

Universidad Nacional de Ingeniería

**FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA,
MINERA Y METALURGICA**



**Ingeniería Básica para la Recuperación de Oro de
Soluciones Cianuradas con Resinas**

TESIS

Para optar el título profesional

INGENIERO METALURGISTA

PRESENTADO POR:

LEDER ELEAZAR CUEVA CAMAYO

**Lima - Perú
2006**

DEDICATORIA

**Dedico esta Tesis a mis padres con respeto:
Sabino Cueva y Beatriz Camayo de Cueva**

**A mi amada esposa Roxana Caverro Alfaro por su
constante apoyo y cariño me impulso a alcanzar
desarrollar esta Tesis.**

A mi hija con cariño:

Melany Georgeth

INDICE DE CONTENIDO

CAPITULO	Página
LISTA DE TABLAS	v
LISTA DE FIGURAS	vii
SIMBOLOS DE ABREVIACION	ix
RESUMEN	
SUMARIO	
SUMARIO EN INGLES	
INTRODUCCION	1
RESINA DE INTERCABIO IONICO	4
1.1 Antecedentes	4
1.2 Breve Historia de las Resinas de Intercambio Iónico	5
1.3 Objetivos	6
1.4 Características de las resinas	7
1.5 Aplicación en la Extracción de Oro	9
1.5.1 Resina Aniónica de base Débil	10
1.6 Adsorción con Resina	12
1.6.1 Mecanismo Químico del Proceso de Carga	13
1.7 Desorción de la Resina	18
1.7.1 Resina de Base Fuerte	20
1.7.1.1 Cianuro de Zinc	23
1.7.1.2 Tiourea	24
1.7.1.3 Tiocianato	25
1.7.1.4 Cloruro	27
1.7.2 Resina de Base Débil	27
1.8 Principios del Proceso de Desorción	29
II ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LA RESINA	32
2.1 Programa de pruebas	32

2.2	Solución de Ley Baja y Preparación de la Resina	33
2.2.1	Soluciones de la pila de Lixiviación de Ley Baja	33
2.2.2	Resinas Preacondicionadas	33
2.3	Pruebas hidráulicas de Resina	34
2.4	Isotermas de Equilibrio en la Extracción con Resina	35
2.5	Cinética de Extracción de Resina	37
2.6	Pruebas Continuas de Resina en Solución	40
2.7	Pruebas de Avance de Resina	42
2.8	Características de la Desorción	43
2.8.1	Preparación de la Resina Cargada	43
2.8.2	Desorción de la Resina	43
2.9	Análisis de Riesgo	45
III	PROCESO DE INGENIERIA	71
3.1	Bases para Diseñar	71
3.1.1	General	71
3.1.2	Diseño del Circuito de Adsorción	73
3.1.3	Diseño del Circuito de Desorción	76
3.2	Descripción del Proceso de Carbón en Columna (CIC)	79
3.2.1	Circuito de Adsorción con Carbón	79
3.2.2	Circuito de Desorción y Regeneración de Carbón	80
3.2.3	Reactivos para el Carbón en Columna (CIC) y Reactivos	82
3.3	Descripción del Proceso de Resina en Solución (RIS)	83
3.3.1	Circuito de Adsorción y Desorción con Resina	83
3.3.2	Reactivos de la Resina en Solución (RIS) y Servicios	85
IV	ANALISIS ECONOMICO COMPARATIVO PARA EL CIC / RIS	88
4.1	COSTO DE CAPITAL ESTIMADO	88
4.1.1	Introducción	88
4.1.2	Resumen del Costo de Capital Estimado	88
4.1.3	Bases y Calificaciones Estimadas	89
4.1.3.1	Costos Directos	90
4.1.3.2	Propietario de los Costos	91
4.1.3.3	Clasificación y Exclusiones	92
4.2	COSTOS DE OPERACIÓN ESTIMADO	94

4.2.1	Bases Estimadas	93
4.2.2	Resumen del Costo de Operación	94
4.2.3	Costos de Mano de Obra	95
4.2.4	Costos de Operación Consumibles	95
4.2.5	Costo de Energía	96
4.2.6	Costos de Mantenimiento	96
V	TRATAMIENTO DE SOLUCIONES CIANURADAS	101
5.1	Definición	101
5.2	Efecto del Cianuro en el Medio Ambiente	101
5.3	Degradación del Cianuro	101
5.4	Tratamiento Químico	103
5.4.1	Método del Acido Caro	104
	OBSERVACIONES Y DISCUSIONES	106
	CONCLUSIONES	108
	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	110
	ANEXOS	

ANEXOS

	Página
ANEXO 1: DISEÑOS	113
Diagrama de Flujo	
R101-F-001 Circuito de Adsorción con Carbón.	114
R101-F-002 Desorción del carbón y Area de Fundición	115
R101-F-003 Carbón en Columna- Reactivos y Servicios	116
R101-F-101 Circuito de Adsorción con Resina	117
R101-F-102 Desorción de Resina y Area de Fundición	118
R101-F-103 Resina en Solución -- Reactivos y Servicios	119
Diseño de Arreglos Generales	
101-G-001 Plano de Carbón en Columna	120
101-G-002 Elevación de Carbón en Columna	121
101-G-101 Plano de Resina en Solución	122
101-G-102 Elevación de Resina en Solución	123
ANEXO 2: DOCUMENTOS DE DISEÑO	124
CASO 1 - CIC, LEY BAJA SRL	125
CASO 2 - RIS, LEY BAJA SRL	128
	63
ANEXO 3: LISTA DE EQUIPOS	131
CASO 1 - CIC, LEY BAJA SRL	132
CASO 2 - RIS, LEY BAJA SRL	134
ANEXO 4: COSTO DE CAPITAL ESTIMADO ESTABLECIDO	136
CASO 1 - CIC, LEY BAJA SRL	138
CASO 2 - RIS, LEY BAJA SRL	139
ANEXO 5: COSTO DE OPERACION ESTIMADO ESTABLECIDO	140
CASO 1 - CIC, LEY BAJA SRL	141
CASO 2 - RIS, LEY BAJA SRL	153

LISTA DE TABLAS

	Página	
Tabla R.1	Resumen clave del criterio de diseño para CIC/RIS	
Tabla R.2	Resumen de costos de inversión estimado (25%, US\$)	
Tabla R.3	Resumen de costos de operación estimado (25%, US\$)	
Tabla 1.1	Selectividad de las resinas de intercambio iónico y su capacidad por el cianuro de oro	8
Tabla 1.2	Ventajas y desventajas $Zn(CN)_4^{-2}$, SCN^- .	19
Tabla 1.3	Ventajas y desventajas $CS(NH_2)_2$, $NaOH$.	20
Tabla 1.4	La eficiencia de desorción de varios complejos de cianuro de metales aniónicos de resina de intercambio aniónico usando cianuro de zinc, tiocianato, tiourea y hidróxido de sodio, bajo condiciones estándar.	22
Tabla 2.1	Resumen de las pruebas de presión del lecho del flujo descendente (temperatura de ambiente 18° C)	48
Tabla 2.2	Resumen de las pruebas de presión del lecho del flujo ascendente (temperatura de ambiente 18° C)	48
Tabla 2.3	Isotermas de extracción en el equilibrio para soluciones de baja ley.	49
Tabla 2.4	Constante de Freundlich para la carga en el equilibrio.	49
Tabla 2.5	Cinética de la resina en soluciones de baja ley.	50
Tabla 2.6	Resumen de rangos constante.	50
Tabla 2.7	Resumen de pruebas continuas de resina en solución.	51
Tabla 2.8	Resumen de pruebas de avance de resina.	52
Tabla 2.9	Resumen de ensayos de resina	53
Tabla 2.10	Condiciones para la prueba de desorción de la resina.	54
Tabla 2.11	Condiciones para la prueba de desorción de la resina	55
Tabla 3.1	Detalles de la solución rica de lixiviación	72
Tabla 3.2	Parámetros físicos de carbón y resina	72
Tabla 3.3	Resumen de los parámetros de diseño del circuito de adsorción.	76

Tabla 3.4	Resumen de los parámetros de diseño de la desorción y regeneración.	78
Tabla 4.1	Resumen de costo de inversión estimado (25 %)	88
Tabla 4.2	Resumen de costo de preproducción – operaciones	91
Tabla 4.3	Resumen de costo de operaciones estimado (25 %)	94
Tabla 4.4	Resumen del costo de mano de obra	97
Tabla 4.5	Resumen de operaciones consumibles	98
Tabla 4.6	Resumen de costo de energía	99
Tabla 4.7	Resumen de costo de mantenimiento	100

modelos.

Figura 2.13	Ecuación de Fleming – Parámetros de modelos.	64
Figura 2.14	Solución de baja ley – rango de curvas.	64
Figura 2.15	Rango de curvas en temperatura de ambiente.	65
Figura 2.16	Resina versus carbón – rango de curvas.	65
Figura 2.17	Curvas de solución en columnas – día 1.	66
Figura 2.18	Curvas de solución en columnas – día 2.	66
Figura 2.19	Curvas de solución en columnas – día 3.	67
Figura 2.20	Curvas de solución en columnas – día 4.	67
Figura 2.21	Curvas de solución en columnas – día 5.	68
Figura 2.22	Perfil de la columna en 24 horas.	68
Figura 2.23	Curvas de solución en columna – pruebas de avance.	69
Figura 2.24	Curvas de carga – pruebas de avance.	69
Figura 2.25	Desorción de la resina – ley de la resina.	70
Figura 2.26	Desorción de la resina – ley de solución rica de desorción	70

LISTA DE FIGURAS

	Página	
Figura 1.1	Equilibrio de la carga de varios complejos de cianuro metálicos de una solución rica sobre una resina de base débil (AM-7)	12
Figura 1.2	Pobre selectividad para el oro.	15
Figura 1.3	Selectividad de la adsorción de los diferentes metales.	16
Figura 1.4	Selectividad de la adsorción de los diferentes metales.	16
Figura 1.5	Resina MINIX muy selectivo respecto al oro.	17
Figura 1.6	Velocidades relativas de desorción de oro de resinas de base fuerte (S/B) y resina de base débil (W/B) bajo condiciones estándar de electro-elución.	22
Figura 1.7	Velocidad de desorción de oro de una resina de base fuerte empleado varios eluente.	26
Figura 1.8	Resina envenenada con cobalto.	30
Figura 2.1	Obtención de la muestra de solución	56
Figura 2.2	Pruebas de Isotermas de equilibrio de la resina	57
Figura 2.3	Cinética de la resina	58
Figura 2.4	Caracterización de la desorción de la resina	59
Figura 2.5	Curva de caída de presión en el lecho de flujo descendente – temperatura ambiente (18° C)	60
Figura 2.6	Curva de expansión del lecho de flujo ascendente – temperatura ambiente (18° C)	60
Figura 2.7	Isotermas de extracción en el equilibrio – soluciones de ley baja.	61
Figura 2.8	Ploteo del Log de la isoterma de extracción –soluciones de ley baja.	61
Figura 2.9	Curva de selectividad del cobre / oro	62
Figura 2.10	Curvas de selectividad del zinc / oro	62
Figura 2.11	Rango de desaparición del oro de la solución de baja ley.	63
Figura 2.12	Ecuación para rango de primer orden parámetros de	63

SIMBOLOS DE ABREVIACION

A^-	Anión metálico intercambiable.
$[Au]_R$	Concentración de oro en la resina mg/L
$[Au]_s$	Concentración de oro en la solución mg/L
a, b	Constante de Freundlich
b	Inclinación de la recta
B^{-n}	Complejo metálico de interés.
BV/h	Flujo, lecho volumétrico por hora.
CIP	Carbón en pulpa.
CIL	Carbón en lixiviación.
CIC	Carbón en columna.
°C	Grados Celsius.
D	Relación de concentración de soluto en las dos fases.
g/t	Gramos por tonelada.
g/L	Gramos por litros.
grAu/L	Gramos de oro por litro
grAu/t	Gramos de oro por tonelada.
h	Hora
K	Rango constante (1/t)
k	Constante del rango de Fleming (1/t).
Kg	Kilogramo.
Kg/m^3	Densidad, kilogramos por metro cúbico.
Kg/h	Kilogramo por hora.
kPa/m	Kilo pascal por metro
Log(a)	Logaritmo de la constante a, intersección con el eje y.
m^2/g	Area superficial, metro cuadrado por gramo.
mg/L	Concentración, miligramo por litro.
M	Metal
M^{+n}	Ion metálico.
m^3/h	Metro cúbicos por hora.
mgAu/L	Miligramos de oro por litro.
m^3/m^2h	Velocidad específica, metro cúbico por metro cuadrado hora.

mm	Milímetro.
ml	Mililitros.
n	Factor de carga en el equilibrio.
NR	Radical amina.
oz/t	Onza por tonelada.
oz/a	Onza por año.
ppm	Partes por millón.
PRL	Poza rica de lixiviación.
R	Curvas de solución en columna – pruebas de avance.
RBF	Curvas de carga – pruebas de avance.
RBD	Desorción de la resina – ley de la resina.
RM	Complejo orgánico-metálico.
RIS	Resina en solución.
RIP	Resina en pulpa.
R ₄ N ⁺	Extractante orgánico amina.
S/B	Resina de base fuerte.
SRL	Solución rica de lixiviación.
SPL	Solución pobre de lixiviación.
US\$/a	Dólares por año.
US\$/ozAu	Dólares por onza de oro.
US\$/Kwh.	Dólares por kilowatts hora
V _s	Volumen de solución.
V _R	Volumen de resina.
W/B	Resina de base débil.
W/V	Peso entre volumen.
W/W	Peso entre peso.
X ⁻	Anion.

RESUMEN

Estudio Básico

El trabajo realizado fue evaluar el comportamiento de la resina AuRIX-100 para la recuperación del oro de las soluciones cianuradas claras (resina en solución o RIS) y acceso al potencial para esta resina para remplazar al carbón activado en aplicaciones convencionales del carbón en columna (CIC). Este estudio presenta los resultados de las pruebas de resina preliminares y las inversiones del costos de capital y operación estimadas para los circuitos de tratamiento idénticos de carbón en columna (CIC) y resina en solución (RIS) de soluciones ricas de lixiviación (SRL) para recuperar 50,000 onzas de oro por año.

Para mostrar comparaciones cuantitativamente de las 2 tecnologías, el estudio fue a partir de las soluciones de las operaciones de lixiviación en pilas.

CASO 1: Un circuito diseñado de carbón en columna (CIC) para recuperar 50,000 onzas de oro por año desde un flujo alto (400 m³/h), ley baja (0.5 mg Au/L) de solución rica de lixiviación, generado de una operación de lixiviación en pilas de leyes bajas.

CASO 2: Un circuito diseñado de resina en solución (RIS) para recuperar 50,000 onzas de oro por año desde un flujo alto (400 m³/h), ley baja (0.5 mg Au/L) de solución rica de lixiviación, generado de una operación de lixiviación en pilas de leyes bajas.

El criterio del diseño para el circuito RIS a sido basado en los resultados de las pruebas de resina preliminares presentados en estos reportes y conocimiento de circuitos convencionales de intercambio iónico. El criterio del diseño para el circuito de CIC ha sido basado en valores industriales estándares y datos de instalaciones de operación.

Diseño Básico

Con el estudio creemos aquella es la definición del proceso para el diseño de la resina en solución (RIS) es suficiente para el nivel de precisión aplicable en este estudio y para definir completamente y optimizar el diseño del circuito de resina en solución (RIS).

La clave usada para el criterio de diseño de carbón en columna (CIC) y resina en solución (RIS) para esta evaluación es resumida en la Tabla R.1.

Tabla R.2**RESUMEN DEL COSTO CAPITAL ESTIMADO (+/- 25%, US\$)**

Centro de Costos	Carbón en Columna	Resina en Solución
	Caso 1 US\$	Caso 1 US\$
Costo Directos		
Adsorción	317,000	323,000
Desorción/Área de Fundición	629,000	410,000
Regeneración	302,000	0
Reactivos/Servicios	379,000	319,000
TOTAL - COSTOS DIRECTOS	1,627,000	1,052,000
Costos Indirectos		
Servicio Ingeniería, adquisición y Construcción	250,000	250,000
Costos de Preproducción	71,000	88,000
Primer Llenado	182,000	548,000
Capital de Trabajo	244,000	165,000
Sobrantes	45,000	30,000
Seguros	8,000	5,000
TOTAL - COSTO INDIRECTO	800,000	1,066,000
Contingencias	238,000	173,000
COSTO TOTAL	2,665,000	2,291,000

Una descripción detallada de las bases estimadas, calificadas y exclusiones están presentadas en la sección 4.1.3.

Tabla R.3**Resumen del Costo de Operación Estimado (25%, US\$)**

Centro de Costos	Carbón en solución	Carbón en solución
	Caso 1 US\$	Caso 2 US\$
Operación Consumibles	330,926	133,953
Mantenimiento	129,240	77,320
Mano de obra	343,125	290,625
Energía	173,467	157,554
TOTAL - (US\$/a)	976,758	659,452
TOTAL - (US\$/oz de oro)	19.22	13.19

Un análisis detallado del costo de operación de bases estimadas, calificaciones y exclusiones es proveídos en la sección 4.2.

Perspectiva

El propósito del costo de capital y operación estimada presentado en este estudio es para proveer costos considerables cual puede ser usado para calcular la viabilidad económica para facilitar una operación de resina en solución (RIS) sobre la operación convencional de carbón en columna (CIC). Ambos costos de capital y operación estimadas indica un ahorro significativo para el circuito de resina en solución (RIS) (aproximadamente 14% en costo capital y 32 % en costo operacional) sobre un circuito convencional de carbón en columna (CIC).

Tabla R.1**Resumen Clave del Criterio de Diseño para CIC / RIS**

Parametro		Unidades	Carbón en Solución	Resina en solución
			Caso 1	Caso 2
Velocidad del flujo SRL	Nominal	m ³ /h	400	400
	Diseño	m ³ /h	500	500
Ley SRL	Gold	mg Au/L	0.50	0.50
	Silver	mg Au/L	0.50	0.05
Dirección del flujo SRL			Ascendente	Descendente
Flujo promedio volumétrico		BV/h	50	60
Velocidad específica		m ³ /m ² /h	60	60
Número de columnas		N°	5	4
Plan de carga de oro		g Au/t	1,250	4,000
Tipo de desorción			Presión	Atmosférica
Tamaño de carga para la desorción	ton. secas		5.0	2.89
	ton. húmedas			5.95
Frecuencia de desorción		días	1.3	2.3
Dirección del flujo de desorción			Ascendente	Ascendente
Tiempo del flujo de la desorción		Hrs	16	12
Número de celdas electrolíticas		N°	2	2
Configuración de celdas			Paralelo	Paralelo
Tamaño de celdas		mm	800 x 800	800 x 800
Número de cátodos			12	12

ANALISIS ECONOMICO DE INVERSION**Costo de Capital Estimado**

El costo capital a sido estimado para la adsorción, desorción, área de fundición, regeneración, reactivos y áreas de servicio. El costo capital estimado para cada caso esta presentado en US\$ dólares, para los cuatro primeros trimestres del año con una aproximación de 25%.

Un resumen del costo capital estimado para cada diseño del circuito es presentado en la tabla R.2

Costo de Operación Estimada

El costo de operación fue estimada para la adsorción, desorción, área de fundición, regeneración, reactivos y áreas de servicio. Los costos esta presentado en US\$ dólares con una aproximación de 25%. El costo de operación estimado esta resumido en la tabla R.3

SUMARIO

Un estudio ejecutado para la viabilidad técnica de la resina AuRIX-100 para la recuperación de oro y plata de soluciones claras de cianuro es presentado en esta tesis. Así mismo están presentados preliminarmente los costos de capital y operaciones estimadas (25%) proveyendo una comparación económica entre el carbón en columna (CIC) y resina en solución (RIS) usando AuRIX-100 para la recuperación de oro y plata de soluciones típicas de lixiviación en pilas.

Las pruebas preliminares de la resina actualmente usada y la solución de lixiviación de pilas fue un compromiso en este estudio para determinar la viabilidad técnica de la resina AuRIX-100 y entregar parámetros preliminares para el diseño del proceso para un circuito de RIS. Aunque el alcance de la prueba fue limitada, no hay técnica de riesgo asociado con la resina AuRIX-100 y el uso de esta resina para recuperar oro en aplicaciones de RIS fue identificado.

El nivel de detalles de las pruebas preliminares de resina fue suficiente para el nivel de precisiones adaptadas para el costo de capital y operaciones estimadas presentado en este estudio. Pruebas no paralelas fueron conducidos en carbón activado y el estudio cuenta con datos de diseño industrial estándar y datos de operaciones existentes de CIC para diseñar una comparación.

Proveer una cantidad de comparación económica de las dos tecnologías, El estudio adopta dos diseños puntuales para los circuitos de CIC y RIS respectivamente el rango del flujo de la solución y el contenido de oro en la solución experimentado en operaciones típicas de lixiviación en pila. Costos de capital y operaciones ha sido preparado para cada diseño de circuito y resumido como sigue:

Ambos costos de capital y operación indica un ahorro significativo para un circuito de resina en solución (aproximadamente en costo capital 14% y operaciones de 32%) sobre un circuito convencional de Carbón en Columna.

Caso	Tipo de circuito	Solución rica de lixiviación (SRL)*	Producción de oro onza/año	Costo Capital US\$,000's	Costo operación US\$/onza Au
Caso1	CIC	Ley baja	50,000	2,665	19.54
Caso2	RIS	Ley baja	50,000	2,285	13.19

Nota* SRL; ley baja = 0.5 mg Au/L @ 400 m3/h

SUMMARY

A preliminary study of the technical viability of the AuRIX100 for the recovery of gold and silver from clear cyanide solution is presented in this study. Also presented are preliminary investment and operating cost estimates (25%) providing an economic comparison between the carbon-in-column (CIC) and resin-in-solution (RIS) using AuRIX100 for recovery of gold and silver from typical heap leach solutions.

Preliminary resin testwork using actual and the heap leach solution was undertaken for this study to determine the technical viability of the AuRIX100 resin and provide preliminary process design parameters for a RIS circuit. Although the scope of the testwork was limited, no technical risks associated with the AuRIX100 resin and the use of this resin for gold recovery in RIS applications were identified.

The level of detail of the preliminary resin testwork was sufficient for the level of accuracy adopted for the capital and operating estimates presented in this study. No parallel testwork was conducted on activated carbon and the study relied on industry standard design data and data from existing CIC operations to draw a comparison.

To provide a quantitative economic comparison of the two technologies, the study adopted two design points for the CIC and RIS circuits representing the range of solution flows and solution tenors experienced in typical heap leach operations. Investment and operating cost have been prepared for each circuit design and are summarized as follows:

Case	Circuit Type	Pregnant Leach Solution (PLS)*	Gold Production oz/a	Investment Cost US\$,000's	Operating Cost US\$/oz Au
Caso1	CIC	Low grade	50,000	2,665	19.54
Caso2	RIS	Low grade	50,000	2,285	13.19

Note* SRL; low grade = 0.5 mg Au/L @ 400 m3/h

Both the investment and operating cost estimates indicate a significant saving for a resin-in-solution circuit (approximately 14% in investment and 32% in operating cost) over a conventional carbon-in-column circuit.

INTRODUCCION

El desarrollo reciente de la resina AuRIX-100 de intercambio iónico de base media como una alternativa al carbón activado para la adsorción de metales preciosos de soluciones cianuradas. El estudio se compromete evaluar preliminarmente la tecnología de viabilidad económica de la resina AuRIX-100 (RIS) como una alternativa al carbón en aplicaciones convencionales de carbón en columna (CIC).

La evaluación técnica y económica, los resultados de las pruebas preliminares de resina, diagramas de flujo, criterios de diseño y costo de capital y operaciones estimado (25%) para comparar instalaciones de CIC y RIS serán entregados en este Estudio de Ingeniería de Costos.

La aplicación potencial de la resina AuRIX-100 en la industria del oro no está limitado para la adsorción de oro a partir de soluciones claras. Este puede proveer ventajas significativas y ahorro de costos sobre el carbón activado para la adsorción de oro a partir de soluciones de lixiviación de cianuración en pilas para leyes bajas.

Contexto

Desde la mitad del año 1970 el carbón activado (una manufactura adsorbente relativamente barata de cáscara de coco) tiene preparado la industria de extracción estándar para oro y plata de soluciones de lixiviación con cianuro. El proceso de carbón activado creado con micro poros o fisuras en la partícula del carbón. El precio del metal y algunos metales bases de complejos de cianuración serán adsorbidos físicamente en la superficie y dentro de los micro poros del carbón activado. El oro es adsorbido como un anion complejo de aurocianuro $\text{Au}(\text{CN})_2^-$.

En aplicaciones típicas de carbón en solución la ley de la carga del carbón puede llegar de 2,000 a 10,000 gramos de oro por tonelada dependiendo de la ley de la solución, en contacto dentro de la solución y el número de etapas de contactores empleados para la recuperación de los metales preciosos.

Los metales preciosos son recuperados de la carga del carbón por un proceso de desorción. Antes de la desorción el carbón cargado es lavado con ácido, con 3 % de ácido clorhídrico (HCl) para remover los contaminantes orgánicos. El carbón es luego desorcionado con una solución de soda cáustica, cianuro a temperaturas elevadas y presión (110 – 130°C y 220 – 240 kPa). El oro y la plata son recuperados de la solución rica de desorción a través de la electrolisis o electrodeposición en la lana de acero o lana de acero inoxidable.

Aunque el carbón activado es un adsorbente relativamente barato ha sido aceptado universalmente en la industria del oro, esto tiene un número de pequeñas observaciones:

- El carbón activado tiene una capacidad de carga baja y lenta extracción cinética cuando comparamos con la resina de base fuerte de intercambio aniónico. La lenta extracción cinética del carbón no es generalmente preocupante en una aplicación típica de carbón en pulpa (CIP) cuando el rango de lixiviación del mineral es el paso del rango limitante. Sin embargo, en aplicaciones de CIC la cinética de la extracción lenta y baja capacidad de carga impacta en el plan de diseño.
- Las partículas del carbón activado físico son angulares naturalmente y sufren una atrición rápida cuando se introduce primero a los circuitos resultando pérdida de oro altamente con los finos del carbón activado.
- El carbón activado es solo susceptible ha "envenenamiento" de ácido orgánicos (ácido húmico) y "contaminarse" por sales inorgánicas (carbonato de calcio y sulfato de calcio) causando reducción en la cinética y capacidad de carga. Adicionando lavado ácido y regeneración, mas pasos serán incluidos en el ciclo de desorción para vencer estos problemas.

Estos problemas ha apuntado hacer algo, en estos recientes años, un interés en adsorbentes alternativos para la recuperación de metales preciosos. Este trabajo ha focalizado en la **tecnología del intercambio iónico** utilizando la resina de base fuerte. Esta resina de base fuerte provee superior extracción cinética y capacidad de carga (50,000 a 100,000 gramos de oro por tonelada de resina seca) que el carbón activado ⁽⁸⁾.

En contraste a la adsorción física de oro dentro del carbón, los complejos aurocianuro es químicamente adsorbido en la superficie y dentro de los micro poros de las resinas de intercambio aniónico. La adsorción química es fuerte que la adsorción física y provee una cinética y capacidad de carga superior de las resinas.

La desorción de los metales preciosos de la resina requiere un diagrama de flujo diferente fundamento que del carbón. El método más común para la desorción de una resina de base fuerte envuelve el desplazamiento o sustitución de los aniones de metales preciosos en la resina por un anion que es mas fuertemente adsorbida. Este anion es típicamente Tetracianuro de zinc ($Zn(CN)_4^{2-}$) cual es producido por la disolución del sulfato de zinc ($ZnSO_4$) en soluciones de cianuro de sodio ($NaCN$). El oro y plata será recuperado de la solución rica de desorción del tetracianuro de zinc a través de la electrolisis o electro plástico (electrodeposición) en lana de acero o lana de acero inoxidable.

La resina desorcionada es luego regenerado por acidificación con acido sulfúrico causando al tetracianuro de zinc a descomponerse y permitiendo la recuperación del $ZnSO_4$ y el cianuro como HCN .

La desorción y regeneración de la resina de base fuerte es relativamente complicado y sufre de:

- Cambios significativos de volumen en la extracción de la resina entre, la desorción y regeneración. La resultante "choque-osmótica" resulta en fracturas dentro de los collares de la resina y potencialmente reduce la vida de la resina.
- El potencial de precipitación de los sulfato de calcio dentro de los poros de la resina durante la regeneración con acido.

El proceso de desorción compleja y caro requerido por la resina de base fuerte ha impedido la aplicación de la tecnología de la resina en la industria del oro y han desarrollado una **resina de intercambio aniónico (AuRIX-100)** que extraerá oro de la solución de cianuro típico pero puede ser fácilmente desorcionado con solución de soda cáustica diluido (4% w/w $NaOH$) en una presión y temperatura de ambiente. El lecho de la resina AuRIX-100 tiene el funcional Guanidine obligado químicamente en la fortaleza de la resina. Este funcionamiento tiene fundamento intemediante (como se llama **resina de base medio**) que desprotona en condiciones de pH alto siguiendo al anion aurocianuro para ser disuelto fácilmente de la resina. Esta extracción es solo adquirible en un líquido como forma de LIX79.

El collar de la resina AuRIX-100 es duro y resistente a la abrasión y atrición. La resina tiene cinética de adsorción rápida para el oro que el carbón activado siendo este bien sustituido para la aplicación de la resina en solución (RIS). La capacidad de carga de la resina AuRIX-100 (10,000, 20,000 gramos por tonelada seca), aunque es menor que la resina de base fuerte, pero es significativamente alto que el carbón activado ⁽¹⁰⁾.

CAPITULO I

RESINA DE INTERCAMBIO IONICO

1.1 Antecedentes:

Las operaciones del carbón activado y los procesos de carbón en pulpa es el método preferido para recuperar el oro de una pulpa cianurada. Sin embargo, las resinas de intercambio iónico empleadas en los procesos: Solución (RIS) y en pulpa (RIP) es considerada por tener varias ventajas sobre el carbón para la recuperación del oro, tales como: tiene potencialmente mayor capacidad de carga de valores, rápida cinética de adsorción, la regeneración de los iones de cianuro para ser recicladas al circuito de lixiviación, presentando un amplio campo de aplicación.

Así las soluciones de cianuro obtenidas de pilas de lixiviación de minerales de oro de baja ley, la lixiviación de calcinas y relaves de flotación son todas ellas factibles de ser tratadas usando resinas de intercambio iónico.

Esta versatilidad está relacionada a la capacidad de las resinas de tolerar una significativa cantidad de sales de calcio y menos propenso a los materiales orgánicos.

En resumen las resinas no requieren etapas periódicas en el tratamiento de reactivación o altas temperaturas de despojamiento la cuál es requerida en las operaciones estándar con el carbón activado.

Una característica importante que es frecuentemente pasado por alto es el hecho de que las resinas pueden también extraer iones de cianuro libre para ser recicladas y controlar la contaminación.

A pesar de estas ventajas las resinas de intercambio iónico no han sido usadas en una escala industrial en el mundo occidental para la recuperación de los metales preciosos.

Sin embargo, en los recientes años estas han sido retomadas el interés en la aplicación, impulsado en parte por el uso industrial del intercambio iónico para

la recuperación del oro en los USSR. y por las investigaciones realizadas incluyendo operaciones en planta piloto en Sudáfrica y algunos otros.

El proceso químico de las nuevas resinas y el estudio sobre la cinética del intercambio iónico y el comportamiento de los metales complejos de cianuro también ha contribuido en el progreso de la tecnología de intercambio iónico para el oro.

En una solución de cianuro se lixivian los metales nobles y de base encontrándose estos como complejos de cianuro de varias composiciones, el más apropiado intercambiador iónico será: **las resinas de base débil y la resina de base fuerte.**

1.2 Breve Historia de las Resinas de Intercambio Iónico

La era de las resinas sintéticas como intercambiadores iónicos se inició en 1935, en Inglaterra por trabajos de Adams y Holmes; luego hacia 1940 en los Estados Unidos se patentó una serie de resinas denominadas “**Amberlitas**”, tanto aniónicas como catiónicas.

Los primeros estudios en usar las resinas de intercambio iónico para la concentración y purificación del aurocianuro desde soluciones diluidas fueron efectuados por S.J. Hussey en 1949, empleando amberlita **IRA-4B** en pulpa de minerales lamosos y arcillosos, trabajos efectuados en los laboratorios del Bureau of Mines de EEUU. Posteriormente en 1953, F.H. Bursstall y P.J. Forrest reportaron la adsorción del oro utilizando Amberlita **IRA-400**.

Las primeras investigaciones llevadas a cabo en USA, Sudáfrica, Rumania, y la USSR, concluyeron que los procesos basados en las resinas para la recuperación del oro siendo probablemente superiores a los procesos de recuperación con carbón activado, desde el punto de vista económico, químico y metalúrgico.

Posteriormente fue confirmada la instalación de la primera Planta de Resina en Pulpas (RIP) en una de las principales minas de oro: MURUNTAU localizado en Uzbekistán de los USSR alrededor de 1970. La decisión de usar las resinas de intercambio iónico fue indudablemente influenciada por las

experiencias de las compañías mineras en la recuperación del uranio con resinas. Este sistema fue empleado comercialmente en los USA, en el año 1957 en cinco Planta de tratamiento de Uranio. Una de estas es la Federal American Partners, Wyoming, incorporaron el circuito de RIP para tratar minerales arcillosos teniendo una producción por más de 20 años. Las etapa de adsorción se realizaba en 7 tanques de agitadores mecánicos, donde las soluciones barren ha reportado ser menor que 1.0 ppm. para una alimentación de 350 p pm. de U_3O_8 .

Con estos conocimientos, en 1960 se efectuó el primer ensayo de aplicación del proceso RIP en Sudáfrica a nivel de planta piloto, y en 1988 fue comisionado a la Golden Jubilee (Transvaal, Sudáfrica) de convertir la Planta de CIP en una Planta de RIP, con capacidad de 250 TMD, demostrándose que los requerimientos mecánicos son similares a los procesos CIP; y los mismos para recuperar uranio por RIP. Sin embargo, en el aspecto químico se señalan ventajas del proceso RIP sobre CIP, como cinética más rápida, mayor capacidad de carga de oro, y menor consumo de energía en la desorción y regeneración.

1.3 Objetivos

Durante la pasada década la atención ha sido enfocada sobre la factibilidad de usar resinas para recuperar el oro. Trabajos realizados en el área de la química de las resinas han desarrollado resinas comerciales y selectivas, siendo ensayadas en el laboratorio y en planta piloto y esta ha culminado su aplicación en operaciones industriales.

En el presente trabajo se trata de explicar las características de las nuevas resinas selectivas AuRIX-100, para la recuperación del oro y la plata, la tecnología de intercambio iónico y su aplicación a los procesos de cianuración de minerales de oro de baja ley.

La aplicación experimental llevada a cabo en el laboratorio con soluciones cianuradas de oro obtenido del proceso de Lixiviación en Pilas, reportaron los

datos necesarios para determinar la carga máxima de oro en las resinas, las curvas de avance en el equilibrio.

1.4 Características de las Resinas

Las resinas de intercambio iónico, que son comercializables en forma de pequeñas esferitas o granos, están compuesta por moléculas polimerizadas, La moderna resina sintética está constituida por una matriz hidrocarbonada de un polímero inerte, (usualmente el copolímero de estireno y divinil benceno). Estas resinas presentan una superficie de grupos funcionales tales como aminas y esterres en el cual se adhieren cierto número de grupos ionizables.

La matriz del polímero es una red tridimensional que aumenta de tamaño cuando entra en contacto con las soluciones acuosas, adsorbiendo y permitiendo que los iones presentes en la solución acuosa migren o se difundan a través de los sitios del gel a consecuencia de los grupos activos.

Las resinas preparadas sin usar un disolvente diluyente en el proceso tiene una estructura matriz tipo gel, mientras aquellas que son preparadas con solventes tienen mayor abertura, una estructura de macroporos.

Las últimas son preferidas para ser usado en los sistemas puesto que ellos proveen mayor área superficial para la adsorción del ión y tienen mejor resistencia mecánica que las resinas del tipo gel.

Los grupos funcionales pueden intercambiar iones con otros similarmente especies iónicas cargado en la solución, dependiendo de la preferencia de un grupo funcional particular para un ión específico.


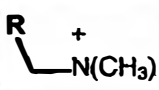
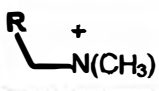
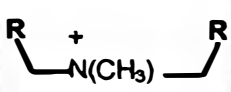
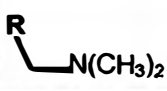
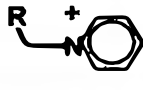


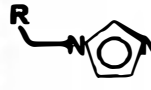
Esto depende de las propiedades del grupo funcional y la carga, tamaño y polarizabilidad de los iones en solución. Los grupos funcionales pueden ser básico (intercambiadores aniónicos) o ácidos (intercambiadores catiónicos) y pueden ser además clasificados teniendo propiedades ácidas como débil o base fuerte, dependiendo en su grado de disociación en la solución.

Alternativamente, grupos funcionales quelantes altamente selectivos pudieron ser ligados a la matriz de resina, pero estos son de interés limitado en la

extracción del oro. Un resumen de los tipos de resinas y su capacidad para el cianuro de oro es dado en la Tabla 1.1

Tabla 1.1

**Selectividad de las Resinas de Intercambio Ionico
y su capacidad por el Cianuro de Oro**

Resina No	Estructura R = 	Capacidad de Base Fuerte (Capacidad de Base Debil) mol/L	Oro en la solución despues de la extracción ^a . mg/L			
			Cantidad de Resina Usada en la Extracción			
			25 mg	30 mg	55 mg	80 mg
1 ^b		1.4 0	0.45	0.31	0.15	0.12
2 ^c		0.8 0	0.84	0.67	0.37	0.26
3 ^c		0.125	0.23	0.10	0.03	0
		0.23				
4 ^c		0.3 0	22.40	9.30	0.46	0.17
5 ^c		0.47 0	0.51	0.33	0.14	0.07
6 ^c		0.21	1.46	0.65	0.02	0
		0.29				
7 ^c	Similar a 6	0.17 0.69	11.80	1.29	0.06	0

^aSolución Inicial: volumen 10 ml. [Au] 415 gr/L. pH 10.

^bRohm & Haas IRA 400 gel comercial de resina de base fuerte.

^cMintek resina de base fuerte con macroporos.

Las resinas son producidas como esferillas, en el rango de 0.25 - 0.60 mm de diámetro. La resistencia física de la resina depende de la dureza de la

estructura de la matriz y consecuentemente diferentes tipos de resina muestran una variable resistencia de atrición. Las estructuras de las resinas son también susceptibles a los choques térmicos y osmóticos. La máxima temperatura de operación recomendada para muchas resinas comercialmente disponibles está entre 60 y 70°C. Y repetidas exposiciones a las soluciones ácidas y alcalinas pueden ocasionar severa degradación física.

Tipos de resinas:

1. Resinas de Ácido Fuerte y Débil, y
2. Resinas de Base Fuerte y Débil.

Las dos primeras se utilizan en intercambio catiónico y las dos últimas en intercambio aniónico.

Las del tipo catiónicos deberán tener radicales como: (-SO₃H) o (-COOH)

Las aniónicas contendrán grupos como (-NH₂) (-NR₂) además del catión intercambiante.

Los grupos activos pueden ser aniónicos o catiónicos en características, y la interacción entre estos grupos y cationes o aniones en la solución son casi invariable a su naturaleza coulombica o electrostática.

- La velocidad de las reacciones de intercambio iónico son por lo tanto altas, reversible y generalmente controlado por la difusión. La selectividad de las resinas para algún ión sobre otro es predominantemente en función del tamaño, carga y polarizabilidad de los iones.
- En toda resina debe considerarse las siguientes características:
 - El producto debe ser completamente insoluble en agua o en el solvente.
 - Tener resistencia a la degradación por acción química
 - Tener la porosidad adecuada que permita el paso de los iones comunes en su forma hidratada.

1.5 Aplicación en la Extracción de Oro

Para la extracción del oro se puede utilizar los intercambiadores Catiónicos: Resinas de ácido fuerte y ácido débil, y los intercambiadores Aniónicos: Resinas de base débil y base fuerte.

Las resinas **catiónicas de ácido fuerte** pueden usarse con los complejos oro-tiourea, pero sobre todo se utilizan para metales como Ni^{2+} , Zn^{2+} , Cu^{2+} , etc.

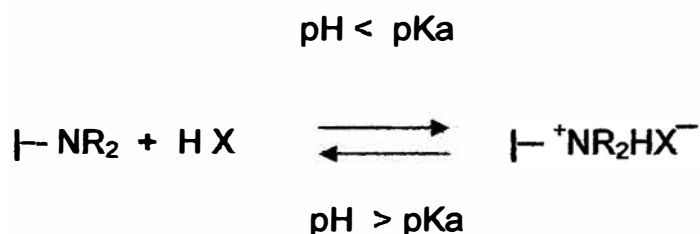
1.5.1 Resinas Aniónicas de Base Débil.

En los intercambiadores **aniónicos de base débil**, los grupos activos son aminas primarias, secundarias y terciarias, o mezcla entre ellos generalmente. En su forma básica libre esta resina no es cargable. Estos grupos son neutros y requieren ser protonados antes de que puedan interactuar con los aniones metal - aurocianuro.

La magnitud de la protonización de la amina a un pH específico es determinada por su basicidad.

Tienen la limitación de cargar poco oro debido a su dependencia del pH, pero son de muy fácil de desorcionar. No pueden ser usados con soluciones ricas de oro a pH alto.

En soluciones acuosas los grupos funcionales serán protonados, por ejemplo:

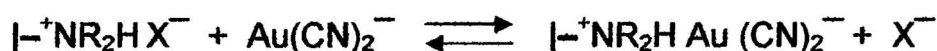


Un valor de pKa puede ser usado para definir la condición a la cuál el 50% de los grupos funcionales es protonados. En soluciones ácidas el equilibrio de la ecuación anterior es desplazado a la derecha y la resina será semejante a un ión de intercambio iónico de base fuerte.

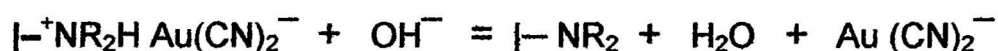
La capacidad de carga de las resinas de base débil es aproximadamente la mitad de las resinas de base fuerte bajo condiciones similares.

Esta capacidad depende de los números protonados de los grupos funcionales por unidad de volumen de resina y su grado de protonación, como también la concentración de oro y otros elementos competidores presente en la solución. Consecuentemente la capacidad es fuertemente dependiente sobre el pKa de

la resina y el pH de la solución. El mayor valor de pKa de la resina, y el más alto valor de pH el cuál la carga máxima del oro serán alcanzados.



La protonación o activación de la resina de base débil ocurre a valores de pH menor al pKa del grupo funcional de amina terciaria, por tanto, antes de usar la resina en un proceso RIS o RIP, es necesario que el valor de pH de la solución sea reducido por debajo del pKa de la resina, para alcanzar la máxima extracción de oro. Esto es obviamente indeseable a causa del incremento del consumo de ácido, pero la principal ventaja de las resinas de base débil sobre la resina de base fuerte es la simplicidad de la desorción. Para una resina de base débil desorbida, la ecuación mostrada en el equilibrio sería reversible, y esto puede ser logrado con una solución cáustica completamente diluida (0.1M):



Se ha demostrado que las resinas que tengan pKa valores en el rango de 9 a 11, logran las máximas eficiencias de adsorción de aniones, se logran en el rango de pH entre 7 y 9.

- La selectividad de la resina de base débil para el oro y la plata sobre los otros metales es ilustrada en la Figura 1.1. La selectividad se mejora con el incremento de pH, sin embargo, ambos la capacidad y la velocidad de adsorción son reducida marcadamente cuando el PH es incrementado sobre 8.

Las resinas de base débil a la cuál tiene un menor valor pKa (por ejemplo 6-8) son generalmente indeseables para usarlos en soluciones de cianuro alcalino, puesto que el pH en condiciones ideales para la lixiviación con cianuro (10 a 11) tiende a despojar hacia fuera los metales valiosos de las resinas.

CONDICION: RATIO DE SOLUCIÓN A RESINA 1000: 1
Solución: pH = 7
Temperatura = 20° C

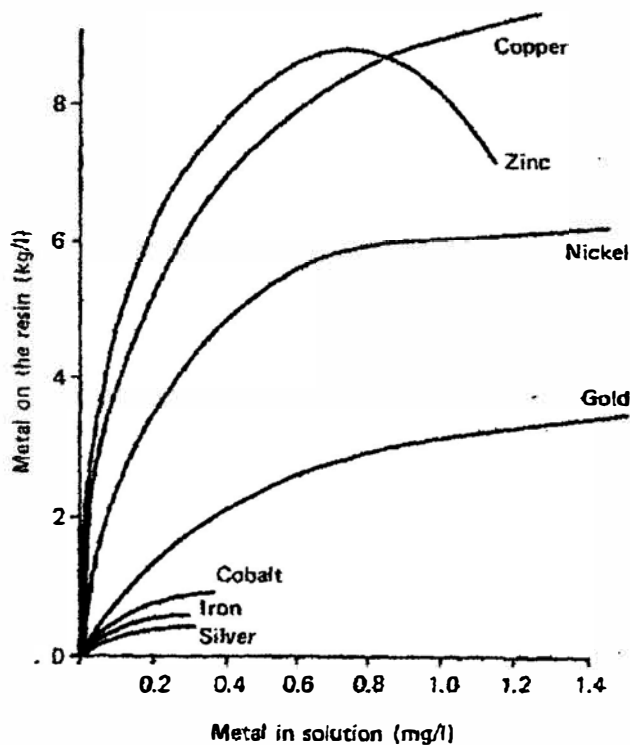


Figura 1.1 Equilibrio de la carga de varios complejos de cianuro metálicos de una solución rica sobre una resina de base débil (AM-7)

1.6 Adsorción con Resinas

Las resinas trabajan por intercambio iónico este puede ser definido como un intercambio de iones reversibles entre un sólido (la partícula de resina) y un líquido durante el cual no hay cambio sustancial en la estructura del sólido.

La adsorción del oro y la plata de las soluciones de cianuro pueden ser logradas con las resinas de base débil o de base fuerte.

Las resinas de base fuerte típicamente tienen alta capacidad de carga y rápida velocidad de carga, pero ello tiene una pobre selectividad (debido a la adsorción de metales base) y son dificultosos de desorcionarr.

Las resinas de base débil son más selectivas y mucho más fácil desorcionar, pero tiene una menor capacidad de carga (25-50 % de la capacidad de la resina de base fuerte) y menores velocidades de carga.

1.6.1 Mecanismo Químico del Proceso de Carga

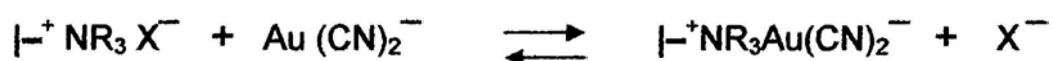
- La cianuración el oro es disuelto formando un complejo aniónico de aurocianuro $\text{Au}(\text{CN})_2^-$ el cual es parecido al sulfato de uranilo, por lo tanto es extraído de la solución por la resina por un mecanismo de intercambio iónico.
- La presencia de otros grupos funcionales tiene efecto en la eficiencia de adsorción de la resina. Además existe un efecto competitivo de algunos complejos de cobre $\text{Cu}(\text{CN})_4^-$ y complejos de fierro $\text{Fe}(\text{CN})_6^{-3}$, con el consiguiente desplazamiento del oro, afectando su capacidad de carga.
- La composición de la solución también afecta la carga de la resina: algunos cationes (Zn, Ni, Co) y aniones (CO_3^{-2} , Cl^{-1} , SO_4^{-2}) se cargan en la resina, compitiendo con la extracción del ión complejo $\text{Au}(\text{CN})_2^-$.

RESINAS ANIÓNICAS DE BASE FUERTE.

Los intercambiadores que más se usan para la extracción de oro son los aniónicos de base fuerte.

Estas resinas poseen sitios activos con cargas positivas fijas (protonadas), y para la extracción de oro estos sitios activos son generalmente grupos de amonio cuaternario, que resultan de la reacción de trimetil amina con una matriz de poliestireno clorometilado o sulfometilado.

Reacción química:



Donde el símbolo ($|^{-}$) denota la porción inerte de la matriz (resina) y X es un anión como el sulfato o bisulfato, dependiendo de los métodos de desorción y regeneración usados.

Un anión metal – cianuro puede desplazar el ión contrario asociado con el sitio de carga positiva, y prenderse luego de la resina mediante la formación de un par iónico según la reacción anterior. La reacción no depende del pH, y por ello la adsorción ha pHs altos no da ningún problema.

La capacidad de carga de la resina para el oro depende de la estructura de la resina, la concentración de los grupos funcionales presentes, la concentración de varios iones en solución y sus propiedades.

El oro carga sobre 100 g/L de resina (25% del oro) puede ser logrado cuando hay poco o no están presente los iones competentes en la solución, sin embargo la capacidad disminuye con el incremento de la fuerza iónica (por ejemplo más iones competentes) y con el incremento de la temperatura.

El efecto de la temperatura sobre el rendimiento de la resina es similar, aunque menos significativo (particularmente la capacidad de carga), de este efecto sobre la adsorción de metales por el carbón activado. Las resinas de base fuerte también adsorben rápidamente plata, níquel, cobalto, cobre, zinc, los complejos de cianuro Fe(II) y Fe(III) en consecuencia muestran una pobre selectividad para el oro. Esto lo podemos apreciar en la Figura 1.2 donde el cobre, níquel y zinc son adsorbidos más rápidamente que el oro y la plata, y consecuentemente será extraído casi completamente hacia la resina antes que los metales preciosos puedan ser recuperado efectivamente.

La selectividad de la adsorción de los diferentes metales cianurados es dependiente del pH ilustrado en la Figura 1.3 y 1.4. A bajos pH, las sales de cianuro metálico son precipitadas la cual reduce la competencia por la resina en los sitios de adsorción. La precipitación selectiva de los metales base previa a la extracción de los metales preciosos por las resinas de base fuerte ha sido sugerida como un proceso opcional, pero no ha sido aplicado comercialmente.

La velocidad de adsorción del oro es de primer orden con respecto a la actividad del oro en solución a bajas cargas en la resina (aproximadamente menor que 50 g/L) y para concentraciones de oro en solución hasta de aproximadamente 40 mg/Lt. En resumen, la velocidad de adsorción:

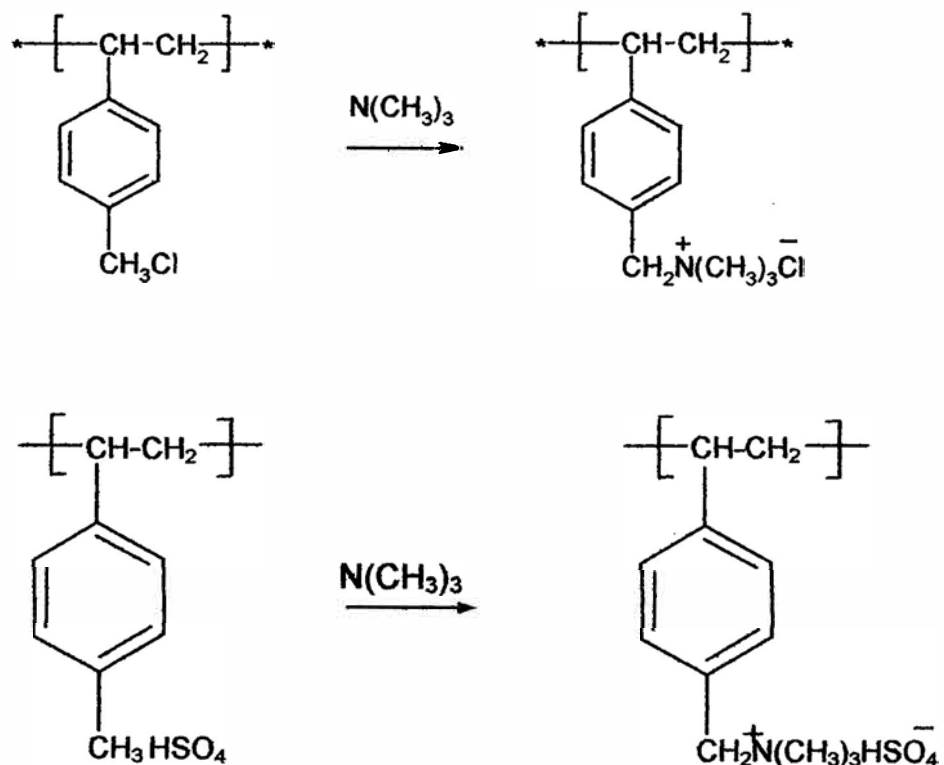
- Disminuyen cuando la resina se ha cargado (similar al carbón)
- Es ampliamente inafectado por el pH entre 2 a 12.
- Incrementa con el incremento de la temperatura, y
- Incrementa con el incremento de la agitación hasta un nivel límite, sobre el cuál los poros de difusión tiene una velocidad límite.

La energía de activación para la adsorción del oro sobre una resina de base fuerte ha sido estimada a 16.5 kJ/mol, el cuál está dentro del rango del control de transporte de masa.

El paso que controla la velocidad es la difusión de la solución a través de la capa límite ó, por difusión de los poros de la resina. Los poros de difusión son fuertemente afectados por el pH de la solución y la fuerza iónica, y es favorecida por el alto pH y la baja fuerza iónica.

Esto ha sido sugerido que la capa límite de difusión afecta significativamente la velocidad de extracción del oro bajo ciertas condiciones encontradas en los circuitos industriales de solución RIP, y la velocidad es maximizada con buenas mezcla. La resina de base fuerte es capaz de cargar el oro rápidamente más qué el carbón activado.

Figura 1.2



Un anión metal – cianuro puede desplazar al ión contrario asociado con el sitio de carga positiva, y agarrarse luego de la resina mediante la formación de un par iónico. Esta reacción no depende del pH, por ello la adsorción a pH altos (10.5 – 12.0) no da problema alguno.

Figura 1.3

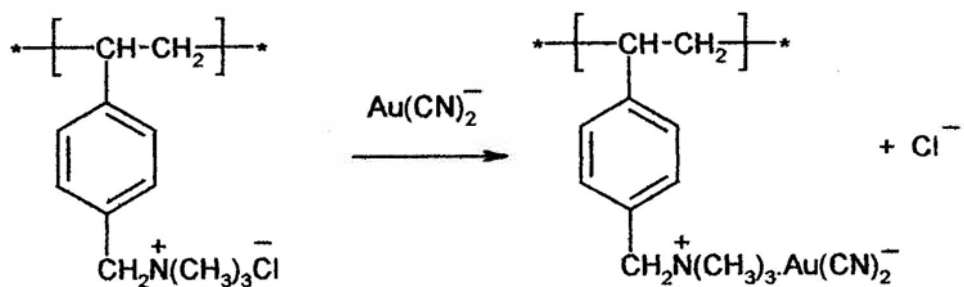
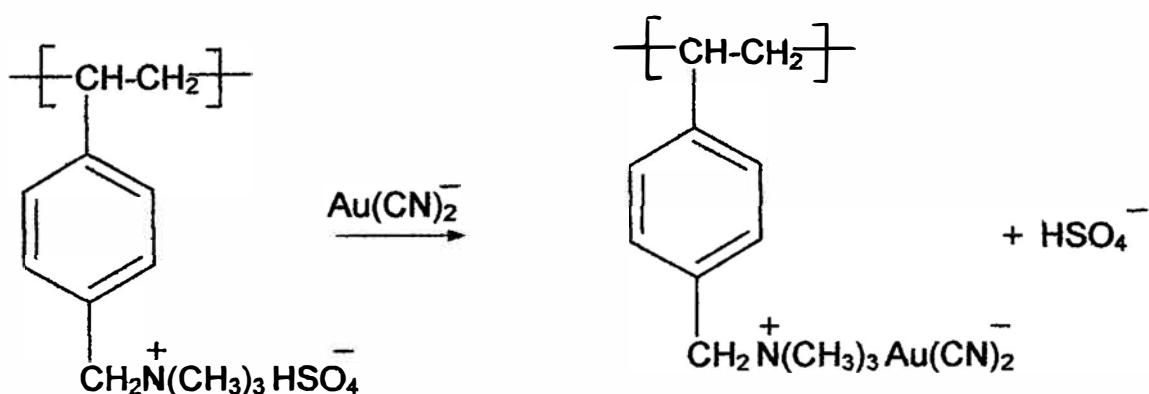


Figura 1.4



La resina **MINIX** pertenece a este tipo de intercambiadores. A diferencia de otras resinas que contienen el grupo metilo, **MINIX** contiene el grupo tributilo. Grupo que es hidrófobo y muy selectivo con respecto al oro, como se observa en la Figura 1.5.

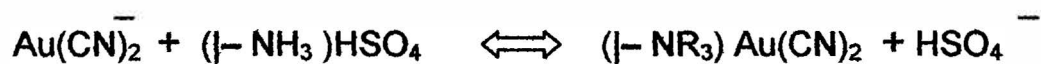
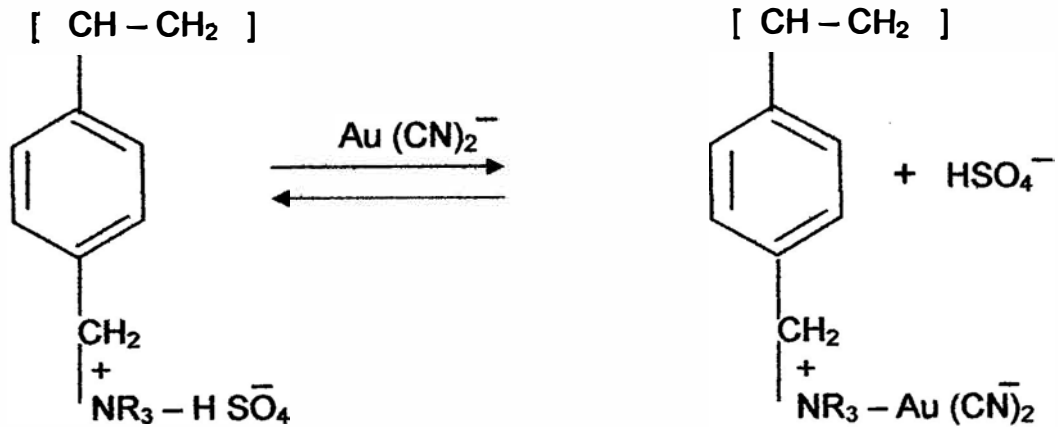


Figura 1.5



La capacidad que pueda tener una resina de intercambio iónico para adsorber oro preferentemente, es decir para tener selectividad por oro, depende de las propiedades de los aniones que están en la solución, y de la estructura de la resina que se use.

La selectividad que depende de las propiedades de los aniones en solución, se denomina **afinidad**. Esta es función de la carga del anión, de su capacidad de polarización y su forma:

- La resina de base fuerte tiene afinidad por el anión de carga monovalente y no por el de carga multivalente aún cuando estos tengan alta polarizabilidad. Por ejemplo, la resina prefiere el cianuro de oro, $Au(CN)_2^-$ en vez de los iones bivalentes del tetracianuro de níquel II, $Ni(CN)_4^{2-}$, y los iones trivalentes del pentacianuro de cobalto III, $Co(CN)_5^{3-}$. Así se establece el orden de selectividad siguiente:

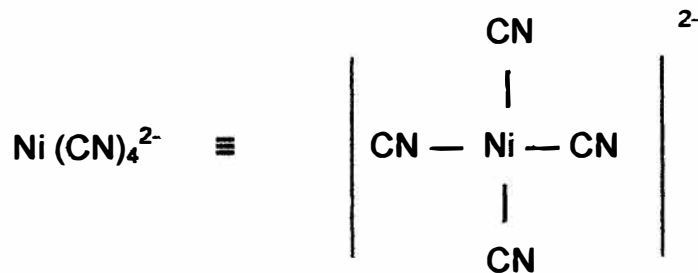
Au > Ni > Co > Fe.

- La capacidad de polarización de los aniones está relacionada con el tamaño de los mismos. Entre dos aniones de igual carga y forma, el más grande es más polarizable, y por tanto se enlazarán más fuertemente a la resina formando un par iónico.
- La resina de base fuerte tiene más afinidad por los aniones pequeños y lineales. Esta es otra razón por la cual también prefiere al cianuro de Oro y no al tetracianuro de níquel II.

El cianuro de oro es un anión pequeño y lineal.



En tanto el cianuro de níquel es un ión grande y no lineal.



La selectividad también depende de la estructura de las resinas. La preferencia de una resina por un anión monovalente sobre otro multivalente depende de la separación de las cargas en la estructura de las resinas. Un anión bivalente requiere, por ejemplo, la presencia de dos grupos cargados positivamente con mucha proximidad. Por ello, en tanto los grupos estén bastante espaciados, la afinidad por el anión bivalente decrecerá, y la afinidad por el anión monovalente no se afectará ya que requiere un solo grupo para adsorberlo. Por ejemplo, los rusos tienen la resina **AM – 2B**, pero no son selectivas por oro debido, entre otras razones, a que sus sitios activos están muy juntos.

Las resinas del tipo **MINIX** tienen preferencia sobre las especies del oro y la plata: $\text{Au}(\text{CN})_2^-$ y $\text{Ag}(\text{CN})_2^-$ por sobre la de cobalto y la de hierro: $\text{Co}(\text{CN})_6^{-3}$ y $\text{Fe}(\text{CN})_6^{-4}$, esto significa que, por la multivalencia y tamaño de los iones de cobalto y hierro, estos no se adsorberían en la resina **Minix**.

1.7 Desorción de la Resina

Las resinas cargadas serán capaces de ser desorcionadas y que permitan subsecuentemente la recuperación del oro y luego reciclen las resinas hacia el circuito de adsorción. Para que el proceso sea económico. Las resinas despojadas contendrán entre 25 a 50 grAu/tm para ser efectivamente rehusado. En resumen, otras especies adsorbidas podrán también ser removidas de la resina y eliminado del sistema, evitando así el acumulamiento de elementos contaminantes que podría de otro modo reducir la adsorción del oro.

Las ventajas y desventajas de varios procesos de desorción para las resinas de base débil y fuerte son resumidas en las Tablas siguiente:

Tabla 1.2

Zn(CN)₄⁻² (S/B)	SCN⁻ (S/B)
VENTAJAS	
Todos los complejos aniónicos de cianuro son desorcionados eficientemente.	Todos los complejos de cianuro son despojados en la desorción y regeneración.
Las resinas pueden ser regeneradas totalmente a su capacidad eficientemente en cada ciclo con recirculación de reactivos químicos.	Las resinas son regeneradas en toda su capacidad eficientemente en cada ciclo de recirculación.
Ningún problema con los materiales de construcción en la desorción y electro deposición.	No hay contaminación química en la desorción y regeneración
	Rápida cinética de desorción.

DESVENTAJAS	
Las resinas tienen que ser regeneradas químicamente después de la desorción.	La resina tiene que ser regenerada químicamente después de la desorción.
La cinética de desorción es lenta	Ligera corrosión de los ánodos en la celda de electrodeposición.
Toxicidad por el gas cianhídrico producido durante la regeneración.	

Tabla 1.3

CS(NH₂)₂ (S/B)	Na OH (W/B)
VENTAJAS	
La resina no tiene que ser regenerada después de la desorción.	Todos los complejos aniónicos de cianuro son despojados en la desorción y regeneración.
Ninguna sustancia tóxica se produce durante la desorción.	Las resinas pueden ser regeneradas totalmente a su capacidad en cada ciclo con reactivos químicos baratos.
	Ninguna sustancia tóxica se produce durante la desorción y regeneración.
	Rápida cinética de desorción y electro deposición
	Ningún Problema con los materiales de construcción en la desorción y electro deposición.

DESVENTAJAS	
Lenta cinética de desorción.	Las resinas serán tratadas con ácido después de la desorción.
Corrosión en los electrodos por la desorción ácido.	
Contaminación de la resina por el cobalticianuro.	
Descomposición del tío urea en la solución ácida.	

S/B = Base Fuerte

W/B = Base Débil

1.7.1 Desorción de la Resina de Base Fuerte

La desorción de las especies de metal de las resinas de base fuerte es más dificultosa que la desorción de una resina de base débil. Los aniones

metal-cianuro son altamente polarizables, lo cual causa en ellos un enlace muy fuerte de adsorción del ión con la resina.

Sólo se puede realizar una desorción conveniente mediante la destrucción del complejo metal-cianuro, o la desorción puede ser lograda por cambio de la reacción de equilibrio hacia la izquierda por incremento de la concentración de un anión competente en la solución, usando un anión que se enlace tan fuertemente que desplace eficientemente el anión metal – cianuro, o por conversión de los iones de metales adsorbidos a especies no iónica. (Por ejemplo complejos de tiourea de oro.)

En el anterior caso, aniones simples, tales como el tiocianato, cloruro, bisulfato, nitrato o iones de cianuro podrían ser usados.

Altas concentraciones de estos iones son requeridas puesto que son más débilmente adsorbidos que los complejos de cianuro de oro, y un solvente orgánico polar es usualmente requerido para incrementar la actividad del desorción, por ejemplo la acetona o acetonitrilo.

Alternativamente un anión complejo, el cuál es más fuertemente adsorbido que el cianuro de oro (I), tal como el cianuro de zinc (II), podría ser usado relativamente en bajas concentraciones para desorber el oro cargado en la resina.

Cuatro procesos de desorción han sido desarrollados de esta base teórica, cada cuál podría tener aplicación para la desorción de un tipo de resina específica en particular.

Aplicaciones:

1. Cianuro de zinc
2. Tiourea
3. Tiocionato, y
4. Cloruro

Las eficiencias relativas de la desorción del oro de los primeros tres métodos para la desorción del oro son ilustradas en la Figura 1.6.

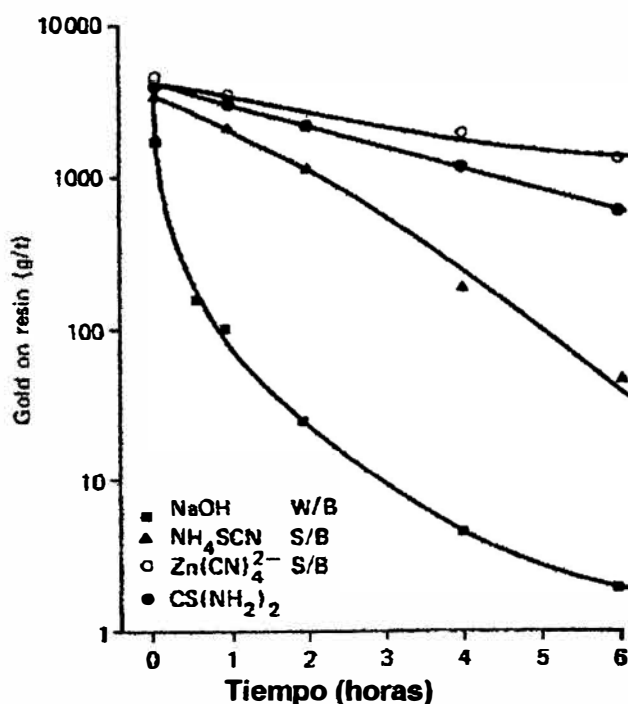


Figura 1.6 Velocidades Relativas de Desorción de Oro de Resinas de Base Fuerte (S/B) y Resinas de Base Débil (W/B) Bajo Condiciones Estándar de Electro-Elucion.

Sin embargo, la efectividad para remover los elementos contaminantes disminuye en el orden siguiente: (Tabla 1.4)

TABLA 1.4. LA EFICIENCIA DE DESORCIÓN DE VARIOS COMPLEJOS DE CIANURO DE METALES ANIÓNICOS DE RESINAS DE INTERCAMBIO ANIÓNICO USANDO CIANURO DE ZINC, TIOCIANATO, TIUREA Y HIDRÓXIDO DE SODIO, BAJO CONDICIONES ESTÁNDAR.

EFICIENCIA DE DESORCION (%)				
RESINAS				
IONES METALICOS	BASE FUERTE			BASE DEBIL
	Zn(CN) ₄ ⁻²	SCN ⁻	CS(NH ₂) ₂	Na OH
PLATA	100	100	100	70
COBRE	100	100	53	100
COBALTO	87	63	0	78
NIQUEL	85	58	100	66
ZINC	n.d.	0	0	0
FIERRO	90	87	0	58

CIANURO DE ZINC > TIOCIANATO >> TIUREA

Y los costos relativos de los tres métodos han sido estimados como sigue:

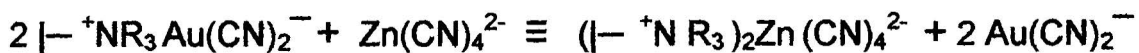
CIANURO DE ZINC < TIOCIANATO < TIOUREA

Los principales métodos de desorción dependen sobre la química del tratamiento particular del mineral.

1.7.1.1 Cianuro de Zinc

Este método de desorción es desplazar los cianuros metálicos con cianuro de zinc, y regenerar entonces la resina por destrucción del cianuro de zinc con ácido. El gas hidrocianico puede ser colectado en una solución alcalina y reciclado al circuito.

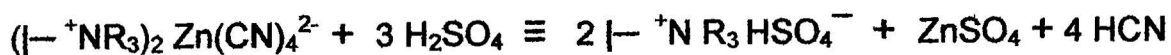
La desorción del cianuro de oro de la resina de base fuerte esta dada por la siguiente ecuación:



La velocidad de desorción se incrementa con el incremento de la concentración de cianuro de zinc hasta 0.15M Zn(CN)_4^{2-} ; sin embargo, la concentración óptima para minimizar el oro residual cargado es de 0.05 M, tomando en consideración que la temperatura elevada ($> 50^\circ\text{C}$) son requerida para prevenir la cristalización de las sales de cianuro de zinc.

La energía de activación es estimada en 26 kJ/mol la cuál indica algún grado de control químico, favoreciendo alta temperatura de la desorción. En la practica las temperaturas de 50 a 60 °C son usado. Otras especies metálicas como la plata, cobalto, níquel, zinc y fierro, son también efectivamente son despojadas de la resina por este método.

Las resinas desorcionadas serán regeneradas para remover las especies de cianuro de zinc adsorbido de los grupos funcionales permitiendo rehusar para la adsorción del oro. Esto se logra efectivamente con el ácido sulfúrico a pH menores de 2:

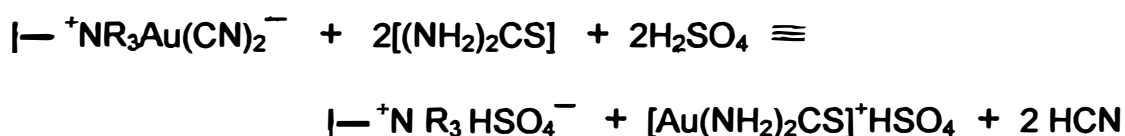


El cuál reduce al zinc cargado rápidamente, por ejemplo de 100 kg/t a < 100 g/t en 4 a 8 horas. El cianuro de hidrógeno producido es neutralizado en una solución alcalina (soda o cal) en sistema de tanques hermético cuando es producido.

1.7.1.2 Tiourea

Este método de desorción involucra la destrucción del cianuro metálico con una solución ácida de tiourea.

La tiourea reacciona con el oro adsorbido formando complejos cargados positivamente el cuál puede ser desorbido fuera de la resina con agua. La reacción total de la desorción es dada como sigue:



La velocidad de desorción incrementa con el incremento de la concentración de la tiourea, hasta un máximo de 1M, y con el incremento de la fuerza del ácido sulfúrico, también hasta aproximadamente 1M. La energía de activación, estimado en 19 kJ/mol, indica que algún beneficio puede ser obtenido en la desorción a temperaturas elevadas. Sin embargo, esto no es posible porque la tiourea se descompone a la temperatura de ambiente en solución ácida formando azufre elemental y la velocidad de descomposición incrementa con el incremento de la temperatura. Esta reacción es pensada por ser catalizada por la resina misma, resultando los altos consumos de reactivos.

Las Soluciones de desorción conteniendo solamente tiourea son muy ineficientes en la remoción de los iones de metal básico, especialmente el cobalto, fierro y algunos casos el zinc y níquel. Consecuentemente, el proceso es indeseable para tratar soluciones conteniendo altas concentraciones de estas especies. Por ejemplo, la desorción con tiourea de una resina cargada de una solución conteniendo > 1 mg/lt de cobalto resulta en una rápida contaminación de la resina. A pesar de esto el método de tiourea es usado en

combinación con otras etapas de desorción para remover estos elementos contaminantes.

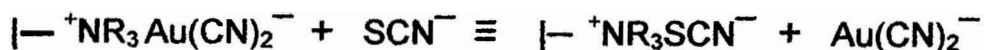
El uso de la tiourea en soluciones ácidas también presenta algunos otros problemas:

1. Los cátodos de lana de acero en las celdas de electrodeposición y otros componentes metálicos del proceso son rápidamente corroído en un medio ácido requerido para la desorción de la tiourea, y
2. El choque osmótico producido por repetidas desorción en medio ácido y adsorción en medio alcalina degradan la estructura de la resina, resultando con pérdidas de resina.
3. Los metales básicos, particularmente el cobalto y fierro, son pobremente desorcionados, y pueden envenenar la resina.

1.7.1.3 Tiocianato

Un método alternativo, los aniones metal-cianuro son desplazados por aniones tiocianato, y la resina es regenerada por tratamiento con una sal férrica. El tiocianato es recuperado desde el regenerante mediante la precipitación de fierro como hidróxido férrico.

La desorción por el tiocianato involucra el desplazamiento de los complejos de oro por el ión tiocianato (SCN^-), representado por la reacción:



La velocidad de desorción incrementa con el incremento de la concentración del tiocianato, hasta un máximo de 2M SCN^- , y dentro de un rango de pH de 7 a 8. La energía de activación es estimada en 15 kJ/mol, el cuál sugiere que elevadas temperaturas es poco probable el mejoramiento de la cinética de desorción.

En la Figura 1.7 se muestran las velocidades típicas de desorción logradas mayormente con el tiocianato, que el cianuro de zinc ó tiourea.

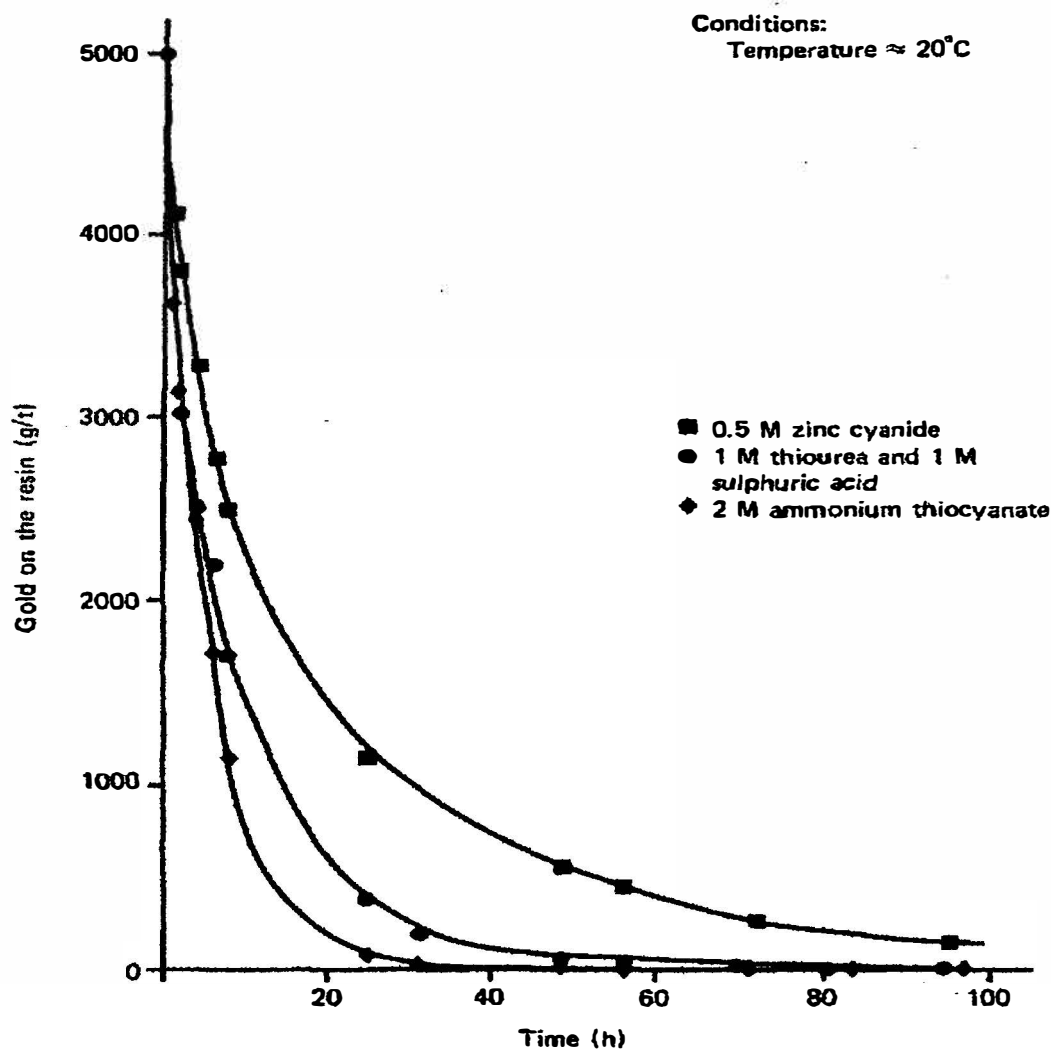
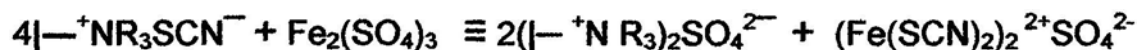


Figura 1.7 Velocidad de desorción de oro de una resina de base fuerte empleado varios eluentes.

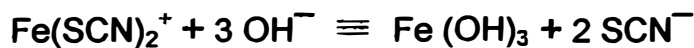
Después de la desorción, las resinas serán regeneradas para ser reusada para la adsorción de metales.

Los ácidos como el sulfúrico, clorhídrico puede ser usado, pero el ión tiocianato se descompone rápidamente a azufre elemental en la presencia de ácidos fuertes. Una alternativa es tratar la resina con una solución de Fe (III) para formar complejos catiónicos de tiocianato, el cuál es rápidamente lavado y descartado de la resina con agua:



En este caso una concentración de Fe^{3+} de aproximadamente 0.5 - 1M es requerida para una efectiva regeneración.

El tiocianato es recuperado por la adición de hidróxido para ser precipitado como hidróxido Fe (III):



Los iones tiocianato formado son aprovechados para reciclarlo al proceso de desorción.

1.7.1.4 Cloruro

Un proceso de desorción secuencial usando iones de cloruros para remover el oro y la plata.

El proceso usa 2N de ácido sulfúrico para la desorción de mercurio, seguido por un tratamiento con 200 gr/lit de cloruro de sodio en 1N de ácido clorhídrico para remover la plata y finalmente la desorción del oro con 0.73 % de hipoclorito de sodio en una solución conteniendo 150 g/lit de cloruro de sodio y 5 gr/lit de hidróxido de sodio.

1.7.2 Resina de Base Débil

Las resinas de base débil son desorcionadas con solución de hidróxido de sodio fácilmente, pero las de base fuerte no.

La desorción de la resina básico débil es completada por la inversión de la reacción siguiente:



Como los aniones metal – cianuro se enlazan muy fuertemente debido a su alta polarización, en ellas sólo se pueden realizar una desorción conveniente mediante:

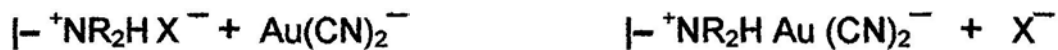
- El uso de un anión que se enlace fuertemente a la resina y que logre desplazar el anión metal – cianuro; o,
- Mediante la destrucción del complejo metal – cianuro.

Las únicas ventajas que una resina básico-débil tendría sobre una resina básico-fuerte son la facilidad de la desorción y la regeneración.

Un álcali que causará deprotonización de la resina remueve la carga positiva, y un anión metal – cianuro que no tiene ninguna afinidad por una resina neutra soltará el reactivo.

Una basicidad muy alta hará difícil la remoción del protón con el álcali preferido. Así, al seleccionar un grupo activo para una resina básico-débil, es necesario considerar el reemplazo de un alto carguio por una buena desorción.

A valores de pH sobre el pKa de la resina, el equilibrio de la reacción de intercambio iónico dada por la ecuación siguiente. Tiende hacia el lado izquierdo y los grupos funcionales no son capaces de retener los iones adsorbidos, por ejemplo la resina es convertida a su forma libre.



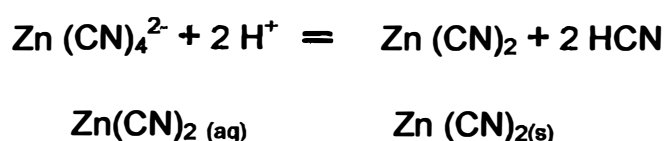
La velocidad de desorción incrementa con la concentración de hidróxido hasta alcanzar una concentración óptima de 0.5 M. A mayores concentraciones la velocidad es reducida, probablemente debida a la precipitación de zinc, y otros metales, como hidróxidos.

La velocidad es también incrementado a elevadas temperaturas pero rápidas elusiones es alcanzadas bajo condiciones ambientales, y mucho más rápida que en los procesos de carbón y desorción con resinas de base fuerte

Una resina cargada con 1800 gr Au/t es desorbida hasta < 10 gr/t en menos de 1 hora.

El efecto de la concentración de oro en la cinética de desorción y eficiencia es menos pronunciado que el observado en la desorción para resinas de base fuerte.

En la desorción con hidróxido de sodio remueve eficientemente el oro y el cobre; sin embargo, la plata, níquel, zinc y fierro son relativamente pobremente desorbido, particularmente en soluciones ácidas, debido a la formación de cianuro de metales básicos, por ejemplo:



La desorción de la plata, el fierro y el níquel durante el tratamiento cáustico puede ser significativamente mejorada por la adición de cianuro al eluente. La remoción de los cianuros de ácido disociable, tales como el cobre, zinc y níquel, puede ser alcanzado efectivamente por tratamiento con ácido diluido (por ejemplo. 5 % de ácido sulfúrico) después de la desorción, el cuál deja libre las especies de cianuro metálicos adsorbidos como los iones de Cu^{2+} , Zn^{2+} , y Ni^{2+} respectivamente, los cuales son fácilmente lavados fuera de la resina.

1.8 Principios del proceso de Desorción

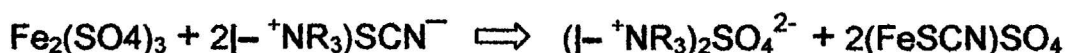
Basado en estos principios existen tres métodos de desorción, ellos son:

- **Por Desplazamiento** del anión metal – cianuro con Cianuro de Zinc
- **Por Desplazamiento** del anión metal – cianuro con aniones Tiocianato.
- **Por Destrucción** del cianuro metálico con una solución ácida de Tiourea.

Es recomendado para resinas no selectivas de base fuerte como el A161 L, A161 RIP y la IRA 400. Ya que la reacción es reversible, es importante que la solución producida por la desorción se mantenga en los niveles más bajos de oro.

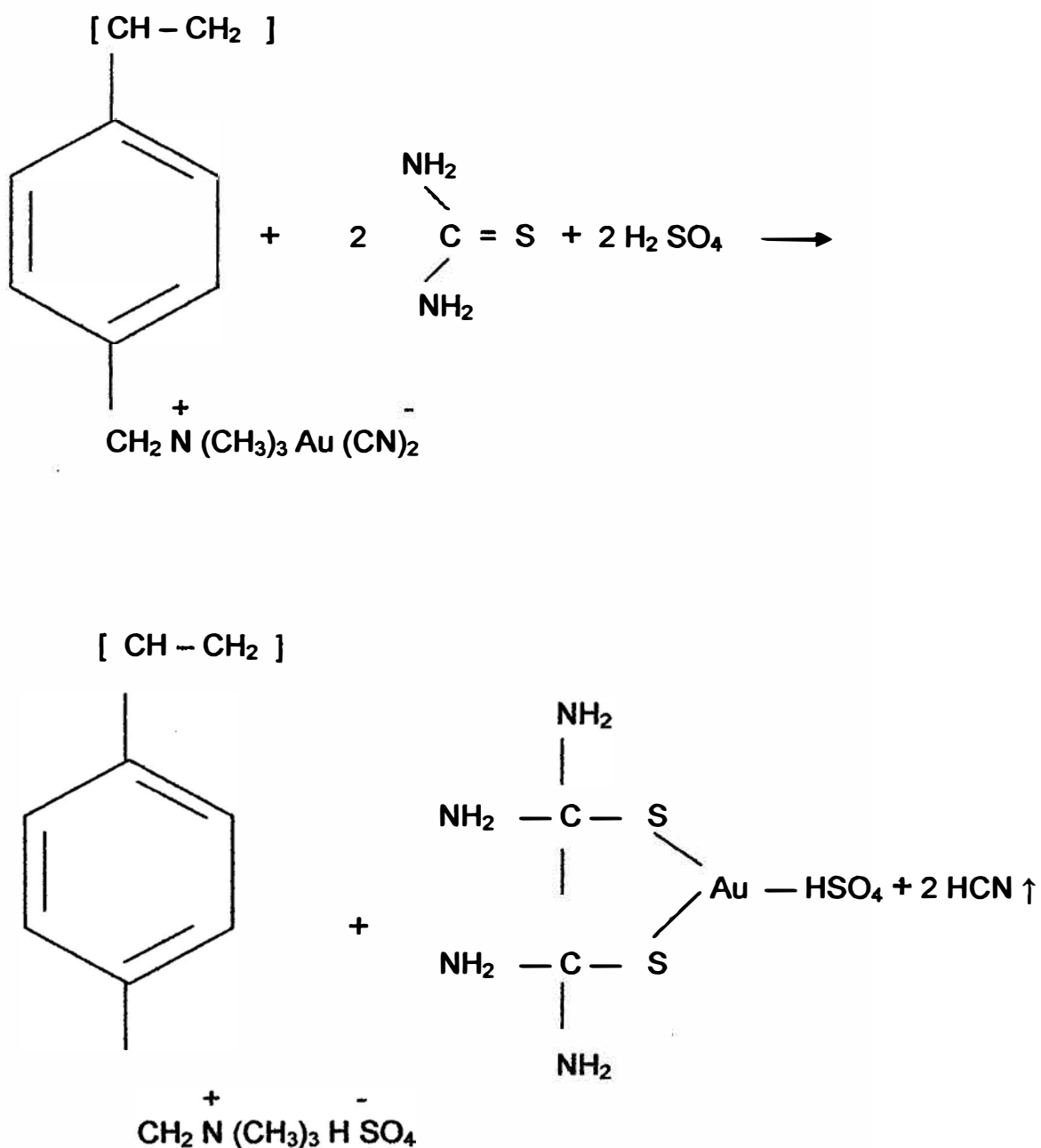
La solución se almacena en un tanque y se recicla pasando por un calentador (60°), por la columna de desorción y la celda de electro-deposición para volver al tanque de almacenamiento. Después de la desorción, la resina es lavada con agua para remover la solución de cianuro de zinc residual. Es regenerada con ácido sulfúrico. El spent que contiene sulfato de zinc saturado con HCN se trata con cal y el cianuro de zinc puede ser reciclado a la desorción. La mayor desventaja de este método es su lentitud.

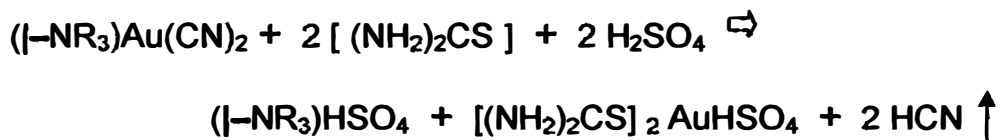
Cuándo los aniones metal-cianuro son desplazados por **Aniones Tiocianato**, la resina es regenerada por tratamiento con una sal férrica. El tiocianato es recuperado del regenerante por precipitación de fierro con hidróxido férrico.



La destrucción del cianuro metálico se realiza con una **Solución Ácida de Tiourea** es un método muy conveniente para las resinas selectivas de oro, mas para las no selectivas es muy peligroso ya que no desorciona metales básicos, entre ellos fierro y cobalto, elementos que pueden envenenar la resina. En soluciones ácidas, la resina cargado con cobalto puede formar $(Co(CN)_5H_2O)^{-2}$, el cual se polimeriza dentro de la resina, envenenándola, como es representada en la Figura 1.8.

Figura 1.8





La destrucción del cianuro metálico con Solución Ácida de Tiourea se ha practicado en resinas de diverso origen. En resinas Minix, por ejemplo, se usó dicha solución después de un lavado ácido para remover Ni, Zn y Cu.

La electrodeposición se practicó con lana de acero, pero fue mejor con malla de acero inoxidable. Ultimamente se está usando ánodos de plomo y cátodos de titanio.

Para la desorción de las resinas AM-2B (resinas rusas), se usó la misma solución pero se requirió un tiempo largo de operación. El proceso incluyó una serie de desorciones, contactando la resina cargada con diferentes soluciones.

El diagrama de flujo suele diferir de planta a planta. Se separa primero el Fe y Cu con NaCN, luego el zinc y níquel con ácido sulfúrico diluido. Después se hace la separación de plata con solución de Tiourea, solo si hay grandes cantidades de plata en la solución.

Se extrae el oro con solución de Tiourea y finalmente se regenera la resina con solución de hidróxido de sodio. Se requiere entre 55 y 60°C para estas operaciones. El oro se recupera por electrodeposición.

CAPITULO II

ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LA RESINA

2.1 Programa de Pruebas

El objetivo principal del programa de pruebas de la resina fue proveer confianza y parámetros de diseño importante para una facilidad de la resina en solución e identificar algún defecto técnico en la resina AuRIX-100. La clave de los parámetros de diseño de la resina en la solución evaluada en este programa de prueba fue:

Características hidráulicas de la resina en las columnas de configuración de flujo descendente y flujo ascendente.

El equilibrio en la carga de la resina.

La cinética en la carga de la resina.

Pruebas de avance en la resina y pruebas continuas de resina en solución.

Características en la desorción de la resina.

Un resumen esquemático del programa es proporcionado en las Figuras 2.1 a 2.4 con un alcance detallado de un apéndice de trabajo en este documento.

Las pruebas de equilibrio y cinética de carga de la resina fueron realizadas con solución generada de las pilas de lixiviación del mineral oxidado de baja ley. La prueba hidráulica de la resina fue conducido en Perth tap water. Debido al volumen grande de la solución rica de lixiviación requerida por las pruebas continuas de resina en solución y avance de la resina fue requerido un volumen de solución rica de la poza (PRL) de composición similar a la solución de lixiviación real usado en la prueba de equilibrio y cinética de carga.

Pruebas paralelas no fueron conducido con carbón activado porque el estudio a confiado en datos de diseños industriales estándares y datos de operaciones existente para sacar una comparación.

2.2 Solución de Ley Baja y Preparación de la Resina

2.2.1 Solución de la Pila de Lixiviación de Ley Baja

Las pruebas continuas de resina en solución y avances de resina fueron conducidas con volumen de solución obtenidas de la pila de lixiviación como sigue:

Solución:	Obtenidas de la PRL.
Oro:	1.8 – 2.0 ppm
pH:	10 – 10.5
Cianuro:	100 ppm de cianuro libre como NaCN.

La solución de la PRL fue ensayada por oro y cianuro libre.

Nota: El concentración del cianuro libre en la solución de lixiviación en pilas (generalmente 50 – 100ppm NaCN). El cianuro libre superior pudo ser aun pequeño esto afectara perjudicialmente en el equilibrio de extracción con la resina y puede alcanzar una ley conservadora para el diseño del circuito de RIS presentado en este estudio.

2.2.2 Resina preacondicionada

La resina fresca AuRIX-100 es abastecida en cloruro con carga de oro cero. Previa al inicio del programa de pruebas las resina fresca fue preacondicionada, proporcionado por el laboratorio, convirtiendo la resina en la de base libre (convirtiendo la resina del hidrocioruro a la base libre) y precargando la resina con oro (aproximadamente 600 gramos de Au por tonelada seca) en orden para simular lo anticipado a la resina pobre de la planta.

Procedimiento del preacondicionado de resina

A resina recibida es lavado con 10 volúmenes de lecho de 0.5M de solución cáustica para convertir la resina para la de base libre.

La resina convertida es contactado con 30 mg/L de solución de cianuro de oro ajustado a 100 ppm de cianuro libre e una relación de 10:1 de

masa (Bases de la resina húmeda) por 24 horas para precarga de la resina con 600 gr Au por tonelada de resina seca. La resina preacondicionada luego es drenado y almacenado en un depósito cerrado, en contenedores angostos y cerrado.

2.3 Pruebas hidráulicos de Resina

Una muestra de preacondicionado de la resina fue cargada en un tubo transparente de \varnothing interno de 24.5mm con una altura de 400mm. El lecho de la resina fue inundado sucesivamente con un flujo descendente y luego direccionado el flujo ascendente con agua para separar el aire de la columna de resina. El asentamiento final de la altura de la columna de resina fue 371mm (asentamiento de la altura del lecho).

El agua fue bombeada usando un variador de velocidad, con una bomba peristáltica calibrado para la altura de la columna durante las pruebas de flujo descendente dejando caer la presión y por la base de la columna durante el flujo ascendente la prueba de expansión del lecho. El ambiente aireado y temperatura de agua fue de 18°C.

La prueba de caída de presión de lecho con flujo descendente fue realizada en 4 rangos de flujo de lecho volumétrico y asociado a un diferencial de presión en la columna fue medido para cada flujo estimado usando un manómetro de mercurio. Las pruebas de expansión del lecho con flujo ascendente fueron realizadas en 5 rangos de flujo promedios del lecho volumétrico y asociado al lecho de expansión fue medido en cada flujo como un cambio en la altura de la columna de resina. El resultado de la prueba del flujo descendente y flujo ascendente es resumido en las Tablas 2.1 y 2.2 y están representados gráficamente en las Figuras 2.5 y 2.6 respectivamente.

Las pruebas hidráulicas indicaron lo siguiente:

En una configuración de flujo descendente, la caída de presión a través de una limpieza, un compactamiento del lecho de la resina AuRIX-100 es muy bajo y una relación lineal cercana existente entre la caída de presión de lecho por metro de profundidad de lecho y la velocidad específica (lineal) sobre los rangos de flujos ensayados.

En una configuración de flujo ascendente, una velocidad específica (lineal) del líquido a través de la columna sobre el rango del flujo ensayado. La fluidización del lecho inicial sucede en una velocidad específica aproximadamente de $3.5 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$.

2.4 Isotermas de equilibrio en la extracción con Resina

Los volúmenes medidos de la ley baja (1000ml) de solución de lixiviación fueron controlados con 5 diferentes masas de resina preacondicionada para 48 horas. La solución residual fue ensayada por Cu, Zn, Au y Ag y cianuro libre. Las condiciones de prueba y resultados están resumidas en una Tabla 2.3. Las isotermas de equilibrio para la extracción de oro por las soluciones de baja ley serán presentadas gráficamente en una Figura 2.7.

La adsorción de especies de cianuro (oro, plata, cobre, zinc, etc.) en la resina es una reacción reversible y un existente equilibrio entre la carga de la especie en la resina y la concentración de las especies en la solución. El equilibrio entre la solución y la resina puede ser descrito por las isotermas de Freundlich como sigue.

Ecuación de Freundlich.

$$[Au]_R = a[Au]_S^b$$

Donde:

$[Au]_R$ = Concentración de oro en la resina en mg/L

$[Au]_S$ = Concentración de oro en la solución en mg/L

a, b = Constante de Freundlich.

La constante de Freundlich "a" es la capacidad de carga calculado en la resina con una ley de solución de 1.0 (por ejemplo 1 mg/L dependiendo de las unidades adaptadas). Esta constante es usada frecuentemente para comparar las características de carga de las diferentes resinas. La capacidad de carga máxima de la resina puede ser determinada gráficamente como el punto donde

un aumento en la concentración de la solución no resulta en un aumento correspondiente en la carga de resina (ejemplo inclinación de la isoterma = 0).

El uso de dos diferentes leyes de solución a generado una compensación de isoterma de equilibrio reduciendo la dependencia en los datos puntuales generado con concentraciones de resina muy bajos donde el pequeño error es analizado causando grandes desviaciones en los resultados.

Para determinar el grafico constante de Freundlich, la ecuación Freundlich puede ser reescrito como sigue:

$$\boxed{\log[Au]_R = b \log[Au]_S + \log(a)}$$

Donde: b = Inclinación de la recta
 log(a) = Intersección con el eje y.

El ploteo del log-log de las isotermas es presentado en una Figura 2.8 y proporciona una relación lineal cercana. La constante de Freundlich fue determinada de la regresión lineal de la recta mejor apropiado. La constante de Freundlich para la ley baja de isotermas de extracción está proporcionada en una Tabla 2.4.

Las isotermas de Freundlich indican lo siguiente:

La discrepancia significativa existente entre los puntos superiores en la isoterma de leyes bajas. (Figura 2.7)

En las concentraciones de resinas muy bajas (menor que 0.1 gramo seco por litro) existen pequeños errores en los ensayos de la solución en equilibrio atribuyendo a variaciones muy grandes en la carga calculada de leyes de resina. Las concentraciones altas en la resina (máximo que 1.0 gramo seco por litro) atribuye a cambios grandes en las leyes de solución o cambios pequeños en el cálculo de leyes de resina cargado.

La resina AuRIX-100 tiene muy buena característica cargando con leyes bajas de solución de oro (menor que 1.0 mg Au/L) resultando con leyes altas de la resina cargada (arriba de 7,000 gramos de Au por tonelada seca).

La resina AuRIX-100 es selectiva para el oro sobre otros mas complejos metálicos cianurados con la selectividad para el oro sobre ambos cobre y zinc ilustrado en los gráficos sensitivos (Figuras 2.9 y 2.10). La sensibilidad del grafico indica que el oro fue adsorbido preferencialmente por la resina y desplazando ha ambos de la resina el cobre y el zinc en la carga alta de la resina total.

Esto indica aquellos lugares de la resina no ocupados por el oro son disponibles para cargar cobre y zinc. En una resina cargada con alto oro pocos sitios son disponibles para cargar metales base y por lo tanto alcanza una mejor selectividad.

2.5 Cinética de Extracción con Resina

Las soluciones ricas de lixiviación de leyes bajas fueron contactadas con la resina preacondicionado por agitación. Pruebas paralelas fueron conducidas a temperatura ambiental (18°C) y una baja temperatura (5.5°C) para determinar el efecto de la ley de la solución y temperatura en la cinética de extracción. Las soluciones fueron muestreados cada 0.5, 1, 2, 4, 8 y 12 horas y ensayado por Au, Ag, Cu y Zn. Las condiciones de las pruebas y resultados son detallados en las Tablas 2.5 y 2.6. Los rangos de adsorción del cianuro de oro en la resina AuRIX-100 en las leyes de solución y temperaturas son presentados en las Figuras 2.11.

Las Figuras 2.11 presentan el agotamiento de oro en la solución con el tiempo. Allí todavía es significativo el oro remanente en la solución al final de 12 horas cual indica que hubo un insuficiente exceso de resina para mantener un rango de adsorción alto. La adsorción de la solución de oro en las columnas tarda, las pruebas cinéticas influenciada por la capacidad de carga en el equilibrio de la resina causando una reducción en los rangos de extracción.

Si el rango de adsorción no es influenciado por la capacidad de carga en el equilibrio que el rango de agotamiento de oro en la solución y por lo tanto el rango de adsorción en la resina puede ser modelado con un rango de ecuación de primer orden como sigue:

$$\frac{d[Au]_S}{dt} = K[Au]_S = \frac{V_R}{V_S} \frac{d[Au]_R}{dt}$$

Donde:

- [Au]_R = Concentración de oro en la resina en mg/L
- [Au]_S = Concentración de oro en la solución en mg/L
- K = Rango constante (1/t)
- V_S = Volumen de solución
- V_R = Volumen de resina

Una ecuación con rango de primer orden puede ser integrado con respecto al tiempo y al rango constante determinado gráficamente de un ploteo de $-\ln([Au]_S/[Au]_{S0})$ versus el tiempo como se presenta en una Figura 2.12. Este ploteo debe dar una línea recta con igual "K" para la inclinación.

$$-\frac{\ln [Au]_S}{[Au]_{S0}} = Kt$$

Desafortunadamente el efecto de la capacidad de carga en el equilibrio de la resina en los rangos de adsorción causa la demora de los datos puntuales para desviarse de una línea recta. Estos valores tienen que ser obviados cuando determinamos el rango constante. La constante del rango de primer orden es determinado en la Figura 2.12 será resumida en una Tabla 2.6.

Un método alternativo para determinar la cinética de extracción de la resina es la ecuación de Fleming comúnmente usado para el carbón activado. Esta ecuación es comúnmente usado para circuitos de modelo actual CIC; CIP o CIL

donde los rangos de adsorción son influenciadas por la capacidad de carga en el equilibrio.

Ecuación de Fleming:

$$[Au]_R = k[Au]_S t^n$$

Donde: $[Au]_R$ = Concentración de oro en la resina en (mg/L)
 $[Au]_S$ = Tiempo de concentración del promedio
 compensado de oro en la solución (mg/L)
 k = Constante del rango de Fleming (1/t)
 n = Factor de carga en el equilibrio

Una típica prueba de cinética de carga condicionada (extremo de las condiciones de carga en el equilibrio) al factor de carga de equilibrio (n) se aproximara a 1.0 permitiendo a la ecuación de Fleming a ser simplificado para un rango de ecuación simple de primer orden. Los parámetros de la ecuación de Fleming " k " y " n " pueden ser gráficamente determinado de un ploteo de $\ln([Au]_R)$ versus $\ln(t)$ como se presenta en la Figura 2.13. Este ploteo debería de dar una línea recta con igual " n " para la inclinación e igual " $k[Au]_S$ " para la intersección del eje Y.

$$\ln([Au]_R) = n \ln(t) + k[Au]_S$$

La limitación del rango para la ecuación de primer orden y ecuación Fleming será presentado en la Tabla 2.6. La correlación cerrada del modelo de Fleming para los actuales datos de la resina es ilustrados en las Figuras 2.14.

Los valores típicos de Fleming " k " y " n " usados para circuitos diseñados de carbón en pulpa son 150 y 0.6 respectivamente. Estos parámetros son

considerados conservadores para más aplicaciones de CIP. Los resultados de carbón en pulpa actual obtenida de las pruebas de cestas en el perfil de la planta piloto de CIP pueden ser modelados con éxito la ecuación de Fleming usando “k” y “n” valores de 260 y 0.52 respectivamente. El rango constante de los datos de los modelos de CIP es significativamente alto luego es usado en los diseños convencionales de CIP y un aspecto notable de la ley conservadora en el diseño de los parámetros del rango de carbón. Una comparación de rangos de adsorción de la resina AuRIX -100, el perfil del carbón en una ley de solución de 1.2 mg Au/L es presentado en la Figura 3.16.

Las curvas de los rangos de primer orden y constante de Fleming indican lo siguiente:

A temperatura fría (5.5°C) serán menores pero el efecto determina el rango de adsorción para la resina como se presenta en la Figura 2.11

La influencia de la temperatura en el rango de la adsorción de resina es más pronunciado en los contenidos altos de la solución de alimentación como presenta en la Figura 2.14.

Los rangos correlativos de adsorción muy bien con la ecuación de Fleming (correlación $R^2 > 0.99$) como se presenta en la Figura 2.12 y 2.13.

Los valores de “n” indica que el rango de adsorción influenciado por la capacidad de carga en el equilibrio de la resina (ejemplo insuficiente resina usada usado en las pruebas cinéticas).

El rango de la adsorción de la resina con contenidos altos en las soluciones alimentadas es superior que con contenidos bajos de solución de alimentación como se presenta en la Figura 2.15.

El rango de la adsorción de las resinas es significativamente rápido que ambos rangos de la adsorción de carbón activado medido en el perfil de la planta piloto de CIP o típico rango de adsorción de carbón usado en el diseño como presenta en la Figura 2.16

2.6 Pruebas Continuas de Resina en Solución

La resina preacondicionada fue dividida en nueve pesos de 20.2 gr húmedos (o 10 gr secos) de sub muestras y cada sub muestra cargado en columnas de

24.5 mm de Ø interno. El arreglo de la altura de la resina en cada columna de 61 mm fue dando un lecho volumétrico de la resina de 29 ml por columna, cuatro columnas fueron conectadas en serie en una configuración de flujo descendente. Las columnas restante fueron permanecidas separadas para ser usado como columnas (colas) finales de cada ciclo de descarga.

Un volumen de solución rica de lixiviación (SRL) obtenida de la poza rica de lixiviación (PRL). La solución rica de lixiviación de pilas fue bombeada a través de las 4 columnas en una dirección de flujo descendente en un rango de 60 lecho volumétrico (BV) por hora (29 ml por minuto).

Anterior al inicio de las 120 horas (5 días) de la prueba de RIS, la solución de lixiviación en pilas fue bombeada a través de las columnas por 48 horas al circuito para una precarga. El ciclo completo de precarga y anterior al inicio de las pruebas de RIS las columnas cargadas fueron removidas del contacto y una columna fresca de resina preacondicionada fue adicionada al circuito como columna cola. Este efectivamente avanzando la columna como que la segunda columna (intermediante¹) fue ahora la columna cargada.

Durante las pruebas de RIS, la solución de lixiviación en pilas fue bombeada a través de las columnas por 120 horas. En conclusión de cada ciclo de carga (ciclos de 24 horas de tiempo) la ventaja de la columna fue cambiada del circuito y una columna fresca de resina preacondicionada fue adicionada en el circuito como la columna cola. Este avance la columna efectuara cada 24 horas.

Los datos de ensayo de la solución, calculado la carga de la resina y estimando la distribución de oro en el circuito para las pruebas continuas de RIS será resumidos en la Tabla 2.7 y el perfil diario de solución del circuito son presentados en la Figura 2.17 a través del 2.21.

El perfil de la solución del circuito de 24 horas ha sido resumido en la Figura 2.22 para ilustrar cambios en el circuito de operación con el tiempo.

La solución del circuito y el perfil de la resina resumida en la Tabla 2.7 y las Figuras 2.17 a 2.22 indican lo siguiente:

El circuito no ha alcanzado un estado firme después del ciclo de las 48 horas de precarga y ese estado firme no fue alcanzado hasta el segundo día de los ensayos continuos de la RIS (como presenta en la Figura 2.22)

La ley de oro máximo de 8,000 gramos por tonelada seca fue alcanzado por la columna de resina cargada en la columna conducida al final de cada ciclo de 24 horas.

El contenido de oro de la solución de avance (primero) de la columna al final de cada ciclo de 24 horas fue todavía significativamente menor que aquella alimentación de la solución entrante a la columna. Este indica aquel oro que fue todavía cargado en la resina en la columna de avance y por lo tanto la carga de la resina es menor que la capacidad de carga en el equilibrio de la resina.

La ley de oro de la solución existente al final de la columna fue constantemente menor que 0.05 mg/L uniforme, la ley de oro de la resina desorcionada es alto (575 gramos por tonelada seca)

Cuatro etapas en cada serie con una solución de tiempo de retención de un minuto (ejemplo un flujo de solución de 60 BV/h) será suficiente para asegurar una suficiente bajas colas en el contenido de la solución para una operación de lixiviación en pila (menor que 0.1 mg Au/L) con un contenido de SRL tan alto como 2mg Au/L.

2.7 Pruebas de Avances de Resina

Al final del ciclo (5 días) de los continuos ensayos de resina en la solución fue extendido por más lejos de 42 horas (66 horas en total) consiguiendo un cambio en la columna para evaluar el tiempo de operación máxima de las 4 columnas del circuito antes del avance fue observado en la columna final. El avance fue definido como el punto en el tiempo cuando el rango de cambio en el contenido de las colas en la solución se incremento significativamente.

La solución existente en cada columna fue muestreado periódicamente y ensayado por oro. Los resultados ensayados calculan la carga de la resina y la

distribución de oro en el circuito siendo resumido en la Tabla 2.8. El perfil del circuito de solución y perfil de carga de la resina será presentado en las Figuras 2.23 y 2.24.

El circuito de la solución y el perfil de la resina indican lo siguiente:

- No se distingue el punto de avance fue observado.

El contenido de la cola de la solución no excede de 0.1 mg Au/L hasta en 46 horas de operación.

El contenido de oro de la solución existente en la columna de avance después de 66 horas fue todavía menor que la solución alimentada. Esto indica que la carga de oro en la resina en el lecho de la columna fue menor que la capacidad de carga en el equilibrio.

Una muy alta carga de oro puede ser alcanzado en la resina en la columna de avance anterior para el avance del circuito (máximo de 12,000 gramos por tonelada seca con un contenido de solución de alimentación de 1.9 a 2.0 mg Au/L).

2.8 Características de la Desorción en Resina

2.8.1 Preparación de la resina cargada

Las muestras de la resina de las 9 columnas usadas en la resina en solución y pruebas de avance de resina fueron pesadas y 7.0 gramos (secos) sub muestras de cada muestra de resina fueron unidos por la prueba de desorción de resina. La masa residual de cada muestra de resina (aproximadamente 2.3 gramos secos) fue secado y sometido para ensayo al fuego para determinar la carga de oro. Los pesos de la muestra de las columnas y carga de oro son resumidos en la Tabla 2.9.

2.8.2 Desorción de la Resina

La muestra mezclada de las resinas cargadas (mezclada de nueve sub muestras de 7.0 gramos aproximadamente 6.3 gramos secos en total) fue dividido en tres sub muestras de aproximadamente cada 21 gramos (base seco). La muestra fue cargado en las columnas transparentes de Ø interno de 24.5 mm para un arreglo de la altura del lecho de 112.5 mm.

Un volumen de muestra (60 litros) de solución pobre de desorción fue preparado como se bosquejado debajo:

Solución de mezcla	Solución pobre de desorción
Hidróxido de sodio	40 gr/L o 4 % w/v
Benzoato de sodio	70 gr/L o 7% w/v
Cianuro de sodio	100ppm NaCN

La solución pobre de la desorción exacto con 1 mg Au/L como aurocianuro para simular un gasto electrolítico de oro electrodepositado. La solución pobre de desorción fue precalentada a 60°C y bombeada a una dirección de flujo ascendente a través de cada uno de las columnas con flujos de 5, 10 y 20 lecho volumétrico por hora.

La no expansión del lecho de la resina fue observado en los 3 flujos estimados ascendentes (para el flujo de desorción corresponde de 20 BV/h) fue equivalente para 2.55 m³/m²h cual esta por debajo de la velocidad específica crítica de flujo ascendente requerido para iniciarse el lecho fluidizado (entregado en la Figura 2.6).

Los resultados de las pruebas de desorción de la resina en la Tabla 2.10. Los resultados de los ensayos para el tiempo de las muestras de la solución rica de la desorción existente en cada columna y el cálculo correspondiente de la resina cargada son presentados en la Tabla 2.11. La ley de la solución rica de la desorción y el cálculo correspondiente de la carga de la resina ha sido planteado otra vez el tiempo en las Figuras 2.25 y 2.26 para ilustrar el rango de la desorción en la resina con los 3 flujos de desorción.

Los detalles alcanzados en las Tablas 2.10 y 2.11 y Figuras 2.25 y 2.26 indican lo siguiente:

Alta ley de la solución rica de la resina (máximo que 400 mg Au/L) fue observado en el flujo bajo de la desorción (5 BV/h) durante el inicio de 30 minutos de desorción.

Poco o nada se diferencia en el rango de la desorción siendo observado en los flujos de 10 BV/h y 20 BV/h de la desorción sin embargo la ley promedio de la solución rica de la desorción fue significativamente alta al bajar el flujo de la desorción (10 BV/h).

Durante el inicio de 5 horas de desorción el flujo de la desorción superiores (10 y 20 BV/h) contribuyo para el margen superior de los rangos de desorción que en el flujo bajo de 5 BV/h. En la segunda etapa de la desorción (después de 5 horas) poca diferencia fue observada entre los rangos de la desorción en los 3 flujos distintos.

2.9 Análisis de Riesgo

Las pruebas de resina preliminares emprendidas por este reporte no refleja ninguna técnica de riesgo asociado con la resina AuRIX-100 estaban en uso la resina en el circuito RIS para la recuperación de oro. Sin embargo el programa de prueba no focalizo en cuestión de la durabilidad de la resina y la susceptibilidad de la resina para “contaminación” y “envenenamiento” que son áreas claves de preocupación con algunos sistemas basado en la resina.

Durabilidad de Resina

Las pruebas independientes emprendidas en Mintek en Sud Africa en 4 tipos de resina de base fuerte y base medio indicaron una perdida de resina cero cuando el AuRIX-100 fue sujetado a una prueba de atrición de carbón normal. La resistencia expuesta a la atrición por el AuRIX-100 fue superior a las otras tres pruebas de resina y es superior a la mayoría de carbón de cáscara de coco.

En una aplicación de la resina en solución en el circuito de adsorción operado en una configuración de flujo ascendente y la resina no será transferida de la columna a otra etapa. Como una consecuencia la resina no será expuesta a condiciones que puede causar alta atrición en la resina y la durabilidad de la resina no debe de presentar una técnica de riesgo para el uso del AuRIX-100 en circuitos de RIS.

Contaminación de Resina

Resina “contaminada” esta relacionado a la sensibilidad de la resina para cargar o “contaminarse” con sales inorgánicas (ejemplo calcita y sulfato de sodio) o componentes orgánicos (ejemplo acido humico, petróleo) presentado en la solución rica de lixiviación. La resina “contaminada” expuesto generalmente reduce la capacidad de carga y la cinética de extracción requerida por la resina a ser desorcionada más frecuentemente. En la falta de algún contaminante apropiado el estudio a incluido un paso de lavado acido en el ciclo de la desorción de la resina destinando algún potencial del AuRIX-100 para la “contaminación” con sales orgánicas.

La frecuencia del lavado acido será dependiente de la intensidad de algún contaminante inorgánico.

El potencial para la resina contaminada con componentes orgánicos es menos significativo que para el carbón activado.

El petróleo es improbable a ser adsorbido por AuRIX-100. Acido humico y otros aniones orgánicos puede ser cargado en la resina pero será presentado durante el ciclo de desorción. Cuando es presentado estos aniones forman jabones y debe de comportarse similarmente para el benzoato de sodio en la desorción. El estudio cree que el riesgo de la resina contaminada por aniones orgánicos es bajo y probable para un solo efecto en el rango en que la solución de desorción gastado es sangrado del circuito de desorción (ejemplo impacta en los costos de operación)

Envenenamiento de Resina

El “envenenamiento” de la resina es emparentado a la sensibilidad de la resina para la carga del metal complejo aniónico que será por lo tanto adsorbido aquello fuertemente, ellos no pueden ser removidos sin destruir la integridad de la resina. Los complejos de cianuro del metal tal como $\text{Co}(\text{CN})_6^{3-}$, $\text{Fe}(\text{CN})_6^{2-}$, $\text{Cu}(\text{CN})_3^{2-}$ puede envenenar potencialmente.

Los complejos cobalto y fierro puede estar ligado fuertemente y puede ser difícil para remover a través de la desorción o regeneración con acido. El complejo

cobre puede precipitarse como CuCN durante la regeneración cual puede causar obstrucción en los mismos poros de la resina.

Datos de una reciente planta piloto de AuRIX-100 de RIS. Proceso de Anglo América Corporation operación de lixiviación en pila en Zimbabwe indicaron que los metales base (Cu, Co, Fe, Ni y Zn) complejos de cianuro particularmente cargado en la resina para un valor en el equilibrio. Sobre los primeros 93 periodos de días de proceso (tiempo entre la primera desorción y 23 desorción) el nivel del metal base en la desorción de la resina empezó en 1,960 gr/tonelada seca de resina y dejando caer a 1,300 gr/tonelada seca de resina después de 23 ciclos de desorción. Los datos no son disponibles en los niveles relativos del metal base de complejos de cianuro en la alimentación de la solución.

El riesgo potencial de envenenamiento de resina es dependiente en el nivel del metal relevante de complejos de cianuro en solución y tiene que ser calculado en un proyecto por base fundamental.

Tabla 2.1

**Resumen de las Pruebas de Presión del lecho de Flujo descendente
(temperatura del ambiente 18°C)**

Flujo estimado del flujo descendente				Columna		Diferencial	
Objetivo	Actual	Volumétrico		Velocidad específica		Presión del lecho	
BV/hr	BV/h	ml/min	ml/hr	mm/min	m3/m2/hr	mm Hg/m	kPa/m
0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0.00
25	28.1	82	4,920	347.7	20.9	2.2	0.29
50	56.2	164	9,840	695.5	41.7	4.3	0.58
75	84.4	1246	74,760	1,043.2	62.6	6.5	0.86
100	112.1	327	19,620	1,386.7	83.2	9.2	1.22

Nota: Diferencial de la presión del lecho expresado como mmHg o kPa por metro de altura de resina

Tabla 2.2

**Resumen de Pruebas de Expansión del lecho de Flujo ascendente
(temperatura del ambiente 18°C)**

Flujo Estimado				Columna		Expansión del lecho	
Objetivo	Actual	Volumétrico		Velocidad específica		Expansión del lecho	
BV/hr	BV/h	ml/min	ml/hr	mm/min	m3/m2/hr	mm	%
0	0.0	0.0	0		0.0	0.0	0.0
2	2.7	8	480	33.9	2	0	0.0
5	5.8	17	1,020	72.1	4.3	4	1.1
10	11.3	33	1,980	139.9	8.4	53.7	14.5
20	22.6	66	3,960	279.9	16.8	129	34.8
30	33.6	98	5,880	415.6	24.9	201	54.2

Tabla 2.3

Isotermas de Extracción en el Equilibrio para Soluciones de Baja ley

Ley Inicial de la Solución

Gold	Au	1.56 mgpl
Plata	Ag	0.04 mgpl
Cobre	Cu	2.10 mgpl
Zinc	Zn	1.25 mgpl

Prueba No.	Concentración Resina gpl	Resina Recuperado seco g	Resina Agregado humedo g	Resina WRC* %	Solución Cianurada			Ensayo de Solución Final - Au				Resina Pobre Au g/t	Resina Cargado						
								Final - Au					Experimental			Estimado			
					mls	pH	% NaCN	Au mg/L	Ag mg/L	Cu mg/L	Zn mg/L		Au g/t	Au mg/L	Ag g/t	Cu g/t	Zn g/t	Au g/t	Au mg/L
Blanco	nil				1000	10.3	0.015	1.56	0.04	2.10	1.25								
1	0.016	0.0160	0.0306	52.3	1000	10.3	0.015	1.42	0.04	2.05	1.20	575	9,325	3,236	0	3,125	3,125	10,653	3,697
2	0.03	0.0300	0.0601	49.9	1000	10.3	0.015	1.30	0.03	1.98	1.16	575	9,242	3,207	333	4,000	3,000	10,228	3,549
3	0.061	0.0612	0.1214	50.4	1000	10.3	0.015	1.08	0.03	1.85	1.11	575	8,418	2,921	163	4,085	2,288	9,389	3,258
4	0.124	0.1237	0.2406	51.4	1000	10.3	0.015	0.76	0.03	1.72	0.91	575	7,042	2,444	81	3,072	2,749	7,984	2,771
5	0.246	0.2460	0.4816	51.1	1000	10.3	0.015	0.40	0.02	1.38	0.66	575	5,290	1,836	81	2,927	2,398	5,938	2,061
			Promedio	51.0															

Tabla 2.4

Constante de Freundlich para la Carga en el Equilibrio

	Constante de Freundlich		Maximo Capacidad de Carga (resina seca)	
	a	b	mg Au/L	g Au/t
Isotermas Baja Ley	8,062	0.4613	2,798	8,062

Tabla 2.5

Cinética de la Resina en Soluciones de Baja ley

Prueba	Volumen Solución mls	Tiempo hrs	Solución pH	Conc. NaCN %w/v	Ley Solución Au mg Au/L	Oro en Resina %	Calculo de la Resina		Calculo de la Resina	
							Carga Experimental		Carga Estimado	
							g Au/t	mg Au/L	g Au/t	mg Au/L
Ambiente Masa Resina	18°C									
	1.1826	gramos seco					6478			
	5040	0.00	10.50	0.015	1.52	0.0	575	200	0	0
	5000	0.50	10.50	0.014	1.38	18.0	1167	405	1456	505
	4960	1.00	10.45	0.015	1.30	23.2	1502	521	1812	629
	4920	2.00	10.35	0.015	1.20	29.6	1918	666	2252	781
	4880	4.00	10.35	0.014	1.06	38.5	2496	866	2777	964
	4840	8.00	10.25	0.013	0.88	49.9	3233	1122	3390	1176
	4800	12.00	10.20	0.013	0.76	57.4	3720	1291	3720	1291
Frio Masa Resina	5.5°C				1.16					
	1.1724	gramos seco					6620			
	5040	0.00	10.50	0.015	1.54	0.0	575	200	0	0
	5000	0.50	10.50	0.014	1.44	15.1	998	346	1244	432
	4960	1.00	10.45	0.015	1.36	20.1	1333	463	1597	554
	4920	2.00	10.35	0.015	1.26	26.4	1749	607	2043	709
	4880	4.00	10.35	0.013	1.10	36.4	2410	836	2586	897
	4840	8.00	10.30	0.013	0.94	46.3	3064	1063	3249	1127
	4800	12.00	10.25	0.013	0.82	53.6	3551	1232	3631	1260

Tabla 2.6

Resumen de Rangos Constantes

Solución Rica de lixiviación	Temperatura de Solución °C	Parametros del modelo de Fleming			Ratio Constante de Primer orden K mg/Lh
		[Au] _s (mg/L)	k	n	
Solución de Ley Baja	18	1.16	449	0.37	241
	5.5	1.21	383	0.40	187

Tabla 2.7

Resumen de Pruebas Continuas de Resina en Solución

Tiempo horas	Solución alimentación mg Au/L	Ley de Salida de la Solución de cada Columna				Carga de Oro en la Resina Calculado				Distribución de Oro en la Resina			
		Avance mg Au	Intermediante 1 mg Au/L	Intermediante 2 mg Au/L	Colas mg Au/L	Avance mg Au	Intermediante 1 mg Au/L	Intermediante 2 mg Au/L	Colas mg Au/L	Avance %	Intermediante 1 %	Intermediante 2 %	Colas %
Día 1			Peso de la Resina Seca										
					g seco	9.13	9.35	9.34	9.54				
12	1.82	0.92	0.37	0.10	0.04	7314	2801	1315	665	60.5	23.2	10.9	5.9
14	1.82	1.01	0.43	0.13	0.04	7633	3013	1422	693	59.8	23.6	11.1	5.4
16	1.81	1.17	0.48	0.13	0.04	7905	3250	1544	727	58.9	24.2	11.5	5.4
18	1.81	1.17	0.53	0.16	0.05	8144	3499	1678	764	57.8	24.8	11.9	5.4
20	1.82	1.23	0.58	0.17	0.04	8374	3741	1824	809	56.8	25.4	12.4	5.5
22	1.82	1.25	0.53	0.17	0.04	8591	3997	1968	858	55.7	25.9	12.8	5.6
24	1.82	1.31	0.62	0.20	0.05	8793	4261	2114	910	54.7	26.5	13.1	5.7
Ensayo						8790							
Día 2			Peso de la Resina Seca										
					g seco	9.35	9.34	9.54	9.20				
36	1.97	1.17	0.53	0.15	0.04	6,492	3299	1496	755	53.9	27.4	12.4	6.3
38	1.96	1.17	0.52	0.15	0.04	6790	3540	1637	796	53.2	27.7	12.8	6.2
40	1.94	1.23	0.55	0.16	0.04	7070	3789	1779	839	52.5	28.1	13.2	6.2
42	1.94	1.26	0.61	0.19	0.05	7330	4038	1931	887	51.7	28.5	13.6	6.3
44	1.96	1.29	0.66	0.21	0.05	7583	4278	2093	944	50.9	28.7	14.1	6.3
46	1.94	1.30	0.67	0.22	0.05	7828	4513	2262	4005	50.2	28.9	14.5	6.4
48	1.94	1.33	0.67	0.25	0.05	8062	4755	2424	1075	49.4	29.1	14.9	6.6
Ensayo						8082							
Día 3			Peso de la Resina Seca										
					g seco	9.34	9.54	9.20	9.37				
60	1.92	1.17	0.53	0.15	0.04	7011	3576	1731	755	53.6	27.4	13.2	5.8
62	1.92	1.17	0.52	0.15	0.04	7292	3817	1871	796	52.9	27.7	13.6	5.8
64	1.93	1.23	0.55	0.16	0.04	7563	4066	2014	839	52.2	28.1	13.9	5.8
66	1.92	1.26	0.61	0.19	0.05	7817	4315	2165	887	51.5	28.4	14.3	5.8
68	1.9	1.29	0.66	0.21	0.05	8055	4555	2328	944	50.7	28.7	14.7	5.9
70	1.92	1.3	0.67	0.22	0.05	8285	4790	2496	4005	50	28.9	15.1	6.1
72	1.92	1.33	0.67	0.25	0.05	8511	5032	2659	1075	49.3	29.1	15.4	6.2
Ensayo						8489							
Día 4			Peso de la Resina Seca										
					g seco	9.54	9.20	9.37	9.33				
84	1.92	1.03	0.53	0.14	0.06	7367	3810	1632	721	54.5	28.2	12.1	5.3
86	1.94	1.06	0.52	0.16	0.06	7699	4029	1748	755	54.1	28.3	12.3	5.3
88	1.94	1.08	0.55	0.18	0.07	8024	4237	1877	794	53.7	28.4	12.6	5.3
90	1.96	1.19	0.61	0.19	0.07	8329	4454	2016	837	53.3	28.5	12.9	5.4
92	1.98	1.18	0.66	0.21	0.07	8623	4680	2158	886	52.8	28.6	13.2	5.4
94	1.96	1.24	0.67	0.21	0.06	8907	4908	2304	940	52.2	28.8	13.5	5.5
96	1.96	1.27	0.67	0.22	0.07	9171	5148	2453	996	51.6	29.0	13.8	5.6
Ensayo						9131							
Día 5			Peso de la Resina Seca										
					g seco	9.20	9.37	9.33	9.09				
108	1.93	1.10	0.42	0.09	0.02	7599	3667	1533	732	56.2	27.1	11.3	5.4
110	1.93	1.11	0.43	0.10	0.02	7908	3921	1657	760	55.5	27.5	11.6	5.3
112	1.93	1.17	0.43	0.10	0.02	8204	4187	1780	790	54.8	28.0	11.9	5.3
114	1.94	1.18	0.48	0.11	0.02	8488	4456	1911	822	54.1	28.4	12.2	5.2
116	1.94	1.22	0.49	0.12	0.03	8765	4724	2050	856	53.5	28.8	12.5	5.2
118	1.94	1.35	0.57	0.15	0.03	9010	5006	2198	895	52.7	29.3	12.8	5.2
120	1.95	1.33	0.63	0.16	0.04	9237	5283	2360	944	51.8	29.6	13.2	5.3

Tabla 2.8

Resumen de Pruebas de Avance de Resina

Tiempo horas	Solución alimentación mg Au/L	Ley de Salida de la Solución de cada Columna				Carga de Oro en la Resina Calculado				Distribución de Oro en la Resina			
		Avance mg Au	Intermediante 1 mg Au/L	Intermediante 2 mg Au/L	Colas mg Au/L	Avance mg Au	Intermediante 1 mg Au/L	Intermediante 2 mg Au/L	Colas mg Au/L	Avance %	Intermediante 1 %	Intermediante 2 %	Colas %
			Peso de la Resina Seca		g seco	9.20	9.37	9.33	9.09				
0	1.96	0.63	0.22	0.07	0.00	5175	2443	995	575	56.3	26.6	10.8	6.3
12	1.93	1.1	0.42	0.09	0.02	7599	3667	1533	732	56.2	27.1	11.3	5.4
14	1.93	1.11	0.43	0.1	0.02	7908	3921	1657	760	55.5	27.5	11.6	5.3
16	1.93	1.17	0.43	0.1	0.02	8204	4187	1780	790	54.8	28	11.9	5.3
18	1.94	1.18	0.48	0.11	0.02	8488	4456	1911	822	54.1	28.4	12.2	5.2
20	1.94	1.22	0.49	0.12	0.03	8765	4724	2050	856	53.5	28.8	12.5	5.2
22	1.94	1.35	0.57	0.15	0.03	9010	5006	2198	895	52.7	29.3	12.8	5.2
24	1.95	1.33	0.63	0.18	0.04	9237	5283	2360	944	51.8	29.6	13.2	5.3
28	1.95	1.44	0.69	0.2	0.04	9659	5826	2712	1056	50.2	30.3	14.1	5.5
34	1.95	1.31	0.67	0.22	0.05	10305	6606	3240	1241	48.2	30.9	15.1	5.8
38	1.96	1.41	0.76	0.29	0.07	10750	7089	3584	1387	47.1	31.1	15.7	6.1
42	1.96	1.45	0.82	0.32	0.07	11147	7568	3947	1563	46.0	31.2	16.3	6.5
46	1.97	1.46	0.88	0.37	0.10	11528	8020	4325	1757	45.0	31.3	16.9	6.9
51	1.98	1.47	0.9	0.39	0.11	12006	8558	4802	2015	43.8	31.3	17.5	7.4
60	1.99	1.51	0.96	0.48	0.16	12839	9501	5636	2520	42.1	31.2	18.5	8.3
66	2.00	1.59	1.04	0.56	0.19	13339	10119	6174	2907	41.0	31.1	19	8.9
Ensayo						14898	9981	5493	2645	45.1	30.2	16.6	8.0

Tabla 2.9

Resumen de Ensayos de Resina

Número	Pruebas de Resina en Solución		Masa de Resina g seco	Carga de Resina g Au/t resina seca
Columnas	Pruebas	Columnas		
1	RIS	Avance - Precarga	9.46	10,190
2		Avance - Dia 1	9.13	8,790
3		Avance - Dia 2	9.35	8,082
4		Avance - Dia 3	9.34	8,489
5		Avance - Dia 4	9.54	9,131
6	Avance (importante)	Avance	9.2	14,898
7		Intermediante 1	9.37	9,981
8		Intermediante 2	9.33	5,493
9		Colas	9.09	2,645

Tabla 2.10

Condiciones para la Prueba de Desorción de la Resina

Columna	Masa Resina g	Altura Lecho Resina mm	Volumen Solución Desorción ml	Promedio Flujo Volumetrico ml/h	Promedio Flujo Lecho Volumetrico BV/h	Promedio Ley de solución de desorción mg/L	Ley de solución de desorción Calculado mg/L	Ley de solución de desorción Pobre mg/L	Ensayo Resina Pobre g/t Au	Calculo Resina Cargada g/t Au	Temperatura Desorción °C
Columna 1	20.23	112	8193	334	6.3	20.2	21.96	0.97	117	8616	61
Columna 2	19.99	112	14069	574	10.9	12.6	13.08	0.97	126	8646	59
Columna 3	20.32	112	29040	1185	22.4	6.88	6.97	0.97	248	8822	56
Columna 4 (Repetida)	19.76	112	14083	575	10.9	12.4	12.91	0.97	154	8666	58

Tabla 2.11

Condiciones para la Prueba de Desorción de la Resina

Tiempo horas	Ley Solución Au mg/L	Oro Desorciónado Au mg/L	Oro en la Solución Desorciónado Au mg	Oro en la Solución Acumulado Au mg	Ley de la Resina Calculado Au g/t	Alcance de Desorción %
Columna 1 - 5 BV/h						
0.00	0.97	0	0.00	0.00	8616	0
0.50	406.00	405.03	67.72	67.72	6656	22.7
1.00	224.00	223.03	30.43	98.15	5152	40.2
2.00	68.20	67.23	52.10	150.25	2577	70.1
4.00	17.30	16.33	34.04	184.30	894	89.6
6.00	7.96	6.99	6.25	190.54	585	93.2
8.00	4.44	3.47	2.35	192.90	469	94.6
12.25	2.20	1.23	3.18	196.08	311	96.4
24.50	1.24	0.27	3.93	200.01	117	98.6
Columna 2 - 10 BV/h						
0.00	0.97	0	0.00	0.00	8646	0.0
0.50	208.00	207.03	59.44	59.44	5431	37.2
1.00	88.50	87.53	34.31	93.75	3714	57
2.00	30.80	29.83	33.13	126.89	2057	76.2
4.00	9.36	8.39	24.62	151.51	825	90.5
6.00	4.56	3.59	5.51	157.02	549	93.6
8.00	2.76	1.79	2.07	159.09	446	94.8
12.25	1.64	0.67	2.73	161.83	309	96.4
24.50	1.12	0.15	3.66	165.48	126	98.5
Columna 3 - 20 BV/h						
0.00	0.97	0.00	0.00	0.00	8822	0.0
0.50	75.20	74.23	43.99	43.99	4635	47.5
1.00	36.60	35.63	22.88	66.87	3509	60.2
2.00	15.40	14.43	25.13	92.00	2272	74.2
4.00	5.80	4.83	22.76	114.76	1152	86.9
6.00	3.44	2.47	5.59	120.35	877	90.1
8.00	2.36	1.39	2.56	122.91	751	91.5
12.25	1.60	0.63	3.83	126.74	562	93.6
24.50	1.16	0.19	6.39	133.13	248	97.2
Columna 4 - 10 BV/h (repetido)						
0.00	0.97	0.00	0.00	0.00	8666	0.0
0.50	230.00	229.03	65.83	65.83	5870	32.3
1.00	94.00	93.03	39.09	104.91	3891	55.1
2.00	30.10	29.13	36.73	141.64	2033	76.5
4.00	9.20	8.23	24.03	165.67	817	90.6
6.00	4.28	3.31	5.66	171.33	530	93.9
8.00	2.63	1.66	1.90	173.22	434	95.0
12.25	1.60	0.63	2.37	175.59	315	96.4
24.50	1.14	0.17	3.17	178.77	154	98.2

Figura 2.1

Obtención de la Muestra de Solución

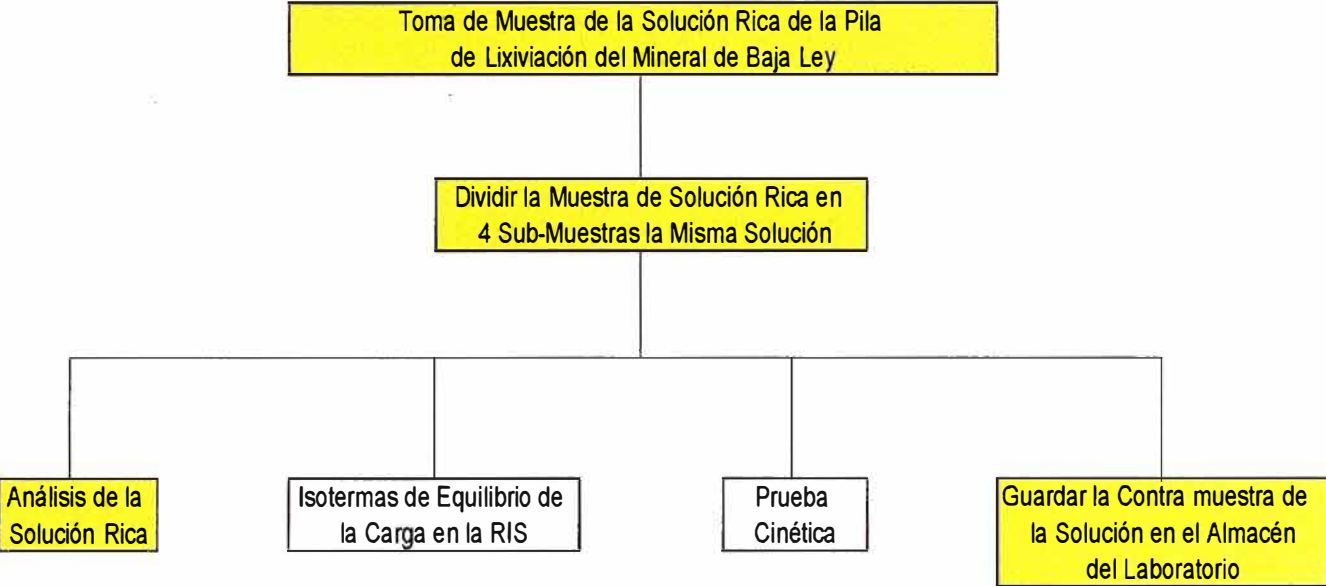


Figura 2.2

Pruebas de Isotermas de Equilibrio de la Resina

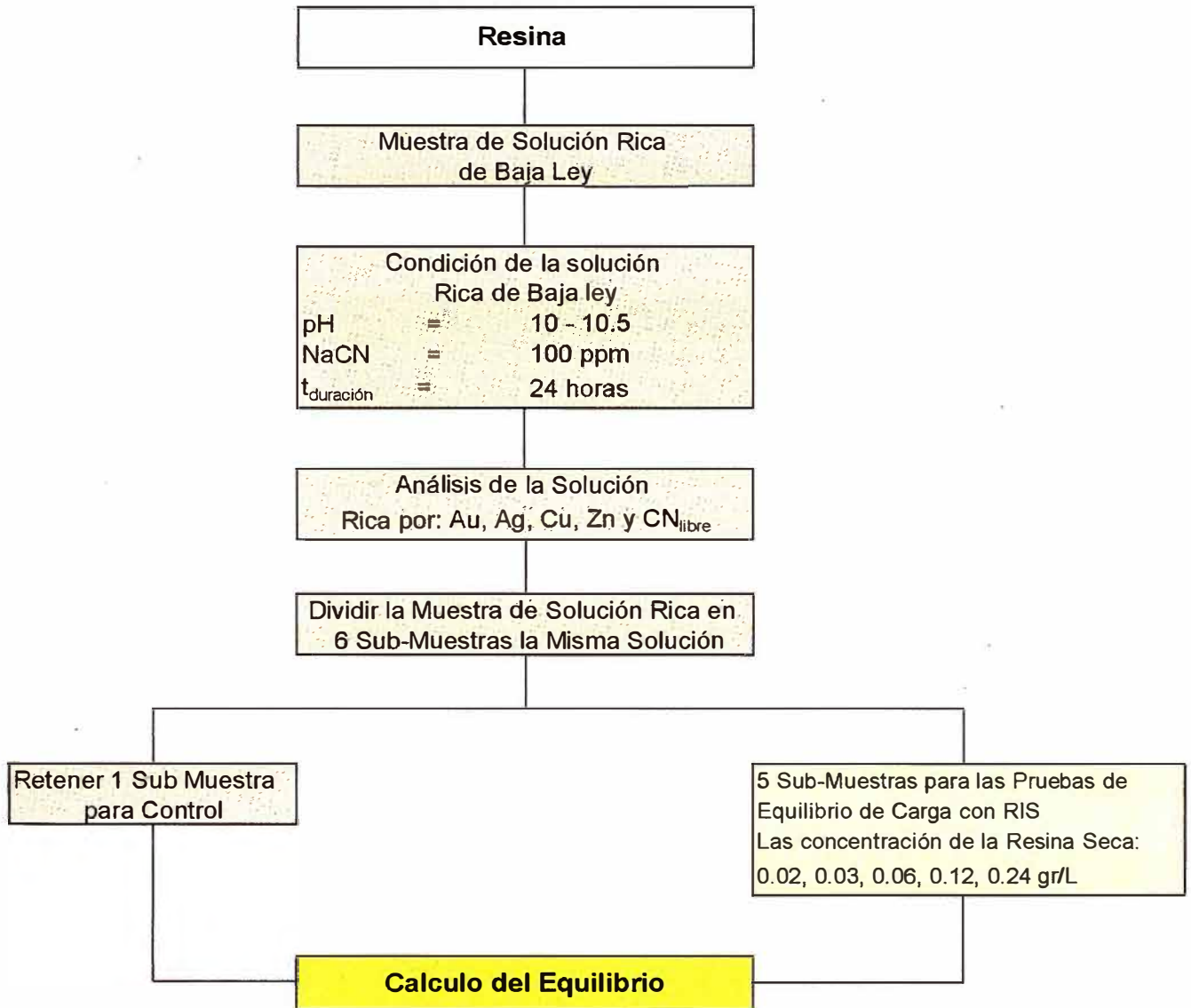


Figura 2.3

Cinetica de la Carga

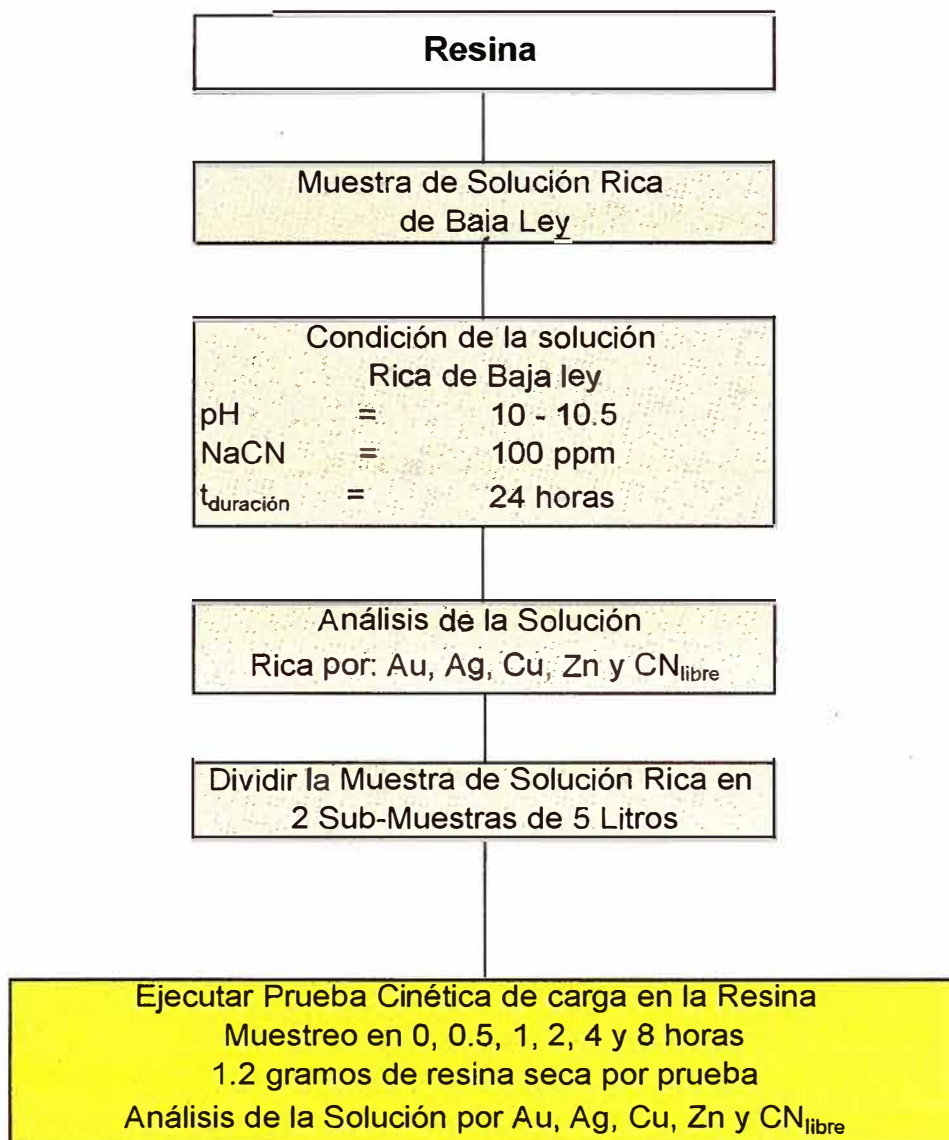


Figura 2.4

Caracterización de la Desorción de la Resina

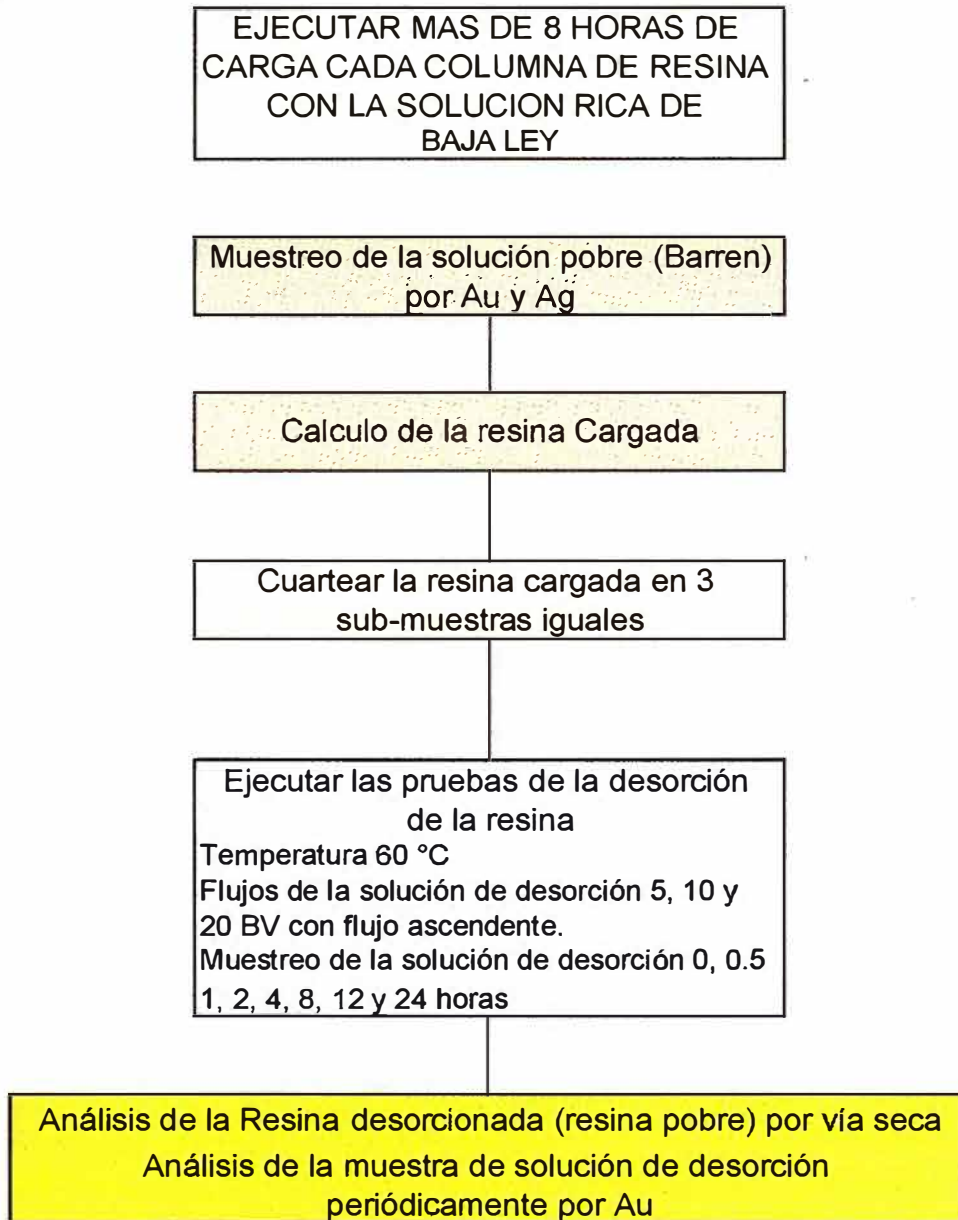


Figura 2.5

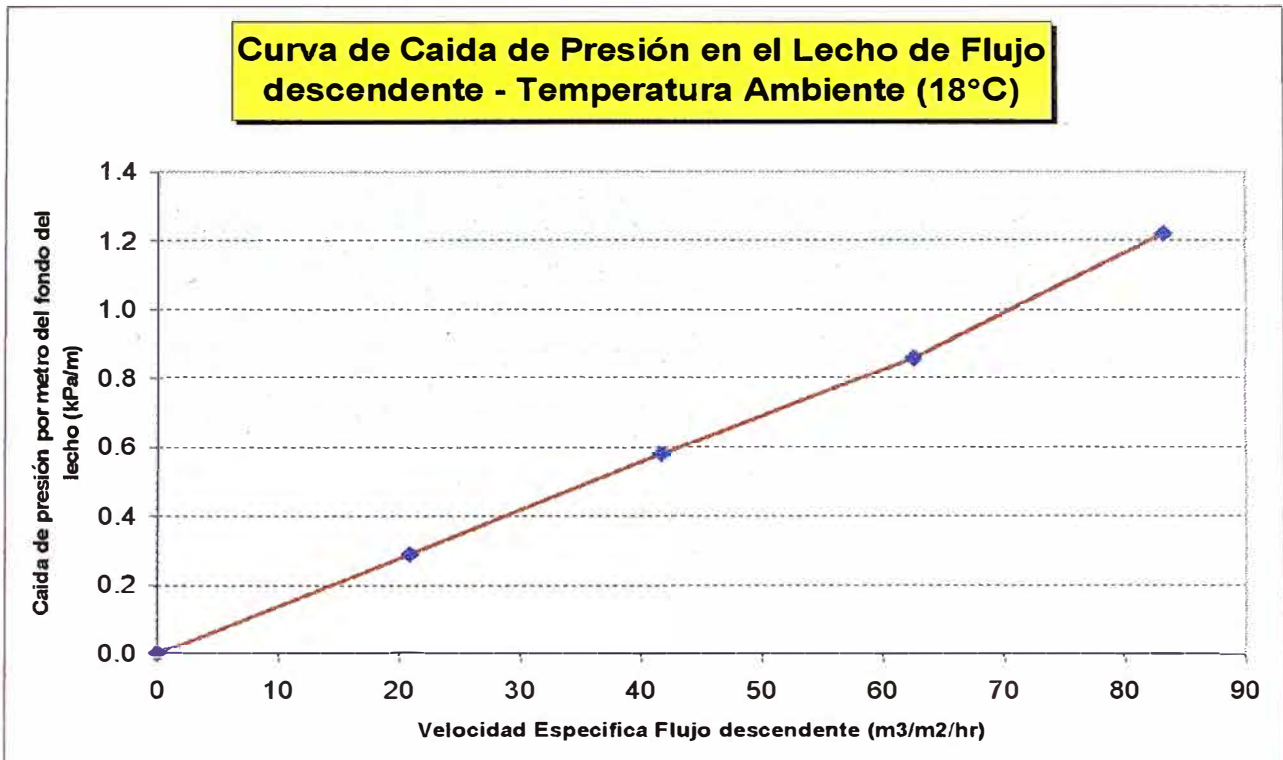


Figura 2.6

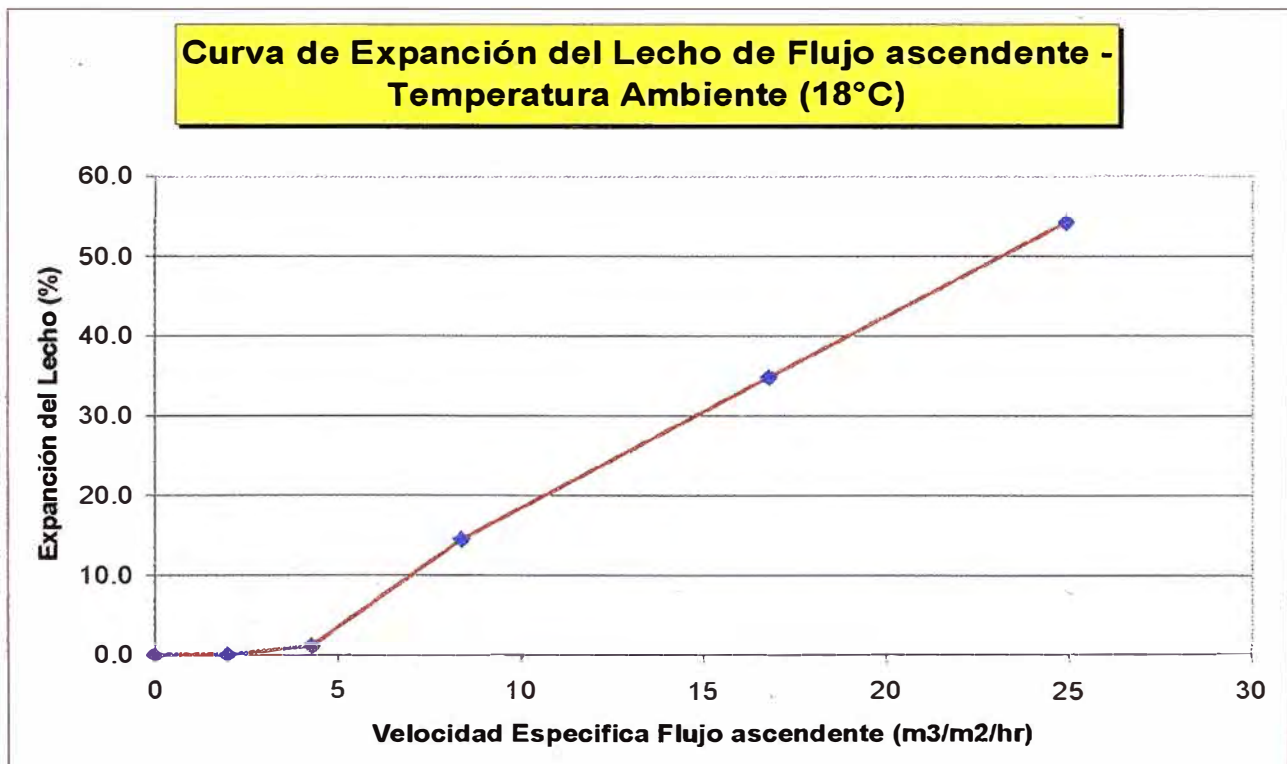


Figura 2.7

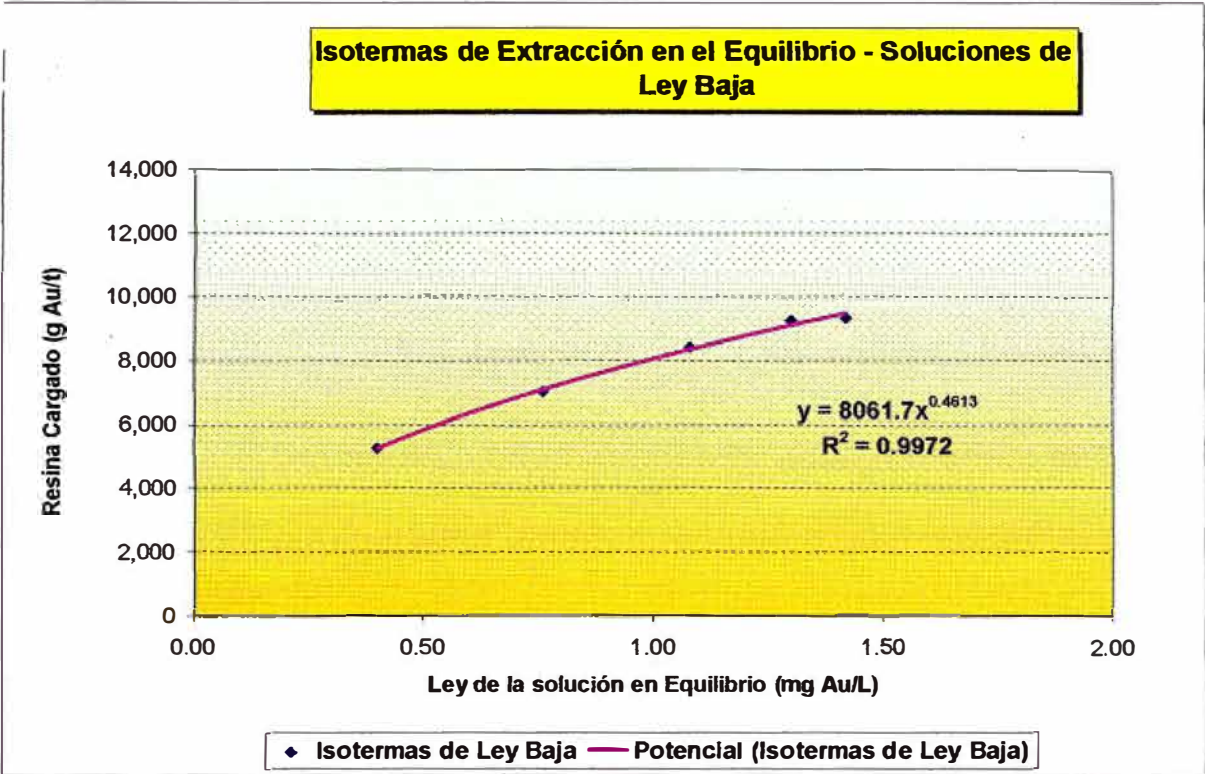


Figura 2.8

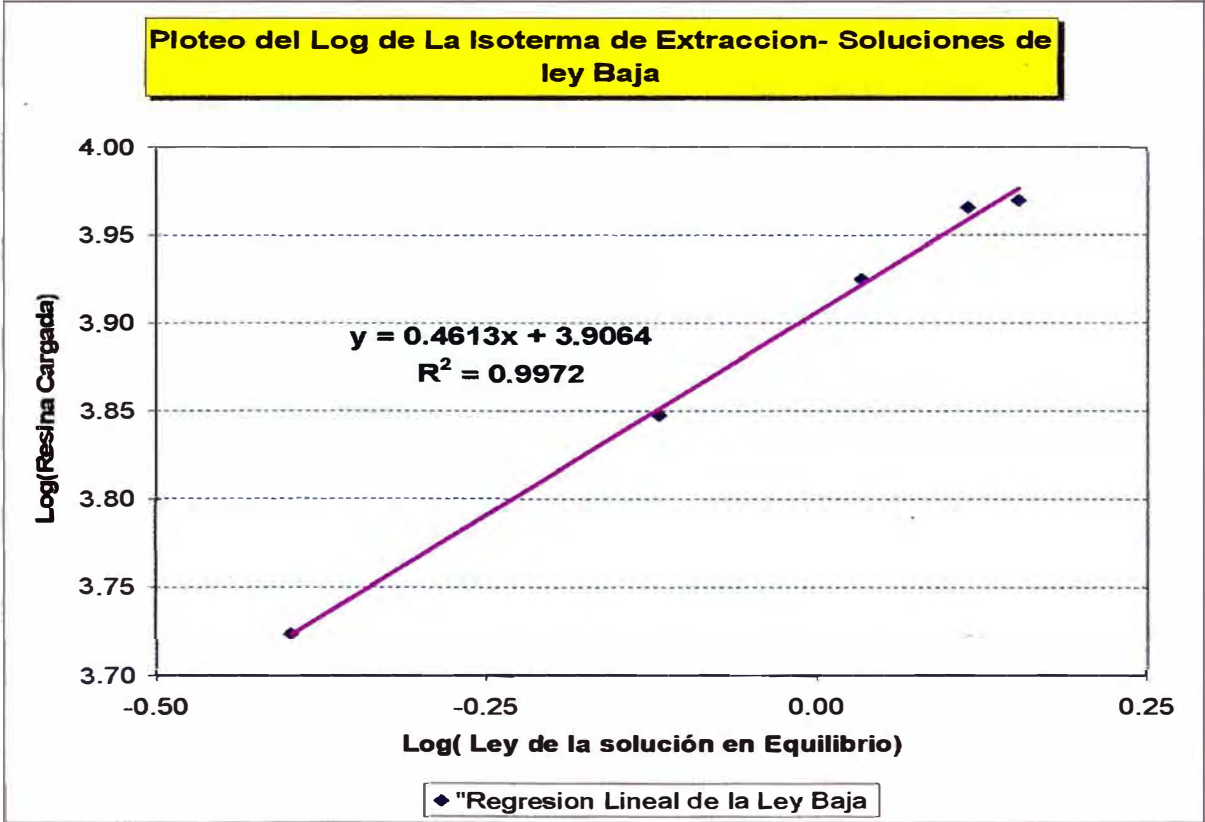


Figura 2.9

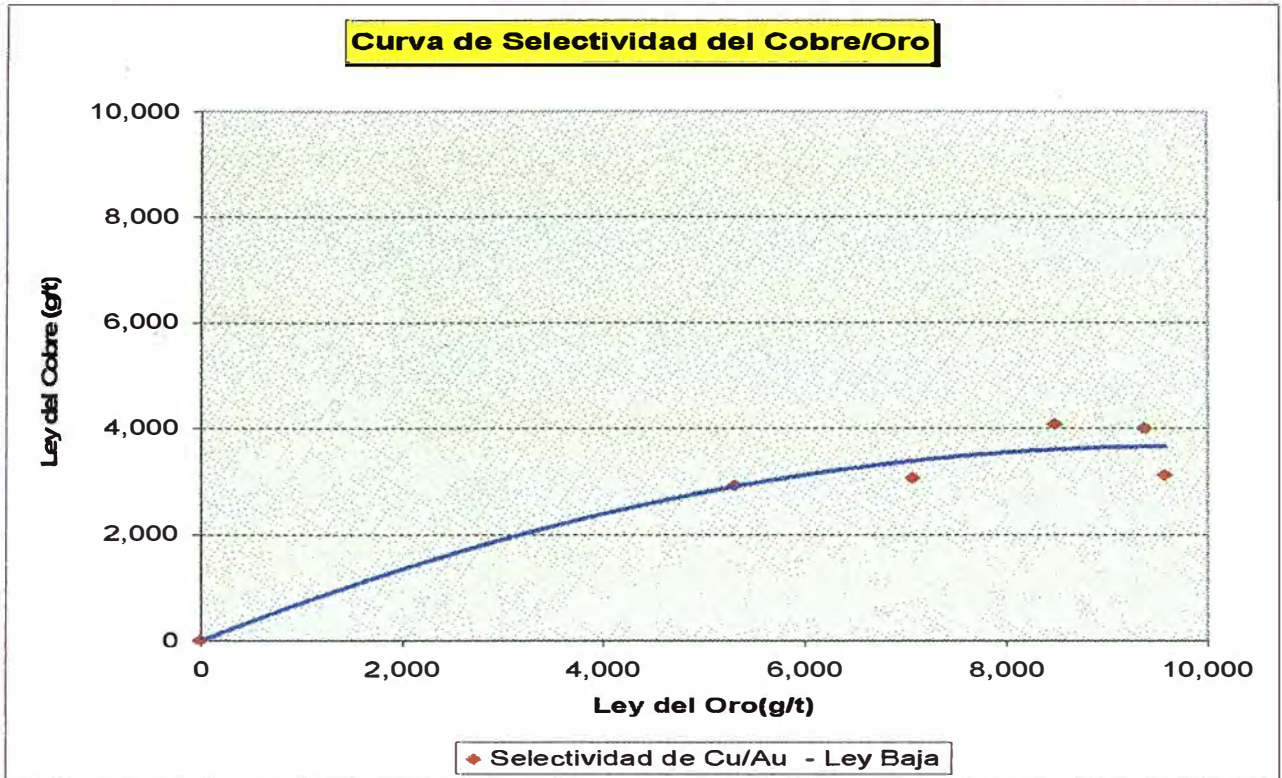


Figura 2.10

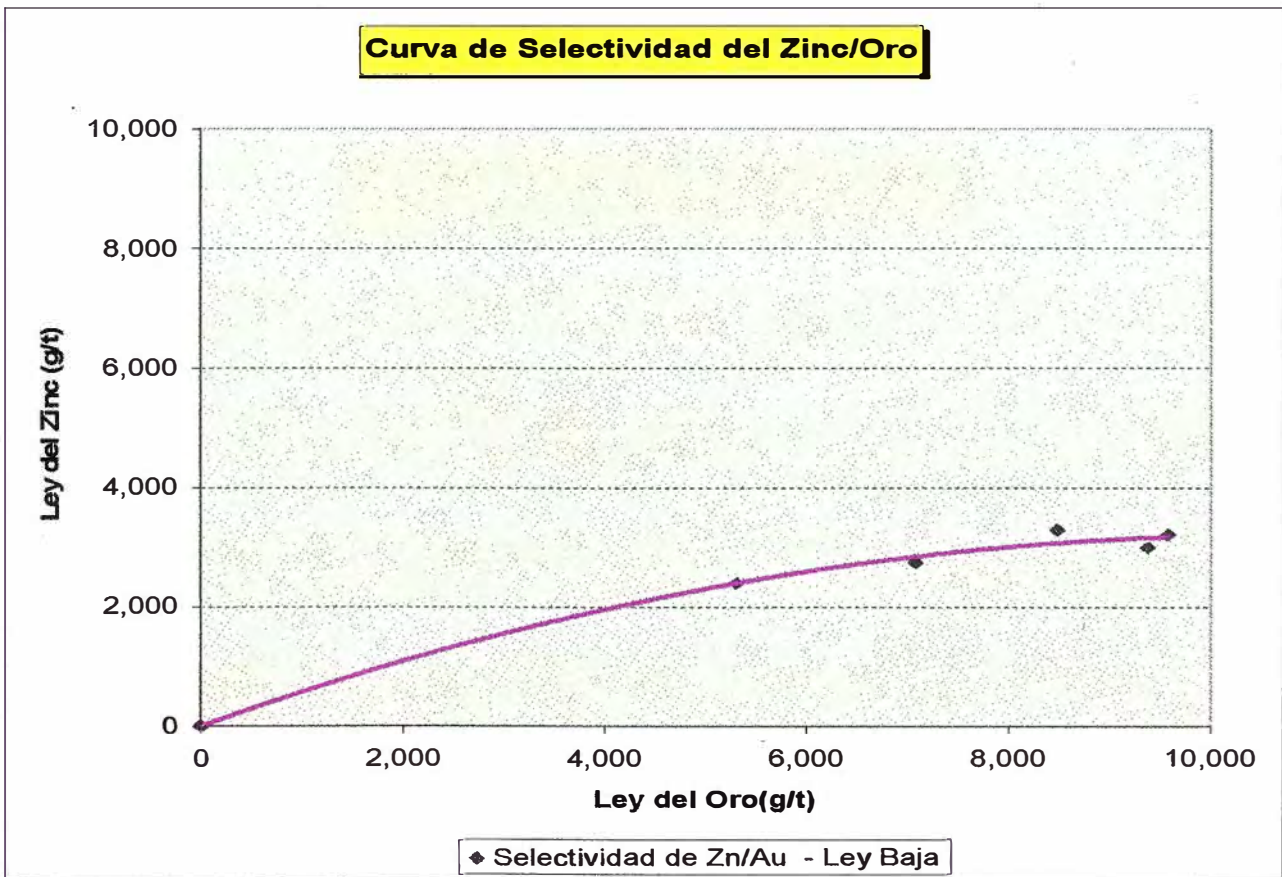


Figura 2.11

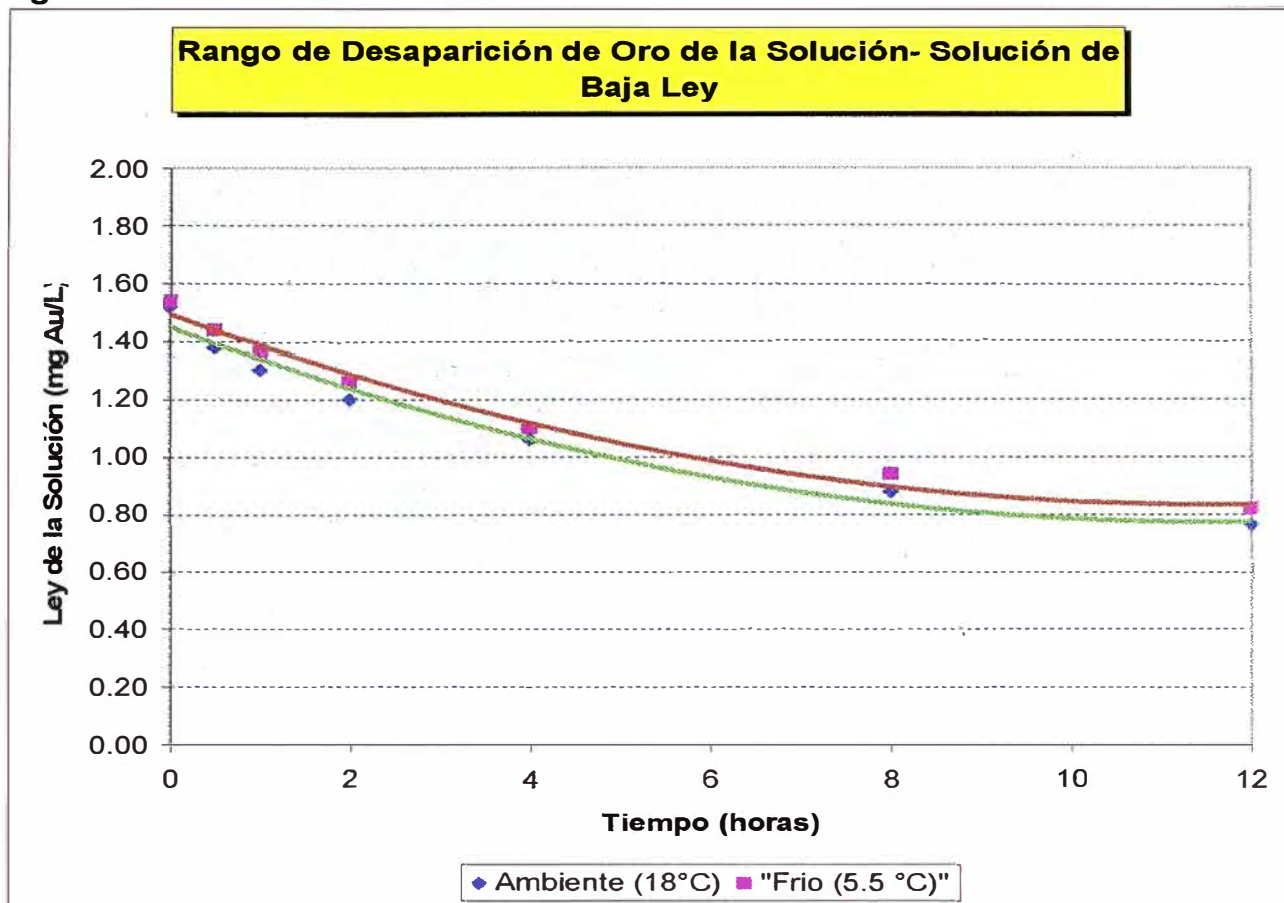


Figura 2.12

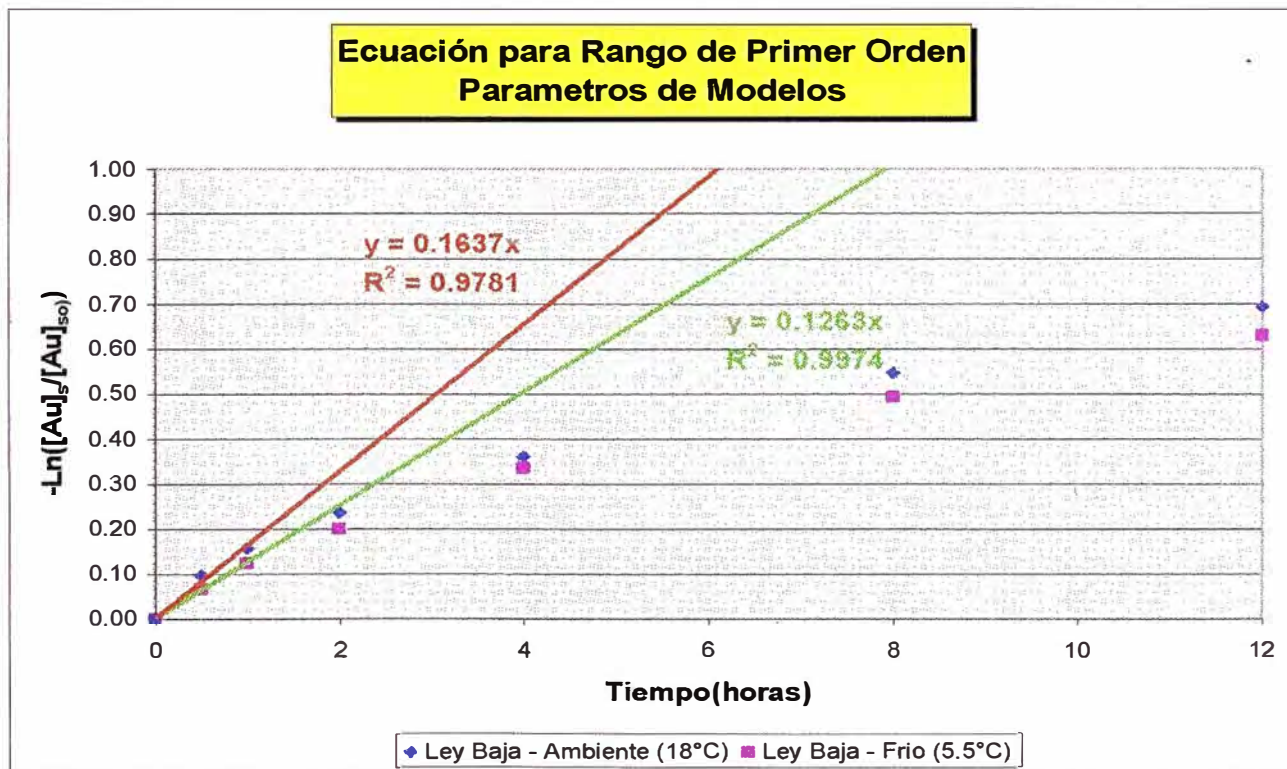


Figura 2.13

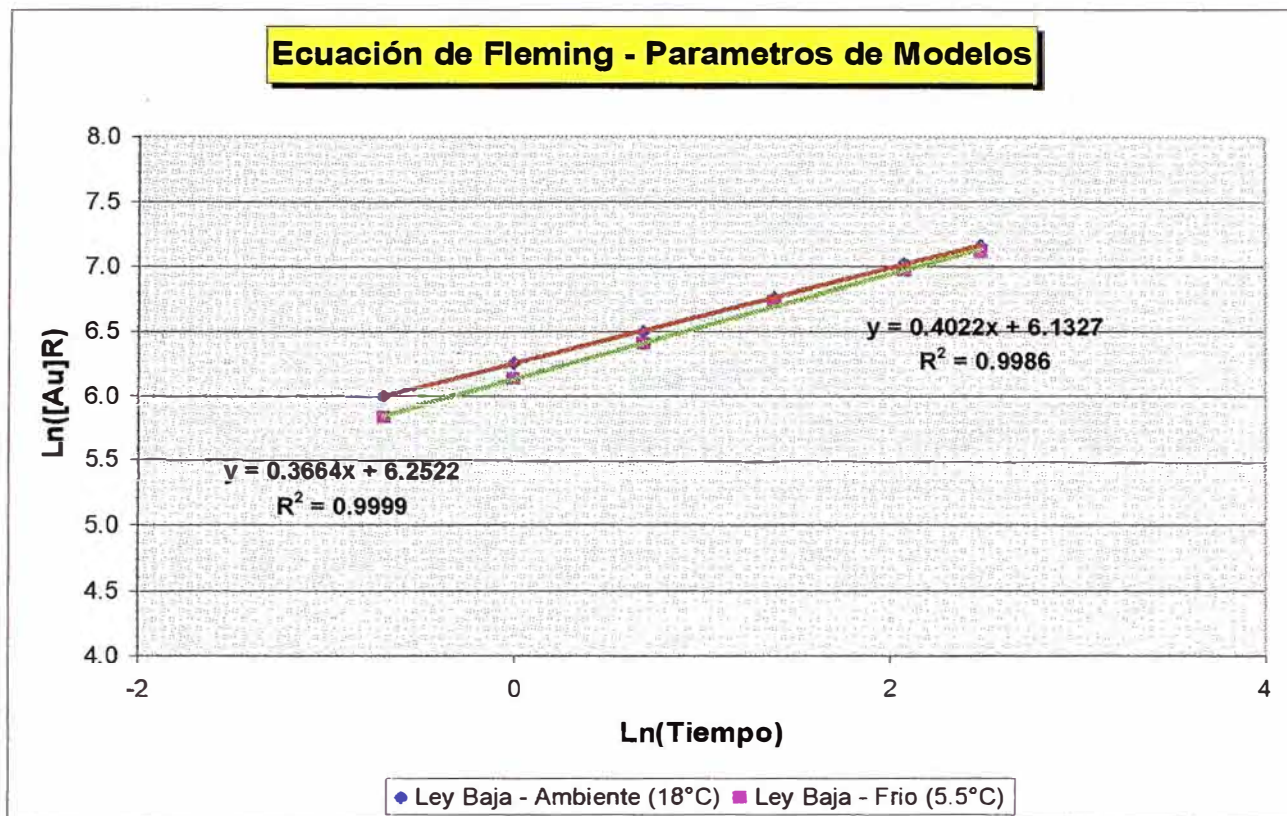


Figura 2.14

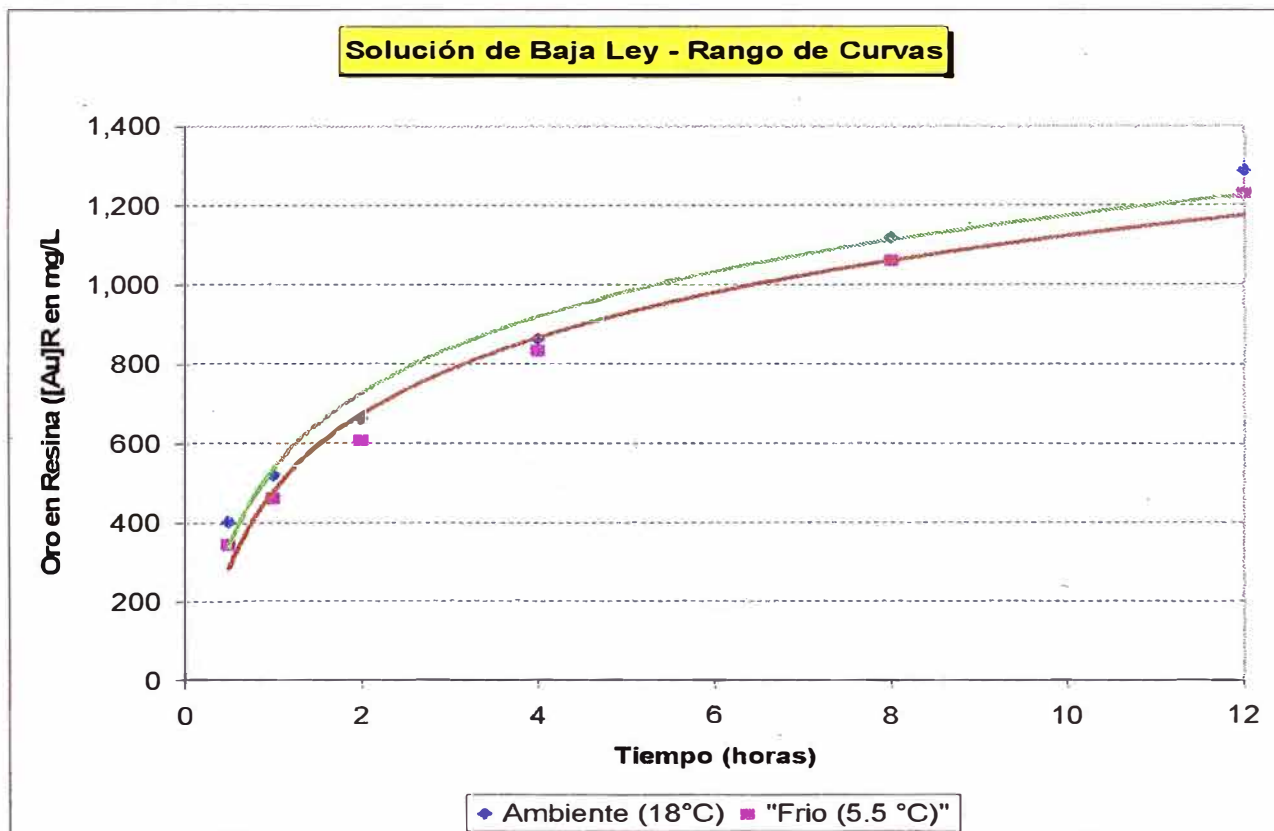


Figura 2.15

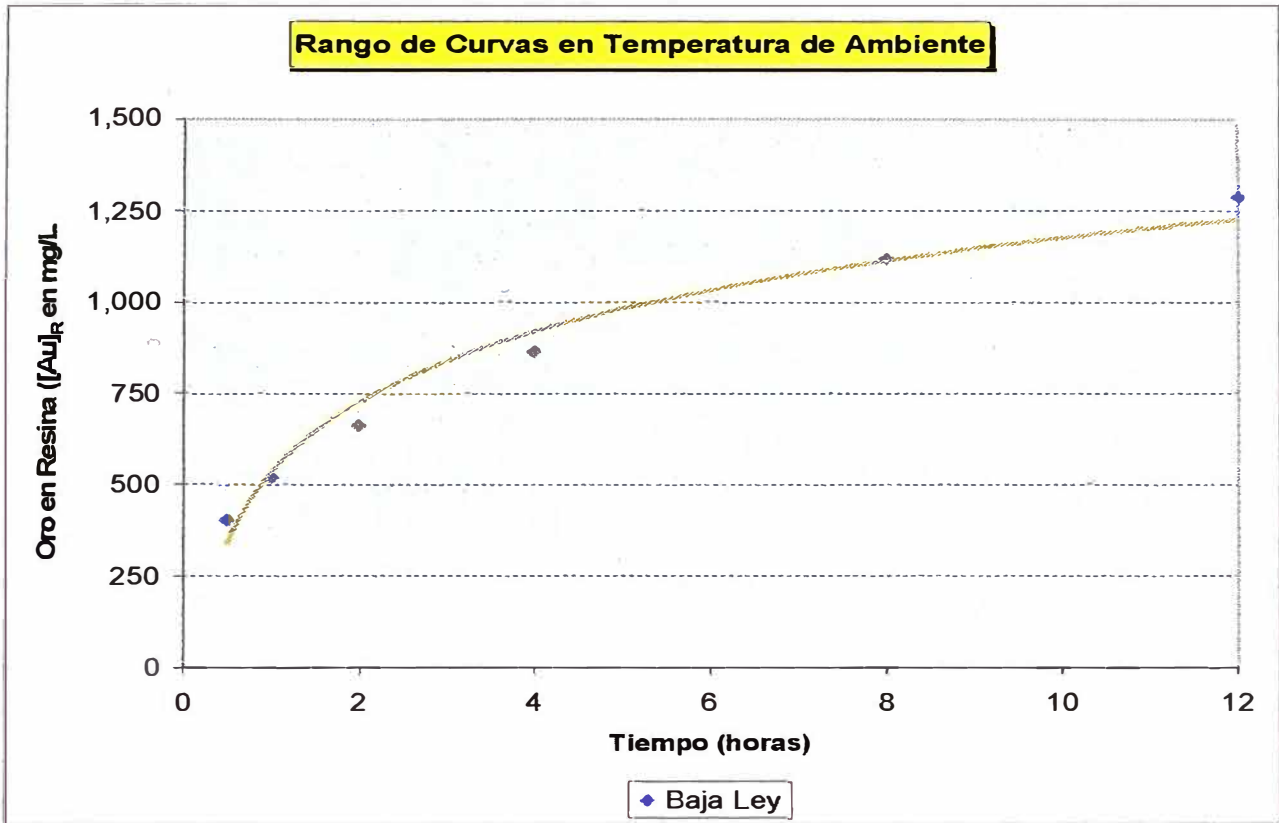


Figura 2.16

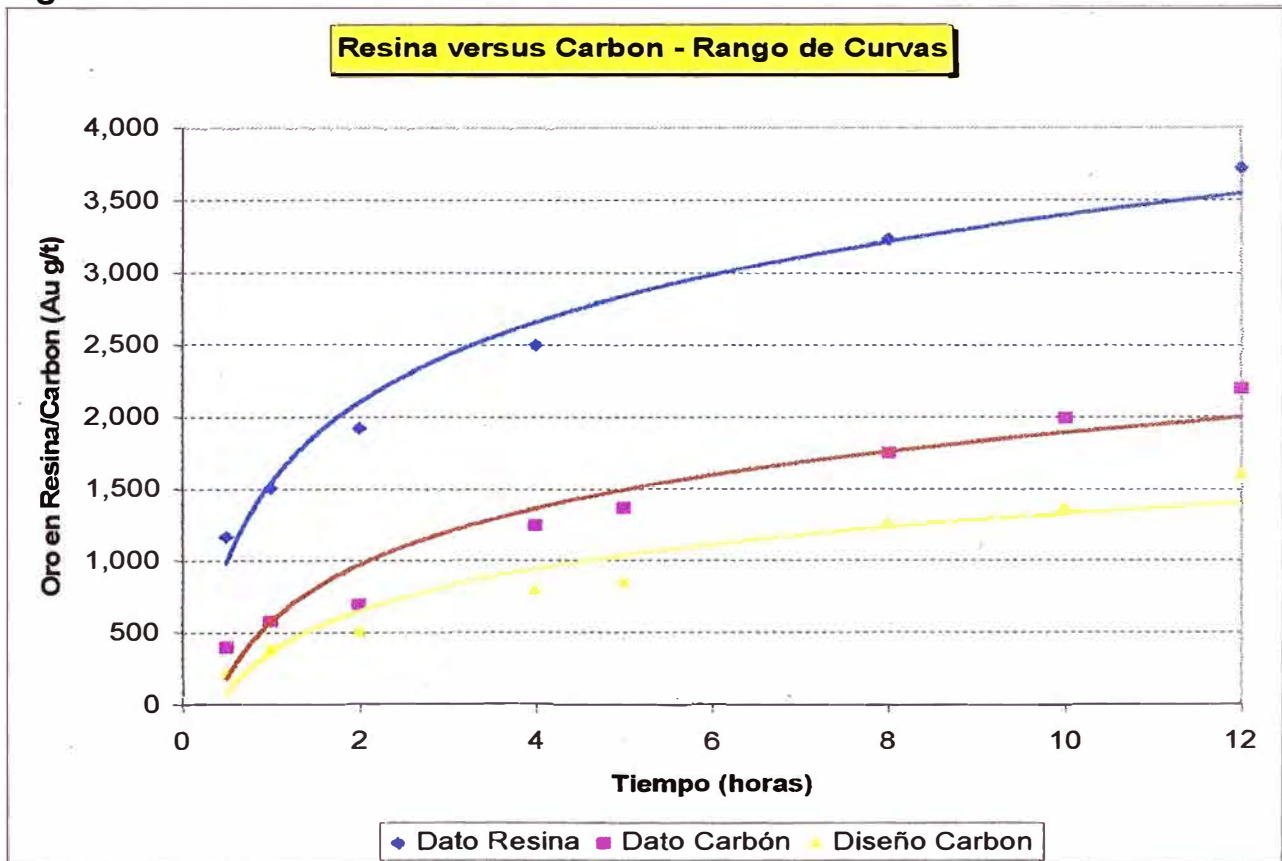


Figura 2.17

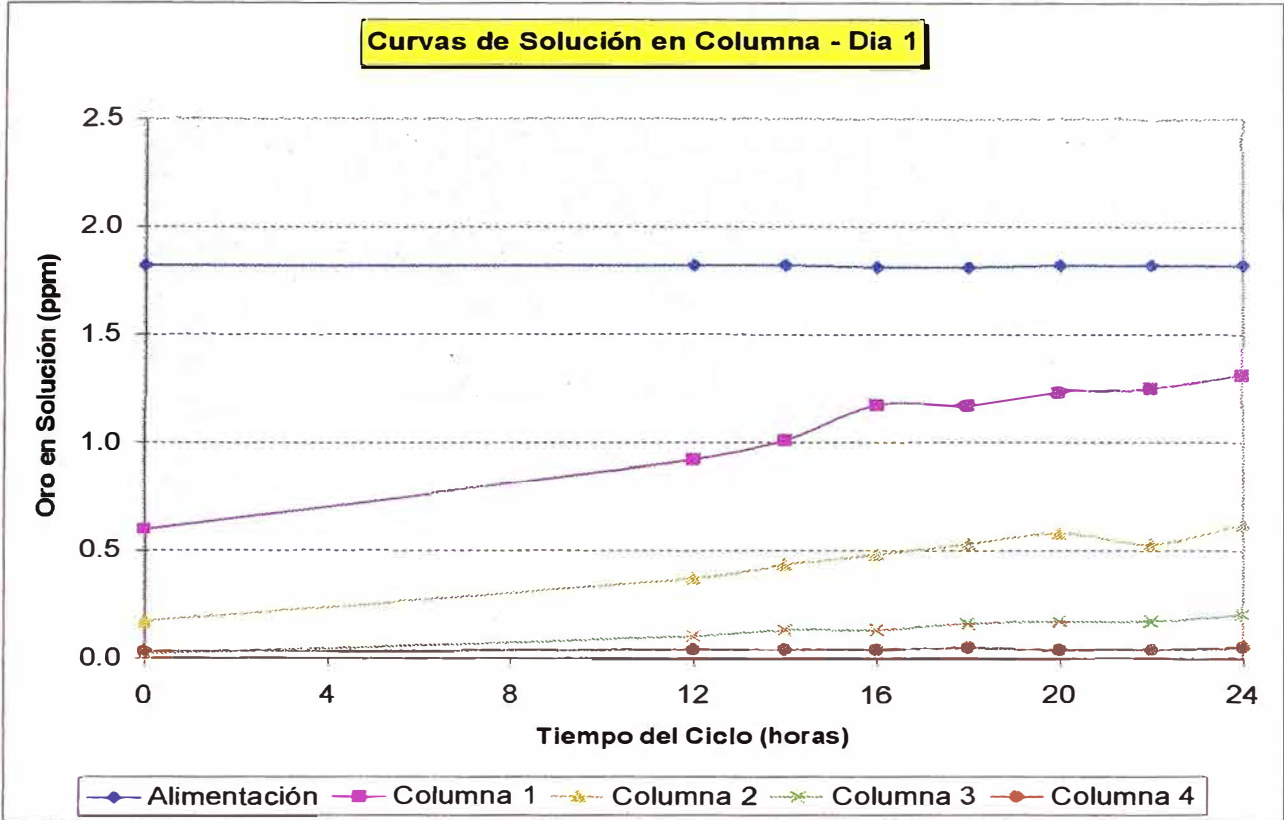


Figura 2.18

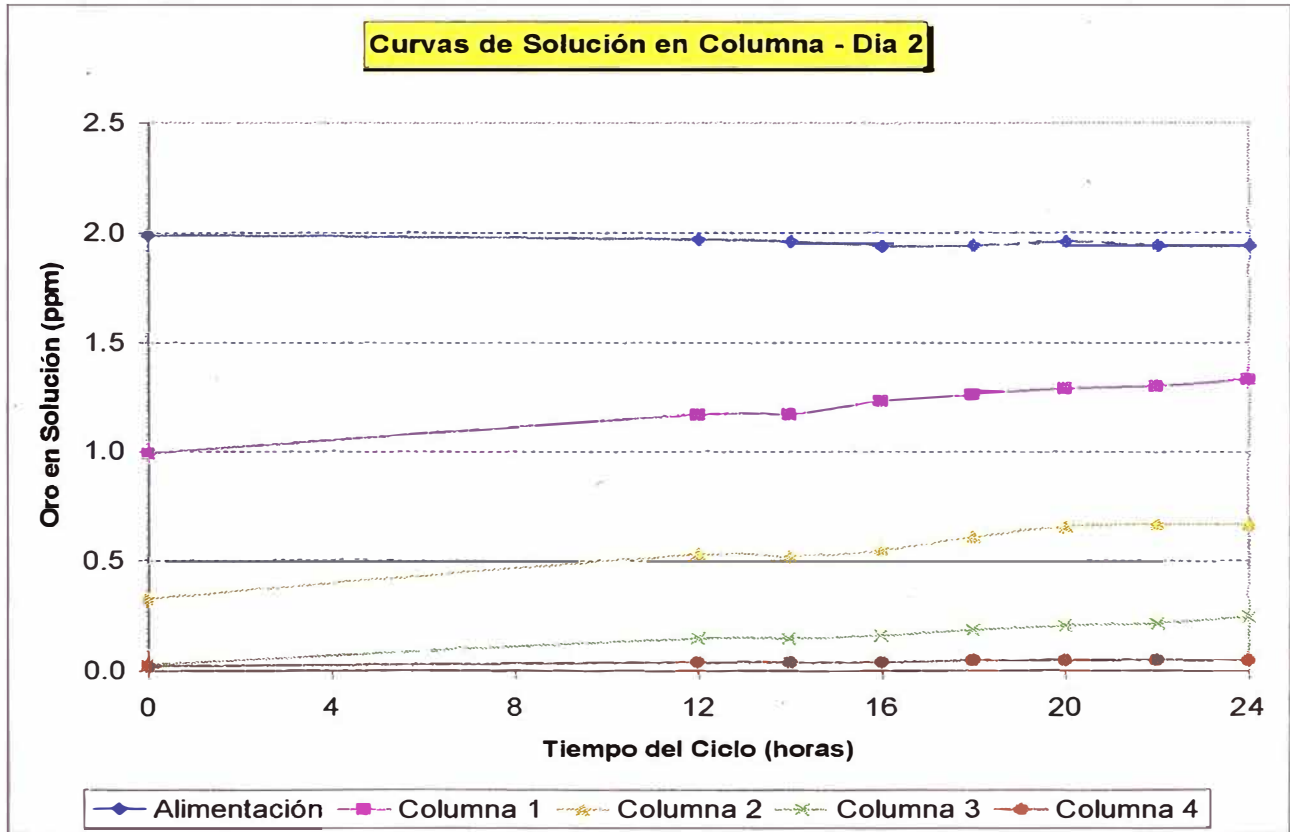


Figura 2.19

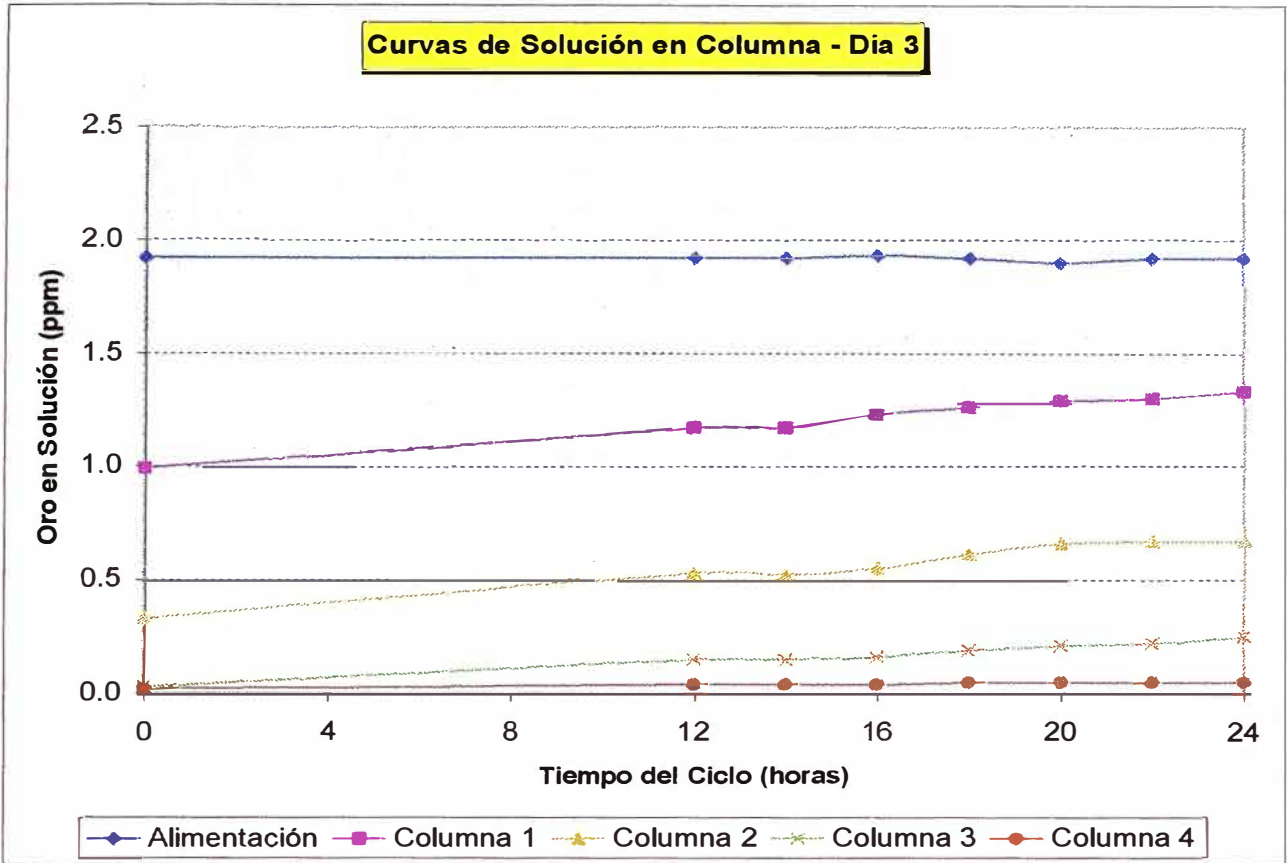


Figura 2.20

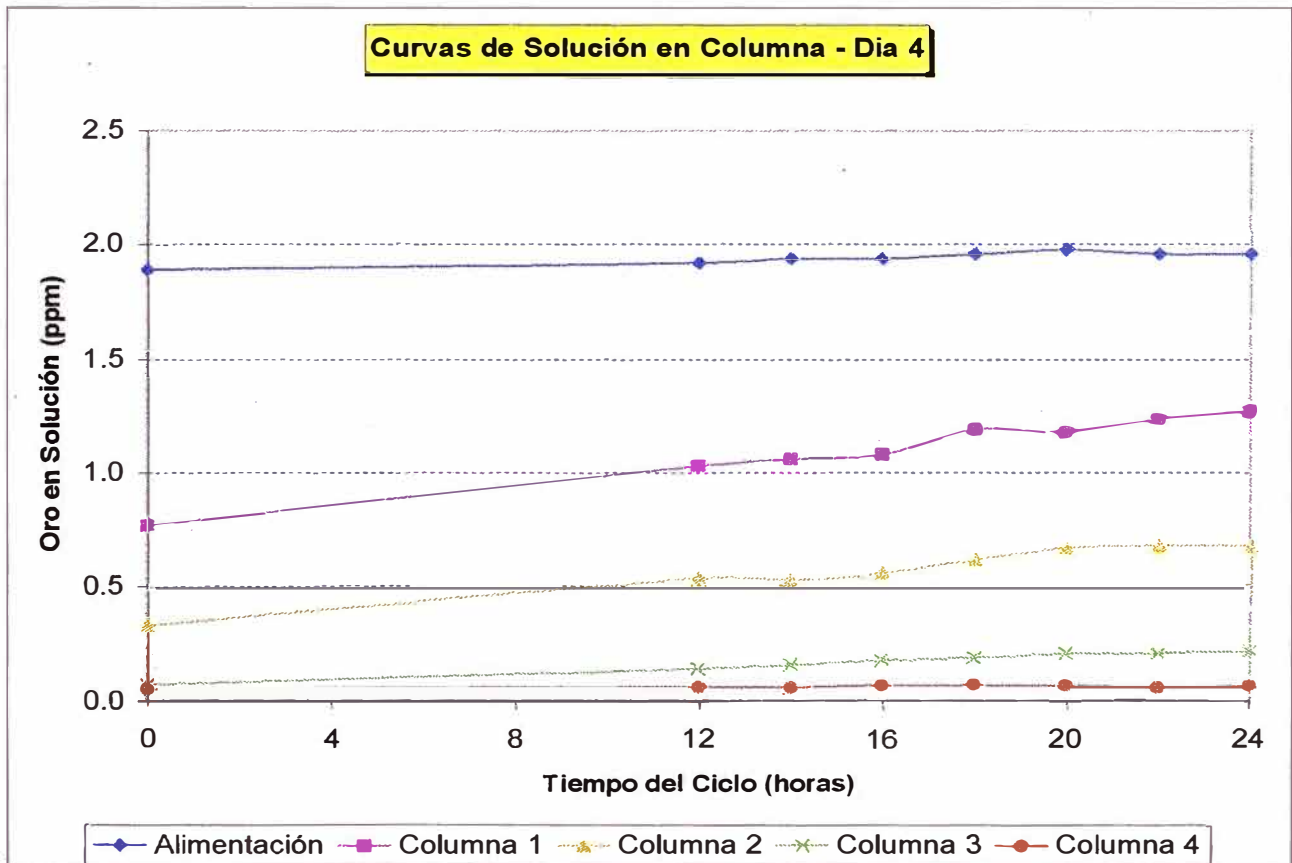


Figura 2.21

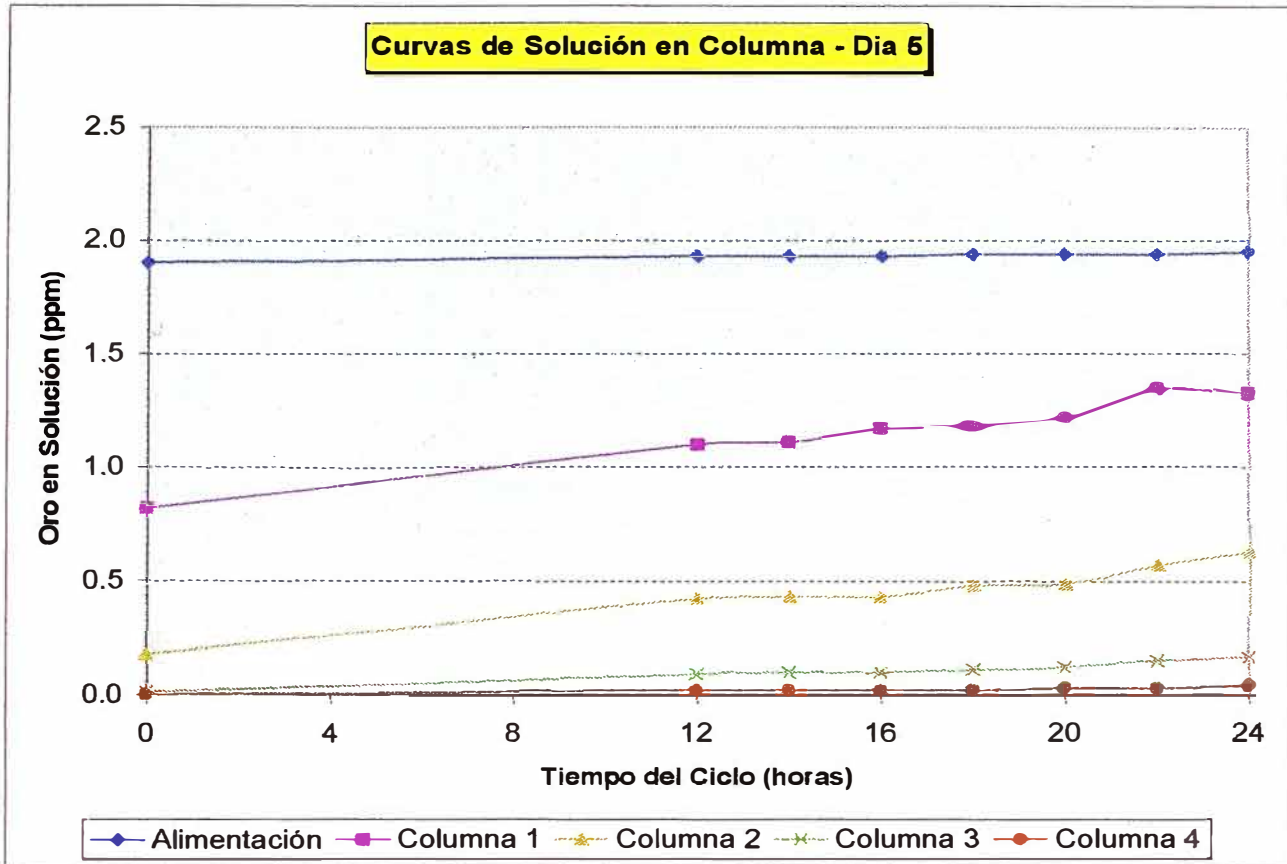


Figura 2.22

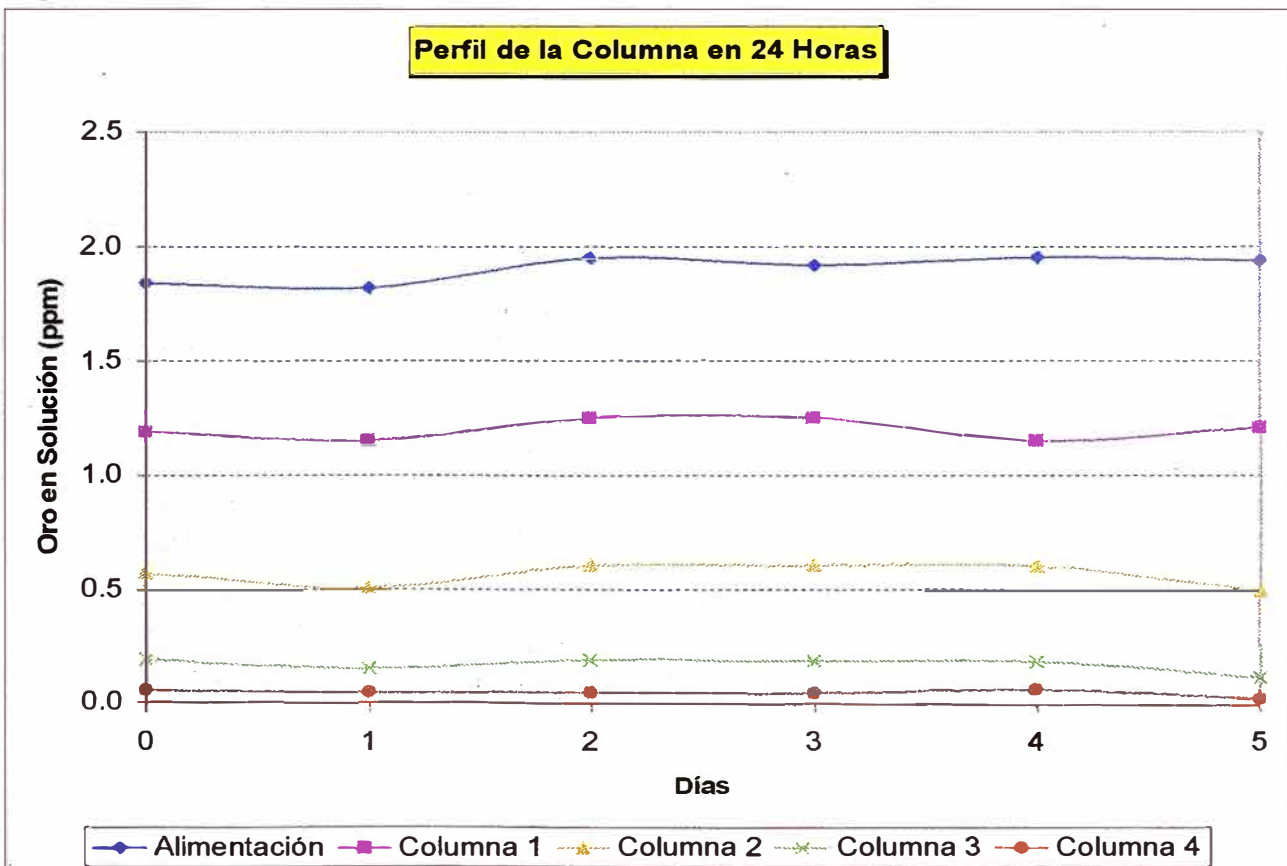


Figura 2.23

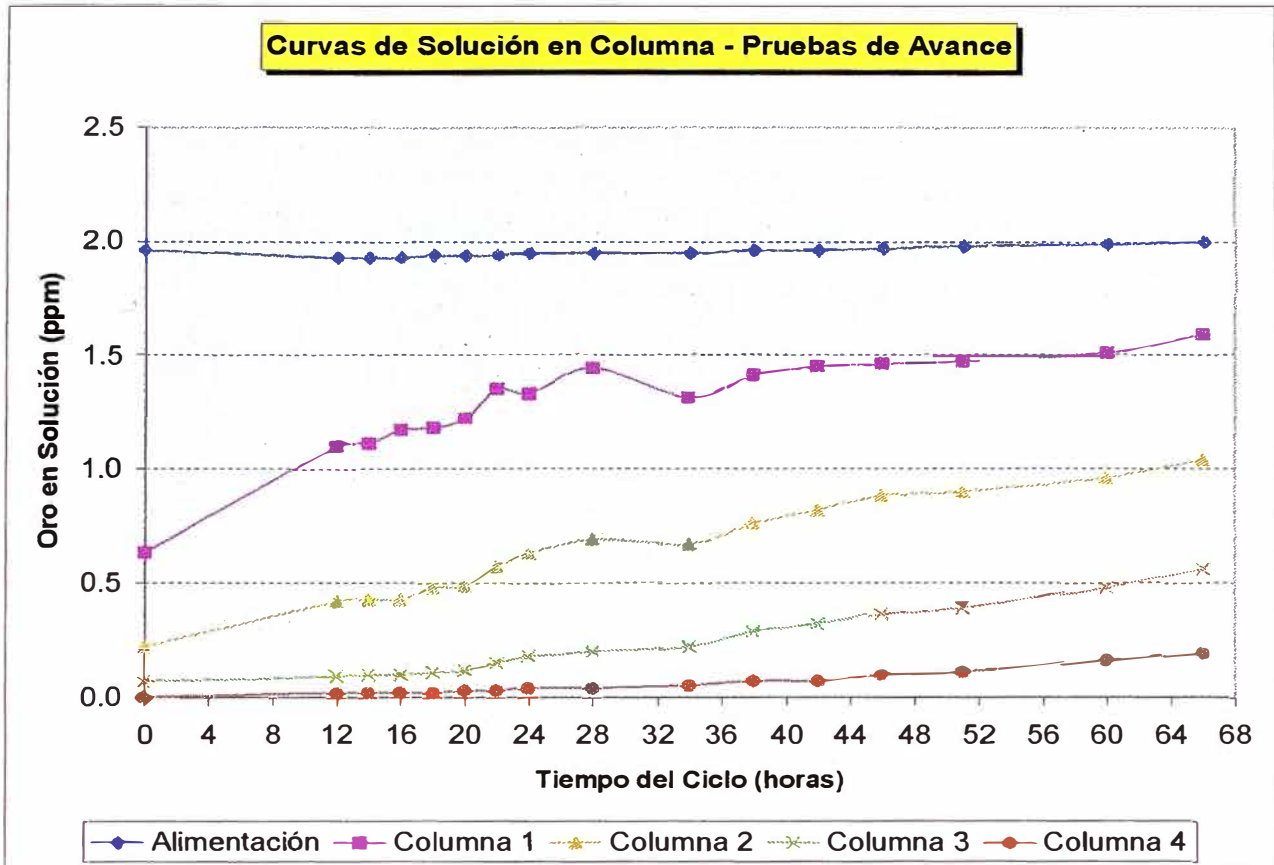


Figura 2.24

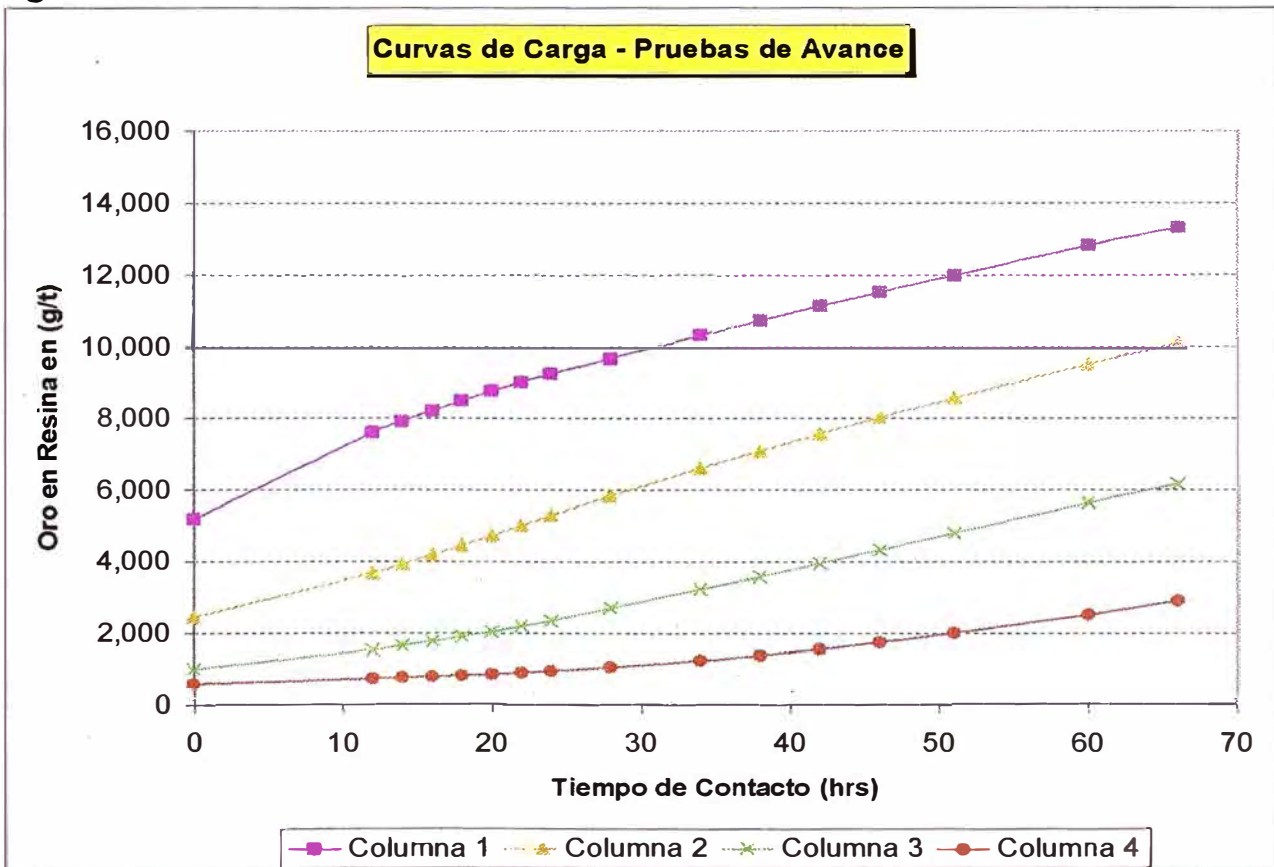


Figura 2.25

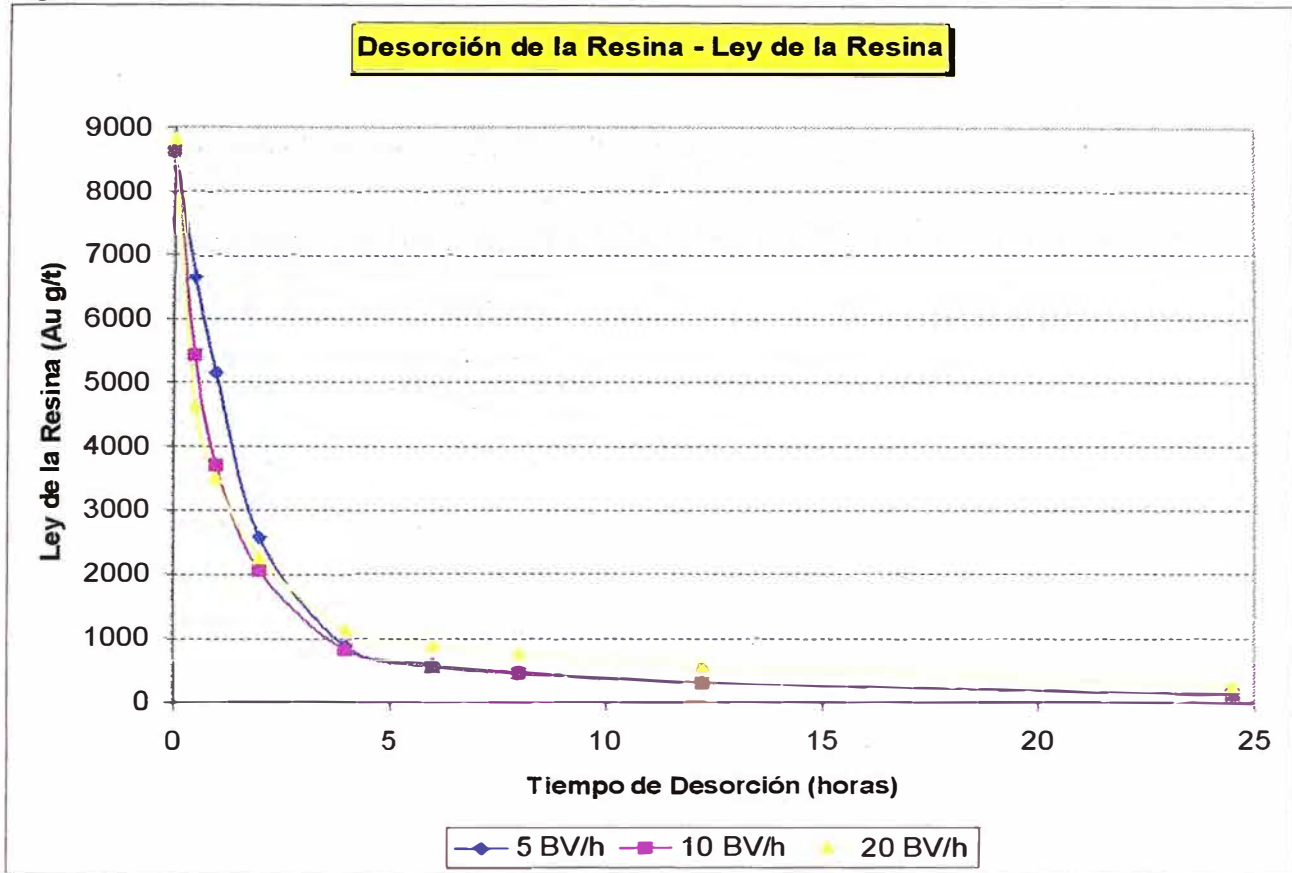
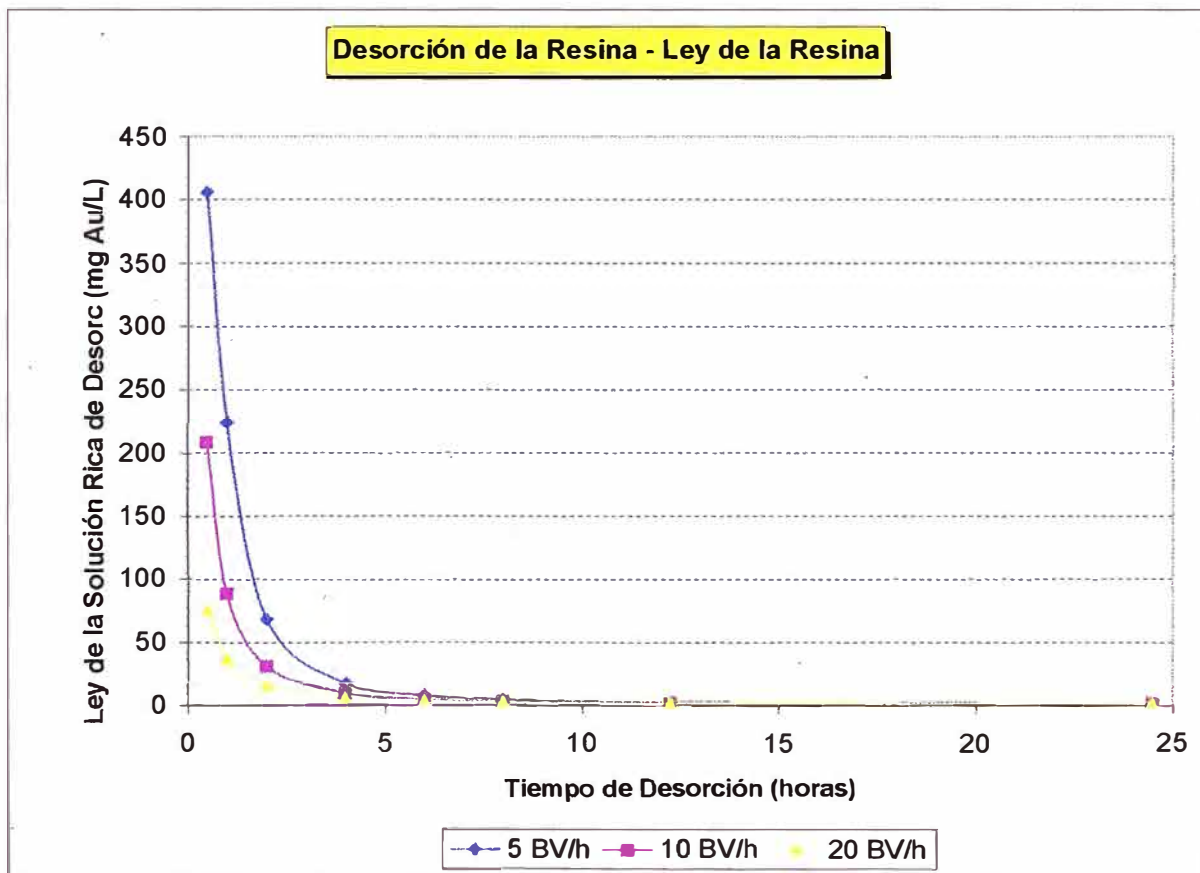


Figura 2.26



CAPITULO III

PROCESO DE INGENIERIA

3.1 Bases para Diseñar

El diseño del proceso para la instalación de carbón en columna (CIC) ha sido basado en parámetros de diseños industriales típicos y donde aproximadamente estos parámetros han sido verificados de nuevo los datos disponibles de operaciones existentes de carbón en columna (CIC). Los parámetros de procesos usados en el diseño del circuito de resina en solución (RIS) han sido determinados por las pruebas metalúrgicas preliminares y basadas en un diseño convencional de un intercambiador de iones. Con el estudio creemos en la definición del proceso para el diseño del circuito de resina en solución (RIS) será suficiente para el nivel de precisión aplicado en este estudio y recomendando aquella prueba detalladas anteriormente comprendida para definir completamente y optimizar el diseño del circuito de resina en solución (RIS).

Las bases del diseño y los documentos asociados a los diseños del proceso (anexo 2) deberían ser leídos conjuntamente con los diagramas de flujo de los procesos, la descripción del proceso y la lista de equipos mecánicos (anexo3).

3.1.1 General

Los circuitos de carbón en columna y resina en solución (CIC y RIS) ha sido diseñados para recuperar 50,000 onzas de oro por año de la solución rica de lixiviación (SRL) aquello representan los extremos en el flujo de solución y el contenido de oro en la solución experimentado generalmente en las operaciones de lixiviación en pilas. Los flujos establecidos de la resina en solución (RIS) son definidos en la tabla 3.1.

Tabla 3.1

DETALLES DE LA SOLUCION RICA DE LIXIVIACION

Parámetros		Unid	Solución Rica de la Solución	
			Ley Baja	
Flujo Estimado	Nominal	m ³ /h	400	
	Diseño	m ³ /h	500	
Ley de Solución	Gold	mg Au/L	0.50	
	Silver	mg Ag/L	0.05	
	Cianuro Libre	mg NaCN/L	100	
Precios de Metales en Solución	Gold	onz/año	50,695	
	Silver	onz/año	5,070	
Temperatura de la Solución		°C	18.5	

Los parámetros físicos adoptados para el carbón y resina para esta evaluación son embozados en la tabla 3.2.

Tabla 3.2

PARAMETROS FISICOS DE CARBON Y RESINA

Parámetros	Unid	Carbón	Resina
Tipo		Cáscara de Coco Pica	AuRIX - 100
Tamaño	malla	6 x 12	-
	d ₅₀ , µm	-	850
Densidad de Masa	Kg/m ³ seco	490	0.347
	Kg/m ³ humedo	-	0.714
Capacidad de Retención de H ₂ O	%	-	52

La resina AuRIX-100 es adquirida y almacenada en una base húmeda y tiene que estar guardado húmedo para mantener la integridad de la resina. La resina

húmeda tiene un promedio de retención de agua de 52%. La capacidad de retención de agua (CRA) de la resina es usada para calcular el peso seco de la resina del peso de la muestra húmeda. Los valores cargados de la resina son expresados en gramos por tonelada seca de resina.

3.1.2 Diseño del Circuito de Adsorción

La solución rica de lixiviación (SRL) será bombeada de la poza de solución rica a lo largo de las columnas de adsorción con el carbón o resina. Los metales preciosos serán adsorbidos por el carbón o resina y la resultante de la solución pobre de lixiviación (SPL) retorna a la poza de solución pobre. Los parámetros del proceso adaptados para el diseño del circuito de adsorción están resumidos en la Tabla 3.3.

Tiempo de residencia del circuito

El tiempo de residencia del circuito de adsorción es dependiente sobre el volumen del lecho de carbón o resina en cada columna y el número de columnas en serie. Típicamente en aplicaciones para pilas en lixiviación un rango del flujo de la solución rica de lixiviación (SRL) es calculado como parte del diseño de la plataforma. El volumen del carbón o resina por columnas tendrán por consiguiente ser calculados desde un flujo estimado de volumen de lecho nominal de solución.

El número de columnas por etapas para alcanzar la ley deseada de la solución pobre de lixiviación (SPL) es dependiente de la ley de la solución rica de lixiviación (SRL), el tiempo de residencia por columnas y el grado de corto circuito en la columna. Típicas operaciones de circuitos de adsorción produce un contenido de solución pobre de lixiviación (SPL) de 0.01 a 0.1 mg Au/L para ser retornado a las pilas (circuito de curva cerrada). Este circuito de curva cerrada permitirá operaciones de lixiviación en pilas recorrer rápidamente las soluciones de leyes pobres que pueden ser tolerados en operaciones convencionales de carbón en pulpa (CIP). Para las bases del estudio, tenemos adoptado un blanco de ley de solución máximo de 0.05 mg Au/L.

Típicos circuitos de carbón en columna son diseñadas para flujos estimados de solución rica de lixiviación (SRL) de 40 a 60 BV/h (volumen de lecho por hora) a través de 4 columnas en series dando un tiempo de residencia a la solución

de 1.0 a 1.5 minutos por columna (tiempo estático del lecho de residencia) y un tiempo total de residencia en el circuito de 4.0 a 9.0 minutos.

Como una base para el diseño del circuito de carbón en columna (CIC) presentado en este estudio se adoptara un diseño para un flujo estimado de la solución de 50 BV/h y 4 columnas en serie para el circuito de la ley baja de la solución rica de lixiviación (SRL), Este es una línea con otras operaciones de carbón en columna (CIC) de similar tratamiento con soluciones de lixiviación en pilas.

Las pruebas de resina en solución bosquejada en la sección estudio experimental de la resina (capítulo 2.0) fue conducido en un solo flujo estimado de volumen de lecho (60 BV/h), un numero fijo de etapas de columnas (4 etapas) y una constante alimentación de solución con leyes (1.9 a 2.0 mg Au/L). Los resultados de estos 5 días de proceso de resina en solución (RIS) demostrando aquello esa configuración del circuito con un tiempo total de residencia de solución de 4.0 minutos fue capaz de alcanzar una ley de solución pobre de lixiviación menor que 0.1mg Au/L en las 24 horas de ciclo de carga y produciendo leyes de resina de carga máxima (en una columna inicial) de 8,000 g Au/t (seca).

Las configuraciones mismas han sido adaptadas para el circuito de resina (RIS) para soluciones de baja ley. Esta configuración del circuito no tenía que ser optimizada. El proceso de resina en solución (RIS) indica resultados que solo 3 etapas de adsorción seria requeridas para el circuito de resina en solución (RIS) de leyes bajas sin embargo, preocupados sobre el potencial del corto circuitos y una perdida de una etapa de adsorción durante el ciclo de la desorción realizada en que una etapa adicional será incorporado en el diseño del circuito.

Dirección del Flujo

El circuito de adsorción puede ser operado dentro de dos configuraciones un flujo ascendente o flujo descendente. En una configuración de flujo ascendente la solución es bombeada en la base de la primera columna, fluyendo hacia arriba a través del lecho del carbón o resina y saliendo por la parte mas alta de la columna. La descarga de la primera columna es luego direccionada para la base de la próxima columna en serie. La velocidad del flujo ascendente de la

solución a través del lecho puede causar lecho fluidizado y expansión. La expansión del lecho es deseable como incremento de tiempo de contacto para la extracción y reduciendo el potencial para el corto circuito. La ampliación de la expansión del lecho es dependiente de las soluciones específicas de velocidad del flujo ascendente, temperatura de solución y tamaños, formas de partículas de carbón o resina y gravedad específica.

En una configuración de flujo descendente la solución es bombeada a la parte mas alta de la primera columna, fluyendo hacia abajo a través del lecho del carbón o resina luego saliendo por la base de la columna. La descarga de la primera columna luego es direccionada hacia la parte superior de la próxima columna en serie. La velocidad de flujo descendente de la solución a través del lecho puede resultar compactaciones dentro del lecho causando una alta presión en el lecho y aumentando el potencial para el corto circuito.

Utilizar instalaciones típicas de carbón en columna (CIC) en una configuración de flujo ascendente cerrado, expandiendo el lecho en las columnas. Una curva de expansión típica del lecho para el carbón activado (6x12 mallas) es presentado en la Figura 3.1 presentando un lecho de expansión de 14 a 33% en típicas velocidades de flujo ascendente en el carbón en columna (CIC) de 50 a 70 $\text{m}^3/\text{m}^2\text{h}$ en una solución de 20°C de temperatura. La velocidad de flujo específico ascendente en cual inicia la ocurrencia de fluidización del lecho a 18°C será estimando en 35 $\text{m}^3/\text{m}^2\text{h}$ para la selectividad del carbón.

Los resultados del bosquejo de las pruebas hidráulicas de la resina esta dentro de la sección 2.0 indicando una velocidad de flujo específico ascendente muy baja requerida para iniciar el lecho fluidizado (3.5 $\text{m}^3/\text{m}^2\text{h}$) comparando con aquello del carbón (35 $\text{m}^3/\text{m}^2\text{h}$). La comparación de la expansión del lecho como una función de velocidad de flujo específico ascendente de solución para el carbón y la resina AuRIX-100 es ilustrada en la Figura 3.2. La extensa expansión del lecho de la resina AuRIX-100 será relativamente baja eliminando la velocidad de flujo ascendente eliminando alguna oportunidad para operar el circuito de adsorción en una configuración de flujo ascendente bajo las mismas condiciones de operación de pilas en lixiviación. Como una consecuencia el estudio adopto una configuración de flujo descendente para el diseño del circuito de adsorción. Una velocidad de flujo específico descendente de 60 $\text{m}^3/\text{m}^2\text{h}$

m²h ha sido seleccionado para el diseño dando un lecho bajo moderado de caída de presión.

Los parámetros del proceso adaptados para el circuito de adsorción diseñada están resumidos en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3

Resumen de los Parámetros de Diseño del Circuito de Adsorción

Parámetros		Unid	Carbón en Columna	Resina en Solución
			Circuito	Circuito
Dirección del Flujo SRL			Ascendente	Descendente
Flujo Volumétrico	Diseño	BV/h	50	60
Velocidad Especifica	Diseño	m ³ /m ² /h	60	60
Expansión del Lecho	Nominal	%	23	-
	Diseño	%	50	-
Número de Columnas por Etapas	Ley Alta SRL	N°	6	5
	Ley Baja SRL	N°	5	4
Objetivo de la Ley SPL	Máximo	mg Au/L	0.05	0.05
Cargado	Ley Alta SRL	mg Au/L	5,000	10,000
	Ley Baja SRL	mg Au/L	1,250	4,000
Tiempo de Residencia en el Circuito	Ley Alta SRL	minutos	7.2	5.0
	Ley Baja SPL	minutos	6.0	4.0

Nota* El tiempo de residencia en el circuito esta basado en el volumen estático del lecho. El tiempo de residencia del circuito del lecho expandido en las columnas es muy grande.

3.1.3 Diseño del circuito de desorción

La transferencia del carbón cargado será hidráulicamente del circuito de adsorción de carbón en columna (CIC) hacia un circuito convencional de desorción de carbón. Antes de la desorción el carbón cargado será lavado con ácido clorhídrico diluido para remover sales carbonatadas. Después de la desorción, el carbón desorcionado será regenerado en un horno quemado con

petróleo y luego transferido hacia el circuito de adsorción para ser configurado como la última columna.

Cargada la resina será desorcionada en el mismo circuito (en la columna de adsorción) a presión atmosférica y elevando la temperatura ligeramente. Después de la desorción, la columna de resina desorcionada será configurada como la última columna. Periódicamente la resina desorcionada será regenerada con ácido clorhídrico diluido para remover sales carbonatadas.

Diseño del Circuito de Desorción de Carbón

En el estudio se ha adoptado un diseño de circuito de desorción convencional a presión Zadra para la recuperación de oro del carbón cargado. Un circuito Zadra permitirá la instalación del carbón en columna (CIC) para operar en regiones donde la alta calidad de agua no es disponible. El carbón desorbido será regenerado en un horno quemado a petróleo a 650°C. La clave para el criterio usado en el circuito de desorción a presión Zadra y el diseño para el circuito de regeneración está bosquejado en la Tabla 3.4.

Diseño del circuito de desorción para la Resina

El diseño del circuito de desorción de la resina ha sido basado en consejos de empresas con experiencias (Henkel), los resultados de las pruebas de desorción del estudio experimental (Capítulo 2.0) y conocimiento del diseño del circuito de intercambiador iónico. La clave del criterio está resumida en la Tabla 3.4.

El estudio adopta una configuración de flujo ascendente para la desorción de la resina para expandir el lecho de la resina y preventivamente causado compactación del lecho por continuas operaciones de flujo descendente. El flujo ascendente de la desorción a través del lecho de la resina expandida reducirá el potencial para el corto circuito y limpiando hacia fuera algunos materiales, partículas atrapados dentro del lecho.

Figura 2.25 en el capítulo 2.0 ilustrará la reducción de carga de oro en la resina con el tiempo en varios flujos estimados de desorción (5, 10 y 20 BV/h). Los gráficos indican solo un incremento mínimo en el rango de desorción de la resina en los flujos estimados altos de la desorción y una resina pobre de baja

ley (300 gr. Au/T) que es alcanzado dentro de 12 horas a 60°C y con un flujo estimadamente bajo en la desorción (5 BV/h).

En un diseño para el circuito de desorción para volúmenes grandes de desorción de resina cargado con soluciones de baja ley al asociar el circuito de electrodeposición será primeramente clasificar el tamaño sobre el flujo estimado de solución rica de la desorción para la electrodeposición basada en

Tabla 3.4

Resumen de los Parámetros de Diseño de la Desorción y Regeneración

Parámetros		Unid	Carbón en Columna	Resina en Solución
			Circuito	Circuito
Desorción	Tipo		Zadra Presión	Atmosférica
	Presión	kPas	240	0
	Temperatura	°C	120	60
Flujo de la Solución Pobre de Desorción	Dirección		Ascendente	Ascendente
	Flujo Estimado	BV/h	3.0	5.0
	Concentración	%w/v NaOH	2.0	4.0
		%w/v NaCN	0.2	0.01
		%w/v NaC ₂ H ₅ O ₂	-	7.0
Tamaño de la Carga de la Desorción			Caso 1	Caso 2
	ton secas	ton secas	5	2.89
	ton húmedas	ton húmedas	-	5.95
Frecuencia de la Desorción		días	1.3	2.3
Tiempo del Ciclo de Desorción		Hrs	16	12
Objetivo de la Solución Pobre de Desorción		mg Au/L	5	1.5
Lavado Acido	Frecuencia Conc.del ácido	%w/v HCl	Antes - Desorción	Después - Desorción
			Cada ciclo de desorción 3%	Cada 5 ciclos de desorción 3%
Celdas Electrolíticas	Número	No.	Caso 1	Caso 3
	Configuración		3	3
	Tamaño		en paralelo 800 mm x 800 mm	en paralelo 800 mm x 800 mm
	Cátodos	No.	12	12
Horno Regeneración	Tipo		Quemado con Diesel	-
	Temperatura	°C	650 - 700	-
	Tiempo de residencia	Minutos	15	-
Capacidad del Horno	Ley baja SRL	Kg/h	250	-
	Ley alta SRL	Kg/h	100	-

la velocidad lineal máxima permisible de la desorción a través de cada celda. Para evitar instalaciones numerosamente grande de celdas de electrodeposición para manejar un flujo de solución rica en la desorción, un tubo de paso puede ser instalado para direccionar una porción de la solución rica de la desorción pasando a la celda y retornando directamente para el tanque de solución de recirculación. En el diseño del circuito de desorción para desorcionar volúmenes pequeños de resina cargada con leyes altas los circuitos de electrodeposición será primeramente clasificar el tamaño del área del cátodo requerido para la electrodeposición del oro y la plata de la solución rica de la desorción en el tiempo del ciclo de la desorción requerido. El número de celdas de electrodeposición requeridas para el servicio puede ser reducido si una electrodeposición es mas larga o el ciclo del tiempo de desorción es aceptable.

La resina desorcionada será periódicamente lavado con ácido clorhídrico diluido para remover algunas sales inorgánicas que puede tener cargado dentro de la resina.

3.2 Descripción del Proceso del Carbón en Columna (CIC)

La descripción del proceso del carbón en columna (CIC) facilitara relatar algo solo para el circuito de adsorción del carbón, desorción del carbón y circuito de regeneración, circuito de electrodeposición, fundición, reactivos asociados y servicios.

3.2.1 Circuito de Adsorción con carbón (Diagrama de flujo R101- F-001)

La solución rica de lixiviación (SRL) de una típica pila de lixiviación o operaciones de lixiviación en montón contiene valores de metales preciosos (oro y plata) será bombeados de la poza (SRL) ha la base de la primera columna en una serie de cinco (5) columnas en flujo ascendente, expandiendo el lecho del carbón en las columnas. El carbón será retenido dentro de cada columna contra el flujo de la solución por el plato de distribución interna en la base y en lo más alto la línea de salida de la columna.

El oro y la plata serán extraídos progresivamente de la solución como flujo de la solución rica de lixiviación (SRL) de una columna de carbón hasta la próxima columna.

La solución pobre de lixiviación (SPL) existente sale por la parte mas alta de la ultima columna de adsorción (colas) contendrá solo trazas de niveles de metales preciosos y gravitando el carbón en la zaranda de seguridad. La zaranda de seguridad del carbón recupera perdidas de carbón de la columna final. En el evento el flujo de la solución pobre de lixiviación (SPL) descendente por la zaranda será gravitada para la poza de (SPL) para rehusar nuevamente en las pilas de lixiviación.

Una vez el carbón cargado en la primera columna, la columna será aislada y la solución rica de lixiviación (SRL) será direccionada para la próxima columna en la serie (nueva columna de inicio). El carbón cargado de la columna aislada será transferido hidráulicamente para la columna de lavado ácido en el circuito de desorción. La solución recién terminada de la desorción y el carbón regenerado será transferida a los recipientes de transferencia para la carga de la columna aislada. Luego la columna aislada será configurada como la última columna de serie.

3.2.2. Circuito de Desorción y Regeneración de Carbón (Diagrama de flujo R101-F-002)

Lavado Ácido

La transferencia del carbón cargado de la columna de adsorción inicial será lavado con un 3% de solución de ácido clorhídrico (HCl) en una columna de lavado ácido forrado con caucho para remover sales solubles inorgánicos, carbonatos predominantes, antes de la desorción. Este proceso mejora la desorción de los metales preciosos y la eficiencia de la electrodeposición y reduce la probabilidad de escorificar magnesio de calcio de los poros del carbón durante el proceso de regeneración del carbón.

El carbón lavado con ácido será enjuagado con 4 o 5 volúmenes de lecho de agua fresca y luego transferido hidráulicamente hacia la columna de desorción de acero inoxidable. El gasto del lavado ácido y enjuague de agua será desechado para la poza de solución pobre de lixiviación.

Desorción del carbón

El carbón cargado lavado con ácido será desorcionado en un circuito de desorción a presión Zadra. La solución de desorción contiene 0.5% de cianuro y 2.0% de soda cáustica será bombeado del tanque de solución de desorción en un rango de 3 volúmenes de lecho por hora a través de un intercambiador de calor recuperando y directamente quemado con petróleo en línea la solución en la base del calentador y pasado a la columna de la desorción. La soluciones pobres de la desorción será calentado a 120°C para mejorar la cinética de la desorción. La columna a presión será mantenida a 240 kPa para impedir escurrimiento de la solución a través de la columna. La solución rica de desorción sale por la parte mas alta de la columna fluyendo atrás a través del intercambiador de calor recuperando en las celdas de electrodeposición donde el oro y la plata será electrodepositado en los cátodos de la lana de acero. El electrolito gastado sale de la celda de electrodeposición (solución pobre de desorción) que gravitara atrás en el tanque de solución pobre.

La solución será circulada a través del calentador, columna, intercambiador de calor y celda electrolítica hasta que el contenido de la solución rica de desorción sea menor que 5 mg Au/L.

Regeneración del carbón

Una vez completa de la desorción del carbón. El carbón desorcionado (menos que 100 gr. Au/ton) será hidráulicamente transferido para un secado del carbón en la zaranda ubicado cerca a la tolva alimentadora del horno de regeneración de carbón.

El carbón desorcionado de baja ley será calentado de 650 a 750°C y manteniendo a esta temperatura por 15 minutos en un horno quemado con petróleo. Este proceso volatilizara algunos contaminantes volátiles (orgánicos) y regenerando y restituyendo el carbón. El carbón restituido es descargado a través de una zaranda clasificadora de carbón removiendo algunos carbones finos y los tamaños mayores sobre la zaranda (carbón regenerado pobre) dejaran caer dentro de un recipiente de transferencia. El carbón regenerado luego será transferido hidráulicamente para la próxima descarga de la columna en el circuito de adsorción de carbón.

El carbón fino (de menor tamaño debajo de la zaranda) generado durante los procesos de regeneración será capturado en 2 filtros arena. Estos filtros serán vaciados periódicamente y rellenos con medios filtros frescos. El carbón fino y filtros medio gastados serán depositados apropiadamente.

3.2.3 Reactivos para el Carbón en Columna (CIC) y Servicios (Diagrama de flujo R101- F-003)

Cianuro de Sodio

El cianuro de sodio será entregado en bolsas de volúmenes de una tonelada. Las bolsas de volumen será levantado por izaje de monorriel incluyendo la rotura de bolsas encima del tanque de mezclador de cianuro. El cianuro será mezclado a un 20% W/V con solución con agua fresca y bombeada directamente a las líneas de solución pobre.

Hidróxido de Sodio

El hidróxido de sodio (soda cáustica) será entregado como un liquido 49% W/W NaOH) en volúmenes de recipientes de 1.0 tonelada. La boquilla de descarga del volumen del recipiente será conectado a la succión de la bomba dosificadora vía un acoplamiento de una manguera flexible. La soda cáustica será bombeada directamente al tanque de solución de desorción.

Ácido Clorhídrico

El ácido clorhídrico será entregado en tambores de 200 litros y bombeados en un rango regulado por una línea interna de mezcla. El agua fresca diluye el ácido antes a 3% W/W HCl previo al lavado ácido en la columna.

Carbón Activado

El carbón activado fresco será entregado en volúmenes de 25 Kg. El carbón será adicionado al circuito vía la zaranda de clasificación cerca al recipiente de transferencia del carbón.

Diesel

El petróleo será entregado en tanques cisterna y descargado en un tanque de almacenamiento de 10,000. El petróleo será circulado para calentar la solución al horno de regeneración y horno de fundición vía una tubería anillada troncal continuo.

Fundentes

Los fundentes individuales serán entregados en sacos de 25 Kg. y mezclados como requiere previa a la fundición de los cátodos de lana de acero.

Agua Fresca

Para la propuesta de este estudio ha sido asumida la buena cantidad de agua fresca será disponible para el circuito de desorción y área de reactivos.

Planta de Aire

La planta y sistemas de instrumentación de aire serán suministrados con aire seco limpio a partir de un tornillo de alta presión tipo compresor, refrigerando con aire seco y filtros unidos de alta capacidad. El compresor alimentara a 2 tanques individuales de aire receptores, uno para cada sistema.

3.3 Descripción del Proceso de Resina en Solución

La descripción del proceso de la resina en solución (RIS) facilitara relatar solo para el circuito de adsorción con resina, desorción, electrodeposición, fundición y reactivos asociados y servicios.

3.3.1 Circuito de Adsorción y Desorción con Resina (Diagrama de flujo R101- F-101 y F- 102)

La descripción del proceso de la resina en solución (RIS) facilitara relatar solo para el circuito de adsorción con resina, desorción, electrodeposición, fundición y reactivos asociados y servicios.

Adsorción

La solución rica de lixiviación (SRL) de una típica pila de lixiviación o operaciones de lixiviación en montón contienen valores de metales preciosos (oro y plata) será bombeadas de la poza (SRL) a la parte mas alta de la primera columna (avance) en una serie de cinco (5) columnas de resina con flujo descendente.

La resina será retenida dentro de cada columna a través del flujo de la solución por mallas internas en la parte superior y la base de la columna.

El oro y la plata seria progresivamente extraída de la solución del flujo de la solución rica de lixiviación (SRL) por unas columnas de resinas juntas. La solución pobre de la lixiviación (SPL) saldrá desde la base de la última columna

(cola) de adsorción conteniendo solo trazas de niveles de metales preciosos y será direccionado a una zaranda de seguridad de resina. La zaranda de seguridad de la resina recupera la resina de la última columna en el evento de una zaranda agujereada internamente. La solución pobre de lixiviación (SPL) del flujo descendente por la malla será gravitada en la poza de solución pobre de lixiviación para ser reusada nuevamente en las pilas.

Desorción

Una vez la resina cargada en la primera columna, la columna será aislada y la solución rica de lixiviación direccionada para la próxima columna en la serie (la nueva columna inicial). La columna cargada será reconfigurada en una configuración de flujo ascendente. La resina cargada será limpiada con agua para remover algunas partículas de materiales que puede haber cargado en el lecho de la resina durante el acto de flujo descendente de adsorción.

La solución pobre de la desorción contiene 4% de soda cáustica (NaOH), 7% de benzoato de sodio ($\text{NaC}_7\text{H}_5\text{O}_2$) y 100 mg./L de cianuro de sodio será bombeada a la columna de desorción de resina en un rango de 5 lecho volumétrico (BV) por hora a través de un calentamiento directo, La solución caliente en línea circula por la base de la columna con resina. La solución de desorción será calentado a 60°C antes de inyectar a la columna para mejorar la cinética de desorción. La salida de al solución rica de desorción por la parte mas alta de la columna gravitara a la caja de distribución encima de la celda de electrodeposición. El oro y la plata de la solución rica de la desorción será electrodepositado en los cátodos de la lana de acero.

La salida del electrolito gastado de la celda de electrodeposición (solución pobre de desorción) luego gravitara atrás en el tanque de solución pobre de desorción. La disposición esta en el diagrama de flujo que permite que una porción del flujo de la solución rica de desorción es derivada a la celda de electrodeposición debido al alto flujo estimado de la desorción será también el número de celdas electrolíticas en operación.

La solución de la desorción será circulando a través del caldero, columna y celda electrolítica hasta el contenido de la salida de la solución rica de la columna es menos que 1.5 mg Au/L. Cuando este acontecimiento ocurra en la desorción de la resina es prácticamente completa y la solución de desorción

residual gastado en la columna será bombeada atrás en el tanque de solución despojada para ser usado en los próximos ciclos de desorción. La resina desorcionada contiene menos que 300 gramos de oro por tonelada seca será lavado con agua y reconfigurado la columna como la ultima columna (cola) en el circuito de adsorción.

Regeneración

Periódicamente la resina desorcionada será lavado con ácido clorhídrico diluido (3% w/v HCl) para remover sales inorgánicas solubles con ácido, carbonatos predominantes, que puede precipitarse dentro de la matriz de la resina. Este proceso regenera la resina mejorando la capacidad de carga y la cinética de extracción.

3.3.2 Reactivos de la Resina en Solución (RIS) y Servicios (Diagrama de flujo R101- F-103)

Benzoato de Sodio

El benzoato de sodio será entregado en bolsas de 25 Kg. Las bolsas serian rotas y vaciados en el tanque de preparación por agitación. El benzoato de sodio será mezclado en un 20% w/v de solución con agua fresca y bombeada directamente para el tanque de solución de desorción.

Cianuro de Sodio

El cianuro de sodio será entregado en bolsas de volúmenes de una tonelada. Las bolsas de volumen será levantado por izaje de monorriel incluyendo las rotura de bolsas encima del tanque mezclador de cianuro. El cianuro seria mezclado en el 20% W/V con agua fresca y bombeada directamente al tanque de solución de desorción.

Hidróxido de Sodio

El hidróxido de sodio (soda cáustica) será entregado como liquido (49% WW NaOH) en volúmenes de recipientes de 1.0 toneladas. La boquilla de descarga del volumen del recipiente será conectado a la línea de succión de la bomba dosificadora vía un acoplamiento de una manguera flexible. La soda cáustica será bombeada directamente al tanque de solución de desorción.

Ácido Clorhídrico

El ácido clorhídrico será entregado en tambores de 200 litros y bombeados en un rango regulado por una línea interna de mezcla. Agua fresca diluye al ácido a 3% w/w HCl para el lavado ácido en la columna.

Resina

La resina fresca será entregada en tambores de 140 litros y será adicionado a cada columna de adsorción como requiere.

Diesel

El petróleo será entregado en tanques cisterna y descargado en un tanque de almacenamiento de 10,000. El petróleo será circulado para calentar la solución y horno de fundición vía una troncal continuo de tubería anillada.

Fundentes

Fundentes individuales será entregado en sacos de 25 Kg. Y mezclados como requiere previa fundición de los cátodos de lana de acero.

Agua Fresca

Para la propuesta de este estudio ha sido suponiendo la buena cantidad de agua fresca disponible para el circuito de desorción y área de reactivo.

Planta de Aire

La planta y sistemas de instrumentación de aire serán suministrados con aire seco limpio a partir de un tornillo de alta presión tipo compresor, refrigerando con aire seco y filtros unidos de alta capacidad. El compresor alimentara a 2 tanques individuales de aire receptores, uno para cada sistema.

Figura 3.1

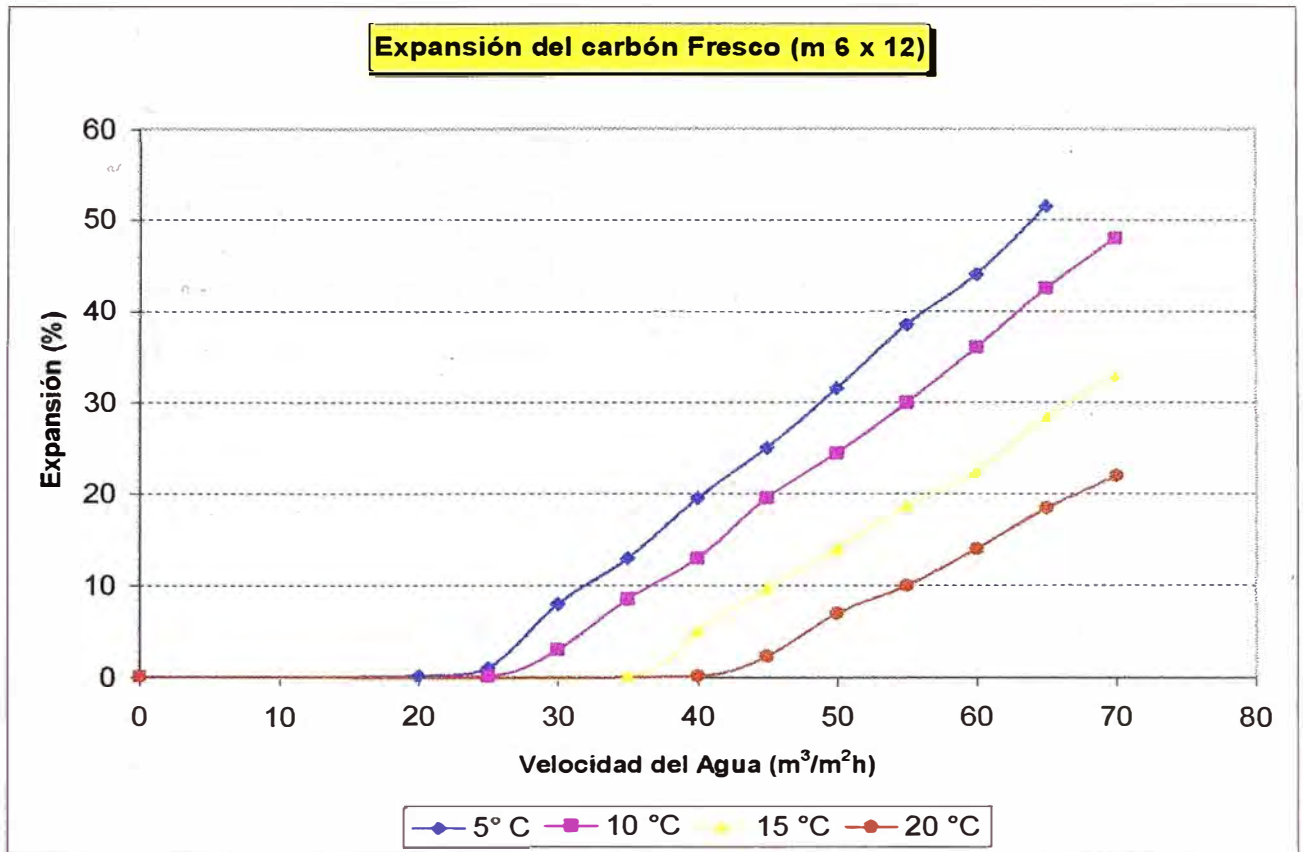
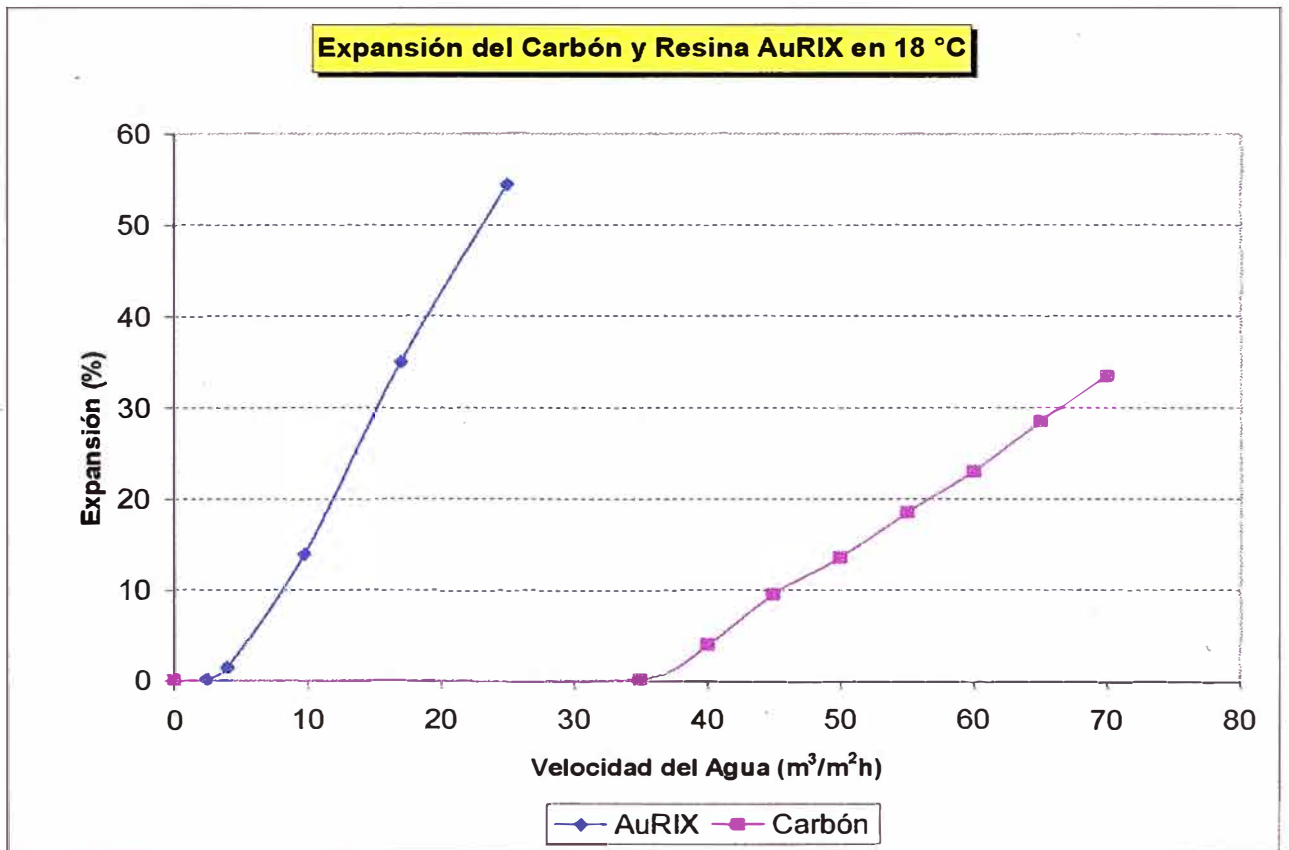


Figura 3.1



CAPITULO IV

ANALISIS ECONOMICO COMPARATIVO PARA EL CIC / RIS

4.1 COSTO de CAPITAL ESTIMADO

4.1.1 Introducción.

El propósito de los costos capital estimado es proveer costos considerables que puede ser usado para calcular la economía relativa de una resina en solución (RIS) fácilmente sobre la operación convencional del carbón den columna (CIC).

El costo capital ha sido estimado para dos circuitos diseñados como esta resumido:

CASO 1: Un circuito diseñado de carbón en columna (CIC) para recuperar 50,000 onzas de oro por año desde un flujo alto (400 m³/hora), ley baja (0.5 mg Au/L) de solución rica de lixiviación, generado de una operación de lixiviación en pilas de leyes bajas.

CASO 2: Un circuito diseñado de resina en solución (RIS) para recuperar 50,000 onzas de oro por año desde un flujo alto (400 m³/hora), ley baja (0.5 mg Au/L) de solución rica de lixiviación, generado de una operación de lixiviación en pilas de leyes bajas.

El costo capital estimado para cada caso es presentado en US\$ dólares como en los cuatro primeros trimestres del año con una exactitud de +/- 25%.

4.1.2 Resumen del Costo Capital Estimado

Un resumen del capital estimado para cada circuito diseñado esta presentado en la tabla 4.1.

Tabla 4.1**RESUMEN DEL COSTO CAPITAL ESTIMADO (+/- 25%, US\$)**

Centro de Costos	Carbón en Columna	Resina en Solución
	Caso 1 US\$	Caso 2 US\$
Costo Directos		
Adsorción	317,000	323,000
Desorción/Área de Fundición	629,000	410,000
Regeneración	302,000	0
Reactivos/Servicios	379,000	319,000
TOTAL - COSTOS DIRECTOS	1,627,000	1,052,000
Costos Indirectos		
Servicio Ingeniería, adquisición y Construcción	250,000	250,000
Costos de Preproducción	71,000	68,000
Primer Llenado	182,000	548,000
Capital de Trabajo	244,000	165,000
Sobrantes	45,000	30,000
Seguros	8,000	5,000
TOTAL - COSTO INDIRECTO	800,000	1,066,000
Contingencias	238,000	173,000
COSTO TOTAL	2,665,000	2,291,000

4.1.3 Bases y Calificaciones Estimadas.

Las bases estimadas han sido preparadas sobre lo siguiente:

- Por disciplina para áreas mayores de la planta (adsorción, desorción, área de fundición, regeneración, reactivos y servicios etc.)
- Por análisis individual del contenido de trabajo (movimiento de tierra, concreto, estructuras de acero, plataformas, etc.)
- Estimación de factores usando costos conocidos de proyectos anteriores (trabajo de tuberías de planta y electricidad).

- Costos para el abastecimiento, fabricación y montaje de tanques, plataforma, estructura de acero y tuberías fue manejado de rangos desarrollados de datos de estudios previos.
- Precios nuevos de equipos ha sido usado para todo los ítems de equipos.

4.1.3.1 Costos Directos

Los costos capital de cada área fue analizada usando el siguiente métodos básico de cálculo.

Concreto

Cantidad: Proyectos anteriores en operación actual, cantidades levantadas.

Ratios unitarios: Basado en la labor de proyectos de operación actual, material y ratios de equipos.

Estructura de acero

Cantidad: Proyectos anteriores en operación actual, cantidades levantadas.

Ratios unitarios: Basados en operación actual, ratios obtenidos de los proyectos para la estructura de fierro, rejilla, baranda, planchas, etc.

Trabajos con Plancha de Fierro

Cantidad: Proyectos anteriores, cantidades levantadas.

Ratios unitarios: Basados en operación actual, ratios obtenidos de los proyectos para tolvas de acero con fierro dulce, canaletas, tanques, fierro, tratamiento de superficie, etc.

Equipos

Todos los equipos principales han sido dimensionados y precio de remolque de datos recientes de abastecedores de equipo.

Gasfiteria

Procesos / Servicios: Abastecimiento y componentes de instalación fue factor de costo de proyectos históricos.

Transporte

Incluye transporte preembarque y transporte de carretera.

Cantidad: Análisis de operaciones actuales de requerimientos de carga anticipado.

Ratios: Los costos son basados en datos de operaciones actuales.

Montaje e Instalación

Ratios: Los ratios de cada hora usado por los costos de labor de instalación son basados en datos recientes de operaciones y contratista importante. La construcción de equipos será hecho por concesión y costo de derecho de grúa.

Empresas de Servicio

La concesión esta basada en datos estadísticos para ingenieros. Los costos de construcción esta basada en un bajo nivel de horas supervisadas en el sitio con una asignación apropiada para tarifas aéreas, alojamiento y otros gastos. Los servicios han sido estimados en US\$ 250,000 en todo los casos. Aunque el circuito diseñado del CIC es más complejo que el circuito diseñado de RIS, los ingenieros pueden contar con los diseños previos para minimizar la cantidad de detalles requeridos en dibujos e ingeniería. El diseño del circuito RIS necesitara ser desarrollado de los primeros principios.

4.1.3.2 Propietario de los Costos

Los propietarios de los costos de cada área fueron valorizando, usando los siguientes métodos básicos de cálculo.

Costos de preproducción y Capital de trabajo operacional

Los costos de preproducción para reflejar la operación:

- Personal para construcciones anterior a comisiones.
- Costos de Administración anterior a comisiones.
- Costos de entrenamiento anterior a comisiones.
- Primer llenado de reactivos, lubricantes y almacenes de reactivos iniciales.
- Capital de trabajo para 3 meses de operaciones.

Para el propósito de este estudio, todo el costo incurrido arriba pero excluyendo comisión de planta será costo de preproducción para ser capitalizado como parte de la construcción. El capital de trabajo será consumido durante el comisionado y durante las operaciones iniciales

hasta alcanzar un beneficio operacional. El capital de trabajo es recuperado al final de la vida del proyecto.

Un resumen del costo de preproducción operacional, primeros costos detallado de reactivos y el capital de trabajo requerido es proveído en la tabla 4.2.

Tabla 4.2

RESUMEN DEL COSTO DE PREPRODUCCION - OPERACIONES

Centro de Costos	Carbón en Columna	Resina en Solución
	Caso 1 US\$	Caso 2 US\$
Mano de Obra de la Preproducción	34,000	30,000
Administración de la Preproducción	38,000	38,000
Reactivos del Primer Llenado	182,000	548,000
TOTAL - (US\$/a)	254,000	616,000
Capital de Trabajo	244,000	165,000
TOTAL	498,000	781,000

Repuestos.

Una concesión a sido contratado para abastecer un año de repuestos operacionales, no con proveedores comisionados para repuestos. Los costos adicionales han sido asignados para disponer en el seguro.

Ambas concesiones fue calculada de la base de datos de operaciones actuales y abastecimiento de información por vendedores de equipos.

Proyecto de Seguros

Los costos del proyecto de seguro a sido asignado en 0.5% de los costos directos.

4.1.3.3 Clasificación y Exclusiones

No permitirá a ser incluido en la valorización de:

- Capital de minería
- Construcción de pozas y pilas de lixiviación.

- Capital para chancado de mineral y áreas de almacenamiento
- Escalamiento dentro del costo total del proyecto.
- Obligaciones importantes e impuestos especiales.
- Costos de financiación.
- Construcción de plataformas de lixiviación y pozas.
- Adquisiciones de tierras, permisos gubernamentales o aprovisiones especiales.
- Abastecimiento de energía y agua.
- Regalías y derechos de licencia.
- Costos de exploración.
- Costos de los equipos de propiedad.
- Costos bajos de propiedad.
- Arrendamiento de minería y plan de medio ambiente.
- Costos de compensación del propietario de tierra.
- Consultas especiales.
- Pruebas de cumplimiento de la planta.
-

Contingencia

El propósito de contingencia es para hacer abastecimiento específico para elementos inciertos de costos dentro del proyecto potencial y de esto modo reduce el riesgo de correr sobre costo para predeterminedar un nivel aceptable.

La contingencia no permite incluir para potenciar cambios, escalamientos o fluctuación de ratios de intercambio.

Tener afuera una valorización de contingencias probable y tener incluido una provisión de 10% en el costo capital.

El presupuesto ha sido presentado en US\$ dólares. El siguiente ratio de cambio puede ser usado para los costos de capital estimado.

$$\mathbf{US\$ 1.00 = S/ 3.30}$$

4.2 COSTO DE OPERACIÓN ESTIMADO

4.2.1 Bases Estimadas

El costo estimado presentado en esta sección son basados en costo de operación para los circuitos de adsorción, desorción, regeneración, área de fundición y reactivos o servicios asociados con cada uno de los cuatro circuitos diseñados y ha sido basado en detalles proporcionados por:

- Plantas en operaciones actuales
- Resultados de pruebas metalúrgicas.
- Recomendación de proveedores y cotizaciones
- Proyectos anteriores de carbón en columna (CIC)

Donde los detalles no fueron obtenidos de las fuentes mencionadas arriba estos han sido calculados de fundamentos principales basados en la experiencia de profesionales del manejo de operaciones del carbón en columna.

Los siguientes resúmenes básicos del diseño para los 2 circuitos diseñados en cual los costos de operaciones estimado son basados:

CASO 1: Un circuito diseñado de carbón en columna (CIC) para recuperar 50,000 onzas de oro por año desde un flujo alto (400 m³/hora), ley baja (0.5 mg Au/L) de solución rica de lixiviación, generado de una operación de lixiviación en pilas de leyes bajas.

CASO 2: Un circuito diseñado de resina en solución (RIS) para recuperar 50,000 onzas de oro por año desde un flujo alto (400 m³/hora), ley baja (0.5 mg Au/L) de solución rica de lixiviación, generado de una operación de lixiviación en pilas de leyes bajas.

Los costos de operación para cada opción son presentados en dólares US\$ y ha sido estimado para una precisión de +/- 25 %.

Los costos son presentados en dos niveles detallados en este capítulo con datos detrás en el anexo para esta tesis (Anexo 4). El costo de operación estimado para

los dos circuitos diseñados está resumido en el subtítulo 4.2.2 con un análisis de cada centro de costos proveídos en la siguiente sección.

4.2.2 Resumen del Costo de Operación

Un resumen del costo de operaciones anticipado para cada centro de costos es presentado en la tabla 4.3.

Tabla 4.3

RESUMEN DEL COSTO DE OPERACIONES ESTIMADO (25%, US\$)

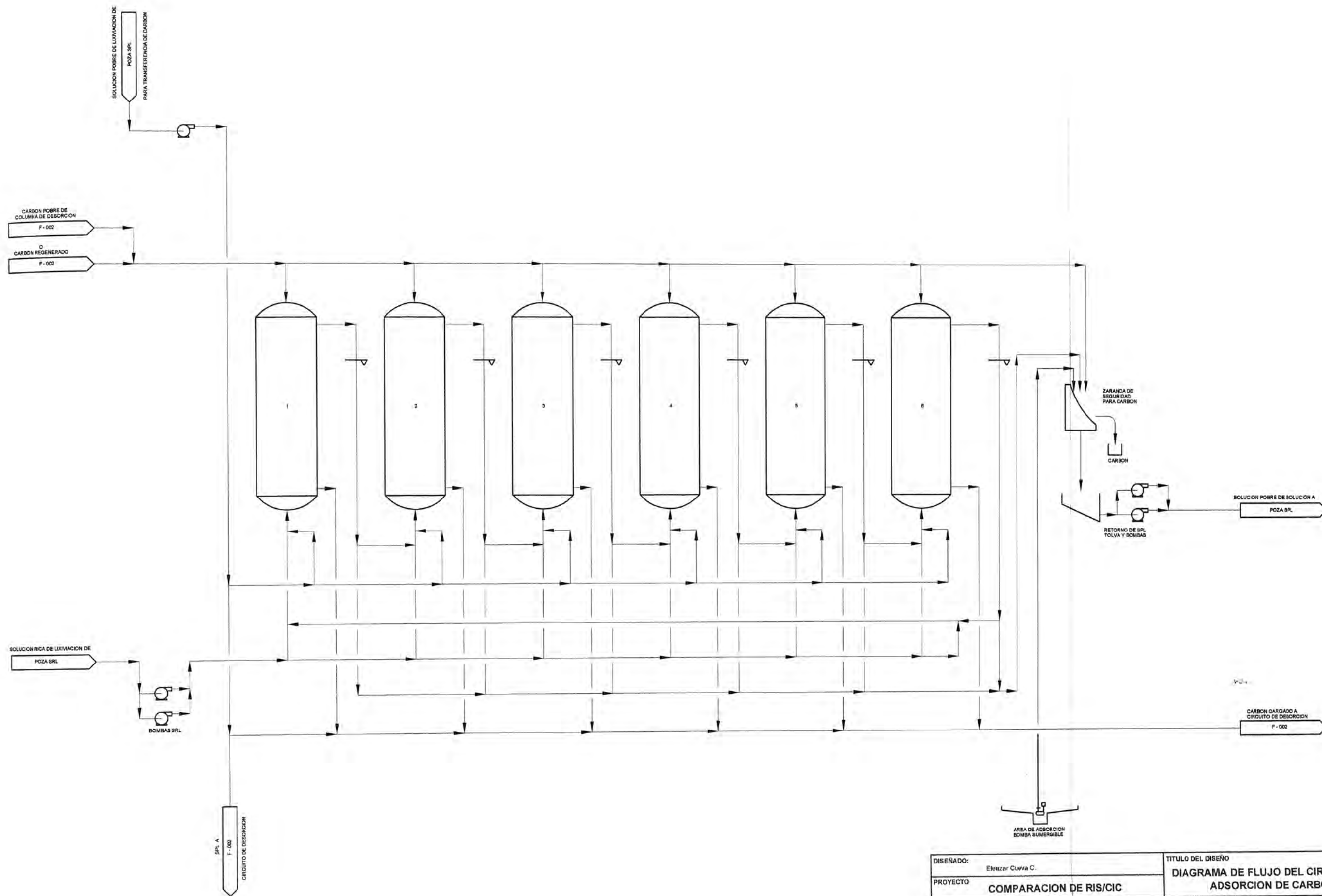
Centro de Costos	Carbón en Columna	Resina en Solución
	Caso 1 US\$	Caso 1 US\$
Operaciones Consumibles	330,926	133,953
Mantenimiento	129,240	77,320
Mano de Obra	343,125	290,625
Energía	173,467	157,554
TOTAL - (US\$/año)	976,758	659,452
TOTAL - (US\$/onza de oro)	19.54	13.19

Calificaciones:

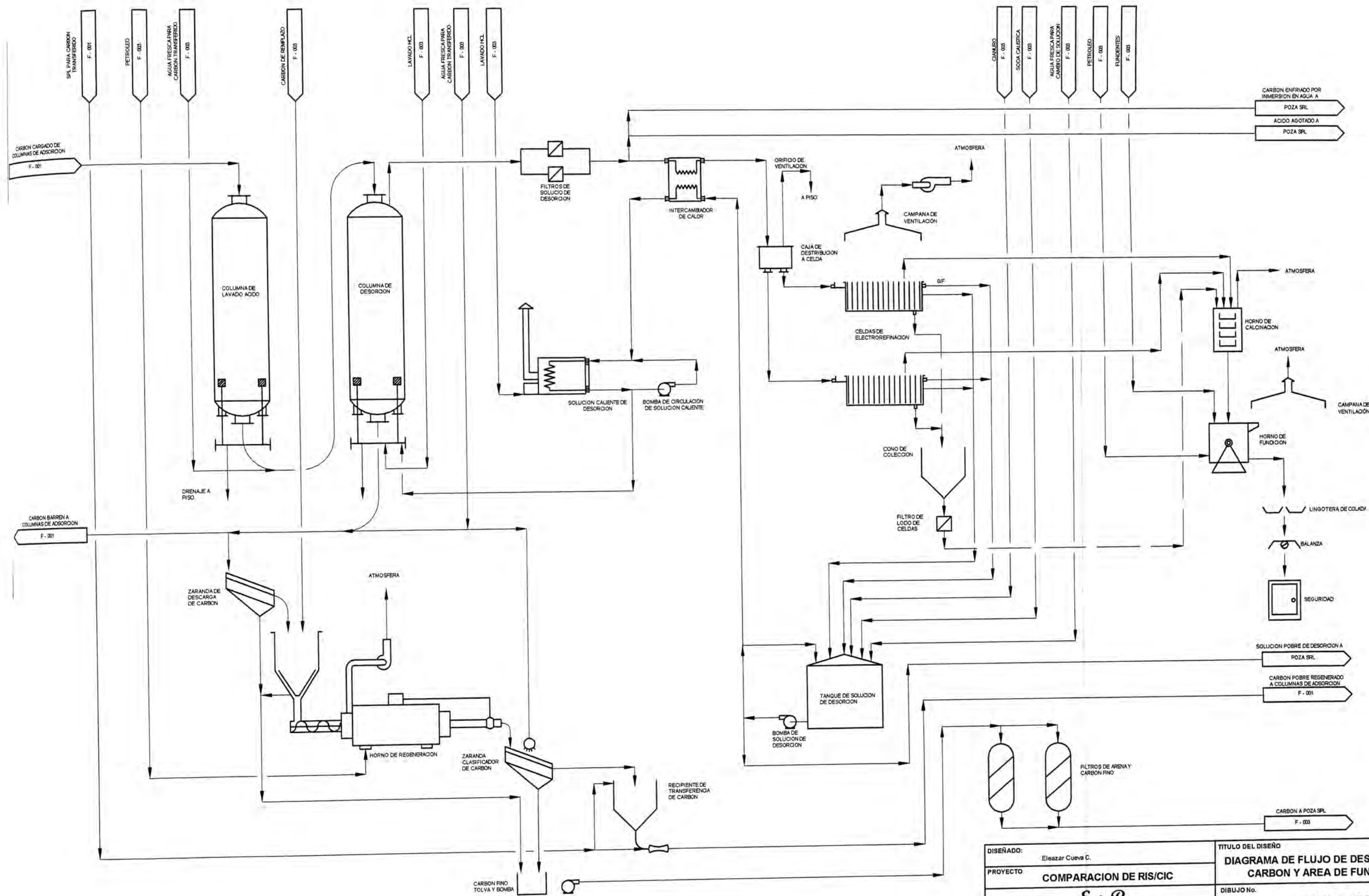
Los costos de operaciones de los circuitos de adsorción, desorción, regeneración, área de fundición y reactivos asociados o servicios han sido estimados para una aproximación de +/- 25% basados en los resultados de las pruebas metalúrgicas de resina preliminares. Para el siguiente estudio los datos fueron basados en circuitos de carbón en columna (CIC) y conocimiento del intercambiador iónico.

El presupuesto estimado es exclusivo de los costos frecuentes:

- Minería y acarreo de mineral para la planta.
- Chancado y alimentación (apilamiento) de mineral en las pilas.
- Circulación de la solución dentro de las pilas.



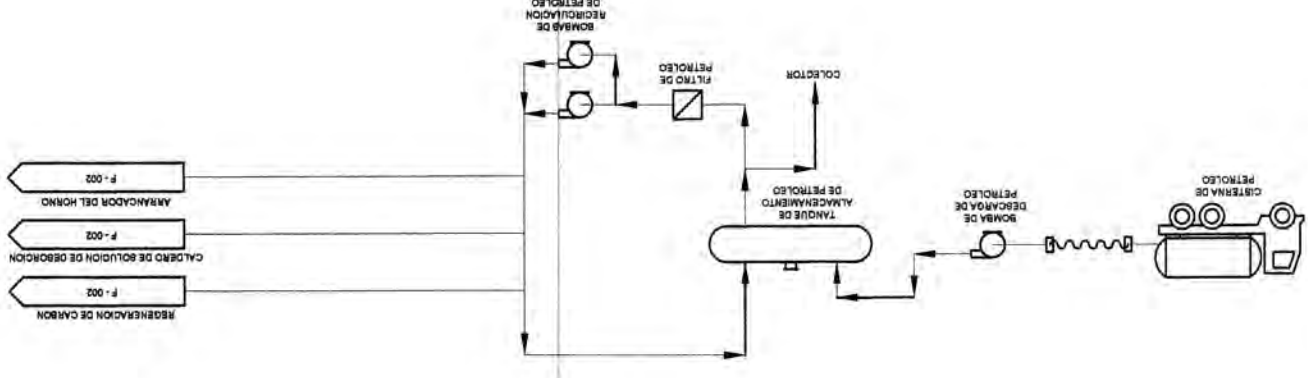
DISEÑO: Etezar Cueva C.		TITULO DEL DISEÑO	
PROYECTO		DIAGRAMA DE FLUJO DEL CIRCUITO DE ADSORCION DE CARBON	
E & R ENGINEERING MINING & METALLURGICAL CONSULTANTS		DIBUJO No.	REV
		R101-F-001	A



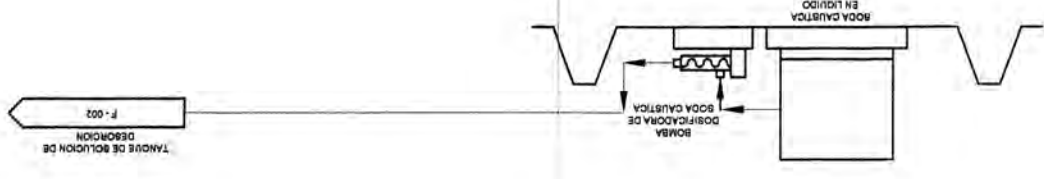
DISEÑADO: Eleazar Cueva C.	TÍTULO DEL DISEÑO DIAGRAMA DE FLUJO DE DESORCIÓN DE CARBÓN Y AREA DE FUNCIÓN
PROYECTO COMPARACION DE RIS/CIC	DIBUJO No. R101-F-002
E & R ENGINEERING MINING & METALLURGICAL CONSULTANTS	REV A

REVISION	R101-F-003	ENGINEERING MINING & METALLURGICAL CONSULTANTS
DIBUJO No.		E a R
PROYECTO:	COMPARACION DE RIS/CIC	
DISEÑADO:	Eliazar Cuervo C.	
TITULO DEL DISEÑO:	DIAGRAMA DE FLUJO DE CARBON EN COLUMNA - SERVICIOS & REACTIVOS	

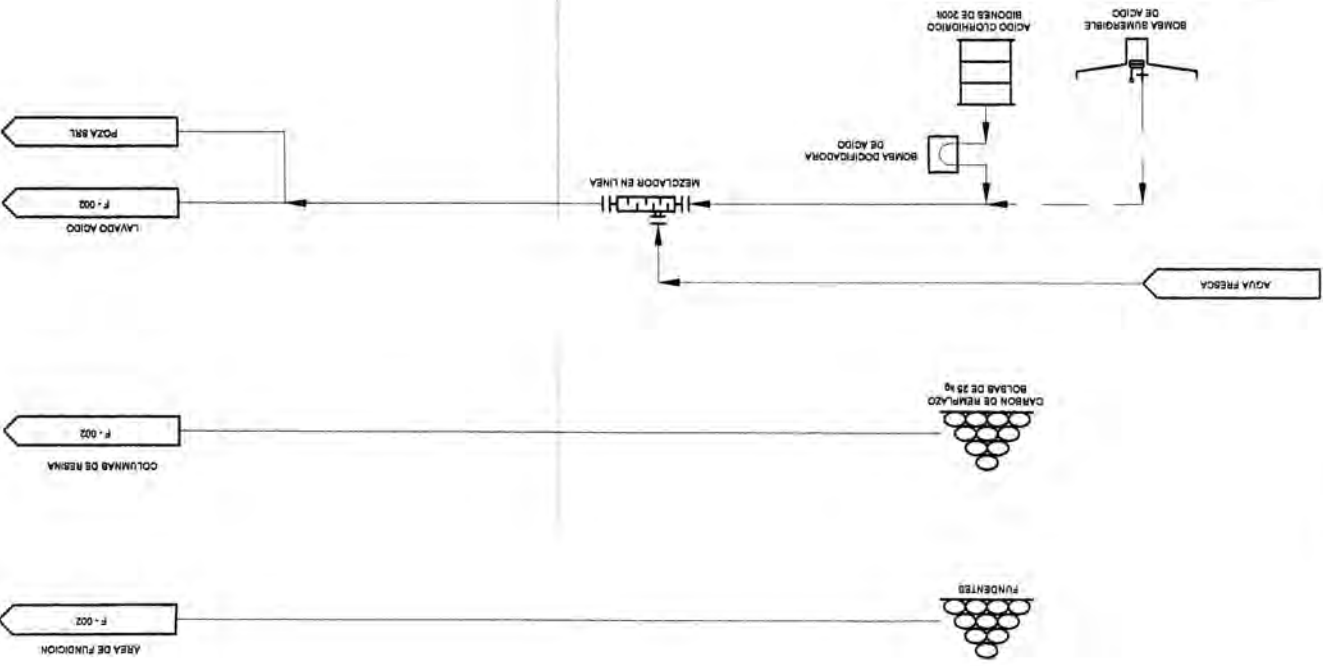
PETROLEO



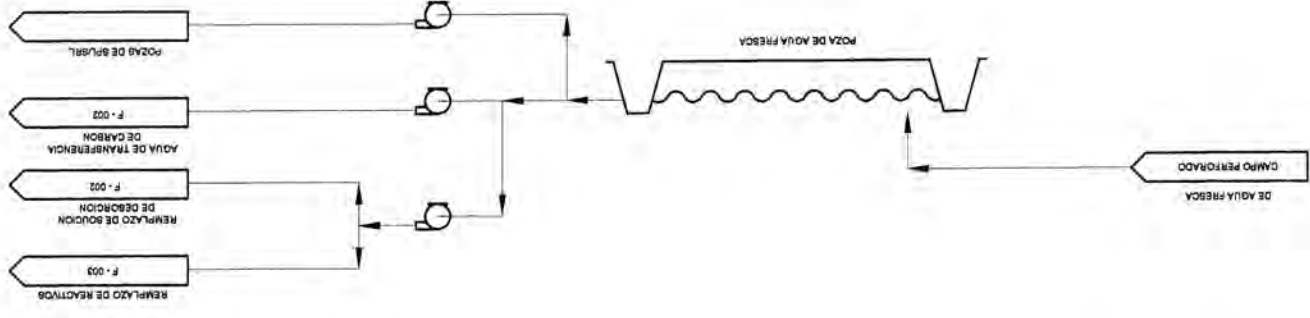
SODA CAUSTICA



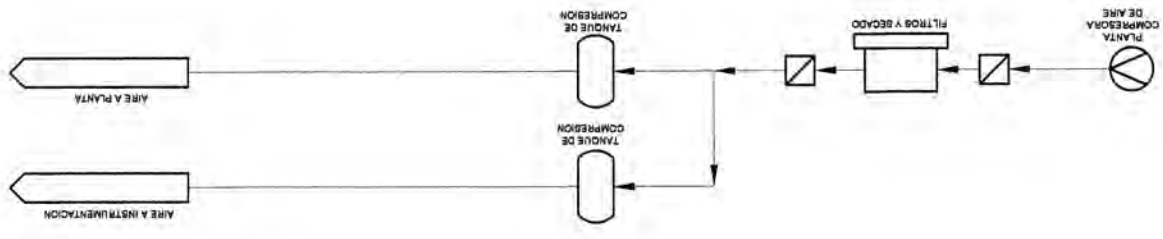
VARIOS REACTIVOS



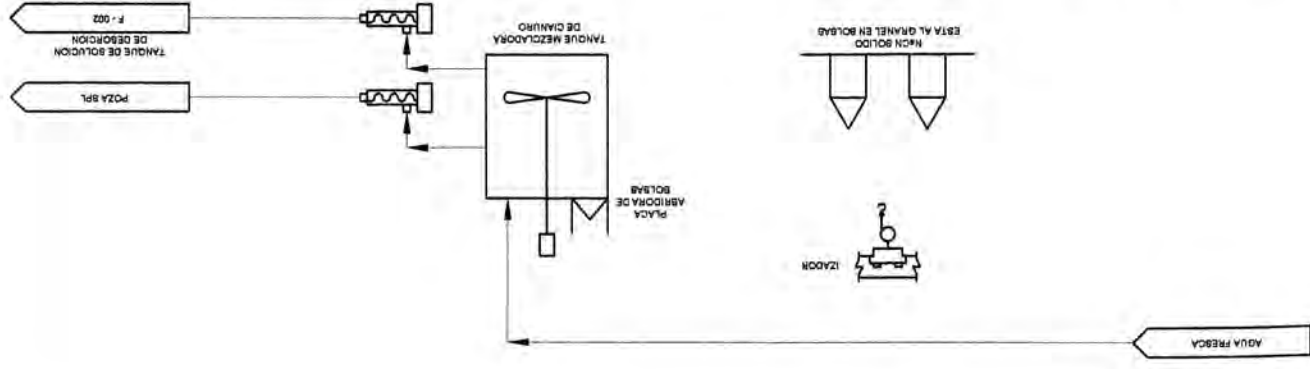
AGUA FRESCA

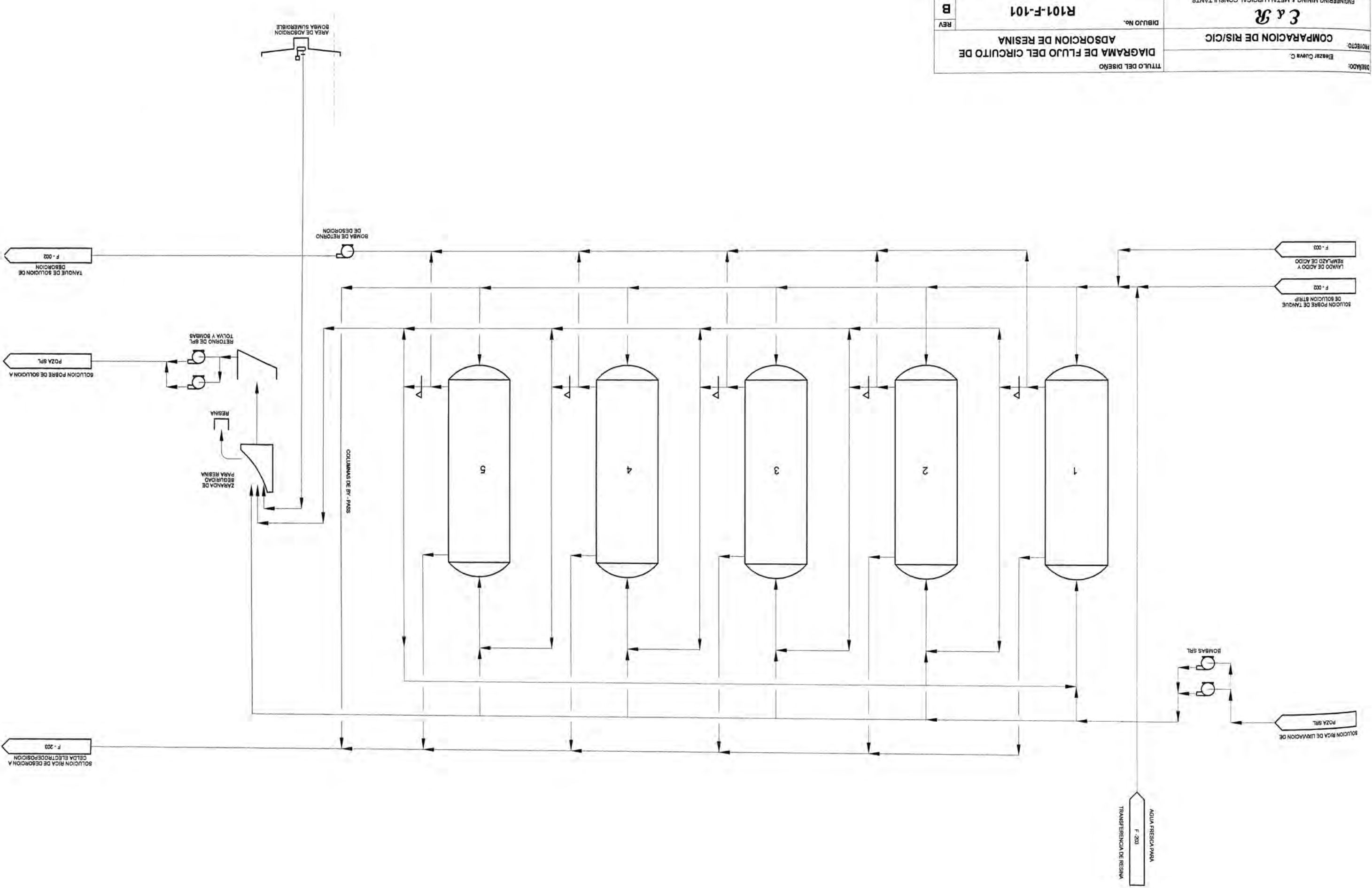


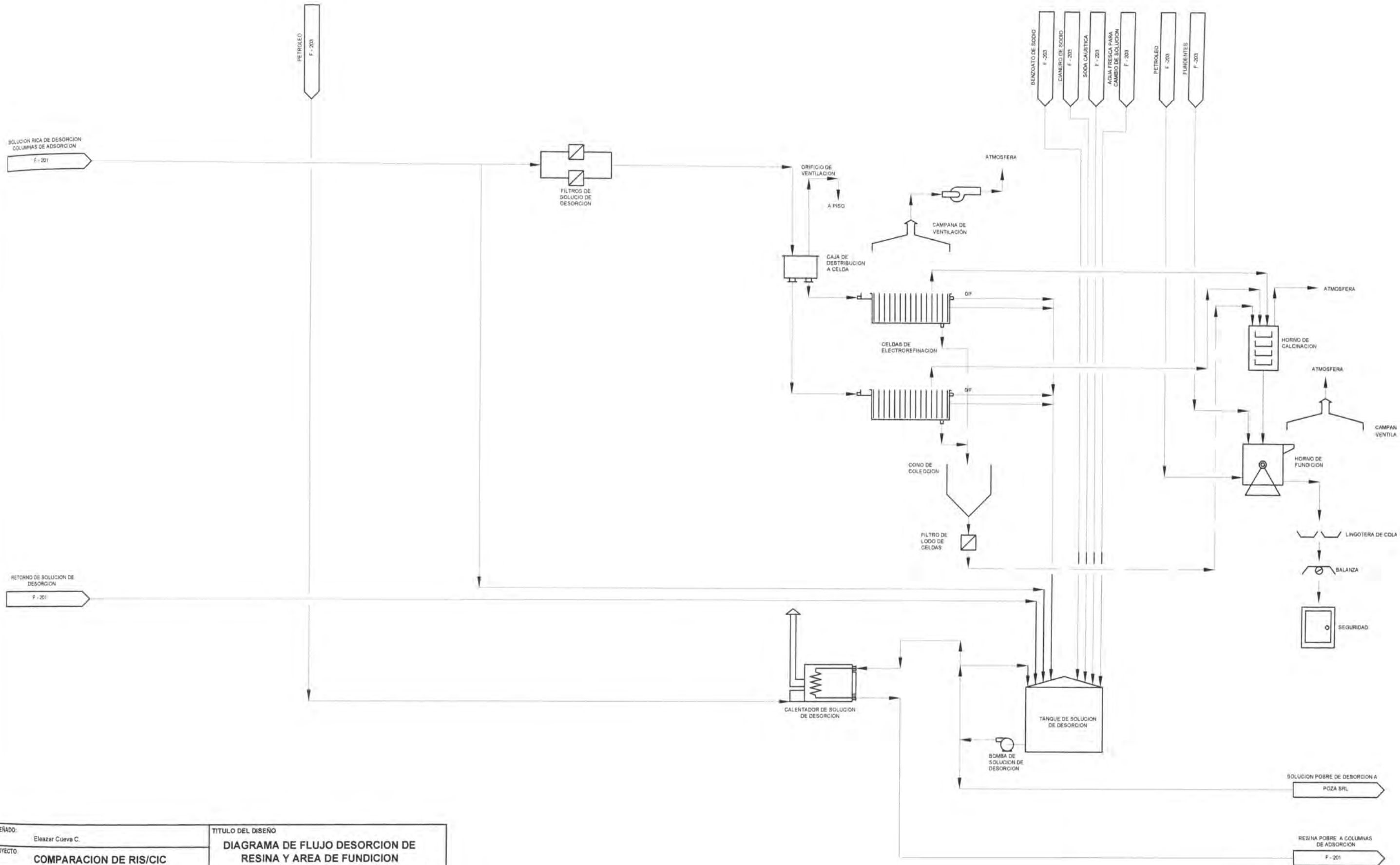
SERVICIOS DE AIRE



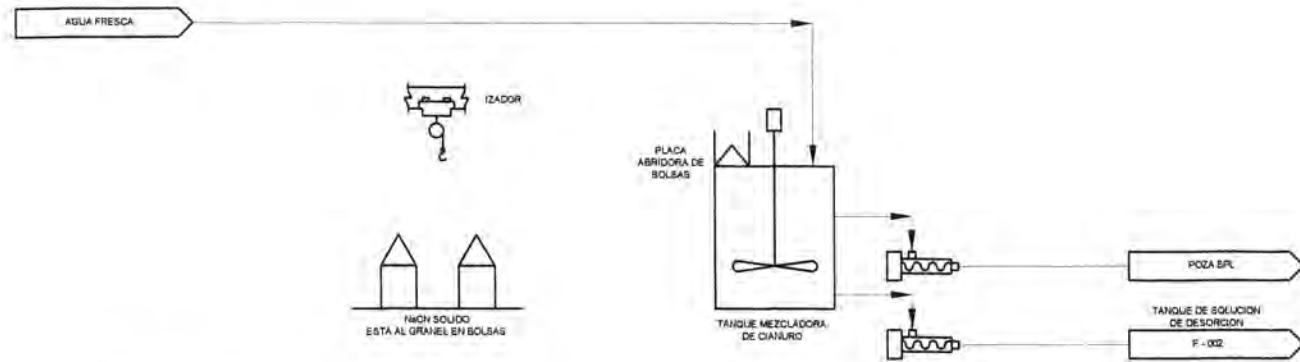
CIANURO DE SODIO



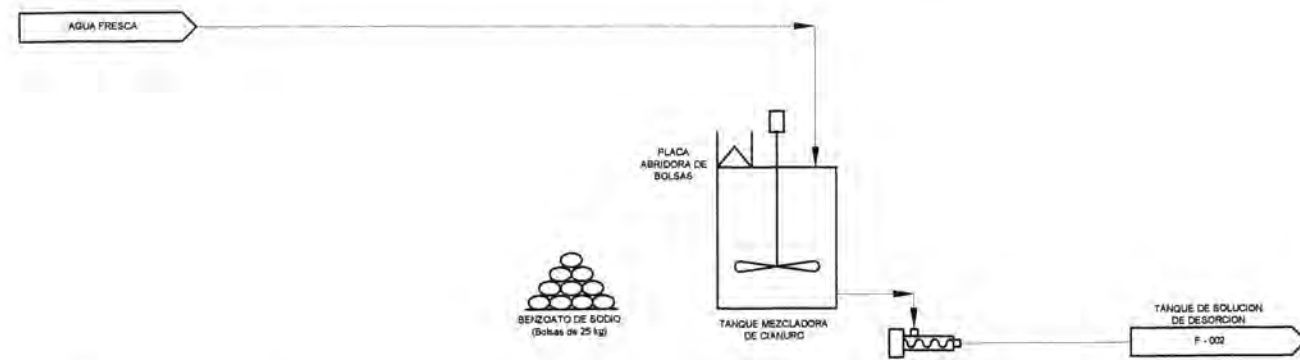




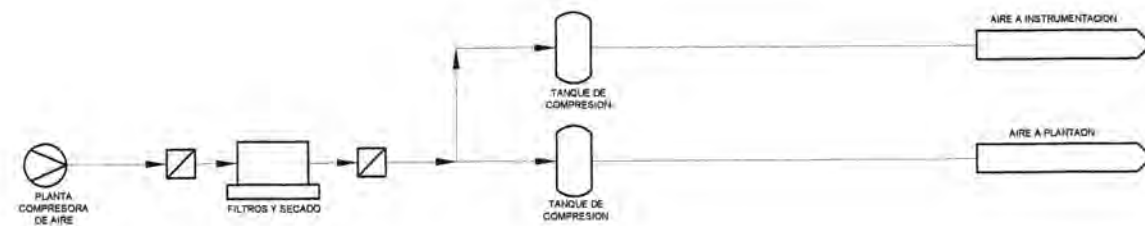
DISEÑADO: Eleazar Cueva C.	TITULO DEL DISEÑO DIAGRAMA DE FLUJO DESORCIÓN DE RESINA Y AREA DE FUNDICIÓN	
PROYECTO COMPARACION DE RIS/CIC	DIBUJO No. R101-F-102	REV B



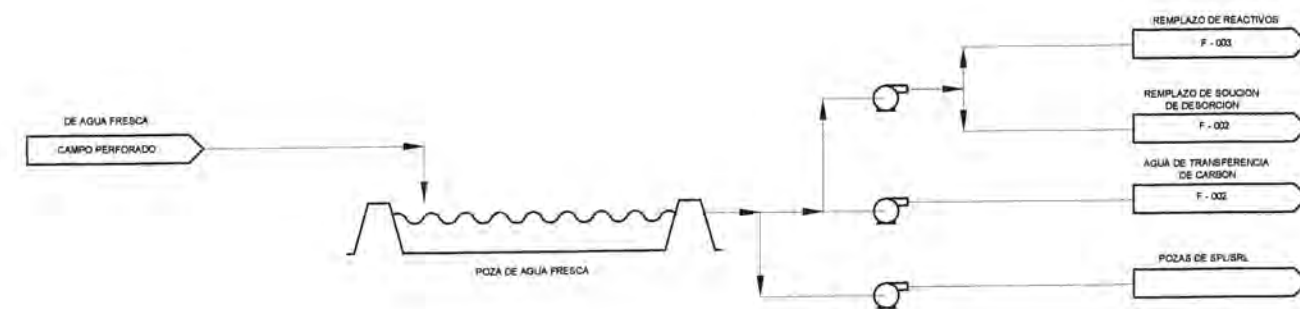
CIANURO DE SODIO



BENZOATO DE SODIO



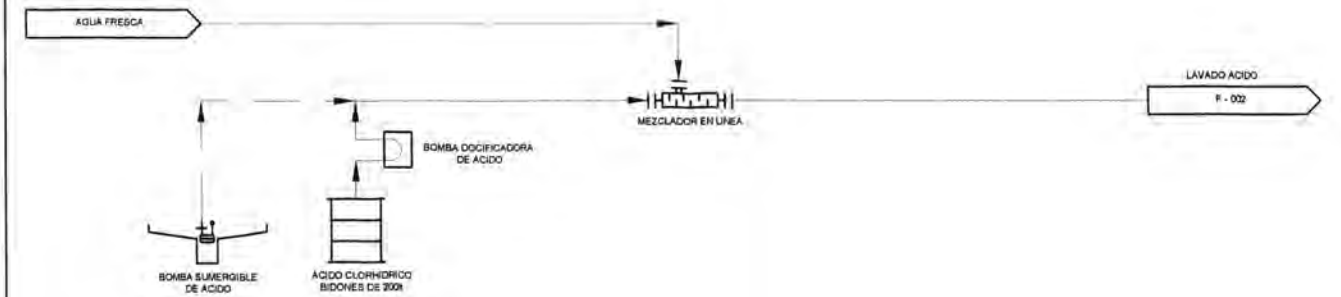
SERVICIOS DE AIRE



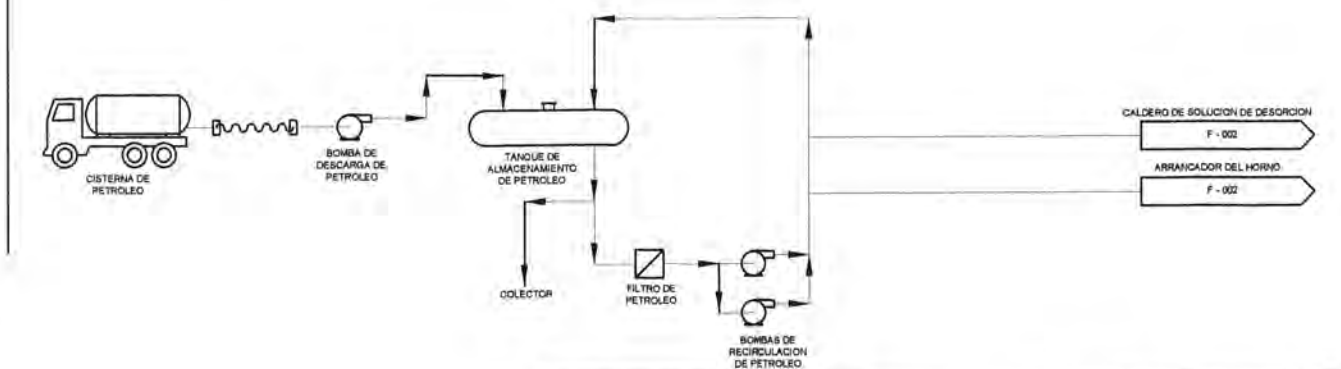
AGUA FRESCA



VARIOS REACTIVOS



SODA CAUSTICA

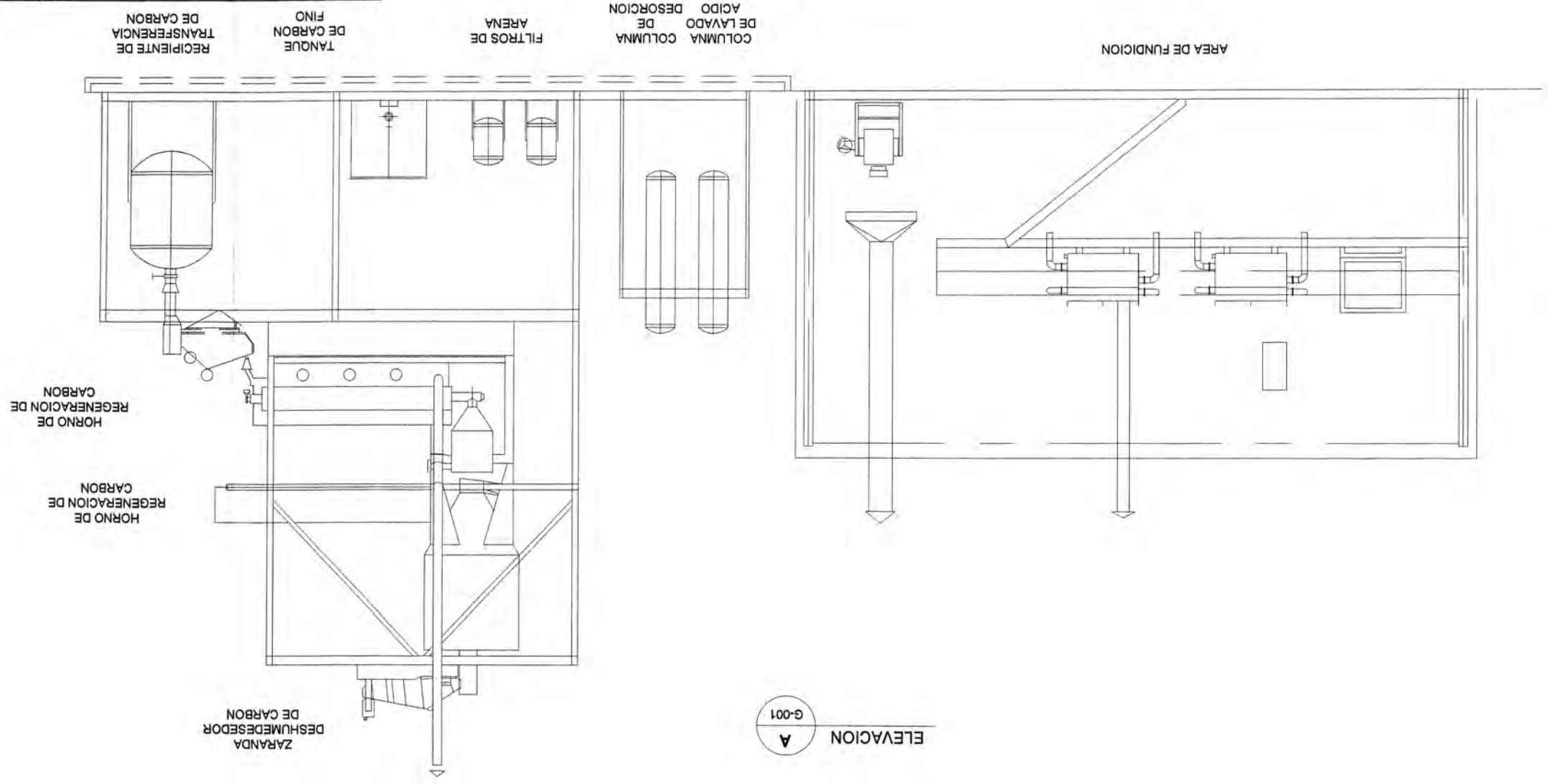


PETROLEO

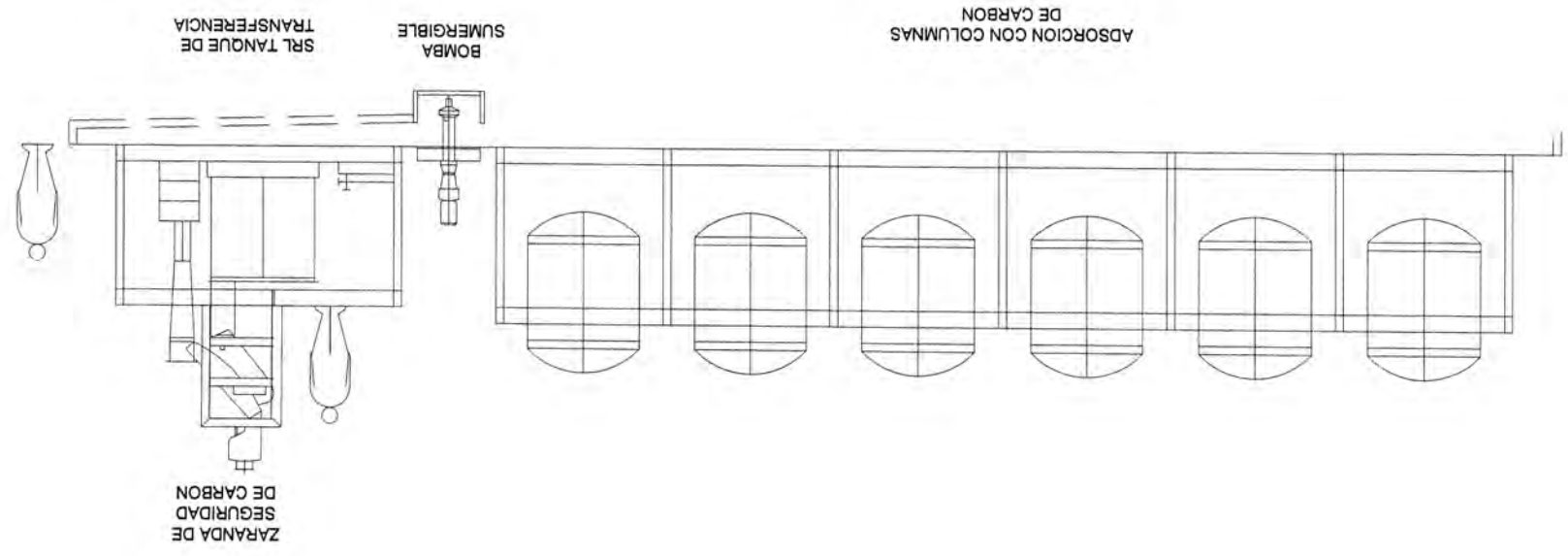
DISEÑO: Eteazar Cueva C.	TITULO DEL DISEÑO DIAGRAMA DE FLUJO DE RESINA EN SOLUCION - SERVICIOS & REACTIVOS	
PROYECTO: COMPARACION DE RIS/CIC	DIBUJO No. R101-F-103	REV A
E & R ENGINEERING MINING & METALLURGICAL CONSULTANTS		

REV	A	101-G-002	ENGINEERING MINING & METALLURGICAL CONSULTANTS
DIBUJO No.			EA R
TITULO DEL DISEÑO	COMPARACION DE RIS/CIC		
PROYECTO	ELEVACION DE ARREGLO GENERAL		
DISEÑADO:	Elezar Cueva C.		

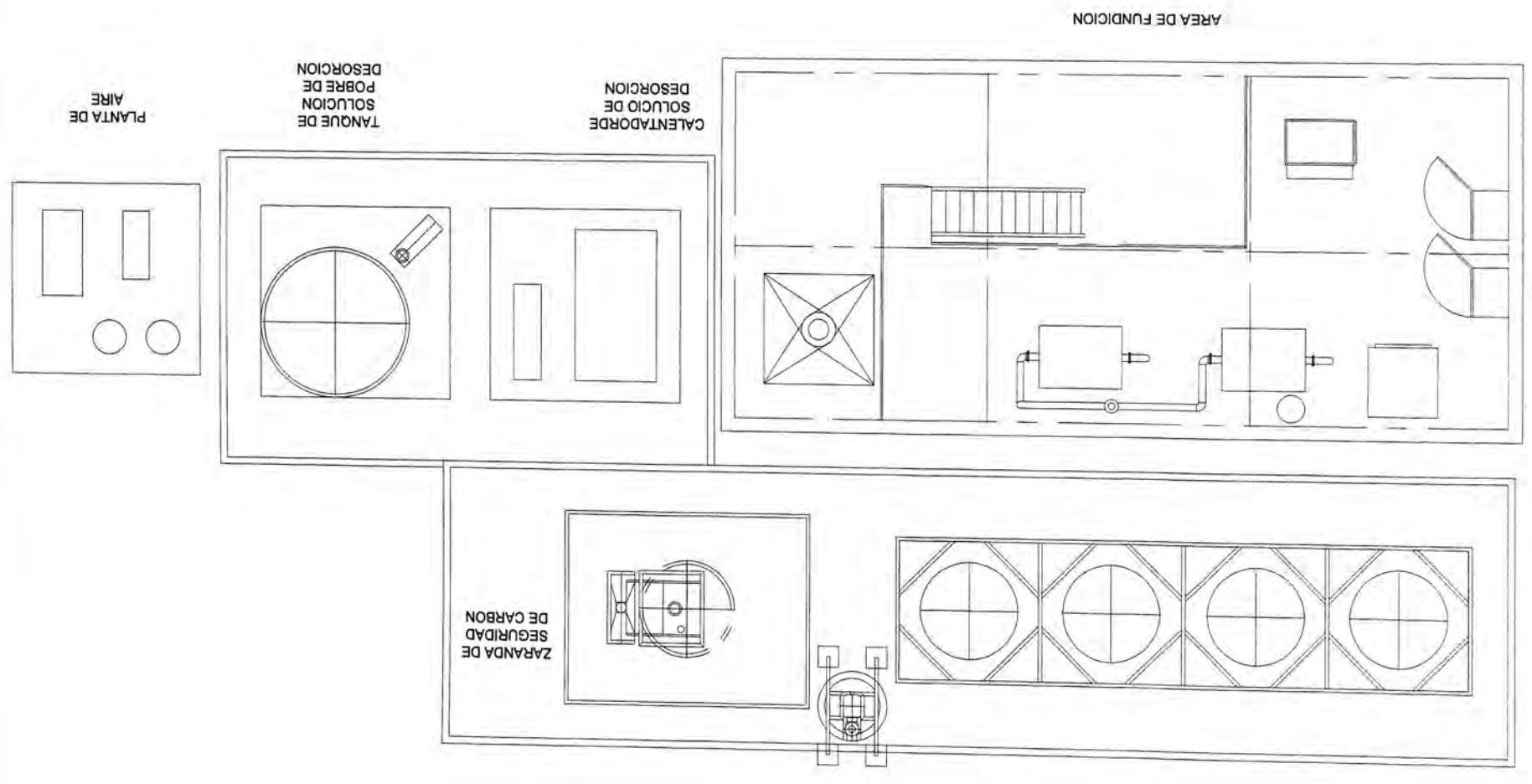
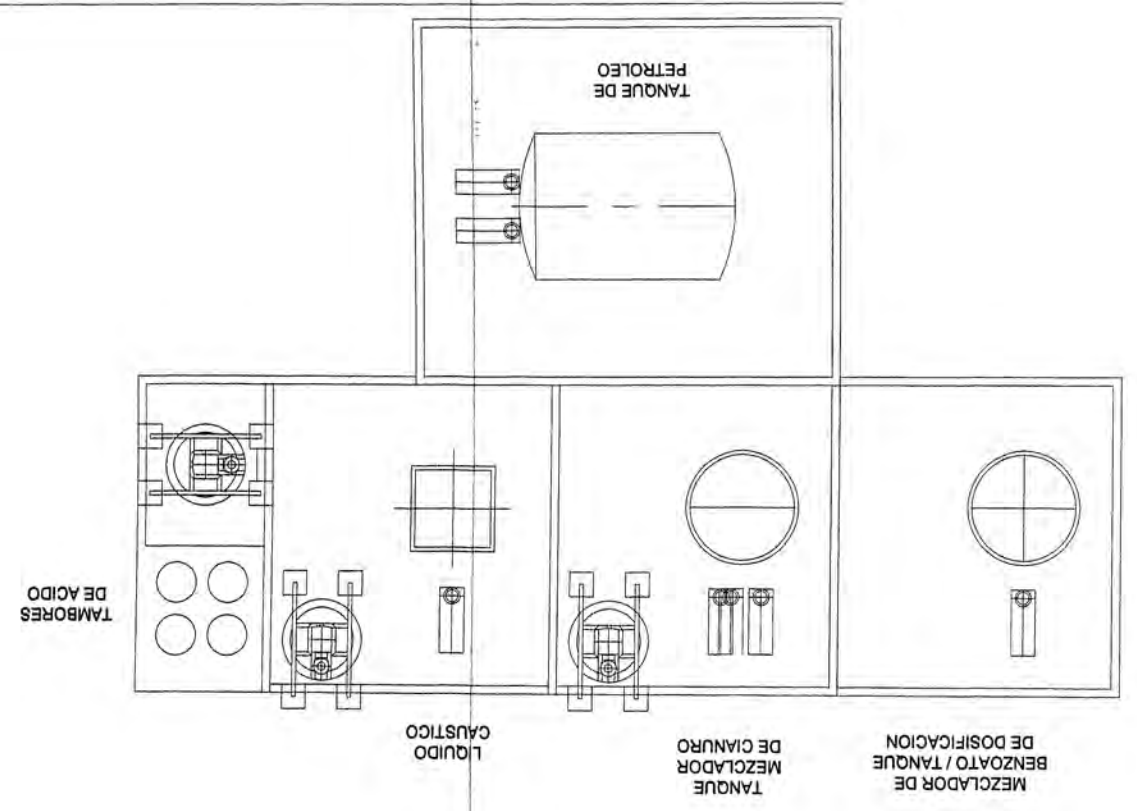
B ELEVACION G-001



A ELEVACION G-001



PROYECTO:	COMPARACION DE RIS/CIC	ENGINEERING MINING & METALLURGICAL CONSULTANTS
DESARROLLADO:	Eliazar Cuervo C.	E & R
TITULO DEL DISEÑO:	RESINA EN SOLUCION PLANO DE ARREGLO GENERAL	DIBUJO No. 101-G-101
REV	A	



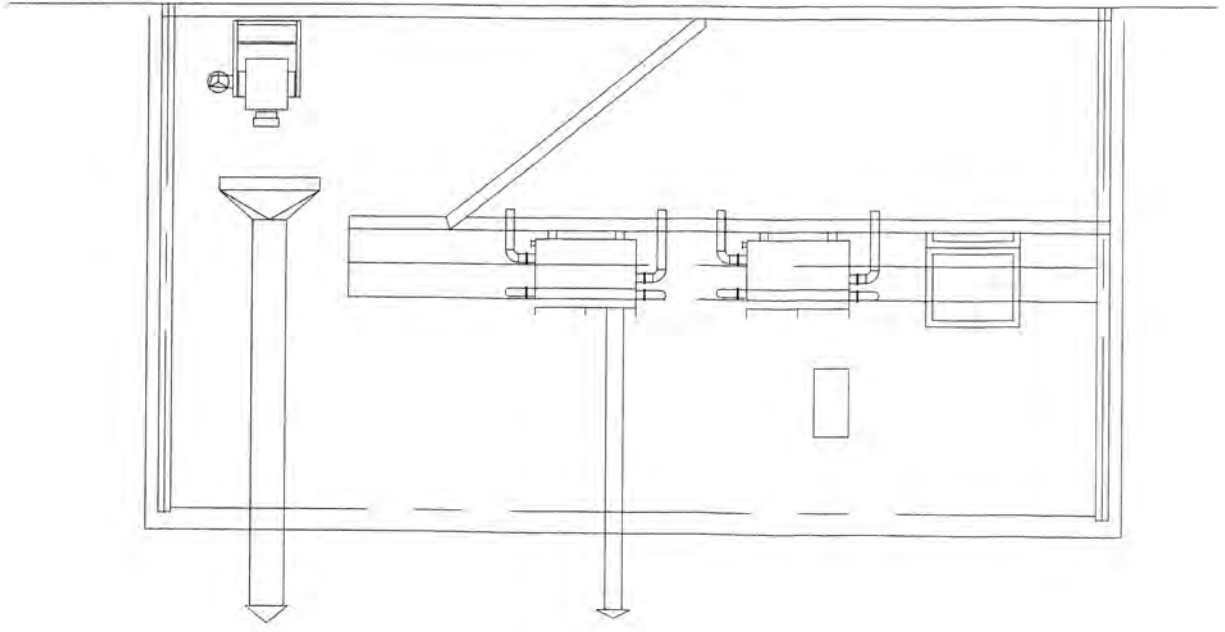
COLUMNAS DE ADSORCION CON RESINA
BOMBA SUMERGIBLE
SRL TANQUE DE TRANSFERENCIA

RE	A	101-G-102	ENGINEERING MINING & METALLURGICAL CONSULTANTS
		DIBUJO No.	E & R
DISEÑADO:		Eliazar Cueva C.	PROYECTO:
TÍTULO DEL DISEÑO		RESINA EN SOLUCION	COMPARACION DE RIS/CIC
ELEVACION DE ARREGLO GENERAL			

G-001
B

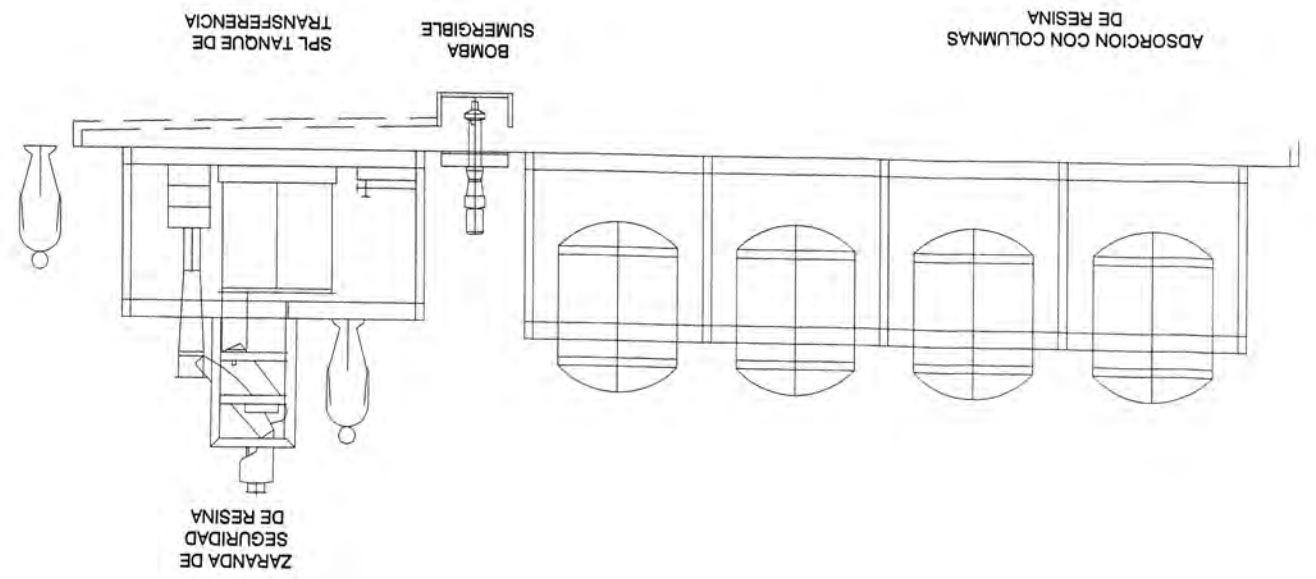
ELEVACION

AREA DE FUNDICION



G-001
A

ELEVACION



- Transporte y refinación de oro bullion.
- Mano de obra administrativo.
- Costo de administración y costos de gastos generales.

4.2.3 Costos de Mano de Obra.

La fracción de mano de obra para la operación y mantenimiento ha sido estimada para cada circuito diseñado.

Para el siguiente trabajo se ha adoptado indicadores de plantas de CIC rangos aproximados de mano de obra y sobre los costos para el personal de operaciones y mantenimiento. Esta destinado los supervisores del área de fundición supervisar la operación día a día de la planta. La mano de obra no administrativa ha sido incluida en la mano de obra estimada.

La mano de obra estimada esta basada en 24 horas por día operativo con 2 turnos de 12 horas por día. 3 equipos por turno en total. El apoyo mecánico o soldador trabajarían convencionalmente horas jornales y diariamente ayudaría a operación cuando no involucra con el trabajo de mantenimiento. Un resumen de rangos de mano de obra, números de empleados y costo de mano de obra anual es proporcionado en la tabla 4.4.

4.2.4 Costos de Operaciones Consumibles

Los reactivos consumidos exclusivos para cada uno de los circuitos diseñados han sido basados, en resultados de las pruebas metalúrgicas de resina preliminares, basados en conocimientos de operación de CIC y desorción de carbón y operaciones de circuitos de regeneración.

El estudio se baso en típicos consumos de reactivos de rangos de cianuro, hidróxido de sodio y petróleo para los 2 circuitos convencionales desorción a presión de carbón Zadra. Una industria de carbón normal consume un rango de 3% del carbón regenerado por ciclo esto ha sido adoptado basados en un circuito típico de operación. El consumo de petróleo de dos hornos de regeneración ha sido estimado por dato del vendedor.

El estudio mantiene conservadoramente el consumo de reactivos para el circuito de RIS. Los estudios ha recomendado el uso del benzoato de sodio en la desorción de la resina esto no es consumido en la reacción de la desorción de la resina y el uso anual esta basado en la frecuencia de de reemplazo de la solución de desorción. El estudio ha autorizado para un lavado ácido de la resina cada 5 ciclos, con una dilución (3% W/V) ácido clorhídrico.

Cero de consumo de resina ha sido asumido para la comparación de costos como la resistencia de la resina es duro y durable y quedándose dentro del contacto de las columnas hasta la duración de la vida del proyecto. Dado a esto mas operaciones de oro tiene un corto y mediana ciclo de vida, los estudios cree aquella suposición es justificado. Es proporcionado en la Tabla 4.5.

4.2.5 Costos de Energía

El promedio continuo de energía entregada para cada circuito ha sido calculado de la potencia instalada de cada conducto. El factor estimado de la eficiencia conducida y utilización anticipado del conducto. El proyecto ha adoptado una unidad del costo de potencia de US\$ 0.10 /kWh basado en el lugar, petróleo para la generación de energía en fuego y incluye generar costos de mantenimiento. Un resumen de anticipación de energía continua entregada y cálculos de costos de energía para cada circuito diseñado esta resumido en la Tabla 4.6. Un análisis detallado de los costos de energía por área será entregado en el Anexo 5.

4.2.6 Costos de mantenimiento

Los costos de materiales de mantenimiento han sido facturados de costo capital de instalación directa en un área por bases de áreas. La mano de obra de mantenimiento ha sido autorizado separarlo bajo el costo de mano de obra. Un resumen del costo de mantenimiento estimado es presentado en la tabla 4.7.

Tabla 4.4

RESUMEN DEL COSTOS DE MANO DE OBRA

	Base Anual Salario/Sn US\$	Costo de M.O. Anual US\$	Costo de M.O. Total Anual US\$	CASO 1		CASO 2	
				Numero de empleados	Costo M.O. Total Anual US\$	Numero de empleados	Costo M.O. Total Anual US\$
OPERACIONES							
Procesos							
Equipos por turno	40,000	20,000	60,000	3	180,000	3	180,000
Equipo por día	27,000	13,000	41,250	0.5	20,625	0.5	20,625
Seguridad en el área de fundición	45,000	22,500	67,500	1	67,500	1	67,500
Operadores en el área de fundición	35,000	17,500	52,500	1	52,500	0	0
Mantenimiento							
Soldadura y mantenimiento de filtros	30,000	15,000	45,000	0.5	22,500	0.5	22,500
TOTAL				6.0	343,125	5.0	290,625

Tabla 4.5

RESUMEN DE OPERACIONES CONSUMIBLES

Operación Consumable		Costo Unit U\$		Caso 1		Caso 2	
				Uso Unit/a	Costo U\$	Uso Unit/a	Costo U\$
Cianuro de Sodio	Desorción	1,040	ton	30.6	31,824	0.7	728
Resina	Adsorción	19,700	ton. hum	0	0	0	0
Carbón	Adsorción	2,920	ton	39.4	115,048		0
Hidróxido de Sodio (49%)	Desorción	420	ton	210	88,200	69	28,980
Benzoato de sodio (99%)	Desorción	1,725	ton	0	0	45.5	78,488
Acido Clorhídrico (32%)	Desorción	380	kL	131.9	50,122	12.8	4,864
Lana de acero	Electrodeposición	6.27	kg	389	2,439	389	2,438
Fundentes	Fundición	2,000	ton	2.3	4,600	2.3	4,600
Crisol	Fundición	500	ea	7/año	3,500	7/año	3,500
Agua Potable		1.00	kL	3939.6	3,940	2,277	2,278
Petróleo	Desorción	210	kL	138.6	29,106	32.1	6,741
	Fundición	210	kL	10.7	2,247	6.2	1,302
COSTO TOTAL CONSUMIBLE		US\$/año		331,026		133,919	
		US\$/onza		6.62		2.68	

Tabla 4.6

RESUMEN DE COSTOS DE ENERGIA

AREA PLANTA	CASO 1		CASO 2	
	Promedio continuo consumo kW	Costo de Energía Anual US\$/año	Promedio continuo consumo kW	Costo de Energía Anual US\$/año
Lixiviación/Adsorción	118	100,469	118	100,710
Desorción/Electrodeposición y fundición	29	24,671	15	12,452
Regeneración de Carbón	3	2,801		0
Agua, Aire y Sistemas de combustible	29	24,586	27	23,226
Reactivos	1	626	1	851
otros gastos	24	20,315	24	20,315
TOTALES	204	173,468	185	157,554

Tabla 4.7

RESUMEN DE COSTOS DE MANTENIMIENTO

AREA	Capital %	CASO 1		CASO 2	
		Capital Costo US\$,000's	Mantenimiento Costo Anual US\$	Capital Costo US\$,000's	Mantenimiento Costo Anual US\$
Adsorción	7.0	317.0	22,190	323.0	22,610
Desorción, Electrodeposición y fundición	8.0	629.0	50,320	410.0	32,800
Regeneración térmica	10.0	302.0	30,200	0.0	0
Reactivos	7.0	379.0	26,530	313.0	21,910
TOTAL	7.9	1,627.0	129,240	1,046.0	77,320

CAPITULO V

TRATAMIENTO DE SOLUCIONES CIANURADAS

5.1 Definición

Los desechos industriales de los que contienen cianuro originan serias alteraciones ecológicas. En el caso de la Hidrometalúrgia del oro y la plata, donde se utiliza el cianuro de sodio para lixiviación, el uso indebido de este reactivo causa problemas al igual que el mercurio utilizados en los procesos de amalgamación afectando el medio ambiente.

En toda operación minera se lleva un control y manejo ambiental, establecido por las normas internacionales, políticas del Estado, controlado por los organismos Gubernamentales como los de Salud y Minería; tienen la responsabilidad de prevenir, proteger y compensar los probables impactos ambientales que podrían ser ocasionados por la operación minero-metalúrgica, al emplear procesos de químicos en la recuperación de los metales.

El control de los impactos positivos y negativos ocasionados al medio ambiente está resumido en vigilar la infiltración del cianuro en el acuífero (capas de aguas freáticas) a fin de mejorar la calidad de agua para el consumo humano y fauna.

Al tratamiento de efluentes con contenidos de cianuros, cumplirán las normas exigidas por la Leyes de Saneamiento, Minería y preservación del medio Ambiente, sin poner en peligro la salud de los habitantes, ni la flora y fauna cercana a la actividad minera

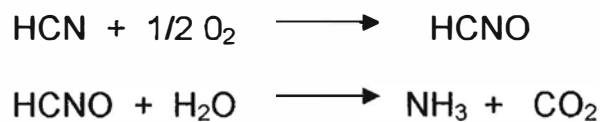
5.2 Efecto del Cianuro en el Medio Ambiente

El cianuro es extremadamente venenoso y puede ser nocivo e incluso mortal para el ser humano, fauna y flora. Los síntomas de intoxicación aguda en seres humanos incluye náusea, jaquecas, mareos, dificultades respiratorias, convulsiones y pérdida de conocimiento incluso pueden causar la muerte. Muy pocas dosis de cianuro son mortales si son ingeridas, inhaladas o absorbidas por la piel.

En particular los relaves efluentes de las industrias minero metalúrgico de procesamiento de minerales auríferos que derivan a los ríos, contaminan a estos con metales pesados y cianuro (cianuro libre iónico, tiocianatos y complejos de cianuros metálicos).

5.3 Degradación del Cianuro:

La degradación bioquímica de CN puede ocurrir bajo condiciones aeróbicas y anaeróbicas sobre un amplio rango de pH. Bajo condiciones aeróbicas, se forma cianato el cual puede ser posteriormente hidrolizado para producir amoníaco y dióxido de carbono.



En la actualidad se cuenta con muchos métodos para eliminar el cianuro de sodio, aunque sus aplicaciones, por sus costos relativamente altos, no se han generalizado. Los tratamientos químicos logran su objetivo de eliminar el cianuro pero a su vez generan un nuevo residuo contaminante, mientras que los tratamientos biológicos, empleando bacterias u hongos con algunas restricciones son ya usados en diversas partes del mundo.

Actualmente se están exigiendo cada vez más a las empresas mineras auríferas a nivel mundial en adoptar nuevas tecnologías de acuerdo a las características propias y peculiares de cada yacimiento mineral a fin de que incidan a bajar costos de tratamientos y una eficiente recuperación de los metales preciosos.

La reciente tecnología de adsorción de oro y plata con soluciones de cianuro, mediante resinas de intercambio iónico emerge como una fuente alternativa tecnológica respecto de los procesos convencionales como precipitación con polvo de zinc, adsorción con carbón activado, electrodos de posición directa.

De igual modo la eliminación y/o descomposición de cianuro mediante hongos (**Penicilium sp.**) de relaves de plantas de cianuración es una realidad tecnológica.

El primer estudio microbiológicos que se conoce es la que ocurría en las aguas de las colas de la mina Homestake en Lead, South Data, donde se encontró que la bacteria *Pseudomonas* sp., fue degradando al cianuro y absorbiendo metales.

Trabajos posteriores con hongos, como *Penicillium* sp., *Fusarium* sp., estudiando en agitación de aire a una concentración inicial de cianuro de 131 ppm y concentraciones diferentes de oro y plata dieron como resultados que en 28 horas se degradaba el 99 %. También se logro investigar que a partir de soluciones con 1000 ppm de cianuro total, *Trichoderma* sp., logro degradar hasta tener en el sistema 0.033 ppm de cianuro a partir de una concentración inicial de 10 esp/ml, El *Aspergillus* sp., degradó hasta dejar en el sistema una concentración de 0.08 ppm. De cianuro a partir de una concentración de 10 esp/ml, ambos microorganismos a un pH de operación de 9.5, basándose el principio de degradación de los cianuros en la bioquímica de su metabolismo y principios físicos de absorción de los substratos, pudiendo asimilar a los metales y no metales.

Taboada, M. y col. 1996. Influencia del pH, oxígeno y tiempo en la destrucción de cianuros por acción de hongos *Fusarium moniliforme* en efluentes provenientes de plantas de lixiviación.

Sin embargo, la degradación de cianuro depende además de factores como la aclimatación del microorganismo a los niveles de concentración de cianuro de sodio, del pH, de la humedad, del tipo de nutrientes y de la temperatura, que son muy importantes para su reproducción y desarrollo.

5.4 Tratamiento Químico

El objetivo de la detoxificación química de cianuro de los efluentes de plantas de cianuraciones alcanza niveles bajos de cianuro residual y satisfacer las siguientes consideraciones operacionales:

- Destrucción rápida de cianuro
- Minimizar los volúmenes de efluentes
- Generar compuestos de cianuros no-metaestable o derivados.
- Limitar la aparición de reacciones químicas adversas o su degradación.

Existen diferentes métodos para la destrucción del cianuro a fin de cubrir los estándares establecidos en el Perú.

La destrucción del cianuro libre de una solución de relave, se realiza mediante los siguientes métodos:

1. **DEGRADACION NATURAL: PROCESOS BIOLOGICOS**
2. **NEUTRALIZACION con:**
Sulfato de fierro
Clorinación alcalina: Hipoclorito de calcio ó de sodio.
3. **PROCESO INCO**
Emplea el dióxido de azufre (SO₂) ó compuestos de azufre, que es añadido a la pulpa insuflando aire en condiciones de gran agitación.
4. **OXIDACION CON PEROXIDO DE HIDROGENO ó AGUA OXIGENADA**
5. **EL METODO DE ACIDO DE CARO**
Se obtiene mezclando el ácido sulfúrico concentrado y peróxido de hidrógeno.

Todos ellos oxidan el cianuro libre, a otros compuestos como el cianato que es menos tóxico. Pero los más utilizados en la industria minera son los tres procesos últimos.

- Proceso Inco
- Peróxido de hidrógeno
- Método de ácido de caro.

Por que no sólo permiten la eliminación de los elementos metálicos que están disueltos en la solución de cianuro. Los iones metálicos como el cobre, el zinc, cadmio, níquel, fierro, precipitan como hidróxido y compuestos de fierro insolubles y estables.

Después de la eliminación del cianuro se logra tener una solución limpia y clara con niveles de cianuro que son permisibles a la Legislación Peruana.

LIMITE DE CIANURO mg/lit(ppm)		
LEGISLACION PERUANA	CN_T	
	INSTANTANEAS	PROMEDIO ANUAL
* MINAS EN OPERACIÓN	2.0	1
* NUEVAS MINAS	1.0 (*)	1.0 (*)

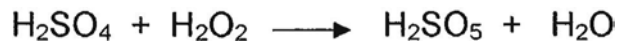
(*) 0.1 mg/lit CN_F⁺
0.2 mg/lit CN_{WAD}

GUIAS DEL BANCO MUNDIAL	CN_T	CN_{WAD}	CN_F
MINAS Y PLANTAS DE BENEFICIO EFLUENTES LIQUIDOS	1.0	0.5	0.1

5.4.1 Método del Acido Caro

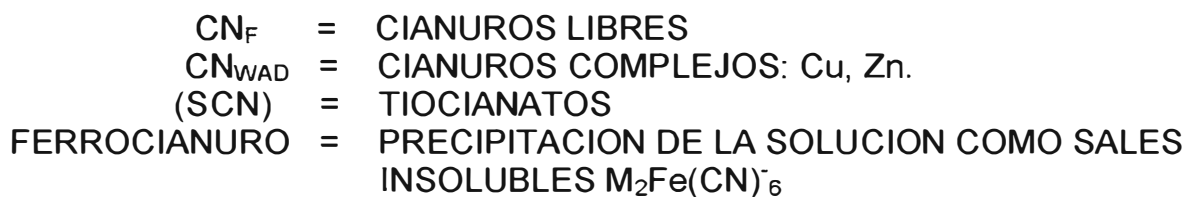
Es aplicable para efluentes con sólidos en suspensión.

Se obtiene mezclando H_2SO_4 concentrado y H_2O_2 peróxido de hidrogeno:



La reacción es altamente exotérmica. El H_2SO_5 es más poderoso que H_2O_2 como oxidantes.

La adición del Ácido de Caro en los efluentes conteniendo cianuro, oxidan rápidamente.



Oxidación de cianuro libre:



En medio alcalino el H_2SO_5 se disocia completamente a SO_4^{2-}

Oxidación de complejos Débil-Disociado (Cu, Zn)



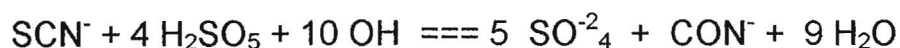
HIDÓLISIS DEL CIANATO: $\text{CNO}^- + 2 \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{NH}_4^+ + \text{CO}_3^{2-}$

Es espontánea produciendo iones de amonio y carbonato.

Los ferrocianuros presentes como complejos en los efluentes, son estables, al final son precipitadas como sales insolubles a través de la combinación con iones de Cu, Zn, Fe, Ni.



El ácido de Caro es capaz de oxidar los tiocianato (SCN^-), los cuales no pueden hacerse con H_2O_2 por sí mismo.



OBSERVACIONES Y DISCUSIONES

El presente estudio presenta las observaciones y discusiones de los resultados comparativos de las pruebas y las inversiones de los costos de capital y operaciones estimadas para los circuitos de tratamiento del CIC y RIS a partir de las soluciones ricas de baja ley de las pilas de lixiviación.

1. De la evaluación resumida en la Tabla 2.1 (Resumen clave del criterio de diseño para CIC/RIS) se observa que la capacidad de carga a partir de una ley de solución de oro rica de lixiviación (0.50 ppm), en el carbón en columna (CIC) fue de 1,250 grAu/t y en la resina en solución (RIS) fue de 4,000 grAu/t, esto demuestra que la capacidad de carga de la resina es 3.2 veces mas que el carbón.
2. El número de columnas para el circuito de adsorción de CIC tendrá 5 columnas (Cada columna de 52 m³ de capacidad) comparativamente con el numeros de columnas para la resina tendrá 4 columnas (cada columna de 41 m³ de capacidad). Esto demuestra que el volumen de la columna de la resina es menor en 21 % que el volumen de la columna del carbón.
3. Con respecto a la alimentación de la solución para el CIC el sentido del flujo es ascendente y para la RIS el sentido del flujo es descendente, por ende el área de construcción para una planta de RIS será menor que para el CIC.
4. El proceso desorción de la resina se realiza a una temperatura de 60 °C en un tiempo de 12 horas, tipo de desorción atmosférica. Comparativamente con la desorción del CIC se realiza a una temperatura de 90 °C en un tiempo de 16 horas, tipo de desorción a presión. El tiempo de desorción de la RIS es menor en un 25% del tiempo de desorción del CIC. Con respecto al costo/strip de la desorción, para la RIS es 859 US\$/strip y para el CIC es 1,492

US\$/strip, comparativamente hay una diferencia de 633 US\$/strip. Por ende el costo de la desorción RIS es 42.40 % menor que el carbón.

4. El análisis económico de la inversión para el costo capital estimado para los circuitos de CIC y RIS se presenta en la Tabla 2.2 (Resumen del costo capital estimado).

Para el 1^{er} caso del CIC el costo capital estimado es de US\$ 2'665,000 comparativamente con el 2^{do} caso de la RIS el costo capital estimado es US\$ 2'291,000. La diferencia del costo capital es US\$ 374,000 más para el circuito de CIC, representando el 14% más del costo capital del circuito de RIS.

5. El análisis económico de la inversión para el costo de operaciones para los circuitos de CIC y RIS se presenta en la Tabla 2.3 (Resumen del costo de operaciones estimado).

Para el 1^{er} caso del CIC el costo de operaciones estimado es de US\$ 976,758 por año comparativamente con el 2^{do} caso de la RIS el costo de operaciones estimado es US\$ 659,452 por año. La diferencia del costo de operaciones es US\$ 317,306 por año más para el circuito de CIC, esto representa el 32 % más del costo de operaciones del circuito de RIS.

6. El costo unitario para el circuito de CIC para el 1^{er} caso es 19.22 US\$/onza de oro producido, comparativamente con el 2do caso de la RIS el costo unitario es 13.19 US\$/onza de oro producido. La diferencia del costo unitario es de 6.03 US\$/onza, demostrando que el costo unitario para la RIS es menor en 31.37 % del CIC.

CONCLUSIONES

1. Las resinas pueden cargar 70 % de su peso, mientras que el carbón 1.5 % de su peso, significando un ahorro en el costo de transporte e inventario en los circuitos de RIS y RIP.

Por su mayor capacidad de carga y cinética de adsorción las resinas extraen mas rápida el oro y plata que el carbón, lo que reduce las pérdidas de valores por otros especies presente en el mineral, está menos propensa a la contaminación como compuestos inorgánicos: material carbonífero, hematita, sales de carbonato de calcio, calcinas, contaminantes por compuestos de ocurrencia natural como: los orgánicos fulvicos y húmicos; ó reactivos orgánicos introducidos dentro del proceso como el kerosene, reactivos de flotación, solventes y lubricantes. Cada uno de estas especies retarda la adsorción del oro sobre el carbón y disminuye la eficiencia de los procesos de CIP.

En los procesos RIS las resinas son desorbidas, regeneradas a temperaturas de ambiente, luego son recicladas al circuito con bajos costos. No requieren una etapa de regeneración térmica.

En los procesos industriales de tratamiento de minerales de oro, los costos de inversión y de operación serán mucho menores que en plantas de CIC; porque el carbón tiene que ser regenerado químicamente después de la desorción, seguidos por la reactivación térmica con temperaturas de 650 - 700°C.

2. Un aspecto importante de estos procesos, es que el equipo requerido para la etapa de adsorción es compatible con el CIP y RIP, para alguna aplicación en particular. Aun cuando el estudio de costos ha mostrado que el proceso RIP o RIS compara favorablemente con el CIP ó CIC, se deben hacer pruebas metalúrgicas y estudios tecno-económicos para cada material de oro de acuerdo a las características mineralógicas del mineral, antes de seleccionar el proceso de adsorción.
Los cambios a la estructura de resinas y el proceso tendrán un impacto positivo en la proyección de costos.
3. Los sistemas de resinas en solución (RIS), pueden ser operados en cama lecho fijo ó lecho fluidizado, las resinas tienen menor densidad que el carbón activado, y menor velocidad de flujo en el área de la sección de la columna, será empleada.
4. Los ensayos llevados a cabo en el laboratorio arrojan resultados muy favorables, demuestran la factibilidad de aplicarse este proceso de RIS a nivel industrial.
La resina AuRIX-100 empleada en la prueba de columna, tiene potencialmente una capacidad más alta carga de oro que el carbón, mientras mantiene un aceptable valor solución pobre (barren) < 0.01 ppm. Y carga oro más rápido que el carbón.

- De los resultados obtenidos en la prueba con las resinas AuRIX-100, para los valores de oro y plata recuperado de la solución de cianuro, se llega a la siguiente conclusión:

CAPACIDAD DE CARGA g/t

Au	8,470
Ag	250
TOTAL	8,720

5. A fin de minimizar el manipuleo de la resina evitándose pérdidas, es factible realizar la etapa de desorción en la misma columna de adsorción. En donde los metales básicos serán removidos durante la etapa de lavado ácido, seguido por el proceso de desorción. Donde se usa una solución de desorción con conteniendo de soda cáustica, cianuro y benzoato. Por lo tanto las columnas de adsorción tendrán que ser construidas en acero inoxidable ó columnas en fibra de vidrio.
6. Los procesos de RIP se están aplicando industrialmente, entre ellos tenemos la mina Golden Jubilee cuya capacidad de tratamiento es de 10,000 a 30,000 TM/mes, con una ley de 1 a 2 gr/TM, modificando el circuito de CIP para RIP. Empleando en su inventario de adsorbente el equivalente a 1/3 del requerido para carbón activado.
7. El manejo de la resina no presenta dificultades y es poco probable que cause preocupaciones en una planta de escala completa.
8. La caída de presión a través del lecho de la resina en una configuración de flujo descendente fue muy bajo (menor que 1.5 kPa/m en 100 BV/h) permitiendo al circuito ser diseñado para un alto flujo de lecho volumétrico con una baja caída de presión y una mínima compactación.
9. La desorción es rápida con una temperatura moderada en una configuración de flujo ascendente (12 horas, 60°C).
10. La resina AuRIX-100 expuesta a la atrición fue superior a otras tres pruebas de resina y siendo superior a la mayoría de carbón de cáscara de coco.
11. La resina húmeda tiene un promedio de retención de agua de 52%. La capacidad de retención de agua (CRA) de la resina es usada para calcular el peso seco de la resina del peso de la muestra húmeda. Los valores cargados de la resina son expresados en gramos por tonelada seca de resina.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. John Marsden y Lain House, "The Chemistry of Gold Extraction", Edit. Ellis Horwood, pp. 351- 373. (1991)
2. Esteban M. Domic M. "Hidrometalurgia fundamentos, procesos y aplicaciones, 1ra Edición. Santiago – Chile, pp. 385-440.
3. Habashi, F. A. Textbook of Hydrometallurgy. Université Laval, 2da Edition, Québec, Canadá, pp. 193-206, (1999).
4. Paul, R.L., Filmer, A.O. y Nicol, M.J., "The Recovery of Gold from Concentrated Aurocyanide Solutions", in Hydrometallurgy Research, Development and Plant Practice (Eds. K. Osseo-Asare And J.D. Miller) pp. 689-704. TMS-AIME, Warrandale, PA, (1982).
5. Parga, J.R., "Recuperación de Metales Preciosos", en Avances en Metalurgia Extractiva, Universidad de Sonora, Hermosillo, México, pp. 36-97 (1990).
6. González, R., Valenzuela-Soto, A. y Valenzuela-García, J.L., "Operación de una Planta de Recuperación de Metales Preciosos por Cementación", en Avances en Metalurgia Extractiva-1997, Universidad de Sonora, Hermosillo, México, pp. 135-147 (1997).
7. Fleming, C.A. Y Nicol, D.L. "The Adsorption of Gold Cyanide onto Activated Carbon", J.S., Afr. Inst. Min. Metall., 84, pp. 85-93 (1984).
8. Fleming, C.A. Y Cromberge, G. "The Extraction of Gold from Cyanide Solutions by Strong-And Weak-Base Anion-Exchange Resins", Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy. 84 (5) pp. 125-137 (1984).
9. Valenzuela, J. L., "Aspectos Generales de la Extracción por Solventes y su Aplicación en la Industria de la Metalurgia"., en Avances en

Metalurgia Extractiva, Universidad de Sonora, Hermosillo, México, pp. 1-35 (1990).

10. Virning, M. J. y Lewis, R. G., Comunicación Personal, Cognis Corporation (2000).

11. Barrow, G.M., Química-Física, Editorial Reverté, Barcelona, pp. 477-518 (1982).

12. Cotton, F.A. y Wilkinson, G., Química Inorgánica Básica, Editorial Limusa, México, pp. 143-184 (2001).

ANEXOS

ANEXO 1: DISEÑOS

DIAGRAMA DE FLUJO

- R101-F-001 CIRCUITO DE ADSORCION CON CARBON
- R101-F-002 DESORCION DEL CARBON Y AREA DE FUNDICION
- R101-F-003 CARBON EN COLUMNA – REACTIVOS Y SERVICIOS

- R101-F-101 CIRCUITO DE ADSORCION CON RESINA
- R101-F-102 DESORCION DE RESINA Y AREA DE FUNDICION
- R101-F-103 RESINA EN SOLUCION - REACTIVOS Y SERVICIOS

DISEÑO DE ARREGLOS GENERALES

- 101-G-001 PLANO DE CARBON EN COLUMNA
- 101-G-002 ELEVACION DE CARBON EN COLUMNA
- 101-G-101 PLANO DE RESINA EN SOLUCION
- 101-G-102 ELEVACION DE RESINA EN SOLUCION

ANEXO 2: DOCUMENTOS DE DISEÑO

CASO 1	CIC, LEY BAJA SRL
CASO 2	RIS, LEY BAJA SRL

DOCUMENTOS PARA EL PROCESO DE DISEÑO - CASO 1
DIAGRAMA DE FLUJO DE CARBON EN COLUMNA (CIC) Baja Ley

1.- ADSORCION DE CARBON

Flujo SRL			unidad	
Flujo estimado de SRL	Nominal		m3/h	400
	Diseño, Máximo		m3/h	500
Contenido de SRL, Diseño	Oro		ppm	0.5
	Plata		ppm	0.1
	Cianuro Libre		ppm	100
	Alcalinidad		pH	10.5
Temperatura del circuito			°C	18.5
Rango Contenido de SRL	Oro		ppm	0.2 - 1.0
	Plata		ppm	0.01 - 0.1
Criba para finos	Orificio		mm	0.8
Columnas de Carbón				
Tipo	Dirección del flujo Arreglo de columna			Flujo ascendente Tapas, lecho expandido, serie.
Numero de etapas	Etapas de extracción			5
	Etapas de desorción			0
	Total			5
Hidráulicos	Flujo volumetrico diseño		BV/h, max	50
	Flujo volumétrico nominal		BV/h	40
Diseño de columna	Velocidad especifica diseño		m/h, max	60
	Velocidad especifica nominal		m/h	48
Diseño de columna	Volumen total de C* estático		m3 húmedo	50
	Volumen de C* por columna		m3 húmedo	10
	Area de sección transversal de columna		m2	8.3
	Diámetro interno de Columna		m	3.26
	Altura del lecho de carbón		m	3.07
	Calculo del lecho de expansión		%	12
	Altura de la columna		m	4.91
Carbón activado	Tipo			Carbón de cáscara de coco Pica
	Tamaño		d50, micrones	2,500
	Densidad de la mezcla		t/m3 seco	0.49
	Densidad de capacidad carga		t/m3 húmedo g Au/t C* seco	1,250
Flujo SPL				
Flujo estimado de SPL	Nominal		m3/h	400
	Diseño, Máximo		m3/h	500
Contenido de SPL, Diseño	Oro		ppm	0.05
	Plata		ppm	0.05
	Cianuro Libre		ppm	100
	Alcalinidad		pH	10.5
Zaranda de seguridad C*	Orificio		mm	0.8

2.- DESORCION DE CARBON

Desorción		unidad	
Recuperación de metal	Oro	kg Au/a	1,577
		oz Au/a	50,695
	Plata	kg Au/a	158
		oz Au/a	5,070
Carbón cargado	Oro	g Au/tC*seco	1,250
	Plata	g Au/tC*seco	125
Desorción	Tamaño de la carga	m3 húmedo	10
		tC* húmedo	4.9
	Frecuencia	tC* seco	
		strips/año	268
		strips/semana	5.2
		Tipo	
Condiciones de desorción	Dirección del flujo		flujo ascendente
	Temperatura	°C	110
	Tiempo del ciclo de desorción	hrs	16
	Ley del carbón pobre	g Au/tC*seco	50
		g Au/tC*seco	100
	Capacidad del calentador de desorción.	kW	1050
Lavado ácido	Composición	w/v% HCl	3
	Frecuencia	strips	1
Solución pobre desorción	Flujo estimado	Vd./h	3
		m3/h	30
	Composición	w/Vd. Nac.	0.5
		w/v% NaOH	2
Consumo de cáustica por desorción como 100% NaOH		%	20
		kg/strip	294
	Cianuro como 100% NaCN	%	30
		kg/strip	54
Frecuencia de cambio de la solución fresca pobre		strip	3
	Cáustica como 100% NaOH	kg/carga	1469
	Cianuro como 100% Nac.	kg/carga	180
Electrowininig			
Tipo de celda	Número de celdas	No. de celdas	3
	Número de cátodos	No./celda	12
	Area de cátodos	m2/cátodo	0.64
	Lana de acero	g/cátodo	1100
	Area superficial lana de acero	m2/cátodo	18.04
Condiciones	Voltaje de la celda	Volteos	4
	Eficiencia de paso celda	%	60
	Eficiencia de corriente	%	10
	Corriente por celda	Amps/celda	173
	Corriente por cátodo	Amps/cátodo	14
	Densidad de corriente	Amps/m2 de lana	0.8
	Velocidad lineal de celda	m/min	0.26
Rectificadores	Numero de rectificadores	No.	3
	Tamaño	Amps	800
Electrolito pobre	Blanco de Ley de solución	mg/L Au	5
Regeneración			
Tipo		Horno de regeneración térmica	
Horno	Tipo	Homo rotatorio, horizontal	
	Capacidad	kg/h	250
	Consumo de petróleo	L/h	63
Regeneración	Número de ciclos por año	L/ciclo regeneración	1225
		ciclos/año	268

3.- REACTIVOS

Cáustica	Consumo en la desorción	100% NaCN	unidad kg/strip kg/a	784 210,152
	Tipo Empaquetado/Envío Concentración de solución		Líquido, 49% NaOH 1.1t Isocontaineres %w/v	49
Cianuro	Consumo en desorción	100% NaCN	kg/strip kg/a	114 30,571
	Tipo Empaquetado/Envío Cambio de solución	Concentración de NaCN	Sólido (briquetas) 100% NaCN Cajas, granel, t %w/v	1 20
Acido Clorhídrico	Consumo en el lavado	32% HCl	L/lavado strip/lavado L/a	492 0 131,840
	Tipo Empaquetado/Envío Cambio de solución Capacidad del tanque de remplazo	Concentración de HCl	Líquido, 32.0% HCl bidones, L %w/v m3 cargado	200 3 5.2
Carbón activado	Primer cambio		t	24.5
	Consumo en transferencia		% C* transferido t/a	2 26.3
	Tipo Empaquetado/Envío		C* cáscara de coco Pica Bolsas, kg	25
Petróleo	Consumo	Calentar la sol, desorción Horno de fundición Horno de regeneración Total	Gln/strip Gln/fundición <u>Gln/regeneración</u> Gln/strip kGln/año	137 11 <u>324</u> 472 127
	Cisternada/Envío		Camión cisterna, Gln	5,284
Agua potable	Consumo en la desorción		kL/cambio fresco kL/lavado kL/reactivos kL/a kL/strip	36 46 341 15,763 58.8

DOCUMENTOS PARA EL PROCESO DE DISEÑO - CASO 2
DIAGRAMA DE FLUJO DE RESINA EN SOLUCION (RIS) Baja Ley

1.- ADSORCION DE RESINA

Flujo SRL			unidad	
Flujo estimado de SRL	Nominal		m3/h	400
	Diseño, Máximo		m3/h	500
Contenido de SRL, Diseño	Oro		ppm	0.5
	Plata		ppm	0.1
	Cianuro Libre		ppm	100
	Alcalinidad		pH	10.5
Temperatura del circuito			°C	18.5
Rango Contenido de SRL	Oro		ppm	0.2 - 1.0
	Plata		ppm	0.01 - 0.1
Criba para finos	Orificio		mm	0.8
Columnas de Resina				
Tipo	Dirección del flujo Arreglo de columna			Flujo descendente Tapas, lecho expandido, serie.
Numero de etapas	Etapa de extracción			4
	<u>Etapa de desorción</u>			0
	Total			4
Hidráulicos	Flujo volumétrico diseño		BV/h, max	60
	Flujo volumétrico nominal		BV/h	48
	Velocidad especifica diseño		m/h, max	60
	Velocidad especifica nominal		m/h	48
Diseño de columna	Volumen total de R* estático		m3 húmedo	33.3
	Volumen de R* por columna		m3 húmedo	8.3
	Area de sección transversal de columna		m2	8.3
	Diámetro interno de Columna		m	3.26
	Altura del lecho de carbón		m	2.56
	Calculo del lecho de expansión		%	No aplicable
	Altura de la columna		m	3.84
Resina	Tipo			Aurix 100
	Tamaño		d50, micrones	750
	Densidad de la mezcla		t/m3 seco	0.347
			t/m3 húmedo	0.714
	Capacidad de retención de agua		%WRC	52
Densidad de capacidad carga		g Au/t R* seco	4,000	
Flujo SPL				
Flujo estimado de SPL	Nominal		m3/h	400
	Diseño, Máximo		m3/h	500
Contenido de SPL, Diseño	Oro		ppm	0.05
	Plata		ppm	0.05
	Cianuro Libre		ppm	100
	Alcalinidad		pH	10.5
Zaranda de seguridad C*	Orificio		mm	0.3

2.- DESORCION DE RESINA

Desorción	Recuperación de metal	Oro	unidad kg Au/a	1,577
		Plata	oz Au/a	50,695
	Resina cargado	Oro	kg Au/a	158
		Plata	oz Au/a	5,070
	Desorción	Tamaño de la carga	g Au/tR*seco	4,000
			g Au/tR*seco	450
	Desorción	Frecuencia	m3 húmedo	8.3
			tC* húmedo	6
		Frecuencia	tC* seco	2.9
			strips/año	156
	Condiciones de desorción	Tipo Dirección del flujo Temperatura Tiempo del ciclo de desorción Ley de resina pobre Capacidad del calentador de desorcion.	strips/semana	3
			Atmosférica	
			flujo ascendente	
			°C	60
			hrs	12
			g Au/tC*seco	500
			g Au/tC*seco	100
	Lavado ácido	Composición Frecuencia	kW	330
			w/v% HCl	3
	Solución pobre desorción	Flujo estimado	strips	5
BV/h			5	
Consumo por el Strip	Flujo estimado	m3/h	42	
		Velocidad especifica	m/h	5
	Calculo de expansión lecho	%	5	
			5	
	Composición	w/v% NaC7H5O2 w/v% NaOH mg/L NaCN	7	
			4	
			100	
Consumo por el Strip	Cáustica como 100% NaOH	%	3	
		kg/strip	102	
	Benzoato como 100% NaC7H5O2	%	0	
		kg/strip	0	
Frecuencia de cambio de la solución fresca pobre	Cáustica como 100% NaOH Cianuro como 100% NaCN Benzoato como 100% NaC7H5O2	strip	15	
		kg/carga	3,401	
		kg/carga	45	
		kg/carga	2,917	
Electrowininig	Tipo de celda	Número de celdas	No. de celdas	3
		Número de cátodos	No./celda	12
		Area de cátodos	m2/cátodo	0.64
		Lana de acero	g/cátodo	1100
		Area superficial lana de acero	m2/cátodo	18.04
	Condiciones	Voltaje de la celda Eficiencia de paso celda Eficiencia de corriente Corriente por celda Corriente por cátodo Densidad de corriente Velocidad lineal de celda	Volteos	4
			%	60
			%	10
			Amps/celda	452
			Amps/cátodo	38
			Amps/m2 de lana	2.09
	Rectificadores	Numero de rectificadores Tamaño	m/min	0.25
			No.	2
Electrolito pobre	Blanco de Ley de solución	Amps	800	
		mg/L Au	1	
Regeneración				
Tipo	Lavado ácido en ciclo de desorción			

REACTIVOS

Cáustica	Consumo en la desorción 100% NaCN		unidad kg/strip kg/a	329 51,226
	Tipo Empaquetado/Envío Concentración de solución		Líquido, 49% NaOH 1.1t Isocontaineres %w/v	49
Cianuro	Consumo en desorción 100% NaCN		kg/strip kg/a	4 692
	Tipo Empaquetado/Envío Cambio de solución	Concentración de NaCN	Sólido (briquetas) 100% NaCN Cajas, granel, t %w/v	1 20
Benzoato	Consumo en la desorción 100% NaC7H5O2		kg/strip kg/a	194 30,294
	Tipo Empaquetado/Envío Cambio de solución Capacidad del tanque de reemplazo Capacidad del tanque de almacenamiento	Concentración de NaC7H5O2	Solidó (briquetas)100% Benzoato Cajas, granel, t %w/v m3 cargado m3 días	1 20 5 5 12
Acido Clorhídrico	Consumo en el lavado 32% k.o.		L/lavado strip/lavado L/a	410 5 12,766
	Tipo Empaquetado/Envío Cambio de solución Capacidad del tanque de remplazo	Concentración de HCl	Líquido, 32.0% HCl bidones, L %w/v m3 cargado	200 3 4.4
Resina	Primer cambio		L (Resina húmeda) t (Resina húmeda)	33,333 23.8
	Consumo en transferencia		% R* transferido L/a	0 0
	Tipo Empaquetado/Envío		Bolsas, kg	Aurix 100 145
Petróleo	Consumo	Calentar la sol, desorción Horno de fundición Horno de regeneración Total	Gln/strip Gln/fundición Gln/regeneración L/strip kL/año	54 11 0 65 10
	Empaquetado/Envío		Camión cisterna, L	5,284
Agua potable	Consumo en la desorción		kL/cambio fresco kL/lavado kL/rectivos kL/a kL/strip	36 46 174 1,966 12.6

ANEXO 3: LISTA DE EQUIPOS

- CASO 1 - CIC, LEY BAJA SRL
- CASO 2 - RIS, LEY BAJA SRL

PROYECTO DE LIXIVIACION EN PILAS DE BAJA LEY - CARBON EN COLUMNA

LISTA DE EQUIPOS MECANICOS DE LA PLANTA

Cant	Nombre de los Equipos	Descripción	kW Instal
LIXIVIACION Y ADSORCION: F - 001			
2	Bomba de alimentación SRL	500 m ³ /hr @ 30 TDH. Centrífuga, Impeller c/u 75kW.	150
5	Columnas de Adsorción	Columna 3.26m Ø x 4.91m O/A. c/u	-
1	Malla de seguridad de carbón	Construido con cubierta de poliuretano	-
1	Tanque de transferencia SPL	10 m ³ de capacidad activa	-
1	Bomba de retorno SPL	500 m ³ /hr @ 30 TDH. Centrífuga, Impeller c/u 75kW.	150
1	Bomba de transferencia de carbón SPL	60 m ³ /hr @ 25 TDH. Centrífuga, Impeller c/w 11kW.	11
1	Bomba colectora	Vertical c/w línea de metal 11 kW.	11
SUB TOTAL ADSORCION			322.0

LISTA DE EQUIPOS MECANICOS DE LA PLANTA

Cant	Nombre de los Equipos	Descripción	kW Instal
DESORCION Y AREA DE FUNDICION: F - 002			
1	Columna de lavado ácido	Capacidad de 5 toneladas de Ø 1.22m x 9.24m O/A	-
1	Columna de desorción	Capacidad de 5 toneladas de Ø 1.22m x 9.24m O/A	-
1	Tanque de solución de desorción	Capacidad de 36m ³ , Ø 3.6m x 3.8m O/A	-
1	Bomba de solución de desorción	30 m ³ /hr @ 80 m TDH. Centrífuga, impulsor c/w 22 kW	22
1	Intercambiador de calor	Estructura del intercambiador de titanium y empaque EPDM	-
1	Calentador de la solución de desorción	Capacidad 1,000 kW, en línea calentado con petróleo	1.1
1	Chimenea del calentador de la solución de desorción	Construcción metálica con calamina adaptado al calentador	-
1	bomba de recirculación de solución caliente	90 m ³ /hr @ 70 m TDH. Centrífuga, impulsor c/w 35 kW	35
2	Filtros de desorción	Ø100mm x 1000 mm de alto, de acero inoxidable.	-
1	Distribuidores para las celdas de electrowining	Capacidad de 250L, Ø 750mm x 750mm O/A	-
3	Celdas de electrowining	Celda serie 800, 13 ánodos, 12 cátodos por celda	-
1	Marco de cátodos	Adaptables para las celdas.	-
1	Campana extractora de gases de la celda EW.	2700m ³ /hr @ 400 Pa, tipo acial de acero inox y 2.2kW	2.2
3	Rectificadores	Rectificador transformador 0 - 10V, 0 - 800A, controles	24
1	Horn de calcinación/secado	Capacidad de 1 m ³ , con un controlador de temperatura	18
1	Horno de fundición	Crisol A100, fuego con petróleo	-
1	Campana extractora para el horno de fundición	Chimenea y sombrero chino de calamina metálica	-
1	Balanza para el bullion	Balanza electrónica de 40 kg.	-
1	Caja fuerte	TDR resistente, combinación dual y capacidad 0.5 m ³	-
2	Duchas de seguridad en el área de fundición	Ducha combinada/unidad de lavado de ojos	-
1	Presintos de seguridad para el empaquetado	Seguridad en el empaquetado, circuito cerrado de TV	-
SUB TOTAL ADSORCION			102.3

REGENERACION DE CARBON: F-002

1	Malla de lavado de carbón con alimentador	MS construcción	-
1	Zaranda de lavado de carbón	Tipo vibratorio, conducción dual 1.25 kW, parte ducto horno	2.5
1	Ducto a malla de lavado de carbón u/s	MS construcción. Parte del conducto del horno de secado	-
1	Ducto de malla de lavado de carbón o/s	MS construcción, línea epoxica. Parte del ducto de secado	-
1	Horno de regeneración de carbón	Capacidad 250 kg/hr horno horizontal, quemador con petróleo.	5.5
1	Alimentador a malla clasificadora de carbón	MS construcción	-
1	Zaranda clasificadora de carbón	Tipo vibratorio, conducción dual 0.15 kW	0.3
1	Canal de descarga del clasificador d C*	MS construcción, línea de epoxica.	-
1	Malla clasificadora de C* u/s ducto	MS construcción	-
1	Tolva para el carbón pasante de la malla (C* fino)	Capacidad de carga 2 m ³ , MS construcción	-
1	Bomba de transferencia para el carbón pasante	16 m ³ /hr @ 25 m TDH. Centrífuga, impulsor c/w 4 kW	4
2	Filtros de arena para el carbón fino	Capacidad de 1 tonelada de arena de acero dulce.	-
1	Recipiente de transferencia de carbón	MS construcción, capacidad de 10m ³ , con educador de carbón	-
SUB TOTAL ADSORCION			12.3

LISTA DE EQUIPOS MECANICOS DE LA PLANTA

Cant	Nombre de los Equipos	Descripción	kW Instal
REACTIVOS: F - 003			
1	Bomba dosificadora de cianuro a la desorción	2 m3/hr @ 10 m TDH, rotor de acero inox 316 y 0.37 kW	0.37
1	Bomba dosificadora de caustica a la desorción	1 m3/hr @ 10 m TDH, rotor de acero inox 316 y 0.37 kW	0.37
1	Ducha de seguridad en el área caustico	Ducha combinada/unidad de lavado de ojos	-
1	Bomba para el ácido clorhídrico/bomba sumergible	3m3/h, Bomba peristaltica c/w 1.5 kW.	1.5
1	bomba sumergible en el área del ácido clorhídrico	Boladizo vertical e impulsor, eje 900 y 2.2 kW	2.2
1	Ducha de seguridad en el área acida	Ducha combinada/unidad de lavado de ojos	-
1	bomba de seguridad en el área de reactivos.	Boladizo vertical e impulsor, eje 1500 y 11 kW	11
SUB TOTAL ADSORCION			15.4

LISTA DE EQUIPOS MECANICOS DE LA PLANTA

Cant	Nombre de los Equipos	Descripción	kW Instal
SERVICIOS DE AIRE, COMBUSTIBLE Y AGUA: F - 003			
1	Planta compresora para sistema de aire	20 L/s @ 700 kPa. Paquete rotatorio de cómpresora de tornillo y 11 kW	11
1	Planta de pre - filtrado para sistema de aire	Alta eficiencia, filtros de protección final general para 1 micron	-
1	Planta de secado de aire para sistema de aire	Torres gemelas y indicadores de medición	-
1	Unión de filtros para el sistema de aire	Alta eficiencia, filtros de protección libre de petroleo para 0.01micron	-
1	Tanque de compresión para la planta de aire	Capacidad de 5000 L. MS construcción	-
1	Instrumentación para tanque de compresión de aire	Capacidad de 5000 L. MS construcción	-
1	Bomba de agua para transferencia de carbón	16 m3/hr @ 25 m TDH. Centrifuga, impulsor c/w 4 kW	4
1	Bomba para agua fresca	50 m3/hr @ 70 m TDH. Centrifuga, impulsor c/w 22 kW	22
2	Filtros para petroleo	5 m3/hr, filtros de 3 micrones. 1 trabajando y 1 standby	-
2	Bombas de recirculación de combustible petroleo	4 m3/hr @ 30 m TDH. Centrifuga, impulsor c/w 1.1 kW	2.2
SUB TOTAL ADSORCION			39.2
TOTAL			491.2

PROYECTO DE LIXIVIACION EN PILAS DE BAJA LEY - RESINA EN SOLUCION

LISTA DE EQUIPOS MECANICOS DE LA PLANTA

Cant	Nombre de los Equipos	Descripción	kW Instal
LIXIVIACION Y ADSORCION: F - 001			
2	Bomba de alimentación SRL	500 m ³ /hr @ 30 TDH. Centrifuga, Impulsor c/u 75kW.	150
4	Columnas de Adsorción	Columna 3.26 m Ø x 3.84 m O/A. c/u	-
1	Malla de seguridad de carbón	Construido con cubierta de poliuretano, con una abertura de 0.3 mm	-
1	Tanque de transferencia SPL	10 m ³ de capacidad activa	-
1	Bomba de retorno SPL	500 m ³ /hr @ 30 TDH. Centrifuga, Impeller c/u 75kW.	150
1	Bomba de transferencia de carbón SPL	5 m ³ /hr @ 10 TDH. Centrifuga, Impeller c/w 1.5 kW.	1.5
1	Bomba colectora	Vertical c/w línea de metal 11 kW.	11
SUB TOTAL ADSORCION			312.5

LISTA DE EQUIPOS MECANICOS DE LA PLANTA

Cant	Nombre de los Equipos	Descripción	kW Instal
DESORCION Y AREA DE FUNDICION: F - 002			
1	Tanque de solución de desorción	Capacidad de 80m ³ , Ø 4.6 m x 5.0 m O/A	-
1	Bomba de solución de desorción	42 m ³ /hr @ 10 m TDH. Centrifuga, impulsor c/w 7.5 kW	7.5
1	Calentador de la solución de desorción	Capacidad 350 kW, en línea calentado con petróleo	1.1
1	Chimenea del calentador de la solución de desorción	Construcción metálica con calamina adaptado al calentador	-
2	Filtros de desorción	Ø100mm x 1000 mm de alto, de acero inoxidable.	-
1	Distribuidores para las celdas de electrowining	Capacidad de 250L, Ø 750mm x 750mm O/A	-
3	Celdas de electrowining	Celda serie 800, 13 ánodos, 12 cátodos por celda	-
1	Marco de cátodos	Adaptables para las celdas.	-
1	Campana extractora de gases de la celda EW.	2700m ³ /hr @ 400 Pa, tipo accial de acero inox y 2.2kW	2.2
3	Rectificadores	Rectificador transformador 0 - 10V, 0 - 800A, controles	24
1	Horn de calcinación/secado	Capacidad de 1 m ³ , con un controlador de temperatura	18
1	Horno de fundición	Crisol A100, fuego con petróleo	-
1	Campana extractora para el horno de fundición	Chimenea y sombrero chino de calamina metálica	-
1	Balanza para el bullion	Balanza electrónica de 40 kg.	-
1	Caja fuerte	TDR resistente, combinación dual y capacidad 0.5 m ³	-
2	Duchas de seguridad en el área de fundición	Ducha combinada/unidad de lavado de ojos	-
1	Presintos de seguridad para el empaquetado	Seguridad en el empaquetado, circuito cerrado de TV	-
SUB TOTAL ADSORCION			52.8

LISTA DE EQUIPOS MECANICOS DE LA PLANTA

Cant	Nombre de los Equipos	Descripción	kW Instal
REACTIVOS: F - 003			
1	Bomba dosificadora de cianuro a la desorción	10 L /min @ 10 m TDH, rotor de acero inox 316 y 0.37 kW	0.37
1	Toiva de adición de alimentación de benzoato	Construcción de acero inoxidable	-
1	Tanque mezclador/dosificador de benzoato	Capacidad de 30 m3, Ø 3.3 m x 3.8 m O/A	-
1	Agitador mezclador de benzoato	Sola etapa, impulsor de acero inoxidable 2.2 kW	2.2
1	Bomba dosificadora de benzoato strip	10 L /min @ 10 m TDH, rotor de acero inox 316 y 1.1 kW	1.1
1	Ducha de seguridad en el área benzoato	Ducha combinada/unidad de lavado de ojos	-
1	Bomba dosificadora de caustica a la desorción	1.6 m3/hr @ 10 m TDH, rotor de acero inox 316 y 0.37 kW	0.37
1	Ducha de seguridad en el área caustico	Ducha combinada/unidad de lavado de ojos	-
1	Bomba para el ácido clorhidrico	9 m3/h, Bomba peristaltica c/w 1.5 kW.	1.5
1	Bomba sumergible en el área del ácido clorhidrico	Boladizo vertical e impulsor, eje 900 y 2.2 kW	2.2
1	Ducha de seguridad en el área acida	Ducha combinada/unidad de lavado de ojos	-
1	Bomba de seguridad en el área de reactivos.	Boladizo vertical e impulsor, eje 1500 y 11 kW	11
SUB TOTAL ADSORCION			18.7

LISTA DE EQUIPOS MECANICOS DE LA PLANTA

Cant	Nombre de los Equipos	Descripción	kW Instal
SERVICIOS DE AIRE, COMBUSTIBLE Y AGUA			
1	Planta compresora para sistema de aire	20 L/s @ 700 kPa. Paquete rotatorio de compresora de tornillo y 11 kW	11
1	Planta de pre - filtrado para sistema de aire	Alta eficiencia, filtros de protección final general para 1 micron	-
1	Planta de secado de aire para sistema de aire	Torres gemelas y indicadores de medición	-
1	Unión de filtros para el sistema de aire	Alta eficiencia, filtros de protección libre de petroleo para 0.01micron	-
1	Tanque de compresión para la planta de aire	Capacidad de 5000 L. MS construcción	-
1	Instrumentación para tanque de compresión de aire	Capacidad de 5000 L. MS construcción	-
1	Bomba para agua fresca	50 m3/hr @ 70 m TDH. Centrifuga, impulsor c/w 22 kW	22
2	Filtros para petroleo	5 m3/hr, filtros de 3 micrones. 1 trabajando y 1 standby	-
2	Bombas de recirculación de combustible petroleo	4 m3/hr @ 30 m TDH. Centrifuga, impulsor c/w 1.1 kW	2.2
SUB TOTAL ADSORCION			35.2
TOTAL			419.2

ANEXO 4: COSTO DE CAPITAL ESTIMADO ESTABLECIDO

- CASO 1 - CIC, LEY BAJA SRL
- CASO 2 - RIS, LEY BAJA SRL

COSTO CAPITAL ESTIMADO (US\$)

DISCIPLINA	CIC	RIS
	Baja Ley	Baja Ley
DIRECTOS		
Concreto	142,468	115,144
Estructura de acero	334,377	244,682
Estructura de plancha	42,936	39,254
Mecánico	886,035	522,075
Tubería	88,473	52,338
Eléctrico/Instrumentación	132,710	78,507
TOTAL DIRECTOS	1,627,000	1,052,000
INDIRECTOS		
Servicio Ingeniería, adquisición y Construcción	250000	250000
TOTAL INDIRECTOS	250000	250000
CONTINGENCIA	238000	173000
TOTAL PROYECTO	\$ 2,115,000	\$ 1,475,000

COSTO CAPITAL ESTIMADO Baja Ley (US\$)
CARBON EN COLUMNA - Baja Ley

	Concreto	Estructura de acero	Estructura de plancha	Mecánico	Tubería	Eléctrico Instrumentación	Otros	Total
DIRECTOS								
Lixiviación y Adsorción	34,479	79,366	7,156	195,812				316,813
Desorción y Area de fundición	38,382	126,205	12,360	452,125				629,072
Regeneración de carbón	32,527	89,774	23,419	156,130				301,850
Reactivos	16,263	6,505		46,839				69,608
Servicios	20,817	32,527		35,129	88,473	132,710		309,657
TOTAL DIRECTOS	142,468	334,377	42,936	886,035	88,473	132,710	0	1,627,000
INDIRECTOS								
Servicio Ingeniería, adquisición y Construcción							250,000	250,000
TOTAL INDIRECTOS	0	0	0	0	0	0	375,000	
CONTINGENCIA							238,000	238,000
TOTAL PROYECTO	\$ 142,468	\$ 334,377	\$ 42,936	\$ 886,035	\$ 88,473	\$ 132,710	\$ 613,000	\$ 2,115,000

COSTO CAPITAL ESTIMADO Baja Ley (US\$)
RESINA EN SOLUCION - Baja Ley

	Concreto	Estructura de acero	Estructura de plancha	Mecánico	Tubería	Eléctrico Instrumentación	Otros	Total
DIRECTOS								
Lixiviación y Adsorción	34,674	77,853	7,197	205,428				325,152
Desorción y Area de fundición	39,908	127,575	19,627	225,055				412,164
Regeneración de carbón	0	0	0	0				0
Reactivos	20,281	6,542	12,430	59,535				98,789
Servicios	20,281	32,711		32,057	52,338	78,507		215,896
TOTAL DIRECTOS	115,144	244,682	39,254	522,075	52,338	78,507	0	1,062,000
INDIRECTOS								
Servicio Ingeniería, adquisición y Construcción							250,000	250,000
TOTAL INDIRECTOS	0	0	0	0	0	0	250,000	
CONTINGENCIA							173,000	173,000
TOTAL PROYECTO	\$ 115,144	\$ 244,682	\$ 39,254	\$ 522,075	\$ 52,338	\$ 78,507	\$ 423,000	\$ 1,475,000

ANEXO 5: COSTO DE OPERACION ESTIMADO ESTABLECIDO

- CASO 1 - CIC, LEY BAJA SRL
- CASO 2 - RIS, LEY BAJA SRL

RESUMEN DEL COSTO DE OPERACIÓN CIC y RIS

Oro	50,000 onzas
-----	--------------

Cento de Costos		CASO 1		CASO 2	
		US\$/año	% del Total	US\$/año	% del Total
Operaciones Consumables		330,926	33.9	133,953	20.3
Mantenimiento		129,240	13.2	77,320	11.7
Mano de Obra		343,125	35.1	290,625	44.1
Energia Electrica		173,468	17.8	157,554	23.9
TOTAL	US\$/año	976,759	100.00	659,452	100.00
	US\$/oz	19.54		13.19	

RESUMEN DEL COSTO DE OPERACIÓN CIC y RIS

COSTOS CONSUMIBLES CIC/RIS (US\$)

Operación Consumable		Total U\$	Unit	caso 1		caso 2	
				Uso	Costo U\$	Uso	Costo U\$
Cianuro de Sodio	Desorción	1,040	ton	30.6	31,824	0.7	728
Resina	Adsorción	19,700	thum	0	0	0	0
Carbón	Adsorción	2,920	ton	39.4	115,048		0
Hidroxido de Sodio (49%)	Desorción	420	ton	210	88,200	69	28,980
Benzoato de sodio (99%)	Desorción	1,725	ton	0	0	45.5	78,488
Acido Clorhidrico (32%)	Desorción	380	kL	131.9	50,122	12.8	4,864
Lana de acero	Electrodeposi	6.27	kg	389	2,439	389	2,438
Fundentes	Fundición	2,000	ton	2.3	4,600	2.3	4,600
Crisol	Fundición	500	ea	7/año	3,500	7/año	3,500
Agua Potable		1.00	kL	3939.6	3,940	2,277	2,278
Petroleo	Desorción	210	kL	138.6	29,106	32.1	6,741
	Fundición	210	kL	10.7	2,247	6.2	1,302
COSTO TOTAL CONSUMIBLE		US\$/año			330,926		133,953
		US\$/onza			6.62		2.68

RESUMEN DEL COSTO DE OPERACIÓN CIC y RIS

COSTOS DE MANTENIMIENTO CIC/RIS (US\$)

AREA	% de Capital	CASO 1		CASO 2	
		Costo Capital US\$,000's	Mantenimiento Costo anual US\$	Costo Capital US\$,000's	Mantenimiento Costo anual US\$
Adsorción	7.0	317.0	22,190	323.0	22,610
Desorción, Area de fundición	8.0	629.0	50,320	410.0	32,800
Regeneración térmica	10.0	302.0	30,200	0.0	0
Reactivos	7.0	379.0	26,530	313.0	21,910
TOTAL	7.9	1,627.0	129,240	1,046.0	77,320

RESUMEN DEL COSTO DE OPERACIÓN CIC y RIS

COSTOS DE MANO DE OBRA CIC/RIS (US\$)

	Base Anual Salario/Sn US\$	Gastos Generales US\$	Costo de M.O. Anual US\$	CASO1		CASO 2	
				Numero de empleados	Costo M.O. Total Anual US\$	Numero de empleados	Costo M.O. Total Anual US\$
OPERACIONES							
Procesos							
Equipos por turno	40,000	20,000	60,000	3	180,000	3	180,000
Equipo por día	27,000	13,000	41,250	0.5	20,625	0.5	20,625
Seguridad en el área de fundición	45,000	22,500	67,500	1	67,500	1	67,500
Operadores en el área de operaciones	35,000	17,500	52,500	1	52,500	0	0
Mantenimiento							
Soldadura y mantenimiento de filtros	30,000	15,000	45,000	0.5	22,500	0.5	22,500
TOTAL				6.0	343,125	5.0	290,625

RESUMEN DEL COSTO DE OPERACIÓN CIC y RIS

COSTOS DE ENERGIA CIC/RIS (US\$)

Costo de Energia con Generador	0.100 kWh	Consumo de Energia
Costo de energia con Interconectado	0.050 kWh	8500 horas por año

	CASO 1		CASO 2	
	Promedio continuo consumo	Costo de Energia Anual	Promedio continuo consumo	Costo de Energia Anual
	KW	US\$/año	KW	US\$/año
Lixiviacion/Adsorción	118	100,469	118	100,710
Desorción/Area de fundición	29	24,671	15	12,452
Regeneración de Carbón	3	2,801		0
Agua, Aire y Sistemas de combustible	29	24,586	27	23,226
Reactivos	1	626	1	851
otros gastos	24	20,315	24	20,315
TOTALES	204	173,468	185	157,554

COSTO DEL CIC - Soluciones de baja ley

RESUMEN DEL COSTO TOTAL DE OPERACIÓN CIC

Cento de Costos	Oro Bullion 50,000 oz/año		
	US\$/año	US\$/oz Au	% del Total
Operaciones Consumables	331,024	6.62	33.89
Mantenimiento	129,240	2.58	13.23
Mano de Obra	343,125	6.86	35.13
Energia Electrica	173,468	3.47	17.76
TOTAL	976,857	19.54	100.00

Nota: Excluido de costos de oficinas gerenciales y costos de mina.

COSTO DE OPERACION DEL CIC - Soluciones de baja ley

COSTOS CONSUMIBLES - Solucion de baja ley

Operación Consumable		Total U\$	Unit	Anual		% del total
				Uso	Costo U\$	
Cianuro de Sodio	Desorción	1,040	ton	30.6	31,824	9.61
Carbón	Adsorción	2,920	ton	39.4	115,048	34.76
Hidroxido de Sodio (49%)	Desorción	420	ton	210	88,200	26.64
Acido Clorhidrico (32%)	Desorción	380	kL	131.9	50,122	15.14
Lana de acero	Electrodeposición	6.27	kg	388.8	2,438	0.74
Fundentes	Fundición	2,000	ton	2.3	4,600	1.39
Crisol	Fundición	500	ea	7/año	3,500	1.06
Agua Potable		1.00	kL	3939.6	3,940	1.19
Petroleo	Desorción	210	kL	138.6	29,106	8.79
	Fundión	210	kL	10.7	2,247	0.68
COSTO TOTAL CONSUMIBLE					331,024	100.00

COSTO DE ORERACION DE CIC - Soluciones de baja ley

COSTOS DE MANTENIMIENTO - Solucion de baja ley

AREA	% de Capital	Costo Capital US\$,000's	Mantenimiento Costo anual US\$	Mantenimiento Costo Unitario US\$/onz Au
Adsorción	7.0	317.0	22,190	0.44
Desorción, Area de fundición	8.0	629.0	50,320	1.01
Regeneración térmica	10.0	302.0	30,200	0.60
Reactivos	7.0	379.0	26,530	0.53
TOTAL	7.9	1627.0	129,240	2.58

COSTO DE OPERACIÓN DE CIC - Soluciones de baja ley

COSTO DE MANO DE OBRA - Solucion de baja ley

Clasificación de Mano de Obra

Turno Basico	12 horas por turno
Turno de Rotación	2 Turno por día, 14 días de trabajo y 7 días libres.
	3 Equipos en total
Turno por día	12 horas por turno

Base de Niveles de Pago Anual en US\$

Costos de Mano de Obra	Costos Generales	Clasificación	1	2	3	4	5
Salario, Trabajo por día	50%	SD	45,000	40,000	35,000		
Salario, Trabajo por turno	50%	ST	50,000	45,000	40,000	35,000	30,000
Sueldo normal, Trabajo por día	50%	SnD	35,000	32,000	30,000	27,500	25,000

COSTOS DE MANO DE OBRA

	Numero de empleados	Clasificación	Base Anual Salario/Sn US\$	Gastos Generales %	Gastos Generales US\$	Costo de M.O. Anual US\$	Salario, Sn Total Anual US\$	Gastos Generales Costo Total US\$	Costo M.O. Total Anual US\$
OPERACIONES									
Procesos									
Equipos por turno	3	ST 3	40,000	50%	20,000	60,000	120,000	60,000	180,000
Equipo por día	0.5	SnD 4	27,000	50%	13,000	41,250	13,750	6,875	20,625
Seguridad en el área de fundición	1	SD 1	45,000	50%	22,500	67,500	45,000	22,500	67,500
Operadores en el área de fundición	1	SnD 1	35,000	50%	17,500	52,500	35,000	17,500	52,500
Mantenimiento									
Soldadura y mantenimiento de filtros	0.5	SnD 3	30,000	50%	15,000	45,000	15,000	7,500	22,500
TOTAL	6.0						228,750	114,375	343,125

COSTO DE OPERACIÓN DE CIC - Soluciones de baja ley

RESUMEN DEL COSTO DE ENERGIA - Solucion de baja ley

Costo de Energia con Generador	0.100
Costo de energia con Interconectado	0.050

	Potencia Instalada KW	Maximo deducción continuos KW	Promedio continuo deducido KW	Costo de Energia Anual	
				US\$/año	US\$/onza
Lixiviacion/Adsorción	172	138	118	100,469	2.01
Desorción/Electrodeposición y fundición	102	66	29	24,671	0.49
Regeneración de Carbón	12	8	3	2,801	0.06
Agua, Aire y Sistemas de combustible	39	31	29	24,586	0.49
Reactivos	15	12	1	626	0.01
otros gastos	50	34	24	20,315	0.41
TOTALES	390	289	204	173,468	3.47

CARBON EN COLUMNA - Solucion de baja ley CONSUMO DE ENERGIA

Oro, oz	50,000
Planta disponible	97%
Desorcion	50%
Planta, h/y	8500

Item	Potencia Instalada	Factor Carga	Utización	Picos continuos deducido	Promedio continuo deducido
	KW	%	%	KW	KW
Lixiviacion/Adsorción					
Bombas RLS	75	80%	97%	60.00	58.22
BLS Bomba de transferencia de solución	75	80%	97%	60.00	58.22
BLS Bomba de transfer de carbón	11	80%	10%	8.80	0.88
Bomba para sumidero área de adsorción	11	80%	10%	8.80	0.88
TOTAL	172			138	118
Desorción/Cuarto de E.W y Fundición					
Bomba de solución desorción	22	80%	50%	17.60	8.80
Calentar solución desorción	1.1	70%	35%	0.77	0.27
Bomba de recirculación sol. Desorción	35	70%	35%	24.50	8.58
Rectificador de la celda E.W. (2)	24	50%	50%	12.00	6.00
Extracción ventilada de gases de E.W.	2.2	80%	50%	1.76	0.88
Horno de calcinación	18	50%	50%	9.00	4.50
TOTAL	102			66	29
Regeneración de carbón					
Zaranda deshumedecedor	2.5	80%	10%	2.00	0.20
Horno de regeneración de carbón	5.5	50%	50%	2.75	1.38
Zaranda tamizador de carbón	0.3	80%	50%	0.24	0.12
Bomba de carbón finos	4	80%	50%	3.20	1.60
TOTAL	12			8	3
Agua, Aire y Sist. de combustible					
Planta compresora de aire	11	80%	97%	8.80	8.54
Bomba de agua cruda	22	80%	97%	17.60	17.08
Bomba de agua para transf. carbón	4	80%	50%	3.20	1.60
Bombas para petroleo	2.2	80%	97%	1.76	1.71
TOTAL	39			31	29
Reactivos					
Bomba dosif. de cianuro para desorción	0.37	80%	10%	0.30	0.03
Bomba dosif. de NaOH para desorción	0.37	80%	30%	0.30	0.09
Bomba dosif. de Acido clorhidrico	1.50	80%	10%	1.20	0.12
Bomba para sumidero área de ácido	2.20	80%	5%	1.76	0.09
Bomba para sumidero área de reactivos	11	80%	5%	8.80	0.44
TOTAL	15			12	1
Otros					
Cuarto MCC	10	95%	100%	9.50	9.50
Alumbrado y enrgia media de la planta	40	60%	60%	24.00	14.40
TOTAL	50			34	24

COSTO DEL CIC - Soluciones de baja ley

PRIMEROS COSTOS DE LLENADO

Item	Costo Excluye Impuestos US\$/t	Unit	Primer Llenado		Stock abierto			TOTAL	
			units	US\$	units	Número de días	US\$	US\$	
Cianuro de Sodio	Elución	\$ 1,040	t	0.05	52	20	1 container	20748	20800
Carbón	Adsorción	\$ 2,920	t	24.5	71540	9.85	3 meses	28759	100299
Hidroxido de Sodio (49%)	Desorción	\$ 420	t	0	0	52.5	3 meses	22052	22052
Acido Hidroclorhidrico	Desorción	\$ 380	t	0	0	33	3 meses	12526	12526
Fundentes	Fundición	\$ 2,000	t	0	0	0.57	3 meses	1145	1145
Crisol	Fundición	\$ 500	ea	1	500	6	12 meses	3000	3500
Petroleo	Desorción/Regeneración	\$ 210	kL	0	0	12.4	30 días	2612	2612
Lubricantes		\$ 5,000	lot	1	5000	0		0	5000
Herramientas y Equipos de planta de operación.		\$ 5,000	lot	1	5000	0		0	5000
Reactivos de Laboratorio		\$ 10,000	lot	1	10000	0		0	10000
TOTAL DE COSTOS CONSUMIBLES					\$ 92,092			\$ 90,842	182,934

CARBON EN COLUMNA - Solucion de baja ley

COSTOS DE PREPRODUCCION

COSTOS LABORALES	Mes Inicial	Número de Empleo	Mes -5	Mes -4	Mes -3	Mes -2	Mes -1	Costo de Preproducción US\$
			US\$	US\$	US\$	US\$	US\$	
OPERACIONES								
Proceso								
Personal por turno	1	3	0	0	0	0	15000	15000
Personal por día	1	0.5	0	0	0	0	1719	1719
Jefe del area de fundición	2	1	0	0	0	5625	5625	11250
Operador del area de fundición	1	1	0	0	0	0	4375	4375
Mantenimiento								
Soldador de punto	1	0.5	0	0	0	0	1875	1875
Total		6	0	0	0	5625	28594	34219
Costo Total de Laboral								
		6	0	0	0	5625	28594	34219

COSTOS GENERALES	Mes -5	Mes -4	Mes -3	Mes -2	Mes -1	Total
	US\$	US\$	US\$	US\$	US\$	
Abastecimiento General	0	500	1000	1000	1000	3500
Telecomunicaciones	0	1000	1500	1500	1500	5500
Viaje y Alojamiento	0	1000	2000	3000	2000	8000
Reclutamiento y relocalización - Local	0	1000	1000	2000	2000	6000
Franqueo / Mensajero / Carga	0	500	500	500	1000	2500
Entretrenimiento	0	250	500	500	500	1750
Laboratorio	0	0	0	0	4000	4000
Energia y Agua	0	100	100	100	100	400
Equipo Miovil	0	150	350	500	1000	2000
Otros Honorarios	0	500	1000	1000	2000	4500
Costo de Administracion Total	0	5000	7950	10100	15100	38150

RESUMEN DE PREPRODUCCION	Mes -5	Mes -4	Mes -3	Mes -2	Mes -1	Total
	US\$	US\$	US\$	US\$	US\$	
Costos de Labor de Preproducción	0	0	0	5625	28594	34219
Costos de Administracion de Preproducción	0	5000	7950	10100	15100	38150
TOTAL POR MES	0	\$ 5,000	\$ 7,950	\$ 15,725	\$ 43,694	\$ 72,369

COSTO DEL RIS - Soluciones de baja ley

RESUMEN DEL COSTO TOTAL DE OPERACIÓN RIS

Cento de Costos	Oro Bullion 50,000 oz/año		
	US\$/año	US\$/oz Au	% del Total
Operaciones Consumables	133,918	2.68	20.31
Mantenimiento	77,320	1.55	11.73
Mano de Obra	290,625	5.81	44.07
Energia Electrica	157,554	3.15	23.89
TOTAL	659,417	13.19	100.00

Nota: Excluido de costos de oficinas gerenciales y costos de mina.

COSTO DE OPERACION DEL RIS - Soluciones de baja ley

COSTOS CONSUMIBLES - Solucion de baja ley

Operación Consumable		Total U\$	Unit	Anual		% del total
				Uso	Costo U\$	
Cianuro de Sodio	Desorción	1,040	ton	0.7	728	0.54
Resina	Adsorción	19,700	thum	0	0	0.00
Hidroxido de Sodio (49%)	Desorción	420	ton	69	28,980	21.64
Benzoato de sodio (99%)	Desorción	1,725	ton	45.5	78,488	58.61
Acido Clorhidrico (32%)	Desorción	380	kL	12.8	4,864	3.63
Lana de acero	Electrodeposición	6.27	kg	388.8	2,438	1.82
Fundentes	Fundición	2,000	ton	2.3	4,600	3.43
Crisol	Fundición	500	ea	7/año	3,500	2.61
Agua Potable		1.00	kL	2277.6	2,278	1.70
Petroleo	Desorción	210	kL	32.1	6,741	5.03
	Fundición	210	kL	6.2	1,302	0.97
COSTO TOTAL CONSUMIBLE					133,918	100.00

COSTO DE ORERACION DE RIS - Soluciones de baja ley

COSTOS DE MANTENIMIENTO - Solucion de baja ley

AREA	% de Capital	Costo Capital US\$,000's	Mantenimiento Costo anual US\$	Mantenimiento Costo Unitario US\$/onz Au
Adsorción	7.0	323.0	22,610	0.45
Desorción, Area de fundición	8.0	410.0	32,800	0.66
Reactivos	7.0	313.0	21,910	0.44
TOTAL	7.4	1046.0	77,320	1.55

COSTO DE OPERACIÓN DE RIS - Soluciones de baja ley

COSTO DE MANO DE OBRA - Solucion de baja ley

Clasificación de Mano de Obra

Turno Basico	12 horas por turno
Turno de Rotación	2 Turno por día, 14 días de trabajo y 7 días libres.
	3 Equipos en total
Turno por día	12 horas por turno

Base de Niveles de Pago Anual en US\$

Costos de Mano de Obra	Costos Gastos Generales	Clasificación	1	2	3	4	5
Salario, Trabajo por día	50%	SD	45,000	40,000	35,000		
Salario, Trabajo por turno	50%	ST	50,000	45,000	40,000	35,000	30,000
Sueldo normal, Trabajo por día	50%	SnD	35,000	32,000	30,000	27,500	25,000

COSTOS DE MANO DE OBRA

	Numero de empleados	Clasificación	Base Anual Salario/Sn US\$	Gastos Generales %	Gastos Generales US\$	Costo de M.O. Anual US\$	Salario, Sn Total Anual US\$	Gastos Genera Costo Total US\$	Costo M.O. Total Anual US\$
OPERACIONES									
Procesos									
Equipos por turno	3	ST 3	40,000	50%	20,000	60,000	120,000	60,000	180,000
Equipo por día	0.5	SnD 4	27,000	50%	13,000	41,250	13,750	6,875	20,625
Seguridad en el área de fundición	1	SD 1	45,000	50%	22,500	67,500	45,000	22,500	67,500
Operadores en el área de operaciones	0	SnD 1	35,000	50%	17,500	52,500	0	0	0
Mantenimiento									
Soldadura y mantenimiento de filtros	0.5	SnD 3	30,000	50%	15,000	45,000	15,000	7,500	22,500
TOTAL	5.0						193,750	96,875	290,625

COSTO DE OPERACIÓN DE RIS - Soluciones de baja ley

RESUMEN DEL COSTO DE ENERGIA - Solucion de baja ley

Costo de Energia con Generador	0.100
Costo de energia con Interconectado	0.050

	Potencia Instalada KW	Maximo deducción continuos KW	Promedio continuo deducido KW	Costo de Energia Anual	
				US\$/año	US\$/onza
Lixiviacion/Adsorción	163	130	118	100,710	2.01
Desorción/Electrodeposición y fundición	53	30	15	12,452	0.25
Agua, Aire y Sistemas de combustible	35	28	27	23,226	0.46
Reactivos	19	15	1	851	0.02
otros gastos	50	34	24	20,315	0.41
TOTALES	320	237	185	157,554	3.15

CARBON EN COLUMNA - Solucion de baja ley

CONSUMO DE ENERGIA

Oro, oz	50,000
Planta disponible	97%
Desorcion	50%
Planta, h/y	8500

Item	Potencia Instalada	Factor Carga	Utización	Picos continuos deducido	Promedio continuo deducido
	KW	%	%	KW	KW
Lixiviacion/Adsorción					
Bombas RLS	75	80%	97%	60.00	58.22
BLS Bomba de transferencia de solución	75	80%	97%	60.00	58.22
BLS Bomba de transfer de carbón	1.5	80%	97%	1.20	1.16
Bomba para sumidero área de adsorción	11	80%	10%	8.80	0.88
TOTAL	163			130	118
Desorción/Cuarto de E.W y Fundición					
Bomba de solución desorción	7.5	80%	50%	6.00	3.00
Calentar solución desorción	1.1	70%	35%	0.77	0.27
Rectificador de la celda E.W. (3)	24	50%	50%	12.00	6.00
Extracción ventilada de gases de E.W.	2.2	80%	50%	1.76	0.88
Horno de calcinación	18	50%	50%	9.00	4.50
TOTAL	53			30	15
Agua, Aire y Sist. de combustible					
Planta compresora de aire	11	80%	97%	8.80	8.54
Bomba de agua cruda	22	80%	97%	17.60	17.08
Bombas para petroleo	2.2	80%	97%	1.76	1.71
TOTAL	35			28	27
Reactivos					
Bomba dosif. de cianuro para desorción	0.37	80%	10%	0.30	0.03
Mezclador agitador de Benzoato	2.2	80%	10%	1.76	0.18
Bomba dosif. de benzoato a desorción	1.10	80%	10%	0.88	0.09
Bomba dosif. de soda a desorción	0.37	80%	30%	0.30	0.09
Bomba dosif. de acido clorhidrico	1.5	80%	10%	1.20	0.12
Bomba para sumidero área de ácido	2.20	80%	5%	1.76	0.09
Bomba para sumidero área de reactivos	11	80%	5%	8.80	0.44
TOTAL	19			15	1
Otros					
Cuarto MCC	10	95%	100%	9.50	9.50
Alumbrado y enrgia media de la planta	40	60%	60%	24.00	14.40
TOTAL	50			34	24

COSTO DEL RIS - Soluciones de baja ley

PRIMEROS COSTOS DE LLENADO

Item	Costo Excluye Impuestos US\$/t	Unit	Primer Llenado		Stock abierto			TOTAL	
			units	US\$	units	Número de días	US\$	US\$	
Cianuro de Sodio	Elución	\$ 1,040	t	0.05	52	20	1 container	20748	20800
Resina	Adsorción	\$ 19,700	t hum	23.8	468860	0	3 meses	0	468860
Hidroxido de Sodio (49%)	Desorción	\$ 420	t	0	0	17.2	3 meses	7242	7242
Benzoato de Sodio	Desorción	\$ 1,725	t	0	0	11.2	3 meses	19624	19624
Acido Hidroclorhidrico	Desorción	\$ 380	t	0	0	3.2	3 meses	1215	1215
Fundentes	Fundición	\$ 2,000	t	0	0	0.57	3 meses	1144	1144
Crisol	Fundición	\$ 500	ea	1	500	6	12 meses	3000	3500
Petroleo	Desorción/Regeneración	\$ 210	kL	0	0	3.2	30 días	672	672
Lubricantes		\$ 5,000	lot	1	5000	0		0	5000
Herramientas y Equipos de planta de operación.		\$ 5,000	lot	1	5000	0		0	5000
Reactivos de Laboratorio		\$ 10,000	lot	1	10000	0		0	10000
TOTAL DE COSTOS CONSUMIBLES					\$ 489,412			\$ 53,645	\$ 543,057

RESINA EN SOLUCION - Solucion de baja ley

COSTOS DE PRODUCCION

COSTOS LABORALES	Mes Inicial	Número de Empleo	Mes -5	Mes -4	Mes -3	Mes -2	Mes -1	Costo de Preproducción US\$
			US\$	US\$	US\$	US\$	US\$	
OPERACIONES								
Proceso								
Personal por turno	1	3	0	0	0	0	15000	15000
Personal por día	1	0.5	0	0	0	0	1719	1719
Jefe del area de fundición	2	1	0	0	0	5625	5625	11250
Operador del area de fundición	1	0	0	0	0	0	0	0
Mantenimiento								
Soldador de punto	1	0.5	0	0	0	0	1875	1875
Total		5	0	0	0	5625	24219	29844
Costo Total de Laboral		5	0	0	0	5625	24219	29844

COSTOS GENERALES	Mes -5	Mes -4	Mes -3	Mes -2	Mes -1	Total
	US\$	US\$	US\$	US\$	US\$	
Abastecimiento General	0	500	1000	1000	1000	3500
Telecomunicaciones	0	1000	1500	1500	1500	5500
Viaje y Alojamiento	0	1000	2000	3000	2000	8000
Reclutamiento y relocalización - Local	0	1000	1000	2000	2000	6000
Franqueo / Mensajero / Carga	0	500	500	500	1000	2500
Entretrenimiento	0	250	500	500	500	1750
Laboratorio	0	0	0	0	4000	4000
Energia y Agua	0	100	100	100	100	400
Equipo Miovil	0	150	350	500	1000	2000
Otros Honorarios	0	500	1000	1000	2000	4500
Costo de Administracion Total	0	5000	7950	10100	15100	38150

RESUMEN DE PREPRODUCCION	Mes -5	Mes -4	Mes -3	Mes -2	Mes -1	Total
	US\$	US\$	US\$	US\$	US\$	
Costos de Labor de Preproducción	0	0	0	5625	24219	29844
Costos de Administracion de Preproducción	0	5000	7950	10100	15100	38150
TOTAL POR MES	0	\$ 5,000	\$ 7,950	\$ 15,726	\$ 39,319	\$ 67,994