

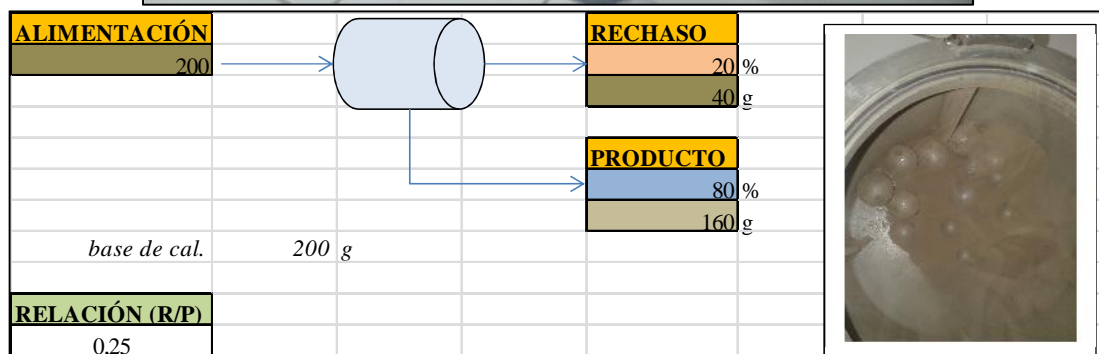
ANEXO

ANEXO 1

PROCESO HIDROMETALÚRGICO PARA LA PREPARACIÓN DE LA DISOLUCIÓN ELECTROLÍTICA.

La trituración del mineral se llevó a cabo en el laboratorio de operaciones unitarias de la universidad LOU-UAJMS y posteriormente la molienda por el lapso de una hora, obteniendo un producto de granulometría fina que pasa la malla 230 ASTM.


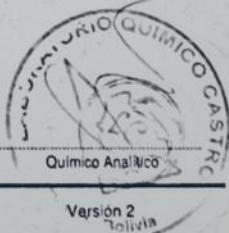
Molienda del mineral polimetálico.



Fuente: elaboración propia U.A.J.M.S. 2017.

El producto obtenido de la molienda se envía al laboratorio de análisis químico, cuyo resultado de los parámetros se detalla a continuación:

Resultado de análisis químico del sulfuro polimetálico.

LABORATORIO QUÍMICO CASTRO		INFORME DE ENSAYO		Nº 112391	
Potosí-Bolivia		CÓDIGO LQC. P18. F01			
PERTENECE A:		EDWIN LOPEZ MOYA			
LOTE Nº:		SULFURO DE Zinc			
MUESTRA DE: Ag - Zn - Pb		FECHA:		2015-10-07	
CARACTERÍSTICAS DEL SOBRE:		FRASCO CON TAPA			
CÓDIGO DE LABORATORIO:		12421			
FECHA DE PAQUETE:		S/F			
Ley de Ag		0,19	DM		
Ley de Zn		49,83	%		
Ley de Pb		0,11	%		
<p>LOS RESULTADOS SOLO ESTÁN RELACIONADOS CON EL PAQUETE OBJETO DE ENSAYO SEÑOR CLIENTE VERIFIQUE LOS RESULTADOS DEL INFORME DE ENSAYO ANTES DE SU TRANSACCIÓN</p>					
Calle Periodista esquina Millares Nº 147 Teléfono Fax 591 (2) 6227728				Fecha de Emisión: 2012/02/10	
					
CÓDIGO DE LABORATORIO:		12421			
FECHA DE PAQUETE:		S/F			
Ley de S		27,10	%		
Ley de Fe		4,40	%		
<p>LOS RESULTADOS SOLO ESTÁN RELACIONADOS CON EL PAQUETE OBJETO DE ENSAYO SEÑOR CLIENTE VERIFIQUE LOS RESULTADOS DEL INFORME DE ENSAYO ANTES DE SU TRANSACCIÓN</p>					
Calle Periodista esquina Millares Nº 147 Teléfono Fax 591 (2) 6227728				Fecha de Emisión: 2012/02/10	
					

Fuente: Laboratorio Químico Castro Código LQC. P18.F01 ed. 2015.

Para realizar el balance estequiométrico se aplica la ecuación de conservación genérica:

$$S = E - R_x + P$$

Dónde:



E = Moles que entran

R = Moles que reaccionan

P = Moles producto de la reacción


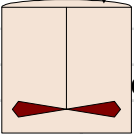

S = Cantidad de moles que se obtiene

Balance estequiométrico de la tostación del sulfuro polimetálico.

TOSTACIÓN DEL SULFURO POLIMETÁLICO														
21	%	aire	→	SO ₂	2Zn+O ₂ (g)=2ZnO	O ₂	4Fe+3O ₂ (g)= 2Fe ₂ O ₃	S+O ₂ (g)=SO ₂ (g)	MUFLA 940 °C	ZnO	Fe ₂ O ₃	Ganga		
O ₂	21													
N ₂	79													
80	%													
Zn	49,88													
Fe	4,4													
S	27,1													
Ganga	18,62													
	100													
Base de cálculo:		80 g de sulfuro polimetálico.												
Aire teórico		4,898 mol												
Aire en exceso		1,029 mol												
Aire real alimentado		5,926 mol												
COMPONENTE	PM	MOLES	ENTRA		PRODUCE		REACCIONA		(mol)	SALE				
			(mol)	(g)	(mol)	(g)	(mol)	(g)		(g)	% p/p			
Zn	65,39	0,610	0,610	39,904	0,000	0,000	0,610	39,904	0,000					
Fe	55,847	0,063	0,063	3,520	0,000	0,000	0,063	3,520	0,000					
S	32,066	0,676	0,676	21,680	0,000	0,000	0,676	21,680	0,000					
O ₂	31,9988	1,029	1,244	39,822	0,000	0,000	1,029	32,911	0,216	6,911		5,768		
SO ₂	64,0648	0,676	0,000	0,000	0,676	43,315	0,000	0,000	0,676	43,3146		36,149		
ZnO	81,3894	0,610	0,000	0,000	0,610	49,668	0,000	0,000	0,610		49,668		41,451	
Fe ₂ O ₃	159,6922	0,032	0,000	0,000	0,032	5,033	0,000	0,000	0,032		5,033		4,200	
Ganga	....	0,000	0,000	14,896	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		14,896		12,432
TOTAL				119,822							50,23	69,596	41,92	58,08
											119,822		100,00	

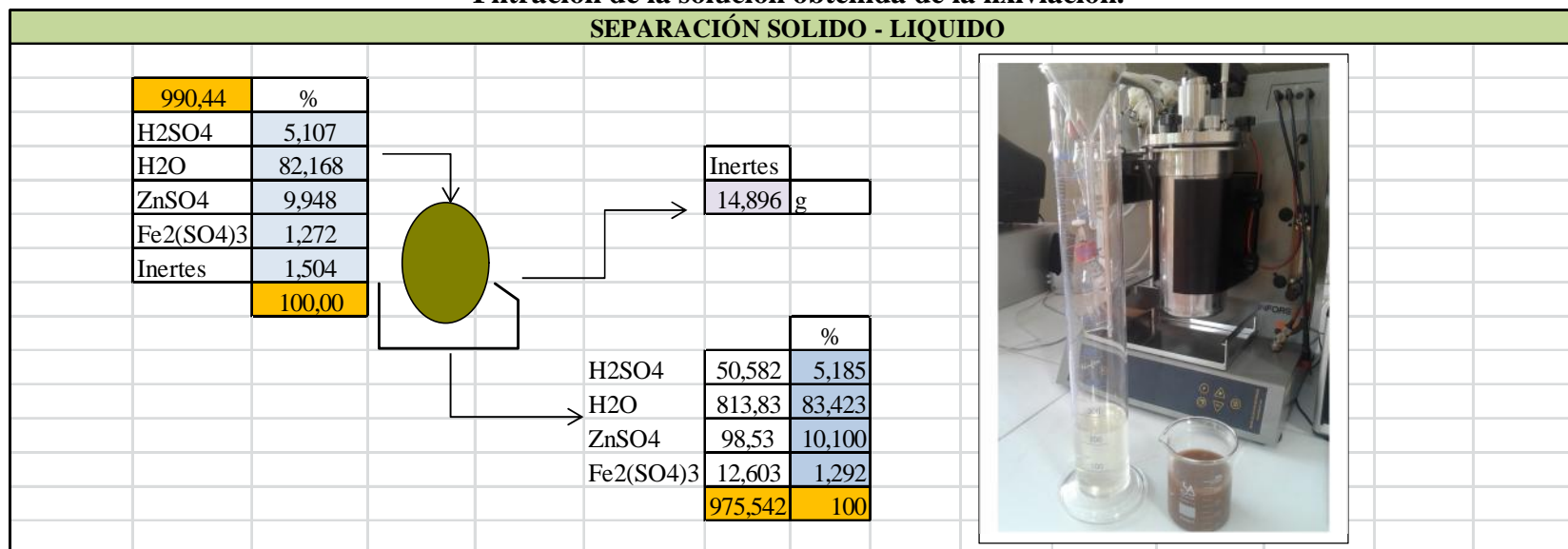
Fuente: elaboración propia U.A.J.M.S. 2017.

Balance estequiométrico de la lixiviación de la calcina.

LIXIVIACIÓN DE LA CALCINA													
69,596	%				920,838	%							
ZnO	71,365	A	B		H ₂ SO ₄	13	Dens.	1,087 g/ml	ZnO+H₂SO₄=ZnSO₄+H₂O				
Fe ₂ O ₃	7,231				H ₂ O	87			Fe₂O₃+3H₂SO₄=Fe₂(SO₄)₃+3H₂O				
Ganga	21,403					100							
	100,00												
						H ₂ SO ₄		ZnSO ₄		Fe(SO ₄) ₃		H ₂ O	
						Inertes							
<i>Base de cálculo:</i>		69,596 g de calcina.											
COMPONENTE	PM	MOL	ENTRA		REACCIONA		PRODUCE		SALE				
			(mol)	(g)	(mol)	(g)	(mol)	(g)	(mol)	(g)	%	M	
ZnO	81,379	0,610	0,610	49,668	0,610	49,668	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe ₂ O ₃	159,68	0,032	0,032	5,033	0,032	5,0326	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
H ₂ SO ₄	98,07	0,705	1,221	119,709	0,705	69,127	0,000	0,000	0,516	50,582	5,107	0,592	
H ₂ O	18,015	44,470	44,470	801,129	0,000	0,000	0,705	12,698	45,175	813,83	82,168	51,814	
ZnSO ₄	161,438	0,610	0,000	0,000	0,000	0,000	0,610	98,530	0,610	98,53	9,948	0,700	
Fe ₂ (SO ₄) ₃	399,867	0,032	0,000	0,000	0,000	0,000	0,032	12,603	0,032	12,603	1,272	0,036	
Inertes	....	....	....	14,896	....	....	....	....	....	14,896	1,504		
TOTAL				990,4						990,4	100,0		


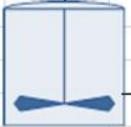
Fuente: elaboración propia U.A.J.M.S. 2017.

Filtración de la solución obtenida de la lixiviación.



Fuente: elaboración propia U.A.J.M.S. 2017.

Balance estequiométrico de precipitación de jarosita amoniacal.



PRESIPITACIÓN DE JAROSITA AMONIACAL													
975,542	%	A	B	22,091	%	Dens.	0,9 g/ml						
Fe ₂ (SO ₄) ₃	1,292			NH ₄ OH	20	$3\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + 10\text{H}_2\text{O} + 2\text{NH}_4\text{OH} = (\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_4\text{Fe}_6(\text{OH})_{12} + 5\text{H}_2\text{SO}_4$ $2\text{ZnSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{NH}_4\text{OH} = 2\text{Zn}(\text{OH})_2 + (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4$ $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + 4\text{H}_2\text{O} + 2\text{NH}_4\text{OH} = 2\text{Fe}(\text{OH})_3 + (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + 2\text{H}_2\text{SO}_4$							
ZnSO ₄	10,100			H ₂ O	80								
H ₂ SO ₄	5,185			ZnSO ₄									
H ₂ O	83,423			H ₂ SO ₄									
	100,000			H ₂ O		$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + 4\text{H}_2\text{O} + 2\text{NH}_4\text{OH} = 2\text{Fe}(\text{OH})_3 + (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + 2\text{H}_2\text{SO}_4$							
				NH ₄ OH									
Base de cálculo:		975,542 g de sol											
COMPONENTE	PM	ENTRA		REACCIONA		PRODUCE		SALE					
		(mol)	(g)	(mol)	(g)	(mol)	(g)	(mol)	(g)	%	M		
Fe ₂ (SO ₄) ₃	399,867	0,0315	12,603	0,0315	12,603	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000		0,000
ZnSO ₄	161,438	0,610	98,530	0,0006	0,099	0,000	0,000	0,610	98,431		9,867		0,694
H ₂ SO ₄	98,07	0,516	50,582	0,000	0,000	0,0528	5,181	0,569	55,763		5,590		0,647
H ₂ O	18,015	46,16	831,500	0,106	1,904	0,000	0,000	46,050	829,60		83,157		52,439
NH ₄ OH	35,046	0,126	4,418	0,022	0,758	0,000	0,000	0,104	3,660		0,367		0,119
(NH ₄) ₂ (SO ₄)+4Fe ₆ (OH) ₁₂	959,04	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0105	10,075	0,011		10,075		1,020	0,012
Zn(OH) ₂	99,4	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0006	0,061	0,001		0,061		0,006	0,001
(NH ₄) ₂ SO ₄	132,134	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,040	0,000		0,040		0,004	0,000
TOTAL			997,63						987,452	10,176	98,980	1,031	

Fuente: elaboración propia U.A.J.M.S. 2017.


Una vez obtenida la solución electrolítica se envía al centro de análisis de investigación y desarrollo CEANID, cuyo resultado de los parámetros se detalla a continuación:

Resultado de análisis químico de la solución electrolítica.

CEANID FOR 88
 Versión 03
 Fecha de emisión 2016-10-31

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAEL SARACHO"
 FACULTAD DE "CIENCIAS Y TECNOLOGÍA"
 CENTRO DE ANÁLISIS, INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO "CEANID"
 Laboratorio Oficial del Ministerio de Salud y Deportes
 Red de Laboratorios Oficiales de Análisis de Alimentos
 Red Nacional de Laboratorios de Micronutrientes
 Laboratorio Oficial del "SENASAG"



INFORME DE ENSAYO

I. INFORMACIÓN DEL SOLICITANTE

Cliente:	Edwin Lopez Moya				
Solicitante:	Edwin Lopez Moya				
Dirección:	Av. La Paz s/n - Barrio San Bernardo				
Telefono/Fax:	7717774	Correo-e:	*****	Código:	AG 156/17

II. INFORMACIÓN DE LA MUESTRA

Descripción de la muestra:	Solución acuosa con sulfatos metálicos		
Código de muestreo:	*****	Fecha de vencimiento:	*****
Lote:	*****		
Fecha y hora de muestreo:	2017-06-06		
Procedencia (Localidad, Prov./Dist):	Modesto Omiste - Potosí Bolivia		
Lugar de muestreo:	Prov. Modesto Omiste		
Responsable de muestreo:	Edwin Lopez Moya		
Código de la muestra:	1048 FQ 805	Fecha de recepción de la muestra:	2017-06-13
Cantidad recibida:	250 ml	Fecha de ejecución de ensayo:	De 2017-06-13 al 2017-06-19



III. RESULTADOS

PARÁMETRO	TECNICA y/o MÉTODO DE ENSAYO	UNIDAD	RESULTADOS	LIMITES PERMISIBLE		REFERENCIA DE LOS LIMITES
				Min.	Max.	
Conductividad eléctrica (14.2°C)	SM 2510-B	uS/cm	168,7	Sin Referencia	Sin Referencia	
Densidad relativa (20 °C)	NB 34021-07		1.13574	Sin Referencia	Sin Referencia	
Hierro disuelto	SM 3500-Fe B	mg/l	2.229	Sin Referencia	Sin Referencia	
Magnesio disuelto	SM 3500-Mg B	mg/l	35,4	Sin Referencia	Sin Referencia	
pH (14.2°C)	SM 4500-H B		0,47	Sin Referencia	Sin Referencia	
Plomo disuelto	SM 3500-PbB	mg/l	4,75	Sin Referencia	Sin Referencia	
Sulfatos	SM 2130-B	g/l	141,70	Sin Referencia	Sin Referencia	
Zinc disuelto	SM 3500-ZnB	mg/l	39,595	Sin Referencia	Sin Referencia	

SM Standard Methods
 NB Norma Boliviana
 uS Micro Siemens

- 1) Los resultados reportados se refieren a la muestra ensayada en el Laboratorio
- 2) El presente informe solo puede ser reproducido en forma parcial y/o total, con la autorización del CEANID
- 3) Los datos de la muestra y el muestreo, fueron suministrados por el cliente

Tarija, 19 de junio de 2017

Ing. Agalid Aceituno Cáceres
JEFE DEL CEANID

Original Cliente
 Copia CEANID

Dirección: Campus Universitario Facultad de Ciencias y Tecnología Zona "El Tejar" Tel: (591) (4) 6645648
 Fax: (591) (4) 6643403 - Email: ceanid@uajms.edu.bo - Casilla 51 - TARIJA - BOLIVIA

Página 1 de 1

Fuente: Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo "CEANID" 2017.

ANEXO 2

PARÁMETROS FISCOQUÍMICOS DEL ELECTROLITO BASE Y DEL ELECTROLITO SOPORTE.

De acuerdo a la concentración que presenta el electrolito base se determina los parámetros adicionales del mismo utilizando las siguientes ecuaciones:

PARAMETRO	RESULTADO (g/l)	PESO MOLECULAR	MOLARIDAD
Sulfato (SO_4^{2-})	141,7	96,07	1,475
Zinc disuelto (Zn^{2+})	39,595	65,39	0,606

$$I_i = \frac{1}{2} [(z_+^2 C_+) + (z_-^2 C_-)] \quad (1 - 6)$$

$$\log \gamma_i = - \frac{A z_+ z_- \sqrt{I_i}}{1 + B a_i \sqrt{I_i}} \quad (1 - 5)$$

$$\alpha = \gamma_i C \quad (1 - 4)$$

$$D_i = \frac{uRT}{zF} \quad (1 - 20)$$

Parámetros adicionales de zinc disuelto.

FUERZA IONICA	COEF. DE ACTIVIDAD	ACTIVIDAD	DIFUSIVIDAD
I_i (mol/l)	Zn	Zn (mol/l)	D_i (cm ² /s)
4,1610	0,110	0,067	7,022E-06

Fuente: Elaboración propia, UAJMS 2017.

Parámetros fisicoquímicos de disolución soporte (Anolito)

PARAMETRO	UNIDAD	RESULTADO
Solucion soporte (H_2SO_4)	g/l	121
Temperatura	T (°K)	298
Viscosidad	μ (g/cm s)	0,015
Densidad	(g/cm ³)	1,135
Volumen	V (cm ³)	60
Flujo volumétrico	Q (cm ³ /s)	8

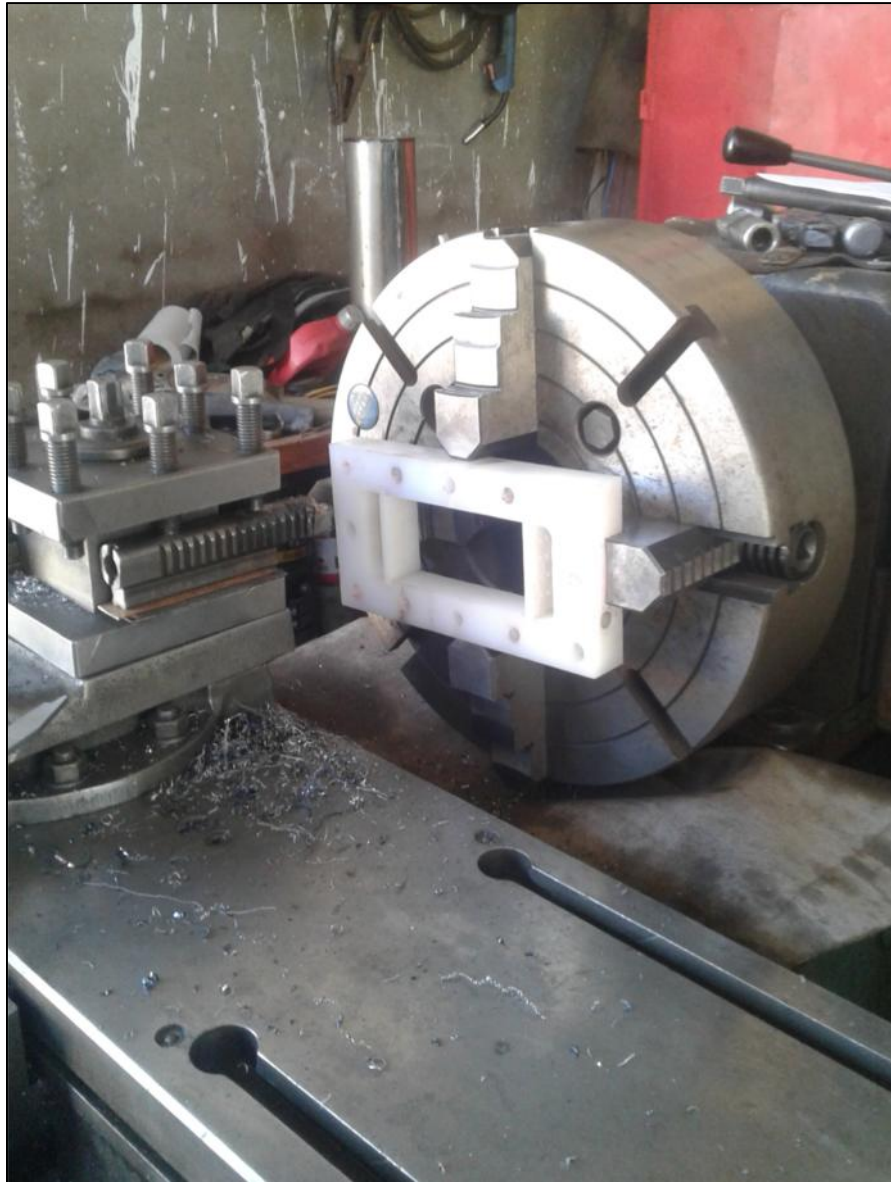
Fuente: Elaboración propia, UAJMS 2017.

ANEXO 3

CONSTRUCCIÓN DE LOS COMPARTIMENTOS DE LA CELDA ELECTROLÍTICA.

De acuerdo a los valores obtenidos en el dimensionamiento de la celda, se procede a la construcción de dicha celda; utilizando como herramienta un torno metalúrgico.

Torno mecánico para la construcción de la celda electrolítica.



Fuente: Elaboración propia Cortesía Taller Metalúrgica Eyber 2016.

ANEXO 4

FUNCIONAMIENTO DEL REACTOR EXPERIMENTAL DE OBTENCIÓN ELECTROLÍTICA DE ZINC.

El funcionamiento del reactor experimental se lleva a cabo en el laboratorio de física de la UAJMS.

Monitoreo del funcionamiento del reactor electroquímico.




Fuente: Toma propia, Cortesía Laboratorio de física U.A.J.M.S. 2017.

Los valores de la variación de la concentración a diferentes intervalos de tiempo a la salida del reactor se determinan aplicando un método de ensayo que se detalla a continuación:

Método volumétrico para determinación de zinc en disolución.

En este método se mide el volumen necesario de una disolución de concentración conocido que reacciona cuantitativamente en el componente de la disolución de composición desconocido.

Método de ensayo para determinar el contenido de zinc disuelto.

<p>REACTIVOS:</p> <p>Hidróxido de sodio 10%</p> <p>Agua destilada</p> <p>Tableta tampón indicadora</p> <p>Solución 0,1 M EDTA</p> <p>PROCEDIMIENTO:</p> <p>Tomar un alícuota producto de la lixiviación (10 ml)</p> <p>Diluir con agua destilada hasta 25 ml</p> <p>Neutralizar con NaOH al 10%</p> <p>Añadir la tableta tampón indicadora</p> <p>Titular con 0,1 M de EDTA hasta viraje a verde claro (micro bureta).</p> $m = \frac{V_{EDTA} * 6,537 \text{ g}}{1 \text{ ml EDTA}} [\text{mg}]$	
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

Fuente: Norma Argentina IRAM 113217. Materias primas para caucho. Óxido de Zinc. Instituto Argentino de Racionalización de Materiales. Buenos Aires, 1985.

Los valores de la variable respuesta que se obtiene durante el funcionamiento del reactor y de acuerdo al diseño factorial; se detalla a continuación:

Resultados obtenidos de cada combinación y su respectiva réplica.

DISEÑO FACTORIAL 2 ³							
FACTORES EN ESTUDIO				VARIABLES RESPUESTA			
NUMERO DE ENSAYOS	CORRIENTE ELECTRICA I (A)	TIEMPO DE ELECTRÓLISIS t (s)	CAUDAL Q (cm ³ /s)	SOBREPOTENCIAL DE ELECTR. DE TRABAJO η_c (V)	COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE MASA K _m (cm/s)	MASA REAL DEPOSITADO m (g)	EFICIENCIA DE CORRIENTE η_i (%)
1a	1,8	1800	8	-0,023	6,431E-05	0,526	47,944
2a	2	1800	8	-0,053	6,431E-05	0,703	57,669
3a	1,8	2400	8	-0,033	6,431E-05	0,578	39,511
4a	2	2400	8	-0,053	6,431E-05	1,074	66,010
5a	1,8	1800	12	-0,013	7,351E-05	0,666	60,634
6a	2	1800	12	-0,053	7,351E-05	0,728	59,654
7a	1,8	2400	12	-0,023	7,351E-05	0,755	51,556
8a	2	2400	12	-0,053	7,351E-05	0,800	49,210
1b	1,8	1800	8	-0,013	6,536E-05	0,531	48,399
2b	2	1800	8	-0,053	6,536E-05	0,727	59,580
3b	1,8	2400	8	-0,023	6,536E-05	0,608	41,540
4b	2	2400	8	-0,043	6,536E-05	1,044	64,196
5b	1,8	1800	12	-0,023	7,471E-05	0,679	61,891
6b	2	1800	12	-0,053	7,471E-05	0,742	60,842
7b	1,8	2400	12	-0,013	7,471E-05	0,776	53,025
8b	2	2400	12	-0,053	7,471E-05	0,794	48,823

Fuente: Elaboración propia UAJMS 2017.

La masa real electrodepositado que se obtiene experimentalmente durante el funcionamiento del reactor electroquímico se pesa en una balanza analítica, donde el peso total menos el peso del electrodo, es la cantidad real de masa electrodepositado.

$$m_r = m_t - m_e$$

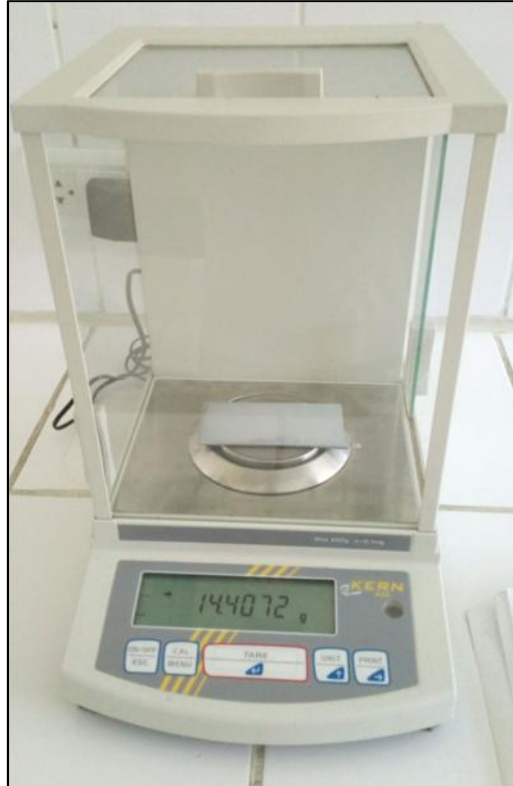
Dónde:

m_r = Masa real electrodepositado [g]

m_t = Masa total [g]

m_e = Masa del electrodo = 13,334 g

Balanza analítica para pesar la cantidad de zinc electrodepositado



Fuente: Toma propia, Cortesía Laboratorio de física U.A.J.M.S. 2017.

Una vez obtenido la cantidad electrolítica de zinc con la mejor eficiencia de corriente, se envía al centro de análisis de investigación y desarrollo CEANID perteneciente a la universidad, cuyo resultado de la pureza se detalla a continuación:

Resultado de análisis químico del zinc electrolítico obtenido.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAEL SARACHO"		FACULTAD DE "CIENCIAS Y TECNOLOGÍA"		CENTRO DE ANÁLISIS, INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO "CEANID"		
Laboratorio Oficial del Ministerio de Salud y Deportes		Red de Laboratorios Oficiales de Análisis de Alimentos		Laboratorio Oficial del "SENASAG"		
 				<small>CEANID FOR 88 Versión 01 Fecha de emisión: 2016-10-31</small>		
INFORME DE ENSAYO						
I. INFORMACION DEL SOLICITANTE						
Cliente:	Edwin Lopez Moya					
Solicitante:	Edwin Lopez Moya					
Dirección:	Av. La Paz s/n					
Teléfono/Fax:	7717741	Correo-e:	*****	Código:	MO 012/17	
II. INFORMACIÓN DE LA MUESTRA						
Descripción de la muestra:	Zinc metálico					
Código de muestreo:	**	Fecha de vencimiento:	*****	Lote:	****	
Fecha y hora de muestreo:	2017-10-31					
Procedencia (Localidad, Prov./ Depto):	Tarija - Cercado - Tarija Bolivia					
Lugar de muestreo:	Laboratorio de Física					
Responsable de muestreo:	Edwin Lopez Moya					
Código de la muestra:	1954 FQ 1492	Fecha de recepción de la muestra:	2017-11-01			
Cantidad recibida:	1 g	Fecha de análisis de la muestra:	Del 2017-11-01 al 2017-11-17			
III. RESULTADOS						
PARÁMETRO	TECNICA y/o MÉTODO DE ENSAYO	UNIDAD	RESULTADO	LIMITES PERMISIBLES		REFERENCIA DE LOS LIMITES
				Min.	Max.	
Zinc total	SM 3500 ZnB	%	99,53	Sin Referencia	Sin Referencia	Sin Referencia
<small>De Norma Boliviana N. Potencia</small>						
1) Los resultados reportados se remiten a la muestra ensayada en el Laboratorio. 2) El presente informe solo puede ser reproducido en forma parcial y/o total, con la autorización del CEANID. 3) Los datos de la muestra y el muestreo, fueron suministrados por el cliente.						
Tarija, 17 de noviembre de 2017						
 Ing. Abalid Aceituno Cáceres JEFE DEL CEANID						
						
<small>Original: Cliente Copia: CEANID</small>						
<small>Dirección: Campus Universitario Facultad de Ciencias y Tecnología Zona "El Tejar" Tel: (591) (4) 6645648 Fax: (591) (4) 6643403 - Email: ceanid@uajms.edu.bo - Casilla 51 - TARIJA - BOLIVIA</small>						
<small>Página 1 de 1</small>						

Fuente: Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo "CEANID" 2017.



*. . . debes amar el tiempo de los intentos.
debes amar la hora que nunca brilla
y si no, no pretendas tocar lo cierto. . .*

