

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA Y METALÚRGICA



TESIS

**“EVALUACION DEL SOLVENTE S2 CON RESPECTO AL SOLVENTE S1 EN
UNA PLANTA PILOTO”**

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO METALURGISTA**

**ELABORADO POR
JORGE DAVID VICOS VENTURA**

**ASESOR
MSc. Ing. Hernán Ismael Parra Villanueva**

LIMA-PERU

2022

DEDICATORIA

A mis amados padres, por su gran sacrificio y el apoyo incondicional durante todos estos años que me han permitido llegar a cumplir hoy una meta más, gracias por inculcar en mí el deseo de superación y perseverancia.

A mis hermanos y hermanas, familiares y amistades por su cariño y su apoyo incondicional durante todo este tiempo.

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a Dios por ser mi guía y acompañarme en el transcurso de mi vida, brindándome paciencia y sabiduría para culminar con éxito mis metas propuestas.

De igual manera, mi agradecimiento a mi querida casa de estudios la Universidad Nacional de Ingeniería en especial a la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica, a todos mis profesores los cuales guiaron mi camino con la enseñanza de sus valiosos conocimientos hasta terminar la especialidad, gracias a ustedes por su paciencia, dedicación y su apoyo incondicional y amistad.

A mis queridos asesores de tesis, al MSc. Ing. Hernán Parra Villanueva por su valiosa colaboración y constante orientación en el desarrollo de este trabajo. A la Mg. Ing. Flor Suarez Sánchez por su confianza y tomarse el tiempo para corregir este presente trabajo.

Finalmente, a todos mis compañeros de aulas, ahora colegas por su tiempo en las interminables conversaciones e intercambio de ideas acerca de innumerables temas.

RESUMEN

La presente tesis trata del estudio para reemplazar el diluyente S1 (Hidrocarburos C_{13} - C_{16} , isoalcanos) que, por decisión del fabricante, ya no se fabricaría, y por tanto no se abastecería a la planta de extracción por solventes. Para ello se preparó un programa de investigación que incluía pruebas en laboratorio y a escala de planta piloto para determinar las variaciones de las propiedades físicas y químicas de un nuevo diluyente: S2 (kerosene, $C_{12}H_{26}$ - $C_{15}H_{32}$). Se evaluaron las propiedades físicas como: tiempo de separación de fases, tensión interfacial y viscosidad; y las propiedades químicas tales como eficiencia de extracción, re extracción, cinética de extracción y re extracción.

La realización de las pruebas en laboratorio ha permitido determinar que la evaporación de los diluyentes puros como el S2 (kerosene, $C_{12}H_{26}$ - $C_{15}H_{32}$) es 2% mayor que el S1 (Hidrocarburos C_{13} - C_{16} , isoalcanos), este resultado demostró el mayor consumo del nuevo reactivo por una mayor evaporación. Otro parámetro, es el incremento del arrastre del orgánico en el Raff y el arrastre de orgánico en el electrolito rico, asimismo, el tiempo de separación de fases de la etapa de extracción no hubo variación considerable, en la etapa de re extracción se obtuvo un incremento en los valores del tiempo de separación de fases, estos resultados están fuera del rango de trabajo.

Las evaluaciones demostraron que los métodos utilizados en este trabajo con respecto al reactivo de reemplazo no sería una buena alternativa del reactivo actual en uso.

Palabras claves: Extracción, diluyente, arrastre, orgánico.

ABSTRACT

This thesis deals with the study to replace the diluent S1 (Hydrocarbons C13-C16, isoalkanes) that, by decision of the manufacturer, would no longer be manufactured, and therefore would not be supplied to the solvent extraction plant. For this, a research program was prepared that presented laboratory tests and a pilot plant scale to determine the variations of the physical and chemical properties of a new diluent: S2 (kerosene, C₁₂H₂₆–C₁₅H₃₂). Physical properties such as: phase separation time, interfacial tension and viscosity were evaluated; and chemical properties such as extraction efficiency, re-extraction, extraction and re-extraction kinetics.

Carrying out tests in the laboratory has made it possible to determine that the evaporation of pure diluents such as S2 (kerosene, C₁₂H₂₆–C₁₅H₃₂) is 2% greater than S1 (Hydrocarbons C13-C16, isoalkanes), this result revealed the highest consumption of new reagent by further evaporation. Another parameter is the increase in the drag of the organic in the Raff and the drag of organic in the rich electrolyte, similar, the time of phase separation of the extraction stage there was no considerable variation, in the re-extraction stage a increase in the values of the phase separation time, these results are outside the working range.

The evaluations showed that the methods used in this work regarding the replacement reagent would not be a good alternative to the current reagent in use.

Keywords: extraction, diluent, carry-over, organic.

PROLOGO

La presente tesis, “Evaluación del solvente S2 con respecto al solvente S1 en una planta piloto”, está basada en el proceso de extracción por solventes; este proceso es aplicado por diferentes compañías mineras en el Perú y otras partes del mundo para producir cátodos de cobre de excelente calidad. La tesis está dividida en 4 capítulos.

El capítulo I comprende la justificación del problema, antecedentes (recolección de información de investigaciones y/o tesis para tener un modelo o referencia para elaborar la presente tesis) y problemática que implica la extracción de cobre, los objetivos de estudio (el objetivo general, específico), la hipótesis de trabajo.

En el capítulo II se enfoca el marco teórico, tales como el proceso de extracción por solventes, conceptos fundamentales de extracción por solventes y el marco conceptual.

El capítulo III comprende el procedimiento de trabajo, los reactivos usados en las pruebas realizadas, la metodología experimental y el equipamiento necesario.

En el capítulo IV se trata el análisis y discusión de resultados.

Finalmente, las conclusiones, recomendaciones y las referencias bibliográficas se incluyen al final de la tesis.

INDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

PROLOGO

INDICE

ÍNDICE DE FIGURAS

INDICE DE TABLAS

CAPITULO I: INTRODUCCION	19
1.1 Generalidades	19
1.1.1 Justificación.....	19
1.1.2 Problemática.....	20
1.2 Descripción del problema de investigación	24
1.3. Objetivos de estudio.....	25
1.3.1 Objetivo general	25

1.3.2 Objetivos específicos	25
1.4 Hipótesis.....	25
1.4.1 Hipótesis general.....	25
1.4.2 Hipótesis específicas	26
1.5 Antecedentes investigativos	26
1.5.1 Antecedentes internacionales.....	26
1.5.2 Antecedentes nacionales	27
CAPITULO II: MARCOS TEÓRICO Y CONCEPTUAL.....	29
2.1 Marco teórico	29
2.1.1 Proceso de extracción por solventes	32
2.1.2 Etapa de extracción	33
2.1.3 Etapa de re extracción (stripping)	35
2.1.4 Circuitos de la planta de extracción por solventes	38
2.1.4.1 Circuitos en serie.....	39
2.1.4.2 Circuitos en paralelo	40
2.1.4.3 Circuito en serie-paralelo	41
2.1.5 Conceptos fundamentales de extracción por solventes.....	42
2.1.5.1 Coeficiente de distribución	42

2.1.5.2 Selectividad.....	43
2.1.5.3 Influencia del pH.....	44
2.1.6 Determinación del número de etapas de extracción y re-extracción.....	46
2.1.6.1 Isoterma de distribución.....	46
2.1.6.2 Recta de operación.....	48
2.1.7. Variables de Operación.....	50
2.1.7.1 Razón Orgánico - Acuoso.....	50
2.1.7.2 Concentración de Extractante.....	50
2.1.7.3 pH.....	51
2.1.7.4 Agitación.....	51
2.1.7.5 Flujo Específico en el Settler.....	51
2.1.7.6 Sólidos en suspensión.....	52
2.2 Marco Conceptual.....	52
2.2.1 Arrastres.....	52
2.2.2 Banda de dispersión.....	52
2.2.3 Borrás (CRUD).....	52
2.2.4 Selectividad.....	52
2.2.5 Solvente 1 (S1).....	52

2.2.6 Solvente 2 (S2).....	53
CAPITULO III: DESARROLLO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	54
3.1 Materiales, equipos y reactivos	54
3.1.1 Materiales y equipos	54
3.1.2 Reactivos	57
3.1.2.1 Reactivos Lix 984N.....	57
3.1.2.2 Diluyente S1	57
3.1.2.3 Diluyente S2.....	58
3.2 Procedimiento experimental.....	59
3.2.1 Fase acuosa.....	59
3.2.2 Fase orgánica.....	59
3.3 Consideraciones de las pruebas realizadas en laboratorio metalúrgico	60
3.3.1 Evaporación de solventes 100% puros.....	60
3.3.2 Evaporación - Solventes puros y orgánicos con mezcla de solventes	60
3.3.3 Pruebas de contactos de orgánico nuevo/PLS planta.....	61
3.3.4 Pruebas a nivel de Planta Piloto	62
3.4 Metodología experimental	63
3.4.1 Medición del tiempo de separación de fases (TSF)	64

3.4.2 Medición de la densidad.....	65
3.4.3 Medición de la viscosidad.....	66
3.4.4 Medición de la tensión interfacial	68
CAPITULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	74
4.1. Evaporación - Solventes puros y orgánicos con mezcla de solventes	74
4.1.1. Evaporación de solventes 100% puros.....	74
4.1.2. Evaporación de orgánicos mezcladas.....	75
4.2 Pruebas de contacto en laboratorio	78
4.2.1 Arrastre de Orgánico en Raff	79
4.2.2 Tiempo de separación de fases (T.S.F.)	80
4.2.3 Tensiones Interfaciales (T.I.)	82
4.2.4 Viscosidades.....	84
4.3 Pruebas en planta piloto	86
4.4. Resumen de la data obtenida de todas las pruebas.....	87
4.4.1 Eficiencia de Extracción	87
4.4.2 Eficiencia de Re Extracción.....	88
4.4.3 Cinética Extracción	89
4.4.4 Cinética de Re Extracción.....	91

4.4.5 Arrastre de Acuoso en el Orgánico Cargado.....	92
4.4.6 Arrastre de orgánico en el Raff	94
4.4.7 Arrastre de orgánico en el Electrolito rico	95
4.4.8 Tiempo de Separación de Fases Extracción.....	96
4.4.9 Tiempo de Separación de Fases Re Extracción	98
4.4.10 Formación de Lodo	100
4.4.11 Tensiones Interfaciales del Orgánico Cargado	101
4.4.12 Viscosidades del Orgánico Cargado	102
4.5 Discusión de resultados.....	104
CONCLUSIONES	107
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	108

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Proceso de obtención del cobre catódico desde la etapa de lixiviación hasta la etapa de electrodeposición	22
Figura 2.1: Esquema del intercambio iónico que ocurre en el reactor de extracción	35
Figura 2.2: Esquema del intercambio iónico que ocurre en el reactor de re extracción ..	36
Figura 2.3: Esquema de una planta de LIX-SX-EW.....	37
Figura 2.4: Circuitos en serie (a) dos etapas en serie con un stripping; (b) dos etapas en serie más dos stripping en serie; (c) tres etapas en serie más un stripping	40
figura 2.5: Circuito paralelo (dos etapas en paralelo más un stripping).....	40
Figura 2.6: Circuito serie paralelo (a) dos etapas en paralelo más dos stripping, (b) dos etapas en serie y una en paralelo más un stripping, (c) una etapa en paralelo más dos en serie y un stripping	42
Figura 2.7: Extractibilidad de elementos metálicos disueltos en función del pH, con una oxima comercial (LIX84).....	45
Figura 2.8: Construcción de una isoterma de extracción	48
Figura 2.9: Esquema de una extracción en contra corriente	49
Figura 3.1: Materiales de vidrio	55

Figura 3.2: Agitador para las pruebas de contacto	55
Figura 3.3: Viscosímetro Gilmont Instrument	56
Figura 3.4: Tensiómetro Lauda TD 3.....	56
Figura 3.5: Prueba de evaporación referencia.....	61
Figura 3.6: Prueba de agitación.....	64
Figura 3.7: PLS y orgánico en equilibrio luego de la medición del TSF.....	65
Figura 3.8: Medición de la densidad por el concepto de masa sobre volumen.....	66
Figura 3.9: Viscosímetro Gilmont Instrument	68
Figura 3.10: Tensiómetro Lauda TD 3.....	70
Figura 3.11: Colocación del anillo de Du Nouy al interior del tensiómetro	71
Figura 3.12: Solución más densa (PLS).....	72
Figura 3.13: Solución menos densa (orgánico).....	72
Figura 3.14: El anillo Du Nouy en contacto con la solución	73
Figura 4.1: Evaporaciones S2 y S1	75
Figura 4.2: Evaporaciones de los solventes a diferentes proporciones	77

Figura 4.3: Comparación de pérdida de peso por la evaporación de las diferentes mezclas de solventes	78
Figura 4.4: Arrastre de orgánico en el Raff a las diferentes proporciones.....	79
Figura 4.5: Tiempos de separación de fases a diferentes proporciones	82
Figura 4.6: Comparación de las tensiones interfaciales con orgánico nuevo respecto a PLS sintético y PLS de planta.....	83
Figura 4.7: Comparación de las tensiones interfaciales con orgánico contactado respecto a las PLS sintético y PLS de planta.....	84
Figura 4.8: Comparación de la viscosidad con orgánico nuevo a 20 y 25 °C	85
Figura 4.9: Comparación de la viscosidad con orgánico contactado a 20 y 25 °C	86
Figura 4.10: Curvas de la eficiencia de extracción	87
Figura 4.11: Curvas de la eficiencia de re extracción	89
Figura 4.12: Curvas de la cinética de extracción	90
Figura 4.13: Curvas de la cinética de re extracción	92
Figura 4.14: Curvas del arrastre de acuoso en el OC.....	93
Figura 4.15: Curva de arrastre de orgánico en el Raff	95

Figura 4.16: Curva de arrastre de orgánico en el electrolito rico.....	96
Figura 4.17: Curva de tiempo se separación de fases E1	97
Figura 4.18: Curva de tiempo se separación de fases E2.....	97
Figura 4.19: Curva de tiempo se separación de fases R1.....	99
Figura 4.20: Curva de tiempo se separación de fases R2.....	99
Figura 4.21: Curva de formación de lodo de las pruebas.....	100
Figura 4.22: Curva de sólidos en suspensión de las pruebas	101
Figura 4.23: Curva promedio de las tensiones interfaciales	102
Figura 4.24: Curva promedio de las viscosidades.....	103

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Valores comparativos de diferentes extractantes de LIX	44
Tabla 3.1: Principales propiedades extractante LIX 984N	57
Tabla 3.2: Propiedades típicas del reactivo S1.....	58
Tabla 3.3: Propiedades típicas del reactivo S2.....	58
Tabla 3.4: Determinación de las propiedades físicas y químicas del orgánico.....	62
Tabla 3.5: Condiciones de trabajo en la planta piloto.....	62
Tabla 4.1: Tasa de evaporación de los solventes puros	75
Tabla 4.2: Tasa de evaporación del orgánico a diferentes proporciones	76
Tabla 4.3: Composición de los reactivos a preparar para las pruebas de contacto	78
Tabla 4.4: Arrastre de las mezclas de reactivos a diferentes composiciones.....	79
Tabla 4.5: Tiempos de separación de fases de extracción y re extracción.....	81
Tabla 4.6: Tensión interfacial con orgánico nuevo y orgánico contactado.....	83
Tabla 4.7: Viscosidades con orgánico nuevo y orgánico contactado a 20 y 25 °C	85
Tabla 4.8: Proporción de mezclas de las soluciones	86

Tabla 4.9: Promedio de la eficiencia de extracción de las pruebas.....	87
Tabla 4.10: Promedio de la eficiencia de re extracción de las pruebas.....	88
Tabla 4.11: Promedio de la cinética de extracción de las pruebas.....	90
Tabla 4.12: Promedio de la cinética de re extracción de las pruebas.....	91
Tabla 4.13: Promedio del arrastre acuoso en el oc metalurgia	93
Tabla 4.14: Promedio del arrastre de orgánico en el Raff.....	94
Tabla 4.15: Promedio del arrastre de orgánico en el electrolito rico	95
Tabla 4.16: Promedio del tiempo se separación de fases de E1 y E2	96
Tabla 4.17: Promedio del tiempo se separación de fases de R2 y R1.....	98
Tabla 4.18: Tasa de formación de lodo de las pruebas	100
Tabla 4.19: Promedio de las tensiones interfaciales de las pruebas.....	102
Tabla 4.20: Promedio de las viscosidades de las pruebas.....	103

CAPITULO I

INTRODUCCION

1.1 Generalidades

1.1.1 Justificación

Fundamentalmente, los principales factores que justificaron la realización de la tesis son:

- ✓ **Innovación:** introduce el conocimiento actual sobre las diferencias entre dos reactivos, lo cual permite entender mejor la importancia de cada uno de ellos al momento de ser probados.

- ✓ **Evolución:** al presentar la comparación de dos reactivos, se considera el desarrollo de estos y, por tanto, su progreso en el marco del procesamiento de minerales, con nuevas tecnologías para mejorar la industria minera.
- ✓ **Confirmación:** esta tesis confirma que se requiere hacer pruebas a nivel de pilotaje para establecer los cambios industriales que llegan a producirse.

1.1.2 Problemática

El cobre es un material esencial en el mundo moderno y su precio es importante para la economía de cualquier país. Su uso, es esencial en el ámbito tecnológico. Inicialmente a este metal se le encontraba en la corteza terrestre como cobre nativo, por ello fue uno de los primeros metales en ser utilizados por el ser humano. Actualmente el cobre está presente en la corteza terrestre en yacimientos del tipo óxidos y/o sulfuros, y por tanto su extracción requiere de tecnologías modernas para abaratar sus costos de producción.

Según Alguasil (1998), la obtención de cobre de recursos primarios mediante extracción por solventes, se ha venido desarrollando constantemente, lo que ha supuesto un esfuerzo continuo tanto de investigación como de puesta en práctica de los resultados obtenidos de esta investigación básica, constituyendo uno de los mayores éxitos en el desarrollo de la industria de un metal. Es necesario remarcar también, que el éxito de esta operación no hubiera sido posible sin que a su vez las dos operaciones que la acompañan, lixiviación y electrólisis, no se hubieran innovado, permitiendo su

perfecto acoplamiento en la secuencia operacional. **(p. 1)**. En la Figura 1.1 se muestra el proceso de obtención del cobre.

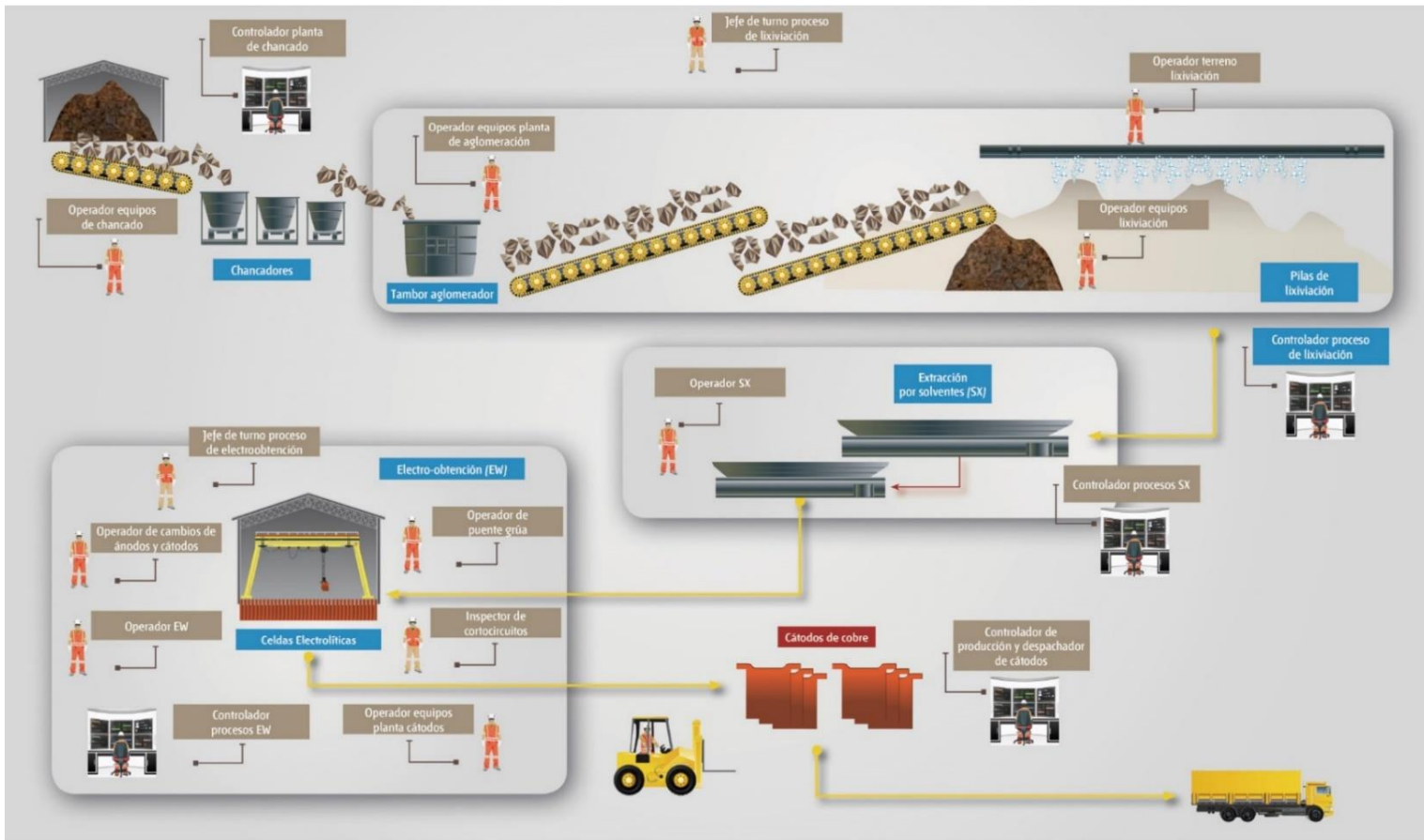


Figura 1.1: Proceso de obtención del cobre catódico desde la etapa de lixiviación hasta la etapa de electrodeposición

Fuente: El Consejo de Competencias Mineras (CCM) - Marco de cualificaciones para la minería (2017)

Durante todo el proceso de extracción por solventes, siempre se va a generar arrastres de acuoso u orgánico en forma de micro gotas que no se logran separar en las celdas de decantación, ya sea de la etapa de extracción o de re extracción. Al final, estos arrastres generan problemas operacionales, así como deficiencias en la recuperación y la electrodeposición del cobre.

En efecto, en la etapa de extracción, el arrastre de orgánico se va en el Raff y en la etapa de re extracción, dicho arrastre de orgánico se va en el electrolito rico. Estas pérdidas de orgánico por arrastres representan uno de los principales problemas de operación en una planta de extracción por solventes (SX) debido a que aumenta la reposición del orgánico con mayor frecuencia. Los niveles de arrastre son una respuesta a una mala eficiencia de separación de fases, la cual está influenciada principalmente por los siguientes factores:

- Propiedades físicas (densidad, viscosidad, tensión interfacial).
- Temperatura.
- Continuidad de fase.
- Razón de fases, O/A.
- Naturaleza de la fase orgánica.
- Tasa de formación de borras: CRUD.

1.2 Descripción del problema de investigación

El proveedor del S1 informo que dejaría de producir dicho solvente por el constante incremento del precio del petróleo y problemas logísticos. La empresa ante la necesidad de contar con un solvente sustituto y no contar con el normal abastecimiento del solvente S1 en los próximos meses, propone realizar pruebas en laboratorio y a nivel de planta piloto con otros solventes que hay en el mercado.

Se evaluó el comportamiento del S2 en la Planta Piloto, y la performance del nuevo orgánico, en la proporción de uso hasta llegar inclusive al 100%. Por otro lado, los altos costos de los solventes y los costos operativos se vieron afectados por los incrementos en los precios del petróleo al momento del estudio. Esta consideración fue muy importante, ya que este nuevo solvente S2 debería cumplir y mantener las propiedades actuales del orgánico, para que su potencial aplicación, pueda brindar ventajas económicas.

Se prestó especial atención a las principales variables trazadoras de pérdida de orgánico (solvente + Lix-984-N), que son: Arrastre de Orgánico en el Raff, Evaporación del Solvente, Formación de Lodo, Tensiones Interfasiales (T.I.), Viscosidades, Tiempos de Separación de Fases (T.S.F.), etc. En todos los casos el Extractante usado fue el Lix-984N a una concentración de 6,0% v/v.

1.3. Objetivos de estudio

1.3.1 Objetivo general

Evaluar el solvente S2 (kerosene, $C_{12}H_{26}-C_{15}H_{32}$) de tipo hidrocarburo alifático, con el propósito de reemplazar el actual solvente S1 (Hidrocarburos $C_{13}-C_{16}$)

1.3.2 Objetivos específicos

- Comparar la performance del solvente S2 vs S1, tomando como parámetro de comparación las principales variables trazadoras de pérdida de orgánico.
- Comparar el efecto de la evaporación del solvente S2 vs S1 en diferentes proporciones (100/0, 75/25, 50/50, 25/75, 0/100)
- Evaluar las propiedades físico-químicas de proceso con el nuevo solvente.

1.4 Hipótesis

1.4.1 Hipótesis general

La sustitución del solvente S1 (Hidrocarburos $C_{13}-C_{16}$) por el solvente S2 (kerosene, $C_{12}H_{26}-C_{15}H_{32}$) de tipo hidrocarburo alifático no afecta el proceso de extracción por solventes.

1.4.2 Hipótesis específicas

- Tomando en cuenta la performance de las mezclas de los solventes S1 y S2, no generan pérdida de orgánico en comparación al solvente S1.
- Las mezclas de los solventes S1 y S2 en diferentes proporciones no generan mayores evaporaciones en comparación al solvente S1.
- El reemplazo del solvente S1 por S2 no afecta el proceso de extracción por solventes, y se justifica con el estudio las propiedades físico-químicas involucradas.

1.5 Antecedentes investigativos

1.5.1 Antecedentes internacionales

Navarro, P.; Vargas, C.; y Ramírez, C. (2015); en su trabajo de investigación titulado “Efecto de las impurezas en las propiedades físico-químicas de una solución de lixiviación de minerales de cobre” analizaron las propiedades físicas y químicas de una solución de lixiviación de minerales de cobre con una elevada concentración de cloro, aluminio y magnesio. Así mismo, se evaluó el efecto de la viscosidad sobre el tiempo de separación de fases en extracción por solventes. (p. 02) De acuerdo al análisis es que se afirma que la adición de cloro, aluminio y magnesio aumenta la densidad y la viscosidad del PLS. Del mismo modo se menciona que el aluminio es el elemento que más impacta en la densidad y la viscosidad del PLS. (p. 10)

Seguel, J (2018); en su tesis de grado “Efecto de agua de mar y cloruro de sodio en la extracción por solventes de cobre utilizando el reactivo Acorga M5910”, el cual se buscó la cuantificación de la incidencia del ion cloruro en las distintas etapas que conllevan la extracción por solventes. Para ello se realizaron pruebas utilizando soluciones acuosas con distintas concentraciones de cloruro, preparadas con agua destilada y/o agua de mar para determinar equilibrio de extracción, re-extracción y tiempo de separación de fases. (p. 02). Luego de un posterior análisis se concluye, el extractante Acorga M5910 tiene una mejor eficiencia de extracción en medio cloruro a medida que aumenta la temperatura y una menor extracción de cobre a medida que aumenta la concentración de ion cloruro. Así mismo, el extractante utilizado tiene mejores resultados en re-extracción de cobre a medida que disminuye la temperatura y a medida que aumenta la concentración de ácido en el electrolito rico. (p. 35)

1.5.2 Antecedentes nacionales

Navarro, P.; Vargas, C.; Valladares, S. (2009), en su trabajo de investigación titulado “Estabilidad química de reactivos de extracción por solventes de cobre del tipo hidroxioxima bajo diferentes condiciones operacionales” analizó la estabilidad química de dos reactivos extractantes para cobre; uno sin modificador (LIX-860N-IC) y el otro conteniendo un modificador de baja viscosidad (LIX-612 N-LV). Durante 103 días, se contactaron soluciones orgánicas de los reactivos extractantes disueltos al 35% en volumen en diluyente Shellsol 2046 AR. (p. 01) Se concluye lo siguiente, primero, para el caso de Aldoxima LIX-860N-IC, el análisis de las curvas correspondientes a las

isotermas de extracción indica que esta Aldoxima se ve fuertemente afectada al trabajar con concentraciones ácidas superiores a 180 g/l. Finalmente, para el caso de Aldoxima modificada LIX-612NLV, indica que las isotermas de extracción correspondientes muestran que solo la condición de 290 g/l de acidez provocan deterioro en el reactivo extractante. (p. 08)

Durand, J (2014), en su tesis de grado “Optimización en la etapa de extracción por solventes en base al tipo de diluyente en el orgánico, en una unidad minera” realiza una serie de pruebas en laboratorio para evaluar las características de diluyentes alternativos Conosol, Shellsol 2046 AR y Escaid 115 comparándolo con el diluyente Orfom SX-80, en el proceso de extracción de cobre. (p. 07) Se tiene los siguientes resultados: la caracterización físico-química indica la viscosidad y tensión superficial de orgánicos sintéticos, el diluyente Orfom SX-80 es mayor que la del Conosol y el Orfom SX-80 es mayor que del Shellsol 2046 AR, lo que implica un posible incremento de los tiempos de separación de fases y por consiguiente mayores arrastres. (p. 138)

CAPITULO II

MARCOS TEÓRICO Y CONCEPTUAL

2.1 Marco teórico

El proceso de extracción por solventes es uno de los métodos de purificación de metales que ha tenido un gran avance en estos últimos años, como es el caso de la instalación de plantas de SX en diferentes partes de mundo, así como en el Perú que tiene instalada plantas de SX para la extracción de cátodos de cobre alta pureza, tal es el caso de Sociedad Minera Cerro Verde, Southern Copper Corporation y la nueva planta instalada en Marcobre.

Una planta de extracción por solventes usa reactivos tales como solventes y diluyentes que combinados en una determinada proporción forman una mezcla llamada orgánico. Este orgánico debe tener ciertas características óptimas (físicas y químicas), tales que al ser mezclado con la solución que contiene cobre, proveniente de la etapa de lixiviación, no genere inconvenientes durante el proceso. En este caso los inconvenientes que podrían generarse serían los siguientes: arrastre de orgánico en la etapa de extracción y re extracción, formación de lodo, etc.

La presente tesis permitió visualizar los posibles cambios de las propiedades físicas y químicas cuando se realice un cambio gradual, estas pruebas inicialmente se realizarán a nivel de laboratorio y posteriormente a nivel de planta piloto.

Según Hernández (2007), el proceso de Extracción por Solventes, o SX, implica el paso de un elemento disuelto de una fase acuosa a una fase líquida conocida como fase orgánica, con el objeto de separarlo de las otras especies de la solución. Esta operación implica la re-extracción de la especie extraída desde la fase orgánica, permitiendo la regeneración del extractante para otra extracción. (p. 16)

Simpson (2006) menciona que su aplicación en la industria del cobre ha posibilitado el beneficio de menas oxidadas que por métodos tradicionales sería anti económico procesar. Así, ha permitido tratar minerales de baja ley (ripios, desmontes) o soluciones diluidas (aguas de minas, soluciones descarte), con niveles variables de

impurezas, obteniéndose soluciones concentradas y puras, aptas para electrodeposición (EW). (p. 8)

Empresas mineras peruanas como Cerro Verde y Southern Copper Corporation tratan minerales oxidados, del mismo modo empresas como El Abra, La Escondida en Chile también trabajan con minerales oxidados.

Así mismo Simpson (2006) plantea que otra gran ventaja del proceso es la de permitir una operación de electrodeposición con altas densidades de corriente y con eficiencias de corriente entre 90-95%, obteniéndose cátodos de alta pureza química y óptima calidad física. (p. 8).

Domic (2001), comenta que el proceso de extracción por solventes se incorpora como parte de un sistema integral de recuperación hidrometalúrgica, generalmente, para cumplir por lo menos alguno de estos tres objetivos principales:

- *La separación y purificación de uno o más metales de interés.*
- *La concentración de los metales disueltos.*
- *La transferencia de los metales disueltos.*

Al considerar el proceso de SX en un circuito metalúrgico (p. 447). Es necesario seleccionar uno o más metales de interés para iniciar el proceso de lixiviación con el objetivo de disminuir volúmenes a procesar y así mismo reducir los costos en el proceso de producción, además mediante el proceso de extracción por solventes se realiza la

transferencia de electrones del metal de interés a producir. De preferencia se hace necesario que se alcancen todos los objetivos planteados.

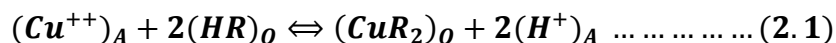
Sobre las bondades del proceso, Simpson (2006) afirma que el proceso completo de LIX-SX-EW no presenta mayores problemas de contaminación ambiental. (p. 8).

Como afirma Simpson, el proceso LIX-SX-EW no presenta problemas de contaminación ambiental ya que los todos los subproductos que se obtienen para obtener los cátodos de cobre en este proceso tienen un proceso cíclico.

2.1.1 Proceso de extracción por solventes

Según Castillo (2012) indica que el principio de la extracción por solventes de cobre es el intercambio iónico de una especie metálica en solución por un protón que libera el reactivo orgánico. El proceso puede ser también a la inversa, dependiendo de las condiciones de acidez. (p.15).

El mismo autor propone que la dirección del proceso de reacción dependerá básicamente de las condiciones de acidez de la solución y de acuerdo a la acidez es que invertirá el sentido de la reacción, como se indica en la siguiente reacción (2.1)



Del mismo modo Castillo (2012), asegura que el contenido de ácido de la fase acuosa es el parámetro que controla el equilibrio de reacción, con un PLS estándar (pH

alrededor de 2), propicia la extracción del cobre, luego el orgánico cargado se contacta con un electrolito con alta acidez (alrededor de 180 g/l), provocando la re-extracción del cobre desde la fase orgánica a la fase acuosa. (p.15)

En el proceso global de extracción por solventes intervienen 2 etapas:

- Extracción
- Re-extracción o Stripping

2.1.2 Etapa de extracción

Mamani (2012) menciona que, para ejecutar la operación de extracción, se requiere la presencia de una fase constituida por la solución portadora de la especie - o especies - (la cual es denominada fase acuosa), y una fase orgánica conformada por el reactivo extractante disuelto dentro de un diluyente orgánico. (p. 39)

Según Simpson (2006), el PLS tiene una baja acidez (pH 1,4 – 2,5), se contacta en los mezcladores con la fase orgánica pobre en cobre. Debido a la baja acidez de la solución acuosa, la reacción (2.1) se desplaza hacia la derecha, obteniéndose, una fase orgánica con alto contenido en cobre y una fase acuosa que ha entregado gran parte del cobre a la fase orgánica.

Como lo manifiesta Mamani (2012), para la ejecución del proceso de extracción por solventes se necesita del PLS (fase acuosa) el cual contiene iones metálicos disueltos y el orgánico (fase orgánica) compuesta por un diluyente y un extractante.

Así mismo como lo menciona Simpson (2006), el PLS contiene diversos iones disueltos propios de la lixiviación, el PLS es contactado con un orgánico el orgánico descargado. Cuando el PLS (PLS al tener una baja acidez) y el orgánico descargado se contactan en los mezcladores se produce el intercambio iónico, después que ambas soluciones han pasado por todas las etapas de extracción, se obtiene un orgánico cargado y una solución llama Raff.

Mamani (2012) manifiesta que en las etapas de extracción se transfiere parte del cobre de la fase acuosa al orgánico. Dado que los extractantes que se utilizan son selectivos para el cobre, las impurezas permanecen en la solución acuosa. A demás que por 1 g/l de Cu^{2+} que se transfiere al orgánico, se regenera en la solución acuosa 1,54 g/l de H_2SO_4 . **(p. 9)**

El mismo autor menciona que en la etapa de extracción la solución que contiene el ion cobre se transfiere al orgánico y la solución que dono el ion cobre queda como Raff que contienen impurezas y a su vez es devuelta a la etapa de lixiviación, de igual manera como se mencionó líneas arriba, por 1 g/l de Cu^{2+} (PA=63,5) que se transfiere al orgánico, se regenera en la solución acuosa 1,54 g/l de H_2SO_4 (PA=98). en este caso de hace una división de $98/63,5$ que da un valor de 1,54.

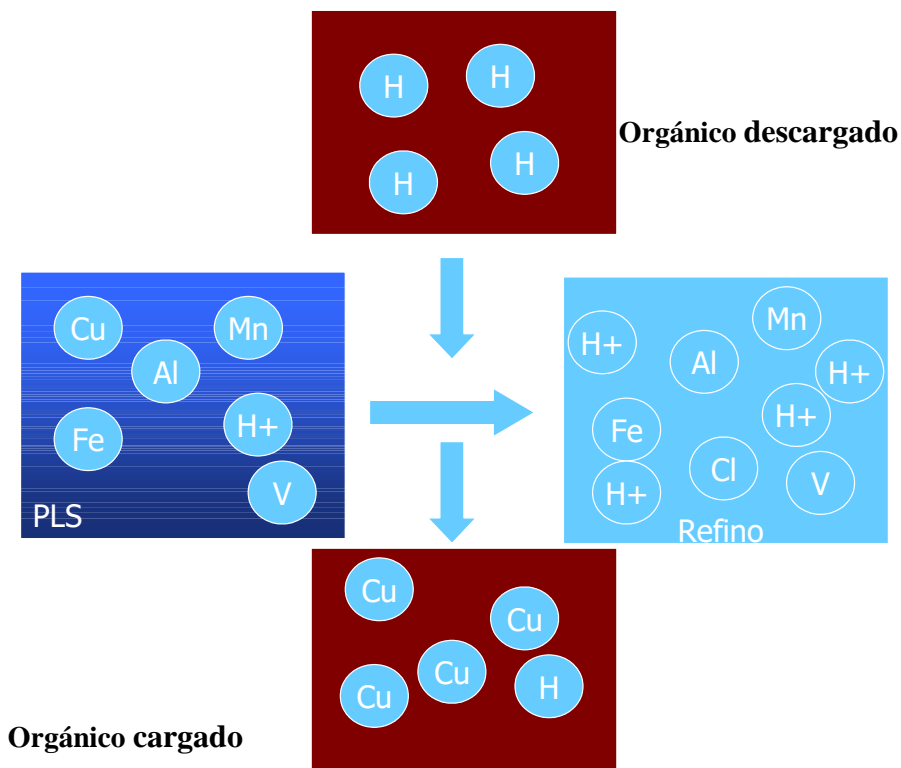


Figura 2.1: Esquema del intercambio iónico que ocurre en el reactor de extracción

Fuente: Simpson, J (2006). Curso de capacitación “Operación de plantas de extracción por solventes”

2.1.3 Etapa de re extracción (stripping)

Simpson (2006) menciona que el orgánico cargado obtenido en la etapa de extracción se contacta con el electrolito pobre (spent). Debido a la alta acidez del electrolito (150-200 g/l H_2SO_4), se produce la reacción inversa. De las etapas de stripping se obtienen 2 soluciones: un orgánico descargado y electrolito rico (avance). (p. 9)

El mismo autor afirma que cuando se contacta del orgánico cargado con el electrolito pobre (spent) el cual tiene una alta acidez, hace que la reacción se invierta,

es decir que el cobre de la fase orgánica es transferido a la fase acuosa. Del mismo modo, de las etapas de stripping menciona que se obtiene dos soluciones, uno es el orgánico descargado que es enviado a las etapas de extracción para iniciar un nuevo ciclo y un electrolito rico de alta pureza que es enviado a electrodeposición para depositar el cobre extraído.

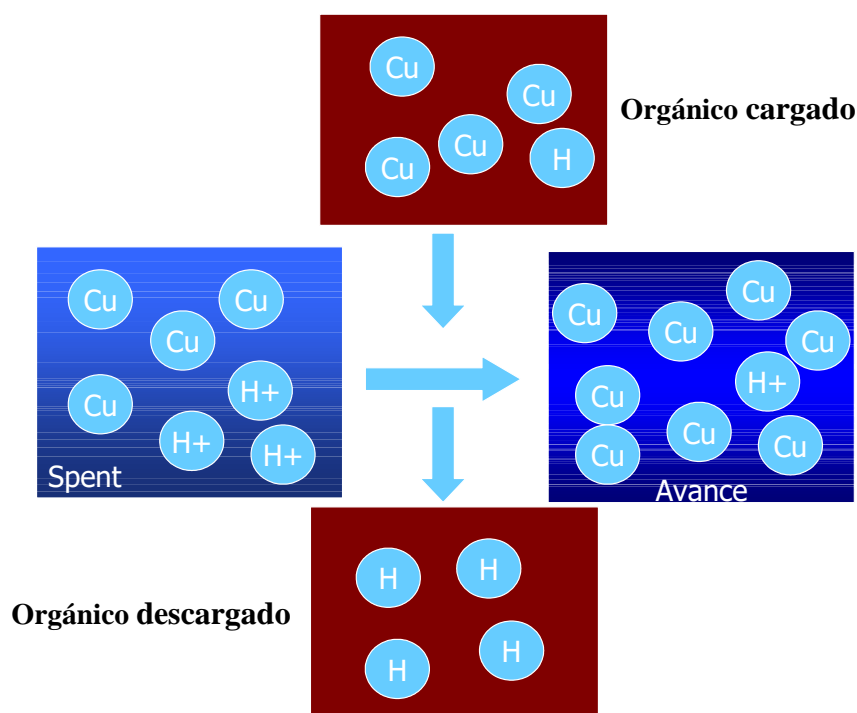


Figura 2.2: Esquema del intercambio iónico que ocurre en el reactor de Re extracción

Fuente: Simpson, J (2006) Curso de capacitación “Operación de plantas de extracción por solventes”

De esta forma, la descripción del proceso SX viene representado por la siguiente figura.

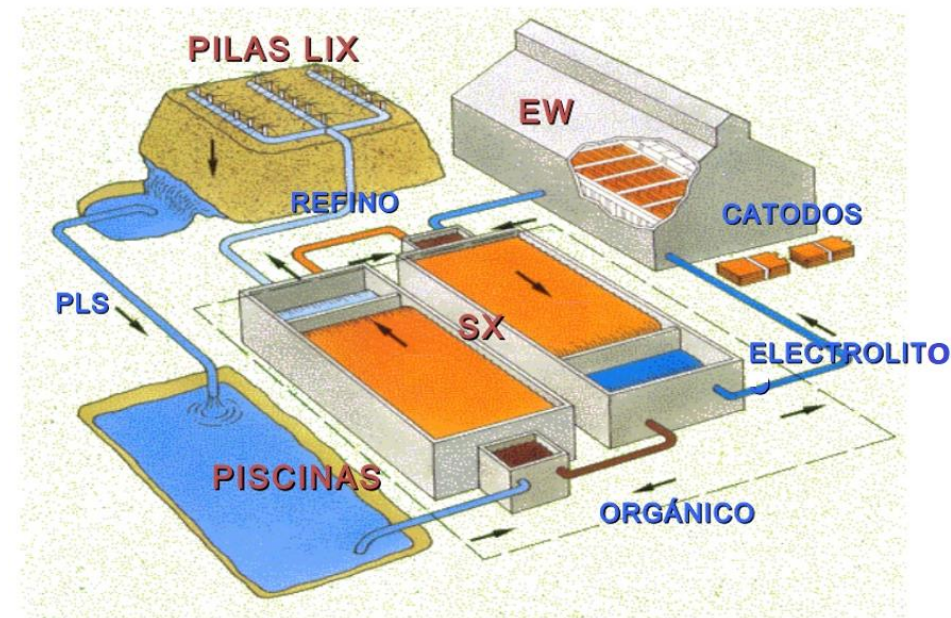


Figura 2.3: Esquema de una planta de LIX-SX-EW

Fuente: Márquez, J (2013). Sistema de control distribuido DCS

La fig. 2.3 nos muestra el esquema general, constituido por 3 circuitos cerrados de soluciones:

1. Lixiviación - Extracción
2. Extracción - Stripping
3. Stripping - Electroobtención.

En primer lugar, Simpson (2006) menciona el circuito corresponde a las soluciones provenientes de lixiviación que alimentan a las etapas de extracción, descargando el cobre y constituyendo la solución Raff, la cual retorna al proceso de lixiviación. (p. 10)

En segundo lugar, Simpson (2006) menciona al circuito orgánico, en el cual se carga en cobre en las etapas de extracción al contactarse con las soluciones de lixiviación y se descarga en las etapas de stripping, al contactarse con el spent, retornando a las etapas de extracción. (p10)

Finalmente, Simpson (2006) menciona al circuito del electrolito, en el cual se carga en cobre en las etapas del stripping, constituyendo el avance. Se descarga en la etapa de electrodeposición y retorna descargado (spent) a las etapas de stripping. (p. 10)

En resumen, el mismo autor da a conocer los tres procesos hidrometalurgicos (Lixiviación, extracción por solventes y electroobtención), en el cual detalla la importancia de cada proceso, así mismo que toda la operación es un proceso cíclico.

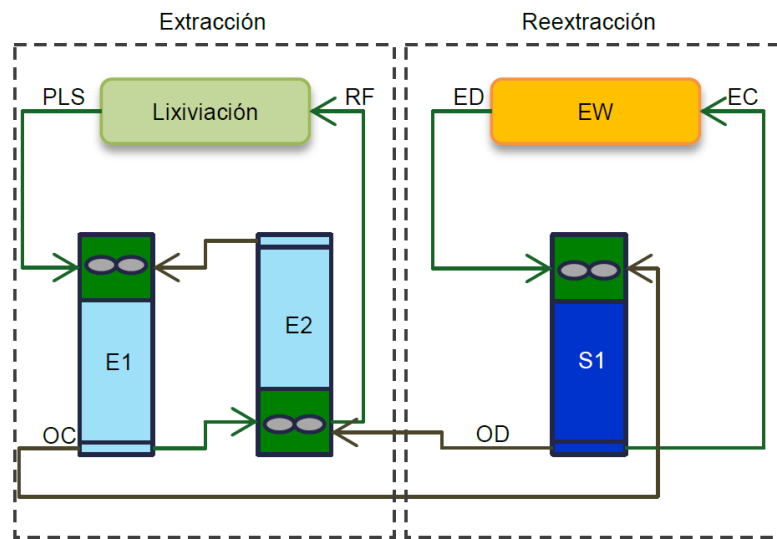
2.1.4 Circuitos de la planta de extracción por solventes

Según Castillo (2012) la configuración de una planta SX se diseña para cumplir con metas de producción fijadas inicialmente, bajo condiciones obtenidas de la lixiviación del mineral de mina y una fase orgánica escogida. (p. 27)

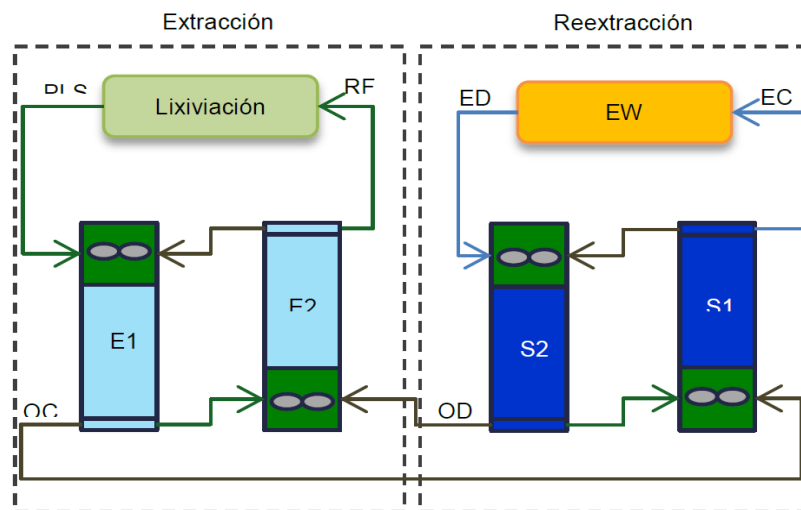
Como manifiesta Castillo (2012) antes de fijar los parámetros y circuitos de una planta SX se realizan pruebas en laboratorio, piloto y simulaciones matemáticas para visualizar los resultados y tomar una mejor decisión, el resultado final es un circuito que cumple con los objetivos y metas propuestas.

2.1.4.1 Circuitos en serie

Castillo (2012) comenta en el circuito estándar en SX, los flujos se mueven en contracorriente. Se puede contar con una o dos etapas de extracción (E) y una de stripping (S), también con 2E y 2S, o 3E y 1S. (p.27) Algunos ejemplos se ven en la Figura 2.4



(a)



(b)

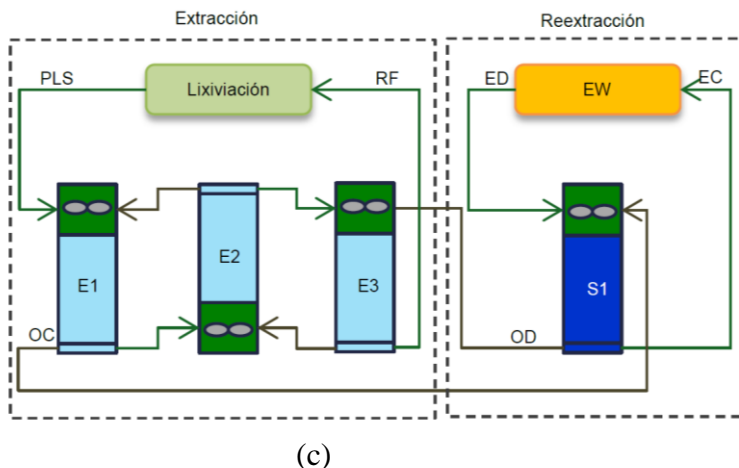


Figura 2.4: Circuitos en serie (a) Dos etapas en serie con un stripping; (b) Dos etapas en serie más dos stripping en serie; (c) Tres etapas en serie más un stripping

Fuente: Castillo, J. (2012). Separación de fases en sistema líquido/líquido para extracción por solventes de cobre

2.1.4.2 Circuitos en paralelo

Igualmente, Castillo (2012) comenta en este tipo de configuración, sólo la fase orgánica circula en contracorriente, el PLS alimenta a cada mezclador-sedimentador y de él retornan de inmediato los refinados. (p. 27) (ver figura 2.5).

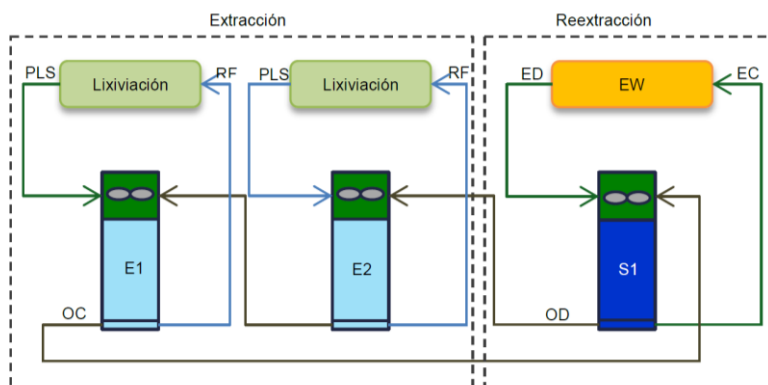
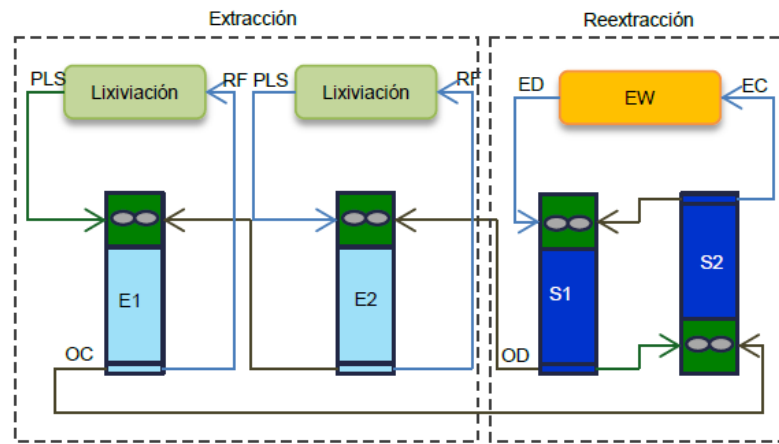


Figura 2.5: Circuito paralelo (dos etapas en paralelo más un stripping)

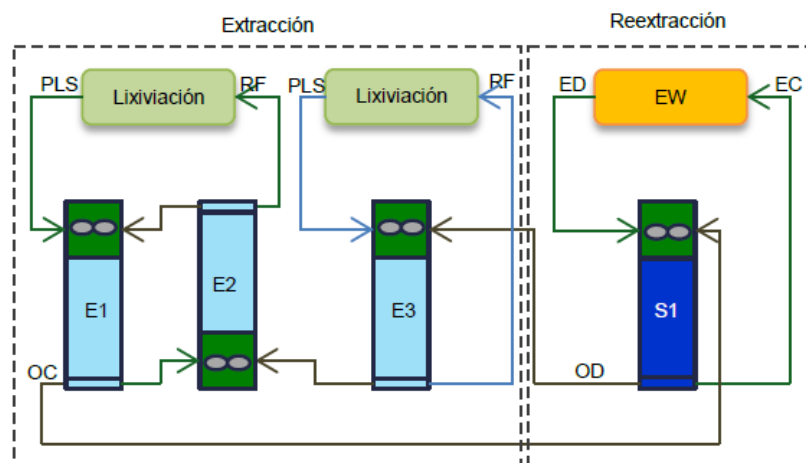
Fuente: Castillo, J. (2012). Separación de fases en sistema líquido/líquido para extracción por solventes de cobre

2.1.4.3 Circuito en serie-paralelo

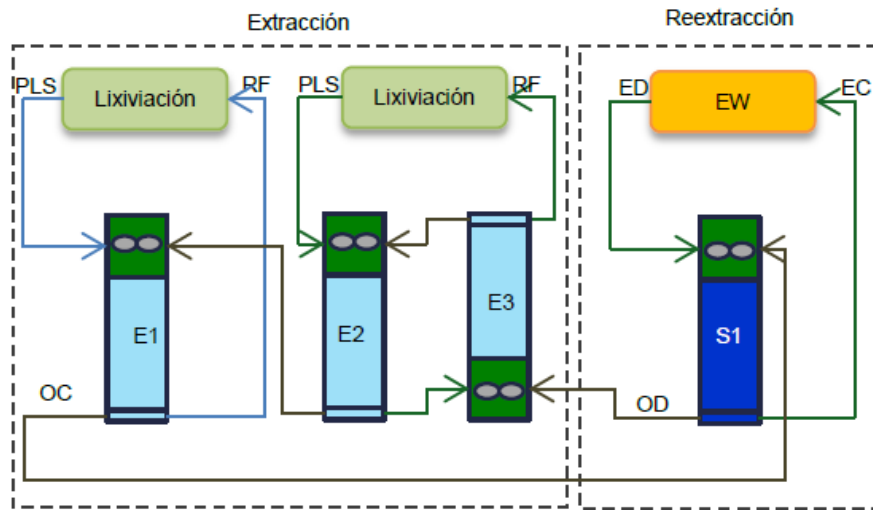
Del mismo modo, Castillo (2012) plantea que existen diversas configuraciones en serie-paralelo, aquí el orgánico circula en contracorriente y el acuoso en algunas etapas de extracción en serie y en otra en paralelo. (p. 27) (ver figura 2.6)



(a)



(b)



(c)

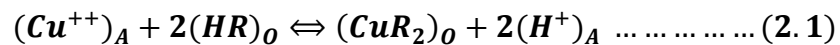
Figura 2.6: Circuito serie paralelo (a) Dos etapas en paralelo más dos stripping, (b) Dos etapas en serie y una en paralelo más un stripping, (c) Una etapa en paralelo más dos en serie y un stripping

Fuente: Castillo, J. (2012). Separación de fases en sistema líquido/líquido para la extracción por solventes de cobre

2.1.5 Conceptos fundamentales de extracción por solventes

2.1.5.1 Coeficiente de distribución

Simpson (2006) plantea en forma general la reacción reversible de SX que es representada por la ecuación (2.1).



La razón entre la concentración del metal en la fase orgánica y la concentración del metal en la fase acuosa, define al coeficiente de distribución D;

(p. 18)

$$D = \frac{\text{concentración metal fase orgánica}}{\text{concentración metal fase acuosa}} = \frac{(CuR_2)_O}{(Cu^{2+})_A} \dots \dots \dots (2.2)$$

Así mismo Simpson (2006) menciona que, si el pH aumenta se favorece la extracción y si disminuye se favorece la re-extracción. Para ello, en las etapas de extracción el pH de la solución deberá ser bajo (pH - 1.5). Por el contrario, en las etapas de re-extracción, la recuperación del metal se consigue contactando la fase orgánica cargada con una solución acuosa de alta acidez. (p. 19)

2.1.5.2 Selectividad

Simpson (2006) menciona la existencia de más de una especie química en solución dará lugar a que dichas especies se distribuyan entre la fase acuosa y fase orgánica de acuerdo a sus respectivas solubilidades. (p. 19)

Igualmente, Simpson (2006) comenta que se puede establecer el concepto de factor de separación como la relación de los coeficientes de distribución de dos especies distintas (D_M y D_N), miden la posibilidad de separación de las especies M y N y que se conoce con el nombre de selectividad. (p. 19). El mismo autor propone la siguiente reacción (2.3)

$$\beta = \frac{D_M}{D_N} \quad (D_M > D_N) \dots \dots \dots (2.3)$$

Finalmente, Simpson (2006) presenta datos de extracción comparativos, como los que en forma cualitativa se presentan en Tabla 2.1, para el LIX 64, a pH = 2,0. (p. 19)

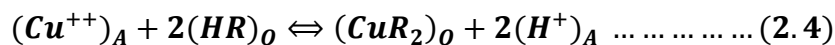
Tabla 2.1: Valores comparativos de diferentes extractantes de LIX

Reactivo	LIX 64	LIX64	LIX64N	LIX65N	LIX70	LIX70	LIX70	LIX71	LIX 73	Kelex 100
Concentración	10%	10%	20%	20%	10%	20%	30%	20%	20%	20%
pH	2,0	1,8	1,5	1,5	ca. 2	1,5	ca. 1,5	1,5	1,5	1,5
Cu ⁺⁺	alto	2,42	3,04	2,96	2,85	4,14	6,5	3,97	3,93	12,9
Fe ⁺⁺⁺	bajo	0,016	0,032	0,032	<0,02	0,038	0,002	0,028	0,028	0,235
Ni ⁺⁺	0				<0,02					
Co ⁺⁺	0		0,004	0,004	<0,02	0,006		0,004	0,002	0,002
Zn ⁺⁺	0		0,002	0,002	<0,02	0,002		0,002	0,001	0,002
Ca ⁺⁺	0				<0,02					
Mg ⁺⁺	0				<0,02					
Al ⁺⁺⁺	0				<0,02					

Fuente: Simpson J. (2006) Operación de plantas de extracción por solventes

2.1.5.3 Influencia del pH

Beroíza (2013) menciona que el pH es el número que exactamente describe el grado de acidez o basicidad de una solución. Así mismo Beroíza (2013) también plantea la siguiente reacción (2.4): (p. 12)



Beroíza (2013) comenta que esta ecuación (2.4) es una reacción reversible. En la extracción del metal acuoso, el pH de la solución debe ser moderadamente alto. Por el contrario, la recuperación del metal desde la fase orgánica se consigue contactando la fase orgánica cargada con una solución acuosa de alta acidez (150 - 200 g/l H₂SO₄) (p. 12).

El mismo autor afirma que la reacción (2.4) es una reacción reversible y la dirección de la reacción dependerá de la acidez de las soluciones que se contacta. En la etapa de extracción solución debe tener un pH relativamente alto para obtener una buena transferencia de iones Cu a la fase orgánica. Así mismo en la etapa de re extracción, la transferencia de iones cobre de la fase orgánica a la fase acuosa de obtiene disminuyendo el pH de la fase acuosa.

Así mismo Beroíza (2013) comenta que efecto del pH se aprecia en la extracción de cobre con una oxima comercial, a pH=2, ni el Co^{+2} ni el Ni^{+2} podrían ocasionar problemas de pureza en la solución a obtener. Ver la figura 2.7. (p. 12)

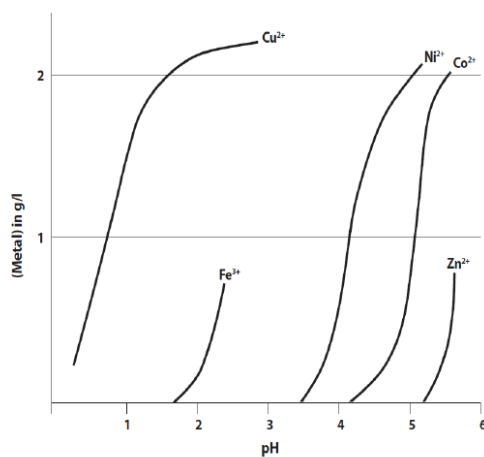


Figura 2.7: Extractibilidad de elementos metálicos disueltos en función del pH, con una oxima comercial (LIX84)

Fuente: Cognis Group, 2008

2.1.6 Determinación del número de etapas de extracción y re-extracción

2.1.6.1 Isoterma de distribución

Soto (2012) plantea que las curvas de equilibrio o isotermas de distribución grafican la concentración de la especie extraída en la fase orgánica, versus la concentración de la misma en fase acuosa, en el equilibrio y a una temperatura dada, y puede ser realizada tanto para la extracción como para re extracción. Generalmente se emplean razones O/A de 10/1; 5/1; 2/1; 3/2; 1/1; 1/2 y 1/5. (p. 29)

El mismo autor afirma que el método más utilizado para construcción de una isoterma de extracción es contactar diferentes proporciones de acuoso y orgánico, y posteriormente analizar por el elemento metálico en el equilibrio.

Igualmente, Soto (2012) refiere que la figura (2.8) muestra la construcción de una isoterma de distribución cuando se ponen en contacto A ml de solución rica conteniendo X_0 g/l de metal disuelto con O ml de orgánico fresco. Luego del equilibrio, el refino contiene X_1 g/l y el orgánico Y_1 g/l de metal. El balance de masa se puede expresar como: Soto (2012) plante la reacción 2.5. (p. 29).

$$Y = -\frac{O}{A}(X_n - X_0) \dots \dots \dots (2.5)$$

Y para cada razón existe un coeficiente de distribución diferente: Soto (2012) plante la reacción 2.6. (p. 29)

$$D = \frac{Y_n}{X_n} \dots \dots \dots (2.6)$$

Punto de saturación

Soto (2012) menciona que el punto de saturación es la composición del extractante dónde se alcanza su capacidad máxima de carga (a la derecha del gráfico 2.8). Así mismo comenta que si, por ejemplo, si cambia la concentración de reactivo en el orgánico, la concentración de metal en solución en la fase acuosa u orgánica, el pH de la solución rica, la concentración de ácido del electrolito descargado, etc. Entonces habrá que generar otra isoterma de distribución. (p. 30)

El mismo autor propone que, cambios en la concentración del orgánico, así como otros factores mencionados previamente repercutiría de manera importante en los resultados finales y por ende se deberá realizar nuevas isotermas de distribución.

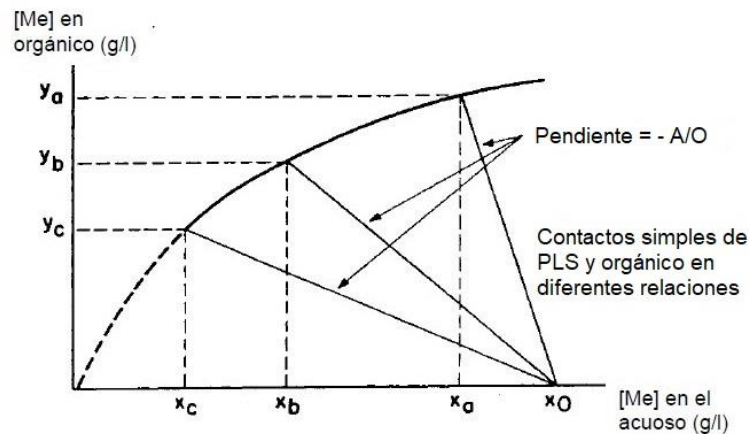


Figura 2.8: Construcción de una isoterma de extracción

Fuente: Soto & Solís, 2012

2.1.6.2 Recta de operación

Soto (2012) indica que se representa esquemáticamente (fig. 2.9) la operación de la parte extracción de una planta de SX para lo cual se han supuesto “n” etapas de extracción. En un proceso de extracción en contra corriente, el orgánico descargado se contacta con el refino, pobre en cobre, mientras que el orgánico cargado está en contacto con la solución rica en cobre. El proceso permite tener una buena extracción del metal contenido en la solución acuosa. (p. 31)

El mismo autor menciona que la mayor parte del proceso de extracción por solventes opera mediante contactos múltiples en contra corriente, la solución acuosa y la solución orgánica entran en contacto en direcciones contrarias para realizar la recepción y descarga del Cu.

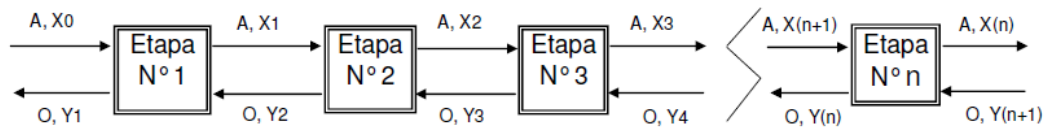


Figura 2.9: Esquema de una extracción en contra corriente

Fuente: Soto & Solís, 2012

A: Flujo de acuoso (m^3/h)

O: Flujo de orgánico (m^3/h)

$X_{(n)}$: Concentración del metal en el acuoso que sale de la etapa n (g/l)

$Y_{(n)}$: Concentración del metal en el orgánico que sale de la etapa n (g/l)

Soto (2012) plantea el balance de masa para la primera etapa mediante la ecuación 2.7 (p. 31)

$$O * Y_n + A * X_{n-1} = O * Y_n + A * X_n \dots \dots \dots (2.7)$$

Igualmente, Soto (2012) plantea una reacción para la etapa # n mediante la ecuación 2.8 (p. 32)

$$O * Y_{n+1} + A * X_0 = O * Y_1 + A * X_n \dots \dots \dots (2.8)$$

Finalmente, Soto (2012) menciona el balance de masa global para “n” etapas mediante la ecuación 2.9. (p. 32)

$$Y_{n+1} = \frac{A}{O} * (X_n - X_0) + Y_1 \dots \dots \dots (2.9)$$

La ecuación 2.9 es la ecuación de una línea recta llamada “recta de operación” en el diagrama de McCabe-Thiele.

2.1.7. Variables de Operación

A continuación, se describen las principales variables de operación.

2.1.7.1 Razón Orgánico - Acuoso

Simpson (2012) comenta que la razón de orgánico – acuoso la Condiciona la cantidad de extractante en relación a la cantidad de cobre disponible. (p. 33)

$$\text{Razón Orgánico Acuoso} = \frac{\text{Flujo orgánico, m}^3/\text{h}}{\text{Flujo acuoso, m}^3/\text{h}}$$

Así mismo, Simpson (2012) manifiesta que para cada etapa en el proceso de extracción por solventes se trabaja con diferentes valores, tales como:

- **Extracción:** La tendencia en esta parte del proceso es usar una razón orgánico-acuosa cercana a 1. (1,1 a 0,9) (p. 33)
- **Re-extracción:** la tendencia es 1,5. El objetivo es concentrar el cobre, por eso se contacta un menor caudal de acuoso en relación al orgánico. (p. 34)

2.1.7.2 Concentración de Extractante

Simpson (2012) afirma que a mayor concentración de extractante se extrae mayor cantidad de cobre, pero, la re-extracción y la separación de fases es más

difícil. Se debe controlar mediante pruebas de laboratorio (capacidad de extracción y capacidad de carga). (p. 34)

2.1.7.3 pH

Alfaro (2011) comenta que el pH de la solución acuosa inicial (PLS), es la segunda variable en importancia, la experiencia ha demostrado que a menor acidez (o sea mayor pH) mayor será la transferencia o extracción de cobre. Pudiendo trabajar el extractante entre los rangos de pH desde 1,8 a 2,0. (p. 18)

2.1.7.4 Agitación

Simpson (2012) afirma que el mecanismo de agitación cumple con dos funciones: realizar una agitación efectiva, producir una dispersión apropiada de las 2 fases para que se produzca la reacción química y succionar la fase acuosa y orgánica de las etapas adyacentes. (p. 35)

2.1.7.5 Flujo Específico en el Settler

Simpson (2012) afirma que el flujo específico puede variar considerablemente de una planta a otra. Para definir el flujo específico es necesario determinar la altura de la banda de dispersión a operar. Se debe mantener durante el proceso una altura determinada de banda, aproximadamente a un 30% de la altura total de la fase orgánica. (p. 35)

2.1.7.6 Sólidos en suspensión

Simpson (2012) manifiesta que estos sólidos pueden llegar al sistema como partículas en suspensión generados en lixiviación, así como polvo del medio ambiente y que esto genera la formación de barro (CRUD). (p. 36)

2.2 Marco Conceptual

2.2.1 Arrastres

Mamani (2012). Es la suspensión de pequeñas gotas de una fase en la que se deja llevar por otra fase. (p. 18)

2.2.2 Banda de dispersión

Alfaro (2011). Es aquella zona ubicada entre la fase orgánica y la fase acuosa del sedimentador, encontrándose mezcladas ambas fases en forma de burbujas. (p. 19)

2.2.3 Borrás (CRUD)

Sulla (2013). El crudo es una emulsión estable compuesta de sólidos, acuoso y orgánico y que pueden ser generados incluso en ausencia de sólidos arrastrados. (p. 62)

2.2.4 Selectividad

Sulla (2013). Es la habilidad del extractante para extraer una sustancia de interés desde una solución acuosa. (p. 48)

2.2.5 Solvente 1 (S1)

Composición química: Hidrocarburos C13-C16

Nombre químico: n-alcanos, isoalcanos, cíclicos, aromáticos (2-25%)

2.2.6 Solvente 2 (S2)

Composición química: kerosene, $C_{12}H_{26}$ – $C_{15}H_{32}$

Nombre Químico (IUPAC) – Hidrocarburo Alifático, mezcla de hidrocarburos.

CAPITULO III

DESARROLLO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

3.1 Materiales, equipos y reactivos

3.1.1 Materiales y equipos

- Materiales de vidrio: un vaso de 500 y 2000 ml, además de una probeta de 100 ml. Figura 3.1



Figura 3.1: Materiales de vidrio

Fuente: Foto tomada por el tesista

- Agitador para las pruebas de contacto.



Figura 3.2: Agitador para las pruebas de contacto

Fuente: Foto tomada por el tesista

- Cronómetro
- Linterna.
- Viscosímetro Gilmont Instrument como se aprecia en la figura 3.3.



Figura 3.3: Viscosímetro Gilmont Instrument

Fuente: Foto tomada por el tesista

- Tensiómetro Lauda con su respectivo recipiente.



Figura 3.4: Tensiómetro Lauda TD 3

Fuente: Foto tomada por el tesista

3.1.2 Reactivos

3.1.2.1 Reactivos Lix 984N

El extractante Lix 984N, es un reactivo que se usa ampliamente en la industria minera en el proceso de extracción por solventes. Está compuesto por una mezcla de Lix 986N-I y Lix 84-I en una proporción de 1:1, teniendo como especies activas al 5-nonilsaliciladoxima y el 2-hidroxi-5-nonilacetofenona oxima. Las propiedades típicas de este reactivo se indican en la siguiente tabla 3.1

Tabla 3.1: Principales propiedades Extractante Lix 984N

<u>Propiedades físicas</u>		<u>Especificaciones técnicas</u>	
Apariencia física	Líquido color ámbar	Máxima carga cobre	>5,1 g/1 Cu
Gravedad específica	0,89-0,91 (25°C)	Pto isoterma extracción	>4,4 g/1 Cu
Flash Point	>71,11°C	Cinética de extracción	>95 % (30 seg)
Solubilidad compleja	>30 g/1 Cu	Separación de fases	< 80 seg

Fuente: BASF, 2013, Technical Information, Lix 984

3.1.2.2 Diluyente S1

El *Diluyente S1* es un destilado del petróleo de alto punto flash que ha sido especialmente desarrollado para aplicaciones de extracción por solventes. Está diseñado para proporcionar una óptima separación de fases, así como también una rápida cinética de extracción. S1 es un diluyente superior para el uso en la extracción por solventes de metales con un alto punto de inflamación. Tiene alta

selectividad Cu/Fe. El fabricante menciona que, por esa propiedad, lo hace un producto único en el mercado.

Tabla 3.2: *Propiedades típicas del reactivo S1*

PROPIEDADES	METODO	UNIDAD	VALOR TIPICO
Color Saybolt	ASTM D156		> +30
Flash Point (PMCC)	ASTM D93	°C	77-82
Densidad a 15 °C	ASTM D1298	g/l	0,81-0,82
Viscosidad	ASTM D7042	mm ² /s	2,4

Fuente: Chevron Phillips, 2021, Diluyentes de extracción por solventes

3.1.2.3 Diluyente S2

S2 es un destilado del petróleo que también fue desarrollado para aplicaciones de extracción por solventes. Es un hidrocarburo alifático que tiene un color claro e incoloro con una densidad de 0,8 g/ml a una temperatura de 20 °C

Tabla 3.3: *Propiedades típicas del reactivo S2*

PROPIEDADES	METODO	UNIDAD	VALOR TIPICO
Color Saybolt	ASTM D156		> +30
Flash Point (PMCC)	ASTM D93	°C	80 a 82
Densidad a 20 °C	ASTM D1298	g/l	0,79 a 0,82
Viscosidad	ASTM D7042	mm ² /s	2,3

Fuente: ExxonMobil, 2017, Hoja de manipulación de carga

3.2 Procedimiento experimental

3.2.1 Fase acuosa

Las fases acuosas para las pruebas de extracción de cobre, se realizaron con PLS de planta que vienen directamente de las pilas de lixiviación y PLS sintético preparado en el laboratorio químico.

Inicialmente se preparó el PLS sintético a nivel de laboratorio, con las siguientes características: concentración de cobre de 4,5 g/l, adicionado con sulfato cúprico pentahidratado, concentración de hierro de 5,0 g/l, adicionado como sulfato férrico hidratado y pH entre 1,6 y 1,8 con la adición de ácido sulfúrico.

El uso y la preparación del PLS sintético es muy importante ya que son condiciones ideales en el cual se daría el intercambio iónico PLS /orgánico, este PLS está libre de cualquier impureza en comparación al PSL de que viene de la etapa de lixiviación el cual contiene impurezas propias de la lixiviación. Es por tal motivo que se trabaja con este PLS.

3.2.2 Fase orgánica

Para el caso de las fases orgánicas se utilizó el extractante LIX 984N, así como los diluyentes S1 y S2. Las concentraciones en volumen de la fase orgánica se realizaron mediante la mezcla del extractante LIX 984N con el diluyente S1 y el S2 en determinadas proporciones para las pruebas en laboratorio y en las pruebas de la mini planta.

3.3 Consideraciones de las pruebas realizadas en laboratorio metalúrgico

3.3.1 Evaporación de solventes 100% puros

Para la realización de esta parte de la prueba, se tomaron los 02 tipos de Solventes en su estado puro. Dichos reactivos se agregaron en vasos de 600 ml, a un volumen de 400 ml de cada reactivo. Estas pruebas se realizaron con muestras por duplicado, para saber cuál es la tasa de evaporación de los reactivos cuando estos ya se encuentren trabajando.

- S1 al 100% (O100).
- S2 al 100% (E100).

3.3.2 Evaporación - Solventes puros y orgánicos con mezcla de solventes

Las pruebas de evaporación se realizaron con la finalidad de saber la tasa de evaporación de las diferentes muestras (mezcla de reactivos). Dichas pruebas fueron realizadas en un área restringida, libre de la manipulación de personas ajenas al laboratorio que puedan interferir con la prueba. Se puso las soluciones en vasos de precipitados de 600 ml, los que diariamente se pesaban.



Figura 3.5: Prueba de evaporación referencia

Fuente: Elaboración propia

3.3.3 Pruebas de contactos de orgánico nuevo/PLS planta

Las pruebas de contactos se realizaron según procedimiento (Anexo 2), manteniendo las siguientes condiciones: Relación O/A= 1.0 para todas las pruebas de contacto, Tiempo de Agitación en vasos de 2000 ml por un tiempo de 5 min., una velocidad de agitación de 1750 RPM, Carga Máxima de Extractante 6,0 % v/v.

Las propiedades a ser evaluadas, así como quien las determinó, se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 3.4: *Determinación de las propiedades físicas y químicas del orgánico*

Propiedades		Determinado por	
		Lab. Químico	Met SX-EW
Propiedades físicas	Tensión interfacial		X
	Tiempo de separación de fases		X
Propiedades químicas	Cinética de extracción	X	
	Cinética de re extracción	X	
	Selectividad	X	
	Eficiencia de extracción	X	
	Eficiencia de re extracción	X	

Fuente: Elaboración propia

3.3.4 Pruebas a nivel de Planta Piloto

Para las pruebas en planta piloto se trató de replicar las condiciones de una planta industrial:

Tabla 3.5: *Condiciones de trabajo en la Planta Piloto*

Configuración	serie de 2E + 2R
Relaciones O/A externas Extracción	0,57
Relaciones O/A externas Re Extracción	1,4
Acidez del electrolito (se utilizó el avance de la planta industrial)	170 g/l
Carga máxima	6% v/v
Cobre en el PLS	0,95 g/l

Fuente: Elaboración propia

De estas pruebas se esperó como principales variables de respuesta, las trazadoras de pérdida de orgánico (solvente + LIX-984-N).

3.4 Metodología experimental

Todas las pruebas de contacto se llevaron a cabo para determinar parámetros tales como la viscosidad, tensión interfacial, y tensión superficial. Para dichas pruebas se utilizó un vaso de vidrio de 2000 ml de capacidad en una relación O/A de 1. Luego se pasó a la etapa de prueba en la planta piloto.

En el vaso de 2000 ml se agrega 400 ml de orgánico, y luego se introduce el agitador. Una vez que se tiene el agitador dentro del vaso de 2000 ml, se arranca a una velocidad de 1750 RPM. En ese mismo instante se procede a agregar lentamente los 400 ml de acuoso (PLS), y luego de concluido, se procede a tapar el vaso para evitar la pérdida de solución por salpicadura de la solución. El tiempo de agitación para cada prueba de contacto es de 5 minutos y al término de cada prueba, se toma el tiempo de separación de fases de cada una de ellas. En total se llegaron a realizar 5 pruebas de contacto para los diferentes tipos de orgánicos que se va a preparar en distintas proporciones.



Figura 3.6: Prueba de agitación

Fuente: Foto tomada por el tesista

3.4.1 Medición del tiempo de separación de fases (TSF)

Para la medición del tiempo de separación de fases, en un vaso de vidrio de 2000 ml se agregan 400 ml de orgánico y 400 ml de acuoso en una relación O/A de 1, para luego ser agitados a una velocidad de 1750 RPM por 5 minutos, pasado el tiempo de agitación por 5 minutos, se empezará a observar una separación de fases de los dos reactivos, hasta que se hayan separado las dos fases y lleguen a un equilibrio, en ese momento se anotará el tiempo que tomó para hacer dicha separación de reactivos.



Figura 3.7: PLS y orgánico en equilibrio luego de la medición del TSF

Fuente: Foto tomada por el tesista

3.4.2 Medición de la densidad

La medición de la densidad se realizó mediante el concepto básico de la física de masa sobre volumen. Se utilizó una probeta de 100 ml.

La solución se agrega en la probeta de 100 ml y se coloca en una balanza previamente tarada a cero, para luego anotar el peso y finalmente realizar el cálculo de la densidad mediante la fórmula masa sobre volumen.



Figura 3.8: Medición de la densidad por el concepto de masa sobre volumen

Fuente: Foto tomada por el tesista

3.4.3 Medición de la viscosidad

El cálculo de la viscosidad se realiza por el método de la caída de bola, cuyo concepto básico se detalla a continuación.

La bola rueda y se desliza en un tubo de medida cilíndrica, que se encuentra lleno del líquido a estudiar. La viscosidad buscada, se obtiene directamente del tiempo que necesita la bola para recorrer una distancia bien definida entre dos puntos de referencia

dentro del tubo con muestra. Así mismo, el tubo se puede “poner de cabeza” para medir el tiempo necesario para el retorno de la bola.

Para el cálculo de la viscosidad, se utilizó un viscosímetro Gilmont Instrument como se aprecia en la figura 3.5.

La solución se introduce al viscosímetro hasta el tope con la ayuda de un vaso pequeño de 100 ml. Cuando el viscosímetro este lleno al tope, con mucho cuidado se hace ingresar una bola de metal (tantalio) con la finalidad que no formar pequeñas burbujas de aire dentro del viscosímetro ya que estas burbujas alteran la medición la viscosidad.

Una vez ingresada la bola de metal se procede a tapar el viscosímetro con la tapa 1 el cual en la parte superior de la tapa tiene una pequeña abertura para desfogar el remanente de la solución. Luego de que haya salido el pequeño remante de solución se precede a tapar con la tapa 2 para que no pueda ingresar burbuja alguna.

Para el cálculo de la viscosidad se toma el tiempo que demora en bajar la bola de metal desde la marca superior hasta la marca inferior, esta medida se hace por duplicado.

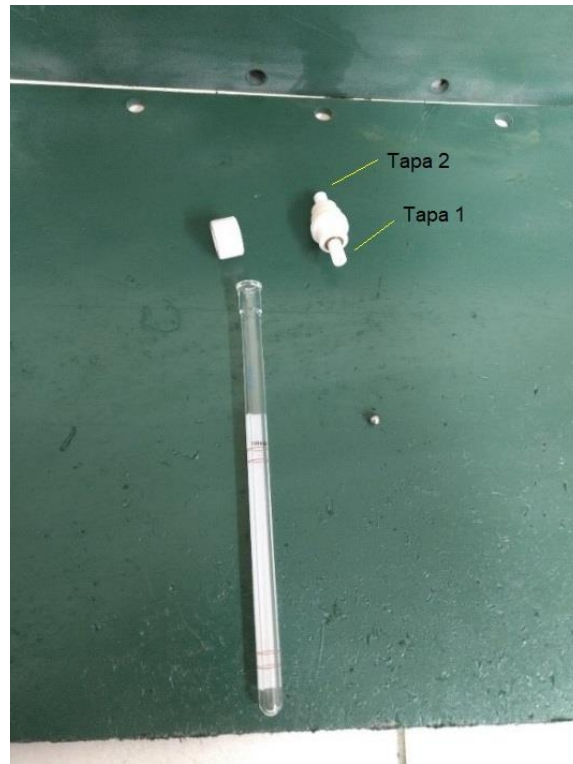


Figura 3.9: Viscosímetro Gilmont Instrument

Fuente: Foto tomada por el tesista

3.4.4 Medición de la tensión interfacial

López (2012) plantea que este método se basa en medir la fuerza necesaria para separar un anillo de una superficie líquida; este anillo, a través de un brazo de palanca, está suspendido de una balanza de torsión, mediante el cual se mide la fuerza. (p. 12).

Así mismo menciona la siguiente ecuación: (3.1)

$$\sigma = \frac{\beta * E}{4\pi r_a} \dots \dots \dots (3.1)$$

Además, López (2012) menciona que E es el empuje aplicado al anillo en dinas, r_a es el radio medio del anillo y β es un factor de corrección. Para tener un ángulo de contacto cero, se utilizan anillos de platino perfectamente limpios. Es esencial que el anillo repose plano sobre la superficie líquida. (p. 12)

Del mismo modo López (2012) manifiesta que la tensión superficial actúa sobre toda la circunferencia de este anillo, y la nueva superficie que se forma posee dos lados. Al momento de la ruptura, el peso del líquido desprendido será igual al producto de la tensión superficial por dos veces (la superficie externa y la superficie interna) el perímetro del círculo. Si m es la masa medida entonces $E = mg = 4\pi r_a \sigma$ y, por lo tanto. (p. 12). Se-menciona la ecuación 3.2

$$\sigma = \frac{mg}{4\pi r_a} \dots \dots \dots (3.2)$$

Lauda (2010) menciona que el método de anillo/placa para la medición de la tensión superficial e interfacial de los líquidos es un método establecido con potencial de futuro: la creciente necesidad de aditivos activos interfaciales y su comprobación en el control de calidad, requieren equipos totalmente automatizados y de fácil manejo. (p. 02)



Figura 3.10: Tensiómetro LAUDA TD 3

Fuente: Foto tomada por el tesista

A continuación, se detallará el procedimiento para determinar la tensión interfacial.

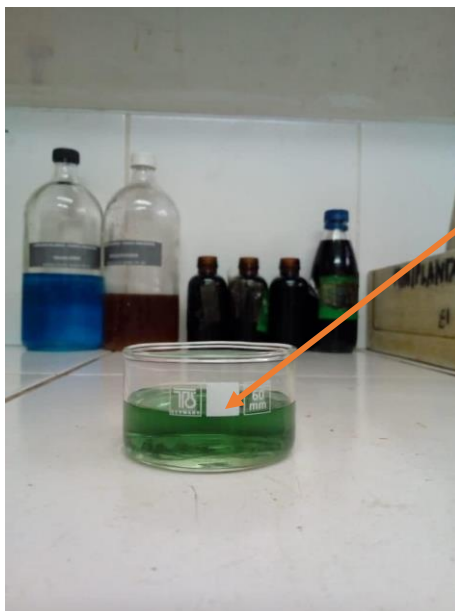
- Colocar con mucho cuidado el anillo Du Nouy dentro del tensiómetro el cual tiene un pequeño gancho donde se coloca el anillo.



Figura 3.11: Colocación del anillo de Du Nouy al interior del tensiómetro

Fuente: Foto tomada por el tesista

- Primero, en un vaso de vidrio transparente se adiciona la solución más densa hasta la parte inferior del pequeño cuadrado de color blanco que tiene el vaso como se muestra en la figura 3.12, posteriormente se adiciona la solución menos densa sobre la superficie de la solución más densa hasta la parte superior del pequeño cuadrado como se muestra en la figura 3.13, todo este procedimiento se debe hacer con mucho cuidado para evitar la interfase liquido-liquido



Solución hasta la
marca inferior del
cuadrado

Figura 3.12: Solución más densa (PLS)

Fuente: Foto tomada por el tesista



Solución hasta la
marca superior del
cuadrado

Figura 3.13: Solución menos densa (Orgánico)

Fuente: Foto tomada por el tesista

- Una vez que está listo el vaso con las dos soluciones, se procede a colocar en la plataforma ascendente dentro del tensiómetro el cual lentamente comienza a subir y el anillo Du Nouy comienza a ingresar dentro del vaso hasta llegar a la interfase de las dos soluciones como se aprecia en la figura.

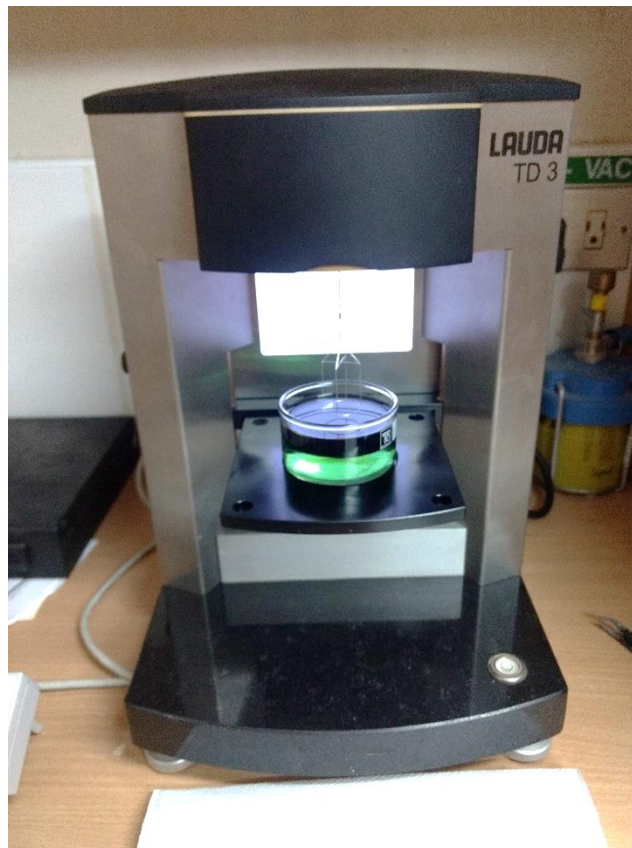


Figura 3.14: El anillo Du Nouy en contacto con la solución

Fuente: Foto tomada por el tesista

- Una vez obtenido el valor de la tensión interfacial se toma lectura de la misma, luego que se haya tomado la lectura la plataforma ascendente empezará a descender hasta la posición inicial. Finalmente, cuando el vaso se encuentra en esa posición se procede a retirar con mucho cuidado el vaso del tensiómetro.

CAPITULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Evaporación - Solventes puros y orgánicos con mezcla de solventes

4.1.1. Evaporación de solventes 100% puros

Con los datos experimentales de las muestras, se construyó la figura 4.1. Se observó que la pendiente de evaporación del S2 es similar al S1 como solventes puros. Por tanto, presentan ambos reactivos similares pendientes y esto hace suponer que el reactivo S2 tiene las mismas propiedades físicas que el S1. Ambos tienen una variación muy baja en la evaporación.

La tasa de evaporación del S2 es 2% mayor que la del S1, ambos en su estado puro (ver tabla 4.1)

Tabla 4.1: Tasa de evaporación de los solventes puros

Tasa de evaporación (L/m ² /día)		
Solvente	100S2	0,206
	100S1	0,202

Fuente: Elaboración propia

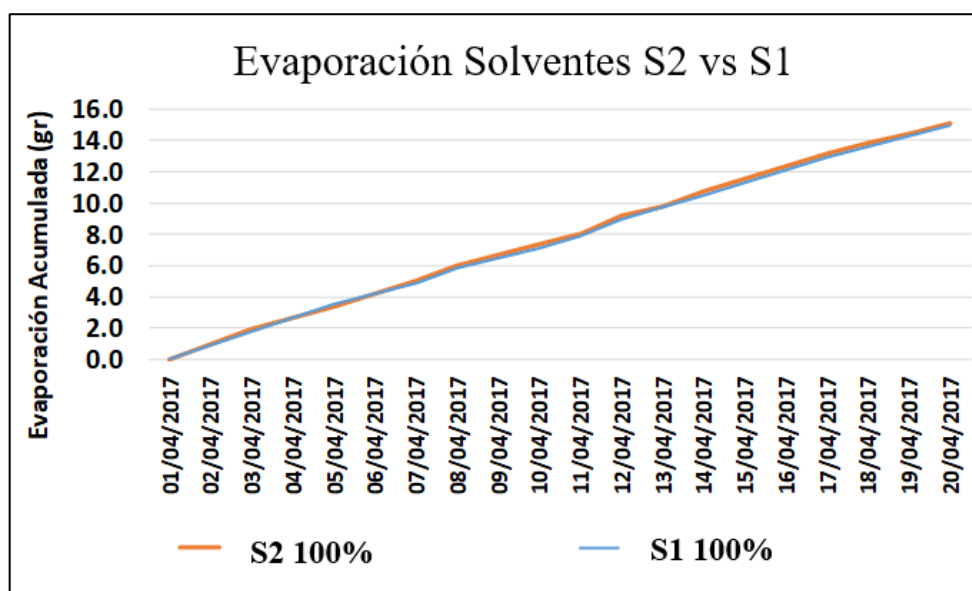


Figura 4.1: Evaporaciones S2 y S1

Fuente: Elaboración propia

4.1.2. Evaporación de orgánicos mezcladas

Seguidamente se prepararon 05 tipos de Orgánicos, con mezcla de ambos solventes con su respectiva muestra por duplicado.

- Con S1 100%, y S2 0% (100S1/0S2)
- Con S1 75%, y S2 25% (75S1/25S2)
- Con S1 50%, y S2 50% (50S1/50S2)
- Con S1 25%, y S2 75% (25S1/75S2)
- Con S1 0%, y S2 100% (0S1/100S2)

A medida que va mezclándose el S2 en el S1, este va teniendo mayores evaporaciones, creando una curva que se hace asintótica hasta un 50% S2 aproximadamente; a 25, 50 y 75 % S2, se tiene un incremento de la tasa de evaporación en referencia a la del S1 puro, del orden del 17%, y cuando se llega al 100% S2, este incremento en la evaporación se reduce hasta 7,5% (ver tabla 4.2 y figura 4.2).

Tabla 4.2: *Tasa de evaporación del orgánico a diferentes proporciones*

Tasa de evaporación (L/m²/día)		
Orgánico	100S1/0S2	0.174
	75S1/25S2	0.201
	50S1/50S2	0.203
	25S1/75S2	0.201
	0S1/100S2	0.187

Fuente: Elaboración propia

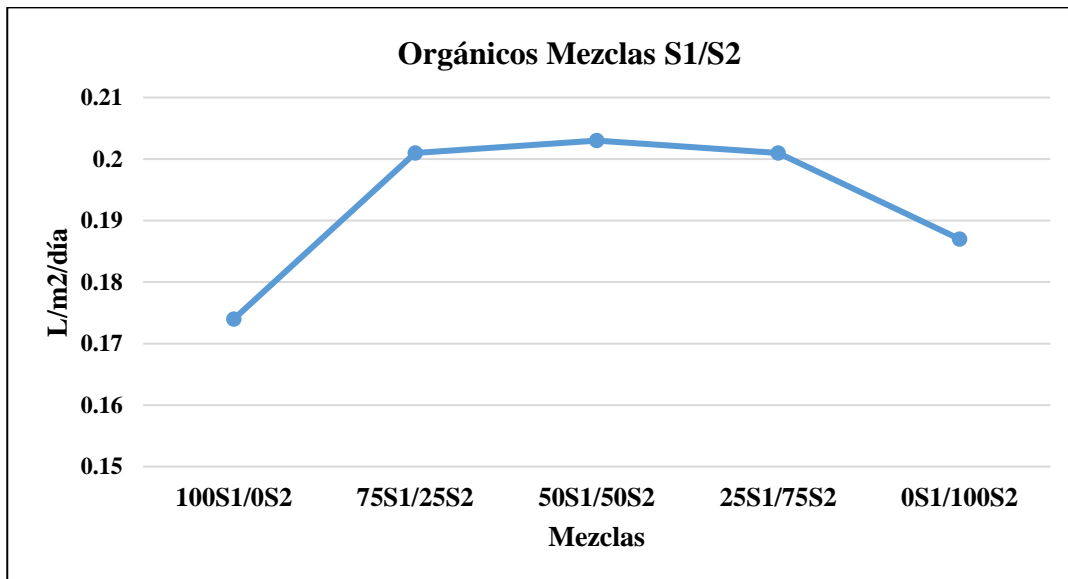


Figura 4.2: Evaporaciones de los solventes a diferentes proporciones

Fuente: Elaboración propia

La tendencia de Evaporación de orgánicos en mezclas tiene una tendencia lineal en el tiempo, evaporándose todas las mezclas similarmente hasta los 05 primeros días, de ahí en adelante las curvas con mayores presencias de S2 tienen una mayor pendiente. (Ver figura 4.3)

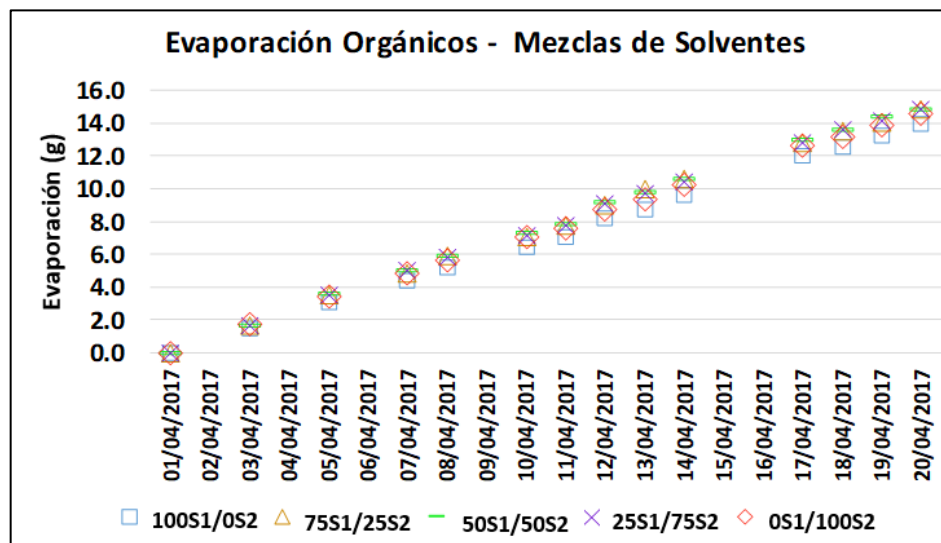


Figura 4.3: Comparación de pérdida de peso por la evaporación de las diferentes mezclas de solventes

Fuente: Elaboración propia

4.2 Pruebas de contacto en laboratorio

Las pruebas de contacto fueron realizadas según el siguiente diseño de combinaciones en diferentes proporciones de diluyentes. (ver tabla 4.3)

Tabla 4.3: Composición de los reactivos a preparar para las pruebas de contacto

Código	Composición (%)	
	Reactivo 1	Reactivo 2
100S1/0S2	100	0
75S1/25S2	75	25
50S1/50S2	50	50
25S1/75S2	25	75
0S1/100S2	0	100

Fuente: Elaboración propia

A continuación, las principales variables de la mezcla (solvente + Lix-984-N).

4.2.1 Arrastre de Orgánico en Raff

Los siguientes resultados deben ser tomados como tendencia, ya que son arrastres producto de decantación en peras de laboratorio, las condiciones del laboratorio según estándares, no son las mismas que los decantadores de la planta piloto. (ver tabla 4.4).

Tabla 4.4: Arrastre de las mezclas de reactivos a diferentes composiciones

Código	Arrastre de Orgánico en Raff (ppm)
100S1/0S2	1403
75S1/25S2	842
50S1/50S2	814
25S1/75S2	733
0S1/100S2	993

Fuente: Elaboración propia

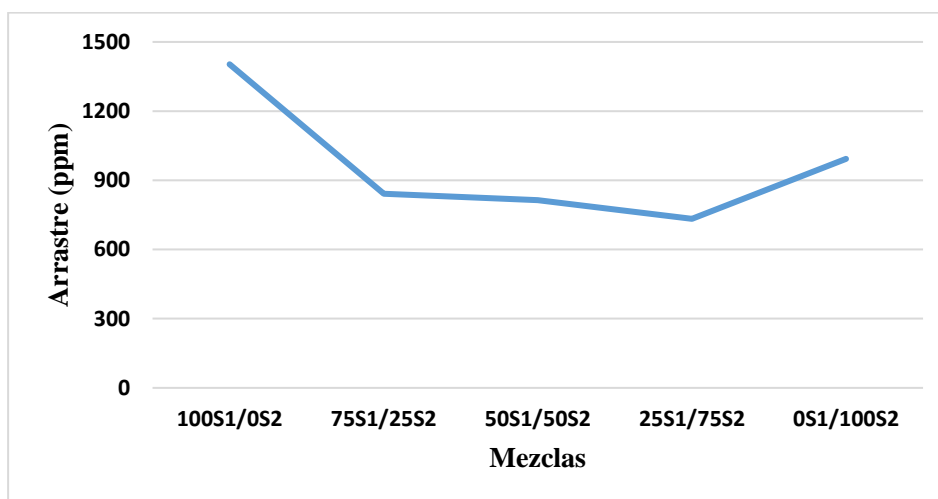


Figura 4.4: Arrastre de orgánico en el Raff a las diferentes proporciones

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.4 se puede ver una relación inversamente proporcional al contenido de S2 en el orgánico. Como se logra apreciar en los resultados y en la gráfica, inicialmente a 100S1/0S2 se tiene un arrastre de orgánico en el Raff de 1403 ppm, a medida que se va disminuyendo el volumen del S1 y va aumentando la proporción del S2 en las proporciones ya mencionadas líneas arriba, el arrastre de orgánico en Raff va disminuyendo.

Asimismo, al realizar la prueba con 0S1/100S2 se tiene un arrastre de orgánico en Raff de 993 ppm en comparación a la prueba de 100S1/0S2 con un valor de 1403 ppm, lo que nos muestra una disminución notoria de los arrastres de orgánico al final de la sustitución de un reactivo a otro.

4.2.2 Tiempo de separación de fases (T.S.F.)

El tiempo de separación de fases también presenta una relación inversamente proporcional al contenido de S2 en el orgánico a la hora de realizar las pruebas en el laboratorio metalúrgico.

Como se muestra en la tabla de valores obtenidos en el laboratorio, en la etapa de extracción para mezclas de 100S1/0S2 se tiene un valor de TSF de 68 segundos que está en el rango de los 60 a 120 segundos en los cuales deben estar los valores para tener una buena transferencia de iones cobre, pero a medida que se va cambiando las proporciones de los diluyentes el TSF va disminuyendo a menos de 60 segundos, lo que nos dice que esto afectaría la química del proceso (ver tabla 4.5) y no habría una

buena transferencia de los iones cobre con los iones H^+ del orgánico. El TSF promedio para la etapa de extracción está en 61 segundos que está ligeramente por encima del límite inferior, pero en el transcurso de hacer el cambio de diluyente desde 100S1/0S2 a 0S1/100S2 se perdería Iones cobre que quedan en la solución de PLS y se irían como solución Raff.

Asimismo, en la etapa de re extracción para mezclas de 100S1/0S2 se tiene un valor de TSF de 59 segundos que está ligeramente por debajo rango de los 60 a 120 segundos, pero, así como en la etapa de extracción el TSF a medida que vamos cambiando las proporciones de los diluyentes también van disminuyendo al TSF y esto también afectaría a la química del proceso (ver tabla 4.5). El TSF promedio para la etapa de Re extracción está en 50,6 segundos que está por debajo del límite inferior, incluso en el transcurso de hacer el cambio de diluyente desde 100S1/0S2 a 0S1/100S2 los Iones cobre se quedarían en el orgánico y no habría una buena transferencia del orgánico al electrolito pobre.

Tabla 4.5: *Tiempos de separación de fases de extracción y re extracción*

Código	TSF (s)	
	Extracción	Re Extracción
100S1/0S2	68	59
75S1/25S2	58	48
50S1/50S2	55	46
25S1/75S2	59	45
0S1/100S2	65	55

Fuente: Elaboración propia

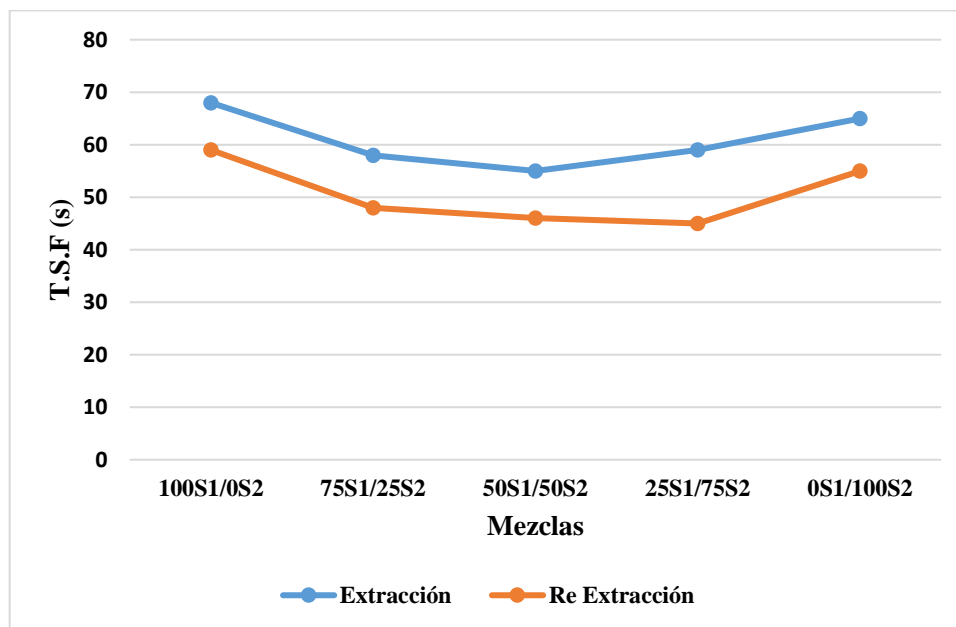


Figura 4.5: Tiempos de separación de fases a diferentes proporciones

Fuente: Elaboración propia

4.2.3 Tensiones Interfaciales (T.I.)

Las T.I. del orgánico nuevo como del contactado, presentan una relación inversamente proporcional al contenido de S2, lo que expresa pérdida de propiedades físicas a mayores contenidos de este solvente.

Las T.I. en promedio para orgánicos nuevos se encuentra en el valor de 20,4 Din/cm, y para orgánicos contactados se encuentra en el valor de 22,20 Din/cm. Valores bajos, quizá por falta de cationes producto de defecto de contactos, pero las tendencias evidencian un deterioro de la física del proceso. (ver figura 4.6 y 4.7).

Tabla 4.6: Tensión interfacial con orgánico nuevo y orgánico contactado

Código	T.I. (dinas/cm)			
	Orgánico nuevo		Orgánico contactado	
	PLS Sintético	PLS Planta	PLS Sintético	PLS Planta
100S1/0S2	21,1	20,9	24,0	21,7
75S1/25S2	20,9	20,6	21,9	22,6
50S1/50S2	20,6	20,9	22,4	23,3
25S1/75S2	20,3	20,1	21,9	21,5
0S1/100S2	19,8	19,1	21,7	21,1

Fuente: Elaboración propia

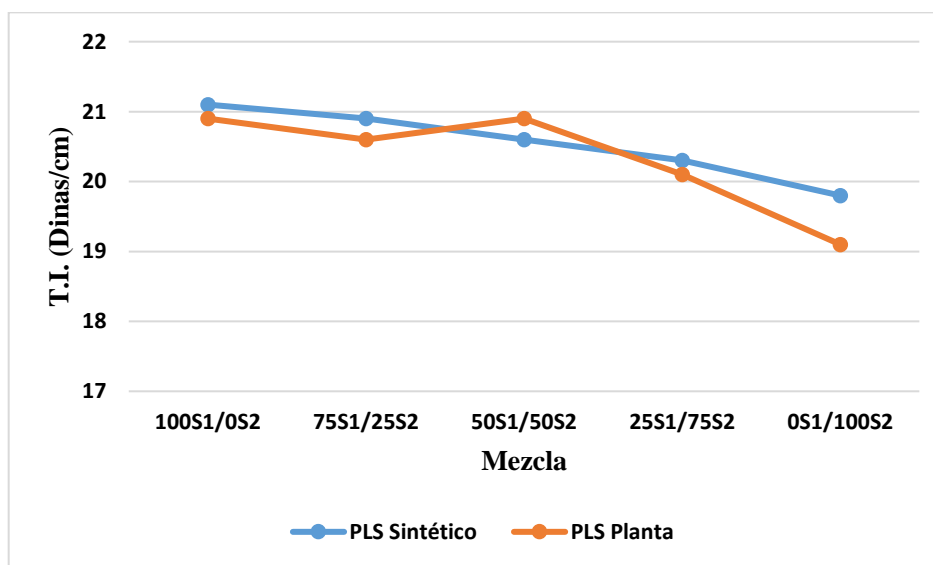


Figura 4.6: Comparación de las tensiones Interfaciales con orgánico nuevo respecto a PLS sintético y PLS de planta

Fuente: Elaboración propia

Como se aprecia en la figura 4.6 y en los resultados de la tabla 4.6, inicialmente para la mezcla de orgánico nuevo 100S1/0S2 con PLS sintético se obtuvo un valor de 21,1 y el mismo orgánico nuevo 100S1/0S2 con PLS planta se tiene un valor de 20,9, estos valores se encuentran por encima del valor promedio que es 20,4, pero como se aprecia en la figura 4.6 a medida que se van combinando los diluyentes estos valores van disminuyendo de valor, lo cual afectaría al proceso al proceso físico y por ende al proceso de extracción.

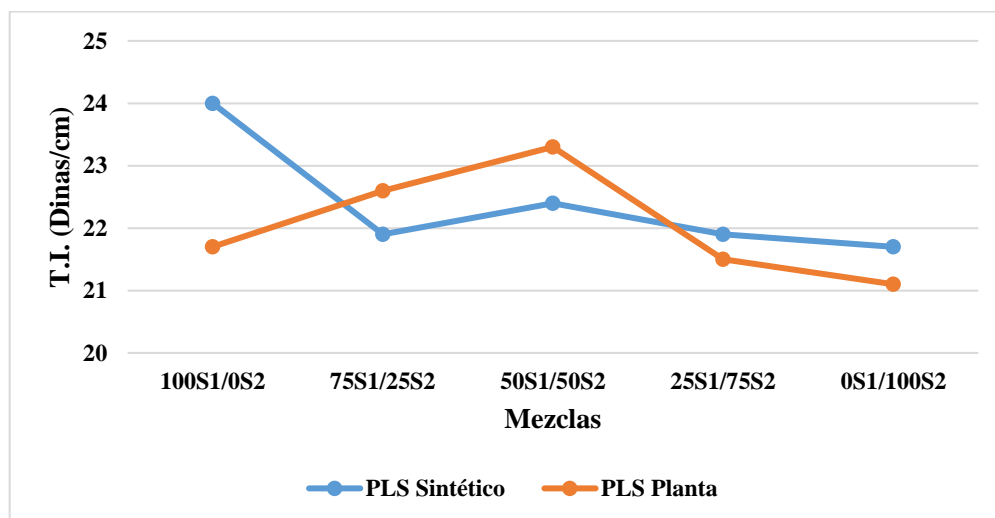


Figura 4.7: Comparación de las tensiones Interfaciales con orgánico contactado respecto a las PLS sintético y PLS de planta

Fuente: Elaboración propia

4.2.4 Viscosidades

Las viscosidades presentan una relación inversamente proporcional a medida que aumenta la proporción del S2 en el orgánico; las viscosidades tienen como promedio:

(1) Orgánicos nuevos está en 2,81 cp. (2) Orgánicos contactados está en 2,80 cp.

Considerando que la viscosidad operativa debe estar entre 3,0 y 3,5 cp, el S2 podría producir mayores tasas de evaporación, pero menores arrastres.

Se notó que no hay mucha diferencia entre los valores a 20°C y 25°C, lo que es operativamente es favorable. (ver figura 4.8 y 4.9).

Tabla 4.7: Viscosidades con orgánico nuevo y orgánico contactado a 20 y 25 °C

Código	Viscosidad (cp)			
	20 °C		25 °C	
	Orgánico Nuevo	Orgánico Contactado	Orgánico Nuevo	Orgánico Contactado
100S1/0S2	2,86	3,27	2,79	3,10
75S1/25S2	3,47	3,14	3,38	3,07
50S1/50S2	2,92	2,86	3,02	2,84
25S1/75S2	2,69	2,56	2,63	2,55
0S1/100S2	2,23	2,36	2,16	2,25

Fuente: Elaboración propia

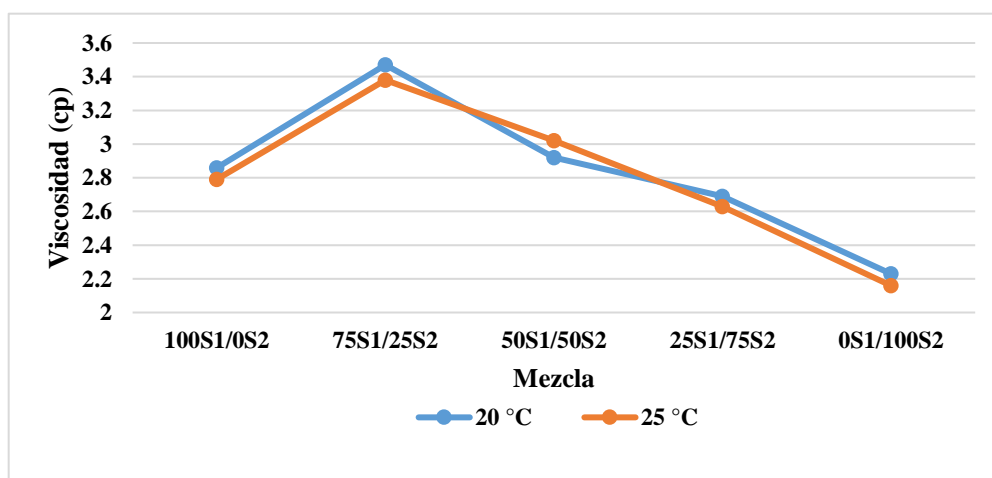


Figura 4.8: Comparación de la viscosidad con orgánico nuevo a 20 y 25 °C

Fuente: Elaboración propia

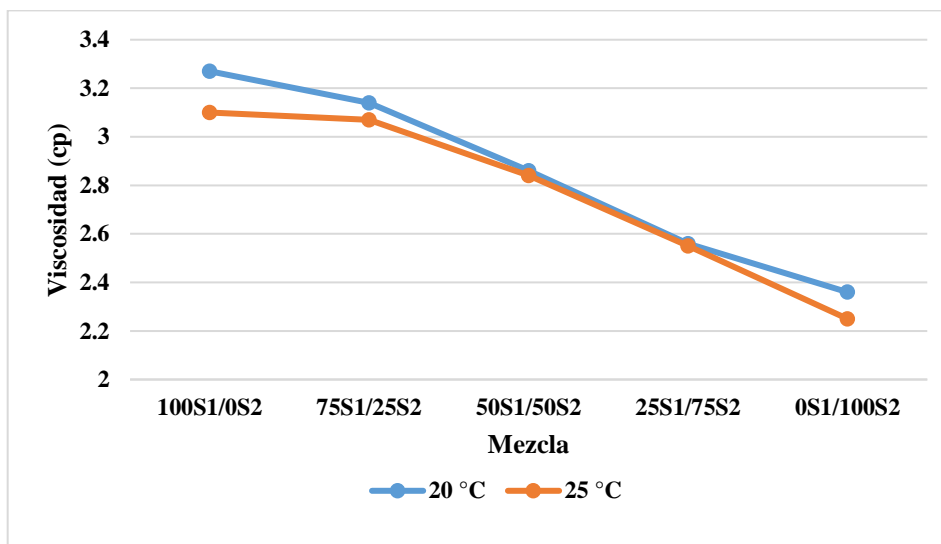


Figura 4.9: Comparación de la viscosidad con orgánico contactado a 20 y 25 °C

Fuente: Elaboración propia

4.3 Pruebas en planta piloto

Se ha operado la Planta Piloto con orgánicos con mezcla progresiva del S2, que sustituía paralelamente la fracción de S1 (Ver tabla 4.8).

Tabla 4.8: Proporción de mezclas de las soluciones

Prueba	Proporciones (%)	
	Solvente S1	Solvente S2
1	100	0
2	75	25
3	50	50
4	25	75
5	0	100

Fuente: Elaboración propia

4.4. Resumen de la data obtenida de todas las pruebas

4.4.1 Eficiencia de Extracción

La Eficiencia de extracción tiende a ser constante, y como promedio de todas las pruebas se llegó a 98,2% (ver figura 4.10)

Tabla 4.9: Promedio de la eficiencia de Extracción de las pruebas

Prueba	Código	Ef. Extracción
		%
1	100S1/0S2	97,3
5	75S1/25S2	98,7
4	50S1/50S2	98,2
3	25S1/75S2	98,5
2	0S1/100S2	98,3

Fuente: Elaboración propia

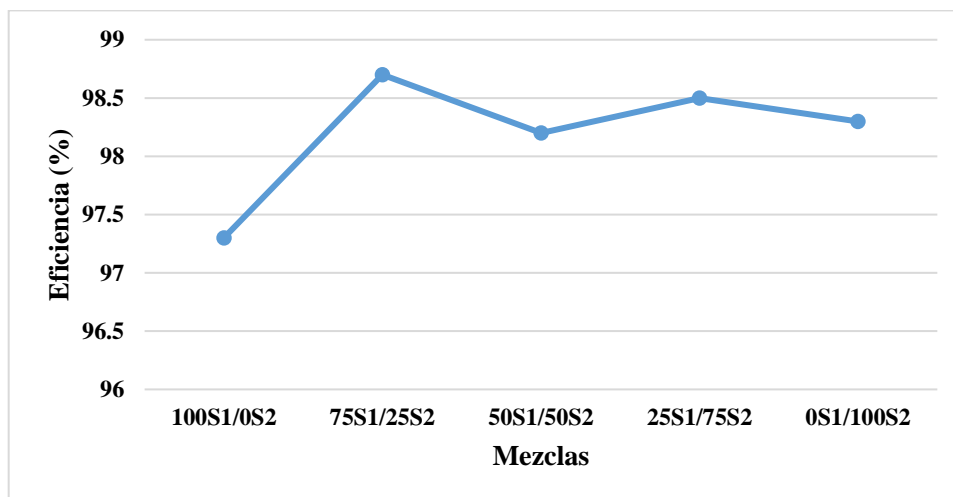


Figura 4.10: Curvas de la eficiencia de Extracción

Fuente: Elaboración propia

Como se logra apreciar en la tabla 4.9 y la figura 4.10, el valor de la eficiencia de extracción tuvo un ligero incremento de 97,3 % para el 100S1/0S2 y a medida que se realizaron las respectivas mezclas en determinadas proporciones se va incrementando y tiene un valor de 98,3 % para 0S1/100S2 lo cual nos hace indicar que hay una mejora en la eficiencia de extracción.

4.4.2 Eficiencia de Re Extracción

La Eficiencia de re extracción tiende a ser constante, y como promedio de todas las pruebas se alcanzó un 60% (ver figura 4.11)

Tabla 4.10: *Promedio de la Eficiencia De Re Extracción de las pruebas*

Prueba	Código	Eficiencia de Re Extracción
		%
1	100S1/0S2	59,2
5	75S1/25S2	58,1
4	50S1/50S2	61,2
3	25S1/75S2	60,0
2	0S1/100S2	60,3

Fuente: Elaboración propia

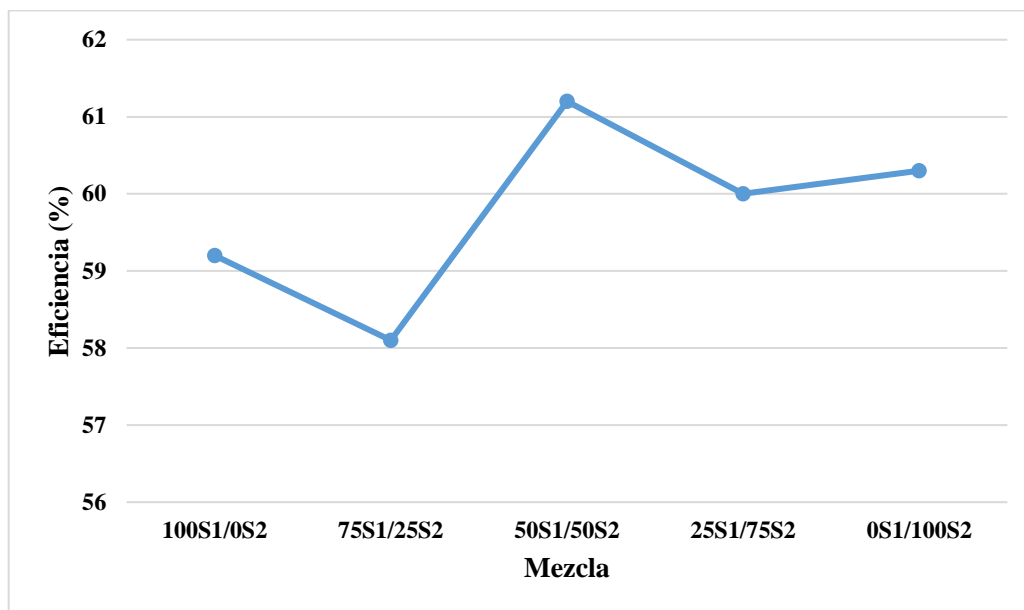


Figura 4.11: Curvas de la eficiencia de Re Extracción

Fuente: Elaboración propia

En esta etapa de eficiencia de Re extracción también se logró apreciar un ligero incremento en la eficiencia ya que inicialmente se partió con 59,2% para 1S100/0S2 y a medida que se van haciendo las combinaciones en las respectivas proporciones se fue incrementando el valor hasta llegar a una eficiencia de 60,3 % para el 0S1/100S2, esto nos muestra una mejora en la Re extracción del cobre.

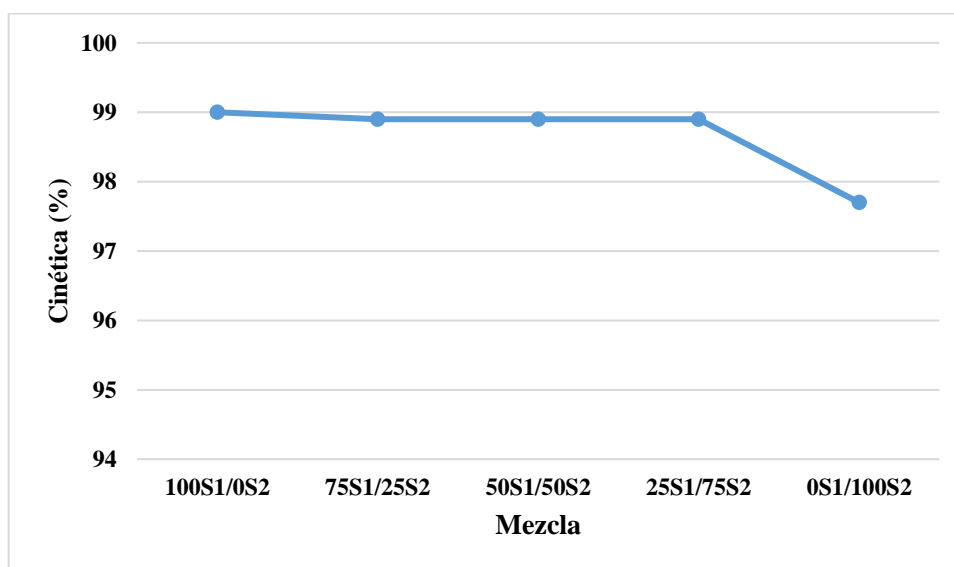
4.4.3 Cinética Extracción

La Cinética de extracción tendió a ser constante, y como gran promedio está en 98,7% (ver figura4.12).

Tabla 4.11: Promedio de la cinética de Extracción de las pruebas

Prueba	Código	Cinética Extracción
		%
1	100S1/0S2	99,0
5	75S1/25S2	98,9
4	50S1/50S2	98,9
3	25S1/75S2	98,9
2	0S1/100S2	97,7

Fuente: Elaboración propia

**Figura 4.12:** Curvas de la cinética de extracción

Fuente: Elaboración propia

La cinética de extracción durante todo el proceso de combinaciones de los diluyentes, partiendo de 100S1/0S2, en el cual tiene un valor de 99,0%, la tendencia es

a mantener una curva constante hasta la combinación de 25S1/75S2, que tiene un valor de 98,9, esto indicó que durante el cambio progresivo de los reactivos la cinética no es significativa.

Pero cuando se continua con la combinación progresiva de los reactivos de 25S1/75S2, que tiene un valor de 98.9% de cinética, hasta la combinación 0S1/100S2, que tiene un valor de 97,7% de cinética, mostró una baja en la cinética de extracción, esto sería perjudicial ya que una disminución en la eficiencia sería un factor negativo para el proceso de extracción.

4.4.4 Cinética de Re Extracción

La Cinética de re extracción tiene una relación directamente proporcional al contenido de S2 y como promedio se obtuvo 87,72 % (ver figura4.13).

Tabla 4.12: Promedio de la cinética de Re Extracción de las pruebas

Prueba	Código	Cinética Re Extracción
		%
1	100S1/0S2	84,2
5	75S1/25S2	85,7
4	50S1/50S2	90,9
3	25S1/75S2	88,9
2	0S1/100S2	88,9

Fuente: Elaboración propia

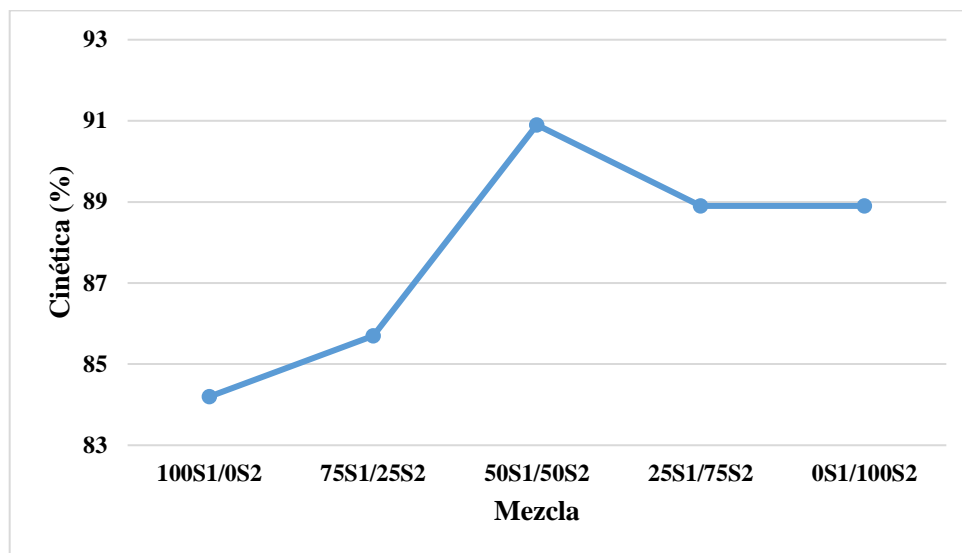


Figura 4.13: Curvas de la cinética de Re Extracción

Fuente: Elaboración propia

En la etapa de cinética de Re extracción se logró apreciar un incremento en la cinética partiendo desde 100S1/0S2 que obtuvo un valor de 84.2%, llegando a incrementar su valor a medida que se van realizando las combinaciones de los diluyentes, hasta llegar a 0S1/100S2, se obtuvo un valor de 88.9% de cinética, estos resultados de la cinética de Re extracción es un factor positivo ya que al terminar de hacer el cambio del reactivo aumentaría la cinética.

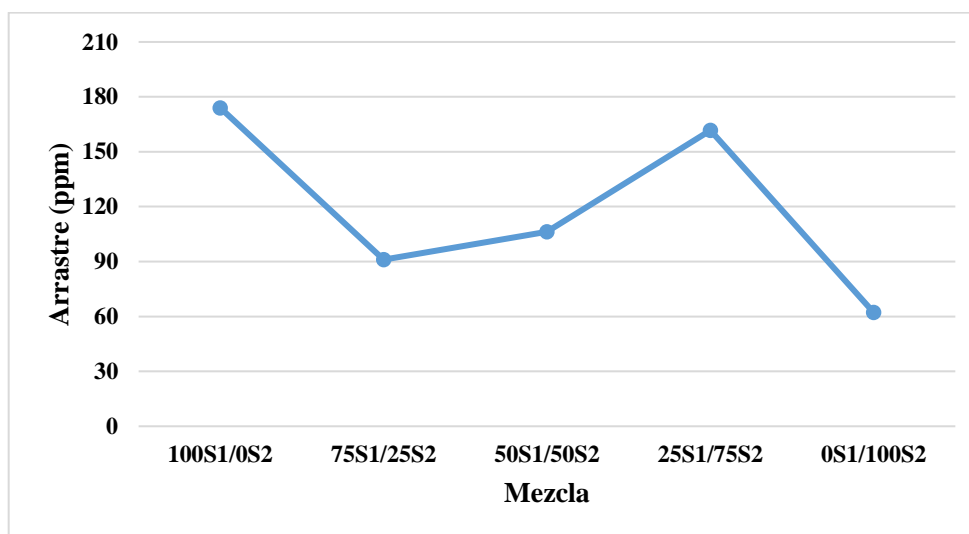
4.4.5 Arrastre de Acuoso en el Orgánico Cargado

El arrastre de acuoso en el orgánico cargado, es inversamente proporcional al contenido de S2, considerando que la tasa de formación de lodo fue directamente proporcional, el arrastre siempre fue menor en un 64% comparando solventes puros. (ver figura 4.14 y figura 4.21).

Tabla 4.13: Promedio del arrastre acuoso en el OC Metalurgia

Prueba	Código	Arrastre Acuoso OC Metalurgia
		ppm
1	100S1/0S2	174,0
5	75S1/25S2	91,1
4	50S1/50S2	106,3
3	25S1/75S2	161,7
2	0S1/100S2	62,2

Fuente: Elaboración propia

**Figura 4.14:** Curvas del arrastre de acuoso en el OC

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.14 se logra apreciar una disminución en el arrastre de acuoso en el orgánico partiendo de 100S1/0S2 el cual tiene un valor de 174.0 ppm, y a medida que se hacen las combinaciones hasta la combinación de 0S1/100S2 el cual tiene un valor

de 62.2 ppm, esto se ve favorable para el proceso de extracción ya que al disminuir el arrastre de acuoso en el orgánico cargado mejora la calidad del orgánico.

4.4.6 Arrastre de orgánico en el Raff

El Arrastre de orgánico en el Raff, presenta el comportamiento clásico del periodo de transición cuando se mezclan 02 solventes (de S1 a S2); cuando empiezan a mezclarse el arrastre aumenta, pero finalmente cuando se renueva todo el solvente, en este caso a S2, el arrastre baja de nuevo, comparando solventes puros el S2 arrastre un 22% más. (ver figura 4.15 además figura 4.21).

Tabla 4.14: Promedio del arrastre de orgánico en el Raff

Prueba	Solvente 2	Arrastre Org. Raff (met)
	%	ppm
1	0S2	42,7
5	25S2	56,2
4	50S2	58,7
3	75S2	58,2
2	100S2	52,3

Fuente: Elaboración propia

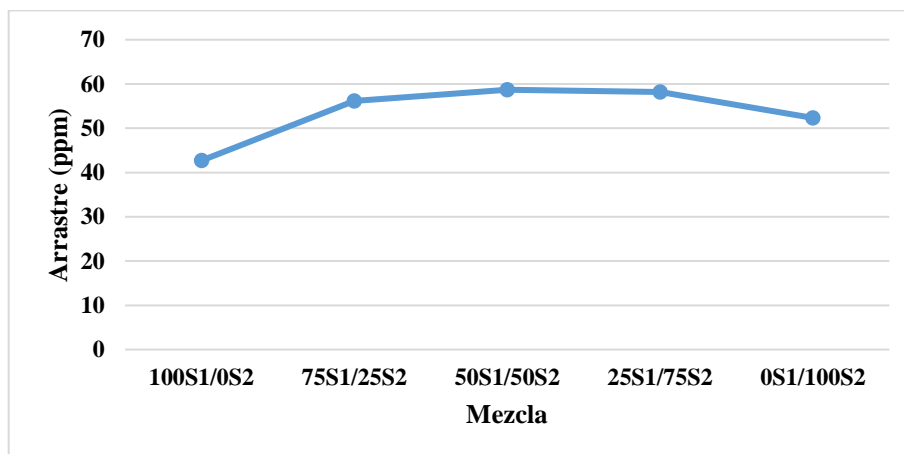


Figura 4.15: Curva de arrastre de orgánico en el Raff

Fuente: Elaboración propia

4.4.7 Arrastre de orgánico en el Electrolito rico

El Arrastre de orgánico en el Electrolito cargado, presenta una tendencia directamente proporcional al contenido de S2 en el Orgánico, comparando solventes puros el S2 arrastra 69 % más, por otro lado, las T.S.F. en la R1 lo corrobora (ver figura 4.16 además figura 4.19).

Tabla 4.15: Promedio del arrastre de orgánico en el Electrolito rico

Prueba	Código	Arrastre Org. Electrolito rico
		ppm
1	100S1/0S2	23,2
5	75S1/25S2	22,2
4	50S1/50S2	18,4
3	25S1/75S2	26,4
2	0S1/100S2	36,8

Fuente: Elaboración propia

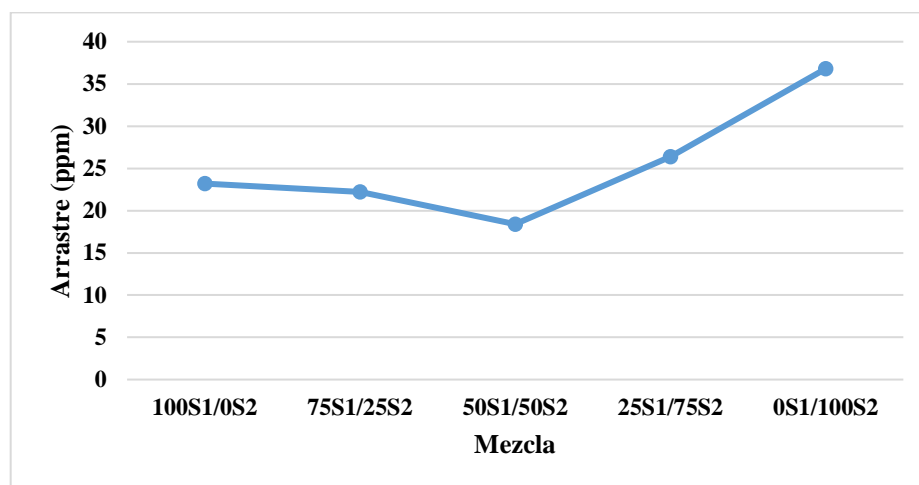


Figura 4.16: Curva de arrastre de orgánico en el Electrolito Rico

Fuente: Elaboración propia

4.4.8 Tiempo de Separación de Fases Extracción

El tiempo de separación de fases en la E1, presenta el típico comportamiento visto ya en el punto 4.4.6, lo que genera la curva tipo campana en los arrastres de orgánico en Raff, los tiempos obtenidos se encuentran dentro del rango 60 a 120 segundos, lo que es bueno. (ver figuras 4.17 y 4.18)

Tabla 4.16: Promedio del tiempo de separación de fases de E1 y E2

Prueba	Código	T.S.F (s)	
		E1	E2
1	100S1/0S2	73,5	90,5
5	75S1/25S2	80,2	91,7
4	50S1/50S2	80,3	917
3	25S1/75S2	69,5	82,3
2	0S1/100S2	66,7	77,5

Fuente: Elaboración propia

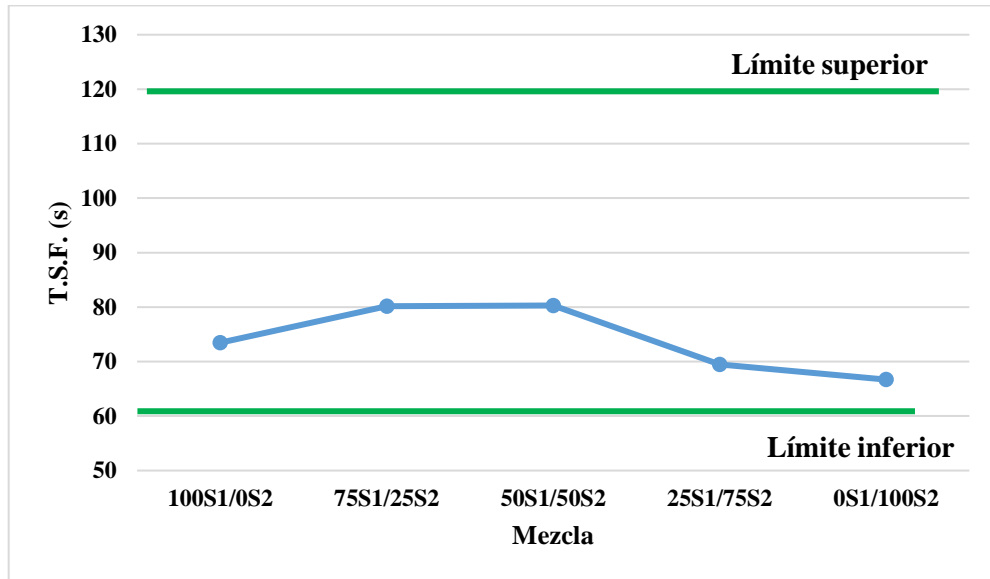


Figura 4.17: Curva de tiempo de separación de fases E1

Fuente: Elaboración propia

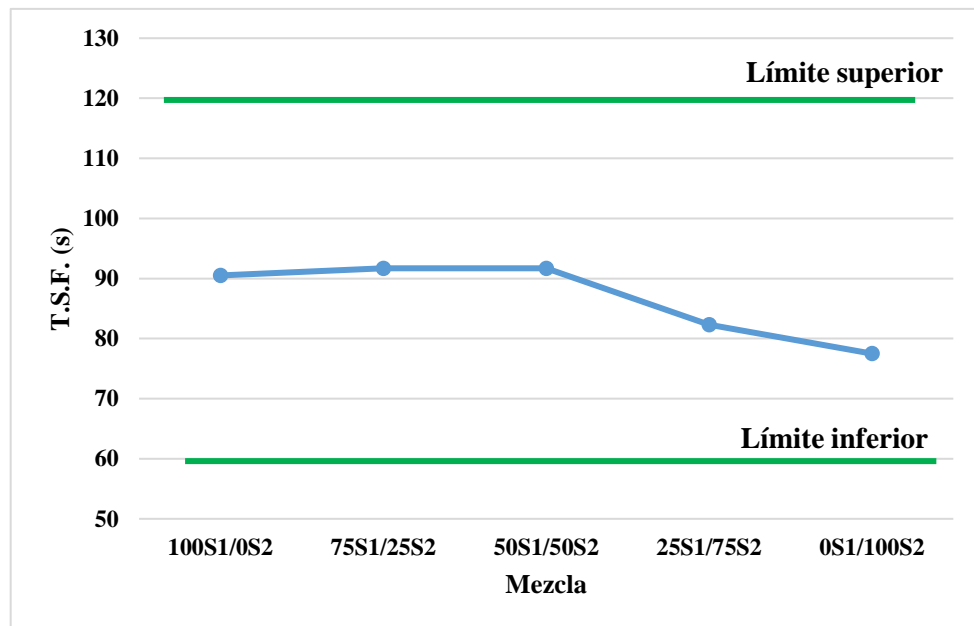


Figura 4.18: Curva de tiempo de separación de fases E2

Fuente: Elaboración propia

4.4.9 Tiempo de Separación de Fases Re Extracción

El tiempo de separación de fases es directamente proporcional al contenido de escaid-110 en el orgánico; los tiempos en la R2, se encontraron dentro del rango 60 a 120 segundos, pero los tiempos de la R1 con S2 se ubicaron por encima del rango, lo que podría ser pernicioso por generar mayores arrastres de orgánico en el LS, que se vio en el punto 4.4.7 (ver figura 4.19 y figura 4.20).

Tabla 4.17: Promedio del tiempo de separación de fases de R2 y R1

Prueba	Código	T.S.F (s)	
		R1	R2
1	100S1/0S2	104,0	85,9
5	75S1/25S2	130,2	96,3
4	50S1/50S2	130,2	96,3
3	25S1/75S2	113,1	81,8
2	0S1/100S2	127,3	104,3

Fuente: Elaboración propia

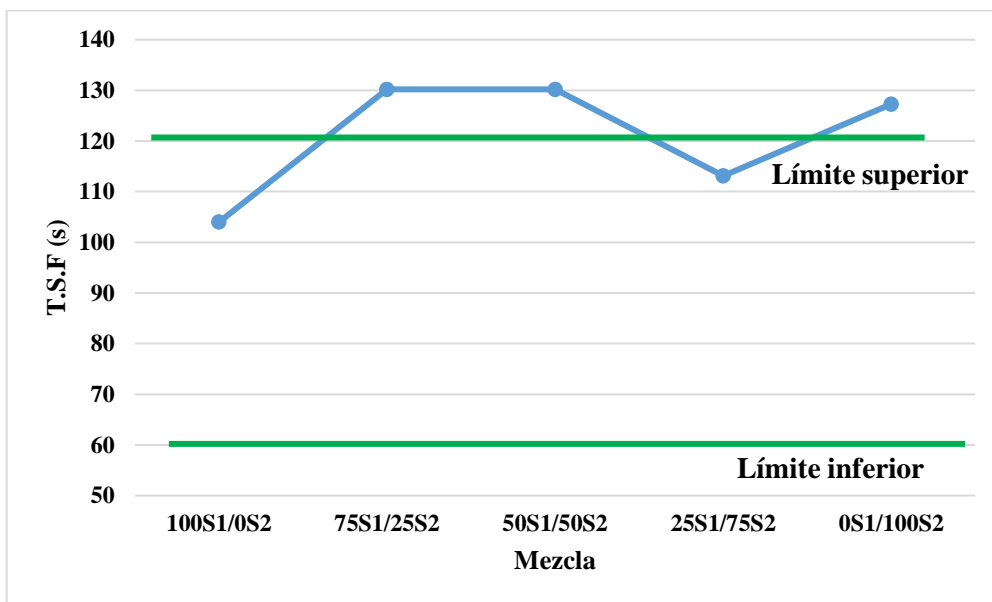


Figura 4.19: Curva de tiempo de separación de fases R1

Fuente: Elaboración propia

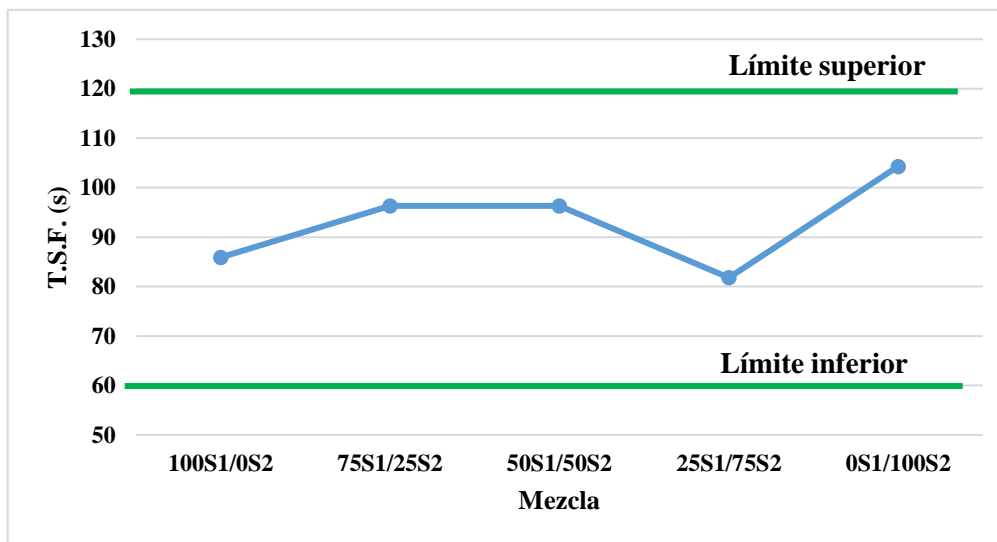


Figura 4.20: Curva de tiempo de separación de fases R2

Fuente: Elaboración propia

4.4.10 Formación de Lodo

El lodo formado se debe principalmente al aumento de sólidos en el PLS, al comparar solventes puros, el incremento de sólidos fue del 30%, y el incremento en la tasa de formación de lodo fue de 39%; entonces existe un efecto negativo del 9% quizá por el cambio de solvente a S2 (Ver figuras 4.21 y 4.22).

Tabla 4.18: Tasa de formación de lodo de las pruebas

Prueba	Código	lodo	
		L/m ³	S.S.
1	100S1/0S2	0,046	25,2
5	75S1/25S2	0,073	39,1
4	50S1/50S2	0,045	34,7
3	25S1/75S2	0,071	38,7
2	0S1/100S2	0,063	32,2

Fuente: Elaboración propia

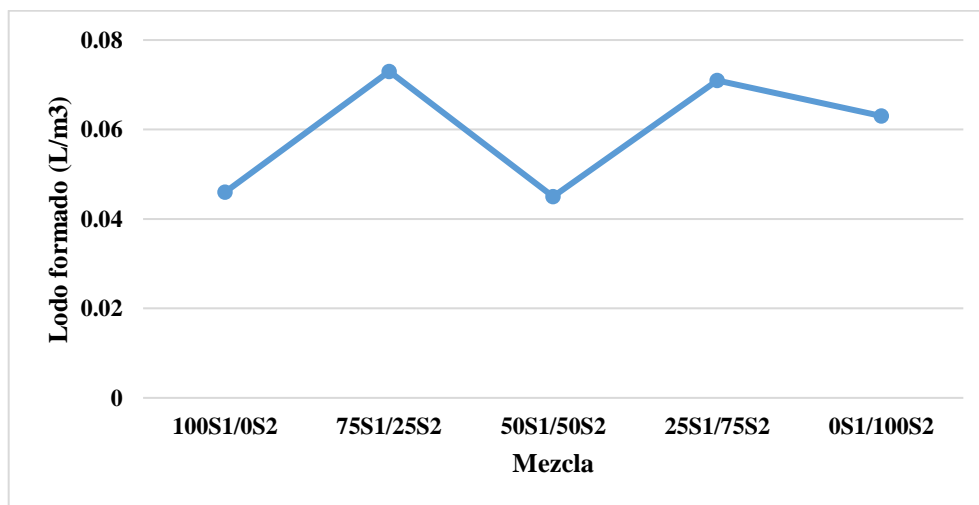


Figura 4.21: Curva de formación de lodo de las pruebas

Fuente: Elaboración propia

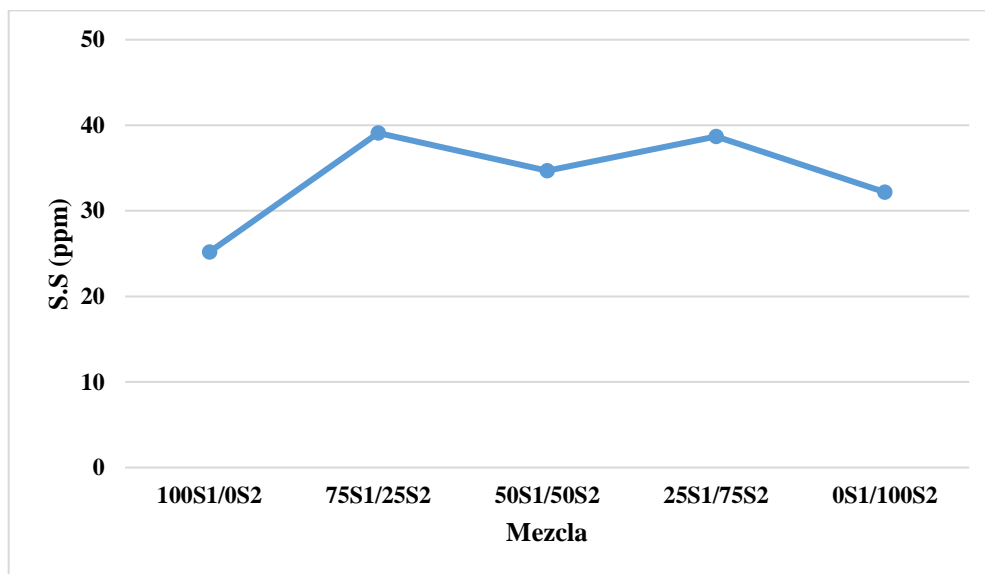


Figura 4.22: Curva de sólidos en suspensión de las pruebas

Fuente: Elaboración propia

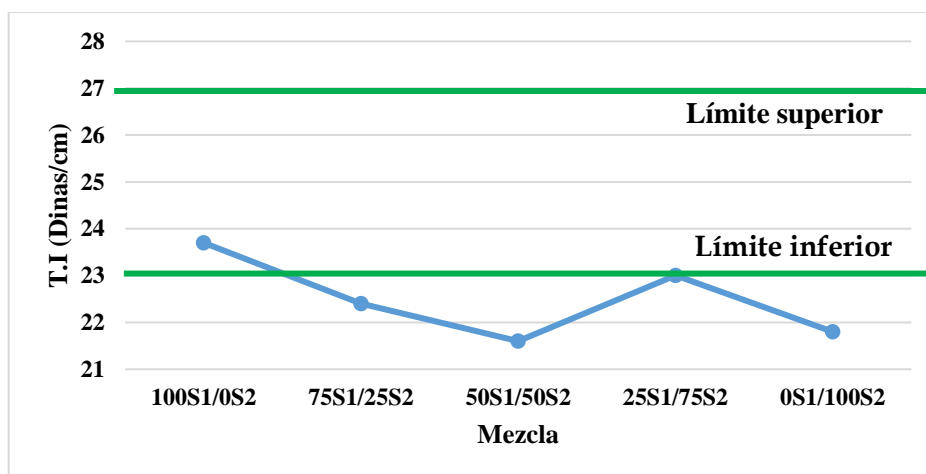
4.4.11 Tensiones Interfaciales del Orgánico Cargado

Las Tensiones Interfaciales presentan una relación inversamente proporcional al contenido de S2, cuando existe presencia S2 en el orgánico las tensiones interfaciales, caen por debajo del límite mínimo permisible, lo que se traduce en potenciales mayores arrastres (ver figura 4.23).

Tabla 4.19: Promedio de las tensiones Interfaciales de las pruebas

Prueba	Código	T.I.
		Dinas/cm
1	100S1/0S2	23,7
5	75S1/25S2	22,4
4	50S1/50S2	21,6
3	25S1/75S2	23,0
2	0S1/100S2	21,8

Fuente: Elaboración propia

**Figura 4.23:** Curva promedio de las tensiones Interfaciales

Fuente: Elaboración propia

4.4.12 Viscosidades del Orgánico Cargado

La viscosidad del orgánico cargado tiene una relación inversamente proporcional al contenido de S2, cuando existe presencia S2 en el orgánico las viscosidades caen por

debajo del límite mínimo permisible, lo que podría generar mayores evaporaciones del reactivo. (ver figura 4.24).

Tabla 4.20: Promedio de las viscosidades de las pruebas

Prueba	Código	Viscosidad
		cp
1	100S1/0S2	3,3
5	75S1/25S2	2,6
4	50S1/50S2	2,4
3	25S1/75S2	2,4
2	0S1/100S2	2,2

Fuente: Elaboración propia

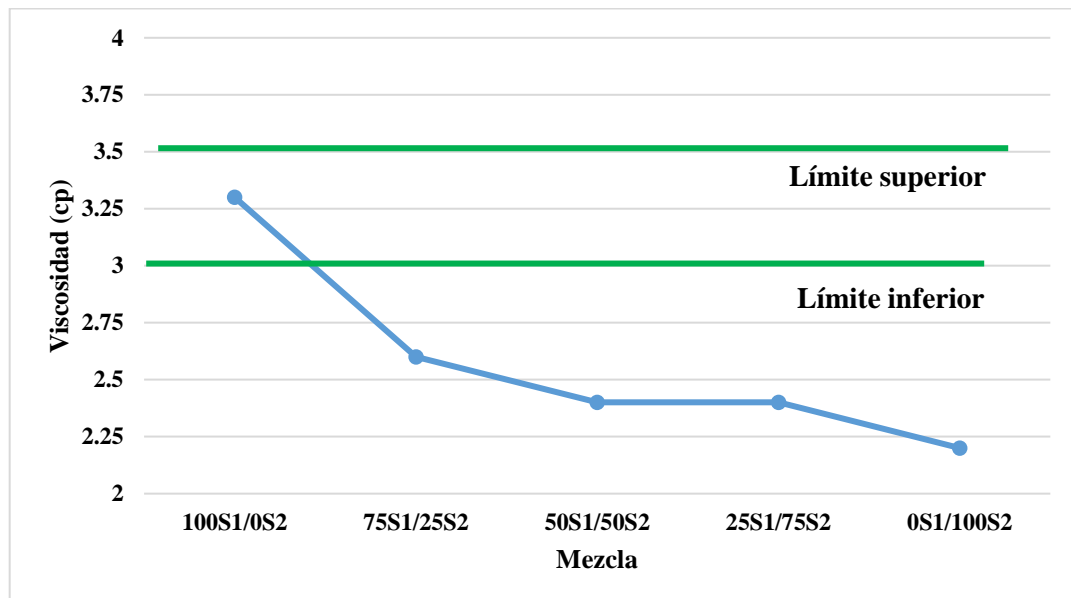


Figura 4.24: Curva promedio de las viscosidades

Fuente: Elaboración propia

4.5 Discusión de resultados

1. Durante el desarrollo de las pruebas que se realizó en la planta piloto, el S2 no afectó la parte química del proceso de Extracción por Solventes, como se vio durante la prueba para determinar la eficiencia de extracción, así como la eficiencia de Re extracción. Los resultados obtenidos son prácticamente constantes durante todo el proceso de cambio del S1 al S2. Así mismo esto se logra apreciar mejor en las figuras de Extracción y las de Re extracción, las cuales presentan curvas casi horizontales.
2. La Cinética de Extracción, así como la de Re Extracción del proceso de extracción por solventes, no se afectó durante el proceso de las pruebas en la planta piloto. En el caso de la cinética de extracción los resultados obtenidos en la prueba, así como su respectiva gráfica, nos muestran una tendencia a permanecer constante durante todo el proceso de sustitución de un reactivo a otro. Para el caso de la cinética de Re Extracción, esta presenta una tendencia a mejorar la cinética ya que el valor con la que se inicia la prueba 100S1/0S2 es menor a cuando se lograría reemplazar todo el orgánico 0S1/100S2.
3. Se tomó en cuenta los arrastres de acuoso y de orgánico que estos presentan a la hora de realizar las mezclas. El arrastre de acuoso en el orgánico cargado llega a disminuir a medida que el S2 se va incrementando como se ve en los resultados de las pruebas obtenidas y esto es favorable para el proceso, ya que

disminuye la presencia de acuoso en el orgánico cargado que va a la siguiente etapa de SX.

4. Asimismo, el arrastre de orgánico en el Raff y el arrastre de orgánico en el electrolito rico presentaron un comportamiento directamente proporcional al contenido en S2. Esto representa un aumento en el arrastre de orgánico cuando se renueva todo el solvente. Este aumento en el arrastre es perjudicial, ya que, en el primer caso al haber un arrastre de orgánico en el Raff, el orgánico se estaría desperdiciando y esto provocaría una mayor reposición del orgánico. En el segundo caso de arrastre de orgánico en el Electrolito rico, este orgánico sería arrastrado por el Electrolito hacia las celdas de electroposición de cobre y por ende afectaría en la calidad del cobre.
5. El tiempo de separación de fase de la etapa de Extracción, así como la etapa de Re Extracción es directamente proporcional al contenido de S2 en el orgánico y tienen cierto grado de variación. En la etapa de extracción se obtuvo una ligera disminución en el tiempo de separación como se logra apreciar la figura 43 y 44 pero están dentro de los parámetros del rango entre 60 a 120 segundos y no presentarían problema. Caso contrario es en la etapa de Re Extracción que hay un incremento de tiempo en la separación de fases al aumentarla, este tiempo también debe estar en el rango de 60 a 120 segundos, pero en la etapa de R1 hubo un aumento de este tiempo de separación incluso están fuera del rango de operación y esto representa un problema ya que no tendría el tiempo

necesario para la separación acuoso/orgánico y pasar a la siguiente etapa del proceso.

6. La formación de lodo también es otro factor a tomar en cuenta. Como se ve en la figura 47, hubo un ligero incremento en la formación de lodo del 9% y este aumento en la formación de lodo afectaría al proceso de extracción.
7. El S2, si afecta a las propiedades físicas del proceso provocando mayores arrastres y mayores evaporaciones del reactivo orgánico, corroborado sobre todo por trazadores como las Tensiones Interfaciales que son inversamente proporcionales, y una viscosidad también inversamente proporcional. Como se muestra en las figuras 49 y 50 las gráficas están por debajo del límite inferior donde trabajan las Tensiones Interfaciales y Viscosidad.

CONCLUSIONES

- El S2 no afecto la parte química del proceso de extracción por solventes como en el caso de la etapa de extracción, la etapa de re extracción y la cinética de extracción.
- El S2 si afecto la parte física del proceso, provocando mayores arrastres de orgánico en Raff y en el electrolito rico. Así mismo, en el tiempo de separación de fases de la etapa de re extracción.
- Según los resultados obtenidos en el laboratorio, la evaporación del solvente puro S2 se incrementó en un 2% con lo cual se elevaría el consumo de este reactivo y por ende la preparación del orgánico, así como su reposición.
- A medida que el S2 se va mezclando con el S1, se va teniendo mayores evaporaciones, lo que también ocasionaría un incremento del consumo del reactivo S2, lo cual no sería muy beneficioso.
- De acuerdo a todos los datos obtenidos durante todo el proceso de las pruebas realizadas en el laboratorio, así como en la planta piloto, el posible cambio de solventes del S1 por el S2, NO sería muy conveniente de realizar porque generaría muchos problemas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alfaro, R (2011). *Teoría de curso: termodinámica aplicada*. Universidad de Antofagasta. Chile.
- Alguasil. F. (1998). La recuperación de cobre mediante lixiviación-extracción con disolventes electrolisis: hacia el siglo XXI. *Consejo Superior de Investigaciones Científicas*. Revista de Metalurgia, 34(6), p. 499-506. España.
- BASF Corporation. 2013. *Technical Information, LIX 984*. Tucson. Arizona. USA.
- Beroíza, L (2013). *Levantamiento de proceso en áreas de extracción por solventes y electro-obtención en compañía minera cerro colorado*. Tesis de grado. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Valparaíso. Chile.
- Castillo, J., (2012). *Separación de fases en sistema líquido/líquido para extracción por solventes de cobre*. Facultad de Ingeniería. Universidad Santiago de Chile. Santiago de Chile. Chile.
- Chevron Phillips, Mining Chemical (2021). Ficha de datos de seguridad, Orfom® SX 80 Solvent Extraction Diluent
- Cognis Corporation. (2001). MCT. Red book:” *The Chemistry of Metals recovery Using LIX Reagents*”. Tucson. Arizona USA
- Consejo de competencias mineras (CCM). (2017). *Marco de cualificaciones para la minería*. Procesamiento de cobre, oro y plata. Santiago de Chile. Chile.
- Domic, E., (2001). *Hidrometalurgia: fundamento, procesos y aplicaciones*. Santiago de Chile. Chile. Cap. 14, p. (444 - 521)
- Durand, J. (2014). *Optimización en la etapa de extracción por solvente en base al tipo de diluyente en el orgánico, en una unidad minera*. Tesis de grado. Facultad de Ingeniería. Ingeniería Metalúrgica. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. Tacna. Perú.
- Exxo móvil, Shell Product (2017). Cargo Handling Sheet, Escaid 110 Fluid
- Hernández, M. (2007). *Control de hierro en el circuito de extracción por solventes para la Sociedad contractual Minera El Abra*. Tesis de grado. Facultad de ciencias Físicas y Matemáticas. Departamento de Ingeniería de minas. Universidad de Chile. Chile.

Lauda (2010), Lauda tensiómetro TD3, *Lauda-Königshofen, Alemania*.

López, J., (2012). *Modelo para correlacionar la tensión superficial de mezclas líquidas binarias no electrolíticas*, Tesis de grado en Doctor en ciencias de Ingeniería Química. Departamento de Ingeniería Química, Instituto tecnológico de Celaya. Mexico. Recuperado de <http://www.iqcelaya.itc.mx/~richart/TesisDoctorado/2012%20L%C3%B3pez%20L%C3%A1zaro.pdf>

Mamani, H. (2012); *El efecto de las propiedades físicas en el proceso de separación de fases en la extracción por solventes de cobre*. Tesis de grado. Facultad de Ingeniería Geológica Minera y Metalúrgica. Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica. Universidad Nacional de Ingeniería. Perú.

Navarro, P.; Vargas, C.; y Ramírez, C. (2015) *Efecto de las impurezas en las propiedades físico-químicas de una solución de lixiviación de minerales de cobre*. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Colombia.

Navarro, P.; Vargas, C.; y Valladares, S. (2009) *Estabilidad química de reactivos de extracción por solventes de cobre del tipo hidroxioxima bajo diferentes condiciones operacionales*, Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Perú.

Seguel, J., (2018). *Efecto de agua de mar y cloruro de sodio en la extracción por solventes de cobre utilizando el reactivo Acorga M5910*. Tesis de grado. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Metalúrgica. Universidad de Concepción. Chile.

Simpson, J., (2006). *Curso de capacitación “Operación de plantas de extracción por solventes”*. Departamento de Ingeniería Química. Universidad Santiago de Chile. Chile.

Soto, J. y Solís, A. (2012). *Caracterización y optimización de parámetros de SX/EW para la obtención de cobre electrolito a nivel laboratorio*. Tesis de grado. Facultad de Ingeniería Geológica. Minera, Metalúrgica y Geografía. Escuela de Ingeniería Metalúrgica. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima. Perú.

Sulla, .M (2013). *Estudio de la planta de óxidos xstrata tintaya S.A. para optimizar la planta de extracción por solventes*. Tesis de grado. Universidad Nacional de San Agustín. Arequipa. Perú.

ANEXOS

ANEXO 1

Matriz de consistencia

“EVALUACION DEL SOLVENTE S2 CON RESPECTO AL SOLVENTE S1 EN UNA PLANTA PILOTO”

Problema	Objetivo general / específicos	Hipótesis general/específicas	Variables	Indicadores	Técnicas e instrumentos de recolección de datos
¿Como influye en las propiedades fisicoquímicas el reemplazo del solvente S1 por el S2 en las etapas de extracción y re extracción de una planta de extracción por solventes (SX)?	<p>General Evaluar el solvente S2 (kerosene, C₁₂H₂₆-C₁₅H₃₂) de tipo hidrocarburo alifático, con el propósito de reemplazar el actual solvente S1 (Hidrocarburos C13-C16)</p> <p>Específicos <ul style="list-style-type: none"> . Comparar la performance del solvente S2 vs S1, tomando como parámetro de comparación las principales variables trazadoras de pérdida de orgánico. . Comparar el efecto de la evaporación del solvente S2 vs S1 en diferentes proporciones (100/0, 75/25, 50/50, 25/75, 0/100) . Evaluar las propiedades físico-químicas de proceso con el nuevo solvente </p>	<p>General La sustitución del solvente S1 (Hidrocarburos C₁₃-C₁₆) por el solvente S2 (kerosene, C₁₂H₂₆-C₁₅H₃₂) de tipo hidrocarburo alifático no afecta el proceso de extracción por solventes</p> <p>Específicas <ul style="list-style-type: none"> . Tomando en cuenta la performance de las mezclas de los solventes S1 y S2, no generan perdida de orgánico en comparación al solvente S1. . Las mezclas de los solventes S1 y S2 en diferentes proporciones no generan mayores evaporaciones en comparación al solvente S1. . El reemplazo del solvente S1 por S2 no afecta el proceso de extracción por solventes, y se justifica con el estudio las propiedades físico-químicas involucradas. </p>	<p>Independiente Evaluación del solvente S2 (C₁₂H₂₆-C₁₅H₃₂) para reemplazar el solvente S1 (Hidrocarburos C13-C16)</p> <p>Dependiente Efecto en las propiedades fisicoquímicas en las etapas de extracción y re extracción en una planta de extracción por solventes</p>	<p>Uso de PLS sintético a nivel batch, con: <ul style="list-style-type: none"> . Concentración de cobre de 4,5 g/l, más CuSO₄.5H₂O, concentración de hierro de 5,0 g/l, más Fe₂(SO₄)₃ hidratado y pH de 1,6 a 1,8 con H₂SO₄ </p>	<p>Reportes de: <ul style="list-style-type: none"> . Evaporación de solventes 100% puros . Evaporación - Solventes puros y orgánicos con mezcla de solventes Pruebas de contactos de orgánico nuevo/PLS planta </p>

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 2

PRUEBA DE CONTACTO CON ORGÁNICOS

Procedimiento de trabajo

1. Para la manipulación de las soluciones, utilizar guantes de nitrilo o PVC, lentes de seguridad, tapones de oído y mantener el extractor de gases/ vapores encendidos.
2. En un vaso de precipitados de 2000 ml agregar 400 ml de orgánico de planta, colocar el agitador con el impeler en el centro del vaso, a unos 02 centímetros del fondo. Verificar que el agitador esté bien sujetado.
3. Colocar el cronómetro en cero, prender el agitador a 1750 rpm, agregar al centro del vórtice 400 ml de acuoso de prueba. Inmediatamente prender el cronómetro, agitar la mezcla por 5 minutos.
4. Al termino de ese tiempo apagar el agitador y retirarlo del vaso. Desde que se apaga el agitador empieza a medirse el T.S.F.; éste se define cuando una mono capa de burbujas quedan en la interface. Se anota éste en un formato de registro de datos.
5. Posteriormente se echa esta mezcla en una pera de decantación de 1000 ml, dejar separar las fases, si se ha realizado el # de contactos requerido en el día extrae por la parte superior 50 ml de orgánico para medir la T.I., se de acuoso, y se recupera el orgánico en el frasco respectivo correctamente rotulado.
6. Si no se ha conseguido el número de contactos deseado, se repite el paso 2 y 3, hasta completar los contactos del diseño de pruebas.

7. Posteriormente todos los orgánicos contactados en el paso 5 se contactarán con solución stripp, se vierte 400 ml de orgánico en un vaso de precipitado de 2000 ml, colocar el agitador con el impeler en el centro del vaso, a unos 02 centímetros del fondo. Verificar que el agitador esté bien sujetado.
8. Colocar el cronómetro en cero, prender el agitador a 1750 rpm, agregar al centro del vórtice 400 ml de stripp. Inmediatamente prender el cronómetro, agitar la mezcla por 5 minutos
9. Colocar el cronómetro en cero, prender el agitador a 1750 rpm, agregar al centro del vértice 400 ml de acuoso de prueba. Inmediatamente prender el cronómetro, agitar la mezcla por 5 minutos.
10. Posteriormente se echa esta mezcla en una pera de decantación de 1000 ml, dejar separar las fases, se extrae por la parte superior todo el orgánico descargado posible, evitando arrastrar acuoso, para lo cual darle unos 5 min de decantación en peras, el acuoso se descarta; posteriormente se filtra este orgánico descargado haciéndolo pasar por el papel filtro Watman 1PS, el orgánico descargado filtrado se vierte en un vaso de precipitado de 2000 ml agregar 400 ml de PLS, con agitador con el impeler en el centro del vaso, a unos 02 centímetros del fondo. Verificar que el agitador esté bien sujetado.
11. Colocar el cronómetro en cero, prender el agitador a 1750 rpm, agregar al centro del vértice 400 ml de acuoso de prueba. Inmediatamente prender el cronómetro, agitar la mezcla por 5 minutos.
12. Al termino de ese tiempo apagar el agitador y retirarlo del vaso de precipitado.

- 13.** Posteriormente se echa esta mezcla en una pera de decantación de 1000 ml, dejar separar las fases, se extrae por la parte superior todo el orgánico sin arrastrar acuoso, y se lo coloca en una botella correctamente rotulada para cinética de extracción/re Extracción; al acuoso se lo recupera en otra botella y se lo manda analizar por Cu.
- 14.** Las T.I., T.S.F., Viscosidad, densidad, se miden el laboratorio Metalúrgico, Se anota éstos en el formato N°1 Registro de datos.
- 15.** La cinética de extracción, de re extracción, el cobre en el PLS y en el Raff lo mide el laboratorio Químico.
- 16.** Colocar todas las botellas de orgánico y acuosos antes mencionados productos de los contactos en el porta muestras, llevar las muestras al laboratorio correctamente rotuladas.