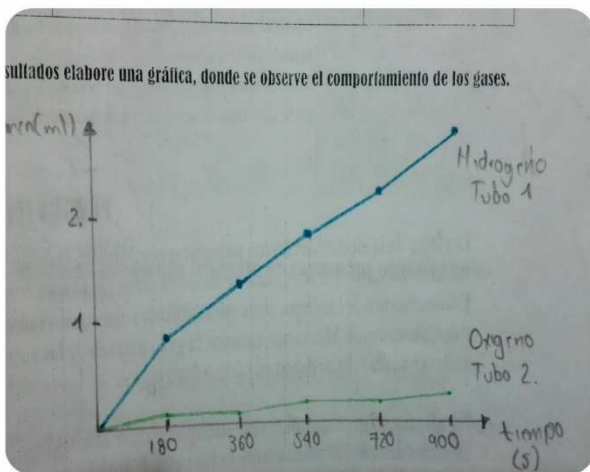
b. Grupo 5



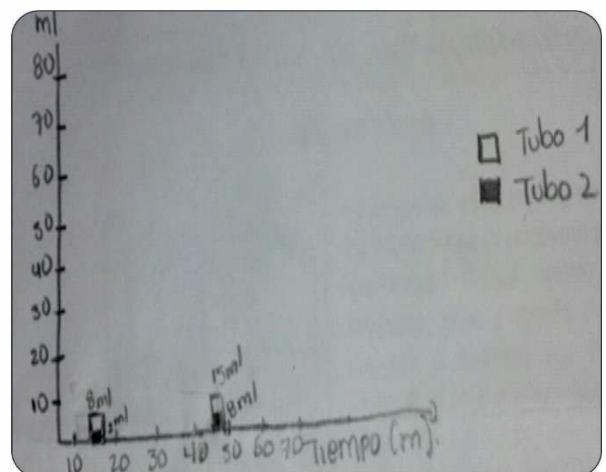
c. Grupo 6



d. Grupo 7



e. Grupo 8



f. Grupo 10

Figura 7. Gráficas elaboradas por los estudiantes de la electrodescomposición del agua

Resultados fase 2. Relación entre las masas de la sustancia obtenidas en diferentes reacciones químicas

Electrodescomposición del cloruro de estaño

El fenómeno de electrodescomposición del cloruro de estaño es realizado y observado por 11 grupos de estudiantes de acuerdo a las actividades y orientaciones dadas en el aula (Anexo 2), en la **Tabla 7** se presentan las descripciones cualitativas realizadas por cada uno de los grupos dando respuesta a los interrogantes planteados en la electrodescomposición del cloruro de estaño (SnCl_2) además de los elementos que se plantearon para su análisis. A continuación, en la **Tabla 8** se registran las conclusiones a las que llegan algunos de los grupos.

Tabla 7. Descripciones cualitativas de la electrodescomposición del SnCl_2

Electrolisis del SnCl_2	Observaciones	Elementos para el análisis
Condiciones iniciales del sistema	<p>G1: “Las minas de grafito están completas y <u>no están quebrantables</u>, la solución de SnCl_2 está limpia con un color blanco”</p> <p>G4: “El <u>cloruro de estaño estaba de color blanco cristalino</u>. Las minas de grafito estaban completas. La pila estaba conectada con las minas de grafito por medio de dos cables.”</p> <p>G6: “<u>50 mL de una solución de cloruro de estaño (líquido blanco) en el vaso de precipitado, conectados por medio de los electrodos de grafito y los cables de cobre a la batería de 9v y al amperímetro.</u>”</p> <p>G8: “La solución era blanca y el grafito no presentaba ningún cambio”</p> <p>G10: “un vaso de precipitado, con una solución de SnCl_2, con una batería de 9V”</p>	Describen las propiedades físicas iniciales de cada una de las sustancias que forman parte del montaje: solución de cloruro de estaño, electrodos de grafito, que sirven como base para observar los cambios transcurridos.
Describe lo ocurrido en el transcurso de la reacción.	<p>G6: “Se produce desprendimiento de un gas por medio de burbujas, la solución pierde progresivamente el color blanco y</p>	Reconocen que el cloruro de estaño se descompone por el paso de la corriente eléctrica al

	<p>aparece un sólido de color gris que se acumula en el fondo del vaso”</p> <p>G7: “Por las minas pasa electricidad y se inicia a descomponer el cloruro de estaño”</p> <p>G8: “Empezaron a salir burbujas alrededor del grafito, y el cloruro de estaño se empieza a descomponer y el grafito que está conectado al lado negativo atrae el estaño el cual se adhiere al grafito”</p> <p>G10: “cada que iban pasando los minutos, el grafito iba soltando sustancia negra”</p>	<p>observar la formación de sustancias sólidas y gaseosas.</p>
<p>¿Qué ocurre en torno de los electrodos de grafito?</p>	<p>G2: “De acuerdo a la electricidad producida se atrae el estaño”</p> <p>G3: “Por medio de la electricidad comienza a atraer el estaño”</p> <p>G4: “A las minas de grafito se les iba incorporando una sustancia de color grisáceo”</p> <p>G5: “En torno a las minas de lápiz, alrededor de las minas había una sustancia de color gris y la otra no”</p> <p>G6: “Cátodo: a su alrededor es donde se produce el sólido que inicialmente se encuentra adherido al grafito y luego se va al fondo. Ánodo: en su entorno se produce la formación de burbujas (desprendimiento de gas)”</p> <p>G8: <u>“Anodo: libera burbujas. Catodo: atrae el estaño y se forma un deposito metalico”</u></p>	<p>Determinan que los electrodos son los sitios donde ocurren los cambios del cloruro de estaño en solución, notan que las características observadas en cada uno son diferentes y por tanto el proceso que se da en cada uno no es igual.</p>
<p>Proponga cuáles pueden ser las sustancias que se forman en cada uno de los electrodos.</p>	<p>G1: “La sustancia que se produce es estaño”</p> <p>G2: “Estaño”</p> <p>G3: “Estaño”</p> <p>G4: “Cloruro. Estaño”</p> <p>G6: “Cátodo: Estaño. Ánodo: Cloro”</p> <p>G8: “Anodo: Cl₂. Catodo: Estaño”</p> <p>G11: “se forma cloro y estaño”</p>	<p>Establecen con seguridad que las sustancias que se forman de la descomposición del cloruro de estaño son: estaño y cloro.</p>

Describe las propiedades de las sustancias que se forman.	<p>G1: " El estaño formado es de un color plateado brillante en estado sólido"</p> <p>G2: "Color gris, el cloruro de estaño pasa de estar blanco a un color gris oscuro"</p> <p>G4:"en su forma natural es sólido. Un elemento químico de color gris plateado brillante"</p> <p>G8: "Que el cloro es gas. el estaño es sólido y de color gris. Cloro transparente".</p>	Identifican que al final del proceso de la electrólisis del cloruro de estaño se obtienen dos sustancias diferentes, pues se observa que las propiedades físicas de los productos no son iguales y que además coinciden con las propiedades del estaño y del cloro.
---	---	---

Tabla 8. Conclusiones de la electrodescomposición del SnCl_2

GRUPO	CONCLUSIONES
1	<p>"Al hacerse reaccionar los electrodos de grafito con la solución de cloruro de estaño podemos ver como se forma estaño y unas burbujas"</p> <p>"Entre más intensidad eléctrica se tenga menor va a ser el tiempo de <u>Electrodescomposición del estaño</u>"</p> <p>"Podemos deducir las siguiente ecuación del proceso: $\text{SnCl}_2 \rightarrow \text{Sn} + \text{Cl}_2$"</p>
2	<p><u>"A mayor electricidad, mayor sustancia"</u></p> <p>"Después de la disolución se deduce que las sustancias formadas son estaño y cloro"</p> <p>"Al pasar el tiempo de reacción salían burbujas, esto por la corriente eléctrica"</p>
3	<p>" sustancias formadas = $\text{Cl}_2 + \text{Sn}$"</p> <p>"$\text{Cl}_2 \text{ Sn} \rightarrow \text{Cl}_2 + \text{Sn}$"</p> <p>"El tiempo es proporcional a la cantidad de estaño producida"</p> <p>"Entre más electricidad, mayor producción de estaño"</p> <p>"tiempo, cantidad de electricidad"</p> <p>"Se relacionan de acuerdo el tiempo y electricidad"</p>
4	<p><u>"A mayor cantidad de electricidad, se produce mayor sustancia, esta puede ser variable"</u></p> <p>"Al cabo de cierto tiempo se aparecio el desprendimiento de burbujas y la aparición final de estaño"</p>
5	<p>"Entre más intensidad eléctrica se tenga menor va a ser el tiempo de electrodescomposición del estaño"</p> <p>"Al realizar el experimento obtuvimos: $\text{SnCl}_2 \rightarrow \text{Sn} + \text{Cl}_2$"</p> <p>"Al hacer reaccionar los electrodos de grafito con la solución de cloruro de estaño podemos ver como el estaño se separa del cloro"</p>

-
- 6 “De acuerdo a las propiedades que se observaron de las sustancias que se forman y una manera de identificarlas es:
Estaño: sólido a temperatura ambiente, se puede identificar por su color gris plateado y levemente brillante, es más denso que el agua y el cloro, por lo que en la reacción de descomposición, al separarse del cloro y el agua usada en la solución se almacena en el fondo del vaso de precipitado”
Cloro: gas a temperatura ambiente, pero ampliamente solubles en agua. Se identifica por un color amarillento verdoso observable en las burbujas desprendidas que se liberaron al medio en forma de gas y en la solución acuosa residual de la reacción de descomposición”
la ecuación química que representa lo observado en esta actividad experimental es:
$$\text{SnCl}_2 \rightarrow \text{Sn} + \text{Cl}_2$$

“Entre el tiempo de electrodescomposición y la cantidad de estaño obtenido, puede establecerse una relación relativamente proporcional, despreciando el margen de error en la medición de la masa, puede decirse que a medida que transcurre el tiempo, la cantidad de sustancia (estaño) obtenida en la descomposición es mayor.
Entre la cantidad de electricidad y la cantidad de estaño producida existe la misma relación que con el tiempo, ya que la intensidad de la corriente es constante, la cantidad de electricidad aumenta en función del tiempo, al igual que la masa de estaño que se obtiene”.
“Según lo anterior, los factores que influyen en la obtención de estaño a partir del cloruro de estaño además de la cantidad inicial de este, son el tiempo y la intensidad de la intensidad de la corriente, al variar al menos uno de estos dos factores la cantidad de electricidad también se vera afectada en un aumento o disminución y por tanto, también la cantidad de masa obtenida de estaño”.
- 8 “La cantidad de estaño obtenida depende de la cantidad de electricidad”
“A mayor tiempo mayor producción de estaño”
“Para obtener mayor cantidad de Estaño depende de la cantidad de electricidad que circula a través de la pila electrica; de la masa equivalente de la sustancia que forma el electrólito.
“Ecuación Química”
“Ánodo: $2\text{Cl}^- - 2e = \text{Cl}_2$ (gas)”
“Cátodo: $\text{Sn}^{2+} + 2e = \text{Sn}$ (s)”
- 9 “llegamos a la conclusion de establecer relaciones entre cantidad de estaño obtenido entre la electrodescomposición de cloruro de estaño y la cantidad de la corriente que atraviesa el sistema”
- 11 “mediante dos procesos con diferentes sustancias llegamos a obtener compuestos y gases en diferentes cantidades.
“El tiempo y la C. de E. aplicada influye en la cantidad de sustancia que deseamos obtener
-

Reacción de cobre y zinc en sulfato de cobre

En la **Tabla 9** se registran las observaciones hechas por los estudiantes sobre las cualidades de la reacción de zinc y cobre utilizando como electrolito una disolución de sulfato de cobre (Cu_2SO_4), posteriormente se consignan en la **Tabla 10** las conclusiones a las que llegan algunos grupos.

Tabla 9. Descripciones cualitativas de la reacción cobre –zinc

Reacción Zn-Cu	Observaciones	Elementos de análisis
Propiedades físicas de la lámina de Zn	<p>G1: <u>“Peso: 0,1g. Color: plateada. Delgada”.</u></p> <p>G2: <u>“Peso: 0,1g. Color: plateado”.</u></p> <p>G4: “color blanca azulado con brillo metálico. Quebradizo a temperatura ambiente”</p> <p>G5: “peso: plateado. Color: plateado. Delgada”.</p> <p>G8: “Metal plateado, de brillo metálico. Peso 1,4g”.</p>	Identifican propiedades físicas de la lámina de Cu y Zn (color, masa inicial) para determinar si presentan algún cambio al finalizar el proceso de electrólisis.
Propiedades físicas de la lámina de Cu	<p>G1: <u>“Peso: 1g. Color: marron. Delgada”</u></p> <p>G4: “color rojizo. Son maleables. Posee brillo metálico. Buen transportador de electricidad”</p> <p>G11: <u>“La lamina de Cu estaba de color dorado”</u></p>	
¿Qué cambios observó en la lámina de Zn durante el proceso?	<p>G1: “Tuvo un cambio de color, y de dureza, se volvió más <u>quebrantable</u>”</p> <p>G2: <u>“La lamina fue disuelta en sulfato de cobre la cual cambio a un color más oscuro”</u></p> <p>G3: “la sustancia CuSO_4 empieza a deshacer la lámina”</p> <p>G8: <u>“Comienza a cubrirse de una capa negra y al sacarla del sulfato de cobre esa capa negra cogia un color rojizo”.</u></p> <p>G10: “La lamina de zinc se iba descomponiendo y cambio de color”</p>	Establecen diferencias entre las características iniciales de la lámina de Zn y su estado al final del proceso, concluyendo que ha ocurrido un cambio químico debido a la reacción con el sulfato de cobre.

¿Qué cambios observó en la lámina de Cu durante el proceso?	<p>G1: “No hubo ningún cambio”</p> <p>G2: “permaneció en condiciones normales”</p> <p>La mayoría de los grupos coincidieron en esta observación</p>	Verifican que la lámina de cobre no sufre ningún cambio químico durante el transcurso de la reacción.
¿Qué cambios observó en el CuSO ₄ durante el proceso?	<p>G1: “Paso de un color más oscuro o un color más claro, además quedo con partes de cobre”</p> <p>G3: “mientras se desprendiendo el Zn produciendo Cu”</p> <p>G8: “perdió color levemente”</p>	Al comparar la tonalidad de la solución de Sulfato de cobre asimilan que ha disminuido la cantidad de este dentro del sistema y la aparición de cobre.

Tabla 10. Conclusiones elaboradas en Cu-Zn

GRUPO	CONCLUSIONES
1	<p>“ Al hacer el experimento obtuvimos la siguiente ecuación química: $CuSO_4 + Zn \rightarrow Cu + ZnSO_4$ <u>“La cantidad de sustancia es directamente proporcional al tiempo y a la cantidad eléctrica”</u> “Al sacar las laminas de la solución de sulfato de cobre y dejarlos secar, la lamina de Zinc cambio de color mientras que la lamina de cobre no tubo ninguna reacción excepto en su peso”</p>
2	<p>“En los diferentes tiempos la intensidad es igual” <u>“La cantidad de Cu deriva de la cantidad de corriente”</u></p>
3	<p>“La sustancia de CuSO₄ es un ácido ya que cuando se sumergen ambas laminas se produce un desprendimiento de burbujas, es decir el voltaje de ambos electrodos aumentó por lo cual del Zn se produce Cu” $CuSO_4 \rightarrow Cu + SO_4$ “la intensidad es la misma en distintos tiempos” <u>“la cantidad de Cu obtenido es proporcional a la cantidad de corriente”</u> “Por la intensidad de corriente, tiempo y cantidad de sustancia utilizada”</p>
4	<p><u>“La cantidad de electricidad determina la cantidad de sustancias, porque a mayor cantidad de electricidad, mayor es la masa de la sustancia”.</u> “La lámina de cobre no experimentó ningún cambio, sus condiciones finales son iguales a las iniciales, por que el cobre o se produce al rededor de la lámina de zinc” “ Al reaccionar el sulfato de cobre con el zinc, se descompone produciendo cobre teniendo en cuenta factores como el tiempo, la cantidad de corriente obteniendo la cantidad de sustancia”</p>
5	<p>“Al sacar las láminas de la solución de sulfato de cobre y luego las dejamos secar, la lámina de cobre obtuvo un cambio que fue pasar de color marrón oscuro y en determinado tiempo a color claro”.</p>

	<p>“El peso del Zin cambio”</p> <p>“Del experimento realizado pudimos concluir la siguiente ecuación: $CuSO_4 + Zn \rightarrow Cu + ZnSO_4$”</p> <p>“la cantidad de sustancia es directamente proporcional al tiempo y a la cantidad de electricidad”.</p>
8	<p>“A mayor tiempo y mayor cantidad de electricidad mayor cantidad de cobre se produce”</p> <p>“Aquí el polo negativo es la lamina de zinc y el polo positivo es la lamina de cobre”</p> <p>“Los resultados dependen de la cantidad de electricidad”</p> <p>Ecuación</p> <p>Catodo: $Cu^{++} + 2e^- \rightarrow Cu^0$</p> <p>Ánodo: $SO_4^{--} - 2e^- \rightarrow SO_4^0$</p>
9	<p>“El Zin si tiene cambio químico pero el cobre no le sucede nada”</p> <p>“Es necesario suministrar al sistema una corriente electrica para producir un cambio químico”</p>
10	<p>“El tiempo q` se dio para realizar el experimento fue muy poco, pero con la intensidad de corriente q` tenia era muy buena para realizar este proceso”.</p> <p>“Que la masa de cobre es muy dura y no le pasaba nada durante el proceso”</p> <p>“Se pueden relacionar, por que en todos los experimentos, los elementos que utilizabamos para hacerlo empezaban a soltar una sustancia negra igual que en la electrólisis del agua”.</p>

Análisis fase 2. Relación entre las masas de la sustancia obtenidas en diferentes reacciones químicas

Cuando se le pide a los estudiantes que describan las propiedades iniciales de un sistema o una sustancia, se fijan principalmente en el estado, el color y la masa, debido a que son las propiedades que se determinan con mayor facilidad y de las que pueden expresarse mejor: “*La lamina de Cu estaba de color dorado*”. Es muy usual que empleen la palabra peso para referirse a la masa, “*Peso: 0,1g*”, el cual es un error que surge de emplear en el contexto cotidiano la palabra “peso” al realizar mediciones de la cantidad de materia, lo que permite ver la influencia que tiene la interacción con el entorno en la forma como los estudiantes se expresan.

Por otro lado, al no conocer el vocabulario empleado para hablar de otras propiedades utilizan expresiones como “*no están quebrantables*”, o “*se volvió más quebrantable*”, para referirse a la facilidad con la cual la sustancia se rompe, lo que en primera instancia podría generar cierta confusión cuando comuniquen sus observaciones a otras personas. Claro está, que con estas

observaciones iniciales, en especial basadas en el color, los estudiantes pueden concluir que las sustancias cambiaron durante el proceso, por ejemplo el zinc que empezó como “*Color: plateado*” cambia a “*La lámina fue disuelta en sulfato de cobre la cual cambió a un color más oscuro*”.

Las observaciones de las condiciones iniciales del sistema realizadas en la electrodescomposición del cloruro de estaño (Figura 8): “*cloruro de estaño estaba de color blanco cristalino; “solución de cloruro de estaño (líquido blanco)”*”, contrastadas con las observaciones de la descripción del proceso: “*Se produce desprendimiento de un gas por medio de burbujas, la solución pierde progresivamente el color blanco y aparece un sólido de color gris que se acumula en el fondo del vaso*” permiten evidenciar que los estudiantes reconocen que en este tipo de proceso se obtienen sustancias diferentes a la sustancia inicial. Este tipo de respuestas llevan al estudiante a plantear ideas más arriesgadas en cuanto a las sustancias que se forman y el lugar en donde aparecen estas sustancias: “*Cátodo: Estaño. Ánodo: Cloro*”.

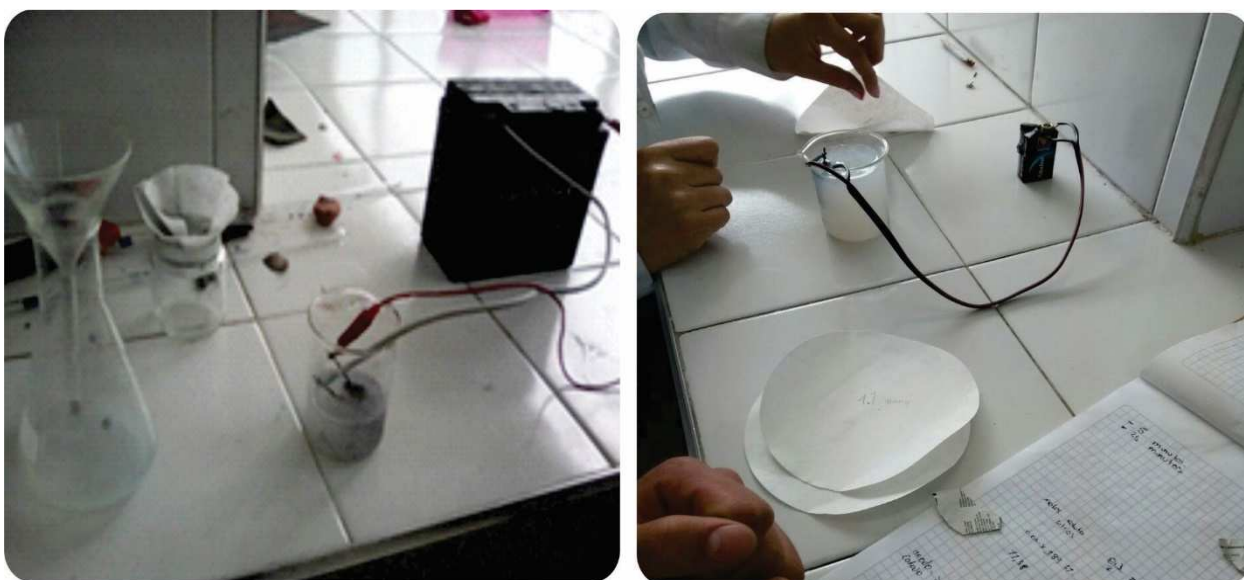


Figura 8. Electrodescomposición del cloruro de estaño

En la reacción de electrodeposición del sulfato de cobre, la descripción de las propiedades físicas de las láminas de Zinc: “*Color: plateado. Delgada*”; “*Metal plateado, de brillo metálico*” y del cobre: “*Color: marrón. Delgada*”; “*color rojizo. Son maleables. Posee brillo metálico*”, contribuyen en la comprensión de cambio químico al ser comparadas con las descripciones de las propiedades que se observan durante el transcurso del proceso de cada una de ellas, referidas

así: “la lámina de Zinc comienza a cubrirse de una capa negra y al sacarla del sulfato de cobre esa capa negra cogia un color rojizo” y en la lámina de cobre “No hubo ningún cambio”, demanda al estudiante plantearse cuáles de las sustancias son las que intervienen en la reacción (Figura 9). De igual manera, al fijar su observación en el color inicial de la solución, tanto en el proceso de electrodescomposición del cloruro de estaño como en el proceso de electrodeposición del cobre, con respecto a la coloración final “Paso de un color más oscuro o un color más claro”, lleva a los estudiantes a realizar hipótesis como: “la sustancia (CuSO_4) está desapareciendo a medida que se forma la otra”.

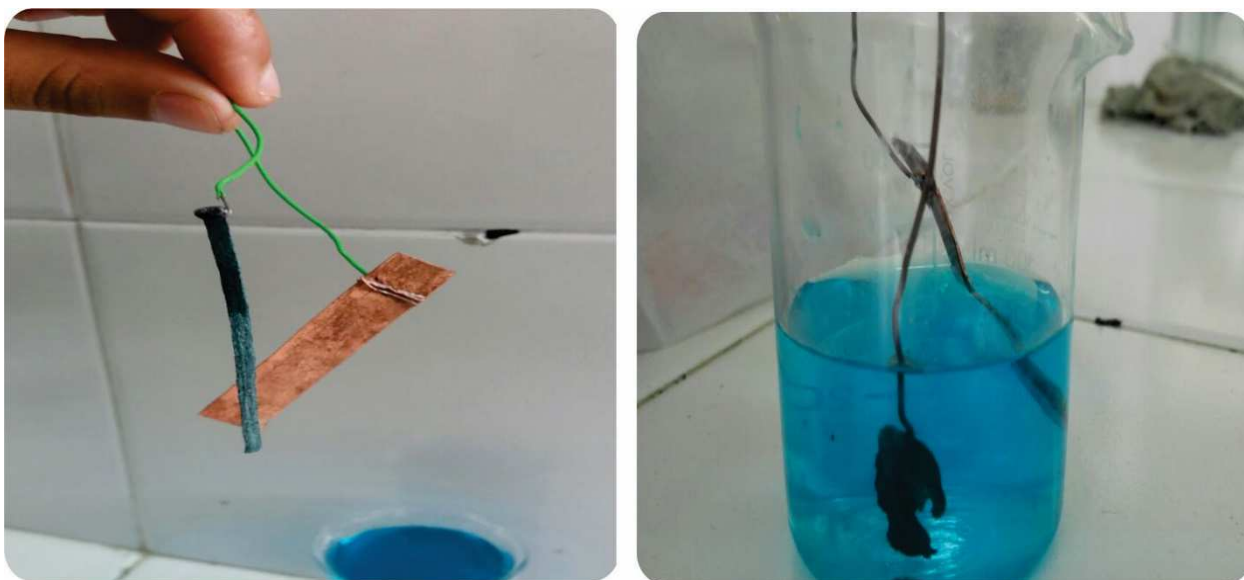
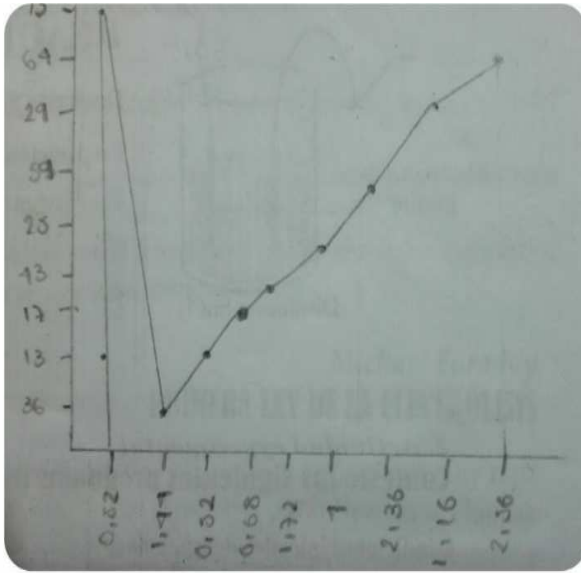


Figura 9. Reacción Cu-Zn, electrolito Cu_2SO_4

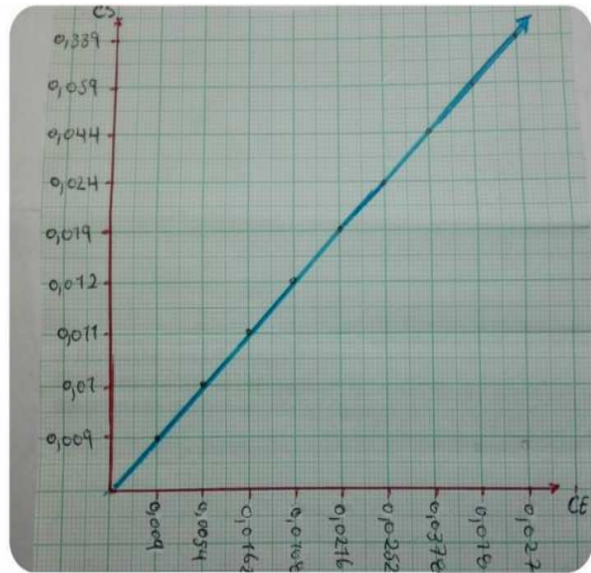
El proceder de los estudiantes al describir e interpretar el fenómeno a partir de lo observado, aunque hasta el momento parte de las percepciones de los cambios cualitativos, es claro que a partir de estas, inician la percepción del cambio químico y sus implicaciones cuantitativas.

Estas observaciones de carácter cualitativo y el realizar gráficas (Figuras 8 y 9) empleando los datos obtenidos en procesos de medición de tiempos, masas e intensidad de la corriente, en cada una de las actividades experimentales, llevan a los estudiantes a establecer conclusiones en torno a la relación de proporcionalidad que hay entre estas características, lo que demuestra comprensión y evidencia el inicio del proceso de formalización del fenómeno, pues hablan de este empleando un lenguaje un poco más acorde al proceso observado. Establecen relaciones entre el tiempo y la intensidad de la corriente, tiempo y cantidad de electricidad, cantidad de

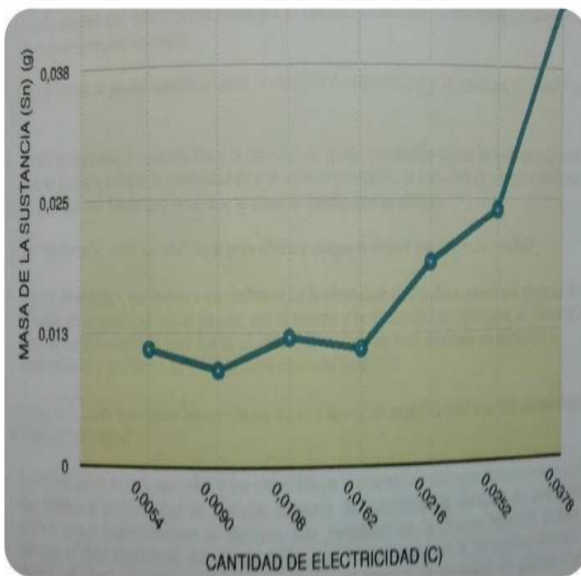
electricidad y masa de sustancia obtenida. Así se encuentran afirmaciones sobre la electrodescomposición del cloruro de estaño como: *“Entre más intensidad eléctrica se tenga menor va a ser el tiempo de Electrodescomposición del estaño”*, *“A mayor electricidad, mayor sustancia”*, *“A mayor cantidad de electricidad, se produce mayor sustancia, esta puede ser variable”*, *“Entre el tiempo de electrodescomposición y la cantidad de estaño obtenido, puede establecerse una relación relativamente proporcional, despreciando el margen de error en la medición de la masa, puede decirse que a medida que transcurre el tiempo, la cantidad de sustancia (estaño) obtenida en la descomposición es mayor”*. En el caso de la electrodeposición de cobre, se observan la misma clase de conclusiones: *“La cantidad de sustancia es directamente proporcional al tiempo y a la cantidad eléctrica”* y *“la cantidad de Cu obtenido es proporcional a la cantidad de corriente”*; la gran mayoría de los estudiantes llega a abordar sólo el primer nivel para comprender la categoría de equivalencia, el cual se establece al plantear relaciones de proporcionalidad entre diferentes cualidades del fenómeno dado que llegar a esa categoría requiere un trabajo continuo.



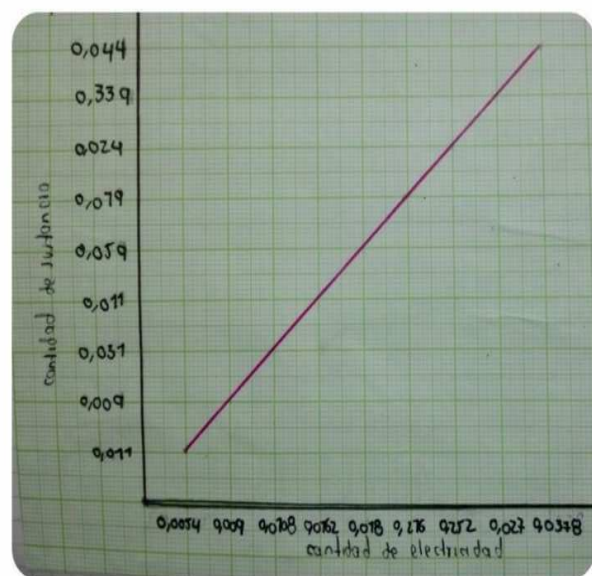
a. Grupo 1



b. Grupo 8



c. Grupo 6



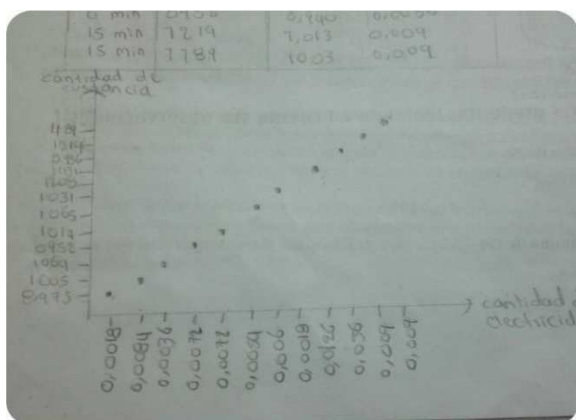
d. Grupo 7

Figura 10. Gráficas elaboradas por los estudiantes de la obtención de estaño

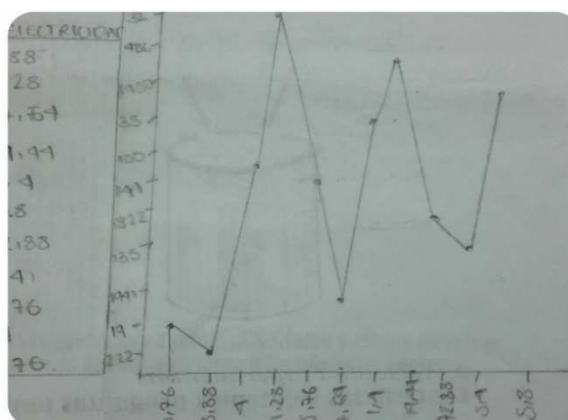
Llegar a establecer esta clase de relaciones permite a los estudiantes predecir el comportamiento de las sustancias producidas si se varía el tiempo, la intensidad de la corriente o la cantidad de electricidad, pues saben que el comportamiento se mantendrá de acuerdo a las relaciones formuladas. Esta clase de pensamiento lleva a comprender mejor la categoría de equivalencia y

cimiento las bases del campo problemático de la estequiometría, pues uno de los problemas que poseen los estudiantes en este campo problemático es el de no establecer relaciones claras entre las magnitudes (masa, volumen) de las sustancias que participa en una reacción química; cuando a través del análisis e interpretación de las cualidades llegan a establecer relaciones de equivalencia les permite comprender el comportamiento discreto de la materia y a la vez discernir que este se mantiene constante sin llegar únicamente a resultados matemáticos que no poseen algún sentido químico para ellos.

Figura 11. Gráficas de la obtención de cobre elaboradas por los estudiantes



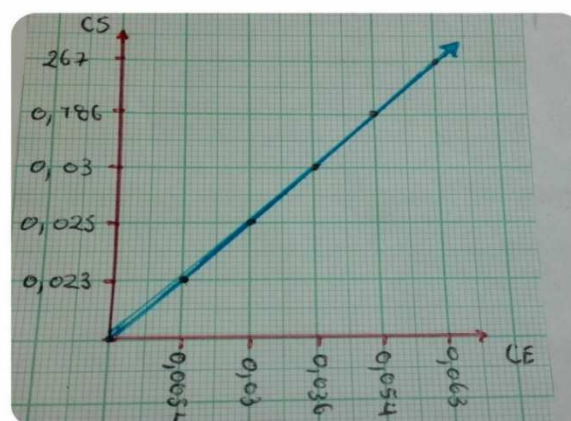
a. Grupo 5



b. Grupo 10



c. Grupo 6



d. Grupo 1

Es importante que los estudiantes empleen signos o símbolos para representar lo que observan, al concluir que en las dos actividades experimentales suceden cambios químicos, teniendo en cuenta observaciones realizadas anteriormente, se valen de ecuaciones químicas para representar los procesos, pasan así del mundo tangible al representacional, identifican sustancias reaccionantes

y sustancias producidas. En todos los grupos llegan a formular esta clase de modelos, como se puede observar en las conclusiones.

Conclusiones fase 2. Relación entre las masas de sustancia obtenidas en diferentes reacciones químicas

En la implementación de las actividades experimentales de esta fase, se consigue utilizar estrategias aditivas y de correspondencia para que se comprenda la relación de proporcionalidad que se puede establecer entre la cantidad de sustancia obtenida y la cantidad de electricidad empleada durante cada uno de los procesos, sin dejar a un lado la cualificación de lo que ocurre en el fenómeno.

Al organizar y analizar los resultados obtenidos en estas dos actividades experimentales: electrodescomposición del cloruro de estaño y la reacción entre el cobre y el zinc en disolución de sulfato de cobre, se brindan fundamentos para establecer la equivalencia, pues permite plantear comparaciones y relaciones entre las sustancias, tanto en el comportamiento químico como entre las masas de las diferentes sustancias obtenidas y la cantidad de electricidad.

Resultados fase 3. Elaboración de la categoría de equivalencia

Comparación de procesos: diagrama de Venn

Con el fin de establecer relaciones a las tres actividades experimentales: electrodescomposición del agua, electrodescomposición del cloruro de estaño y reacción de Cu-Zn en disolución de sulfato de cobre, los estudiantes elaboran diagramas de Venn (Figura 10) donde determinan aspectos a los tres procesos **Tabla 11**; aspectos comunes entre la electrodescomposición del agua y el estaño **Tabla 12**, electrodescomposición del agua y la reacción de cobre - zinc **Tabla 13** y los elementos entre la descomposición del cloruro de estaño y la reacción de cobre - zinc **Tabla 14**.

Tabla 11. Elementos comunes dados por los estudiantes en las tres experiencias

Grupo	Conclusiones
4	“entre mayor cantidad eléctrica, mayor cantidad de sustancia”
6	“la cantidad de sustancias obtenidas varía en función del tiempo de reacción y la intensidad de la corriente (cantidad de electricidad)”

7	“a mayor tiempo mayor cantidad de sustancia obtenida”
8	“a mayor cantidad de electricidad, mayor cantidad de sustancia se obtiene”

Tabla 12. Elementos comunes: electrodescomposición del agua - electrodescomposición del cloruro de estaño

Grupo	Conclusiones
4	“se utilizaron electrodos de grafito, a través de una cantidad de electricidad, obteniéndose así un cambio de los grafitos”
6	“la intensidad de corriente era provista por una pila externa de 9 voltios para que se lleve a cabo la reacción de descomposición” “requería el uso de electrodos de grafito”
7	“que ambos experimentos la cantidad de sustancia, el volumen dependen del tiempo”
8	“se le suministra energía por medio de una batería”

Tabla 13. Aspectos comunes: electrodescomposición del agua - Reacción Cu-Zn

Grupo	Conclusiones
7	“para ambas se necesitaba corriente”
8	“el ánodo atrae las sustancias que contienen oxígeno”
9	“suministra en el sistema una corriente eléctrica para producir un cambio químico”

Tabla 14. Aspectos comunes: electrodescomposición del cloruro de estaño - Reacción Cu-Zn

Grupo	Conclusiones
6	“se producen sustancias sólidas”
7	“la relación es que en ambos, el lado negativo fue el que atraía las sustancias”
8	“cátodo atrae el sólido”

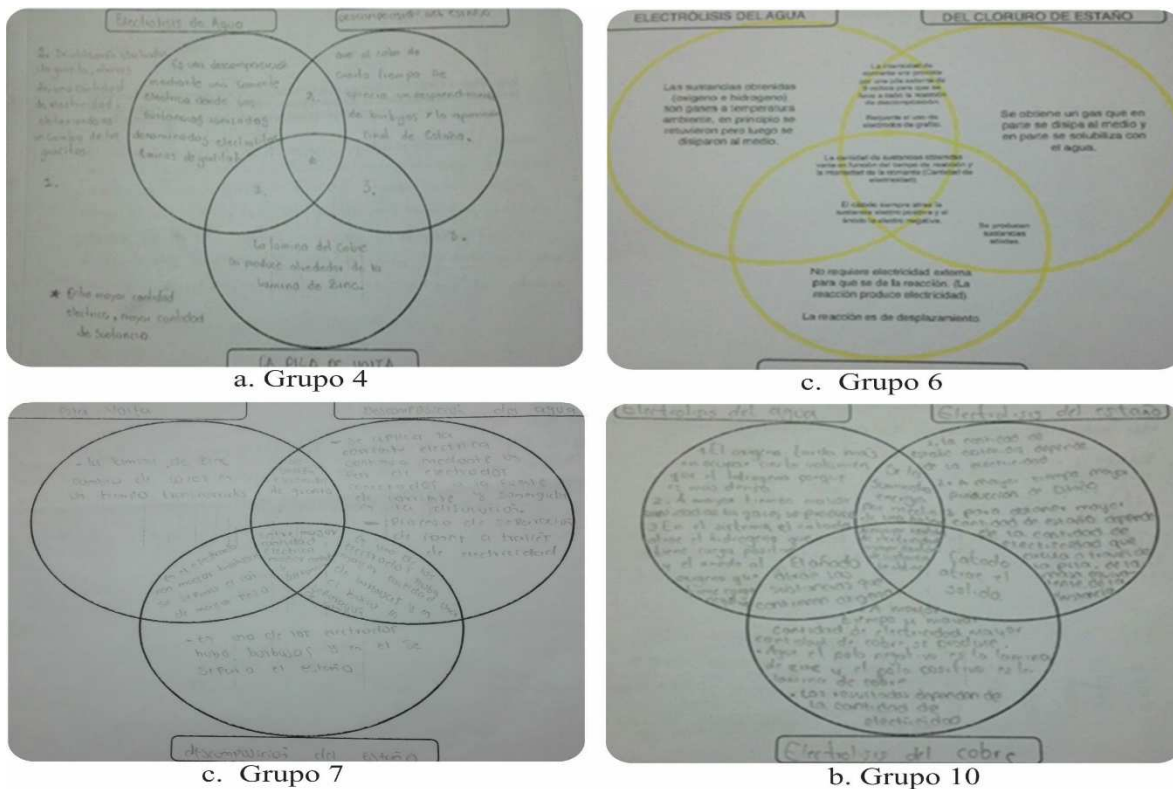


Figura 12. Diagramas de Venn elaborados por los estudiantes

Análisis fase 3. Elaboración de la categoría de equivalencia

A partir de las afirmaciones realizadas por los grupos en el diagrama de Venn, se observa que los estudiantes relacionan en las tres experiencias (electrólisis del agua, electro-descomposición del cloruro de estaño y la pila de volta) la cantidad de electricidad con la cantidad de sustancia que se forma al escribir: *“la cantidad de sustancias obtenidas varía en función del tiempo de reacción y la intensidad de la corriente (cantidad de electricidad)”*, a través de esta afirmación están estimando que la cantidad de sustancia que se forma se ve influenciada por un factor externo, en este caso la cantidad de electricidad que se suministra o que genera el sistema; en cuanto a las observaciones comunes entre la experiencia de la electrólisis del agua y la electro-descomposición del cloruro de estaño identifican las características de los procesos de descomposición de las sustancias por electrólisis como: los electrodos utilizados *“requería el uso de electrodos de grafito”* y la necesidad de utilizar una fuente que suministre al sistema la energía necesaria para la descomposición: *“la intensidad de corriente era provista por una pila externa de 9 voltios para*

que se lleve a cabo la reacción de descomposición”; establecen de esta forma condiciones para que se lleve a cabo un proceso de este tipo.

En el caso de la electrólisis del cloruro de estaño y la pila de Volta llegan a la misma observación en cuanto al estado de la sustancia formada: *“se producen sustancias sólidas”*; Otra afirmación que llama la atención es: *“cátodo atrae el sólido”*, pues permite ver que aunque observan que en uno de los electrodos se forma una sustancia, no relacionan a ésta con el carácter químico positivo que posee, y que es la razón para ser *“atraída”* por el electrodo negativo, como lo son las sustancias formadas en torno al cátodo, estaño y cobre, para la electrodescomposición del cloruro de estaño y electrodeposición de cobre, respectivamente. También es importante resaltar que un grupo determinó que los procesos de electrólisis son cambios químicos que se producen con la influencia de la corriente eléctrica: *“suministra en el sistema una corriente eléctrica para producir un cambio químico”*.

Conclusiones generales a partir de las series de actividades experimentales

Durante la implementación de la serie de actividades experimentales se evidencia que los estudiantes avanzaron en los siguientes aspectos:

- Aumento de las observaciones realizadas al describir las condiciones iniciales: al hablar de la electrólisis del agua, parece que no les es importante el uso de una batería, solo un grupo lo escribe, pero al observar las anotaciones de la electrodeposición del cloruro de estaño, la gran mayoría habla de la presencia de la fuente para que el proceso se realice. Además emplean descripciones más detalladas, por ejemplo, en la primera práctica solo mencionan que: *“el volumen en los tubos de ensayo es el mismo”*, en la siguiente actividad son más específicos en este punto, encontrando varias anotaciones como: *“50 mL de una solución de cloruro de estaño (líquido blanco) en el vaso de precipitado, conectados por medio de los electrodos de grafito y los cables de cobre a la batería de 9v y al amperímetro”*.
- Sobre el comportamiento discreto, al observar el fenómeno de la electrólisis del agua, llegan a concluir que hay una relación entre los volúmenes de los gases obtenidos, que

se mantiene aunque se varíen condiciones como el tiempo o la cantidad de corriente, lo que les permite verificar que los compuestos siempre están conformados por la misma proporción de cada una de las sustancias simples que los conforman, aunque no llegan a especificar dicha relación en proporciones numéricas lo evidencian de forma cualitativa al comparar el volumen del gas hidrógeno con respecto al oxígeno *“El desprendimiento de burbujas es mayor en el lado negativo de las minas de grafito por lo tanto el hidrógeno es mayor”* y en la siguiente observación hecha por uno de los grupos: *“Si, siempre se veía que salían burbujas y subían muy lento y la otra hacia burbujas más rápidas”*

- Empleo del lenguaje especializado cuando pasan de *“Gracias a este proceso se separan los átomos haciendo que en el lado positivo quede el oxígeno y en el lado negativo quede el hidrógeno”*, a establecer *“Anodo: libera burbujas. Catodo: atrae el estaño y se forma un depósito metálico”*. Lo anterior evidencia que emplean el lenguaje específico de la electroquímica para referirse al fenómeno.
- Desarrollo de las prácticas: aunque este aspecto no se evidencia en los registros que realizan, se notó progreso en el uso de instrumentos de medición como la balanza y el voltámetro, lo que es fundamental en el momento de registrar las cualidades del fenómeno que se estudia y lograr su mejor comprensión.
- Establecer relaciones: el proceso de análisis de los resultados de las diferentes experiencias llevó a los estudiantes a entender los cambios químicos tanto desde la parte cualitativa como la cuantitativa, permitiéndole establecer relaciones que muestran que la cantidad de sustancia que se produce en cada una de las reacciones depende de otros factores: *“En la gráfica podemos observar que a mayor tiempo obtenemos mayor volumen, el hidrógeno ocupa mayor volumen comparado con el oxígeno”*, *“La cantidad de estaño obtenida depende de la cantidad de electricidad”*, *“La cantidad de electricidad determina la cantidad de sustancias, porque a mayor cantidad de electricidad, mayor es la masa de la sustancia”* o *“La cantidad de Cu deriva de la cantidad de corriente”*, entre otras.
- Comprensión del concepto de cambio químico: durante el desarrollo de las experiencias se observa que los estudiantes realizan mejor descripción del proceso al afirmar que: *“la electrólisis es un proceso por medio del cual se separan los elementos de un*

compuesto por medio de la electricidad” y en el momento en que analizan e identifican los cambios ocurridos durante el proceso al comparar las condiciones iniciales y finales del sistema: “Comienza a cubrirse de una capa negra y al sacarla del sulfato de cobre esa capa negra cogia un color rojizo”

- Categoría de equivalencia: mediante la elaboración del diagrama de Venn, los estudiantes realizan la comparación de los diferentes reacciones químicas, identificando comportamientos equivalentes entre las reacciones de electrólisis del agua y la electrólisis del cloruro de estaño *“la cantidad de sustancias obtenidas varía en función del tiempo de reacción y la intensidad de la corriente (cantidad de electricidad)”*, cuando escriben; *“suministra en el sistema una corriente eléctrica para producir un cambio químico”*, llegan a concluir que son procesos equivalentes pues al ser comparados desde la cantidad de corriente que se necesita para que el proceso transcurra notan que son similares en su comportamiento químico pero no idénticos pues se obtienen masas de sustancias diferentes, por tanto estas masas también serán equivalentes entre sí.

CONCLUSIONES Y COMENTARIOS FINALES

Las conclusiones y disposiciones finales que se presentan a continuación, son el resultado de un proceso amplio de investigación que fija su mirada en el desarrollo de actividades experimentales desde una perspectiva fenomenológica de la naturaleza de la ciencia y plantear el uso de la categoría de equivalencia, como una estrategia que brinde elementos conceptuales alternos en la construcción del campo de la estequiometría.

Estas consideraciones finales se presentan teniendo en cuenta el proceso que se siguió para el desarrollo del presente trabajo, por tal razón se habla en un primer momento acerca del papel que desempeña la lectura de fuentes primarias para la mejor comprensión del carácter discreto de la materia y la conceptualización de la categoría de equivalencia. A continuación se establece la importancia de la actividad experimental desde la visión fenomenológica como una alternativa para que los estudiantes utilicen estrategias que les permitan fundamentar la categoría de equivalencia y finalmente se escriben algunas disertaciones sobre el uso de la categoría de equivalencia como elemento conceptual en la enseñanza y comprensión del campo de la estequiometría.

Análisis de Fuentes Primarias

El diálogo realizado con los autores a través de la lectura de las fuentes primarias, no permite recaer en un recuento anecdótico de sus experiencias, sino que este se convierte en instrumento que permite contemplar el proceso, las problemáticas y las habilidades que permitieron a estos científicos lograr la construcción del conocimiento. De esta manera, al extraer de ellos las apreciaciones que se creen son convenientes para el desarrollo de la conceptualización de la ciencia, y en especial de la categoría de la equivalencia, facilita la creación de las bases para enriquecer la práctica docente, lo que permite concebir diferentes formas de interactuar y comprender el comportamiento de las sustancias y de esta forma hacer de la química una ciencia más comprensible acudiendo a una perspectiva fenomenológica en los procesos de la experimentación.

Al iniciar este proceso con la lectura de diferentes fuentes primarias, en las que los mismos investigadores realizan el registro minucioso de sus trabajos experimentales y de los análisis que los llevaron a generar conocimiento científico, permite comparar los diferentes planteamientos y posturas que los condujeron a establecer explicaciones del problema de estudio, algunas veces encontrando oposición por parte de sus iguales, en otras oportunidades apoyo. Esto conduce a evidenciar que los conceptos actuales, cimientos de la química, como la concepción sobre naturaleza discreta de la materia, con los que se trabaja día a día en el aula, se han ido replanteando, no fueron completamente correctos la primera vez que se formularon, muestra la naturaleza dinámica de la ciencia.

Sin duda alguna, la trascendencia de los trabajos realizados por Dalton, Gay-Lussac, Avogadro y Faraday son considerados de gran importancia en esta investigación, ya que gracias a sus observaciones, experimentaciones, sistematización y la validación de su conocimiento, ayudan a construir el campo fenomenológico que está comprometido en la discretización de la materia cuando a partir de observaciones macroscópicas describen el comportamiento cuantitativo de las sustancias al momento de combinarse y predicen que este comportamiento se mantiene en proporciones siempre fijas, proporciones que son posibles de identificar de acuerdo con las distintas medidas que se hacen y se relacionan unas con otras.

De forma particular, la lectura de los artículos de Faraday es esencial en este trabajo pues, además de muchos aportes teóricos, posibilitan evidenciar el papel central, dentro de la actividad experimental, de los procesos de cuantificación y organización de cualidades, los cuales conducen a establecer relaciones y posteriormente a plantear equivalencias. Realizar la lectura de *Researches in electricity Seventh Series* entablando un diálogo con el autor ofrece un mejor camino para entender todo el trabajo de este científico y los análisis que lo llevaron a establecer la ley electroquímica, pues presenta de forma detallada y minuciosa cada una de las experiencias que desarrolló, por tanto, brinda las bases conceptuales y procedimentales necesarias para plantear actividades experimentales, desde la visión fenomenológica, que le permitan a los estudiantes evidenciar los cambios químicos y las relaciones entre las mediciones de masas, volúmenes e intensidad de la corriente en diferentes procesos orientadas a la elaboración de equivalencias.

Actividad Experimental

La actividad experimental es un aspecto clave en el proceso de enseñanza y aprendizaje de las ciencias, al generar espacios dinámicos donde el estudiante pueda observar e interactuar con un fenómeno, permitiéndole que sea el responsable de su proceso de aprendizaje, cambiando la visión tradicional docente - estudiante, emisor - receptor. El desarrollo de actividades experimentales facilita la organización de nuevas maneras para comprender y explicar los fenómenos y además elaborar propuestas de aula que otorgan instrumentos para la creación o reorganización de constructos conceptuales.

Al observar el proceder de los estudiantes durante el desarrollo de las actividades experimentales que forman parte de la secuencia de enseñanza, se destaca un cambio actitudinal ante el proceso de aprendizaje, el llegar al laboratorio a descubrir nuevas experiencias, a formularse sus propias preguntas y proponer explicaciones a lo que observa, sin miedo a responder incorrectamente a un listado de preguntas con respuestas dadas previamente en el aula, conduce a un proceso más dinámico y motivador, donde se presentan mejores niveles de comprensión y conceptualización.

Un eje fundamental de esta propuesta, es el proceso de medición, por esto es una parte fundamental en cada una de las actividades experimentales realizadas, los estudiantes determinaron masas, midieron volúmenes e intensidad de la corriente. Propusieron tablas para organizar datos y gráficas que les permitieron analizar el comportamiento de las propiedades medidas. Todo este proceso permitió que establecieran relaciones de proporcionalidad entre diferentes cualidades y finalmente a construir la categoría de equivalencia en torno a los fenómenos electrolíticos, pues llegan a establecer que la cantidad de estaño y cobre obtenidas luego de un proceso de electrólisis son equivalentes si en el sistema se aplica la misma cantidad de electricidad. En el momento en el que se leen las conclusiones a las que llegan los estudiantes al finalizar la secuencia de enseñanza, es cuando se nota que la actividad experimental, desde la visión fenomenológica y no como medio de demostración de lo aprendido en el aula o como receta de cocina, estimula procesos de análisis y comprensión, lo cual conlleva a la construcción consciente de conocimientos, porque el estudiante no está influenciado por la impartición de directrices aparentemente sin sentido, sino que centra su observación en lo que conscientemente le llama la

atención al interactuar con el fenómeno, por ejemplo pueden variar las condiciones de la experiencia para contestar a las preguntas que van surgiendo durante el proceso y así comprender mejor el fenómeno desde su perspectiva e intereses.

Las actividad experimental sirve como base para la construcción de fenomenologías a través de la asociación de observaciones y la estructuración de hipótesis; de forma específica los fenómenos de las reacciones por electrolisis evidencian que los sujetos aunque no posean fundamentos teóricos especializados en la construcción de este tipo de representaciones, son capaces de describir lo que perciben, aunque no con el lenguaje propio de la ciencia.

Categoría de equivalencia y su relación con el campo de la estequiometría

A partir de la cuantificación de las características de las sustancias: volumen, masa y cantidad de electricidad, en los procesos de electro descomposición, se pudieron establecer relaciones de proporcionalidad entre éstas y construir equivalencias en cuanto a la actividad química. Se considera que para llegar a la elaboración de estas relaciones es necesario desarrollar ciertos procesos: comparación, relación, categorización y formalización que mejoran la interpretación de problemas estequiométricos, pues los estudiantes no aplican algoritmos sin lógica que solo los conducen a la obtención de un número, sino que entienden la situación que se les presenta en término químicos.

Los estudiantes “inicialmente se centran en una ausencia de cuantificación o, en otras palabras, una visión exclusivamente cualitativa de los fenómenos estudiados que difícilmente son capaces de cuantificar” (Pozo & Gómez, 1998, pág. 186), pero los procesos de cuantificación son indispensables para entablar relaciones entre magnitudes o cualidades, y poder predecir el comportamiento de una determinada sustancia dentro de un proceso químico. Al poner en juego el estudio de varias reacciones químicas se pueden establecer dichas relaciones y a la vez equivalencias, lo que conlleva a la interpretación de otros procesos químicos similares en actividad química. Es así, que en la enseñanza de la química, la categoría de equivalencia que se establece a partir de las mediciones, brinda cimientos para la comprensión del campo de la estequiometría dado que integra los tres esquemas de cuantificación propuestos por Pozo (1998) para la

comprensión de la química en cuanto a: proporcionalidad desde el momento en que el estudiante compara las masas y/o volúmenes que obtienen en cada una de las experiencias realizadas, la correlación cuando identifica que éstas cantidades de sustancias se relacionan cuando se han obtenido bajo la influencia de la misma cantidad de electricidad y la probabilidad al elaborar hipótesis en procesos de la misma naturaleza.

De esta manera llegar a establecer equivalencias, permite a los estudiantes construir sus propios esquemas apartándose de aquellos que son básicos, para suscitar la elaboración de constructos que van más allá del pensamiento lineal que posee el estudiante que muchas veces es influenciado por su contexto llevándolo a buscar la respuesta más fácil siendo éste el camino equivocado para comprender la naturaleza interactiva de las reacciones; es por ello que al llegar a la equivalencia se brinda un medio para acceder a la elaboración de pensamientos más estructurados en cuanto a la cuantificación de los procesos químicos.

Por tanto es muy valioso para la enseñanza y aprendizaje del campo problemático de la estequiometría fundamentarse en las equivalencias, pues mediante su elaboración y análisis permiten la interacción entre el proceso químico y las magnitudes que en torno de este se manejan, por ejemplo, en la electrodescomposición del cloruro de estaño, observan de forma cualitativa la formación de sustancias, lo que los lleva a comprender los cambios químicos de descomposición, al determinar la masa y la cantidad de electricidad están manejando diferentes magnitudes presentes en el proceso, finalmente al comparar la masa de diferentes sustancias obtenidas empleando la misma cantidad de electricidad, establecen que sus masas son equivalentes; aunque en esta investigación se inició el proceso para lograr la reestructuración en la enseñanza de la química, y aún más del campo de la estequiometría, por medio de la utilización de otras categorías que describen el fenómeno que no sean las convencionales como las moles o masas moleculares; se considera que para llegar al final de éste falta un laborioso y constante trabajo.

REFERENCIAS

- Aldana, L. L., Mikan, J. M., & Mejia, D. J. (2010). Implementación de la estrategia "Aprendizaje por investigación" mediante un problema experimental de Estequiometría. *Góndola*, 5(2), 55-56.
- Alvarez, G. (2011). *Simbolos, fórmulas, imágenes y palabras: sus implicaciones en la enseñanza y el aprendizaje de la Estequiometría*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.
- Augung, S., & Schwartz, M. (2007). Students understanding of conservation of matter, Stoichiometry and balancing equations in Indonesia. *International Journal of Science Education*, 29(13), 1679-1702.
- Avogadro, A. (1811). Essay on a manner of determining the relative masses of the elementary molecules of bodies, and proportions in which they enter into these. *Journal de Physique*, 73, 58-76.
- Barberá, O., & Valdés, P. (1996). El trabajo práctico en la enseñanza de las ciencias: una revisión. *Enseñanza de las Ciencias*, 14(3), 365-379.
- Bermudez, D. (2012). Las prácticas de laboratorio en Didáctica de las ciencias experimentales, un lugar para la convivencia de los diferentes estilos de aprendizaje. *Estilos de aprendizaje: investigaciones y experiencias.*, s.f.
- Biggs, J. (2006). *Calidad en el aprendizaje universitario*. España: Narcea S.A. de Ediciones.
- BuoJaoude, S., & Barakat, H. (2003). Student's problem solving in Stoichiometry and their relationships to conceptual understanding and learning approaches. *Electronic Journal of Science Education*, 7(3), 1-42.
- Caamaño, A. (2003). Los trabajos prácticos en Ciencias. En A. Caamaño, *Enseñar Ciencias* (págs. 95-118). Barcelona: Graò.
- Cárdenas, D., & Alfonso, K. (2015). *La convertibilidad como una categoría epistemológica para el estudio de fenómenos físicos (Tesis en Maestría)*. Bogotá, Colombia: Universidad Pedagógica Nacional.

- Carrascosa, J., Gil, D., Vilches, A., & Valdès, P. (2006). Papel de la actividad experimental en la educación científica. *Enseñanza de la física*, 23(2), 157-181.
- Dalton, J. (21 de Octubre de 1805). On the Absorption of gases by water and other liquids. *Memoirs of the Literary and Philosophical Society of Manchester, Second Series*(1), 271-278.
- Dasah, C., & Coll, R. (2008). Thai grade 10 and 11 student's understanding of stoichiometry and related concepts. *international Journal of Science and Mathematics Education*, 6(3), 573-600.
- De Jong, O. (1998). Los experimentos que plantean problemas en las aulas de química: dilemas y soluciones. *Enseñanza de las Ciencias*, 16(2), 305-314.
- Domin, D. (1999). A review of laboratory instruction styles. *Journal of Chemistry*, 76(4), 543-547.
- Duit, R. (2006). La investigación sobre la enseñanza de las ciencias. Un requisito imprescindible para mejorar la práctica educativa. *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 11(30), 741-770.
- Faraday, M. (1834). Experimental researches in electricity. Seventh Series. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 124, 77-122.
- Faraday, M. (1834). Experimental Researches in Electricity. Six Series. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 124, 55-76.
- Flores, J., Caballero, M. C., & Moreira, M. A. (2009). El laboratorio en la enseñanza de las Ciencias: una visión integral de este complejo ambiente de aprendizaje. *Revista de Investigación*, 33, 75-111.
- Furió, C., Payá, J., & Valdés, P. (2005). ¿Cuál es el papel del trabajo experimental en la educación científica? En D. Gil, B. Macedo, J. Martínez, C. Sifredo, P. Valdés, & A. Vilches, *¿Cómo promover el interés por la cultura científica? Una propuesta didáctica fundamentada para la educación científica de jóvenes de 15 a 18 años* (págs. 81-102). Santiago de Chile: OREALC/UNESCO.

- Gabel, D., & Bunce, D. (1994). Research on problem solving: Chemistry. En D. L. Gabel, & D. Bunce, *Handbook of research on Science Teaching and Learning* (págs. 301-326). New York: MacMillan.
- Gay-Lussac, J. (1809). Memoir on the Combination of gaseous substances with each other. *Mémoires de la Société d'Arcueil*, 1(2), 207.
- Gil, D. (1933). Algunas tendencias innovadoras y espontáneas: aportes y limitaciones. En *Enseñanza de las Ciencias y las Matemáticas. Tendencias e innovaciones* (págs. 10-12). Editorial Popular.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2010). Los enfoques cuantitativo y cualitativo en la investigación científica. En R. Hernández, C. Fernández, & P. Baptista, *Metodología de la investigación científica* (págs. 4-32). Barcelona: McGrawHill.
- Hofstein, A. (2004). The laboratory in Chemistry Education: Thirty years of the experience with developments, implementation and research. *Chemistry Education: research and practice*, 5(3), 247-264.
- Malagón, F., Ayala, M., & Sandoval, S. (2011). El experimento en el aula: comprensión de las fenomenologías y procesos de formalización. *praxis Filosòfica*, 36, 119-138.
- Malagón, F., Sandoval, S., & Ayala, M. (2013). La actividad experimental: construcción de fenomenologías y procesos de formalización. *Praxis Filosòfica*, 36, 119-138.
- Méndez, D., & Sliskob, J. (2014). La historia en los libros de texto de física y química para secundaria: las diferentes formas de presentar la información histórica y las opiniones relacionadas de los alumnos. *Revista Mexicana de Física*, 60, 66-74.
- Moreno, J. E., Herreño, J., Giraldo, V. H., Fuentes, W., & Casas, J. (2009). ¡Estequiometría visible! *Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las Ciencias*, 6(3), 477-482.
- Niaz, M., & Montes, L. (2012). Understanding stoichiometry: towards a history and philosophy of chemistry. *Educación Química*, 1-8.

- Pozo, I., & Gómez, M. (1998). El aprendizaje de la química. En I. Pozo, & M. Gómez, *Aprender y Enseñar Ciencia. Del conocimiento cotidiano al conocimiento científico* (págs. 149 - 204). Madrid, España: Ediciones Morata.
- Pozo, J. I., Gómez, M., Limón, M., & Sanz, A. (1991). Principales núcleos conceptuales en la comprensión de la química. En J. Pozo, M. Gómez, M. Limón, & A. Sanz, *Procesos cognitivos en la comprensión de la ciencia: las ideas de los adolescentes sobre la química* (págs. 107-111). Madrid: Centro de publicaciones del Ministerio de Educación y Ciencia.
- Reigosa, C. E., & Jiménez, M. P. (2000). La cultura científica en la resolución de problemas en el laboratorio. *Enseñanza de las Ciencias*, 18(2), 275-284.
- Reverdito, A., & Lorenzo, M. (2007). Actividades experimentales simples. Un punto de partida posible para la enseñanza de la química. *Educación en Química*, 13(2), 108-121.
- Reyes, D. (2014). La organización de la experiencia y la elaboración de conceptos. Fase inicial de la constitución de los conceptos de átomo e ion. *Física y cultura: Cuadernos sobre la Historia y la enseñanza de las Ciencias*, 8, 13-25.
- Rincón, L., & Rodríguez, C. (2014). *Construcción de la fenomenología de la interacción y la equivalencia de la actividad química de las sustancias (Tesis de Maestría)*. Bogotá (Bogotá): Universidad Pedagógica Nacional.
- Salgado, G., Navarrete, J., Bustos, C., Sánchez, C., & Ugarte, R. (2007). El concepto de equivalente químico y su aplicación en cálculos estequiométricos. *Educación Química*, 18(3), 222-227.
- Sandoval, S. (2008). *La comprensión y construcción fenomenológica: una perspectiva desde la formación de maestros de ciencias (Tesis de maestría)*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.
- Seré, M. (2002). La enseñanza en el laboratorio. ¿Qué podemos aprender en términos de conocimiento práctico y de actitudes hacia la ciencia? *Enseñanza de las Ciencias*, 20(3), 357-368.
- Solbes, J. (2009). Dificultades de aprendizaje y cambio conceptual, procedimental y axiológico I: resumen del camino avanzado. *Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 6(1), 2-20.

Vásquez, A., & Manassero, M. A. (1997). Una evaluación de las actitudes relacionadas con la ciencia. *Enseñanza de las Ciencias*, 15(2), 199-213.

Yager , R. E., & Kahle, J. B. (1982). Priorities for needed policies and research in science education. *Journal of Research in Science Teaching*, 17, 523-530.

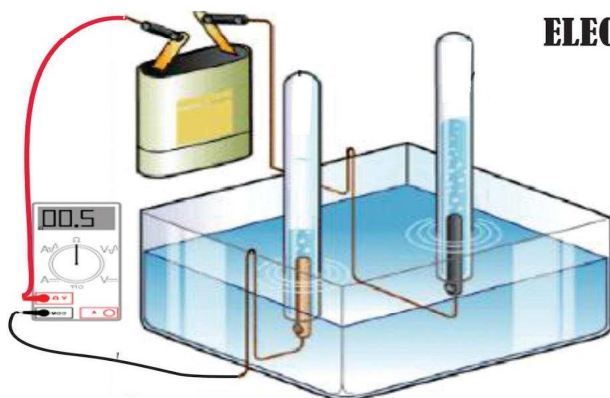
Anexo 1. Indagación sobre las relaciones y proporciones en una reacción química

Integrantes:

INDAGACIÓN SOBRE LAS RELACIONES Y PROPORCIONES EN UNA REACCIÓN QUÍMICA

PROPÓSITOS

- Relacionar los volúmenes de hidrógeno y oxígeno que se forman en la descomposición del agua por electrólisis.
- Identificar los gases que se formaron en la electrólisis del agua cualitativamente, empleando una astilla en ignición.
- Comparar los resultados de las proporciones de gases obtenidos en la electrodescomposición del agua realizada a diferentes tiempos.
- Elaborar gráficas que permitan describir las relaciones entre los volúmenes de los gases formados.



Actividad Experimental No.1.

ELECTRODESCOMPOSICIÓN DEL AGUA

La electrólisis es un proceso por el que separa los elementos de un compuesto por medio de la electricidad. Ciertas sustancias (ácidos, hidróxidos, sales y algunos óxidos metálicos disueltos o fundidos) son conductores de electricidad al mismo tiempo que se descomponen al paso de la corriente eléctrica, a estas sustancias se les llama electrolitos. Se desarrolla "no espontáneamente" es decir, requiere para su realización el uso de una fuente externa de energía.

1. Diseño de montaje

Teniendo en cuenta la información anterior y la imagen, elabore un listado de materiales y reactivos

REACTIVOS

MATERIALES

2. Actividad experimental

Dibuje detalladamente lo que observa durante el transcurso del proceso.

2. Actividad experimental

Conteste las siguientes preguntas teniendo en cuenta sus observaciones

Condiciones iniciales del sistema	OBSERVACIONES
¿Qué le pasó al volumen de agua en cada uno de los tubos de ensayo?	OBSERVACIONES
Considera que el agua se puede transformar en otras sustancias durante la electrólisis, ¿por qué?	OBSERVACIONES
Proponga cuales pueden ser las sustancias que desplazan al agua en cada uno de los tubos.	OBSERVACIONES
Qué pasa cuando se acerca la astilla de madera en ignición a cada tubo. ¿Qué indica tal comportamiento?	OBSERVACIONES
En todas las oportunidades que realizó la actividad, ¿observó el mismo comportamiento de las sustancias?.	OBSERVACIONES

3. Resultados

Elabore una tabla que recoja las mediciones realizadas, recuerde que los tiempos de duración del proceso de electrólisis son determinados por cada grupo

Tiempo (segundos)	Intensidad de Corriente (Amperios)	Volumen de gas (mL) (Tubo 1)	Volumen de gas (mL) (Tubo 2)

4. Análisis

Empleando los resultados elabore una gráfica, donde se observe el comportamiento de los gases.



5. Discusión y conclusiones.

Discuta con su grupo las observaciones y resultados que obtuvo durante la actividad y escriba tres ideas que reúnan las conclusiones a las que llegaron.

Anexo 2. Relación entre las cantidades de sustancia obtenidas en diferentes reacciones químicas

Integrantes:

RELACIÓN ENTRE LAS CANTIDADES DE SUSTANCIA OBTENIDAS EN DIFERENTES REACCIONES QUÍMICAS



PROPÓSITOS

- Cuantificar la cantidad de las sustancias obtenidas en cada una de las actividades experimentales
- Establecer relaciones entre cantidad de estaño obtenido en la electrodescomposición del cloruro de estaño y la cantidad de corriente que atraviesa el sistema.
- Establecer relaciones entre la cantidad de corriente y la variación de masa de la lámina de zinc, producida en la reacción electrolítica del ácido sulfúrico y zinc

Michael Faraday

PRIMERA LEY DE LA ELECTRÓLISIS

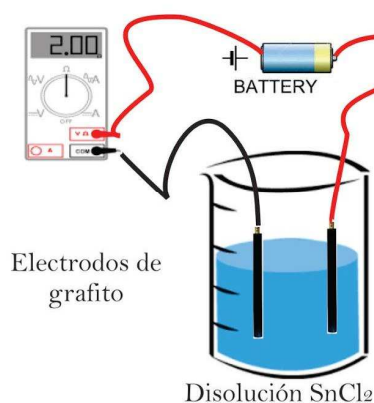
Las leyes de la electrólisis fueron propuestas por Michael Faraday, y aunque es muy raro escuchar hablar de Faraday, como se hace con otros personajes como Newton o Thomas Edison, muchos de los dispositivos que se utilizan a diario, son reales gracias a sus estudios y descubrimientos. Más concretamente, la gran mayoría de los aparatos electrónicos que utiliza en su día a día, se deben, en parte, a sus trabajos.

Faraday fue un gran científico, se destacó por realizar muchas investigaciones y procesos, los cuales describió detalladamente en sus notas, le gustaba intercambiar información con otras personas, verificaba los datos de sus experiencias antes de darlos a conocer. En sus escritos se observa su orden, métodos y su recurrencia a la actividad experimental.

Uno de los tantos estudios que realizó Faraday, giraba en torno a la descomposición de sustancias empleando la corriente eléctrica. Luego de una gran cantidad de experiencias de electrólisis empleando diferentes compuestos como cloruro de estaño y cloruro de plomo, y electrodos de varios materiales observó un comportamiento que se repetía en todos los casos, y que lo llevó a establecer en 1834 la primera ley de la electrólisis:

“La masa de una sustancia liberada en una electrólisis es directamente proporcional a la cantidad de electricidad que ha pasado.”, es decir que si por el sistema pasa poca cantidad de electricidad, se obtendrá poca cantidad de sustancia luego del proceso y si por el contrario, pasa una mayor cantidad de electricidad, la cantidad de sustancia que se obtiene es mayor.

Actividad experimental No 2.
Electrodescomposición del Cloruro de Estaño



1. Diseño de montaje

Teniendo en cuenta la información anterior y la imagen, elabore un listado de materiales y reactivos

REACTIVOS

MATERIALES

Disolución SnCl₂

Preparación:

2. Actividad experimental

Conteste las siguientes preguntas teniendo en cuenta sus observaciones

Condiciones iniciales del sistema

OBSERVACIONES

Describe lo ocurrido en el transcurso de la reacción

OBSERVACIONES

¿Qué ocurre en torno a los electrodos de grafito?

OBSERVACIONES

Proponga cuales pueden ser las sustancias que se forman en cada uno de los electrodos?

OBSERVACIONES

Describe las propiedades de las sustancias que se forman

OBSERVACIONES

3. Resultados y análisis

Realice una tabla de resultados donde se consigne el tiempo, la cantidad de sustancias obtenidas y la intensidad de la corriente, a partir de ella elabore una gráfica que relacione las variables cantidad de sustancia y cantidad de electricidad. .



3. Discusión y conclusiones

Discuta con su grupo las observaciones, los resultados que obtuvo durante la actividad y escriba tres ideas que reúnan las conclusiones a las que llegaron. Oriente la discusión en torno a los siguientes puntos:

De acuerdo a las propiedades que observaron de las sustancias que se forman en cada uno de los tubos, establezca que sustancias son y proponga métodos para identificarlas.

Representen a través de una ecuación química lo observado en esta actividad experimental.

¿Qué relación se puede establecer entre el tiempo de electrodescomposición y la cantidad de estaño obtenida?

¿Qué relación se puede establecer entre la cantidad de electricidad y la cantidad de estaño producida?

¿Qué factores se podrían modificar para obtener mayor o menor cantidad de estaño?

¿Cómo se pueden relacionar los resultados de esta actividad experimental con los obtenidos en la electrólisis del agua?

¿Qué cambios observó en la lámina de Zn durante el proceso?

OBSERVACIONES

¿Qué cambios observó en la lámina de Cu durante el proceso?

OBSERVACIONES

¿Qué cambios observó en el CuSO_4 durante el proceso?

OBSERVACIONES

3. Resultados y análisis

Realice una tabla de resultados donde se consigne el tiempo, la cantidad de sustancias obtenidas y la intensidad de la corriente, cantidad de electricidad. A partir de ella elabore una gráfica que relacione las variables cantidad de sustancia y cantidad de electricidad.

3. Discusión y conclusiones

Discuta con su grupo las observaciones, los resultados que obtuvo durante la actividad y escriba tres ideas que reúnan las conclusiones a las que llegaron. Oriente la discusión en torno a los siguientes puntos:

Establezca cuales son las sustancias que se producen en cada electrodo, teniendo en cuenta las propiedades que observó durante la actividad experimental.

Representen a través de una ecuación química lo observado en esta actividad experimental.

¿Qué relación se puede establecer entre el tiempo de reacción y la intensidad de la corriente?

¿Qué relación se puede establecer entre la cantidad de corriente producida y la masa de cobre obtenida?

¿Cómo se pueden relacionar los resultados de esta actividad experimental con los obtenidos en las actividades experimentales anteriores?

Anexo 3. Elaboración de la categoría de equivalencia

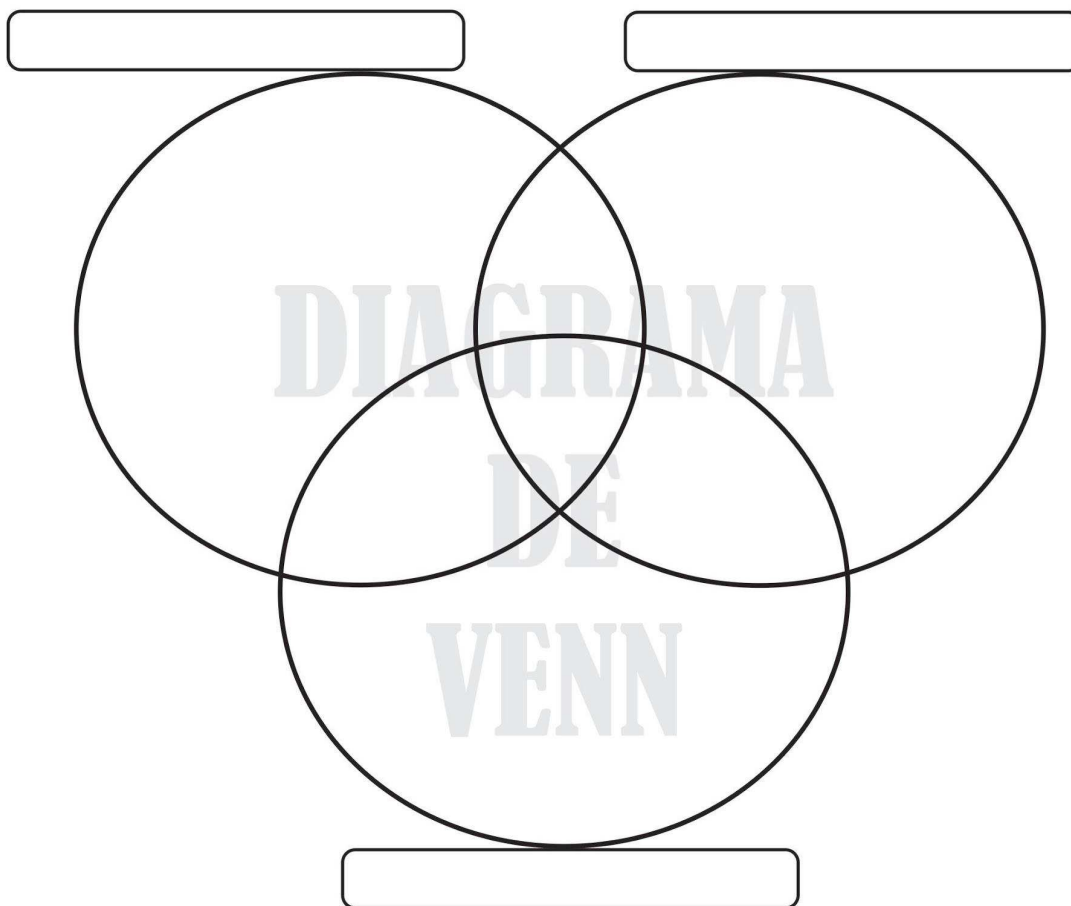
Integrantes:

ELABORACIÓN DE LA CATEGORÍA DE EQUIVALENCIA

PROPÓSITOS

- Consolidar las conclusiones a las que se llegó en cada una de las actividades experimentales, por medio de un debate grupal.
- Establecer relaciones entre los resultados obtenidos en las actividades experimentales a través del diagrama de Venn.
- Elaborar la categoría de equivalencia a partir de las relaciones establecidas entre las actividades experimentales.

1. De acuerdo a las observaciones y conclusiones realizadas en cada actividad experimental, complete el diagrama de Venn, recuerde que en las intersecciones deben ir observaciones comunes a las dos o tres actividades experimentales, según sea el caso.



Teniendo en cuenta las ecuaciones químicas planteadas para cada una de las experiencias, establezca relaciones cuantitativas basándose en la cantidad de electricidad y la cantidad de sustancia.

ECUACIONES

Elaborar un párrafo que incluya las principales características del proceso de la electrólisis y la relación que se establece entre las mediciones realizadas de la cantidad de electricidad y la cantidad de masa, basándose en las conclusiones a las que se llegó a través de las actividades experimentales.

PÁRRAFO