

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA E INGENIERIA METALÚRGICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA



**“EVALUACION DE LOS PARAMETROS PARA EL DISEÑO Y
CONSTRUCCIÓN DE UNA CELDA DE ELECTRO
OBTENCIÓN PARA RECUPERAR ORO”**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. SIMON CRUZ ORTEGA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO METALURGISTA

PUNO - PERÚ

2016

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA E INGENIERIA METALÚRGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA**

TESIS

**“EVALUACION DE LOS PARAMETROS PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN
DE UNA CELDA DE ELECTRO OBTENCIÓN PARA RECUPERAR ORO”**

PRESENTADO POR:

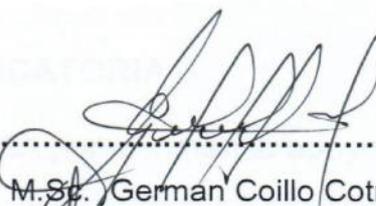
Bach. SIMON CRUZ ORTEGA

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO METALURGISTA:

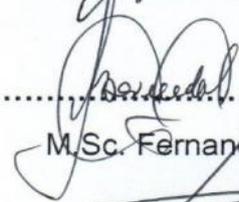
APROBADO POR EL JURADO DICTAMINADOR:

PRESIDENTE DEL JURADO



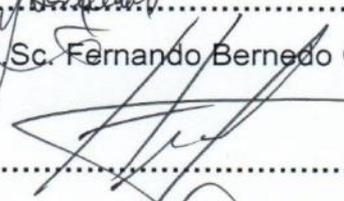
M.Sc. German Coillo Cotrado

PRIMER MIEMBRO



M.Sc. Fernando Bernedo Colca

SEGUNDO MIEMBRO



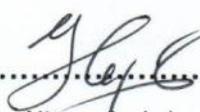
Ing. Hugo Fernández Ochoa

DIRECTOR DE TESIS



M.Sc. Dalmiro Cornejo Olarte

ASESOR DE TESIS



Ing. Hipólito Córdoba Gutiérrez

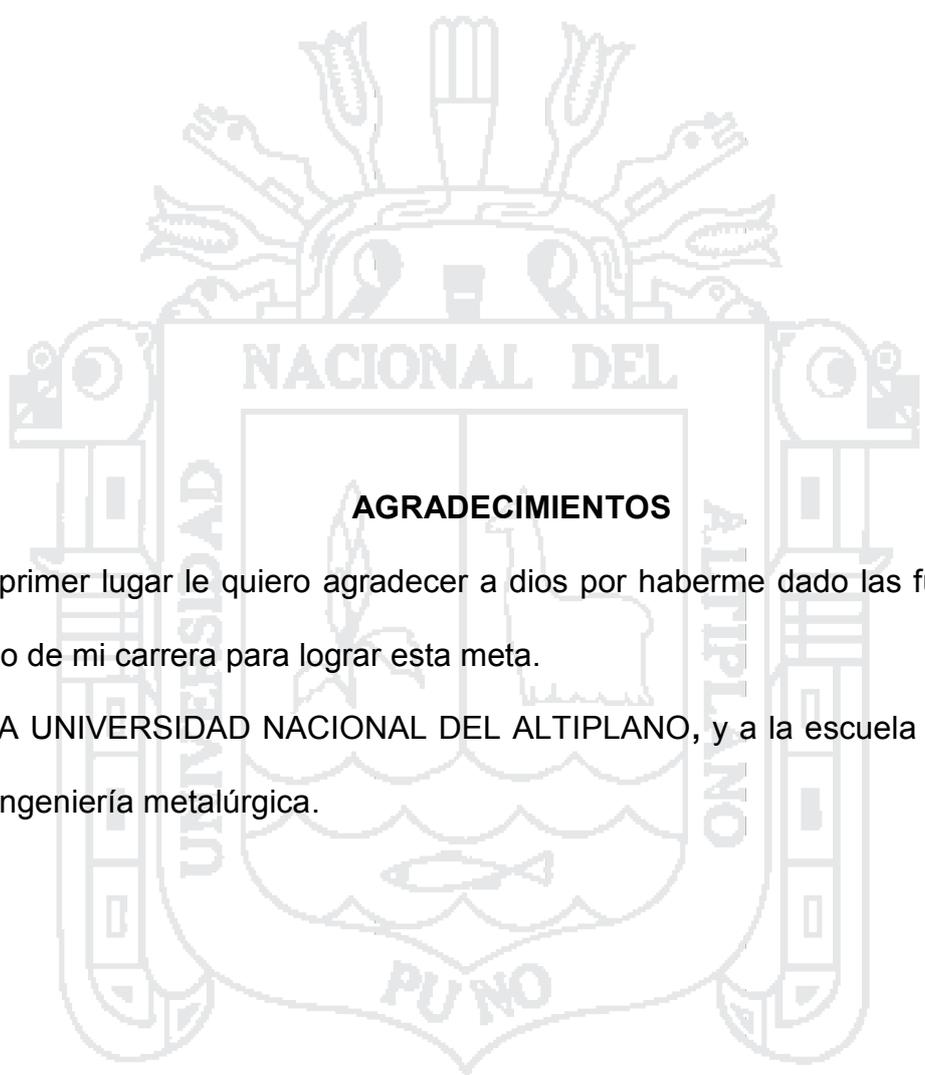
Área: Metalurgia transformativa

Tema: Diseño de reactores



DEDICATORIA

Con profundo cariño a mi madre ROSA por el inmenso apoyo brindado a lo largo de mi carrera.



AGRADECIMIENTOS

En primer lugar le quiero agradecer a dios por haberme dado las fuerzas a lo largo de mi carrera para lograr esta meta.

A LA UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO, y a la escuela profesional de ingeniería metalúrgica.

INDICE

RESUMEN XIV

ABSTRACT XV

INTRODUCCION XVI

CAPITULO I

ASPECTOS GENERALES

1.1.- Planteamiento del problema 1

1.2.- Justificación 2

1.3.- Objetivos 2

1.3.1.- Objetivos generales 2

1.3.2.- Objetivos específicos 2

1.4.- Hipótesis 2

1.4.1.- Hipótesis específico 2

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1.- Principios básicos del oro 3

2.1.1.- El oro..... 3

2.1.2.- Propiedades físicas y químicas..... 3

2.1.3.- Usos y consumos..... 4

2.1.4.- Aplicaciones del oro 4

2.2.- Fundamento teórico de la electrolisis..... 4

2.2.1.- Electroquímica	4
2.2.2.- Electrodeposición.....	5
2.2.3.- Proceso de electro- obtención (EW)	5
2.2.4.- Proceso de electro - refinación (ER)	7
2.2.5.- Naturaleza del electrolito.....	7
2.3.- Leyes de Faraday	8
2.3.1- Primera ley de Faraday.....	8
2.3.2.- Segunda ley de Faraday.....	8
2.3.3.- Eficiencia de corriente.....	10
2.4.- Conductores metálicos.....	11
2.4.1.- Electrolitos y no electrolitos.....	11
2.4.2.- Ley de ohm	12
2.4.3.- potencial de electrodo y cambio de energía libre.....	13
2.4.4.- Potencial eléctrico estándar	14
2.4.5.- Requerimientos energéticos	16
2.4.6.- Voltaje de descomposición	16
2.4.7.- Depositación del metal.....	16
2.5.- Electrolisis.....	17
2.5.1.- Unidades electroquímicas.....	18
2.5.2.- Conducción electrolítica	19
2.6.- Electrodeposición de la solución (electrowinning).....	19
2.6.1.- Fundamentos del electrowinning	20

2.6.2.- Reacciones químicas.....	22
2.6.3.- Reducción catódica del oro.....	23
2.6.4.- Reducción de oxígeno y agua.....	25
2.6.5.- Reacciones anódicas.....	26
2.6.6.- Reacciones cinéticas y factores que afectan la eficiencia.....	26
2.6.7.- Concentración de oro.....	27
2.6.8.- Hidrodinámica del electrolito.....	28
2.6.9.- Temperatura.....	28
2.6.10.- Área superficial del cátodo.....	29
2.7.- Variables a manejar en el proceso.....	29
2.7.1.- Voltaje de celda.....	30
2.7.2.- Corriente de celda y eficiencia de corriente.....	30
2.7.3.- Conductividad de la solución.....	30
2.7.4.- PH.....	31
2.7.5.- Concentración de cianuro.....	32
2.7.6.- Efecto de otras especies en la solución.....	33
2.8.- Diseños alternativos de celdas de electrolisis.....	33
2.8.1.- Diseño de las celdas.....	35
2.8.2.- Tipos de celdas electrowinning.....	35
2.8.3.- Celda zadra.....	36
2.8.4.- Celda AARL.....	37
2.8.5.- Celda de grafito NIM.....	38

2.8.6.- Celda de lana de acero MINTEK	39
2.8.7.- Rectificador de corriente	40

CAPITULO III

METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION

3.1.- Diseño de investigación	41
3.1.1.- Desarrollo del proyecto de investigación.....	41
3.1.2.- Parámetros de diseño.....	42
3.1.3.- Parámetros funcionales	42
3.2.- Cálculo de los parámetros de diseño.....	43
3.2.1.- Cálculo del volumen del cilindro de celda	43
3.2.2.- Cálculo del volumen del ánodo como eje.....	43
3.2.3.- Cálculo del volumen total que ocupa la celda	43
3.2.4.- Diseño de electrodos	43
3.2.5.- Cálculo del diseño del ánodo.....	44
3.2.6.- Cálculo del volumen del ánodo.....	44
3.2.7.- Cálculo de las dimensiones del ánodo.....	44
3.2.8.- Cálculo de las dimensiones del cátodo	45
3.2.9.- Capacidad de la celda.....	46
3.2.10.- Características de flujo de alimentación.....	47
3.2.11.- Especificaciones técnicas del equipo.....	47
3.2.12.- Diagrama de flujo de proceso	47
3.3.- Confección de los planos digitales.....	48

3.3.1.- Selección de los materiales	53
3.3.2.- Materiales para la construcción de la celda	53
3.3.3.- Material acero inoxidable del grado 304L	53
3.3.4.- Parámetros para la construcción	54
3.3.5.- Criterios de selección de una celda	54
3.3.6.- Geometría de la celda y electrodos	54
3.3.7.- Transferencia de materia	55
3.4.- Procedimiento y construcción	55
3.4.1.- Requerimientos para la construcción	56
3.4.2.- Equipos	56
3.4.3.- Máquinas y equipos	56
3.4.4.- Herramientas	57
3.4.5.- Instrumentos de medición y verificación	57
3.4.6.- Materia prima	57
3.4.7.- Elementos normalizados	58
3.4.8.- Hojas de proceso	58
3.4.9.- Construcción de las piezas que conforman el equipo de electrodeposición	58
3.4.10.- Procedimiento de montaje	59
3.4.11.- Procedimiento de montaje de la celda de electro obtención	59
3.4.12.- Montaje de la estructura de la celda de electrodeposición.....	59

3.4.13.- Montaje de la estructura y partes que conforman el equipo de electrodeposición	59
3.4.14.- Verificación de los componentes principales	62
3.5.- Ejecución de procedimientos	62

CAPITULO IV

PRUEBAS EXPERIMENTALES

4.1.- Parámetros de las pruebas de electrodeposición	63
4.1.1.- Solución lixiviante	63
4.1.2.- Ensayos de electrodeposición	64
4.1.3.- Pruebas de funcionamiento	64
4.1.4.- Diseño y armado de la celda electro obtención	65
4.1.5.- Desarrollo y resultados de pruebas experimentales en la electrolisis.....	66
4.1.6.- Parámetros de la electrodeposición	66
4.1.7.- Condiciones para las pruebas de electrodeposición	67

CAPITULO V

ANÁLISIS ECONÓMICO DEL PROYECTO

5.1.- Introducción	70
5.2.- Costo de la construcción de la celda de electro obtención	71
5.2.1.- Componentes de la unidad de celda de electro obtención.....	71
5.2.2.- Personal requerido para la construcción del equipo celda de electro obtención	71

5.3.- Costos directos	72
5.3.1.- Costos de materiales directos.....	72
5.3.2.- Costos de maquinado	73
5.3.3.- Costo de montaje.....	73
5.3.4.- Costo directo total	74
5.3.5.- Costo de equipo rectificador	74
5.4.- Costos indirectos de fabricación	75
5.4.1.- Costos de materiales indirectos	75
5.4.2.- Costos de ingeniería	75
5.4.3.- Costos totales	76
5.4.4.- Gastos imprevistos.....	76
5.4.4.- Costo total de los equipos de electro obtención.....	76
5.5.- Costos totales de los equipos	77
CONCLUSIONES	78
RECOMENDACIONES	79
BIBLIOGRAFÍA.....	80
ANEXOS.....	82

INDICE DE TABLAS

Tabla N°1: Metales que se recuperan por precipitación electrolítica reductiva....	6
Tabla N°2: Electrolito fuerte, débil y no electrolito.....	12
Tabla N°3: Potencial del electrodo estándar de algunos elementos metálicos..	15
Tabla N°4: Verificación de los componentes principales.....	62
Tabla N°5: Concentración de soluciones utilizados.....	67
Tabla N°6: Costos de materiales directos.....	72
Tabla N°7: Costos de maquinado.....	73
Tabla N°8: Costo directo total.....	74
Tabla N°9: Costo de equipo rectificador.....	74
Tabla N°10: Costos de materiales indirectos.....	75
Tabla N°11: Costos totales.....	76
Tabla N°12: Costo total de los equipo de electro obtención.....	76
Tabla N°13: Componentes total del costo.....	77

INDICE DE FIGURAS

Figura N°1: Segunda ley de Faraday.....	9
Figura N°2: Representación esquemática de los requerimientos de un sistema de Celda sencilla.....	21
Figura N°3: Ilustración esquemática de la caída de potencial a través de una celda Electrolítica.....	22
Figura N°4: Curvas corriente - potencial mostrando el efecto de concentración de Oro.....	27
Figura N°5: Curvas corriente- potencial mostrando el efecto de concentración de Cianuro.....	32

Figura N°6: Tipos de celdas utilizados en electrodeposición de oro.....	36
Figura N°7: Celda ZADRA.....	37
Figura N°8: Celda AARL.....	37
Figura N°9: Celdas de grafito NIM.....	39
Figura N°10: Celda de lana de acero MINTEK.....	40
Figura N°11: Fuente de poder.....	40
Figura N°12: Diseño de las dimensiones del ánodo.....	45
Figura N°13: Diseño de las dimensiones del cátodo.....	46
Figura N°14: Diagrama de flujo circuito de electrodeposición.....	48
Figura N°15: Construcción de piezas que conforman el equipo.....	58
Figura N°16: Electrodo ánodo y cátodo que conforman el equipo.....	60
Figura N°17: Montaje del ánodo y cátodo.....	60
Figura N°18: Montaje de compartimiento de celda entre ánodo y cátodo.....	61
Figura N°19: Armado completo del equipo de electrodeposición.....	61
Figura N°19: Diseño armado de la celda de electrodeposición.....	65

LISTA DE PLANOS

PLANO N° 1: Dimensiones de la celda de electro obtención.....	49
PLANO N° 2: Presentación de vista en sistema inalámbrico.....	50
PLANO N° 3: Componente de la celda de electrodeposición.....	51
PLANO N° 4: Presentación de vista isométrica en 3D.....	52

RESUMEN

El proyecto comprende la evaluación de los parámetros para el diseño y construcción de una celda de electro obtención para recuperar oro.

La celda de electro obtención es un instrumento de todo proceso de electrodeposición, basado al diseño y la interpretación de cada una de las variables y parámetros significativos. En el proceso de electrodeposición a fin de obtener cátodos de oro.

El estudio comprende distintas fases de diseño que han sido aplicados al proyecto donde el diseño empieza a tomar forma a medida que avanza y se va desarrollando de las actividades: Confección de los planos y partes que lo conforman el equipo de electrodeposición, incluyendo los cortes necesarios, preparación de las partes y piezas para su construcción del equipo.

En el conjunto de pruebas de electrodeposición se efectuaron a tiempos prolongados donde se observa el efecto de diversos parámetros operacionales como la concentración del electrolito, temperatura, tiempo de operación y el porcentaje de recuperación en el proceso de electrodeposición utilizándose ánodos y cátodos de acero inoxidable del grado 304L.

Al realizar las dos primeras pruebas habiéndose variado el voltaje y el amperaje se llegaron a obtener un porcentaje de recuperación de 96.20% en la primera prueba y una segunda prueba de 98.08% y una tercera prueba donde se puede obtener una recuperación optima de 99.04% donde se pueden observar en las figuras y curvas de extracción de las pruebas realizadas.

Palabras claves: celda, diseño, construcción, electro obtención.

ABSTRACT

The project understands the evaluation of the parameters for the design and construction of a cell of electro obtaining to recover gold.

The cell of electro obtaining is an instrument of all electrodeposición process, based to the design and the interpretation of each one of the variables and significant parameters. In the electrodeposición process in order to obtain cathodes of gold.

The study understands different design phases that have been applied to the project where the design begins to take form as it advances and he/she leaves developing of the activities: Making of the plans and parts that conform it the electrodeposición team, including the necessary cuts, preparation of the parts and pieces for their construction of the team.

In the group of electrodeposición tests they were made at lingering times where the effect of operational diverse parameters is observed as the concentration of the electrolyte, temperature, time of operation and the recovery percentage in the electrodeposición process being used anodes and cathodes of stainless steel of the grade 304L.

When carrying out the first two tests there being you varied the voltage and the amperage you ended up obtaining a recovery percentage of 96.20% in the first test and a second test of 98.08% and a third test where one can obtain a good recovery of 99.04% where they can be observed in the figures and curved of extraction of the carried out tests.

Keywords: cell, design, construction, electro obtaining.

INTRODUCCION

Todo proceso hidrometalúrgico concluye con la obtención del metal, a partir de las disoluciones que lo contienen las cuales fueron previamente tratadas, dependiendo del proceso al que hayan sido sometidas, en el presente trabajo se abordara la recuperación mediante la electrodeposición reducción electroquímica utilizando metales activos, se lleva a cabo una precipitación en donde se forma un producto sólido, a partir de una determinada disolución como resultado de las reacciones químicas.

La celda de electro obtención constituye el instrumento fundamental de todos los procesos industriales de electro síntesis, por ello el adecuado diseño y la interpretación de cada una de las variables de equipo que constituyen razones fundamentales de su estudio.

Una de ellas es la selección del material adecuado para la construcción, teniendo en cuenta que cada proceso exige el desarrollo de una celda específica, que generalmente no es posible el costo de fabricación sin tener en cuenta el costo de producción y la retribución económica que pueda generar. Dado la diversidad de uso en la actualidad se puede pensar en la construcción de celdas polivalentes y de fácil adaptabilidad a diversos requerimientos y a diversas escalas de producción industrial.

Los procesos electroquímicas son usados en una variedad de condiciones y un amplio rango de sistemas, lo que determina la imposibilidad de formular las pautas precisas para el diseño de la celda. Sin embargo, los problemas de difusión iónica son funciones de la concentración, del tiempo y del espacio de operaciones en procesos de electro obtención de metales.

CAPITULO I

ASPECTOS GENERALES

1.1.- Planteamiento del problema

Las principales limitaciones de la electro - obtención de oro han sido abordadas por diversos autores quienes han propuesto diversas alternativas para lograr avances trascendentes en el desempeño de la electro obtención como proceso. Sin embargo, existen pocas implementaciones de celdas de diseño no convencionales a escala industrial, ya que a pesar de las mejoras que presentan en cuanto al desempeño energético no han logrado superar ciertas limitaciones prácticas.

La idea básica de esta investigación es el diseño, y construcción y las correspondientes pruebas. En una celda de electro obtención de oro. a partir del proceso de lixiviación de minerales relaves, de amalgamación de la minería artesanal. La electro obtención es uno de los procedimientos más sencillos para recuperar metales en forma pura y selectiva, respecto a las impurezas existentes en solución. Su característica principal radica en que el metal ya está en solución y solamente se trata de recuperarlo depositándolo en el cátodo Mientras el ánodo es esencialmente insoluble.

1.2.- Justificación

El presente trabajo justifica que la celda de electro obtención en el proceso de recuperación de oro por electrodeposición es donde se extraerá el oro libre, de esta manera la recuperación del mismo y logrando de esta manera incrementar la rentabilidad en la explotación de los yacimientos mineros, dentro de la pequeña y mediana minería peruana.

1.3.- Objetivos

1.3.1.- Objetivos generales

Evaluar los parámetros para diseñar y construir una celda de electro obtención para recuperar oro.

1.3.2.- Objetivos específicos

- Diseñar y construir una celda de electro obtención para una recuperación óptima y eficiente del oro.
- Determinar los parámetros operativos óptimos para la recuperación del oro mediante la electrodeposición.

1.4.- Hipótesis

Realizando el diseño y construcción de la celda de electro obtención, habrá una recuperación óptima y esta se convertirá en una alternativa técnica y económica para la mediana y pequeña minería.

1.4.1- Hipótesis específico

- El diseño y construcción de la celda de electro obtención tendrá gran utilidad en la pequeña y mediana minería.
- Determinando las variables y parámetros de control de operación de la celda de electro obtención se obtendrá una eficiente recuperación del oro.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1.- Principios básicos del oro

2.1.1.- El oro

En todos los tiempos el oro, ha concitado el interés humano porque este metal ha sido empleado principalmente con fines monetarios. Su rareza e inalterabilidad han hecho de un símbolo de riqueza y poder. (Misari, 1993)

2.1.2.- Propiedades físicas y químicas

a).- propiedades físicas

Dureza: 2.5 a 3 es maleable y muy dúctil

Textura: maciza y constituye pequeños individuos de forma irregular

Densidad: 19.3 g/cm³

Color: Amarillo dorado

Brillo: Metálico, es un metal muy brillante.

b).- Propiedades Químicas

- El oro es fácilmente soluble en agua regia, que produce cloro nascente.
- El oro se disuelve en ácido clorhídrico en presencia de sustancias orgánicas.
- El oro es disuelto por cloruros férricos o cúpricos.

El oro es soluble en solución de carbonato de sodio al 10% (Vargas, 1980)

2.1.3.- Usos y consumos

El oro puro es demasiado blando para ser usado normalmente y se endurece aleándolo con plata o cobre, con lo cual el oro podrá tener distintos tonos de color o matices. El oro y sus muchas aleaciones se emplean bastante en joyería, fabricación de monedas y como patrón monetario en muchos países. Debido a su buena conductividad eléctrica y resistencia a la corrosión, así como una buena combinación de propiedades químicas y físicas, se comenzó a emplear a finales del siglo XX como metal en la industria. (Vargas, 1980)

2.1.4.- Aplicaciones del oro

El oro ejerce funciones críticas en ordenadores, comunicaciones, naves espaciales, motores de aviones a reacción, y otros muchos productos.

Su alta conductividad eléctrica y resistencia a la oxidación ha permitido un amplio uso como capas delgadas electro depositadas sobre la superficie de conexiones eléctricas para asegurar una conexión buena, de baja resistencia. Como la plata, el oro puede formar fuertes amalgamas con el mercurio que a veces se emplea en empastes dentales. (Vargas, 1980)

2.2.- Fundamento teórico de la electrolisis

2.2.1.- Electroquímica

Es la rama de la química que estudia la transformación entre la energía eléctrica y la energía química. Los procesos electroquímicos son reacciones redox (oxidación - reducción) en donde la energía liberada por una reacción espontánea se convierte en electricidad o la energía eléctrica se aprovecha para inducir una reacción química. En la reacción redox se transfieren electrones de una sustancia a otra. (Chang, 2006)

2.2.2.- Electrodeposición

La electrodeposición es un proceso electroquímico en el que se usa una corriente eléctrica para reducir cationes en una solución acuosa que los contienen para propiciar la precipitación de estos, que suelen ser metales, sobre un objeto conductivo que será el cátodo de la celda, creando un fino recubrimiento alrededor de este con el material reducido. (Misari, 1993)

2.2.3.- Proceso de electro- obtención (EW)

El paso de la corriente entre los electrodos.

El ánodo: material sólido conductor en cuya superficie se realiza un proceso de oxidación con liberación de electrones.

El cátodo: electrodo sólido conductor en cuya superficie se realiza un proceso de reducción con los electrones provenientes del ánodo.

En la actualidad tiene una gran importancia económica, al permitir el beneficio de recursos lixiviables, tanto el oro como el cobre, plata, etc.,

Cuyo tratamiento por otras vías resultaría económicamente inviable. En la tabla (2.1), se presenta una lista de los metales que se recuperan comercialmente por EW, junto a las características del electrolito y del cátodo usado en cada caso. La precipitación por reducción eléctrica comúnmente conocida como electro – obtención (EW), es actualmente uno de los procedimientos más sencillos para recuperar metales, en forma pura y selectiva, respecto a las impurezas existentes en soluciones. Su característica principal radica en que el metal ya está en solución y solamente se trata de recuperarlo depositándolo en cátodos, mientras el ánodo es esencialmente insoluble. Una celda de electrodeposición está constituida por:

La celda: es un recipiente que contiene un electrolito y los electrodos. En algunos casos la celda puede ser constituida por dos mitades, conectadas entre sí por un puente salino.

El electrolito: un medio acuoso, que contiene los iones de metal a depositar y otros iones que migran permitiendo el paso de corriente. (Mihovilovic, 2001)

TABLA N°:2.1

Metales que se recuperan por precipitación electrolítica reductiva

Metales	Electrolito	Cátodo	Comentario
Antimonio	Soda y sulfuro de sodio	Acer o	*
Cadmio	Solución de sulfato	Aluminio	Sub-producto de la recuperación de zinc
Cromo	Solución de sulfato	Hastelloy	*
Cobalto	Solución de sulfato	Acero inoxidable	Co –producido junto al cobre
Cobre	Solución de sulfato	Cobre o acero inoxidabl e	Soluciones de lixiviación de alta ley o bien después de SX
Galio	Solución de soda (NaOH)	Acero inoxidable	*
Manganeso	Solución de sulfato	Acero inoxidable	*
Níquel	Solución de sulfato	Níquel o acero inoxidabl e	*
Oro	Solución de cianuro	Lana de acero	*

Plata	Solución de nitrato	Plata o grafito	*
Teluro	Solución de soda (NaOH)	Acero inoxidable	*
Zinc	Solución de sulfato	Aluminio	*
Zinc	Solución de soda (NaOH)	Acero inoxidable	Producción de zinc en polvo

Fuente: Hidrometalurgia - Domic

2.2.4.- Proceso de electro - refinación (ER)

La refinación electrolítica (ER) constituye un paso obligado de refinación para proceder a la comercialización final de numerosos metales, su característica principal radica en que el metal lleva como ánodo soluble y se disuelve electrolíticamente, mientras en el cátodo se deposita el metal refinado en forma simultánea, las impurezas quedan disueltas en el electrolito y también precipitan en los residuos o barros anódicos, sin duda que el caso del oro es el más notable, ya que prácticamente todo el oro mundial que se utiliza industrialmente en la actualidad requiere del grado de pureza establecido. (Quinto, 2007)

2.2.5.- Naturaleza del electrolito

Los procesos electrolíticos de la metalurgia extractiva se pueden clasificar en dos categorías principales, de acuerdo a la naturaleza del electrolito utilizado.

- Los que usan electrolitos acuosos, que se lleva acabo a temperatura que rara vez exceden los 60°, como en el caso del proceso de EW y de ER de cobre, zinc, níquel, cobalto, oro y plata.

- Los que se realizan con electrolitos de sales fundidas (en medios no acuosos), que se desarrollan a temperaturas bastante más altas como es el caso de la recuperación de aluminio, magnesio, litio, y otros metales similares. (Harriott, 1998)

2.3.- Leyes de Faraday

Son las leyes fundamentales que gobiernan las reacciones electroquímicas fueron formuladas, en 1831, por Michael Faraday y describen lo siguiente. (Misari, 1993)

2.3.1- Primera ley de Faraday

La masa que se deposita o libera en un electrodo es directamente proporcional a la carga eléctrica que atraviesa la solución.

$$W = QK$$

W = masa depositada o liberada

K = constante de proporcionalidad

Q = carga eléctrica

(Salcedo, 1987)

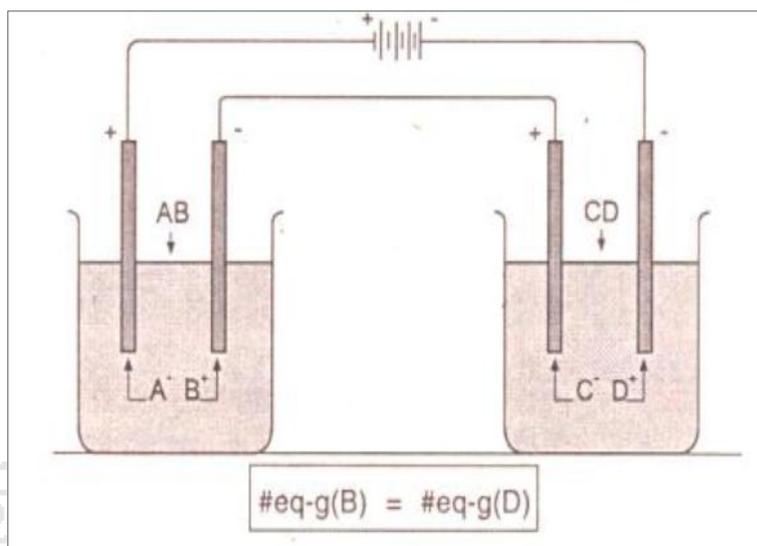
2.3.2.- Segunda ley de Faraday

Para una misma cantidad de electricidad, la masa de diferentes sustancias liberadas o depositadas son proporcionales a sus masas equivalentes.

Podemos expresar esta ley indicando que en cada electrodo se deposita o libera el mismo número de equivalente gramo. (Salcedo, 1987)

Figura N°:2.1

La segunda ley de Faraday



Fuente: Química – Alfredo Salcedo

De estas dos leyes de Faraday se indican dos definiciones básicas.

- **Equivalentes electroquímicos (eq – eq)**

Es la cantidad de sustancia que se deposita en el electrodo al paso de un coulomb (1C). Equivalente.

$$1eq - eq(x) = \frac{W(X)}{Q}$$

- **Equivalentes gramos (eq – g)**

Es la cantidad de sustancia que se deposita en el electrodo debido al paso de 96500 coulomb (96500) o de 1 Faraday (1F).

$$1eq - eq(x) = 96500eq - eq$$

Si se quiere determinar la masa que se deposita o libera en el electrodo utilizaremos la ecuación:

$$W = \frac{I \times T \times PM}{F \times n}$$

Donde:

W = peso del metal depositado, expresado en g.

I = intensidad de corriente aplicada, expresada, en A.

T = tiempo en el cual se aplicó la corriente, expresado en s.

PM = peso molecular de la sustancia que se está depositando g/mol.

n = estado de valencia de la sustancia que se deposita, a dimensional.

(Tomala, 1998)

2.3.3.- Eficiencia de corriente

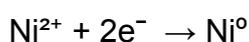
Las relaciones suponen su totalidad de la eficiencia en el uso de la corriente. Sin embargo de la práctica se sabe que esta situación es ideal, y es normal que un cierto porcentaje de electrones se derive ya sea a la depositación de alguna otra sustancia o a la descomposición de agua y consecuente desprendimiento de gas hidrogeno, o bien que una fracción de metal depositado se redisuelva químicamente o se pierda de alguna u otra, manera.

La eficiencia de corriente, es el peso de material efectivamente depositado versus el que teóricamente debía haberse precipitado.

$$\text{eficiencia de corriente (\%)} = \frac{\text{masa real depositado}}{\text{masa teorica depositada}} \times 100$$

Las causas que provocan este rendimiento son:

- **Reacción de electrodo simultáneo:** por ejemplo, en la depositación eléctrica de níquel que es un metal más electronegativo que el hidrogeno en la serie electroquímica de los metales, se produce la reacción simultanea de desprendimiento de gas hidrogeno, que también consumen corriente y que no se usa en el níquel electrolítico.



- **Interacción de productos anódicos y catódicos:** desde el momento que se realiza una electrolisis, en el ánodo se han producido reacciones de tipo reductor y en el cátodo otras de tipo oxidante si por alguna razón existe interacción entre los productos de electrodo, obviamente que entre ellos reaccionaran químicamente, disminuyendo la eficiencia del proceso.
- **Reversibilidad electrolítica del proceso:** si el producto de un electrodo en una celda difunde hacia el otro electrodo. Puede ser parcial o totalmente retornado a su condición original. Es decir un producto anódico oxidado, si alcanza a llegar al cátodo, será inmediatamente reducido, o viceversa. (Mihovilovic, 2001)

2.4.- Conductores metálicos

El movimiento de la energía eléctrica a través de un conductor metálico se realiza sin transferencia de masa en el material del conductor. La conducción eléctrica por los metales se debe al movimiento de los electrones. Todos los metales y sus aleaciones metálicas poseen este tipo de conductancia y también unas pocas sustancias químicas, como son el peróxido de plomo, PbO_2 y el dióxido de magnesio MnO_2 . El paso de corrientes por conductores metálicos se manifiesta por generación de calor y por efectos magnéticos, pero no ocurren cambios de composición observables. (Rodriguez, 2007)

2.4.1.- Electrolitos y no electrolitos

Un electrolito es una sustancia que, cuando se disuelve en agua forma una disociación que conduce la electricidad. Un no electrolito no conduce la corriente eléctrica cuando se disuelve en agua.

TABLA N°:2.2

Electrolito fuerte, débil y no electrolito

Electrolito fuerte	Electrolito débil	No electrolito
HCL	CH ₃ COOH	(NH ₂) ₂ CO (urea)
HNO ₃	HF	CH ₃ OH (metanol)
HClO ₄	HNO ₂	C ₂ H ₅ OH (etanol)
H ₂ SO ₄ *	HN ₃	C ₆ H ₁₂ O ₆ (glucosa)
NaOH	H ₂ O**	C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁ (sacarosa)

*El H₂SO₄ tiene iones H⁺ insolubles.

**el agua pura es un electrolito extremadamente débil.

Fuente: Química General – Raymond Chang

Cuando sube la temperatura de una solución, a la energía cinética promedio del ion también aumenta, los iones migran más rápido y la solución se hace mejor conductora de electricidad.

Un electrolito fuerte es aquel que, al estar en solución acuosa, se encuentra altamente disociado en iones, mientras que uno débil es el que presenta una disociación incompleta. (Mihovilovic, 2001)

2.4.2.- Ley de ohm

La intensidad de corriente a través de una resistencia es directamente proporcional a la diferencia de potencial entre sus extremos e inversamente proporcional a su resistencia.

Recuerde que la corriente convencional es del polo de mayor potencial (A) hacia el polo de menor potencial (B).

$$I = \frac{VA - VB}{R}$$

Luego:

$$V = VA - VB$$

Observaciones:

Las soluciones al igual que los conductores metálicos, obedecen la ley de ohm.

$$E = IxR$$

En donde:

I : es la intensidad de corriente que se expresa en amperes (A)

E : es la fuerza - electromotriz aplicada (FEM) expresada en voltios (V)

R : es la resistencia del conductor, expresada en ohm (Ω)

V : diferencia de potenciales (v)

(Reddy, 1979)

2.4.3.- potencial de electrodo y cambio de energía libre

Representa el máximo trabajo que puede realizar una determinada celda electroquímica. La cantidad de energía suministrada por cada equivalente de sustancia reaccionada es un Faraday (96500 coulomb), y para “n” equivalentes reaccionado la cantidad de electricidad es “Nf ”

$$\text{Trabajo máximo} = W_{\text{máximo}} = - \Delta G = - nFE$$

Donde:

$$- \Delta G^{\circ} = -nFE^{\circ}$$

Dado que el cambio de energía libre estándar se relaciona con la constante de equilibrio, “ K “ a través de la relación:

$$- \Delta G^{\circ} = RT \ln K$$

$$\text{Log}K = \frac{nFE^{\circ}}{2,303RT}$$

(Mihovilovic, 2001)

2.4.4.- Potencial eléctrico estándar

La tabla abajo muestra aproximadamente el potencial eléctrico de los elementos metálicos hacia soluciones con normal concentración o actividad de iones metálicos, basado sobre hidrogeno de voltaje cero.

Cada metal remplazara los iones de cualquier metal en solución que sea más noble (o más eléctricamente positivo) de sí mismo. Por ejemplo los iones de zinc (a - 0.76 volts) reemplazaran los iones de cadmio (a - 0.40 volts) porque los iones de cadmio son más positivos que los iones de zinc.

Cuando un ion entra en contacto con un ion que es más negativo que si mismo (asumiendo que la solución está en equilibrio), es neutralizado y se convierte a su forma metálica.

Este es el principio de precipitar iones de oro presentes en la solución de agua regia con sulfato ferroso. El hierro tiene un potencial eléctrico único de - 0.44 volts, el oro un potencial eléctrico único de + 1.36 volts. Donde al hacer pasar una corriente eléctrica atreves de un electrolito (aparato de Hoffman) constituido por un recipiente formado por tres tubos, dos laterales en forma de bureta invertidas y uno central con un ensanchamiento superior para llenarlo y un generador de corriente continua conectado. (Izquierdo, 1997)

TABLA N°:2.3

Potencial del electrodo estándar de algunos elementos metálicos

Grupo	Metal	Reacción	$E^{\circ}[V]$
Metales Menos reactivos o más nobles	Oro	$Au^{\circ} = Au^{+} + 2e^{-}$	-1.68
	Metales grupo platino		-0.8 a 1.2
	Plata	$Au^{\circ} = Au^{+} + 2e^{-}$	- 0.799
	Mercurio	$Ag^{\circ} = Ag^{+} + 2e^{-}$	- 0.789
	Cobre	$Cu^{\circ} = Cu^{2+} + 2e^{-}$	- 0.337
Estándar De referencia	Hidrogeno	$H_2 = 2H^{+} + 2e^{-}$	0.000
Metales semi - reactivos	Plomo	$Pb^{\circ} = Pb^{2+} + 2e^{-}$	0.126
	Estaño	$Sn^{\circ} = Sn^{2+} + 2e^{-}$	0.136
	Níquel	$Ni^{\circ} = Ni^{2+} + 2e^{-}$	0.250
	Cobalto	$Co^{\circ} = Co^{2+} + 2e^{-}$	0.277
	Cadmio	$Cd^{\circ} = Cd^{2+} + 2e^{-}$	0.403
	Hierro	$Fe^{\circ} = Fe^{2+} + 2e^{-}$	0.440
Metales altamente Reactivos “menos nobles”	Cromo	$Cr^{\circ} = Cr^{2+} + 2e^{-}$	0.86
	Magnesio	$Mn^{\circ} = Mn^{2+} + 2e^{-}$	1.19
	Aluminio	$Al^{\circ} = Al^{2+} + 2e^{-}$	1.66
	Berilio	$Be^{\circ} = Be^{2+} + 2e^{-}$	1.85
	calcio	$Ca^{\circ} = Ca^{2+} + 2e^{-}$	2.37
	Sodio	$Na^{\circ} = Na^{2+} + 2e^{-}$	2.714
	Calcio	$Ca^{\circ} = Ca^{2+} + 2e^{-}$	2.870

Fuente: Hidrometalurgia - Domic

2.4.5.- Requerimientos energéticos

Los requerimientos de energía para una operación de EW son importantes. (Chang, 2006)

$$\text{ENERGIA} = \frac{1}{n} \times \frac{(\text{amperios} \times \text{segundo}) \times \text{volts}}{3600 \text{ segundos}} = [WH]$$

2.4.6.- Voltaje de descomposición

Para que una reacción electroquímica proceda bastaría con aplicar una Fuerza electromotriz, FEM, equivalente a la suma de voltajes requeridos por Los ánodos y cátodos respectivamente. Este voltaje está relacionado con el voltaje de la celda o voltaje teórico Mínimo necesario para electrolizar un electrodo. En principio, tan pronto se alcanza este voltaje entre un ánodo y un cátodo Tiene lugar la electrolisis. (Morales, 2010)

2.4.7.- Depositación del metal

La cinética de deposición de metales, de acuerdo a las leyes de Faraday, depende solamente de la corriente aplicada y no de otros factores tales como temperatura, concentración, u otros. Sin embargo, la calidad del depósito del metal está relacionada directamente con esos factores. Los depósitos electrolíticos de metales son siempre cristalinos, pero pueden variar desde un deposito adherente, grueso, de granos grandes, hasta un deposito pulvulento, de granos finos poco adherido. La forma del depósito depende de muchos factores. Para evaluar esto, durante la deposición electrolítica se deben tener en cuenta estos dos procesos simultáneos:

- **La nucleación, y**
- **El crecimiento de cristales**

Cuando la tasa de nucleación es mucho más rápida que la velocidad de crecimiento de los cristales, el producto será un polvo fino, por otro lado cuando la velocidad de crecimiento de los cristales es mucho mayor que la velocidad de nucleación, el producto será de grano grueso.

- **La formación de polvo:** en la depositación electrolítica ocurre cuando el proceso está controlado por difusión.
- **La depositación de grano grueso:** ocurre cuando el control cinético del proceso es de tipo químico.

Los siguientes factores influyen en la naturaleza del depósito metálico.

- **Densidad de corriente:** a bajas densidades de corriente la descarga del ion es lenta. Es decir el proceso será controlado por la velocidad de reacción química. De esta manera, el producto será un depósito grueso, a densidades de corriente muy alta ocurrirá lo contrario.
 - **Concentraciones del electrolito:** a bajas concentraciones del electrolito la velocidad de difusión es lenta y, normalmente, es la que controla la totalidad del proceso. El proceso completo es controlado por difusión y se favorece la producción de polvo. Lo opuesto ocurre a concentraciones altas del electrolito.
 - **Temperatura:** aumenta la temperatura aumenta la velocidad de difusión y la tasa de crecimiento de los cristales. Ambos factores favorecen a la formación de un depósito más grueso. De esa manera al aumentar la temperatura permite formar un depósito más coherente y grueso. (Sancho, 2000)

2.5.- Electrolisis

Es la descomposición química de ciertas sustancias por medio de una corriente eléctrica que pasa a través de las sustancias mientras hay un estado disuelto o fundido.

Sobre una base de tonelaje de producción, la técnica para recuperación de metales más ampliamente usada (de soluciones acuosas) es la electrolisis.

La electrolisis es la recuperación de un metal de una solución por el uso de la corriente eléctrica.

- una celda electrolítica debe tener cuatro componentes esenciales como:

- a) Una superficie anódica donde ocurre la oxidación.
- b) Una superficie catódica donde ocurre la reducción.
- c) Un conductor eléctrico para llevar la corriente.
- d) Un electrolito (un conductor iónico).

Una fuente de potencia eléctrica debe estar disponible con la finalidad de forzar a las reacciones a que ocurran ya que ellas no son espontáneas de por sí.

(Reddy, 1979)

2.5.1.- Unidades electroquímicas

Amperímetro (A) Se emplea para medir la intensidad de corriente que pasa a través de un conductor o una resistencia, el amperímetro es conectado en serie y por ello se diseña con la menor resistencia posible. Cuando se dice que el amperímetro es ideal se considera que la resistencia interna es cero. La lectura del amperímetro es la intensidad en amperios que pasa por una sección de un conductor por el área de dicha sección, se obtiene lo que se llama la **densidad de corriente** esta dado (amperios por metro cuadrado o amperios por centímetro cuadrado, etc.).

Voltímetro (V) Se emplea para medir la diferencia de potenciales entre dos bordes del circuito de una resistencia. Se conecta en paralelo y por ello se diseña con la mayor resistencia posible.

Voltímetros ideales: es aquella cuya resistencia interna es considerada infinita tal que por el voltímetro no pasa corriente.

Voltímetro real: es aquel cuya resistencia interna no es infinita, pero si es grande tal que por el voltímetro la corriente circulante es muy pequeña.

(Cifuentes, 2005)

2.5.2.- Conducción electrolítica

La conducción electrolítica, en la cual la carga es transportada por los iones, no ocurrirá a menos que los iones del electrolito se puedan mover libremente. Por consiguiente, la conducción electrolítica es exhibida principalmente por sales fundidas y por soluciones acuosas de electrolitos. Por consiguiente, una corriente que pasa a través de un conductor electrolítico requiere que el cambio químico acompañe el movimiento de los iones.

Cuando se aplica una corriente eléctrica externa DC a una solución conteniendo iones positivos y negativos, se inicia la electrolisis. La solución es llamada el electrolito.

En refinación y extracción, el término 'solución preñada' es usado a menudo para referir a una solución conteniendo iones metálicos y otras.

Una solución preñada puede ser hecha disolviendo una solución de cobre (por ejemplo, sulfato de cobre (CuSO_4) en agua y adicionando el ácido correspondiente de la sal (en este caso, ácido sulfúrico (H_2SO_4)) para incrementar la conductividad de la solución. (Mihovilovic, 2001)

2.6.- Electrodeposición de la solución (electrowinning)

El proceso de electrowinning es usado para el tratamiento de soluciones con contenido de oro. El alto grado como por ejemplo en la electrodeposición directa,

las de desorción del carbón, estarían produciendo cátodos cargados, los cuales requieren refinaciones posteriores. (Ochoa, 1996)

2.6.1.- Fundamentos del electrowinning

Una reacción de reducción catódica puede ser manejada en soluciones acuosas mediante la aplicación de un voltaje a través de un par de electrodos sumergidos en la solución. El voltaje aplicado debe exceder el potencial reversible del electrodo para la reacción deseada a ocurrir, y debe permitir para la caída de voltaje debido a la resistencia de la solución; una función de la conductividad de la solución. La cantidad por la cual el voltaje aplicado excede el potencial reversible del electrodo es referida como el voltaje sobre potencial:

$$\eta = E_{aplicado} - E_r$$

La reducción en el cátodo está acompañada por la reacción de oxidación paralela al ánodo, usualmente la oxidación de agua a oxígeno.

Considerando la electro – reducción de un ion metálico (M^{z+}) el voltaje total de la celda esta presentado por:

$$V = E(O_2/H_2O) + E(M^{z+}/M) + \eta_a + \eta_c + iR$$

Donde η_a y η_c son los sobre potenciales anódicos y catódicos, respectivamente, y el termino iR representa la caída de potencial a través de la solución debido a la resistencia (o conductividad) de la solución. Esto es ilustrado para un sistema de una celda de la figura, 2.2 y 2.3.

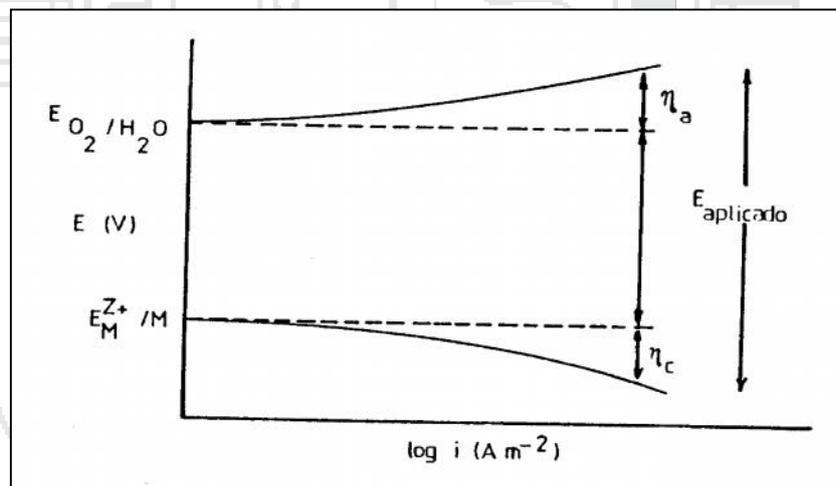
La velocidad del proceso de transferencia del electrón esta descrita por la ecuación Butler – volmer:

$$i = i_0 e^{(-\alpha n F \eta / RT)} - e^{((1-\alpha)(nF\eta/RT))}$$

En sobre potenciales altos aproximadamente sobre 50 Mv, el segundo término el cual es debido a la reacción reversa o “back” suele ser descuidada. Como el sobre potencial es incrementado la concentración de especies reducidas cierra a la superficie del cátodo que viene a ser reducida, desde la transferencia de masa de las especies iónicas a través de la capa límite que no puede mantenerse con la velocidad de la reacción electroquímica. En este punto la velocidad de reacción se convierte en una transferencia de masa controlada. La corriente en la cual esto ocurre es conocida como la **densidad de corriente** limitante (i_L) la cual es expresada en unidades de A/m^2 de cátodo.

FIGURA N°:2.2

representación esquemática de los requerimientos de un sistema de celda sencilla.



Fuente: Ruiz Méndez, J.C., Hidrometalurgia de oro y plata, procesos

Para el caso donde la concentración de especies a ser reducida en la superficie del cátodo es cero, entonces:

$$jT = -D_M z + (C_b / N)$$

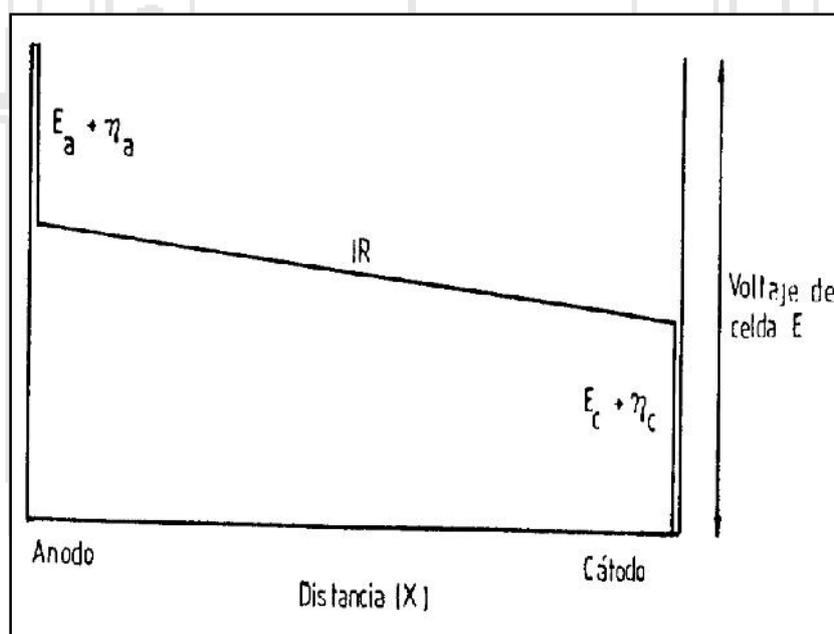
Cambiando esta expresión con la segunda ley de Faraday, puede ser mostrado que:

$$i_L = -nFK_r C_b$$

El valor de la densidad de corriente limitante es importante porque esta es la máxima corriente que puede ser pasada a través de la solución antes que otras especies iónicas que las requeridas sean reducidas a iones metálicos. El valor de la densidad de corriente limitante, y consecuentemente la velocidad de deposición, se incrementa con el incremento de la concentración del ion metálico a ser depositado. (Ruiz, 1989)

FIGURA N°:2.3

Ilustración esquemática de la caída de potencial a través de una celda electrolítica.



Fuente: Ruiz Méndez, J.C., Hidrometalurgia de oro y plata, procesos

2.6.2.- Reacciones químicas

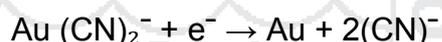
Una reacción química es un proceso mediante el cual una o más sustancias (elementos o compuestos) denominados reactivos, sufren una transformación para dar lugar a sustancias diferentes denominadas productos.

Las reacciones químicas conllevan generalmente la ruptura de los enlaces químicos de los reactivos y la formación de nuevos enlaces para obtener los productos. La ruptura de enlaces precisa generalmente la aportación de una cierta cantidad de energía, mientras que la formación de enlaces la libera; el resultado neto de dichos intercambios de energía puede ser positivo en cuyo caso la reacción es exotérmica (deprende calor) o negativo cuando la reacción es endotérmica (precisa la aportación de calor para producirse).

En algunos casos, para que la reacción comience, es necesaria la aportación de una cierta energía inicial que se denomina energía de activación, cuando ello no es necesario, y la reacción entre los productos comienza por si sola a temperatura y presión al ambiente, la reacción se denomina espontanea. Estos intercambios de calor son objeto de estudio de la termoquímica. (Ruiz, 1989)

2.6.3.- Reducción catódica del oro

El oro es electrolíticamente desplazado de soluciones cianuradas alcalinas de acuerdo a la reacción.



La deposición del metal ocurre en potenciales bajos aproximadamente -0.7V, aunque el potencial exacto en el cual la reducción comienza,

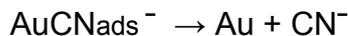
Depende de las condiciones de la solución, tales como conductividad, las concentraciones de especies iónicas presentes y la temperatura. Algunos datos reportados varían entre -0.7 V, y -1.1V.

El mecanismo de la deposición electrolítica de oro probablemente se produce por la deposición de aurocianuro en el cátodo seguida por la reducción de especies absorbidas, como sigue:





El paso de la reducción catódica es entonces seguido por disociación de las especies reducidas:



En sobre potenciales catódicos altos el paso de transferir electrones es probable que sea directo, y las especies intermedias absorbidas es probable que no se formen.

Esta distinción entre mecanismos de deposición bajo diferentes condiciones es importante ya que las características físicas del oro depositado por los dos son muy diferentes:

Oro depositado en sobre potenciales relativamente bajos se forman densos, mientras que el producto solido sobre el cátodo en sobre potenciales altamente catódicos una esponja, que se deposita en forma porosa, la cual puede formar un lodo en el fondo de la celda. Cualquiera de estos tipos de productos suele ser deseable en circunstancias particulares, por ejemplo:

El cátodo atrae predominantemente los iones positivos a una región cerca a su superficie, conocida como la doble capa helmholtz. Los complejo de iones cargados negativamente, $\text{Au}(\text{CN})_2^-$, los cuales están próximo a esta capa, se polarizan en el campo eléctrico del cátodo. La distribución alrededor del metal es distorsionada y la difusión del complejo iónico en la capa helmholtz es asistida. Finalmente, dentro de la capa de helmholtz, el complejo se divide. Sus componentes iónicos y moléculas son liberadas y el metal liberado en forma de cationes metálicos cargados positivamente el cual es depositado como el átomo metal sobre el cátodo.

El complejo aniónico aurocianuro tiene una constante de estabilidad alta (wilkinson, 1986): propuso un mecanismo conceptual de la deposición de oro a partir de soluciones de aurocianuro:

$$\frac{[\text{Au}(\text{CN})_2^-]}{[\text{Au}^+][\text{CN}^-]^2} = 10^{-38.3}$$

Adema la concentración de $[\text{Au}^+]$ es extremadamente baja en el electrolito:

$$[\text{Au}^+] = \frac{[\text{Au}(\text{CN})_2^-]}{[\text{CN}^-]^2} = 10^{-38.3}$$

De aquí, parecería que las razonables velocidades de deposición de oro a partir de soluciones cianuradas de oro son solo posibles a causa de la polarización de los iones de $\text{Au}(\text{CN})_2^-$, los cuales se aproximan a la superficie del cátodo y son distorsionados de acuerdo al modelo de wilkinson. (Ruiz, 1989)

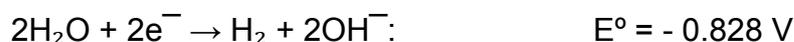
2.6.4.- Reducción de oxígeno y agua

El oxígeno que es producido naturalmente en el ánodo por oxidación de agua suele, en una celda sin membrana, migrar o difundirse al cátodo donde es reducido de regreso al agua, por cualquiera de las vías de dos o cuatro electrones:



Ha sido mostrado que la reducción de oxígeno suele contar por sobre el 50 % de la corriente del cátodo. El uso de un intercambio de membranas iónicas elimina este problema, pero hay desventajas con aquellos sistemas.

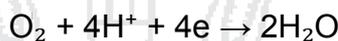
El agua puede ser reducida a hidrogeno, como está dado por la siguiente ecuación.



La reducción de agua y oxígeno en cátodo tiende a incrementar el PH de la solución. (Ruiz, 1989)

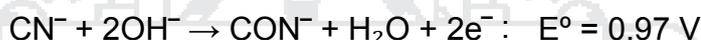
2.6.5.- Reacciones anódicas

En la solución alcalina cianurada la mayor reacción en el ánodo es la oxidación de agua a oxígeno:

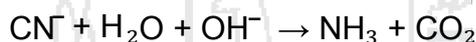


Estas reacciones tienden a decrecer el PH de la solución junto al ánodo.

El cianuro puede ser oxidado a cianato en el ánodo:



Y suele hidrolizarse en forma de amoníaco y dióxido de carbono, aunque esto ocurre muy lentamente a PH altos:



Esta reacción suele contribuir a fuerte olor a amoníaco sobre muchas celdas de electrowinning, aunque una significativa, si no dominante, porción de amoníaco es probablemente llevado de los sistemas de elución de carbón. (Alonso, 1983)

2.6.6.- Reacciones cinéticas y factores que afectan la eficiencia

La deposición de oro está electrolíticamente controlada bajo potenciales en el orden de - 0.85 a - 1.0 V, dependiendo de las condiciones en la solución. La velocidad de la reacción en esta región está descrita por la ecuación de (Butler - volmer), A potenciales más negativos la velocidad de deposición es dependiente del transporte de masa de las especies de cianuro de oro al cátodo. Para soluciones conteniendo concentraciones bajas de oro, como es generalmente el caso de los sistemas de extracción de oro, las celdas deben ser

operadas bajo condiciones de transporte de masa controlado para minimizar la deposición y permitir al electrowinning ser ejecutado económicamente.

La corriente óptima para la deposición de oro es aquella en la cual la velocidad de deposición es solo controlada por el transporte de masa ya que esto minimiza el otro lado de las reacciones en el cátodo.

Otros factores que afectan la eficiencia de los sistemas electrowinning son el voltaje y corriente de la celda aplicado, las cuales son determinados por las propiedades de la solución (por ejemplo: temperatura, PH, concentración de cianuro, concentraciones de iones de oro, conductividad). (Barkey, 1987)

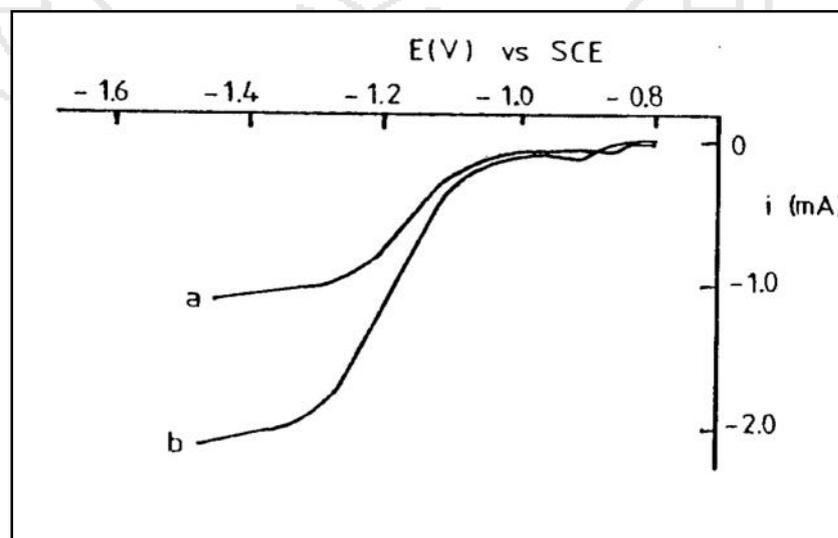
2.6.7.- Concentración de oro

El efecto de la concentración de oro sobre la velocidad de deposición es ilustrado por las curvas corriente – potencial para dos concentraciones de oro, dada en la figura, (2.4) Aquellas muestran que, como se predijo en la ecuación.

La corriente limitante es aproximadamente doblada por un incremento del 100% en la concentración del oro. (Ruiz, 1989)

FIGURA N°:2.4

Curvas corriente - potencial mostrando el efecto de concentración de oro



Fuente: Ruiz Méndez, J.C., Hidrometalurgia de oro y plata, procesos

2.6.8.- Hidrodinámica del electrolito

El grado de mezcla dentro del electrolito tiene un gran efecto sobre el transporte de la masa de las especies de la solución y consecuentemente sobre la velocidad de deposición de oro.

En las celdas electrowinning con electrodos fijos, tal como aquellos usados normalmente para la recuperación de oro y refinación, y con agitación no mecánica, las condiciones hidrodinámicas son determinadas por la estructura del electrodo, la configuración de la celda y la velocidad del flujo de la solución. (Ochoa, 1996)

2.6.9.- Temperatura

A elevadas temperaturas del electrolito tiene las siguientes ventajas para la electro – deposición de oro:

- 1.- el coeficiente de difusión del cianuro de oro es incrementado.
- 2.- la conductividad de la solución es incrementada, y
- 3.- la solubilidad de oxígeno es decrecida, reduciendo la cantidad de oxígeno disponible para la reducción en el cátodo.

El ítem (1) incrementa la velocidad de deposición, mientras que el (2) y el (3) improvisan la eficiencia de la corriente de la celda. Consecuentemente, hay una ventaja sobre todo al operar los sistemas electrowinning a elevadas temperaturas. Sin embargo, aquellos aspectos son completamente pequeños, Particularmente cuando son comprobados con los efectos de la concentración de oro, el grado de mezcla del electrolito y el área superficial del cátodo.

(Alonso, 1983)

2.6.10.- Área superficial del cátodo

La eficiencia del electrowinning es maximizada al maximizar el área superficial del cátodo y el vaciado, por ejemplo el uso de electrodos tridimensionales tales como la lana de acero usado en la celda MINTEK y otros, la presencia de cualquier partícula material en el electrolito que se construye en el cátodo tendera a reducir el vaciado restringido así el flujo y reduciendo la eficiencia de la celda. En suma, como la cantidad de oro depositada sobre el cátodo se incrementa, el área superficial del cátodo también se incrementa, la cual incrementa la velocidad de reducción de agua y oxígeno en el cátodo. La evolución del hidrogeno incrementado incrementa la caída de potencial a través del cátodo el cual suele producir regiones dentro del electrodo donde la deposición de oro no puede ocurrir. (Pagliero, 1989)

2.7.- Variables a manejar en el proceso

En todo proceso de recubrimiento existen variables que no podemos obviar ya que son. Las que determinan la calidad final del proceso. Por el alto costo del oro, es muy importante que los depósitos del oro sean uniformes sobre la superficie de las partes recubiertas. Adicionalmente, el espesor del depósito debería ser tan uniforme como sea posible.

a).- Las variables aplicadas en todo proceso de electrodeposición son las siguientes:

- Voltaje
- Temperatura
- Densidad de corriente
- Tiempo de residencia
- Ph

- Área del metal base

(Pagliero, 1989)

2.7.1.- Voltaje de celda

El voltaje y la corriente que deben ser aplicados a la celda para que la recuperación de oro sea la más eficiente dependen del diseño de la celda y las condiciones de la solución, incluyendo conductividad, PH, temperaturas y concentraciones de todas las especies iónica presentes. En celdas industriales los voltajes del orden de 2- 2.5 V que serían aplicados. (Mihovilovic, 2001)

2.7.2.- Corriente de celda y eficiencia de corriente

La velocidad de deposición se incrementa con el incremento de la corriente, arriba de la corriente limitante, en la cual el punto máximo de eficiencia de corriente es obtenido en el sistema. Sobre los valores limitantes el exceso de corriente es consumido por el lado de las reacciones, principalmente la reducción de hidrogeno y agua, pero además potencialmente la reducción de oxígeno y otros metales. Corrientes entre 200 a 8000 A son aplicadas, con eficiencia de corrientes típicas de 2 - 8%, dependiendo de la configuración de la celda, concentración de oro, composición del electrolito y propiedades hidrodinámica del electrolito. Eficiencias de corriente tan altas como 27% han sido registradas por soluciones de alto grado de oro

(> 300 g/t). (Mihovilovic, 2001)

2.7.3.- Conductividad de la solución

La conductividad de la solución se determina por la caída de potencial que atraviesa la celda: la más alta conductividad, la más baja las perdidas eléctricas en la solución.

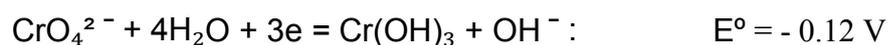
Típicamente celdas operadas con conductividades de electrolito en orden de 2m/s electrolitos producidos por la elución de carbón usualmente contiene una concentración suficiente de hidróxido de sodio para una adecuada conductividad de la solución, pero la conductividad suele ser incrementada por la adición de electrolitos útiles, tales como el hidróxido de sodio.

La solución de lixiviación generalmente tiene una conductividad relativamente baja, la cual debe ser incrementada significativamente si el oro va a ser electrodepositado eficientemente. Este factor asociado con densidades de corriente limitantes extremadamente bajas, previene el uso electrowinning sobre soluciones que contienen aproximadamente menos de 10 g/t de oro.

(Pagliero, 1989)

2.7.4.- PH

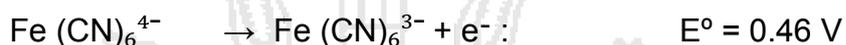
El pH es también importante para la estabilidad del electrodo el uso de ánodos insolubles, usualmente de acero inoxidable 304 L con 18% Cr de 8% de Ni con un bajo contenido de Mo y Ti es una manera popular para minimizar el capital de inversión la mayoría de las celdas electrowinning comerciales usan ánodos de acero inoxidable y cátodos en muchos casos el cual se corroe en soluciones bajo de pH de aproximadamente 12.5 esta corrosión incrementa la concentración de las especies de hierro y cromo en la solución, la cual suele pasar de lado reacciones y reducir la eficiencia de la celda. Por ejemplo, iones de cromo reducidos en el cátodo para formar una capa insoluble de hidróxido de cromo:



Concentraciones del ion cromo tan bajas como 5 g/t pueden afectar significativamente la eficiencia de la celda y reducir la extracción de oro a niveles

bajos. Concentraciones de cromo sobre los 100 g/t han sido observadas a prohibir completamente el electrowinning del oro.

Las especies de hierro son también reducidas en el cátodo al complejo de cianuro de hierro (III), de este modo se instala un sistema rédox a través de la celda:



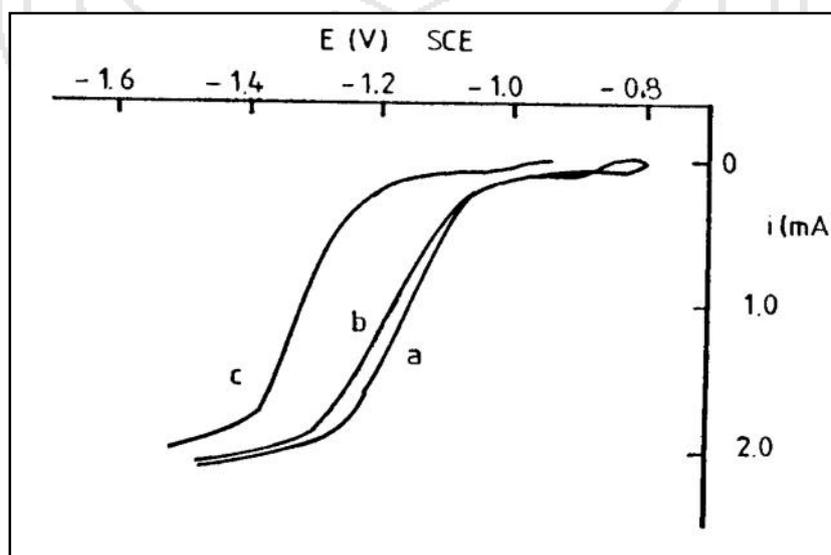
Estos problemas pueden ser eliminados por el uso alternativo de materiales del ánodo, aunque suele tener ventajas asociadas con esto. (Misari, 1993)

2.7.5.- Concentración de cianuro

El efecto de la concentración de cianuro sobre la curva corriente – potencial para la deposición de oro es mostrado en la figura (2.5) esto indica un cambio negativo en el potencial de aproximadamente 0.2V para un incremento de 10 veces la concentración de cianuro (por ejemplo 5 g/l NaCN a 50 g/l) un alto voltaje debe ser aplicado en alta concentración para asegurar el sistema que es operado en, o ligeramente sobre, la corriente limitante.(Ruiz, 1989)

FIGURA N°:2.5

Curvas corriente - mostrando el efecto de concentración de cianuro



Fuente: Ruiz Méndez, J.C., Hidrometalurgia de oro y plata, procesos

2.7.6.- Efecto de otras especies en la solución

iones de sulfuro, los cuales suelen estar presentes en bajas concentraciones en electrolitos de oro son oxidados a poli sulfuros en el ánodo. Aquellos iones suelen entonces ser transportados al cátodo donde suelen reaccionar con depósitos de oro para formar complejos estables (por ejemplo: causando redisolución del metal depositado). (Murriel, 2003)

2.8.- Diseños alternativos de celdas de electrolisis

El interés por la recuperación de metales a partir de soluciones diluidas ha registrado un incremento en los últimos años debido a que cada vez más exigentes regulaciones ambientales que rigen sobre los efluentes de los procesos industriales. Frente al resto de métodos de tratamiento de efluentes (osmosis inversa, intercambio iónico, precipitación, evaporación, etc.), los procesos electrolíticos ofrecen la ventaja de que se llevan a cabo en una sola etapa, además de que el metal depositado es un producto que se puede comercializar. Sin embargo, las limitaciones de las celdas convencionales, principalmente ligadas a la pobre transferencia de masa, no las hacen aptas para su uso con las soluciones diluidas de los descartes industriales. Estas limitaciones han fomentado el desarrollo de diseños alternativos de celdas de electrólisis que, a la vez que mejoren la transferencia de masa al interior del sistema, permitan obtener altas eficiencias y densidades de corriente.

A pesar de que estos nuevos diseños se realizaron teniendo en mente soluciones diluidas, sus principios se pueden aplicar al diseño de reactores orientados a la EO. De cobre a partir de soluciones provenientes de lixiviación. Dadas las condicionantes mencionadas en el párrafo anterior, los esfuerzos destinados a

la creación de nuevos diseños de celdas se han enfocado principalmente en superar los siguientes aspectos:

- Baja eficiencia de los fenómenos de transporte de masa.
- Baja cantidad de área catódica disponible para la deposición.

Lo que ha llevado al desarrollo de celdas que cumplan con las siguientes

Características:

- 1.- Gran superficie de ánodo y cátodo por unidad de volumen de la celda.
- 2.- Agitación del electrólito.
- 3.- Optimización de la posición relativa de ánodos y cátodos.
- 4.- Simplicidad de diseño.

Adicionalmente, se pueden considerar también como características deseables una baja inversión de capital, bajo costo de operación y uso reducido de mano de obra.

El investigador Roland Kammel (Kammel, 1982) realizó un análisis de algunos nuevos diseños de celdas, a los cuales dividió en celdas concentradoras y celdas de recuperación directa. La característica que las divide es el hecho de que en las celdas concentradoras, el metal depositado se debe recuperar mediante disolución química o un proceso semejante a la electro refinación, debido a que la geometría del cátodo o el espesor que alcanza el depósito no permite separarlo. Por otro lado, y como su nombre lo indica, las celdas de recuperación directa permiten obtener un depósito que es directamente comercializable, ya sea como polvo, escamas o partículas. (Misari, 1993)

2.8.1.- Diseño de las celdas

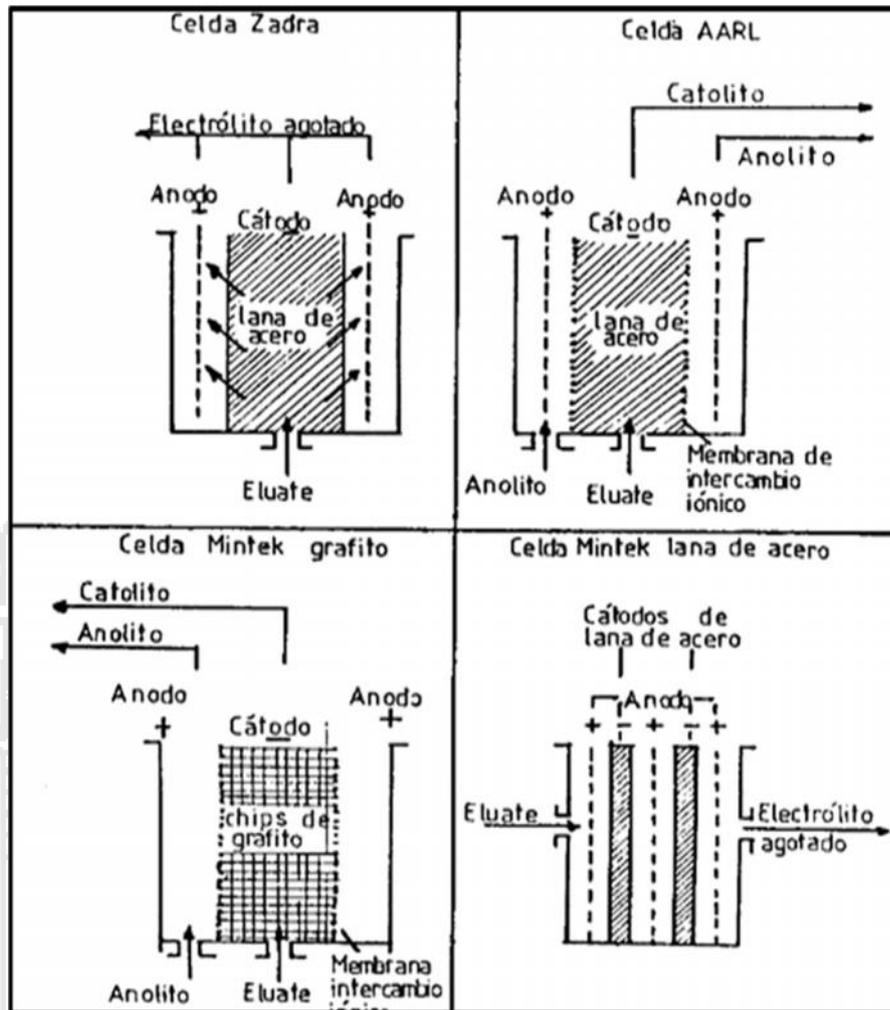
El presente diseño está orientado a la construcción de un módulo de electro obtención en celda circular, está basado para la aplicación en procesos de extracción de oro a nivel de pequeña aurífera por métodos de lixiviación con cianuro y adsorción con carbón activado (CIL, CIC, CIP,) y electrodeposición directa para tal efecto se considera un volumen de 75 litros que abastecerá el proyecto. (Misari, 1993)

2.8.2.- Tipos de celdas electrowinning

Cuatro tipos de celdas han sido usados para el electrowinning del oro de soluciones alcalinas de cianuro: celda AARL, Zadra, celda de grafito NIM y celda y lana de acero Mintek. Todas las celdas electrowinning packed – bed pueden ser clasificados en dos grandes grupos. Las celdas del primer grupo (celdas AARL, Zadra y de grafito NIM) operan con la dirección del flujo del electrolito en ángulos rectos a la dirección del flujo de la corriente. Las celdas del segundo grupo (celda Mintek) operan con la solución y la corriente teniendo direcciones de flujos paralelas. (Chaussard, 1990)

FIGURA N°:2.6

Tipos de celdas utilizadas en electrodeposición de oro



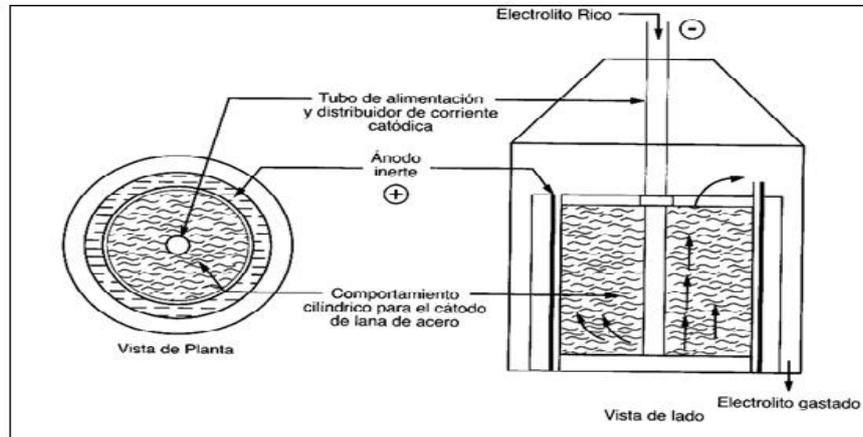
Fuente: Yannopoulos, J.C., The Extractive Metallurgy

2.8.3.- Celda zadra

La primera empleada industrialmente, consiste básicamente en un recipiente cilíndrico con un cátodo central de lana de acero protegido de un cesto de plástico perforado para aislamiento y un ánodo concéntrico de malla de acero inoxidable. La solución de alimentación entra por el centro, siendo distribuida a diferentes alturas del cátodo y abandona la celda por rebose, atravesando el cesto perforado. (Misari, 1993)

FIGURA N°:2.7

Celda zadra



Fuente: Misari, f.s., Metalurgia del oro

2.8.4.- Celda AARL

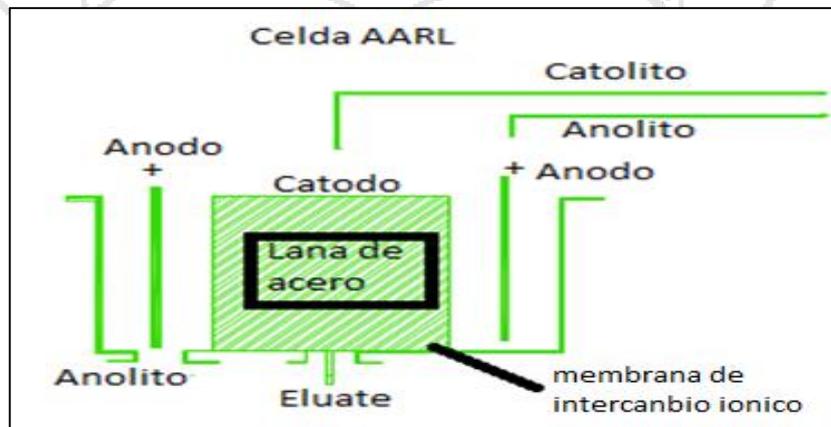
Celda Anglo American Research Laboratory (figura 2.8) es una derivación del diseño zadra. Los compartimientos del ánodo y el cátodo, sin embargo, son separados por una membrana catiónica Du pont “Nafrón”. El anolito consiste de un 10 a 20 % de solución de hidróxido de sodio NaOH.

El material de la membrana es expansivo pero puede ser usado a temperaturas de 85° centígrados. Se expande considerablemente cuando se humedece.

(Misari, 1993)

FIGURA N°:2.8

Celda AARL



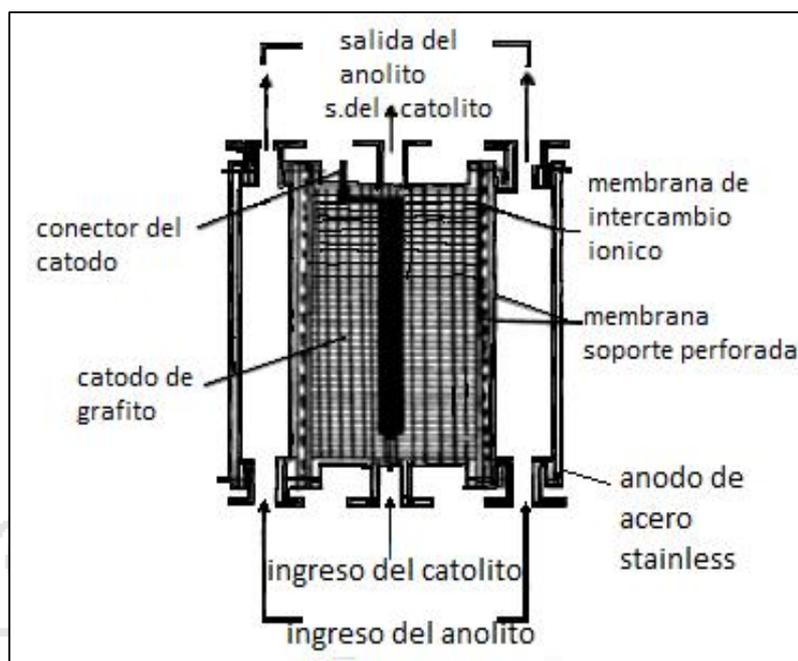
Fuente: Yannopoulos, J.C., The Extractive Metallurgy

2.8.5.- Celda de grafito NIM

La celda de grafito NIM (figura 2.9) es de tipo sandwich comprimiendo un cátodo rectangular central de compartimientos llenados con granulos de grafito. Esto fue separado a partir de los compartimientos del ánodo, sobre el otro lado, por membranas de intercambios catiónico.

El contacto eléctrico para el compartimiento del cátodo fue hecho a través de un rodillo de acero empujado en la cama de grafito. El católito es bombeado por la base de la celda y es desalojado a través de un orificio en el tope. El anolito consiste de un 10% de soda caustica que es continuamente recirculado a través de cada compartimiento del ánodo. Aquellas celdas normalmente operan en modo cíclico. En la etapa inicial el oro líquido de la solución preñado es cargado dentro de un cátodo particular de grafito para producir una solución barren. Cuando suficiente oro es cargado, la polaridad de la celda es revestida y el oro es anódicamente atrapado del grafito en una solución de cianuro de potasio – hidróxido de potasio. Durante la tercera etapa de la operación el oro es enchapado a partir de esta solución sobre hojas de metal iniciales a partir del cual puede ser mecánicamente recuperadas. La tercera operación toma lugar en una pequeña celda enchapadora y suele ser conducida concurrentemente con las otras dos operaciones. Que pueden ser usados durante la electrodeposición de oro que operan más eficiente a temperatura ambiente, que son aquellos corrientemente en uso porque el calentamiento de los volúmenes grandes de solución son costosos. (Yannopoulos, 1991)

FIGURA N°:2.9
Celda de grafito NIM.



Fuente: Yannopoulos, J.C., The Extractive Metallurgy

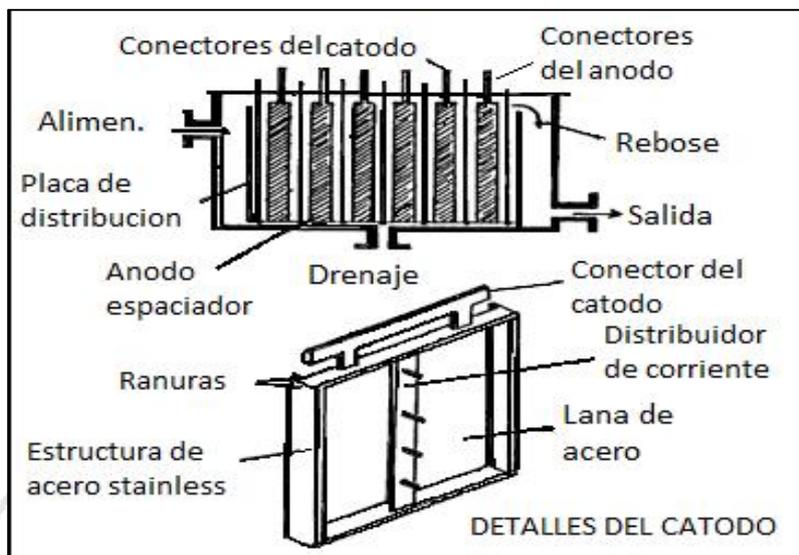
2.8.6.- Celda de lana de acero MINTEK

La celda diseñada por mintek (paúl, 1998) consiste de un tanque de acero inoxidable rectangular conteniendo 6 cátodos canastas y 7 ánodos (figura 2.10). Los cátodos son contruidos de polipropileno y empaquetados con 500 a 1000 gr. de lana de acero. Los ánodos consiste de una malla de acero inoxidable tipo 316L. En donde la solución fluye desde el final del ánodo a través de los ánodos y cátodos alternados y así hasta el final.

La celda tiene dimensiones internas de 900 x 720 x 640 mm, dando un área seccional de 0.46 m² y un volumen de 400 litros. La celda está diseñada para operar a 150 l/min, dando un tiempo de residencia de 3 minutos. La celda arrastra una corriente de 500 a 800 A en un voltaje de 3 a 5 V. de operación en los procesos de la electrodeposición de las soluciones lixiviadas de concentración con alto contenido de metales preciosos como el oro y plata. (Flores, 2001)

FIGURA N°:2.10

Celda de lana de acero Mintek



Fuente: Yannopoulos, j.c., The Extractive Metallurgy

2.8.7.- Rectificador de corriente

Se adquirió un rectificador de corriente con las especificaciones necesarias para el proceso, de electro obtención que tiene una salida graduable de 0 a 10 V, y un amperímetro de 0 a 50 Amperios de trabajo. Alimentación de electricidad de 220 V. de corriente. (Flores, 2001)

FIGURA N°:2.11

Fuente de poder



CAPITULO III

METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION

3.1.- Diseño de investigación

Toda investigación nace por la necesidad de resolver algún problema observado y para poder hacerlo se requiere de conocimientos y habilidades por parte del ingeniero y diseñador, siendo necesario brindar toda la atención con relación al tema que se va a tratar. En función de ello, este trabajo pretende ofrecer una visión amplia sobre las actividades de trabajo que debe hacer el ingeniero.

Basados en conceptos y experiencia, se estudia la información para ser manejada con criterios de diseño,

El estudio presenta distintas fases de diseño que deben aplicarse al proyecto, donde el diseño empieza a tomar forma a medida que avanza el proceso y al mismo tiempo se genera la información previamente efectuada al objeto de cuantificar y controlar su desarrollo.

3.1.1.- Desarrollo del proyecto de investigación

La construcción de la celda de electro - obtención se ha desarrollado en las siguientes etapas:

- cálculo de los parámetros de diseño.
- confección de los planos digitales y utilizando el programa AutoCAD.

- selección de los materiales.
- construcción de las piezas que conforman la celda
- ensamblaje final de la celda de electro- obtención.
- instalación de la celda en el circuito de funcionamiento del proceso.
- pruebas metalúrgicas de funcionamiento.

Por tratarse de un proyecto de evaluación y de construcción de un equipo físico, la mejor manera de presentarlo será mediante la exposición de fotografías de acuerdo al orden antes mencionados, indicando también lo que se cuenta con un funcionamiento para las pruebas metalúrgicas.

3.1.2.- Parámetros de diseño

Teniendo en cuenta la versatilidad de uso, se considera la construcción de una celda tipo tanque circular por su aparente simplicidad en el diseño y construcción, la cual consta de electrodos circulares con variación en su forma y área catódica y anódica previendo la distribución de corriente y potencia uniforme, facilitando la transferencia de materia y flujo de movimiento.

- La capacidad de la celda.
- Geometría de la celda.
- El flujo del electrolito.
- Temperatura.

Estos parámetros son la base del diseño de la celda de electrodeposición.

3.1.3.- Parámetros funcionales

Un adecuado diseño debe satisfacer los requerimientos funcionales, es decir, la celda de electro obtención debe cumplir la función para la cual es diseñada.

Entre los principales requerimientos funcionales se tiene:

La celda de electro obtención debe trabajar de forma continua hasta obtener la capacidad requerida.

El equipo debe de ser de fácil operación, montaje, desmontaje de las partes para que pueda realizarse con comodidad y agilidad.

3.2.- Cálculo de los parámetros de diseño

3.2.1.- Cálculo del volumen del cilindro de celda

$$V = \pi R^2 H$$

$$V = 3.1416 \times (0.0762)^2 \times 0.8$$

$$V = 0.0145 \text{ m}^3$$

$$V = 14.5 \text{ litros}$$

3.2.2.- Cálculo del volumen del ánodo como eje

$$V = \pi R^2 H$$

$$V = 3.1416 \times (0.025)^2 \times 0.8$$

$$V = 0.00157 \text{ m}^3 = 1.5 \text{ litros}$$

3.2.3.- Cálculo del volumen total que ocupa la celda

$$V_{total} = V_{cilindro} - V_{eje}$$

$$V_t = 14.5 \text{ lt} - 1.5 \text{ lt}$$

$$V_t = 13 \text{ litro}$$

3.2.4.- Diseño de electrodos

Bajo la consideración de la eficiencia de proceso está en función de la uniformidad en la transferencia de materia en cada punto del electrodo y siendo el transporte de materia el proceso controlante, se debe garantizar la uniformidad en la distribución de corriente y la densidad en cada una de la sub áreas, para el proceso de electrodeposición del oro, por razones operativas, de diseño de

electrodos tubulares donde predominan la superficie cilíndrico con un 99% de área.

3.2.5.- Cálculo del diseño del ánodo

En función de los parámetros funcionales antes mencionados se tiene los siguientes cálculos.

- **Área del ánodo**

$$A = 2 \times 3.1416$$

$$A = 6.2832$$

3.2.6.- Cálculo del volumen del ánodo

$$V = \pi R^2 H$$

$$V = 3.1416 \times (0.025)^2 \times 0.8$$

$$V = 0.00157 \text{ m}^3$$

$$V = 1.5 \text{ litros}$$

Material: tubo de acero inoxidable del grado 304L de Ø2".

3.2.7.- Cálculo de las dimensiones del ánodo

Material de construcción del ánodo tubo de acero inoxidable del grado 304L.

Diámetro del eje = 5.08 cm

Diámetro del disco = 15.2 cm

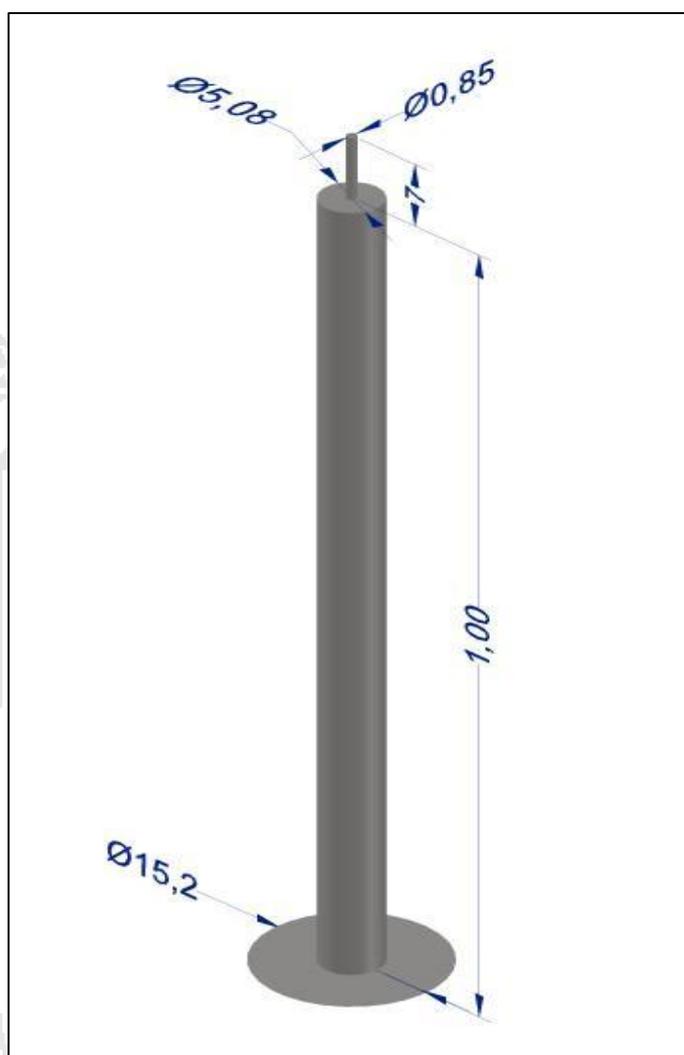
Altura del eje = 80 cm

Diámetro del perno = 0.85 cm

Longitud del perno = 7 cm

FIGURA N°:3.1

Diseño de las dimensiones del ánodo



Fuente: Elaboración propia

3.2.8.- Cálculo de las dimensiones del cátodo

Material plancha rolada de acero inoxidable 304L de 0.04 mm. de espesor.

Dimensiones del cátodo

Diámetro externo = 15.22 cm

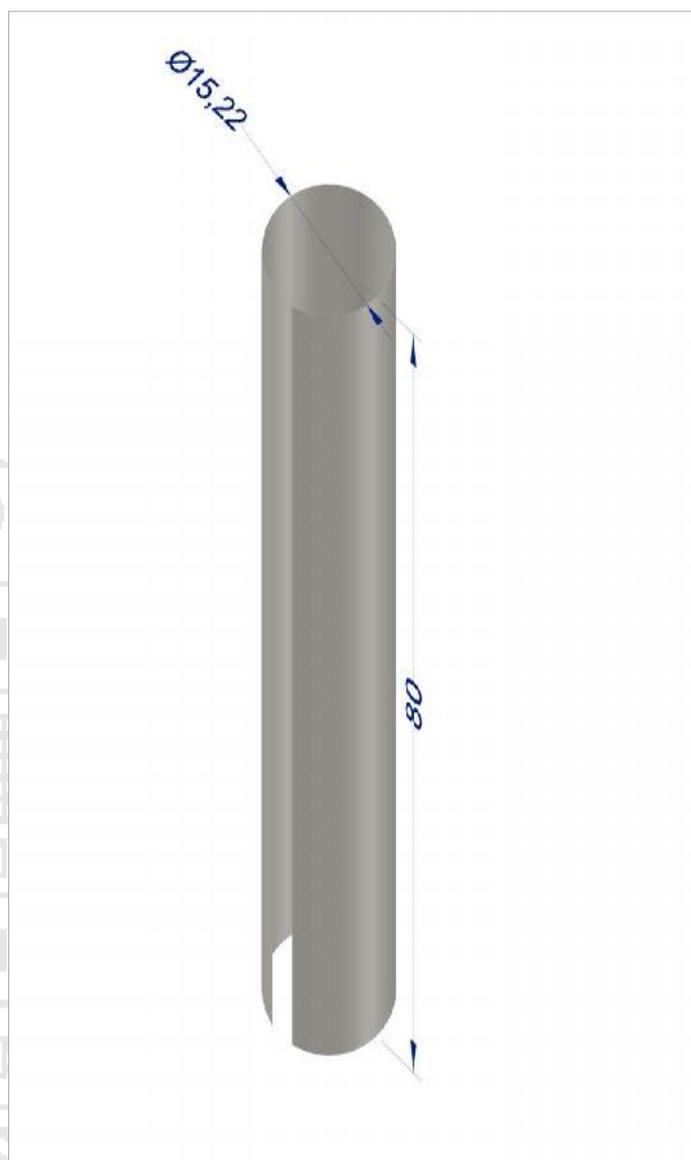
Diámetro interno = 15.18 cm

Radio = 7.59 cm

Altura = 60 cm

FIGURA N°:3.2

Diseño de las dimensiones del cátodo



Fuente: Elaboración propia

3.2.9.- Capacidad de la celda

La capacidad de la celda de electro obtención es de 13 litros, y una separación entre ánodo y cátodo de 5cm. Con ánodos y cátodos en formas verticales con un funcionamiento de 85 litros de solución de aurocianuro con una concentración de oro 120 miligramos por litro.

3.2.10.- Características de flujo de alimentación

De los cálculos desarrollados y de los diseños aplicados se presenta un resumen de las especificaciones técnicas importantes.

Flujo de alimentación de la solución 6 lts/min.

Temperatura del electrolito 18°C.

Concentración de electrolito 120 ppm.

3.2.11.- Especificaciones técnicas del equipo

Tipo de tanque : cilíndrico

Dimensiones : diámetro de 6" por 0.80 mt. De altura

Nº de electrodos : ánodo 01 y cátodo 01

Flujo de la solución : constante

Materia de cilindro : PVC esquema 80

Material de electrodos : acero inoxidable 304L

Tiempo de residencia : 4 - 5 minutos

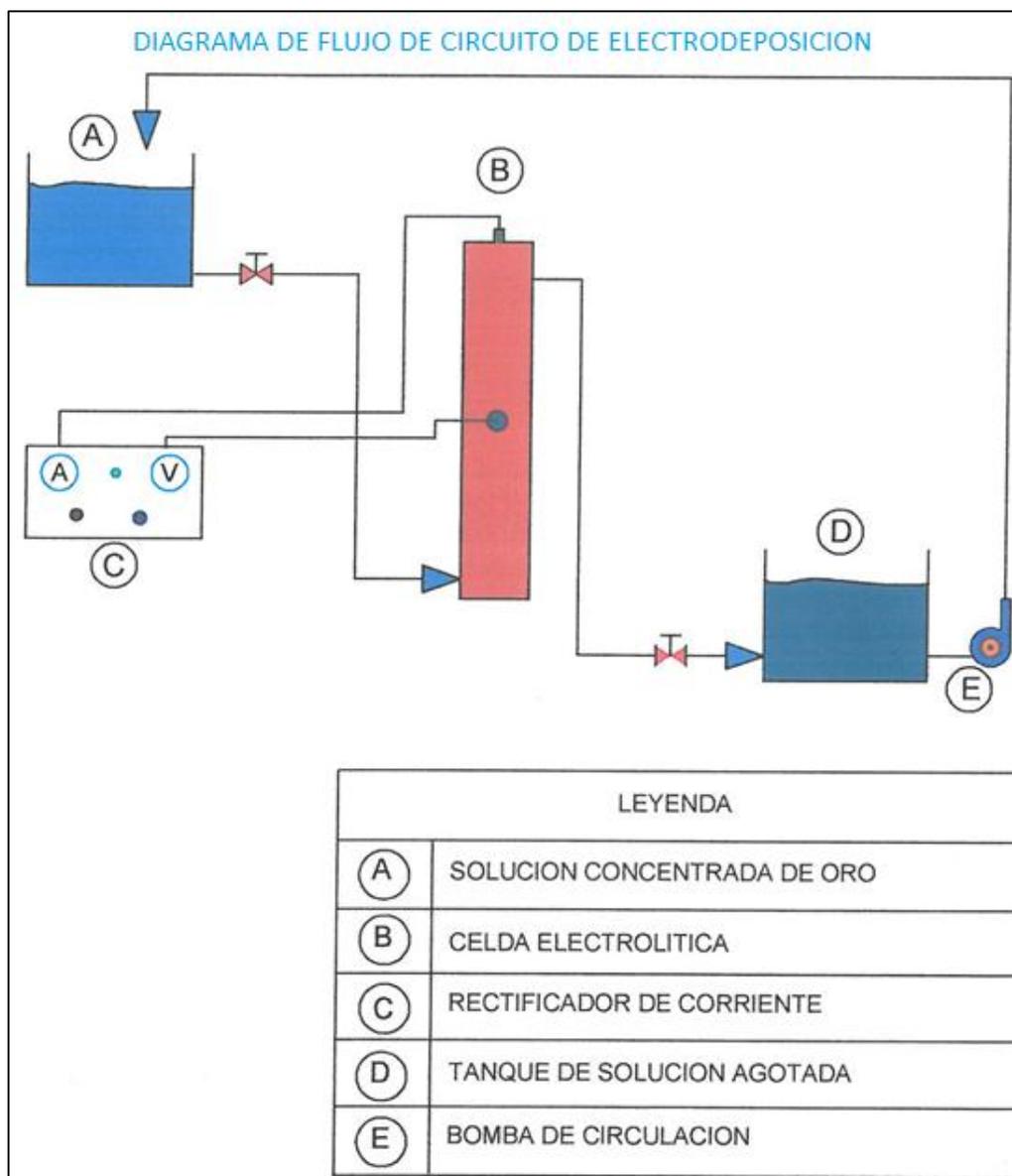
Compartimiento de electrodos : tubo perforado Ø3"

3.2.12.- Diagrama de flujo de proceso

A continuación en la figura (3.3) se presenta el diagrama de flujo del proceso de electrodeposición continua en circuito cerrado.

FIGURA N°:3.3

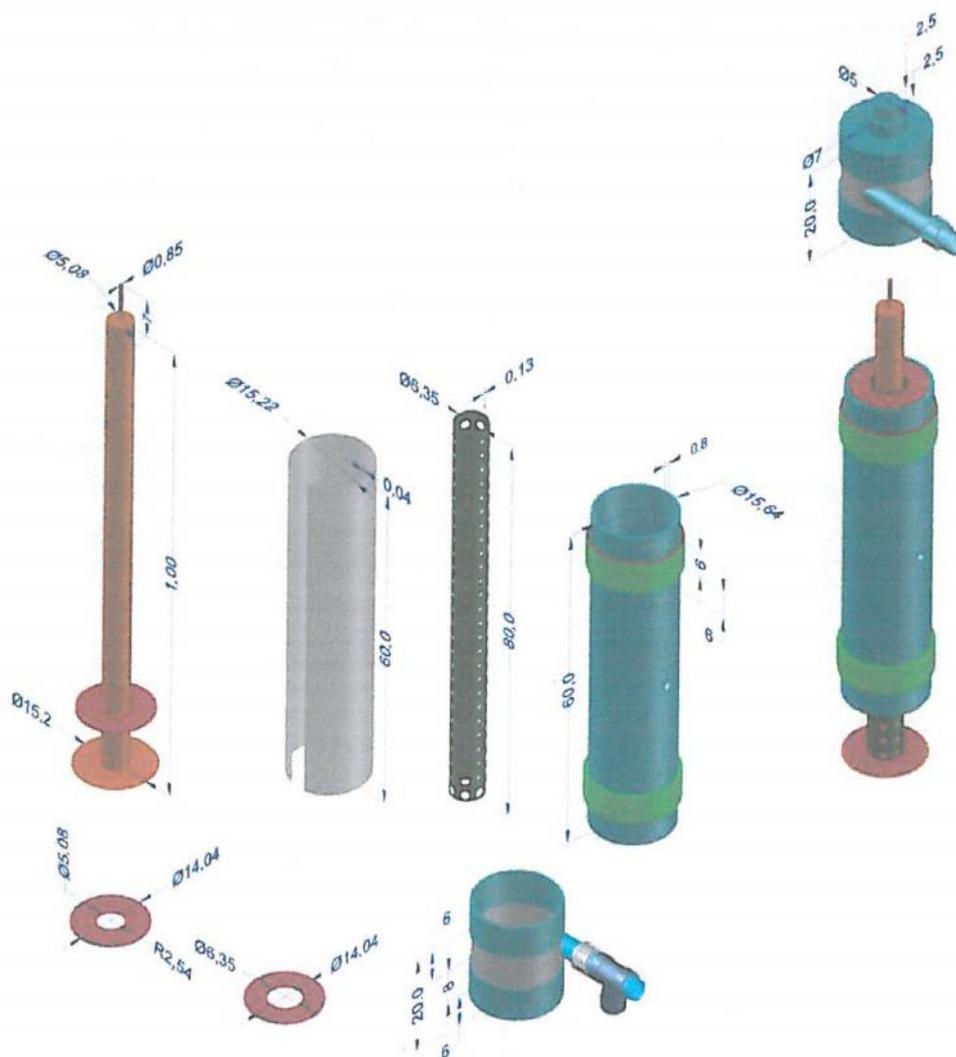
Diagrama de flujo circuito de electrodeposición



3.3.- Confección de los planos digitales

De las consideraciones expresadas y de rigurosidad en la elaboración de los planos, se optó por la selección de los materiales con las especificaciones de funcionamiento en su proceso.

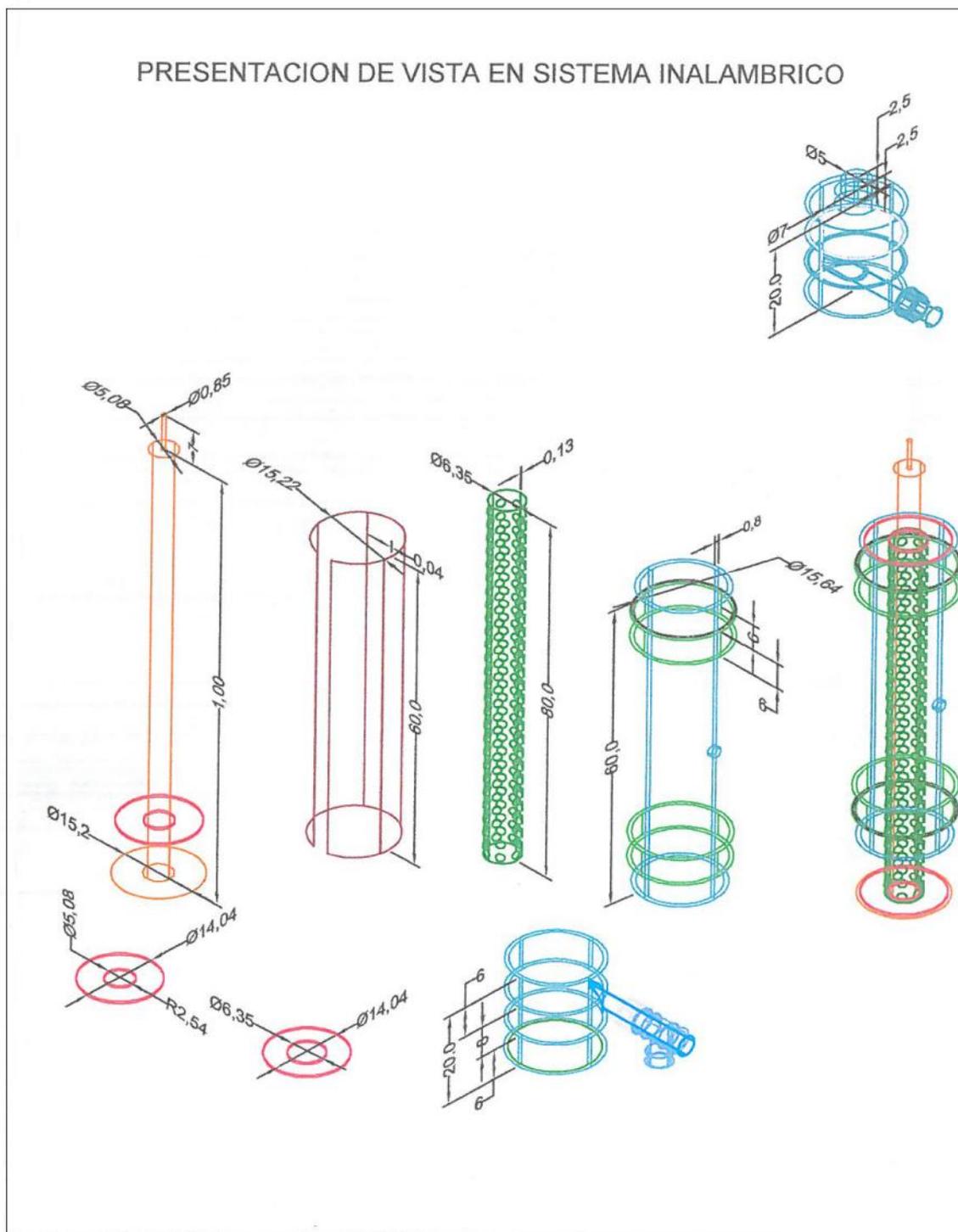
DIMENSIONES DE LA CELDA DE ELECTRODEPOSICION



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

PROYECTO: EVALUACION DE LOS PARAMETROS PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA CELDA DE ELECTRO OBTENCION PARA RECUPERAR ORO		UNIDADES cm
DISEÑO: SIMON CRUZ ORTEGA	FECHA: 28/12/2014	ESCALA: 1:1
DIBUJO: SIMON CRUZ ORTEGA	APROBO:	LAMINA: 01 DESCRIPCION: DIMENSIONES DE LA CELDA DE ELECTRODEPOSICION

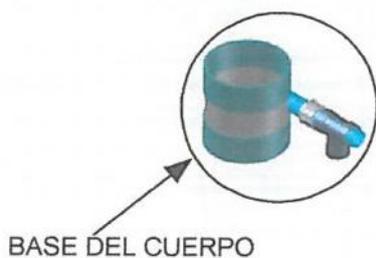
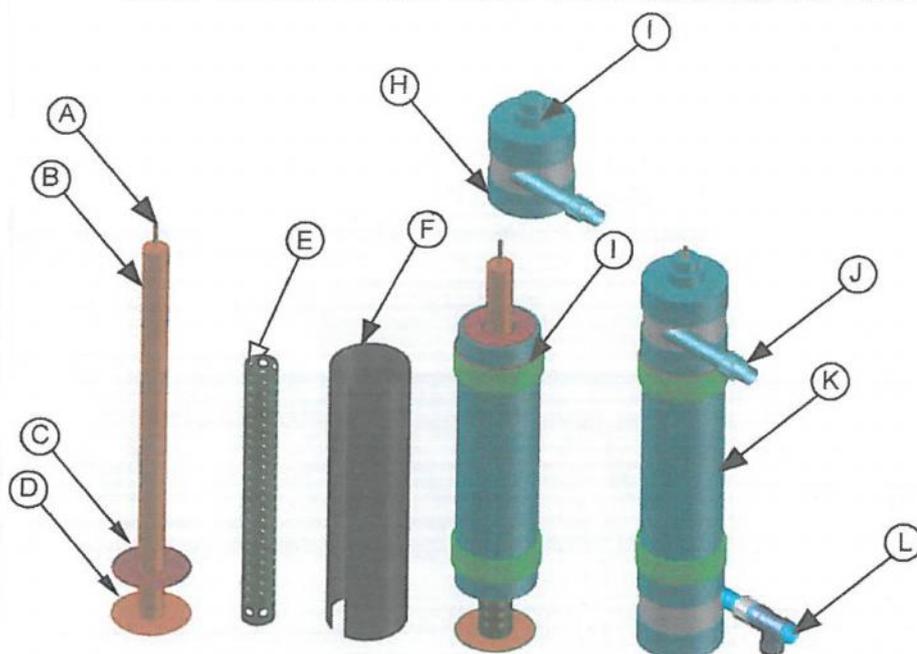
PRESENTACION DE VISTA EN SISTEMA INALAMBRICO



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

PROYECTO: EVALUACION DE LOS PARAMETROS PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA CELDA DE ELECTRO OBTENCION PARA RECUPERAR ORO		UNIDADES cm
DISEÑO: SIMON CRUZ ORTEGA	FECHA: 28/12/2014	ESCALA: 1:1
DIBUJO: SIMON CRUZ ORTEGA	APROBO:	LAMINA: 02
DESCRIPCION: PRESENTACION DE VISTA EN SISTEMA INALAMBRICO		

COMPONENTES DEL EQUIPO DE ELECTRODEPOSICION



LEYENDA

(A)	PERNO DE ACERO INOX 304L 3/4"
(B)	CATODO DE ACERO INOX 304L Ø 2"
(C)	DISCO DE PVC Ø 6"
(D)	DISCO PRENSA DE ACERO INOX Ø 6"
(E)	TUBO PERFORADO DE COMPARTIMIENTO Ø3"
(F)	CATODO DE ACERO INOX 304L Ø6"
(G)	GOMAS DE JEBE Ø3" Ø2"
(H)	TAPA DEL CUERPO
(I)	ANILLOS DE GOMA
(J)	TUBO DE DESCARGA DEL ELECTROLITO Ø3/4"
(K)	CONTENEDOR DE PVC Ø6"
(L)	ENTRADA DE LA SOLUCION ELECTROLITICA

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

PROYECTO: EVALUACION DE LOS PARAMETROS PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA CELDA DE ELECTRO OBTENCION PARA RECUPERAR ORO

DISEÑO: SIMON CRUZ ORTEGA	FECHA:	28/12/2014	ESCALA: 1:1
DIBUJO: SIMON CRUZ ORTEGA	APROBO:	LAMINA: 04	DESCRIPCION: COMPONENTES DEL EQUIPO DE ELECTRODEPOSICION

<p>TOP</p> 	<p>PRESENTACION DE VISTAS ISOMETRICAS EN 3D</p>  <p>SW ISOMETRICO</p>	
<p>LEF</p> 		
<p>FRONT</p> 		
<p>UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO</p>		
<p>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA METALURGICA</p>		
<p>PROYECTO: EVALUACION DE LOS PARAMETROS PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA CELDA DE ELECTRO OBTENCION PARA RECUPERAR ORO</p>		
<p>DISEÑO: SIMON CRUZ ORTEGA</p>	<p>FECHA: 24/08/2015</p>	<p>ESCALA: 1:1</p>
<p>DIBUJO: SIMON CRUZ ORTEGA</p>	<p>LAMINA: 04</p>	<p>DESCRIPCION: PRESENTACION DE VISTAS ISOMETRICAS EN 3D</p>

3.3.1.- Selección de los materiales

Teniendo en cuenta que en los procesos de electro- síntesis, generalmente se emplean disolventes de alta reactividad y ello genera cambios térmicos que facilitan la movilidad iónica y por ende la síntesis del proceso; la necesidad de uso de materiales adecuados, teniendo en cuenta estos factores y especialmente por el costo; se eligió el uso de tubos de PVC materiales de aceros inoxidable del tipo 304L y sus aditivos de elaboración.

Los costos es un factor muy importante en el campo constructivo, como también la adquisición de materiales en el mercado local de los dispositivos a utilizar.

La seguridad para el manejo del operario, para evitar cualquier accidente.

3.3.2.- Materiales para la construcción de la celda

Los materiales para la construcción de la celda de electrodeposición se escogieron en base a los parámetros y criterios antes mencionados como también la inspección visual en otro tipo de equipo similar.

3.3.3.- Material acero inoxidable del grado 304L

En todas estas instalaciones los aparatos que están en contacto directo con la solución en fase a tratamiento son de acero inoxidable del grado 304L AISI 304 empleándose ampliamente en la fabricación de equipos para pulpa y papel, intercambiadores de calor, equipos de desarrollo fotográfico, plantas de fabricación de quesos, yogurt, depósitos para la fermentación de vino, tanques de agitación, Procesos de galvanizado procesos de electrodeposición de oro cobre Etc.

Composición química del acero inoxidable del grado 304L

%C 0.30 máx.

%Mn 2

%Cr 18 – 20

%Ni 10 -12.5

3.3.4.- Parámetros para la construcción

Los parámetros fundamentales que se tomaron en cuenta para la construcción de la celda de electro obtención son diámetro de la celda de electro obtención, altura de celda, espaciamiento entre electrodos, dimensiones del cátodo y ánodo, distribución de flujo de solución, concentración del electrolito.

3.3.5.- Criterios de selección de una celda

Los principales criterios abordados para la selección y diseño de una celda electroquímica que pueda responder a las exigencias de trabajo a nivel laboratorio y también a nivel industrial son la simplicidad operativa a costos reducidos, la fiabilidad de mantenimiento y funcionamiento relacionados al espacio y tiempo, la versatilidad para adecuarse a diferentes procesos de electrosíntesis considerando la capacidad y eficiencia del proceso.

Nuestro diseño contempla partes móviles para modificar el volumen del electrolito. Finalmente, es de considerar los costos de fabricación y mantenimiento, atendiendo la versatilidad deseada.

3.3.6.- Geometría de la celda y electrodos

Las celdas multifuncionales son del tipo cilíndrico la velocidad lineal del electrolito en su interior, considerando que a mayor velocidad lineal es mayor el coeficiente de transferencia de materia para una sección transversal determinada, la velocidad lineal en función directa del caudal de flujos de entrada y salida, así como los promotores de turbulencia entre los electrodos permitirá generar vórtices en el electrolitos para mejorar el coeficiente de transferencia de materia.

La geometría de los electrodos importa para obtener la relación de área electroda y volumen de electrolito en el interior de la celda. Teniéndose preferencia por las celdas para un proceso de electro obtención.

3.3.7.- Transferencia de materia

Los mecanismos de transporte de materia pueden ocurrir: por migración, debido a la existencia del campo eléctrico; por difusión, debido a la diferencia de concentraciones entre la disolución y la interface electrodo disolución; y por convección, a consecuencia de la aplicación de una fuerza mecánica externa. Esta fuerza gobierna el proceso de transferencia de materia, ya sea por convección forzada. La convección libre es consecuencia de la velocidad del fluido, que resulta de variaciones en su densidad causada por diferencia de concentraciones, la convección forzada que resulta de la agitación de la disolución electrolítica.

3.4.- Procedimiento y construcción

La construcción de la celda de electro obtención se debe realizar en un taller mecánico industrial, en donde existan todos los equipos necesarios para la construcción de los elementos que conforman el equipo.

Los elementos que conforman el equipo se los construye de acuerdo con los planos de taller.

Un factor importante que se debe tomar en cuenta es el de obtener en el mercado local la materia prima, y los elementos que conforman la celda de electro obtención.

3.4.1.- Requerimientos para la construcción

Para realizar la construcción de cada uno de los elementos que conforman la celda de electro obtención se requiere: maquinas, equipos, herramientas, materiales, etc. Los que se detallan a continuación:

3.4.2.- Equipos

- Máquinas y equipos.
- Herramientas.
- Instrumentos de medición.
- Materia prima.
- Elementos normalizados.
- Elementos seleccionados.
- Elementos a construir.
- Hojas de proceso.

Los procesos de construcción del equipo puede realizarse en cualquier taller que tenga los equipos básicos; no es necesario contar con equipos de alta tecnología; la construcción para el equipo básicamente incluye proceso de corte, rolado, soldadura, doblado.

3.4.3.- Máquinas y equipos

- Dobladora.
- Pipeta de 5ml.
- Esmeril.
- Soldadora tig.
- Taladro.
- Soporte universal.

3.4.4.- Herramientas

- Brocas 1/2".
- Limas.
- Martillo.
- Llaves.
- Sierra de arco.
- Tijera de cortar metal.

3.4.5.- Instrumentos de medición y verificación

- Calibrador pie de rey.
- Compas.
- Flexómetro.

3.4.6.- Materia prima

- Plancha de acero inoxidable ASTM 304L 1220 x 2440 x 0.5mm.
- Tubos de acero inoxidable ASTM 304L diámetro 2 pulgadas.
- Tubos de PVC \varnothing 6".
- Tubos de PVC \varnothing 2.5".
- Anillos de goma para tubos de PVC 6".
- Llaves de paso de 3/4".
- Niples.
- Tee de 3/4".
- Codos de PVC de 3/4".
- Pegamento para PVC.
- Reductor de 3/4" a 1/2".

3.4.7.- Elementos normalizados

- Tornillos.
- Arandelas planas.
- Arandelas de presión.
- Pernos.
- Tuercas.

3.4.8.- Hojas de proceso

Para la construcción de la celda de electro obtención, es necesario disponer de los procedimientos de fabricación de los diferentes elementos a construirse.

Como por ejemplo: diámetros de cortes, medidas.

3.4.9.- Construcción de las piezas que conforman el equipo de electrodeposición

Según el diseño se ha construido una celda cilíndrica de 0.80 mt. De altura y 6 pulgadas. De diámetro en PVC esquema 80.

Las fotografías siguientes muestran los procesos constructivos del equipo.

FIGURA N°:3.4

Construcción de piezas que conforman el equipo



3.4.10.- Procedimiento de montaje

Para realizar el montaje de la celda se considera la construcción previa de las respectivas estructuras, ánodos cátodos, pernos malla de compartimiento y demás elementos propios de cada equipo: teniendo en cuenta las especificaciones establecidas en los planos de construcción.

3.4.11.- Procedimiento de montaje de la celda de electro obtención

A continuación se presenta la manera de secuencia de montaje de los diversos elementos constitutivos de la celda de electrodeposición.

3.4.12.- Montaje de la estructura de la celda de electrodeposición

Seguir las especificaciones establecidas en el plano y hojas de proceso, realizando los cortes a medidas implantadas, ejecutando los principales componentes que conforman el equipo, comprobando en cada uno de estos pasos las dimensiones. Paralelismo y estabilidad.

3.4.13.- Montaje de la estructura y partes que conforman el equipo de electrodeposición

Colocar respectivamente al interior del cuerpo donde son alojados todos los componentes y partes principales que conforman, el equipo de electrodeposición.

FIGURA N°:3.5

Electrodos ánodo y cátodo que conforman el equipo



FIGURA N°:3.6

Montaje del ánodo y cátodo



FIGURA N°:3.7

Montaje de compartimiento de celda entre ánodo y cátodo



FIGURA N°:3.8

Armado completo del equipo de electrodeposición



3.4.14.- Verificación de los componentes principales

Se debe verificar varios componentes, como se muestra en la tabla 3.1 que por su importancia en el funcionamiento, requieren ser probados antes de iniciar el trabajo.

TABLA N°:3.1

Verificación de los componentes principales

VERIFICACION DE LOS COMPONENTES PRINCIPALES			
ELEMENTOS	FUNCIONAMIENTO		
	BUENO	REGULAR	MALO
Caudal de flujo	BUENO	REGULAR	MALO
Intensidad y corriente	bueno	-	-
Bomba de agua	bueno	-	-
Electrodos	bueno	-	-
Conexiones de celda	bueno	-	-

Fuente: Elaboración propia

3.5.- Ejecución de procedimientos

Para la ejecución de procedimientos se debe tener información del equipo construido; dicha información es proporcionada por:

- Planos de taller y montaje.
- Hojas de proceso, y
- Procedimientos de construcción y montaje.

La ejecución y procedimientos se realizan para poner en funcionamiento el circuito de proceso, y verificar el cumplimiento de la intensidad y la corriente de funcionamiento de cada elemento que conforma el equipo.

CAPITULO IV

PRUEBAS EXPERIMENTALES

4.1.- Parámetros de las pruebas de electrodeposición

Según los parámetros establecidos, se realizan pruebas en una celda tubular originando así un circuito de electrodeposición continuo de oro y plata cargado en la solución lixiviada de 120 ppm.

El circuito al contar con la celda y tanque de solución lixiviada, está provisto con una celda electrolítica tubular de PVC con capacidad de 13 litros y conectados a un rectificador de corriente.

Las celda electrolítica tiene un ánodo y un cátodo construido con plancha de acero inoxidable, recubierto con lana de acero inoxidable ambos ánodo (+) y cátodo (-) están conectados al rectificador el cual brinda corriente y voltaje promedios de 0 a 50 Amperios y 0 a 10 voltios respectivamente.

4.1.1.- Solución lixivante

En el circuito descrito, la solución lixiviada de 50 litros pasa a través de la celda electrolítica donde la solución es extraída de sus metales preciosos por electrolisis. La solución estéril (barren) resultante es retornada en circuito cerrado.

4.1.2.- Ensayos de electrodeposición

La electrolisis de oro a partir de una solución impregnada (rica) de 120 ppm de oro en promedio proveniente de la cianuración será conocer el comportamiento al variar el amperaje, voltaje y el uso de la lana de acero.

Los terminales del adaptador de corriente (-) y (+) son conectados al cátodo y ánodo respectivamente. Luego se suministra corriente mientras la solución rica circula en circuito cerrado.

Donde se realizara toma de muestras periódicas para medir la concentración de oro de la solución circulante.

Los ensayos se realizan con la finalidad de conocer las condiciones del circuito al variar parámetros de concentración de NaCN. Para tal efecto pH metro y otros instrumentos como medidor de temperatura (0° - 50°C), probetas, pipetas, pizetas, soporte universal, y los reactivos utilizados para la determinación del cianuro libre en la solución.

4.1.3.- Pruebas de funcionamiento

Una vez concluida la instalación de equipo de electrodeposición, se procedió a realizar las pruebas de funcionamiento de acuerdo a un programa, este se inició con el chequeo de los componentes mecánicos y eléctricos en funcionamiento, luego se pasó a operar el equipo con una solución lixiviada de 50 litros de solución rica de 120 ppm durante 20 horas consecutivos y se verifico el buen estado del equipo en sus aspecto mecánico y eléctricos.

- Control de dimensiones.
- Pruebas de funcionamiento en vacío.
- Pruebas de funcionamiento con carga.
- Capacidad.

- Caudal de flujo.
- Inspección visual.

4.1.4.- Diseño y armado de la celda electro obtención

Una vez realizado el análisis de los elementos de diseño que se deben considerar.

- La celda para cumplir los objetivos propuestos, se procedió a realizar el ensamblado de acuerdo al diseño.
- La celda debe constar de compartimentos entre el ánodo y cátodo respectivamente.
- El material seleccionado para construir los compartimentos que conforman la celda es de material PVC de Ø3" con agujeros de 1Cmt. de diámetro alrededor del cilindro.

De este modo se construyeron el compartimiento para ánodo y cátodo de forma cilíndrica, cuyas dimensiones son de Ø3" con una altura de 0.80cm.

FIGURA N°:4.1

Diseño y armado de la celda de electrodeposición



4.1.5.- Desarrollo y resultados de pruebas experimentales en la electrolisis

Los objetivos de esta etapa de investigación son dos: primero verificar el correcto funcionamiento de la celda construida, tanto desde el punto de vista de las piezas como los resultados de electro obtención. El segundo objetivo es definir algunas Condiciones experimentales que sirvan como referencia para todos los experimentos a realizar posteriormente la cantidad del electrolito es de 150 litros. La lista de parámetros a definir para la realización de este experimento fueron los siguientes:

Caudal de recirculación de electrolito (L/min)

Temperatura del electrolito (°C)

Densidad de corriente (A/m²)

Duración de la prueba (h)

Composición del electrolito (mg/lit.)

4.1.6.- Parámetros de la electrodeposición

La celda electrolítica tiene un ánodo y cátodo contruidos de acero inoxidable del grado 304L. Esto además recubierto con lana de acero.

En el circuito descrito, la solución lixiviada es recirculada en circuito continuo durante 20 horas con una Temperatura del electrolito de 17 a 18°C.

En lo siguiente se presentan los parámetros operacionales usados para llevar acabo el experimento de prueba:

- Ánodo eje de acero inoxidable del grado 304L.
- Electrolito conductor entre ánodo y cátodo.
- Caudal de recirculación 13 lit/min.
- Voltajes aplicados 2V, 2.3V, 2.5V.
- Densidad de corriente 6.667A/cm².

- Cantidad de la solución lixiviada 150 litros.
- Concentración del electrolito 120 ppm.

4.1.7.- Condiciones para las pruebas de electrodeposición

Para realizar las pruebas de La electrolisis de oro a partir de una solución impregnada (rica) de 120 ppm de oro promedio proveniente de la cianuración fue investigada con el objeto de conocer el comportamiento al variar voltaje amperaje, aplicado en el proceso de electrodeposición.

TABLA N°:4.1
Concentración de soluciones utilizadas

	(%)	(%)
NaCN	1.2	0.12
NaOH	1.4	1.4
PH	>12	>12
T°C	17-18°	17-18°

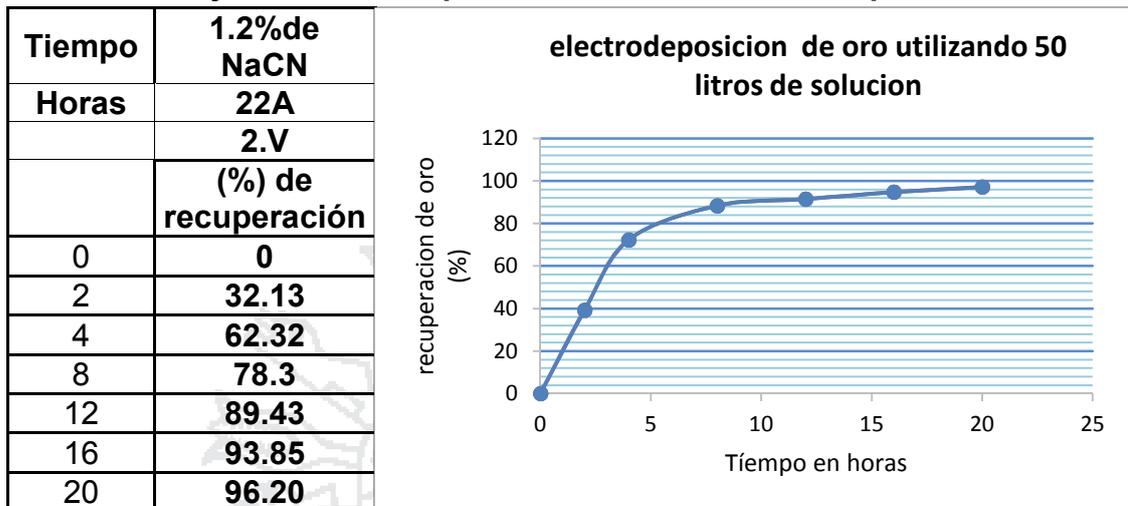
Fuente: Elaboración propia

Prueba N°1

En este conjunto de pruebas se mantuvieron fijas las concentraciones de cianuro e hidróxido en un electrolito de 50 litros con una concentración de cianuro de sodio de 1.2% y 1.4% de hidróxido de sodio respectivamente la variación que se hizo fue del voltaje operando con promedios de 2V .2.3V Y 2.6 voltios en lo posible se trató de mantener el amperaje de 22.A pero se aprecia un mínimo aumento a medida que se aumentaba el voltaje, en la figura 4.2 se presenta la curva de recuperación de oro por electrodeposición, uno de las cuales, al realizar a un voltaje de (2 V) indica una lenta recuperación desde su inicio hasta alcanzar el 96.20% a las 20 horas.

FIGURA N°:4.2

Porcentaje de Electrodeposición de oro versus tiempo de 22A



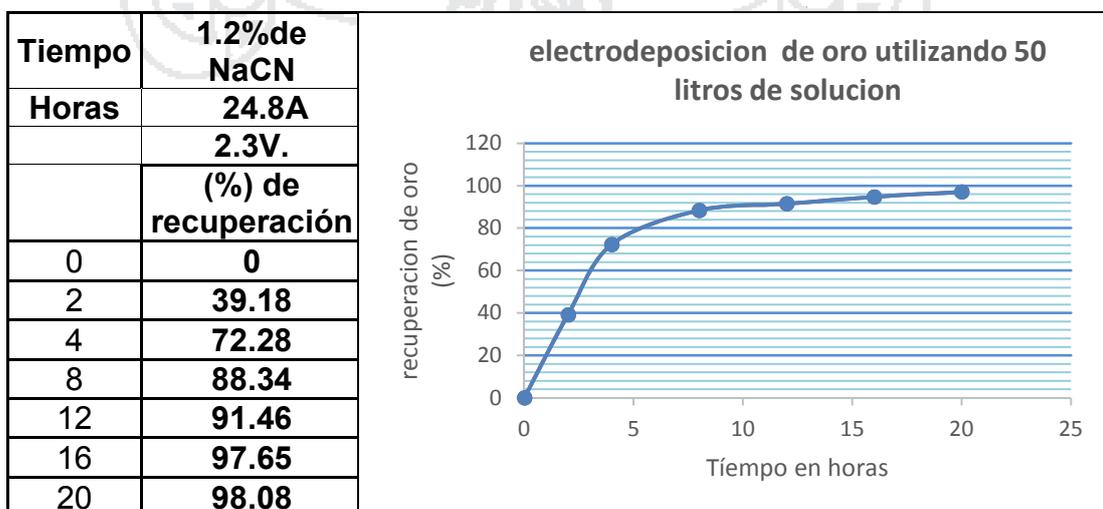
Fuente: Elaboración propia

Prueba N°2

Se realizó una segunda prueba con una solución lixiviada de 50 litros variando de igual manera el voltaje de 2.3 voltios donde se nota un incremento del amperaje de 24.8 amperios, en la figura 4.3 se muestra la recuperación y rapidez con la que va aumentando, dando una recuperación de 98.08% basándose en la descripción de estas pruebas a diferencia de la prueba N°1 que va aumentando la recuperación en el proceso.

FIGURA N°:4.3

Porcentaje de Electrodeposición de oro versus tiempo a 24.8A



Fuente: Elaboración propia

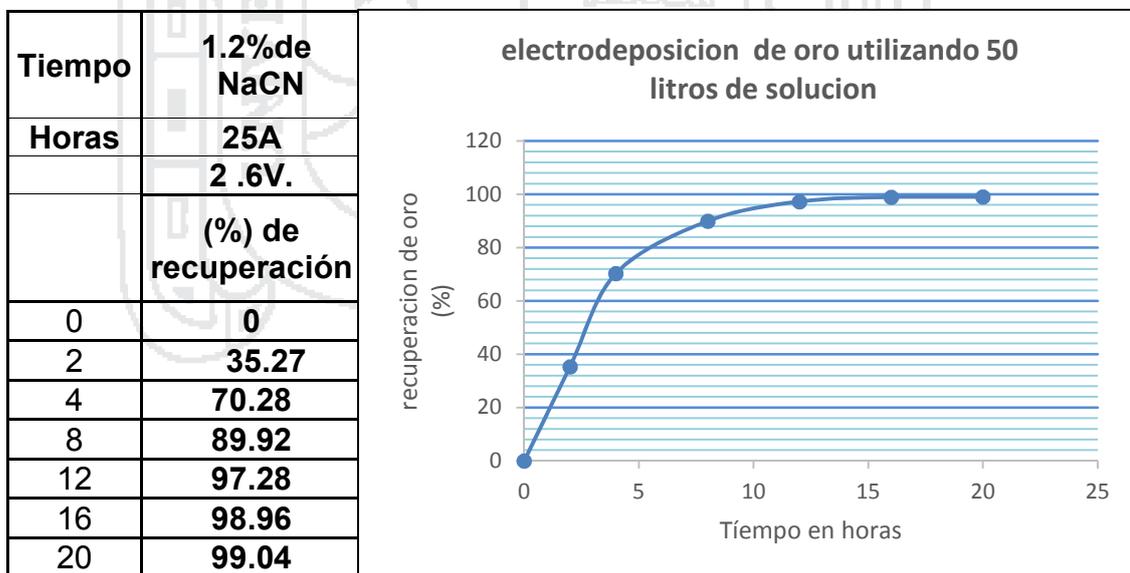
Prueba N°3

Se realizó una tercera prueba con un electrolito de 50 litros de solución lixiviada variando de igual manera el voltaje de 2.6 voltios, y aumentando el amperaje. Pero en esta ocasión la que mejor se comporta tanto en rapidez y recuperación final es de 2.6 voltios, dando un 99.04% de recuperación.

Basándose en la descripción de estas pruebas se determina que se obtiene una excelente recuperación de 99.04% de recuperación cuando se incrementa el amperaje y se opera con un voltaje de 2.6V sin embargo, por efectos de consumo excesivo de corriente se sugiere no exagerar con el incremento de amperaje, para alcanzar una buena recuperación,

FIGURA N°:4.4

Porcentaje de Electrodeposición de oro versus tiempo de 25A.



Fuente: Elaboración propia

CAPITULO V

ANÁLISIS ECONÓMICO DEL PROYECTO

5.1.- Introducción

El análisis económico, tiene por objetivo determinar el monto de los recursos económicos necesarios para la realización del proyecto.

El análisis económico se lo realiza tomando en cuenta los costos directos y los costos indirectos.

Para determinar el costo total directo se considera los costos parciales de:

- Materiales directos.
- Elementos normalizados.
- Costos de soldadura.
- Costos de montaje.

De manera similar para determinar el costo total indirecto se considera los costos parciales de:

- Materiales indirectos.
- Costos de ingeniería.
- Gastos imprevistos.

Para determinar el costo total de la celda de electro obtención se suma el total de los costos directos con los costos indirectos.

5.2.- Costo de la construcción de la celda de electro obtención

Para realizar el análisis es preciso cotizar los precios de todos los componentes que se utilizan en el desarrollo del equipo, como también todos aquellos agentes directos e indirectos que intervienen en la fabricación del mismo. (Jara, 2000)

5.2.1.- Componentes de la unidad de celda de electro obtención

- Estructura.
- Ánodo.
- Cátodo.
- Compartimientos.
- Anillos de goma.
- Empaquetadura de goma.
- Pernos, tuercas, arandelas.

5.2.2.- Personal requerido para la construcción del equipo celda de electro obtención

Para la construcción del equipo se requiere personal hábil y con conocimientos en máquinas y equipos, como también en procesos de producción, para el uso adecuado de las mismas.

- Soldador.
- Doblador.
- Ensamblador.
- Otros operarios.

5.3.- Costos directos

5.3.1.- Costos de materiales directos

Se denomina materiales directos a la materia prima que se utiliza para construir los elementos que conforman el equipo. Los costos de los materiales directos se indican en la tabla 5.1

TABLA N°:5.1
Costos de materiales directos

COSTO DE MATERIALES DIRECTOS			
MATERIALES	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO PARCIAL S/.
Plancha de acero 1220x240x0.4mm	1	65.00	65.00
Tubo de acero inox 304L Ø 2"	1	48.00	48.00
Tubo de PVC diámetro 6"	1	75.00	70.00
Tubo de PVC diámetro 2.5"	1	12.00	12.00
Perno de acero inoxidable 0.75"	2	2.50	5.00
Perno de acero inox 3/8" x 2.1/2	2	3.00	6.00
Unión universal	3	4.50	13.5
Codos de 3/4"	5	3.00	15.00
Llaves de paso 3/4"	2	10.0	20.00
Tubo de agua 3/4"	1	16.0	16.00
Niples	5	2.0	10.00
Anillos de goma de 3/4"	2	12.00	24.00
Cinta teflón	8	1.50	12.00
Pegamento de PVC	1	9.50	9.50

Empaquetaduras de goma	2	5.00	10.00
Reductor de PVC de 3/4" a 1/2"	1	4.00	4.00
Tee 3/4" PVC	1	4.00	4.00
Reductor de PVC de 1" a 3/4"	3	2.50	7.50
Fuente: Elaboración propia			S/. 351.50

5.3.2.- Costos de maquinado

Este costo tiene que ver con el valor respecto a la mano de obra directa empleada en las maquinas herramientas y equipamiento eléctrico. Los costos de maquinado se presentan en la tabla 5.2.

TABLA N°:5.2
Costos de maquinado

COSTO DE MAQUINADO Y MANO DE OBRA			
PROCESO	TIEMPO	COSTO /HORA	COSTO TOTAL S/.
Cortado	0.30	15	4.50
Soldadura	0.40	135	54.00
Colado	0.25	15	3.75
TOTAL			S/. 62.25

Fuente: Elaboración propia

5.3.3.- Costo de montaje

Los costos de montaje están relacionados con la mano de obra necesaria para el armado y ensamblado de cada una de las partes del equipo. Para el montaje,

se considera el trabajo de 1 persona durante 2 días a un costo de 50 s/.diarios por trabajador, resultando un costo total de S/.100.

5.3.4.- Costo directo total

En la tabla 5.3 se indica la cantidad total del costo directo.

TABLA N°.5.3
Costo directo total

COSTO DIRECTO TOTAL DE LA CELDA DE ELECTRO OBTENCIÓN	
Componente del costo	VALOR S/.
Costo de materia prima	351.50
Costo de maquinado y mano de obra	62.25
Costo de montaje	100.00
SUB TOTAL	S/. 513.75

Fuente: Elaboración propia

5.3.5.- Costo de equipo rectificador

TABLA N°:5.4
Costo de equipo rectificador

COSTO DE EQUIPO RECTIFICADOR DE CORRIENTE			
Equipo	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO TOTAL S/.
Rectificador de corriente	1	1500.000	S/. 1500.000

Fuente: Elaboración propia

5.4.- Costos indirectos de fabricación

Los costos indirectos corresponden a los gastos generales necesarios para la ejecución de trabajos no incluidos en los costos directos, y también los costos indirectos.

5.4.1.- Costos de materiales indirectos

Los costos de materiales indirectos se muestran en la tabla

TABLA N°:5.5

Costos de materiales indirectos

DESCRIPCIÓN	COSTO PARCIAL S/.
Gastos de transporte	120,00
Gastos generales indirectos	50,00
COSTO TOTAL	S/.170

Fuente: Elaboración propia

5.4.2.- Costos de ingeniería

Corresponde al costo debido al tiempo dedicado para para el diseño del equipo de electro obtención. Constituye el valor económico de ingeniería para diseñar y seleccionar los elementos de equipo.

El tiempo necesario es aproximadamente 60 horas,

5.4.3.- Costos totales

TABLA N°:5.6

Costos totales

DESCRIPCIÓN	COSTO PARCIAL S/.
Costo de materia prima	351.50
Costo de maquinado	62.25
Costo de montaje	100.00
Costos indirectos	170.00
COSTO TOTAL	S/. 683.75

Fuente: Elaboración propia

5.4.4.- Gastos imprevistos

Se relacionan principalmente con los costos de movilización de las personas y transporte de materiales. Se estima estos costos aproximadamente 60S/.

5.4.4.- Costo total de los equipos de electro obtención

Resulta de la suma de los costos directos con los costos indirectos, estos valores se indican en la tabla.

TABLA N°:5.7

Costo total de los equipos de electro obtención

COMPONENTES DEL COSTO	VALOR S/.
Costos directos	513.75
Costos indirectos	170.00
TOTAL	S/. 683.75

Fuente: Elaboración propia

5.5.- Costos totales de los equipos

Resulta de la suma del costo del equipo de electrodeposición más los costos totales del equipo rectificador de corriente, estos valores se indican en la tabla

TABLA N°:5.8**Componentes totales del costo**

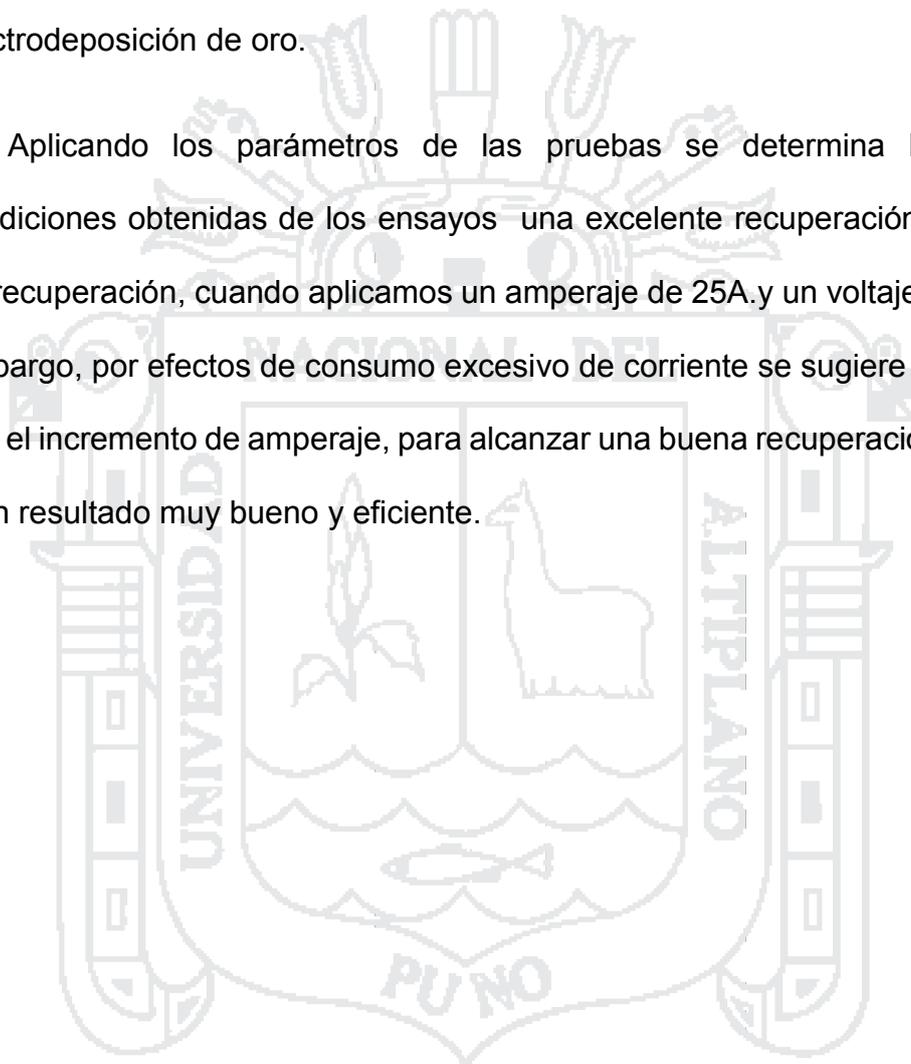
COMPONENTES TOTAL DEL COSTO	VALOR S/.
Costo total del equipo de electro obtención	683.75
Costo del rectificador de corriente	1500.00
TOTAL	S/. 2183.75

Fuente: Elaboración propia



CONCLUSIONES

- Mediante el diseño y construcción de la celda de electro obtención, revela una mejora en los parámetros energéticos en comparación a las otras celdas y poniendo en pruebas se ha obtenido una buena recuperación en el proceso de electrodeposición de oro.
- Aplicando los parámetros de las pruebas se determina las mejores condiciones obtenidas de los ensayos una excelente recuperación de 99.04% de recuperación, cuando aplicamos un amperaje de 25A.y un voltaje de 2.6V sin embargo, por efectos de consumo excesivo de corriente se sugiere no exagerar con el incremento de amperaje, para alcanzar una buena recuperación, que llega a un resultado muy bueno y eficiente.



RECOMENDACIONES

- Poner énfasis en la precisión de las dimensiones, en la construcción de los elementos de acople, de tal forma no existan problemas al ensamblar el equipo.
- Para alargar la vida útil de la maquina se debe seguir la recomendaciones de uso y operación de máquinas industriales.
- Poner en funcionamiento el rectificador de corriente cuando ya está la celda con electrolito cargado.
- Trabajar con voltajes adecuados para el tipo de proceso que se recomienda en pruebas de electrodeposición
- Para mayores datos de funcionamiento se puede colocar una batería de celdas cilíndricas colocadas en serie.
- Buscar las condiciones más apropiadas para que el reactor de electrodo tipo cilíndrico pueda ser implementado para la recuperación de otros metales.

BIBLIOGRAFÍA

- Alonso Arenas. (1983). Electroobtencion del cobre. Buenos Aires Argentina Kapelusz.
- Barkey, D. M. (1987). roughness development in metal electrodeposition. journal of electrochemical society 136,2199-2207 bazon.
- Chang, Raymond (2006). Quimica general. 6 ed.
- Chaussard, j. (1990). Electrosynthesis from Lab. pilot, to production. the electrosynthesis. New York.
- Cifuentes, j. S. (2005). Temperature dependence of the cathodic and anodic kinetics in a copper electrowinning cell based on reactive electrolysis. chemical engineering science. chile: ed.santiago.
- Flores, de. la cruz. (2001). Recuperacion de cobre por electrodeposicion en cascada del blend off de la refinaria de cobre de DOE RUN PERU a nivel laboratorio. trabajo para obter el titulo de ingeniero quimico. peru - huancayo.
- Harriott, P. W. S. (1998). Operaciones de procesos unitarios en ingenieria quimica. ed. Madrid: Mc Gran-Hill.
- Izquierdo, L. J. (1997). Electroobtención de cobre (EW). españa: ed.España.
- Jara, A. V. (2000). proyectos de inversion. peru: Amarilys eirl.
- Mihovilovic, Domic E. (2001). "Hidrometalurgia, fundamentos procesos y aplicaciones". chile: ed. Santiago: Instituto de ingenieros de minas.
- Misari, Ch. F. (1993). Metalurgia del Oro. CEPECT. Lima-peru Tomo I y II.
- Morales, C. (2010). Puesta en marcha y pruebas metalurgicas de mini planta piloto de extracion por solventes en compañia minera cerro colorado Limitada.
- Murriel, J. A. (2003). hidrometalurgia del oro y cobre. lima.

Ochoa, G. R. (1996). Electro síntesis y electrodiálisis, fundamentos y aplicaciones tecnológicas. Madrid: Ed. Graw - Hill.

Pagliero. (1989). Electroquímica para metalurgia universidad concepción curso panamericano de metalurgia.

Quinto, A. R. (2007). Química Analítica Cuantitativa. huancayo.

Reddy. (1979). Electroquímica Moderna. España: Reverte.

Rodríguez, J. C. (2007). Influencia de los parámetros electrolíticos en el comportamiento de la planta en el proceso de electro refinación de cobre en la oroya. trabajo para optar el título de ingeniero químico . Huancayo- peru.

Ruiz, Mendez J. (1989). hidrometalurgia del oro y la plata procesos convencionales y revisión bibliográfica. México.

Salcedo, Alfredo L. (1987). Química general. peru: ed. San MARCOS.

Sancho, M. J. (2000). Metalurgia Extractiva Volumen II Procesos de Obtención. España: Ed. síntesis.

Tomala, C. E. (1998). Análisis De Un Sistema de adsorción de oro de carbono activado y su electrodeposición. Escuela Superior Politécnica tesis de grado.

Vargas, Gallardo J. (1980). Metalurgia del oro y la plata. la paz: San Marcos.

Yannopoulos, J. (1991). The extractive metallurgy of gold. New York.

ANEXOS

Componentes que conforman el equipo de electrodeposicion



Celda cilíndrica con cátodo y lana de acero



Armado del catodo y anodo de celda



Pruebas de electrodeposición en circuito cerrado

