



Universidad Michoacana
de San Nicolás de Hidalgo



Facultad de Ingeniería Química

**“ESTUDIO DE LA EXTRACCION LIQUIDO-LIQUIDO
DE ORO CON UN EXTRACTANTE SOLVATANTE”**

TESIS

Que presenta:
Oscar Alejandro Razo Jaramillo

Para obtener el Grado de Licenciado en Ingeniería Química

Asesor
M.C. María Elena Núñez Gaytán

Co-asesora
M.C. Ana María Núñez Gaytán

Morelia, Michoacán JUNIO 2018.



FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

PROGRAMA ACREDITADO

"2014, Año de Octavio Paz"

Número de oficio. 23/2014/2015.

Asunto: Aprobación de Tema de Tesis y Asignación de Sinodales

P.I.Q. OSCAR ALEJANDRO RAZO JARAMILLO
P R E S E N T E.

En contestación a su atenta solicitud de fecha de 13 de enero de 2014 me permito comunicarle a Usted, que se aprueba el Tema de Tesis propuesto para presentar Examen Recepcional en la Carrera de Ingeniero Químico.

El tema aprobado: " Estudio de la Extracción Liquido - Liquido de Oro con un Extractante Solvatante" el cual se desarrollará bajo el siguiente orden:

- RESUMEN
- I.- INTRODUCCIÓN (JUSTIFICACIÓN, OBJETIVO (S) E HIPÓTESIS)
 - II.- GENERALIDADES O MARCO TEÓRICO
 - III.- DESARROLLO DEL TRABAJO (METODOLOGÍA)
 - IV.- ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS
 - V.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
- REFERENCIAS.

Además deberá ajustarse al artículo 39 y 41, y podrá contemplar los puntos necesarios del artículo 40 de la reglamentación interna de la Facultad de Ingeniería Química en su capítulo VI.

Para tales efectos fungirá como asesora de su Tesis la Dra. María Elena Núñez Gaytán y como coasesora la Dra. Ana María Núñez Gaytán profesoras de la Facultad de Ingeniería Química. La mesa de jurado para revisión y realización de este trabajo estará integrada por:

M.C. NÚÑEZ GAYTAN MARÍA ELENA
M.C. NÚÑEZ GAYTAN ANA MARÍA
DR. CORTES JOSÉ APOLINAR
DR. SALCEDO ESTRADA LUIS IGNACIO

PRESIDENTE 79016944
VOCAL 85000078
VOCAL 82033374
SUPLENTE 90001567

ATENTAMENTE
Morelia, Mich. A 24 de junio de 2014.


DR. JAIME ESPINO VALENCIA
DIRECTOR
DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA



Edificio "M" Planta Baja
Ciudad Universitaria

Tel/Fax 3-16-71-76
3-22-35-00 Ext. 3003



FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

PROGRAMA ACREDITADO



No. Oficio 626/2017/2018
Morelia, Michoacán, a 15 de junio de 2018
Asunto: Autorización de Impresión de Tesis

LIC. ULISES GUTIÉRREZ VÁZQUEZ
JEFE DEL DEPARTAMENTO DE TITULACIÓN
DE LA UNIVERSIDAD MICHOACANA
P R E S E N T E.

Por este medio, me estoy permitiendo transcribir a esa Sección de Certificación a su digno cargo la comunicación enviada a esta Dirección por la mesa de jurado de examen Recepcional de esta fecha y que a la letra dice:

Atendiendo a las indicaciones, se hizo la revisión de manuscrito de Tesis presentado por el pasante de Ingeniera Química: OSCAR ALEJANDRO RAZO JARAMILLO con matrícula 0914243X.

Creemos que es de aceptarse dicho manuscrito con las modificaciones sugeridas verbalmente al interesado: ENTERADOS:

DRA. NÚÑEZ GAYTAN MARÍA ELENA
DRA. NÚÑEZ GAYTAN AÑA MARÍA
DR. CORTES JOSÉ APOLINAR

79016944
85000078
82033374

Comunico a Usted lo anterior para los fines legales a que haya lugar.

ATENTAMENTE


DRA. MA. DEL CARMEN CHÁVEZ PARGA
DIRECTORA
DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA DE LA UMSNH





FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

PROGRAMA ACREDITADO



Morelia, Michoacán, a 15 de junio de 2018.

DRA. MA. DEL CARMEN CHÁVEZ PARGA
DIRECTORA
DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA DE LA UMSNH
PRESENTE

Atendiendo a sus indicaciones se hizo la revisión de manuscrito de **TESIS** presentada por el P.I.Q. **OSCAR ALEJANDRO RAZO JARAMILLO CON MATRÍCULA 0914243X.**

Creemos que es de aceptarse dicho manuscrito con las modificaciones sugeridas verbalmente al interesado.

DRA. NÚÑEZ GAYTAN MARÍA ELENA
PRESIDENTA 79016944

DRA. NÚÑEZ GAYTAN ANA MARÍA
VOCAL 85000078

DR. CORTES JOSÉ APOLINAR
VOCAL 82033374



El mayor peligro para la mayoría, no reside en establecer una meta demasiado alta y fracasar, sino en establecerla demasiado corta y conseguirla. -Michelangelo Buonarroti.

Dedicatoria:

El presente trabajo se lo dedico a mis padres Lidia Jaramillo Ruiz y Sergio Razo Santos, quienes son los pilares de mi formación y el motor de este proyecto, a mis hermanos Sergio, Ulises, Edgar, todos ellos que siempre me han apoyado en todo momento y en toda mi vida, y a mi hija Ariana mi mayor alegría.

Agradecimientos

Agradezco a la Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo por brindarme la oportunidad de estudiar Ingenieria Quimica y con ello realizar esta tesis dentro de sus instalaciones.

A mis padres, por haberme apoyado todos estos años y brindandome la oportunidad de estudiar, gracias por sus consejos, apoyos, regaños, motivaciones y por siempre confiar en mí.

A mis hermanos por apoyarme día con día, cada uno con su carácter, cada uno con su personalidad, pero unidos.

A mi hija, la alegría mayor de mi vida y siempre tratando de ser mejor para ella.

A la Dra. María Elena Nuñez Gaytan, por todo el apoyo y estar al pendiente de guiarme a en todo el tiempo que duro este proyecto y se realizara de la mejor manera, ya que esta etapa se a convertido en un paso muy importante para mi vida.

A la mesa de sinodales, Dra. Maria Elena Núñez Gaytán, Dr. Apolinar Cortés, Dra. Ana María Núñez Gaytán por revisar y aportar cada uno sugerencias para enriquecer aún más esta tesis.

A mis maestros, a lo largo de toda mi estancia en la facultad, cada uno deja una gran aportacion en mi de sus conocimientos.

A mis compañeros y amigos por todos esos momentos que vivimos juntos, esa familia que uno elige cuando esta lejos de casa.

Gracias a la vida por permitirme estar aquí.

RESUMEN

El oro se recupera generalmente de diversos recursos. Las correspondientes soluciones ricas en metales necesitan concentrado para producir una solución de grado superior que el oro puede obtenerse de manera más eficiente correspondientes métodos de recuperación.

La extracción líquido-líquido aplicación práctica conocida en este campo, aunque en los últimos años ha habido un renovado interés por la aplicación de esta técnica a la recuperación de este precioso metal de tales soluciones alcalinas utilizando diversos extractantes.

La extracción líquido-líquido (LLE) es conocido por ser el método más común empleado en la extracción. Sin embargo, posee algunas desventajas por tener un área de contacto pobre y la formación de tercera fase durante el proceso de extracción. La extracción líquido-líquido es una operación básica, de naturaleza física, cuyo fin es la separación de dos o más componentes de una mezcla líquida mediante la adición de un disolvente en el cual uno o más componentes son preferentemente solubles. La operación de extracción se puede llevar a cabo de varias formas:

- ❖ Operación discontinua en una sola etapa: mezclador-sedimentador; o en varias etapas, mediante contacto repetido con el mismo disolvente: varias unidades mezclador-sedimentador.
- ❖ Operación continua con contacto intermitente: columna de platos.
- ❖ Operación continua con contacto continuo: columna de relleno. Seleccionamos esta última forma de trabajo.

Palabras Clave: Líquido, extracción, oro, operación, extractante, solvatante.

“STUDY OF THE LIQUID-LIQUID EXTRACTION OF GOLD WITH A SOLVATORY EXTRACTOR”

Thesis presented by:

P.I.Q Oscar Alejandro Razo Jaramillo

Bachelor's Degree in Chemical Engineering April 2018

Directed by: María Elena Núñez Gaytán and Ana María Núñez Gaytán

ABSTRACT

Gold is usually recovered from various resources. The corresponding metal-rich solutions need concentrate to produce a higher-grade solution that gold can be obtained more efficiently corresponding recovery methods.

Liquid-liquid extraction practical application known in this field, although in recent years there has been a renewed interest in the application of this technique to the recovery of this precious metal from such alkaline solutions using various extractants.

Liquid-liquid extraction (LLE) is known to be the most common method used in extraction. However, it has some disadvantages due to having a poor contact area and third phase formation during the extraction process. Liquid-liquid extraction is a basic operation, of physical nature, whose purpose is the separation of two or more components of a liquid mixture by the addition of a solvent in which one or more components are preferably soluble. The extraction operation can be carried out in several ways:

- ⌘ Discontinuous operation in a single stage: mixer-settler; or in several stages, by repeated contact with the same solvent: several mixer-settler units.
- ⌘ Continuous operation with intermittent contact: column of plates.
- ⌘ Continuous operation with continuous contact: filling column. We select this last form of work.

Keywords: Liquid, extraction, gold, operation, extractant, solvent.

INDICE

Dedicatoria:	iv
Agradecimientos	v
RESUMEN	vi
ABSTRACT	vii
INDICE DE FIGURAS	xi
INDICE DE TABLAS	xii
INTRODUCCIÓN	xiv
CAPITULO 1	1
1. MARCO TEORICO	1
1.1. Extracción líquido - líquido	1
1.2. Competencia con otras operaciones de transferencia de masa	2
1.3. Aplicaciones de utilidad de la extracción líquida	2
1.4. Efecto de la presión.....	3
1.5. Selección del extractante	4
1.5.1. Coeficiente de distribución, k_d	4
1.5.2. Selectividad	4
1.5.3. Densidad	5
1.5.4. Tensión interfacial	5
1.6. El Oro y sus propiedades	6
1.6.1. Conductividad eléctrica.....	6
1.6.2. Resistencia a la corrosión	6
1.6.3. Maleabilidad	7
1.6.4. Ductilidad	7
1.6.5. Biocompatibilidad.....	7
1.7. Propiedades químicas	7
1.7.1. Reactividad	8
1.7.2. Catálisis.....	8
1.8. Propiedades mecánicas	8
1.9. Usos.....	8
1.10. Compuestos	11
1.11. Ácido Clorhídrico	12

1.11.1.	Propiedades físicas y químicas	12
1.12.	Dodecanol.....	13
1.12.1.	Producción y uso	13
1.12.2.	Toxicidad.....	13
1.13.	Keroseno.....	14
1.13.1.	Usos.....	14
1.13.2.	Propiedades del keroseno	14
1.14.	Espectrofotometría UV- visible	15
1.15.	La región UV.....	17
1.15.1.	La región visible	17
1.16.	Transmitancia y Absorbancia	18
1.16.1.	Transmitancia.....	19
1.16.2.	Absorbancia.....	19
1.17.	Ley de Lambert-Beer	19
1.18.	Instrumentación para la medición de absorbancias de la luz visible y ultravioleta: espectrofotómetro UV-VISIBLE.....	20
1.19.	Obtención de un espectro de absorción	22
1.20.	Curvas de calibración	23
CAPITULO 2		24
2.1. JUSTIFICACION		24
2.2. OBJETIVOS		25
2.2.1. OBJETIVO GENERAL	25	
2.2.1.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	25	
2.3. HIPOTESIS		26
CAPITULO 3		27
3. METODOLOGIA		27
3.1. Método Cuantitativo	28	
3.2. Reactivos y Equipo.....	28	
CAPITULO 4		31
4. PROCEDIMIENTO		31
4.1. Determinación del tiempo de agitación.....	31	
4.2. Estudio de las extracciones a diferentes concentraciones de HCl y Dodecanol..	32	
4.3. Curva de Calibración.....	32	

CAPITULO 5	33
Resultados	33
5.1. Determinación del tiempo de agitación	33
5.2. Extracción de oro con dodecanol en función de diferentes concentraciones de ácido clorhídrico.....	34
5.3. Coeficiente de distribución (D)	36
5.4. Log D (Coeficiente de Distribución) vs Log Concentración Dodecanol	37
5.5. Selectividad del extractante con otros metales	43
CAPITULO 6	44
Conclusiones	44
REFERENCIAS	45
APENDICE	46
Método de Cuantificación.....	46
Elaboración de la curva de calibración para el oro.	46
Curva de calibración del cobre.....	48
Curva de calibración del platino.	50

INDICE DE FIGURAS

No. de tabla	Descripción	Página
Figura 1	Extracción ideal: al mezclar y agitar la mezcla de partida(A+C) y el disolvente orgánico (B), el soluto (A) pasa al disolvente orgánico, tras la decantación se obtiene dos fases: fase extracto (A+B) y el líquido portador (C).	
Figura 2	Composición de la demanda mundial de oro, Fuente: Gold Fields Mineral Services [8].	
Figura 3	Diagrama de niveles de energía en una molécula.	
Figura 4	Espectro Electromagnético [10]	
Figura 5	XXX. Absorbancia de luz. L= longitud del paso de luz	
Figura 6	Estructura de un Espectrofotómetro	
Figura 7	Espectro de absorción, como ejemplo tres pigmentos fotosintéticos.	
Figura 8	Espectrofotómetro uv-visible Perkin Elmer	
Figura 9	Balanza analítica. Marca Sartorius. Modelo BP61S	
Figura 10	Agitador mecánico. Marca Burrel	

INDICE DE TABLAS

No. de tabla	Descripción	Página
Tabla I	Propiedades del oro	
Tabla II	Propiedades del Ácido Clorhídrico	
Tabla III	Propiedades del dodecanol (extractante)	
Tabla IV	Propiedades del keroseno	
Tabla V	Longitud de onda vs. Color de luz que se refleja	
Tabla VI	Valores calculados del Porcentaje de Extracción de oro en función del tiempo	
Tabla VII	Fase acuosa 39.4ppm de oro ³ en HCl 1M	
Tabla VIII	Fase acuosa 39.4ppm de oro ³ en HCl 2M	
Tabla IX	Fase acuosa 39.4ppm de oro ³ en HCl 3M	
Tabla X	Fase acuosa 39.4ppm de oro ³ en HCl 5M	
Tabla XI	Fase acuosa 39.4ppm de oro ³ en HCl 7M	

INDICE DE GRAFICAS

No. Grafica	Descripción	Página
Gráfica 1	Determinación de tiempo de agitación.	
Gráfica 2	Extracción de oro en función de diferentes concentraciones de ácido clorhídrico.	
Gráfica 3	Log D (coeficiente de distribución) vs Log concentración dodecanol en medio de HCl 1 M	
Gráfica 4	Log D (coeficiente de distribución) vs Log concentración dodecanol en medio de HCl 2 M	
Gráfica 5	Log D (coeficiente de distribución) vs Log concentración dodecanol en medio de HCl 3 M	
Gráfica 6	Log D (coeficiente de distribución) vs Log concentración dodecanol en medio de HCl 5 M	
Gráfica 7	Log D (coeficiente de distribución) vs Log concentración dodecanol en medio de HCl 7 M	
Gráfica 8	Log D vs Log [dodecanol] para diferentes concentraciones de HCl	
Gráfica 9	Grafica 9: Diagrama de distribución de especies. Fracción de Au(III) en función del pH. Condiciones: $[Au(III)] = 2 \times 10^{-4}$ M. Medio $1M \leq [HCl] \leq 5M$.	
Gráfica 10	Grafica 10. Espectrogramas de las soluciones de Au(III) a diferentes concentraciones.	
Gráfica 11	Curva de calibración para oro en HCl 1 M. $ABS = 0.0306 [Au(III)] + 6.35 \times 10^{-4}$ $r=0.9997$	
Gráfica 12	Espectrogramas de Cu(II) a diferentes concentraciones. HCl 1 M.	
Gráfica 13	Curva de calibración de Cobre. $ABS = 0.0052 [Cu] + 0.0149$ $r=0.9998$	
Gráfica 14	Espectrograma de Pd. HCl 1 M. $\lambda = 281.2$ nm.	
Gráfica 15	Curva de calibración: $ABS = 0.1266 [Pd] + 0.0351$ $r=0.9989$. $\lambda = 281.2$ nm.	
Gráfica 16	Espectrograma de Pt. HCl 1 M. $\lambda = 273$ nm.	
Gráfica 17	Curva de calibración: $ABS = 0.06399 [Pt] + 0.30$ $r=0.9924$. $\lambda = 273$ nm	

INTRODUCCIÓN

El oro es uno de los metales que se encuentran en efluentes hidrometalúrgicos ácidos en pequeñas cantidades. Por otra parte, el costo del oro es alto, además no es un mineral abundante en la naturaleza en la actualidad. Por estas razones se ha estudiado la manera de recuperar estas cantidades de oro a niveles de trazas consideradas impurezas. Una técnica de separación clásica para la separación de especies metálicas es la extracción líquido-líquido. Un método de separación que se puede aplicar para la recuperación de oro en medios de HCl concentrado, es la extracción líquido-líquido utilizando un extractante solvantante.

La extracción por solvente es un tipo de proceso de transporte de masa ocurrido en la interface, como otros tipos de técnicas de separación como lo son la destilación, la sublimación, la condensación, etc., procesos de separación que han sido utilizados desde los primeros días de la química moderna.

La extracción por solventes o extracción líquido-líquido presenta algunas ventajas importantes sobre los demás procesos antes mencionados. Es así, que es muy útil para la separación de especies químicas inorgánicas como cationes metálicos. Permite una separación más limpia y simple de las especies involucradas y también puede ser utilizada en un amplio rango de concentraciones incluso a niveles de trazas; así como para su concentración o enriquecimiento. El oro es un metal valioso por su uso desde la antigüedad en la joyería y numismática. Se emplea en semiconductores, circuitos electrónicos y recubrimientos. En México se tienen yacimientos minerales de oro, particularmente en Durango, Oaxaca, Chihuahua, y Guanajuato.

El oro actúa con los grados de oxidación de 0, 1 y 3 y se disuelve en agua regia formando HAuCl_4 y en soluciones de NaCN para formar el cianocomplejo $\text{Au}(\text{CN})_2^-$. La extracción del Au(III) en forma de halocomplejos es efectiva con aminas y sales de amonio cuaternario. La tiourea y la ditizona son compuestos orgánicos que tienen átomos de azufre en su molécula y son extractantes reconocidos para Au(III). También se conoce que extractantes solvatantes son eficientes para separar oro. Sin embargo, es importante disponer de nuevos extractantes más eficientes y

selectivos, en particular es nuestro interés estudiar la eficiencia de extracción con un alcohol alifático primario de cadena larga como el dodecanol para el Au(III) en medios concentrados de ácido clorhídrico en el intervalo de 1 a 7 molar.

CAPITULO 1

1. MARCO TEORICO

1.1.Extracción líquido - líquido

La extracción líquido-líquido, a menudo llamada extracción con disolventes, consiste en la separación de los constituyentes de una mezcla líquida por contacto con otro líquido inmiscible, por lo tanto, no supone cambio de estado físico (figura 1). Dado que las densidades en el equilibrio de las dos fases son distintas, éstas se separarán tan pronto cese la agitación. Como la relación de ácido a agua en la fase orgánica es distinta a la de mezcla original, y también distinta a la de la fase acuosa, es evidente que se habrá producido una separación de los componentes respecto a la mezcla original. Si los componentes de la mezcla original se distribuyen de forma diferenciada entre las dos fases líquidas, se produce un cierto grado de separación, que puede acentuarse por la combinación de etapas múltiples [1].

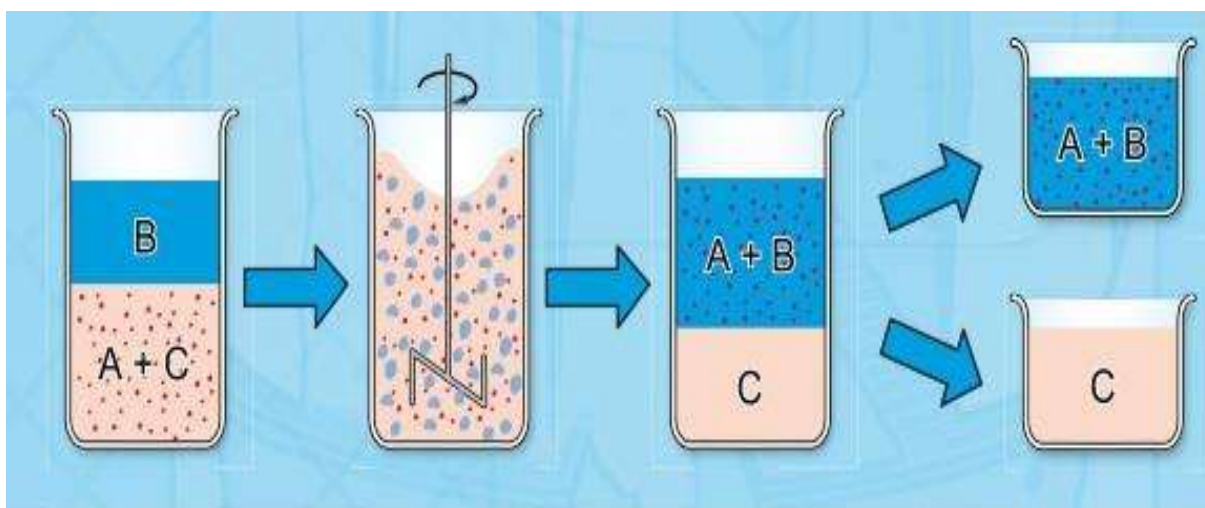


Figura 1: Extracción ideal: al mezclar y agitar la mezcla de partida(A+C) y el disolvente orgánico (B), el soluto (A) pasa al disolvente orgánico, tras la decantación se obtiene dos fases: fase extracto (A+B) y el líquido portador (C).

En este tipo de operaciones, generalmente la solución a ser extraída se denomina alimentación o refinado inicial, y el líquido con el que se pone en contacto disolvente

orgánico. La fase rica en disolvente se denomina fase extracto y el líquido residual de donde se ha eliminado el soluto se denomina refinado.

1.2. Competencia con otras operaciones de transferencia de masa

La extracción líquido-líquido compite con otras operaciones de transferencia de masa: destilación, lixiviación, absorción, desecación, cristalización, evaporación, etc. Tanto la destilación como la evaporación son métodos directos de separación, donde los productos obtenidos son básicamente sustancias puras. Por otra parte, la extracción líquido-líquido produce nuevas soluciones, que a su vez deben separarse, frecuentemente por destilación o evaporación. La extracción compite favorablemente en los siguientes casos.

- Para soluciones acuosas diluidas, en las cuales el agua debe evaporarse por destilación, la extracción suele ser más económica, dado que el calor latente de evaporación de la mayoría de los solventes orgánicos es menor que el del agua.
- Frente a la destilación a alto vacío, en procesos a baja temperatura para evitar descomposiciones térmicas. Por ejemplo, los ácidos grasos de cadena larga, pueden separarse de los aceites vegetales más económicamente por extracción con propano líquido que por destilación a vacío.
- Separación de mezclas que forman azeótropos
- Recuperación de componentes no volátiles.
- Para separaciones que no son fáciles o posibles por otras técnicas. Por ejemplo, muchas separaciones de metales, en particular aquellas costosas y difíciles por medios químicos (como vanadio-uranio, hafnio-circonio) se pueden llevar a cabo económicamente por extracción.

1.3. Aplicaciones de utilidad de la extracción líquida

Las aplicaciones de la extracción líquida se clasifican en varias categorías: aquellas aplicaciones en que la extracción está en competencia directa con otros métodos de separación y aquellas aplicaciones en que es el único método adecuado.

En competencia con otras operaciones de transferencia de masa, aquí, los costos relativos son importantes. La destilación y la evaporación son métodos directos de separación; los productos obtenidos están formados básicamente de sustancias puras.

Por otra parte, la extracción líquido-líquido produce nuevas soluciones, que a su vez deben separarse, frecuentemente por destilación o evaporación. Por ejemplo, es difícil separar, por destilación, al ácido acético de una solución diluida con agua; en cambio, puede separarse con relativa facilidad mediante la extracción con un disolvente adecuado y la destilación posterior del extracto. En particular, para las soluciones más diluidas en las cuales el agua debe evaporarse por destilación, la extracción es más económica; especialmente, porque el calor de evaporación de la mayoría de los disolventes orgánicos es sustancialmente menor que el del agua.

Como un sustituto de métodos químicos (Los métodos químicos consumen reactivos y con frecuencia conducen a una costosa eliminación de los subproductos químicos), la extracción líquida, que no provoca gastos químicos o eliminación de subproductos, puede ser menos costosa. La separación de metales como uranio-vanadio, hafnio-zirconio, tungsteno-molibdeno y los productos de fisión de los procesos de energía atómica, se llevan a cabo más económicamente por extracción líquida. Aun los metales menos costosos como cobre y sustancias químicas inorgánicas como ácido fosfórico, ácido bórico y similares, se pueden purificar de manera económica mediante extracción líquida, a pesar de que el costo de recuperación del disolvente debe incluirse en las cuentas finales [1].

1.4. Efecto de la presión

Excepto a presiones muy elevadas, la influencia de la presión en el equilibrio líquido-líquido es muy pequeña y puede ser ignorada.

1.5. Selección del extractante

Las características más importantes de los extractantes, con miras a su selección para un proceso de extracción son las siguientes:

1.5.1. Coeficiente de distribución, k_j .

El extractante debe originar que se presenten elevados coeficientes de distribución de la especie a separar, que se expresa como la relación entre las concentraciones del soluto (j) en las dos fases, donde el numerador es el total del metal en fase orgánica y el denominador es el total de metal en fase acuosa [3].

$$k_j = \frac{y_j}{x_j} \text{----- Ec. 1}$$

Donde:

y_j = Concentración de soluto en fase orgánica.

x_j = Concentración de soluto en fase acuosa.

k_j = Coeficiente de distribución del soluto j .

Aunque no es necesario que este coeficiente de distribución del soluto en ambas fases sea mayor que la unidad, valores mayores son deseables, ya que esto implica tener una eficiencia mayor al 50%.

1.5.2. Selectividad

La selectividad de un extractante para la separación de los componentes i, j de una cierta mezcla inicial, vendrá expresada por el factor de separación (α_{ij}) que representa el valor de la concentración relativa de los mismos en las fases extracto y refinado, es decir, se expresa por el valor de la relación:

$$\alpha_{ij} = \frac{\frac{y_i}{x_i}}{\frac{y_j}{x_j}} = \frac{k_i}{k_j} \text{----- Ec. 2}$$

Donde:

α_{ij} = Selectividad del extractante.

k_i = Coeficiente de distribución del soluto i.

k_j = Coeficiente de distribución del soluto j.

En el sistema de que se trate, para que la separación de los componentes i, j de la mezcla inicial sea posible, el factor de separación (α_{ij}) debe ser distinto de uno, y cuanto más elevado sea, la selectividad aumenta y más fácil será la separación del componente i del componente j. De este parámetro dependerá el número de etapas necesarias para una separación dada.

1.5.3. Densidad

Evidentemente, es esencial que exista diferencia en las densidades de la fase acuosa y orgánica en contacto para que sea viable la extracción. La operación se desarrollará más fácilmente cuanto mayor sea la diferencia de densidades. Así pues, se seleccionarán aquellos disolventes con densidad lo más distinta posible a la mezcla a extraer.

1.5.4. Tensión interfacial

Cuanto mayor sea la tensión superficial entre las fases extracto y refinado con mayor facilidad coalescerán sus emulsiones y con mayor dificultad se conseguirá su mutua dispersión. Normalmente la etapa más lenta es de coalescencia y separación de fases.

El solvente orgánico debe ser no volátil y químicamente estable, e inerte respecto los materiales y equipo utilizado para la extracción. Es recomendable que el solvente sea de bajo costo y toxicidad, para facilitar su manejo y almacenamiento.

Tomando en cuenta las sugerencias anteriores y en la inteligencia de que se necesita un diluyente orgánico con la capacidad de disolver el extractante solvatante (dodecanol), se proponen varios solventes que pudieran ser aptos para nuestro sistema de extracción entre ellos: Keroseno y Cloroformo.

1.6. El Oro y sus propiedades

Las propiedades físicas y químicas del oro han motivado a lo largo de la historia su identificación como símbolo del poder y riqueza, llegando incluso a ser el soporte de las economías nacionales e internacionales [4]. En la tabla I se indican las propiedades físicas del metal.

PROPIEDADES	ORO
Símbolo químico	Au
Color	Amarillo
Peso Atómico	197
Número Atómico	79
Estado de oxidación	3.1
Densidad Específica	19.3
Temp. De Fusión C°	1063
Temp. De ebullición C°	2530
Temp. De vaporización C°	2808
Calor de fusión, cal/gr.	16.3
Dureza (Mohs)	2.5
Radio atómico, A°	1.46
Radio iónico, A°	1.37
Potencial normal, voltios	1.498
Resist. Eléctrica, MHm.	2.25
Electronegatividad	2.4

Tabla I Propiedades del oro, Fuente: Tecnología de refinación de los metales preciosos.

1.6.1. Conductividad eléctrica

La capacidad para trasportar eficientemente el calor y la electricidad es una característica del oro, haciéndolo imprescindible en la electrónica moderna. Su conductividad eléctrica es superada solo por el cobre y la plata, pero a diferencia de estos metales, el oro no se deslustra, por lo que es el más confiable de los metales conductores.

1.6.2. Resistencia a la corrosión

La resistencia a la corrosión del oro es una de las propiedades más útiles. Generalmente la única sustancia que puede corroer al oro es una mezcla de

ácido nítrico y clorhídrico (agua regia), y el uso continuo del oro no lo deslustra. Esta cualidad hace al oro ideal para su uso como cubierta de contactos y contenedores en circuitos eléctricos en los que se requiere el contacto íntimo entre dos superficies de metal para garantizar la conexión eléctrica.

1.6.3. Maleabilidad

El oro es un metal extremadamente maleable. El oro puro puede ser martillado hasta formar láminas transparentes, con espesor de 0.00001 mm con facilidad o estirarlo en alambres con pesos de 0.5 mg/m. Es posible lograr que una onza de oro cubra una superficie de 9 metros cuadrados con un espesor de 0.000018 cm.

1.6.4. Ductilidad

El oro es muy dúctil y una onza se puede estirar tanto para crear un cable fino de 5 micras de diámetro y llegar a medir 80 Km de largo. Esta propiedad es útil en la producción de cable de unión usado en componentes eléctricos.

1.6.5. Biocompatibilidad

El oro ha demostrado excelente biocompatibilidad con el cuerpo humano, razón por la cual se ha usado en odontología y en material de uso quirúrgico y médico. Además, posee un alto grado de resistencia para propagación de bacterias, lo cual hace que este material sea elegido para implantes que tengan riesgo de infección [5].

1.7. Propiedades químicas

Es fácilmente soluble en agua regia o en otras mezclas que desprenden cloro. También lo disuelve el yodo en estado nascente y los cianuros. No lo atacan el ácido clorhídrico ni tampoco el ácido nítrico solos, no lo atacan los álcalis fundidos, el ácido sulfúrico lo ataca por encima de los 300 °C. El oro con gran facilidad se mezcla con el mercurio (amalgama de mercurio). Calentando cuidadosamente la amalgama formada, se evapora el mercurio y queda el oro en forma esponjosa.

El oro es el más "no-reactivo" de todos los metales, es benigno en todos los ambientes naturales e industriales. El oro nunca reacciona con oxígeno o sea difícilmente se oxidará [6].

1.7.1. Reactividad

El oro es sumamente inactivo. Es inalterable por el aire, el calor, la humedad y la mayoría de los agentes químicos, aunque se disuelve en mezclas que contienen cloruros, bromuros o yoduro. También se disuelve en otras mezclas oxidantes, en cianuros alcalinos y en agua regia. Los cloruros y los cianuros son los compuestos importantes de oro.

1.7.2. Catálisis

El oro ha mostrado tener un papel muy destacado como catalizador. De hecho, existe un gran número de reacciones catalizadas por este metal derivadas de la adición inter- e intramolecular de distintos sustratos a compuestos acetilénicos. Así como también en reacciones de hidrogenación y oxidación selectiva, aunque el número de aplicaciones sigue creciendo constantemente en la actualidad [5].

1.8. Propiedades mecánicas

El oro es uno de los metales más dúctiles y se puede laminar hasta obtener hojas (panes de oro) de un espesor de 0.0001 mm., las cuales dejan pasar la luz tomando un color verde azulado, pero con la luz reflejada presenta su color característico. Se puede estirar en hilos finísimos, con un gramo se consigue un hilo de 2000 metros de longitud. Sin embargo, tiene escasa tenacidad, un hilo de 2 mm de diámetro se rompe al peso de 68.216 kg.

1.9. Usos

Cerca de tres cuartas partes de la producción mundial del oro se consumen en joyería. Sus aplicaciones industriales, especialmente en electrónica, consumen 10-15%. El remanente está dividido entre los empleos médicos y dentales, acuñación y reservas para el gobierno y particulares. Las monedas y demás

objetos decorativos de oro son en realidad aleaciones porque el metal es muy blando (2.5-3 en la escala de Mohs) para ser útil con un manejo frecuente [7].

- El oro ejerce funciones críticas en comunicaciones, naves espaciales, motores de aviones de reacción y otros muchos productos.
- Su alta conductividad eléctrica y resistencia a la oxidación ha permitido un amplio uso como capas delgadas electrodepositadas sobre la superficie de conexiones eléctricas para asegurar una conexión buena, de baja resistencia.
- Como la plata, el oro puede formar fuertes amalgamas con el mercurio que a veces se emplea en empastes dentales.
- El oro coloidal (nanopartículas de oro) es una solución intensamente coloreada que se está estudiando en muchos laboratorios con fines médicos y biológicos.
- También es la forma empleada como pintura dorada en cerámicas.
- El ácido cloroaúrico se emplea en fotografía.
- El isótopo de oro ^{198}Au , con un periodo de semidesintegración de 2.7 días, se emplea en algunos tratamientos de cáncer y otras enfermedades.
- Se emplea como recubrimiento de materiales biológicos permitiendo ser visto a través del microscopio electrónico de barrido (SEM).
- Se emplea como recubrimiento protector en muchos satélites debido a que es un buen reflector de la luz infrarroja.
- En la mayoría de las competiciones deportivas es entregada una medalla de oro al ganador, entregándose también una de plata al subcampeón y una de bronce al tercer puesto.
- Se ha iniciado su uso en cremas faciales o para la piel.

- Se utiliza para la elaboración de flautas traveseras finas debido a que se calienta con mayor rapidez que otros materiales, facilitando la interpretación del instrumento.
- Electrónica, el segundo lugar en la demanda de oro para la fabricación es el sector electrónico, con una participación del 6.6 por ciento para dicho fin. A pesar de la importancia de su uso en la técnica, este es ínfimo si se lo compara con su uso en joyería. En este segmento de mercado se utiliza el oro por sus características físicas y químicas, no dependiendo la cantidad demandada del precio que, por sus características físicas y químicas, no dependiendo la cantidad demandada del precio que alcance el metal, por cuanto el valor del oro contenido en el producto final es poco relevante en relación al valor total del producto. A modo de ejemplo, se calcula que un transbordador espacial contiene cerca de 41 kilogramos de oro que a los precios actuales representa cerca de 522 mil dólares, valor poco relevante en el costo total de fabricación. Los países industrializados demandan el 5.9 por ciento para su utilización en este sector, mientras que los países en desarrollo solo demandan para este fin el 0.6 por ciento. El oro se usó en los primeros cables eléctricos en vez del cobre, debido a su gran conductividad. Sin embargo, fue sustituido por plata debido a que se producían robos. Asimismo, por los robos cambiaron la plata por cobre.
- Otras aplicaciones para el oro incluyen placas decorativas, relojes, lapiceros, aros de anteojos y tapas de baños. También se utiliza para decoración de platos de porcelana. El más espectacular uso del oro es en los domos de techos de edificios. Recientemente el oro ha sido utilizado para revestir los vidrios de las ventanas de edificios, como forma disminuir los costos de calefacción y aire acondicionado.

En la figura 2, se muestra un diagrama con la demanda mundial que tiene el oro.



Figura 2: Composición de la demanda mundial de oro, Fuente: Gold Fields Mineral Services [8].

1.10. Compuestos

El oro puede tener valencia 1+ o 3+ en sus compuestos. La tendencia a formar complejos es tan fuerte que todos los compuestos de oxidación 3+ son complejos. Los compuestos del estado de oxidación 1+ no son muy estables y tienden a oxidarse al estado 3+ o reducirse a oro metálico. Todos los compuestos de cualquier estado de oxidación se reducen con facilidad.

En sus complejos el oro forma enlaces más fácilmente y más estables con los halógenos y el azufre, menos estables con oxígeno y fósforo y muy débiles con nitrógeno. Los enlaces entre oro y carbono son normalmente estables, como en los complejos de cianuro y varios compuestos orgánicos.

La materia prima para la obtención del oro, proviene tanto de la industria minera (extractiva), como del reciclado de productos industriales. El alto nivel de pureza exigido al oro comercial (99.5% mínima) se logra mediante el uso de diferentes procesos de afinación. Las múltiples aplicaciones industriales del oro tienen su base en las especiales propiedades físicas y químicas del metal y se logra mediante transformaciones del oro y de sus aleaciones usando diferentes técnicas y procedimientos.

1.11. Ácido Clorhídrico

1.11.1. Propiedades físicas y químicas

PROPIEDADES	ACIDO CLORHIDRICO
Color	Incoloro, amarillo
Olor	Picante, irritante
Temperatura de fusión °C	-46.2
Punto de ebullición °C	90
Punto de fusión °C	-114
Presión de vapor a (20° C y 30%) mm Hg	15
Densidad relativa	1.19
Densidad del líquido gr / cc	1.19
Densidad de vapor	1.257
Solubilidad en agua (alcohol, éter, benceno) gr/l	823
Calor de fusión cal/mol	476
Calor de vaporización cal/gr	98.6

Tabla II: Propiedades del Ácido Clorhídrico, Fuente: International Chemical Safety Cards. [9]

El ácido clorhídrico disuelve a todos los metales (excepto a los metales nobles) y óxidos metálicos. Reacciona con los metales que están por encima del hidrógeno en la serie de potencial eléctrico formando cloruros y con los óxidos e hidróxidos metálicos.

Disuelve al plomo cuando está concentrado, clora los hidrocarburos saturados y no saturados por adición y por sustitución. Descompone la zeolita y las escorias para dar ácido silícico. Reacciona con los carbonatos básicos poniendo en libertad el gas carbónico y agua. Neutraliza las soluciones alcalinas y actúa como agente hidrolizante con los carbohidratos. Desplaza al ion ácido de muchas sales tales como fosfatos y boratos. El ácido gaseoso a elevadas temperaturas ataca al hierro. El gas anhidro no es corrosivo, pero en solución acuosa es uno de los ácidos fuertes y de gran actividad química.

1.12. Dodecanol

PROPIEDADES	DODECANOL
Apariencia	sólido sin color
Densidad	0.8309
Masa molar	186.34
Punto de fusión	24 °C (297 K)
Punto de ebullición	259 °C (532 K)
Solubilidad en agua	0.0004

Tabla III: Propiedades del dodecanol (extractante)

Dodecanol (denominado sistemáticamente dodecan-1-ol) es un compuesto orgánico con la fórmula química $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{CH}_2\text{OH}$ (también escrito como $\text{C}_{12}\text{H}_{26}\text{O}$). Es de mal sabor, sólido incoloro con un olor floral. Se clasifica como un alcohol graso.

1.12.1. Producción y uso

El dodecanol se utiliza para fabricar tensoactivos, aceites lubricantes, productos farmacéuticos, en la formación de polímeros monolíticos y como mejorador del sabor aditivo alimentario. En cosmética, el dodecanol se utiliza como un emoliente. Es también el precursor del dodecanal, una fragancia importante.

En 1993, la demanda europea de dodecanol fue de alrededor de 60 mil toneladas por año. Se puede obtener a partir de almendra de palma o aceite de coco, ácidos grasos y ésteres de metilo por hidrogenación.

1.12.2. Toxicidad

El dodecanol es un irritante leve de la piel. Tiene aproximadamente la mitad de la toxicidad del etanol, pero es muy nocivo para los organismos marinos.

1.13. Keroseno

De manera general, el keroseno es un hidrocarburo derivado del petróleo que es un líquido oleaginoso inflamable, cuyo color varía de incoloro a negro y consiste en una mezcla compleja de cientos de compuestos diferentes, la mayoría de estos son los hidrocarburos compuestos que contienen átomos de carbono e hidrógeno, formando moléculas de hasta 50 átomos de carbono las cuales presentan pequeñas cantidades de azufre, nitrógeno, oxígeno y metales pesados, los cuales no se encuentran en estado libre sino formando parte de las moléculas de los hidrocarburos. La masa molecular del keroseno es de aproximadamente 170 g/mol. La composición aproximada que presenta el mismo se mueve en el rango de C_{12} - C_{16} , hirviendo normalmente entre los 150°C y los 235-315°C.

1.13.1. Usos

- Combustible, en los motores a reacción y de turbina de gas.
- Se añade al gasóleo de automoción en las refinerías.
- Aun lo usan para alumbrar, calentar y cocinar, en zonas rurales muy alejadas.
- Como dieléctrico en procesos de mecanizado por descargas eléctricas y, antiguamente, para iluminación.
- Es insoluble en agua.
- Como combustible para motores diesel, tractores, cohetes, mecheros y como base para la fabricación de insecticidas y pesticidas.
-

1.13.2. Propiedades del keroseno

El kerosene tiene características genéricas tanto físicas como químicas y son las siguientes:

PROPIEDADES	KEROSENO
Apariencia	olor característico
Densidad	0.8
Densidad de vapor	4.5
Punto de fusión	menos 18°C
	0,5mm de Hg a
Presión de vapor	20°C.
Solubilidad en agua	0

Tabla IV: Propiedades del keroseno. [10]

1.14. Espectrofotometría UV- visible

La espectrofotometría UV-visible es una técnica analítica que permite determinar la concentración de un compuesto en solución. Se basa en que las moléculas absorben las radiaciones electromagnéticas y a su vez que la cantidad de luz absorbida depende de forma lineal de la concentración. Para hacer este tipo de medidas se emplea un espectrofotómetro, en el que se puede seleccionar la longitud de onda de la luz que pasa por una solución y medir la cantidad de luz absorbida por la misma.

El fundamento de la espectroscopia se debe a la capacidad de las moléculas para absorber radiaciones, entre ellas las radiaciones dentro del espectro UV-Visible. Las longitudes de onda de las radiaciones que una molécula puede absorber y la eficiencia con la que se absorben dependen de la estructura atómica y de las condiciones del medio (pH, temperatura, fuerza iónica, constante dieléctrica), por lo que dicha técnica constituye un valioso instrumento para la determinación y caracterización de biomoléculas. Las moléculas pueden absorber energía luminosa y almacenarla en forma de energía interna. Esto permite poner en funcionamiento ciclos vitales como la fotosíntesis en plantas y bacterias.

Cuando la luz (considerada como energía) es absorbida por una molécula se origina un salto desde un estado energético basal o fundamental, (E_1), a un estado de mayor energía (estado excitado), (E_2). Y sólo se absorberá la energía que permita el salto al estado excitado (figura 3). Cada molécula tiene una serie de estados excitados (o bandas) que la distingue del resto de moléculas. Como consecuencia, la absorción que a distintas longitudes de onda presenta una molécula esto es, su espectro de absorción constituye una señal de identidad de la misma. Por último, la molécula en forma excitada libera la energía absorbida hasta el estado energético fundamental [12].

$$E_2 - E_1 = h\nu \text{-----Ec. 3}$$

Donde:

E_1 = Estado energético basal o fundamental.

E_2 = Estado de mayor energía (estado excitado).

$h\nu$ = Energía absorbida.

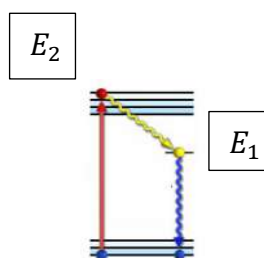


Figura 3. Diagrama de niveles de energía en una molécula.

La absorción de energía luminosa hace que la molécula pase desde un estado fundamental (E_1) a otro excitado (E_2). Posteriormente la molécula relaja su energía mediante distintos mecanismos (vibración, rotación, etc.)

En espectroscopía, el término luz no sólo se aplica a la forma visible de radiación electromagnética, sino también a las formas UV e IR, que son invisibles. En espectrofotometría de absorbancia se utilizan las regiones del ultravioleta (UV cercano, de 195-400 nm) y el visible (400-780 nm) (figura 4).

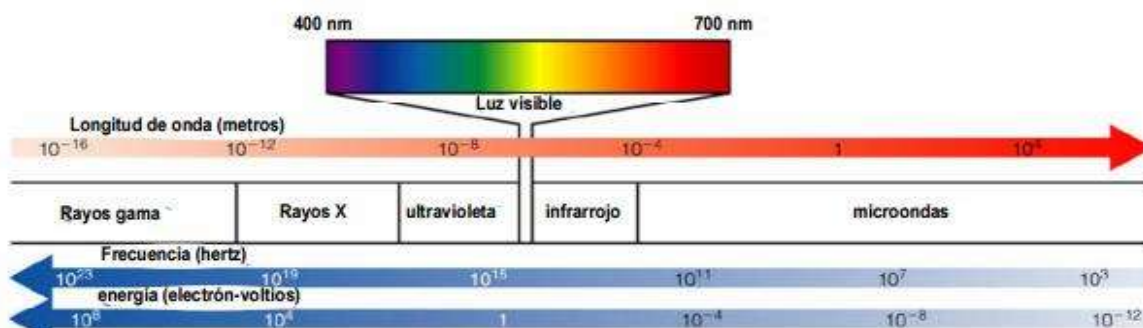


Figura 4: Espectro Electromagnético [10]

1.15. La región UV

Se define como el rango de longitudes de onda de 195 a 400 nm. Es una región de energía muy alta. Provoca daño al ojo humano, así como quemadura común. Los compuestos con dobles enlaces aislados, triples enlaces, enlaces peptídicos, sistemas aromáticos, grupos carbonilos y otros heteroátomos tienen su máxima absorbancia en la región UV, por lo que ésta es muy importante para la determinación cualitativa y cuantitativa de compuestos orgánicos. Diversos factores -como pH, concentración de sal y el disolvente- que alteran la carga de las moléculas, provocan desplazamientos de los espectros UV. La fuente de radiación ultravioleta es una lámpara de deuterio.

1.15.1. La región visible

Apreciamos el color visible de una solución y que corresponde a las longitudes de onda de luz que transmite, no que absorbe. El color que absorbe es el complementario del color que transmite. Por tanto, para realizar mediciones de absorción es necesario utilizar la longitud de onda en la que absorbe luz la solución coloreada (tabla V). La fuente de radiación visible

suele ser una lámpara de tungsteno y no proporciona suficiente energía por debajo de 320 nm.

longitud de onda aproximada	color de luz que se absorbe	color de luz que se refleja o ve
390 - 435	Violeta	Amarillo verdoso
435 - 490	Azul	Amarillo
490 - 580	Verde	Rojo
580 - 595	Amarillo	Azul
595 - 650	Naranja	Azul verdoso
650 - 780	Rojo	Verde azulado

Tabla V. Longitud de onda vs. Color de luz que se refleja.

1.16. Transmitancia y Absorbancia

Cuando un rayo de luz de una determinada longitud de onda de intensidad (I_o) incide perpendicularmente sobre una disolución de un compuesto químico que absorbe luz o cromóforo, el compuesto absorberá una parte de la radiación incidente (I_a) y dejará pasar el resto (I_t), de forma que se cumple la ec. 4:

$$I_o = I_a + I_t \text{ -----Ec.4}$$

Donde:

I_t = cantidad de luz transmitida

I_a = Cantidad de luz absorbida

I_o = Cantidad de luz inicial.

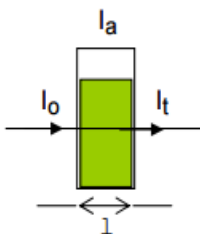


Figura 5. XXX. Absorbancia de luz. L= longitud del paso de luz

1.16.1. Transmitancia

La transmitancia de una sustancia en solución es la relación entre la cantidad de luz transmitida que llega al detector una vez que ha atravesado la muestra, (l_t), y la cantidad de luz que incidió sobre ella, (l_o), y se representa normalmente en tanto por ciento (%T):

$$\% T = \frac{l_t}{l_o} \times 100 \text{----- Ec. 5}$$

Dónde:

$\% T$ = Porcentaje de transmitancia.

La transmitancia nos da una medida física de la relación de la intensidad incidente y la transmitida al pasar por la muestra. La relación entre %T y la concentración no es lineal, pero asume una relación logarítmica inversa.

1.16.2. Absorbancia

Es un concepto más relacionado con la muestra, puesto que nos indica la cantidad de luz absorbida por la misma, y se define como el logaritmo de $\frac{1}{T}$; en consecuencia:

$$A = \log \frac{1}{T} = -\log T = -\log \frac{l_t}{l_o} \text{-----Ec. 6}$$

Cuando la intensidad incidente y transmitida son iguales ($l_o = l_t$), la transmitancia es del 100% e indica que la muestra no absorbe a una determinada longitud de onda, y entonces A vale cero, ya que $\log 1 = 0$.

La cantidad de luz absorbida dependerá de la distancia que atraviesa la luz a través de la solución del cromóforo y de la concentración de éste [11].

1.17. Ley de Lambert-Beer

Esta ley expresa la relación entre la absorbancia de luz monocromática (de longitud de onda fija) y la concentración de un cromóforo en solución (Ec. 7):

$$A = \log \frac{L}{L_0} = \varepsilon \cdot c \cdot L \text{-----Ec. 7}$$

Dónde:

A = Absorbancia

ε = Coeficiente molar de (extinción.)

c = concentración

L = longitud de la celda

La absorbancia de una solución es directamente proporcional a su concentración (c), a mayor número de moléculas mayor interacción de la luz con ellas; también depende de la distancia que recorre la luz por la solución (L), a igual concentración, cuanto mayor distancia recorre la luz por la muestra más moléculas se encontrará; y, por último, depende de ε , una constante de proporcionalidad, denominada coeficiente de extinción, que es específica de cada cromóforo. Como A es adimensional, las dimensiones de ε dependen de las de c y l. La segunda magnitud (L) se expresa siempre en cm mientras que la primera (c) se hace, siempre que sea posible, en molaridad (M), con lo que las dimensiones de ε resultan ser $M^{-1} \cdot cm^{-1}$.

Este coeficiente así expresado, en términos de unidades de concentración molar (o un submúltiplo apropiado), se denomina coeficiente de extinción molar (ε_M). Cuando, por desconocerse el peso molecular del soluto, la concentración de la disolución se expresa en otras unidades distintas de M, por ejemplo $g \cdot L^{-1}$, las dimensiones de ε resultan ser distintas, por ejemplo $g^{-1} \cdot L \cdot cm^{-1}$, y al coeficiente así expresado se denomina coeficiente de extinción específico (ε_s). La ley de Lambert-Beer se cumple para soluciones diluidas; para valores de concentración (c) altos, ε varía con la concentración, debido a fenómenos de dispersión de la luz, agregación de moléculas, cambios del medio, etc. [11].

1.18. Instrumentación para la medición de absorbancias de la luz visible y ultravioleta: espectrofotómetro UV-VISIBLE.

La medición de absorbancia de la luz por las moléculas se realiza en un equipo llamado espectrofotómetro. Aunque pueden variar en diseño, en especial con la

incorporación de ordenadores para el análisis de datos, todos los espectrofotómetros constan, según se indica en la figura 5, de:

- a) Una fuente de energía radiante: lámpara de deuterio y tungsteno.
- b) Un monocromador para la selección de radiaciones de una determinada longitud de onda: filtros, prismas, redes de difracción.
- c) Un compartimento donde se aloja un recipiente transparente (cubetas o tubos) que contenga la muestra. Pueden ser de vidrio, cuarzo o plástico transparente. Para medir en UV se deben usar las de cuarzo o sílice fundido, porque el vidrio no transmite la radiación UV.
- d) Un detector de luz y un amplificador convertidor de las señales luminosas en señales eléctricas.
- e) Un registrador o sistema de lectura de datos.

Desde el punto de vista operativo, el primer paso es seleccionar la fuente de luz y longitud de onda a la que se va a realizar la medida. Hay espectrofotómetros de un solo haz (con una sola celdilla para alojar la cubeta con la muestra) y de doble haz (con dos celdillas para dos cubetas); en nuestro caso se trabajará con los de doble haz. Se mide primero la absorbancia del disolvente (conocido como blanco) y al que se le asigna el valor de cero mediante el ajuste del mando, de forma que la intensidad incidente y transmitida sean iguales ($I_0 = I_t$), y por tanto la absorbancia es cero. A continuación, se pone en la celdilla la cubeta con la muestra y se lee la absorbancia de ésta.

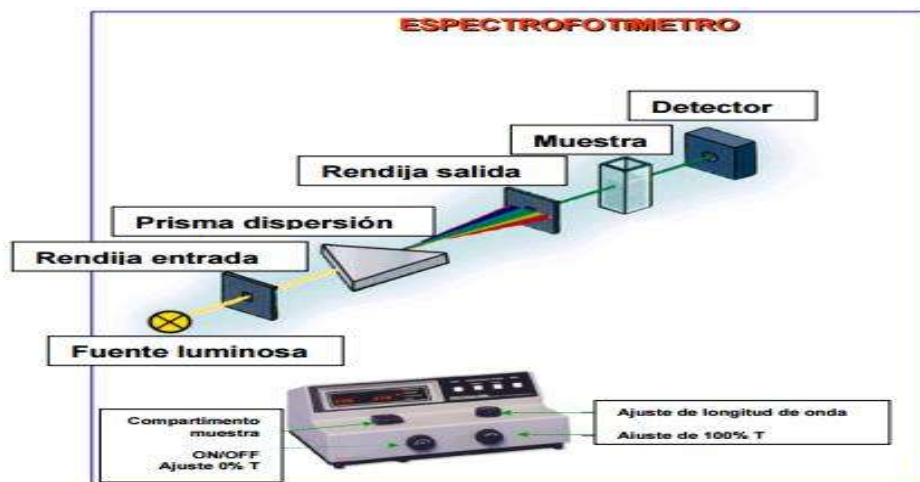


Figura 6. Estructura de un Espectrofotómetro.

1.19. Obtención de un espectro de absorción

El espectro de absorción es una representación gráfica que indica cantidad de luz absorbida a diferentes valores de longitud de onda, (λ). A partir de una solución diluida de un compuesto, cuya absorbancia máxima entra dentro del rango de medida del espectrofotómetro, se verá el valor de absorbancia a diferentes longitudes de onda frente a un blanco que contenga el disolvente de la solución de la muestra a caracterizar. A partir del espectro de absorción se obtendrá el valor de longitud de onda, λ , al que el compuesto presenta la mayor absorbancia (λ_{max}). Dicho (λ_{max}) se utilizará a la hora de hacer determinaciones cualitativas y cuantitativas del compuesto. El espectro de absorción de un cromóforo depende, fundamentalmente, de la estructura química de la molécula. Por ejemplo, en la figura 6, se muestran los espectros de absorción de tres pigmentos fotosintéticos cloroplastídicos. Se observa en la figura 6, que un compuesto puede tener más de un pico de absorción (λ_{max}).

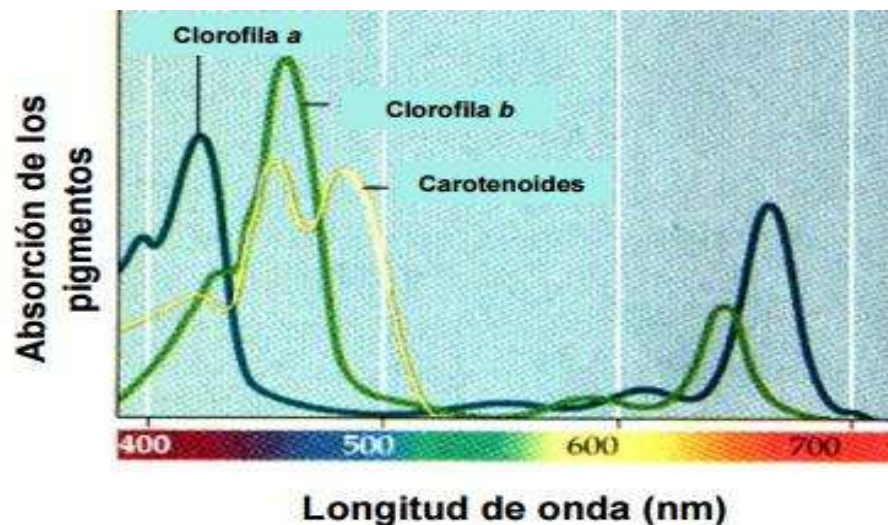


Figura 7: Espectro de absorción, como ejemplo tres pigmentos fotosintéticos.

No obstante, hay una gran cantidad de factores que originan variaciones en los valores de λ_{max} y ϵM , entre los que se incluye el pH, la polaridad del solvente o moléculas vecinas y la orientación de los cromóforos vecinos; y cada uno afecta de forma particular.

1.20. Curvas de calibración

Para obtener una curva de calibración de un compuesto se preparan soluciones de diferentes concentraciones del mismo, determinándose para cada una de ellas el valor de la absorbancia a λ_{max} . Estos valores de absorbancia se representan en el eje de abscisas (eje de x) y los de concentración en el eje de ordenadas (eje de y). Se observará que, a bajas concentraciones, el aumento de concentración se corresponde con un incremento lineal en la absorbancia (zona de cumplimiento de la ley de Lambert-Beer). A concentraciones altas la linealidad se pierde y se observa que la línea se aplana, por lo que las mediciones de absorbancia son poco fiables.

La representación de la ley de Lambert-Beer, $A = \varepsilon \cdot c \cdot L$, nos permitirá calcular el valor del coeficiente de extinción molar, que corresponde a la pendiente de la recta de calibración.

CAPITULO 2

2.1. JUSTIFICACION

Actualmente la operación de extracción líquido – líquido ha venido cobrando gran importancia ya que es un proceso para separar componentes en solución por su distribución entre dos fases líquidas inmiscibles. En la extracción Líquido-Líquido, una alimentación líquida de dos o más componentes se ponen en contacto con una segunda fase líquida, llamada disolvente, que es inmiscible o sólo parcialmente miscible o más componentes de la alimentación y completamente o parcialmente miscible con uno o más de los otros componentes de la alimentación. La ELL es importante debido a la demanda de los productos sensibles a la temperatura, los requisitos de mayor pureza, mejor equipo y por ser un método importante en bioseparaciones.

2.2.OBJETIVOS

2.2.1. OBJETIVO GENERAL

- * Estudiar las propiedades como agente extractante del dodecanol para Au(III) en medios concentrados de HCl.

2.2.1.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- * Evaluar la eficiencia de extracción para la separación de oro con dodecanol disuelto en un diluyente orgánico.
- * Establecer las mejores condiciones de trabajo para la extracción del metal en función de la composición de las fases y de los rendimientos de extracción.
- * Optimizar el sistema de extracción metal-extractante-disolvente a través del estudio de la influencia de factores tales como: pH de la fase acuosa, concentración del ácido y del extractante, naturaleza del disolvente y tiempo de agitación.
- * Caracterizar la especie extraída mediante análisis gráfico.
- * Establecer la selectividad respecto al cobre, paladio y platino.

2.3.HIPOTESIS

Estudios anteriores han demostrado que la separación de oro en medios concentrados de ácido clorhídrico, con extractantes solvatantes (alcoholes) ha funcionado. Por tanto, se estudiará la eficiencia de extracción y selectividad del dodecanol (alcohol alifático) en función de la variación de concentración del medio ácido y del extractante, así como del tiempo en contacto de las fases acuosa y orgánica. Es de esperar que la extracción del metal sea posible y rápida, debido a que el dodecanol es insoluble en agua.

CAPITULO 3

3. METODOLOGIA

Se realizaron pruebas de extracción de oro utilizando un extractante solvatante, aplicando la técnica de extracción líquido-líquido. La fase acuosa contenía oro en medios concentrados de ácido clorhídrico y la fase orgánica contenía dodecanol disuelto en keroseno. El dodecanol es un alcohol alifático empleado como extractante solvatante para separación del oro. Se emplearon volúmenes iguales de 5 mL de las fases acuosa y orgánica. Las pruebas de extracción líquido-líquido se realizaron en función de la concentración del medio ácido y de la concentración del extractante.

La fase acuosa, se compone de oro disuelto en medios concentrados de ácido clorhídrico. La concentración de oro fue de $2 \times 10^{-4} M$, y se fue variando la concentración del ácido clorhídrico desde 1 M hasta 7 M. Esto con el fin de determinar la eficiencia de extracción que se tiene a diferentes concentraciones de ácido clorhídrico (HCl).

La fase orgánica, se compone de dodecanol disuelto en keroseno. La concentración que se utilizó de dodecanol vario de 0.2 M a 1 M en keroseno.

El experimento de extracción se realizó en una etapa de extracción con relación de fases 1 a 1, por ejemplo, se utilizaron 5 ml de fase acuosa y 5 ml de fase orgánica. Las fases acuosa y orgánica se pusieron en contacto en un embudo de separación y se agitaron el tiempo necesario para alcanzar condiciones de equilibrio. Se separaron las fases de acuerdo a su diferencia de densidades. La variación de concentración del metal se cuantificó mediante espectrofotometría ultravioleta-visible.

Se determinó la selectividad del extractante para separar oro del cobre, paladio y platino; estos metales se encuentran muy ligados al oro tanto en fuentes primarias como secundarias.

3.1. Método Cuantitativo

Las pruebas se realizan por triplicado, esto para reducir el porcentaje de error y los resultados obtenidos sean más confiables. La determinación de las concentraciones del metal se realizó utilizando un espectrofotómetro UV-VIS, marca Perkin Elmer, modelo lambda 40, acoplado a una computadora.

El análisis se basa en el balance de materia del oro. La diferencia de concentraciones del metal inicial y después de la extracción, permite calcular la eficiencia de extracción expresada como el porcentaje de extracción de oro. De esta manera se cumple el balance de masa (Ec. 8):

$$[Au]_{inicial} = [Au]_{fase\ orgánica} + [Au]_{fase\ acuosa} \text{-----Ec.8}$$

Donde:

[Au] = Concentración molar de oro.

3.2. Reactivos y Equipo

Los reactivos utilizados fueron grado analítico y son los siguientes:

- Solución estándar de Au con concentración de $997 \frac{mg}{L}$ en solución de HCl al 5 %, Sigma- Aldrich.
- Solución estándar de Pd con una concentración de $1005 \frac{mg}{L}$ en solución de HCl al 5 %, Sigma- Aldrich.
- Solución estándar de Pt con una concentración de $980 \frac{mg}{L}$ en solución de HCl al 5 %, Sigma- Aldrich.
- Solución estándar de Cu con una concentración de $1031 \frac{mg}{L}$ en solución de HCl al 5 %, Sigma- Aldrich.
- Keroseno, Sigma- Aldrich.
- Dodecanol, Sigma-Aldrich.
- Ácido clorhídrico, Fermont.
- El equipo utilizado fue el siguiente:
- Espectrofotómetro ultravioleta – visible (figura 7)

Marca: Perkin Elmer Instruments.

Modelo: Lambda 40.

Fue utilizado para la medición de la variación de concentración del oro a una longitud de onda de 313 nm.

- Balanza analítica (figura 8).

Marca: Sartorius.

Modelo: BP61S máx: 61 g.

Se utilizó para pesar con exactitud.

- Agitador Mecánico (figura 9).

Marca: Burrel.

Modelo: Wrist Action Shaker 75.

Se utilizó para poner en contacto las fases acuosa y orgánica.



Figura 8: Espectrofotómetro uv-visible Perkin Elmer.



Figura 9. Balanza analítica. Marca Sartorius. Modelo BP61S.



Figura 10. Agitador mecánico. Marca Burrell

CAPITULO 4

4. PROCEDIMIENTO

4.1. Determinación del tiempo de agitación

En nuestro estudio de la separación del oro, por medio de extracción liquido-liquido, el tiempo de agitación juega un papel muy importante, ya que se tiene que determinar el tiempo necesario para alcanzar las condiciones de equilibrio. Se estableció un procedimiento para la determinación del tiempo de agitación y fue el siguiente:

- Se prepararon soluciones de Au(III) de concentraciones $2 \times 10^{-4} M$ en HCl 2 M, como fase acuosa
- Se prepararon soluciones de dodecanol 0.2 M en keroseno, como fase orgánica.
- Se realizaron 7 ensayos utilizando volúmenes iguales de las fases acuosa y orgánica: 5 mL de solución acuosa (punto número 1) y 5 mL de fase orgánica (punto numero 2), mezclándolas en un embudo de separación y variando los tiempos de agitación para cada una de las muestras.
- Se realizó un ensayo, agitando 5 mL de keroseno (no contenía extractante) y 5 mL de fase acuosa. Se determinó que el keroseno no extrae oro.
- Las muestras se colocan en el agitador mecánico y se agitaron a diferentes tiempos (1 min, 3 min, 5 min, 10 min, 20 min, 30 min y 40 min).
- Se dejaron reposar el tiempo necesario para la separación de las fases y así poder tomar la fase acuosa para medir la concentración del oro que se encuentra en esta fase acuosa (refinado) después de la extracción.
- Se cuantifica la concentración de oro que contiene la fase acuosa una vez extraído el oro utilizando un espectrofotómetro UV – VIS a una longitud de onda de 313.8 nm.

4.2. Estudio de las extracciones a diferentes concentraciones de HCl y Dodecanol

Una vez determinado el tiempo de agitación, se estudió la extracción de oro en diferentes medios concentrados de ácido clorhídrico, utilizando diferentes concentraciones de ácido de 1 *M* hasta 7 *M* utilizando la misma concentración de oro de 2×10^{-4} *M*.

Las concentraciones del extractante se van incrementando de 0.2 *M* hasta 1 *M* para determinar la eficiencia de extracción a diferentes relaciones molares [Au(III)]: [dodecanol].

4.3. Curva de Calibración

Antes de empezar con las cuantificaciones de la especie metálica en fase acuosa, se tiene que estimar la curva de calibración para los metales de interés en nuestro estudio; que es principalmente el oro y metales importantes como el paladio, platino y cobre, que frecuentemente se asocian al oro en minerales o fuentes primarias y en fuentes secundarias como aleaciones.

La gran mayoría de métodos instrumentales requieren una curva de calibración, proceso que relaciona la señal analítica medida con la concentración del metal.

Para realizar la curva de calibración se procede a preparar una serie de soluciones de fase acuosa de concentración conocida, las cuales se introducen en el instrumento y se registra la señal del instrumento. Normalmente esta señal se corrige por medio de la señal de un blanco, en el que se establece el cero de absorbancia; este blanco contiene todos los componentes de la fase acuosa a excepción del oro que es el que se desea medir. El blanco es preparado en el instante en que se preparan las demás muestras a determinarse ya que debe imitar las condiciones de análisis a la que se someten las muestras.

CAPITULO 5

Resultados

5.1. Determinación del tiempo de agitación

La determinación del tiempo de agitación para la extracción liquido-liquido nos permite establecer el tiempo necesario para alcanzar condiciones de equilibrio en el sistema de extracción. Este tiempo se puede determinar al graficar el porcentaje de extracción (**%E**) vs. tiempo (**t**). El porcentaje de extracción se define de acuerdo a la ecuación 9:

$$\% E = \frac{[A_U]_{ORG}}{[A_U]_0} \times 100$$

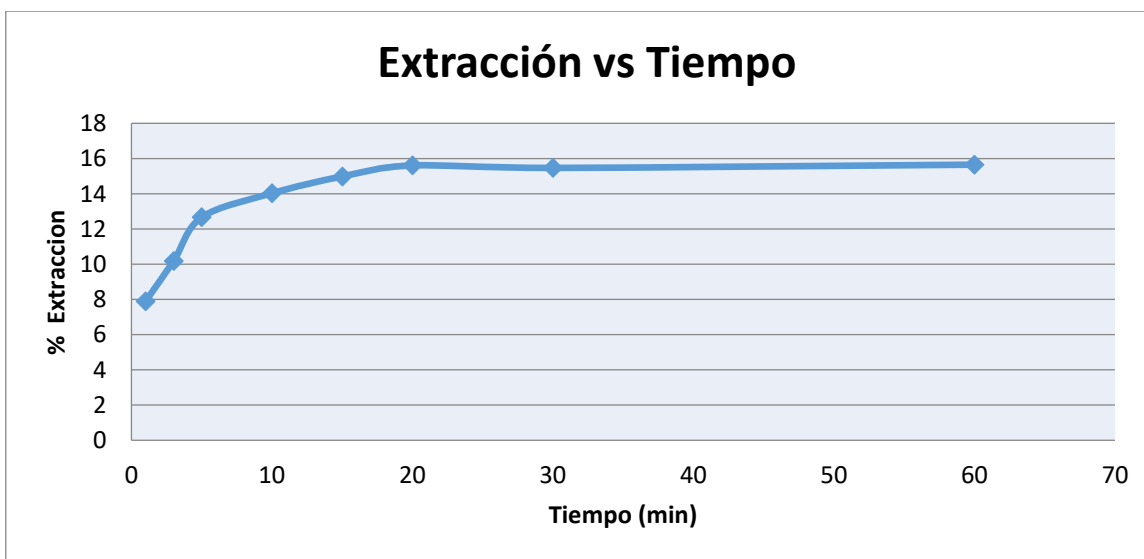
-----Ec. 9

Donde:

$[A_U]_{ORG}$ = Concentración molar de Au extraído en la fase orgánica.

$[A_U]_0$ = Concentración molar total inicial de Au presente en la fase acuosa.

Por lo tanto, en la gráfica 9, se muestra una representación del comportamiento del porcentaje de extracción con respecto al tiempo.



Gráfica 1. Determinación de tiempo de agitación.

Por consiguiente, se llegó a la conclusión que después de 15 min de agitación la extracción no tiene un avance significativo, por lo cual se concluye que en 15 minutos se llega a condiciones de equilibrio, y se determinó el tiempo de agitación para todos los experimentos de 20 minutos, lo que es más que suficiente para realizar el estudio a diferentes concentraciones del ácido clorhídrico y de dodecanol.

5.2. Extracción de oro con dodecanol en función de diferentes concentraciones de ácido clorhídrico.

La capacidad de extracción de oro depende de la concentración de ácido clorhídrico en la fase acuosa, al mismo tiempo se observó que al aumentar la concentración de dodecanol disuelto en keroseno (fase orgánica) aumentó la eficiencia de extracción del metal.

Como se muestra en la gráfica 2, se puede demostrar que si hay influencia significativa al variar las concentraciones tanto de ácido clorhídrico como de dodecanol. Se observó que el porcentaje de extracción de oro aumenta conforme se incrementan las concentraciones del ácido clorhídrico en la fase acuosa y de dodecanol en la fase orgánica. Los valores calculados del porcentaje de extracción se muestran en la tabla VI.

0.2 M de dodecanol	
Concentración de HCl	% de extracción
1	1.11238972
2	2.73872558
3	4.386125895
5	21.78953384
7	49.69234364

0.6 M de dodecanol	
Concentración de HCl	% de extracción
1	11.44230769
2	20.19582801
3	35.55651797
5	73.28761532
7	89.96806605

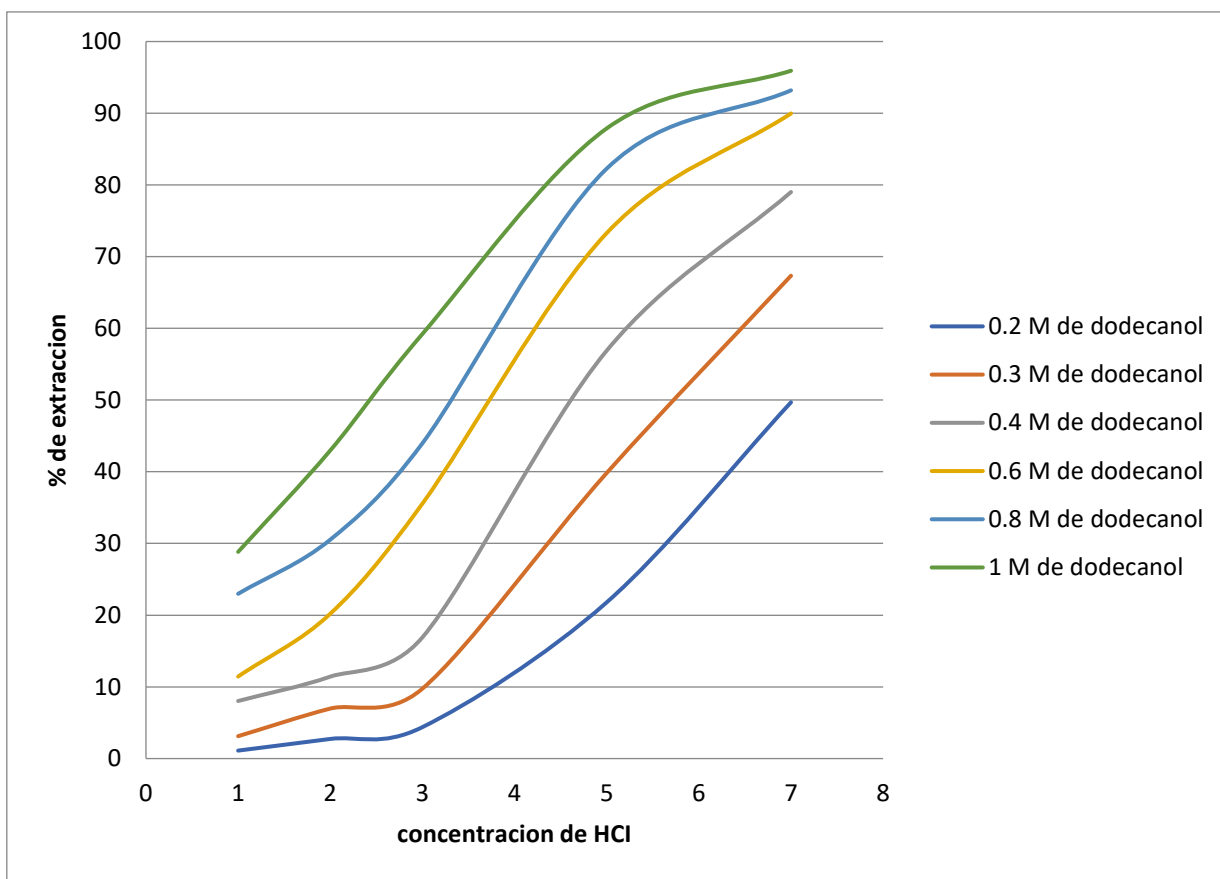
0.3 M de dodecanol	
Concentración de HCl	% de extracción
1	3.126198696
2	6.974621143
3	9.752038609
5	39.83182301
7	67.34169328

0.8 M de dodecanol	
Concentración de HCl	% de extracción
1	22.98076923
2	30.53214134
3	43.97570311
5	82.27610417
7	93.19261625

0.4 M de dodecanol	
Concentración de HCl	% de extracción
1	8.031206976
2	11.42961475
3	16.90797138
5	56.89444036
7	79.00926863

1 M de dodecanol	
Concentración de HCl	% de extracción
1	28.82692308
2	42.97147722
3	59.21950408
5	87.88472528
7	95.92647402

Tablas VI. Valores calculados del Porcentaje de Extracción de oro en función del tiempo.



Gráfica 2. Extracción de oro en función de diferentes concentraciones de ácido clorhídrico.

5.3. Coeficiente de distribución (D)

El coeficiente de distribución (D) se expresa por la ecuación 10:

$$D = \frac{[Au]_{org}}{[Au]_{ac}} \quad \text{Ec.10}$$

Donde:

D = Coeficiente de distribución del metal en ambas fases (acuosa y orgánica).

$[Au]_{org}$ = Concentración de oro en la fase orgánica (extracto).

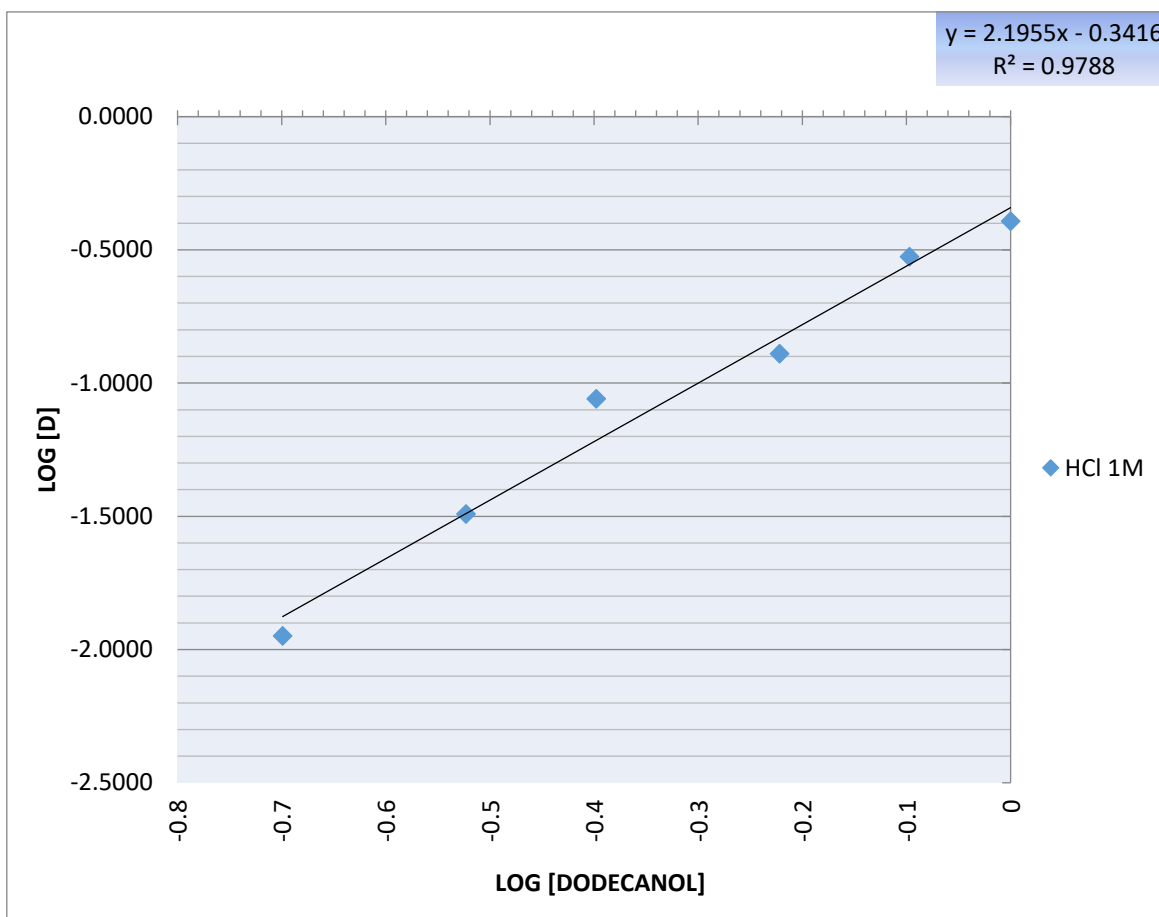
$[Au]_{ac}$ = Concentración de oro en la fase acuosa (refinado).

El análisis del coeficiente de distribución nos da una idea clara de la capacidad de extracción del dodecanol para separar oro en medios concentrados de ácido clorhídrico. Además, nos permite establecer un modelo de extracción. Los datos necesarios y los valores calculados de D y su log D se muestran en tablas. Esto nos permite presentar gráficos del Log D vs Log [dodecanol] para diferentes concentraciones de ácido clorhídrico (graficas 3, 4, 5, 6 y 7). En la gráfica 8, se muestra el log D vs log [dodecanol] para concentraciones de ácido clorhídrico 1 M, 2 M, 3 M, 5 M y 7 M. Un análisis gráfico nos permite establecer un mecanismo de extracción del oro con el dodecanol. En medios concentrados de HCl el oro se encuentra formando predominantemente la especie AuCl_4^- (grafica 9). Las pendientes de las rectas representan la estequiometría respecto al dodecanol. Se observa que las pendientes tienden a un valor de 2. Además, el dodecanol es un alcohol alifático que presenta un comportamiento solvatante, por lo que el valor de la pendiente nos permite asumir que la especie extraída en medios concentrados de ácido clorhídrico es $\text{HAuCl}_4 \cdot 2\text{R}$, siendo R el dodecanol.

5.4. Log D (Coeficiente de Distribución) vs Log Concentración Dodecanol

fase acuosa 39.4ppm de oro ³ en HCl 1M					
# de muestra	[DODECANOL]	% de extracción	D	LOG [DODECANOL]	LOG D
1	0.2	1.11238972	0.01124903	-0.69897	-1.94888492
2	0.3	3.1261987	0.03227084	-0.52287875	-1.49118976
3	0.4	8.03120698	0.08732535	-0.39794001	-1.05885967
4	0.6	11.4423077	0.12920738	-0.22184875	-0.88871267
6	0.8	22.9807692	0.29837703	-0.09691001	-0.52523462
	1	28.8269231	0.40502567	0	-0.39251745

Tabla VII. Fase acuosa 39.4ppm de oro³ en HCl 1M.

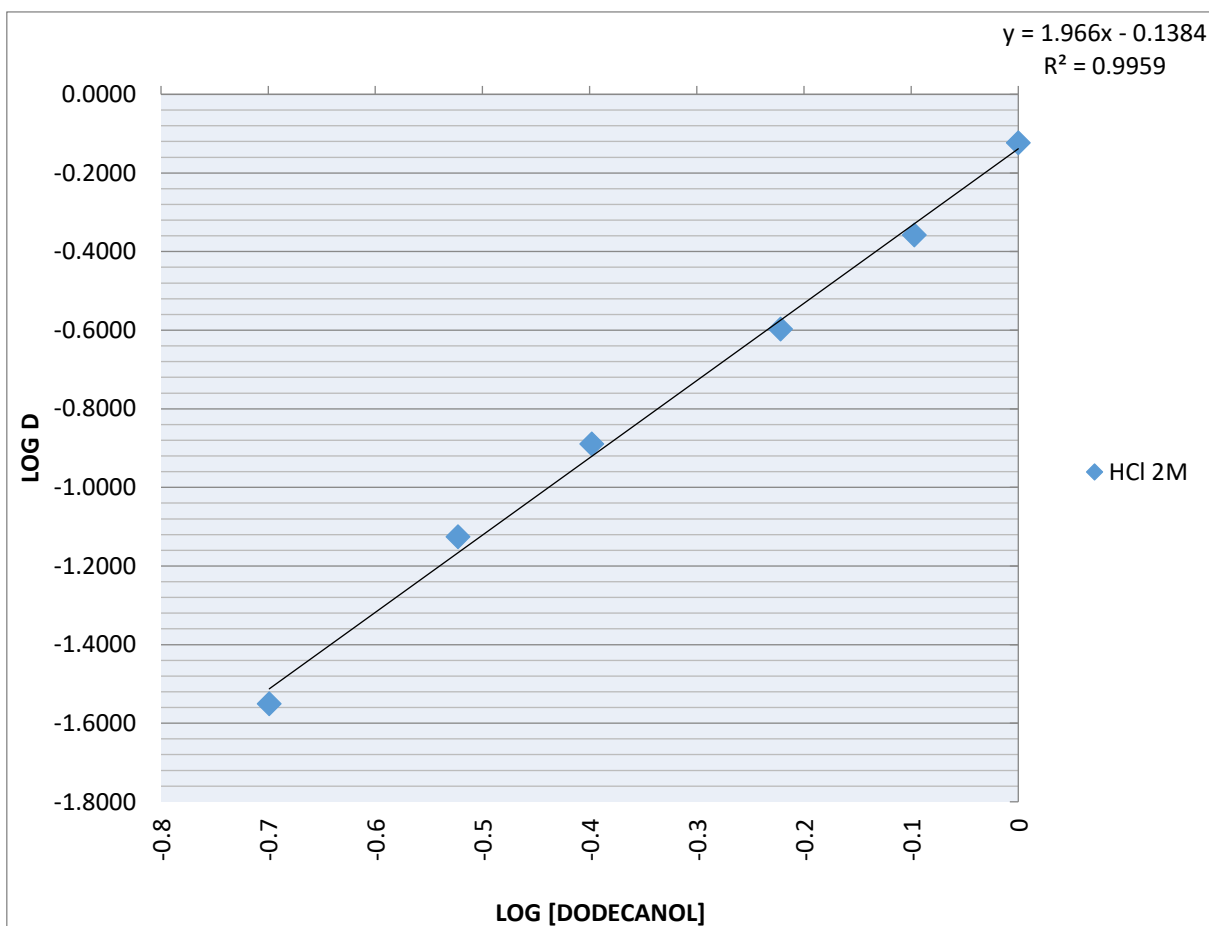


Grafica 3: Log D (coeficiente de distribución) vs Log concentración dodecanol en medio de HCl 1 M.

Fase acuosa 39.4ppm de oro3 en HCl 2M

# de muestra	[DODECANOL]	% de extracción	D	LOG [DODECANOL]	LOG D
1	0.2	2.73872558	0.02815844	-0.69897	-1.55039144
2	0.3	6.97462114	0.07497547	-0.52287875	-1.12508083
3	0.4	11.4296148	0.12904556	-0.39794001	-0.88925694
1	0.6	20.195828	0.25306732	-0.22184875	-0.59676393
2	0.8	30.5321413	0.43951465	-0.09691001	-0.35702665
3	1	42.9714772	0.75350851	0	-0.12291184

Tabla VIII: Fase acuosa 39.4ppm de oro3 en HCl 2M.

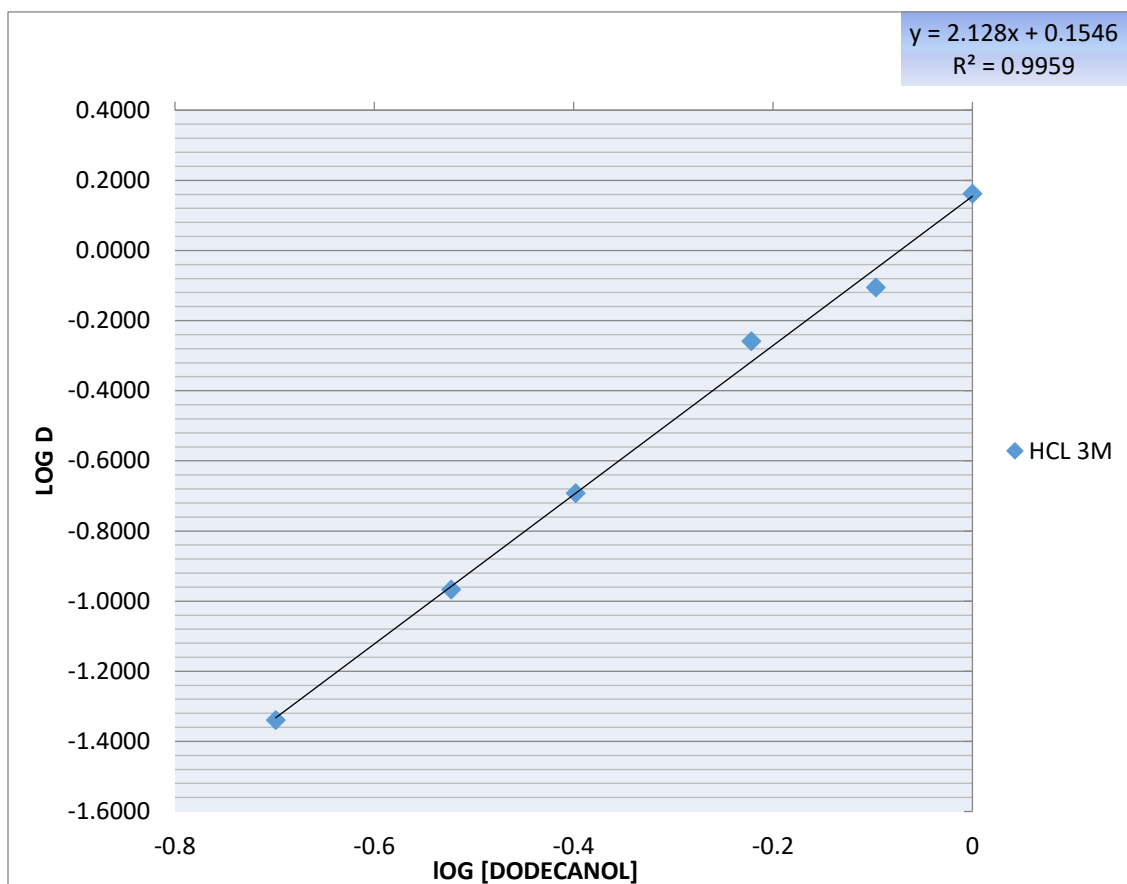


Gráfica 4: Log D (coeficiente de distribución) vs Log concentración dodecanol en medio de HCl 2 M.

Fase acuosa 39.4ppm de oro3 en HCl 3M

# de muestra	[DODECANOL]	% de extracción	D	LOG [DODECANOL]	LOG D
0	0.2	4.3861259	0.04587332	-0.698970004	-1.33843982
1	0.3	9.75203861	0.10805827	-0.522878745	-0.96634199
2	0.4	16.9079714	0.20348488	-0.397940009	-0.69146786
3	0.6	35.556518	0.55174731	-0.22184875	-0.25825977
4	0.8	43.9757031	0.78493985	-0.096910013	-0.10516362
5	1	59.2195041	1.45215262	0	0.16201226

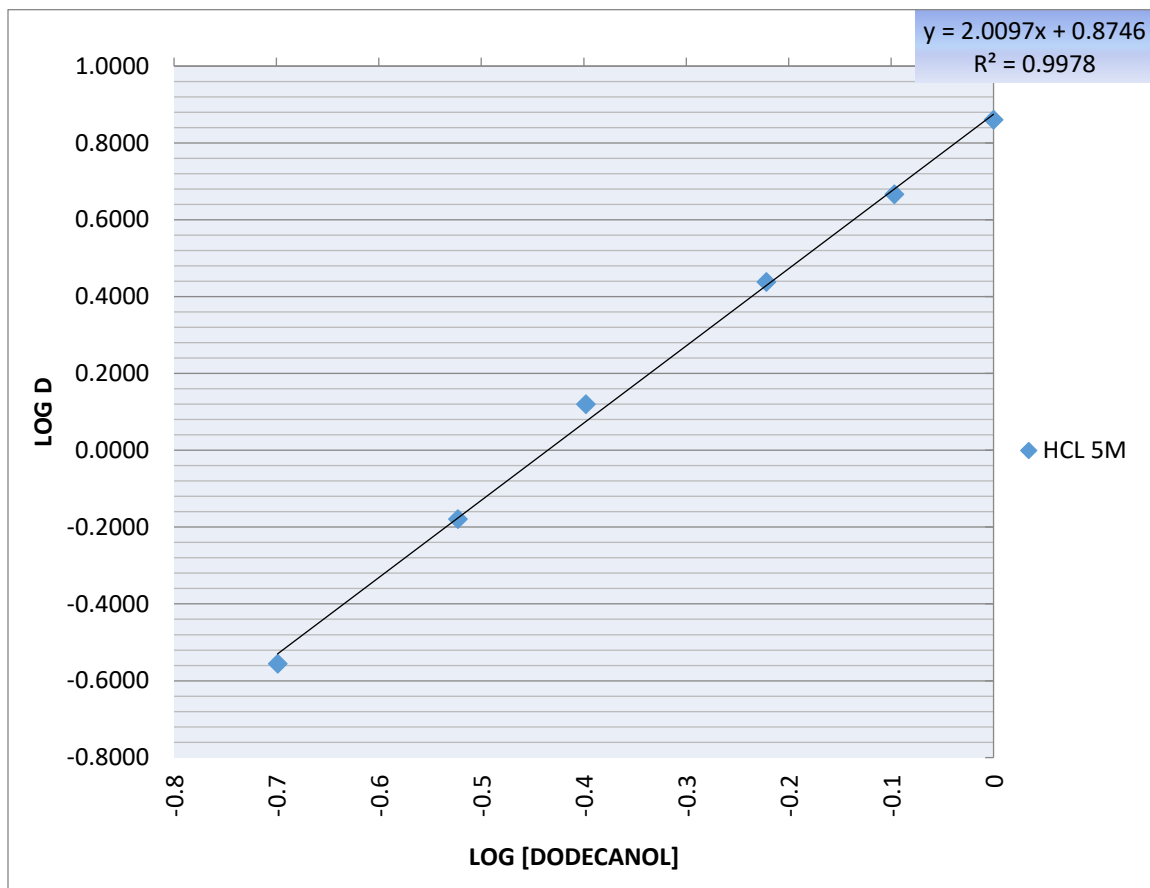
Tabla IX: Fase acuosa 39.4ppm de oro3 en HCl 3M.



Grafica 5: log D (coeficiente de distribución) vs log concentración dodecanol en medio de HCl 3 M.

Fase acuosa 39.4ppm de oro3 en HCl 5M					
# de muestra	[DODECANOL]	% de extracción	D	LOG [DODECANOL]	LOG D
1	0.2	21.7895338	0.27860125	-0.69897	-0.55501694
2	0.3	39.831823	0.66200814	-0.52287875	-0.17913667
3	0.4	56.8944404	1.31988636	-0.39794001	0.12053654
4	0.6	73.2876153	2.74358191	-0.22184875	0.43831793
5	0.8	82.2761042	4.64210042	-0.09691001	0.66671453
6	1	87.8847253	7.25404313	0	0.86058013

Tabla X. Fase acuosa 39.4ppm de oro3 en HCl 5M.

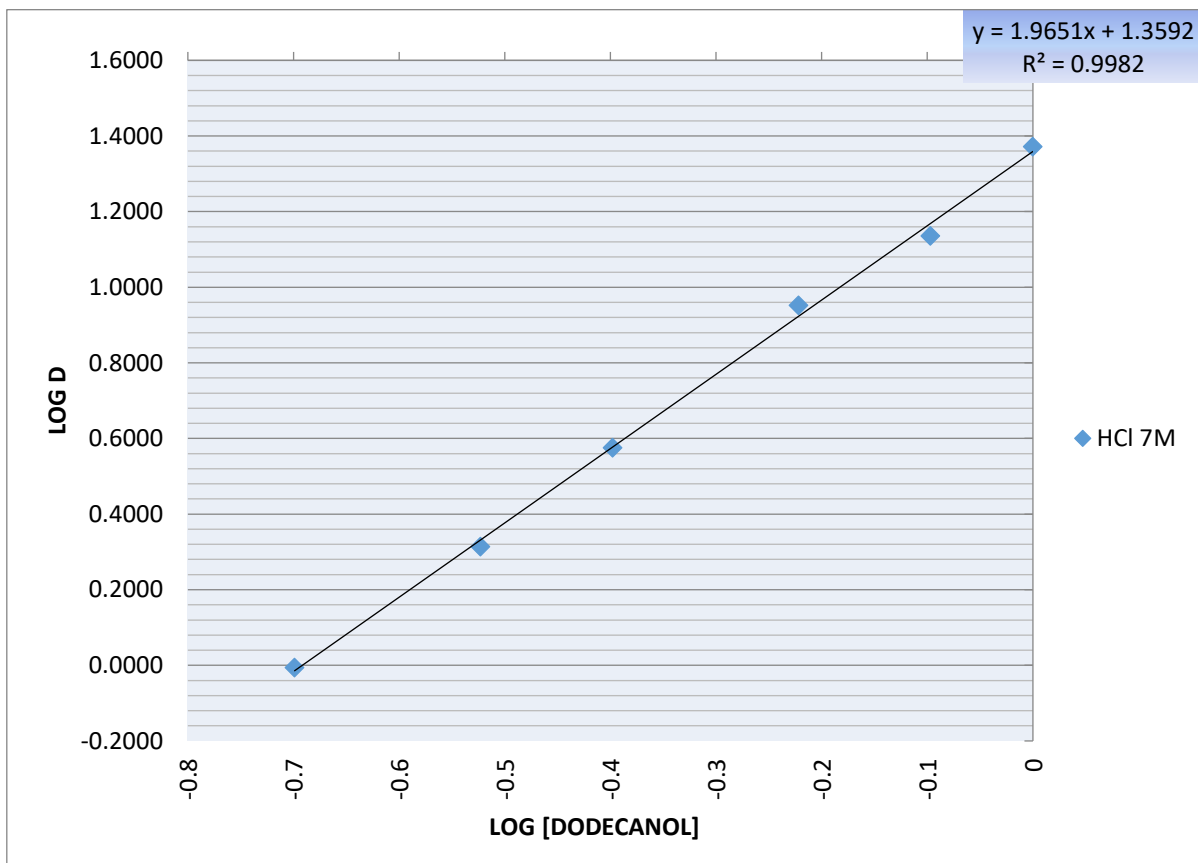


Grafica 6: log D (coeficiente de distribución) vs log concentración dodecanol en medio de HCl 5 M.

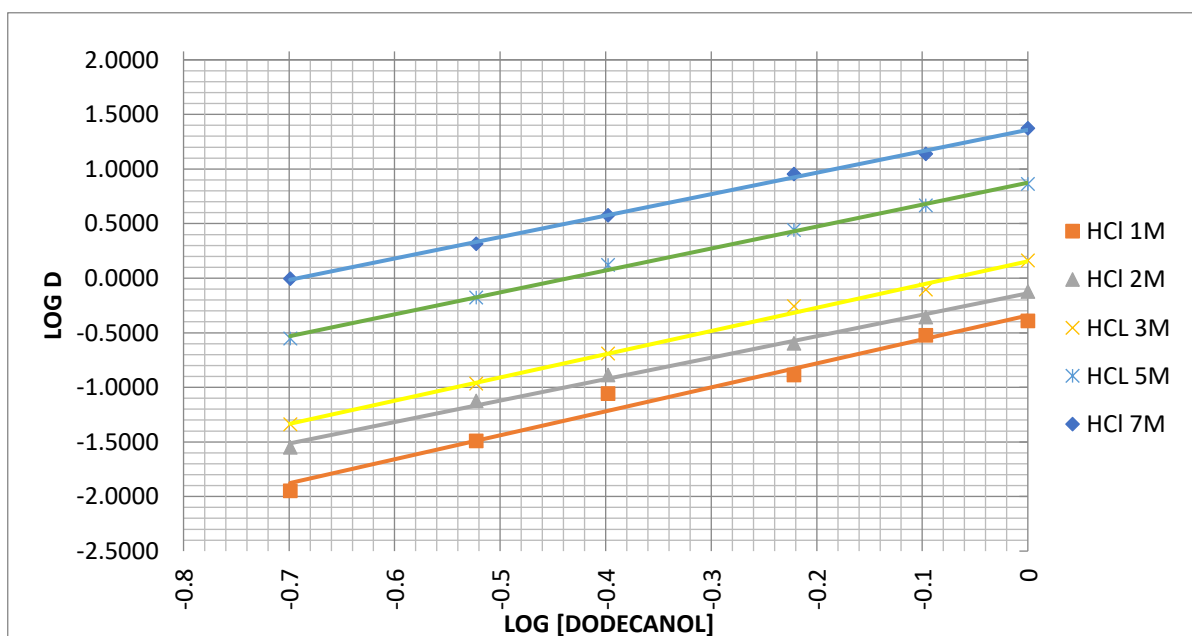
Fase acuosa 39.4ppm de oro3 en HCl 7M

# de muestra	[DODECANOL]	% de extracción	D	LOG [DODECANOL]	LOG D
1	0.2	49.6923436	0.987769	-0.69897	-0.00534461
2	0.3	67.3416933	2.06200811	-0.52287875	0.31429037
3	0.4	79.0092686	3.76400742	-0.39794001	0.57565047
4	0.6	89.9680661	8.9681677	-0.22184875	0.95270372
5	0.8	93.1926163	13.6899314	-0.09691001	1.13640127
6	1	95.926474	23.5487572	0	1.37196799

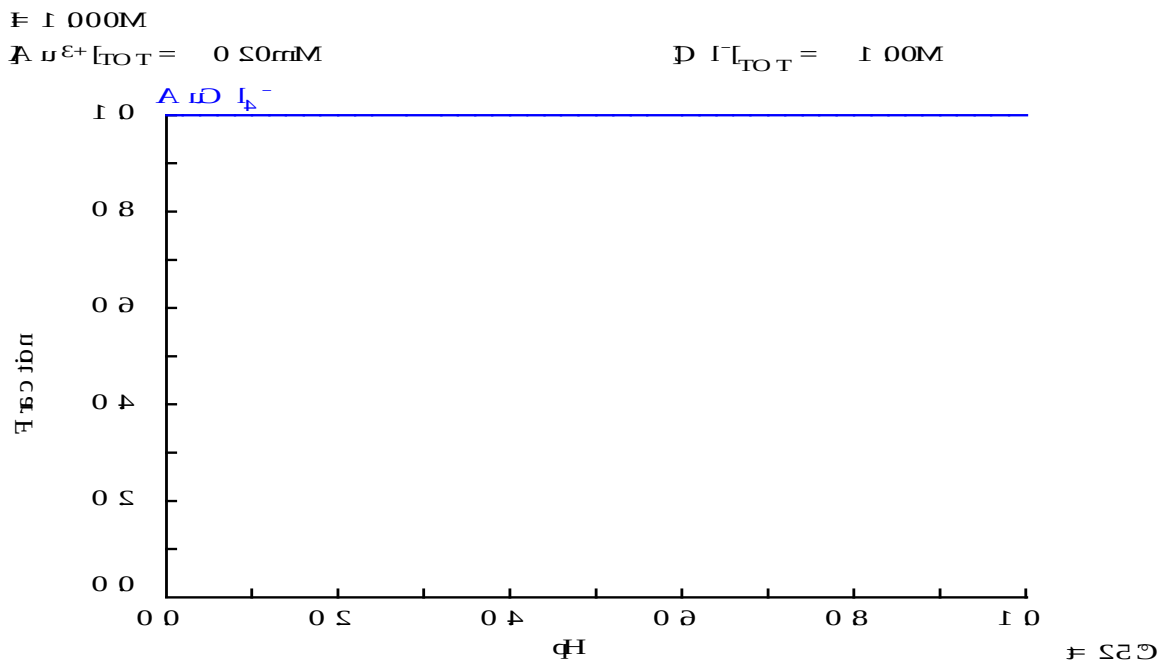
Tabla XI. Fase acuosa 39.4ppm de oro3 en HCl 7M.



Grafica 7: $\log D$ (coeficiente de distribución) vs $\log$ concentración dodecanol en medio de HCl 7 M.



Grafica 8. Log D vs Log [dodecanol] para diferentes concentraciones de HCl.



Grafica 9: Diagrama de distribución de especies. Fracción de Au(III) en función del pH. Condiciones: $[Au(III)] = 2 \times 10^{-4} \text{ M}$. Medio $1 \text{ M} \leq [HCl] \leq 5 \text{ M}$.

5.5. Selectividad del extractante con otros metales

La selectividad del extractante se refiere a la capacidad que tiene hacia uno o varios solutos que se desean extraer o purificar. Con la información que se tiene de la eficiencia del dodecanol para extraer oro en medios concentrados de ácido clorhídrico, es de interés evaluar la selectividad del extractante en casos de que se encuentren asociados al oro otros metales como es el caso del cobre, paladio y platino.

Los ensayos de extracción se realizaron teniendo una concentración equimolar de $[Au] = [Cu] = [Pd] = [Pt] = 2 \times 10^{-4} \text{ M}$ en los medios de HCl 1 M y 5 M mientras que la fase orgánica contenía 0.2 M y 1 M de dodecanol disuelto en keroseno. El tiempo de contacto entre las fases fue de 20 min. En las condiciones anteriores los resultados mostraron que el dodecanol no extrae el cobre, paladio

y platino, siendo un extractante selectivo para oro. En el anexo I se muestran los espectros de absorción y las curvas de calibración para cada metal.

CAPITULO 6

Conclusiones

1. La cinética de la extracción es rápida, se alcanza el equilibrio entre fases en un tiempo de contacto de 20 min.
2. El porcentaje de extracción (%E) depende de la concentración del ácido clorhídrico y del extractante (dodecanol). Se observa que a mayor concentración de HCl y de dodecanol, se incrementa el porcentaje de extracción.
3. Las condiciones óptimas de extracción a temperatura ambiente, es una concentración de HCl 7 M en la fase acuosa y una concentración de dodecanol 1 M en la fase orgánica, alcanzando un 96% de recuperación de oro.
4. El extractante dodecanol es selectivo hacia el oro con respecto al cobre, paladio y platino.
5. El dodecanol es un extractante solvatante. Se establece que la especie extraída es $\text{HAuCl}_4 \cdot 2\text{R}$ siendo R=dodecanol.
6. La técnica de espectrofotometría UV-Visible es un método analítico útil y preciso para la cuantificación de los metales en estudio.
7. Finalmente se concluye que el dodecanol es eficiente para extraer el Au(III) en medios concentrados de ácido clorhídrico y selectivo para separar oro del

cobre, paladio y platino. La especie extraída es el solvato $\text{HAuCl}_4 \cdot 2\text{R}$, siendo R la molécula de dodecanol.

REFERENCIAS

- [1] Marcilla Gomis, a.; "Introducción a las Operaciones de Separación. Cálculo por Etapas de Equilibrio". Publicaciones Universidad de Alicante, 1998.
- [2] Treybal, R.E. "Mass Transfer Operations"- Mcgraw Hill Book co. 2ª ed., New York, 1968.
- [3] C. Harris Daniel. Análisis Químico Cuantitativo, by. 3ª Ed Editorial Reverte pp 574.
- [4] J. Kirk, d. Othmer, Encyclopedia of Chemical Technology, vol. 20, John Wiley and Son, 1969.
- [5] M. Silberberg, - Química General, McGraw-Hill, 2002.
- [6] Sekine T. & y. Hasegawa, Solvent Extraction Chemistry, part 1 y 2, Marcel Dekker Inc, 1992.
- [7] Enciclopedia Libre Universal en español (2013), de <http://es.wikipedia.org/wiki/oro>.
- [8] <http://finacial.thomsonreuters.com/en/resources/articles/gfms.html>
- [9] http://www.ilo.org/safework/info/publications/wcms_113134/lang--en/index.htm
- [10] Primo Yúfera E. Química Orgánica Básica y Aplicada: de la molécula a la industria, volumen 1. pp 120
- [11] D. Skoog, F. Holler, T. Nieman, Análisis Instrumental, McGraw-Hill, 2001
- [12] C. Harris D. Análisis Químico Cuantitativo, 3ª ed editorial Reverte pp 407-494
- [13] http://www.uco.es/dptos/bioquimica-biol-mol/pdfs/08_espectrofotometr%C3%8da.pdf (espectro uv- visible)

APENDICE

Método de Cuantificación

Se utilizó la técnica de espectrofotometría UV-Vis para cuantificar la concentración de Au(III) presente en las fases acuosas. Por diferencia se obtiene la concentración del metal en la fase orgánica.

Elaboración de la curva de calibración para el oro.

Se prepararon 5 soluciones estándar de Au(III) de 5, 10, 20, 30, 40 ppm de concentración, las cuales fueron analizadas por espectrofotometría UV-Vis. Primeramente, se hizo un barrido de 500nm a 200nm, con esto se localizó la longitud de onda a la cual se obtiene un máximo de absorbancia (313.8 nm).

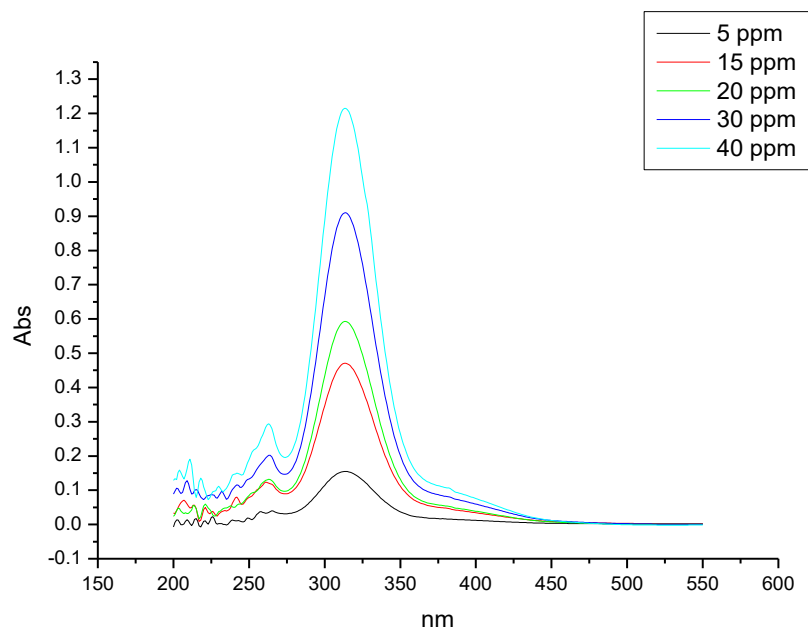
Posteriormente se realizan las mediciones a cada solución estándar a la longitud de 313.8 nm. Los datos obtenidos son los siguientes.

[Au] ppm	ABS
5	0.1546
15	0.4704
20	0.5925
30	0.9096
40	1.2146

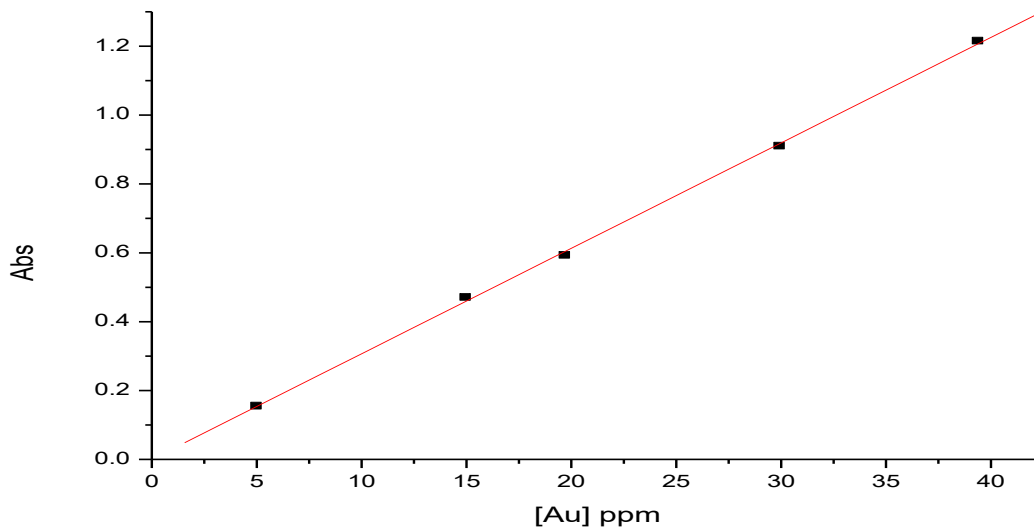
Por regresión lineal obtenemos la siguiente correlación de los datos.

$$Abs = 0.0306 [Au] + 6.35 * 10^{-4}$$

$$r = .999718$$



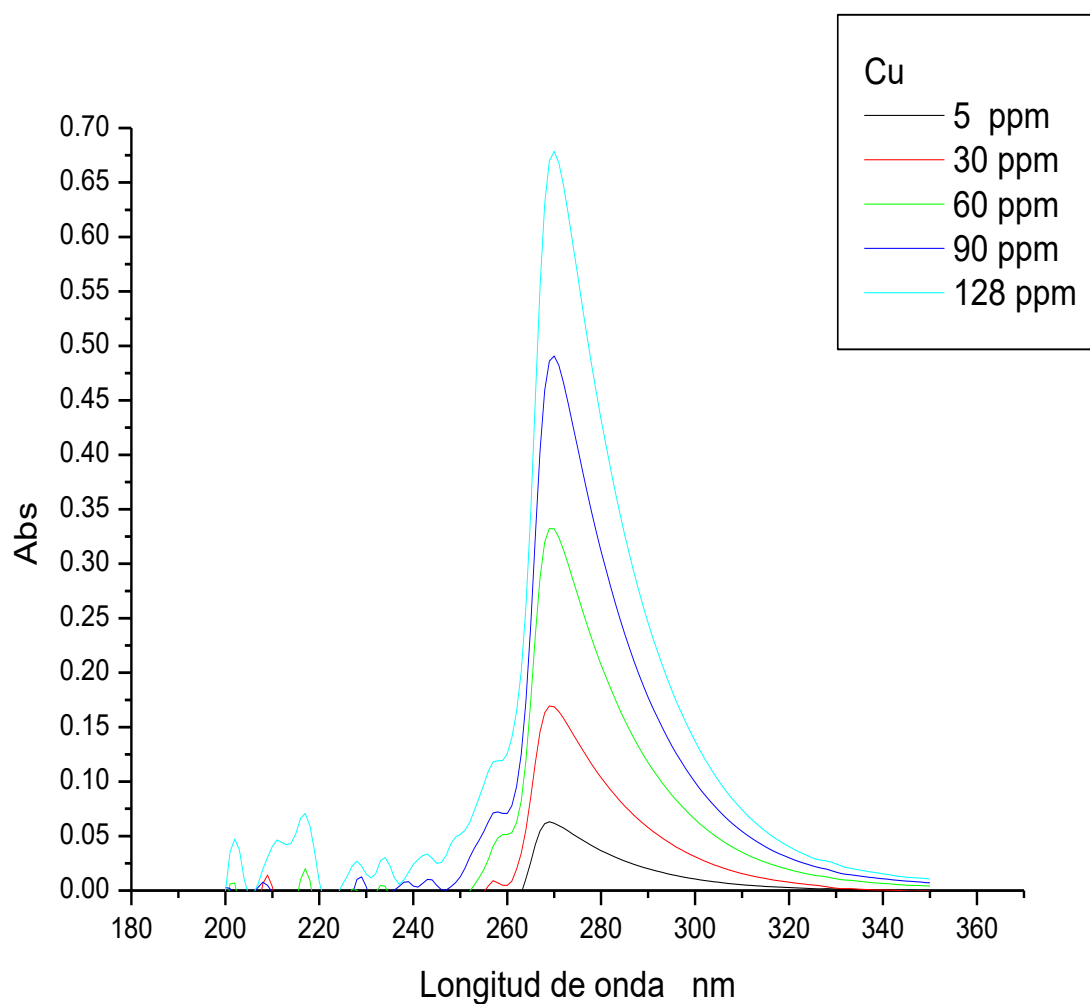
Grafica 10. Espectrogramas de las soluciones de Au(III) a diferentes concentraciones.



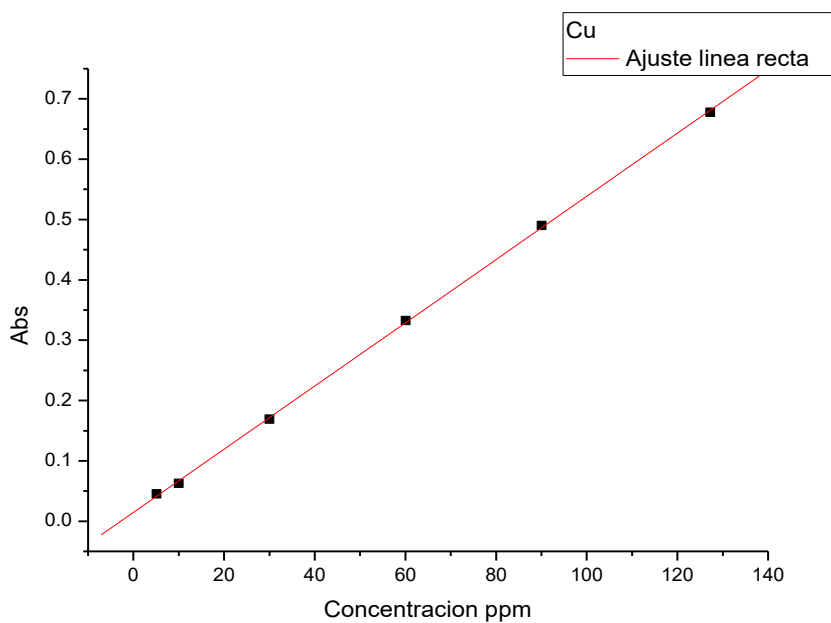
Grafica 11. Curva de calibración para oro en HCl 1 M. $ABS = 0.0306 [Au(III)] + 6.35 \times 10^{-4}$ $r=0.9997$

De la misma manera se obtienen los espectrogramas y curva de calibración (graficas 12-17) para la determinación de cobre, paladio y platino. Las figuras correspondientes se indican enseguida:

Curva de calibración del cobre.

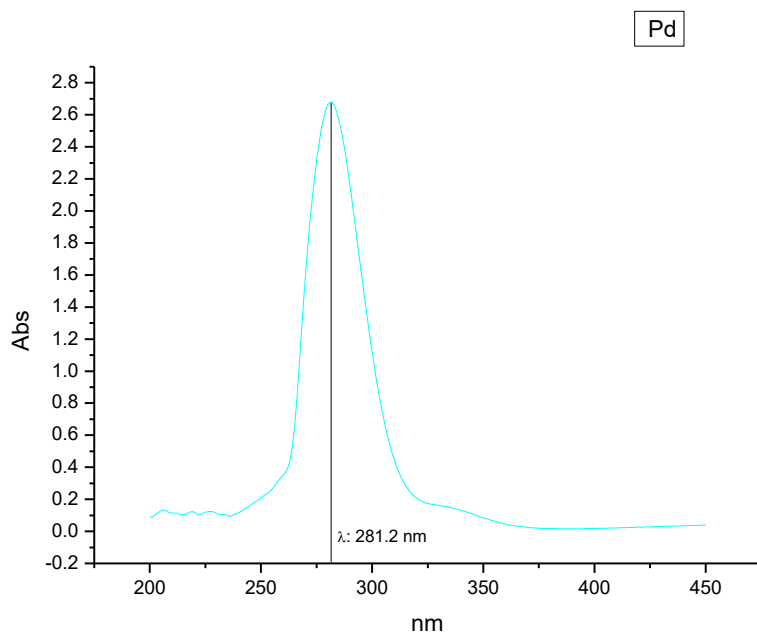


Grafica 12. Espectrogramas de Cu(II) a diferentes concentraciones. HCl 1 M.

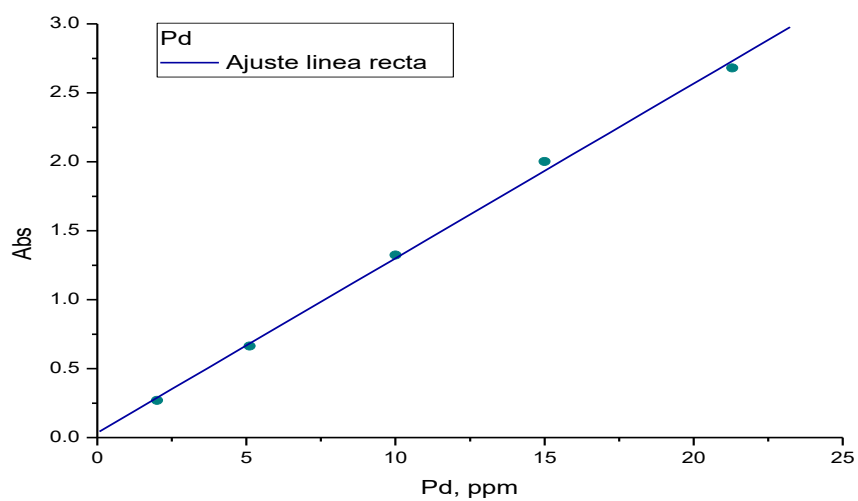


Grafica 13. Curva de calibración de Cobre. $ABS = 0.0052 [Cu] + 0.0149$ $r = 0.9998$

12.4. Curva de calibración del paladio.

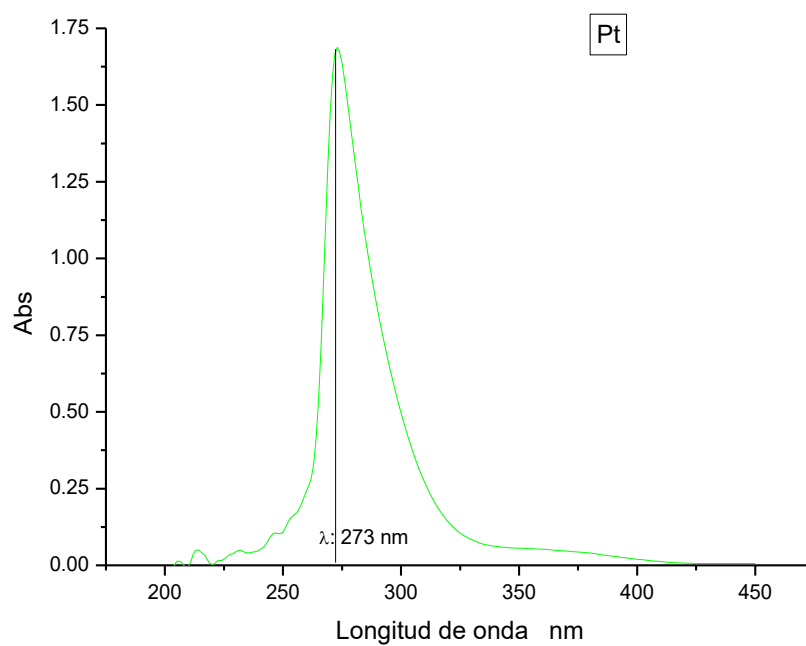


Grafica 14. Espectrograma de Pd. HCl 1 M. $\lambda = 281.2$ nm.

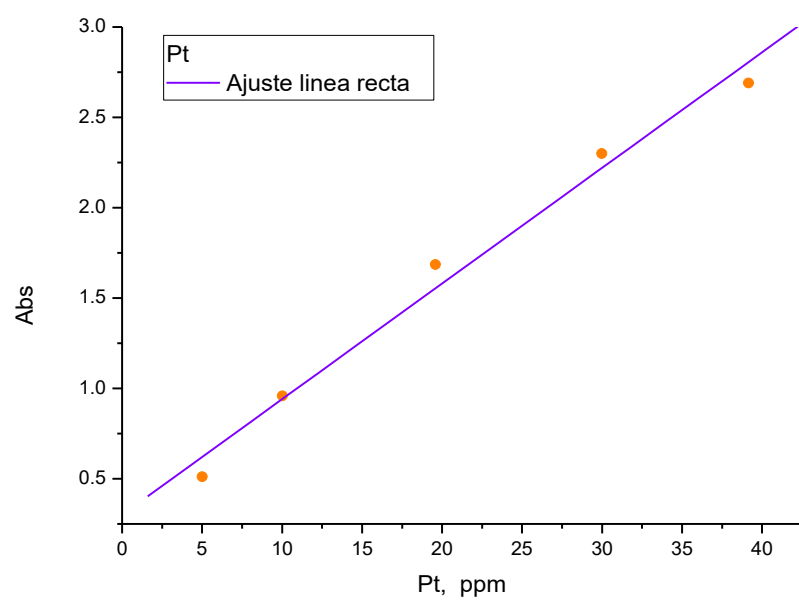


Grafica 15. Curva de calibración: $ABS = 0.1266 [Pd] + 0.0351$ $r = 0.9989$. $\lambda = 281.2$ nm.

Curva de calibración del platino.



Grafica 16. Espectrograma de Pt. HCl 1 M. $\lambda = 273$ nm.



Grafica 17. Curva de calibración: $ABS = 0.06399 [Pt] + 0.30$ $r = 0.9924$. $\lambda = 273$ nm